



(10) **DE 10 2021 213 295 A1** 2023.05.25

(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2021 213 295.2**

(22) Anmeldetag: **25.11.2021**

(43) Offenlegungstag: **25.05.2023**

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

H02M 1/44 (2007.01)

H02M 1/12 (2006.01)

H03K 17/04 (2006.01)

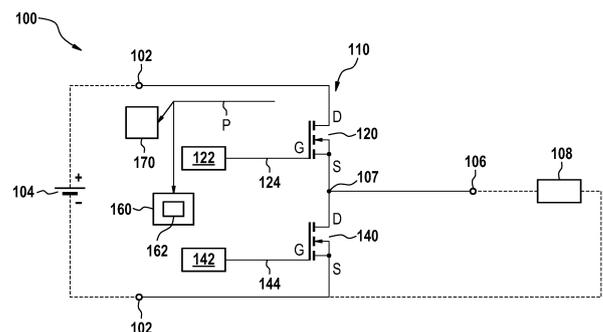
(71) Anmelder:
**Robert Bosch Gesellschaft mit beschränkter
Haftung, 70469 Stuttgart, DE**

(72) Erfinder:
Eggers, Philipp, 74385 Pleidelsheim, DE

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

(54) Bezeichnung: **Verfahren zur Ansteuerung eines ersten und eines zweiten Schaltelementes einer Halbbrücke in einem Stromwandler und Stromwandler mit einer Halbbrücke**

(57) Zusammenfassung: Verfahren (400) zur Ansteuerung eines ersten (120) und eines zweiten (140) Schaltelementes einer Halbbrücke (110) in einem Stromwandler (100). Das Verfahren umfasst die Schritte: Einstellen (430) einer ersten Variation des ersten Stromverlaufs mittels einem ersten Gate-Treiber (122) am ersten Steuerkontakt (124) zum Schließen des ersten Schaltelementes (120), und Einstellen (432) einer zweiten Variation eines zweiten Stromverlaufs mittels dem zweiten Gate-Treiber (142) am zweiten Steuerkontakt (144) während des Schließens des ersten Schaltelementes (120).



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Ansteuerung eines ersten und eines zweiten Schaltelementes einer Halbbrücke in einem Stromwandler und einen Stromwandler mit einer Halbbrücke. Ferner betrifft die Erfindung einen Antriebsstrang mit einem entsprechenden Stromwandler und ein Fahrzeug mit einem Antriebsstrang sowie ein Computerprogramm und ein computerlesbares Medium.

Stand der Technik

[0002] Stromwandler mit Halbbrücken sind aus dem Stand der Technik bekannt. Bevorzugt werden derartige Stromwandler als Wechselrichter in elektrischen Antriebssträngen zur Versorgung mehrphasiger elektrischer Maschinen mittels Energie aus einer Gleichspannungsquelle für den Antrieb eines Fahrzeugs verwendet. Ebenso ist die Verwendung derartiger Stromwandler als Gleichspannungswandler bekannt, die beispielsweise eine Hochspannung einer Traktionsbatterie in eine Niederspannung eines Bordnetzes eines Fahrzeugs tiefsetzen - oder umgekehrt hochsetzen. Auch ein Einsatz in einem mobilen oder stationären Ladegerät zum Aufladen der Traktionsbatterien eines Fahrzeugs ist bekannt. Bevorzugt werden derartige Stromwandler in einem Leistungsbereich von ca. 5 Kilowatt bis mehrere hundert Kilowatt eingesetzt. Ebenso sind Verfahren zur Ansteuerung eines Schaltelementes einer Halbbrücke in einem Stromwandler bekannt. Die DE 10 2010 043 109 A1 offenbart hierzu eine Schaltungsanordnung, die ein Schaltelement aufweist, welches durch ein pulsweitenmoduliertes Signal angesteuert wird, wobei in Abhängigkeit einer Temperatur zumindest eine der steigenden Flanke und der fallenden Flanke des pulsweitenmodulierten Signals beeinflusst wird. Im Umschaltzeitpunkt bzw. Umschaltmoment geht dabei das Schaltelement, bevorzugt ein Transistor, von einem hochohmigen in einen niederohmigen Zustand bzw. umgekehrt von einem niederohmigen in einen hochohmigen Zustand, je nachdem, ob das Schaltelement ein- bzw. ausgeschaltet wird, also geschlossen oder geöffnet wird. Die bei dieser Umschaltung im Schaltelement auftretende unerwünschte Verlustleistung ist näherungsweise proportional zur Umschaltzeit. Zur Minimierung der Verlustleistung wird versucht, die Umschaltzeit zu verkürzen. Allerdings treten beim Umschalten von Schaltelementen unerwünschte elektromagnetische Störungen auf. Die elektromagnetischen Störungen nehmen mit kürzer werdenden Schaltzeiten oder Umschaltzeiten zu. Es besteht daher ein Bedarf für verbesserte Ansteuerungsverfahren, die auch bei minimierten Schaltzeiten eine Reduktion elektromagnetischer Störungen ermöglichen.

Offenbarung der Erfindung

[0003] Es wird ein Verfahren zur Ansteuerung eines ersten und eines zweiten Schaltelementes einer Halbbrücke in einem Stromwandler bereitgestellt. Das Ansteuern umfasst das Beibehalten eines Schaltzustandes, das Schließen oder das Öffnen eines Schaltelementes. Der Stromwandler umfasst einen Eingangsanschluss zum Anschließen einer Gleichspannungsquelle, einen Ausgangsanschluss zum Anschließen einer Last parallel zum zweiten Schaltelement der Halbbrücke, einen ersten Gate-Treiber zum Ansteuern des ersten Schaltelementes und einen zweiten Gate-Treiber zum Ansteuern des zweiten Schaltelementes. Das erste und das zweite Schaltelement sind in Reihe zwischen die Potentiale des Eingangsanschlusses geschaltet und ein Zwischenabgriff zwischen dem ersten und dem zweiten Schaltelement ist mit dem Ausgangsanschluss verbunden. Der erste Gate-Treiber stellt einen ersten Stromverlauf an einem ersten Steuerkontakt ein zur Ansteuerung des ersten Schaltelementes, mittels Einstellen einer ersten Spannung und oder einer ersten Impedanz am ersten Steuerkontakt des ersten Schaltelementes. Der zweite Gate-Treiber stellt einen zweiten Stromverlauf an einem zweiten Steuerkontakt ein zur Ansteuerung des zweiten Schaltelementes, mittels Einstellen einer zweiten Spannung und oder einer zweiten Impedanz am zweiten Steuerkontakt des zweiten Schaltelementes. Während eines Betriebs des Stromwandlers werden fortlaufend wiederholend das erste Schaltelement geschlossen und geöffnet und anschließend das zweite Schaltelement geschlossen und geöffnet werden, sodass an dem Ausgangsanschluss abwechselnd eines der Potentiale des Eingangsanschlusses anliegt. Bevorzugt sind vor Beginn des Verfahrens oder zunächst das erste und das zweite Schaltelement geöffnet. Bevorzugt ist während des Beibehaltens des geöffneten Schaltzustands des ersten und des zweiten Schaltelementes der erste und der zweite Stromverlauf konstant. Das Verfahren umfasst die Schritte: Einlesen mindestens eines Parameters, der einen Arbeitspunkt der Halbbrücke charakterisiert, Ermitteln einer ersten Variation des ersten Stromverlaufs in Abhängigkeit des Parameters, Einstellen der ersten Variation des ersten Stromverlaufs mittels dem ersten Gate-Treiber am ersten Steuerkontakt zum Schließen des ersten Schaltelementes. Ermitteln einer zweiten Variation des zweiten Stromverlaufs in Abhängigkeit des Parameters, Einstellen der zweiten Variation des zweiten Stromverlaufs mittels dem zweiten Gate-Treiber am zweiten Steuerkontakt während des Schließens des ersten Schaltelementes.

[0004] Es wird ein Verfahren zur Ansteuerung eines ersten und eines zweiten Schaltelementes einer Halbbrücke in einem Stromwandler bereitgestellt. Bevorzugt ist ein Schaltelement ein steuerbarer

Halbleiterschalter, bevorzugt ein MOSFET, ein IGBT oder Transistor. Bevorzugt sind die Schaltelemente Silizium, Silizium-Carbid, Gallium-Nitrid oder Gallium-Arsenid Halbleiterschalter. Bevorzugt umfassen die Schaltelemente eine intrinsische Diode oder den Schaltelementen ist jeweils eine Diode antiparallel geschaltet. Bevorzugt ist der Stromwandler ein Inverter, Wechselrichter oder Pulswechselrichter oder ein Gleichspannungswandler oder ein Teil eines Ladegerätes. Das Ansteuern umfasst das Beibehalten eines Schaltzustandes, bevorzugt des geöffneten oder des geschlossenen Schaltzustands, das Schließen oder das Öffnen eines Schaltelementes. Der Stromwandler umfasst einen Eingangsanschluss zum Anschließen einer Gleichspannungsquelle, einen Ausgangsanschluss zum Anschließen einer Last parallel zum zweiten Schaltelement der Halbbrücke, einen ersten Gate-Treiber zum Ansteuern des ersten Schaltelementes und einen zweiten Gate-Treiber zum Ansteuern des zweiten Schaltelementes. Das erste und das zweite Schaltelement sind in Reihe zwischen die Potentiale des Eingangsanschlusses geschaltet und dadurch als Halbbrücke ausgebildet. Ein Zwischenabgriff zwischen dem ersten und dem zweiten Schaltelement ist mit dem Ausgangsanschluss verbunden. Die Schaltungsanordnung ermöglicht somit ein Aufnehmen der Energie aus einer Gleichspannungsquelle und eine Bereitstellung dieser Energie über den Ausgangsanschluss (oder umgekehrt), wenn eines der Schaltelemente geschlossen ist. Das gleichzeitige dauerhafte Beibehalten des geschlossenen Schaltzustandes der Schaltelemente ist zu vermeiden, damit kein dauerhafter Kurzschluss zwischen den Potentialen des Eingangsanschlusses entsteht. Eine gegebenenfalls zwischen den Potentialen angeschlossene Energiequelle würde dabei kurzgeschlossen. Bei gleichzeitigem dauerhaften Beibehalten des geöffneten Schaltzustands beider Schaltelemente ist der Eingangsanschluss vom Ausgangsanschluss elektrisch getrennt. Zur Ansteuerung der Schaltelemente umfasst der Stromwandler Gate-Treiber. Der erste Gate-Treiber stellt einen ersten Stromverlauf am ersten Steuerkontakt ein zur Ansteuerung des ersten Schaltelementes, bevorzugt mittels Einstellen eines ersten Stromes, einer ersten Spannung und oder einer ersten Impedanz am ersten Steuerkontakt des ersten Schaltelementes. Der zweite Gate-Treiber stellt einen zweiten Stromverlauf am zweiten Steuerkontakt ein zur Ansteuerung des zweiten Schaltelementes, bevorzugt mittels Einstellen eines zweiten Stromes, einer zweiten Spannung und oder einer zweiten Impedanz am zweiten Steuerkontakt des zweiten Schaltelementes. Mittels der Gate-Treiber wird an den Steuerkontakten (Gate) der Schaltelemente in Abhängigkeit eines Schaltsignals ein Stromverlauf eingestellt. Schaltsignale sind bevorzugt digitale Signale (on/off), die ein Gate-Treiber empfängt und in Abhängigkeit derer der Stromverlauf eingestellt wird. Bevorzugt wird seitens der Gate-

Treibers ein konstanter Stromverlauf eingestellt, solange sich die Zustände der Schaltsignale beider Schaltelemente zum Beibehalten der Schaltzustände der Schaltelemente nicht ändern. Bevorzugt wird, falls das Schaltsignal seinen Zustand ändert, seitens des Gate-Treibers der Stromverlauf variiert, bis sich der Schaltzustand des Schaltelementes geändert hat. Bevorzugt sind zunächst beide Schaltelemente geöffnet. Das bedeutet, dass die von beiden Gate-Treibern empfangenen digitalen Schaltsignale den Schaltzustand Offen vorgeben. Bevorzugt ist dabei das erste Schaltelement hochohmig. Bei einer angeschlossenen, bevorzugt induktiven, Last parallel zum zweiten Schaltelement, fließt durch die Diode des zweiten Schaltelementes ein Laststrom. Dieses Verhalten ergibt sich bei diesem Schaltzustand bevorzugt aufgrund der transienten Vorgänge beim Betrieb der Halbbrücke bei einer angeschlossenen Last. Bevorzugt ist der erste und der zweite Stromverlauf am ersten und zweiten Steuerkontakt konstant. Das Verfahren umfasst die Schritte: Einlesen eines Parameters, der einen Arbeitspunkt der Halbbrücke charakterisiert. Es wird mittels einer Sensoreinrichtung mindestens ein Parameter eingelesen, der einen, bevorzugt aktuellen, Arbeitspunkt der Halbbrücke charakterisiert. Ein entsprechender Parameter ist beispielsweise eine Temperatur der Halbbrücke, ein Laststrom durch die Halbbrücke, eine an der Halbbrücke oder an den Potentialen der Eingangsanschlüsse anliegende Spannung, und/oder eine Information über den Schaltzustand (geschlossen, schließend, offen, öffnend) des ersten und/oder des zweiten Schaltelementes der Halbbrücke. Je nach Arbeitspunkt verändern sich die Eigenschaften der Schaltelemente und insbesondere der intrinsischen Diode der Schaltelemente oder der bevorzugt innerhalb der Halbbrücke zusätzlich zu den Schaltelementen antiparallel angeordneten Dioden. Dadurch erfolgt insbesondere je nach Arbeitspunkt das Aufnehmen der Sperrspannung des zweiten Schaltelementes unterschiedlich. Dies bedingt wiederum, dass das erste Schaltelement unterschiedlich schnell eingeschaltet werden kann. Es wird eine Möglichkeit bereitgestellt mittels arbeitspunktabhängiger Variation des Stromverlaufs den starken Spannungsanstieg über dem zweiten Schaltelement (hohes du/dt) bei der Aufnahme der Sperrspannung zu dämpfen und damit ein noch schnelleres Schließen des ersten Schaltelementes zu ermöglichen. In Abhängigkeit mindestens einer dieser mittels des Parameters bereitgestellten Informationen wird eine erste Variation des ersten Stromverlaufs am ersten Steuerkontakt ermittelt. Zum Schließen des bisher geöffneten ersten Schaltelementes wird die ermittelte erste Variation des ersten Stromverlaufs mittels dem ersten Gate-Treiber eingestellt. In Abhängigkeit mindestens einer der mittels des Parameters bereitgestellten Informationen wird eine zweite Variation des zweiten Stromverlaufs ermittelt. Während des Schließens des ersten

Schaltelementes wird die ermittelte zweite Variation des zweiten Stromverlaufs mittels dem zweiten Gate-Treiber eingestellt. Folglich wird zum Schließen des ersten Schaltelementes in Abhängigkeit des eingelesenen Parameters sowohl der erste als auch der zweite Stromverlauf am ersten und am zweiten Steuerkontakt variiert. Mittels der ersten Variation des ersten Stromverlaufs erfolgt das Schließen des ersten Schaltelementes. Der Schaltzustand des ersten Schaltelementes ändert sich dabei von geöffnet zu geschlossen. Das erste Schaltelement wird dabei aus einem hochohmigen Zustand in einen niederohmigen Zustand überführt. In Abhängigkeit des Parameters werden bevorzugt die Schaltverluste des ersten Schaltelements und die EMV-Emissionen des zweiten Schaltelementes minimiert. Nach dem Schließen des ersten Schaltelementes wird der erste Stromverlauf am ersten Steuerkontakt entsprechend des geschlossenen Schaltzustands eingestellt. Die ebenfalls in Abhängigkeit des Parameters ermittelte zweite Variation des zweiten Stromverlaufs am zweiten Steuerkontakt unterscheidet sich von der ersten Variation. Mittels der zweiten Variation des zweiten Stromverlaufs werden die elektrischen Eigenschaften, also die resistiven, kapazitiven und oder induktiven Eigenschaften, des zweiten Schaltelementes während des Schließens des ersten Schaltelementes verändert. In Abhängigkeit des Parameters wird bevorzugt das Verhalten der Diode des zweiten Schaltelementes, also der intrinsischen Diode oder der bevorzugt innerhalb der Halbbrücke zusätzlich zu dem zweiten Schaltelement antiparallel angeordneten Diode, beeinflusst. Während des Schließens des ersten Schaltelementes findet die Kommutierung des Laststroms von dem zweiten Schaltelement auf das erste Schaltelement, bevorzugt von der intrinsischen oder antiparallel geschalteten Diode des zweiten Schaltelementes auf das erste Schaltelement, statt. Nach dem Schließen des ersten Schaltelementes wird bevorzugt der zweite Stromverlauf am zweiten Steuerkontakt wieder entsprechend des geöffneten Zustands des zweiten Schaltelementes vor dem Schließen des ersten Schaltelementes eingestellt.

[0005] Aufgrund der Variation der Stromverläufe an den Steuerkontakten sowohl am ersten und am zweiten Schaltelement während des Schließens des ersten Schaltelementes werden vorteilhaft die elektromagnetischen Emissionen und die Schaltverluste minimiert.

Vorteilhaft werden während des Schließens des ersten Schaltelementes auftretende hochfrequente Überspannungen am zweiten Schaltelement minimiert und deren Amplitude reduziert. Vorteilhaft erfolgt ein sicheres Schließen des ersten Schaltelementes bei minimierten elektromagnetischen Emissionen, bevorzugt des zweiten Schaltelementes.

[0006] In einer anderen Ausgestaltung der Erfindung umfasst der Stromwandler einen Datenspeicher. Der Datenspeicher umfasst ein Kennfeld, wobei in dem Kennfeld Variationen des ersten und des zweiten Stromverlaufs unterschiedlichen Werten des Parameters zugeordnet sind. Das Ermitteln einer ersten Variation des ersten Stromverlaufs und einer zweiten Variation des zweiten Stromverlaufs in Abhängigkeit des Parameters umfasst ein Auswählen einer ersten Variation des ersten Stromverlaufs und einer zweiten Variation des zweiten Stromverlaufs aus dem Kennfeld in Abhängigkeit des Wertes des eingelesenen Parameters.

[0007] Es wird ein Verfahren zur Ansteuerung eines ersten und eines zweiten Schaltelementes einer Halbbrücke in einem Stromwandler bereitgestellt, wobei der Stromwandler einen Datenspeicher umfasst. Dies ist beispielsweise ein Speicherchip. In dem Datenspeicher ist ein Kennfeld abgespeichert. Das Kennfeld umfasst sowohl eine Vielzahl an Stromverläufen als auch eine Vielzahl an Werten mindestens eines Parameters, wobei die Stromverläufe unterschiedlichen Werten des mindestens eines Parameters zugeordnet sind. Bevorzugt werden die Zusammenhänge zwischen den Stromverläufen und den Parametern und die Zuordnung zueinander mittels einer Kalibration des Stromwandlers im Vorfeld des Betriebs empirisch ermittelt. In Abhängigkeit des ermittelten oder eingelesenen Wertes des Parameters wird anhand der Zuordnung eine erste Variation des ersten Stromverlaufs und eine zweite Variation des zweiten Stromverlaufs aus dem Kennfeld ausgewählt.

[0008] Vorteilhaft wird eine Möglichkeit bereitgestellt, in Abhängigkeit des eingelesenen Parameters eine Variation des Stromverlaufs zu ermitteln.

[0009] In einer anderen Ausgestaltung der Erfindung umfasst der Stromwandler ein Modell des ersten und/ oder zweiten Schaltelementes. Das Ermitteln einer ersten Variation des ersten Stromverlaufs und einer zweiten Variation des zweiten Stromverlaufs in Abhängigkeit des Parameters umfasst das Ermitteln einer ersten Variation des Stromverlaufs und einer zweiten Variation des zweiten Stromverlaufs mittels des Modells in Abhängigkeit des Wertes des eingelesenen Parameters umfasst.

[0010] Es wird ein Verfahren zur Ansteuerung eines ersten und eines zweiten Schaltelementes einer Halbbrücke in einem Stromwandler bereitgestellt, wobei der Stromwandler ein Modell, des ersten und/ oder zweiten Schaltelementes, bevorzugt der Halbbrücke, umfasst. Bevorzugt beschreibt das Modell, beispielsweise ein mathematisches oder physikalisches Modell, die elektronischen Zusammenhänge der Schaltelemente mittels mathematischen und oder physikalischen Formeln, auch in Abhängigkeit

eines Wertes des mindestens einen Parameters. Bevorzugt wird alternativ zur Bestimmung der ersten und zweiten Variation in Abhängigkeit des Parameters ein trainiertes neuronales Netz verwendet oder ein Machine Learning System. Bevorzugt wird das neuronale Netz oder das Machine Learning System mittels einer Anbindung an eine Internet-Cloud über die Laufzeit des Stromwandlers mit Daten anderer Stromwandler trainiert und adaptiert. Das Ermitteln einer ersten Variation des Stromverlaufs und einer zweiten Variation des zweiten Stromverlaufs erfolgt mittels des Modells in Abhängigkeit des Wertes des Parameters.

[0011] Vorteilhaft wird eine Möglichkeit bereitgestellt, in Abhängigkeit des Parameters eine Variation des Stromverlaufs zu ermitteln.

[0012] In einer anderen Ausgestaltung der Erfindung umfasst das Einstellen der ersten Variation des ersten Stromverlaufs mittels dem ersten Gate-Treiber zum Schließen des ersten Schaltelementes ein Ansteigen der Spannung am ersten Steuerkontakt. Das Einstellen der zweiten Variation des zweiten Stromverlaufs mittels dem zweiten Gate-Treiber während des Schließens des ersten Schaltelementes umfasst ein zeitlich begrenztes Variieren am zweiten Steuerkontakt, insbesondere einer Amplitude, einer Grundform, einer Pulsbreite, der Höhe eines konstanten Stromverlaufs, während des Ansteigens der Spannung am ersten Steuerkontakt, insbesondere innerhalb des Zeitraums, indem die Spannung am ersten Steuerkontakt von einem ersten Spannungswert auf einen zweiten Spannungswert ansteigt.

[0013] Es wird ein Verfahren bereitgestellt, bei dem das Einstellen der ersten Variation des ersten Stromverlaufs mittels dem ersten Gate-Treiber zum Schließen des ersten Schaltelementes ein Ansteigen der Spannung am ersten Steuerkontakt umfasst oder bewirkt. Das Einstellen der zweiten Variation des zweiten Stromverlaufs mittels dem zweiten Gate-Treiber während des Schließens des ersten Schaltelementes umfasst dabei ein zeitlich begrenztes Variieren des Stromverlaufs am zweiten Steuerkontakt während des Ansteigens der Spannung am ersten Steuerkontakt. Bevorzugt bedeutet zeitlich begrenzt, dass ein im Vorfeld konstanter Stromverlauf zur Beibehaltung des geöffneten Schaltzustandes des zweiten Schaltelementes erst nach beginnendem Ansteigen der Spannung am ersten Steuerkontakt variiert wird. Vor Erreichen des für den geschlossenen Schaltzustand des ersten Schaltelementes notwendigen Spannungswertes, der anschließend zur Beibehaltung des geschlossenen Schaltzustandes des ersten Schaltelementes beibehalten wird, wird die zweite Variation des zweiten Stromverlaufs beendet und wieder der konstante Stromverlauf zur Beibehaltung des geöffneten

Schaltzustandes des zweiten Schaltelementes eingestellt, der auch bereits vor der zeitlich begrenzten zweiten Variation eingestellt war. Anders beschrieben bedeutet zeitlich begrenzt bevorzugt, dass die zweite Variation innerhalb des Zeitraums ausgeführt wird, indem die Spannung am ersten Steuerkontakt von einem ersten Spannungswert, bei dem das erste Schaltelement geöffnet ist, auf einen zweiten Spannungswert, bei dem das erste Schaltelement geschlossen ist, ansteigt. Bevorzugt wird vor und nach dem zeitlich begrenzten Zeitraum an dem zweiten Steuerkontakt ein, bevorzugt konstanter, Stromverlauf zur Beibehaltung des geöffneten Schaltzustands eingestellt. Bevorzugt umfasst die zweite Variation eine Änderung einer Amplitude, einer Grundform, einer Pulsbreite, der Höhe eines konstanten Stromverlaufs. Bevorzugt wird mittels Änderung der Amplitude die Höhe der die elektromagnetischen Emissionen anregende Größe beeinflusst. Bevorzugt wird mittels Änderung der Grundform die elektromagnetische Emission beeinflusst. Die Grundform kann eine beliebige Form, bevorzugt eine konstante Stromhöhe, eine Trapez-, Sägezahn-, Dreieck- und oder Sinusform, umfassen. Bevorzugt wird mittels Änderung der Pulsbreite die Dauer der Dämpfung der die elektromagnetischen Emissionen anregenden Größe beeinflusst.

[0014] Vorteilhaft werden ein Zeitbereich für ein besonders effektives Beeinflussen der elektromagnetischen Eigenschaften, bevorzugt des zweiten Schaltelementes, während des Schließens des ersten Schaltelementes und mögliche Beeinflussungsvarianten bereitgestellt.

[0015] In einer anderen Ausgestaltung der Erfindung umfasst das Einstellen der ersten Variation des ersten Stromverlaufs mittels dem ersten Gate-Treiber zum Schließen des ersten Schaltelementes ein Ansteigen der Spannung am ersten Steuerkontakt. Das Einstellen der zweiten Variation des zweiten Stromverlaufs mittels dem zweiten Gate-Treiber während des Schließens des ersten Schaltelementes umfasst ein zeitlich begrenztes Erhöhen der Impedanz oder der Spannung am zweiten Steuerkontakt während des Ansteigens der Spannung am ersten Steuerkontakt, insbesondere innerhalb des Zeitraums, indem die Spannung am ersten Steuerkontakt von einem ersten Spannungswert auf einen zweiten Spannungswert ansteigt.

[0016] Es wird ein Verfahren bereitgestellt, bei dem das Einstellen der ersten Variation des ersten Stromverlaufs mittels dem ersten Gate-Treiber zum Schließen des ersten Schaltelementes ein Ansteigen der Spannung am ersten Steuerkontakt umfasst oder bewirkt. Das Einstellen der zweiten Variation des zweiten Stromverlaufs mittels dem zweiten Gate-Treiber während des Schließens des ersten Schaltelementes umfasst dabei ein zeitlich begrenztes

Erhöhen der Impedanz oder der Spannung am zweiten Steuerkontakt. Bevorzugt bedeutet zeitlich begrenzt, dass ein im Vorfeld konstanter Stromverlauf zur Beibehaltung des geöffneten Schaltzustandes am zweiten Steuerkontakt des zweiten Schaltelementes erst nach beginnendem Ansteigen der Spannung am ersten Steuerkontakt variiert wird. Vor Erreichen des für den geschlossenen Schaltzustand des ersten Schaltelementes notwendigen Spannungswertes, der anschließend zur Beibehaltung des geschlossenen Schaltzustands des ersten Schaltelementes beibehalten wird, wird die zweite Variation des zweiten Stromverlaufs am zweiten Steuerkontakt beendet und wieder der konstante Stromverlauf zur Beibehaltung des geöffneten Schaltzustandes am zweiten Steuerkontakt eingestellt, der auch bereits vor der zeitlich begrenzten zweiten Variation eingestellt war. Anders beschrieben bedeutet zeitlich begrenzt bevorzugt, dass die zweite Variation innerhalb des Zeitraums ausgeführt wird, indem die Spannung am ersten Steuerkontakt von einem ersten Spannungswert, bei dem das erste Schaltelement geöffnet ist, auf einen zweiten Spannungswert, bei dem das erste Schaltelement geschlossen ist, ansteigt. Bevorzugt wird vor und nach dem zeitlich begrenzten Zeitraum an dem zweiten Steuerkontakt ein, bevorzugt konstanter, Stromverlauf zur Beibehaltung des geöffneten Schaltzustands eingestellt. Bevorzugt wird zeitlich begrenzt ein geänderter zweiter Stromverlauf am zweiten Steuerkontakt des zweiten Schaltelementes eingestellt, wodurch der durch die Drain-Gate, Collector-Gate oder Miller- Kapazität fließende Strom so gezielt eingestellt wird, dass die Gate Source Kapazität und damit das Gate derart aufgesteuert wird, dass die ansonsten auftretenden hochfrequenten Transienten gesteuert bedämpft werden und die Sperrspannung mit einem geringeren du/dt aufgenommen wird.

[0017] Vorteilhaft werden ein Zeitbereich für ein besonders effektives Minimieren der elektromagnetischen Emissionen während des Schließens des ersten Schaltelementes und eine hierfür geeignete Variation des Stromverlaufs am zweiten Steuerkontakt des zweiten Schaltelementes bereitgestellt.

[0018] In einer anderen Ausgestaltung der Erfindung wird der Stromverlauf an dem zweiten Steuerkontakt des zweiten Schaltelementes erfasst während des Schließens des ersten Schaltelementes. In Abhängigkeit des erfassten Stromverlaufes an dem zweiten Steuerkontakt, stellt der zweite Gate-Treiber, mittels Einstellen einer dritten Spannung und oder einer dritten Impedanz, einen dritten Stromverlauf am zweiten Steuerkontakt des zweiten Schaltelementes ein, der ein Schließen des zweiten Schaltelementes verhindert.

[0019] Es wird ein Verfahren bereitgestellt, bei dem der Stromverlauf an dem zweiten Steuerkontakt des zweiten Schaltelementes erfasst wird während des Schließens des ersten Schaltelementes. Der Strom wird beispielweise mittels einer Strommesseinrichtung am zweiten Steuerkontakt erfasst. Bevorzugt wird mittels eines Shunts, einem Analog-Digital-Wandler und oder einem Stromspiegel der Strom ermittelt. In Abhängigkeit des erfassten Stromverlaufes an dem zweiten Steuerkontakt, stellt der zweite Gate-Treiber, mittels Einstellen einer dritten Spannung und oder einer dritten Impedanz, einen dritten Stromverlauf am zweiten Steuerkontakt des zweiten Schaltelementes ein. Dieser dritte Stromverlauf ersetzt, bevorzugt für den verbleibenden Zeitraum der zweiten Variation, in diesem Fall die zweite Variation des zweiten Stromverlaufes und verhindert ein Schließen des zweiten Schaltelementes während des Schließens des ersten Schaltelementes. Bevorzugt wird hierzu als dritte Impedanz eine kleinere Impedanz oder als dritte Spannung eine geringere oder negativere Spannung als bei der zweiten Variation des zweiten Stromverlaufes eingestellt.

[0020] Vorteilhaft werden Verfahrensschritte bereitgestellt, die in einem Fehlerfall einen ungewollten Kurzschluss vermeiden. Bevorzugt wird während des Schließens des ersten Schaltelementes ein besonders effektives Minimieren der elektromagnetischen Emissionen des zweiten Schaltelementes gewährleistet.

[0021] Ferner betrifft die Erfindung einen Stromwandler mit einer Halbbrücke mit einem ersten und einem zweiten Schaltelement, wobei der Stromwandler einen Eingangsanschluss zum Anschließen einer Gleichspannungsquelle, einen Ausgangsanschluss zum Anschließen einer Last parallel zum zweiten Schaltelement der Halbbrücke, einen ersten Gate-Treiber zum Ansteuern des ersten Schaltelementes und einen zweiten Gate-Treiber zum Ansteuern des zweiten Schaltelementes umfasst. Ein Ansteuern umfasst das Beibehalten eines Schaltzustandes, das Schließen oder das Öffnen eines Schaltelementes. Das erste und das zweite Schaltelement sind in Reihe zwischen die Potentiale des Eingangsanschlusses geschaltet. Ein Zwischenabgriff zwischen dem ersten und dem zweiten Schaltelement ist mit dem Ausgangsanschluss verbunden. Der erste Gate-Treiber stellt, bevorzugt mittels Einstellen eines ersten Stromes, einer ersten Spannung und oder einer ersten Impedanz an einem ersten Steuerkontakt des ersten Schaltelementes, einen ersten Stromverlauf am ersten Steuerkontakt ein zur Ansteuerung des ersten Schaltelementes. Der zweite Gate-Treiber stellt, bevorzugt mittels Einstellen eines zweiten Stromes, einer zweiten Spannung und oder einer zweiten Impedanz an einem zweiten Steuerkontakt des zweiten Schaltelementes, einen zweiten Stromverlauf am

zweiten Steuerkontakt ein zur Ansteuerung des zweiten Schaltelementes. Während eines Betriebs des Stromwandlers werden fortlaufend wiederholend das erste Schaltelement geschlossen und geöffnet und anschließend das zweite Schaltelement geschlossen und geöffnet, sodass an dem Ausgangsanschluss abwechselnd eines der Potentiale des Eingangsanschlusses anliegt. Bevorzugt sind das erste und das zweite Schaltelement geöffnet. Der Stromwandler ist dazu eingerichtet, einen Parameter einzulesen, der einen Arbeitspunkt der Halbbrücke charakterisiert. Der Stromwandler ist dazu eingerichtet, eine erste Variation des ersten Stromverlaufs in Abhängigkeit des Parameters zu ermitteln und die erste Variation des ersten Stromverlaufs mittels dem ersten Gate-Treiber am ersten Steuerkontakt zum Schließen des ersten Schaltelementes einzustellen. Weiter ist der Stromwandler dazu eingerichtet, eine zweite Variation des zweiten Stromverlaufs in Abhängigkeit des Parameters zu ermitteln und die zweite Variation des zweiten Stromverlaufs mittels dem zweiten Gate-Treiber am zweiten Steuerkontakt während des Schließens des ersten Schaltelementes einzustellen.

[0022] Die obigen Erläuterungen zu den Begriffen bezüglich des Verfahrens gelten auch für gleichlautende Begriffe des Stromwandlers und umgekehrt.

[0023] Vorteilhaft wird ein Stromwandler bereitgestellt, bei dem, während des Schließens eines ersten Schaltelementes einer Halbbrücke, auftretende hochfrequente Überspannungen am zweiten Schaltelement minimiert werden und deren Frequenz reduziert wird. Vorteilhaft erfolgt ein sicheres Schließen des ersten Schaltelementes bei minimierten elektromagnetischen Emissionen, bevorzugt des zweiten Schaltelementes.

[0024] Ferner betrifft die Erfindung einen Antriebsstrang mit einem Stromwandler und insbesondere mit einer Traktionsbatterie als Gleichspannungsquelle und/ oder einer Phase oder Wicklung einer elektrischen Maschine als Last. Ein derartiger Antriebsstrang dient beispielsweise dem Antrieb eines elektrischen Fahrzeugs. Mittels des Verfahrens und des Stromwandlers wird ein sicherer Betrieb und elektromagnetisch emissionsarmer Betrieb des Antriebsstrangs ermöglicht.

[0025] Ferner betrifft die Erfindung ein Fahrzeug, mit einem beschriebenen Antriebsstrang. Vorteilhaft wird somit ein Fahrzeug bereitgestellt, welches einen Stromwandler umfasst, der einen sicheren Betrieb und elektromagnetisch emissionsarmer Betrieb des Fahrzeugs ermöglicht.

[0026] Ferner betrifft die Erfindung ein Computerprogramm, umfassend Befehle, die bewirken, dass

der Stromwandler das beschriebene Verfahren ausführt.

[0027] Ferner betrifft die Erfindung ein computerlesbares Medium, umfassend Befehle, die bei der Ausführung durch einen Stromwandler die beschriebenen Verfahrensschritte ausführt.

[0028] Es versteht sich, dass die Merkmale, Eigenschaften und Vorteile des erfindungsgemäßen Verfahrens entsprechend auf den Stromwandler bzw. den Antriebsstrang und das Fahrzeug und umgekehrt zutreffen bzw. anwendbar sind.

[0029] Weitere Merkmale und Vorteile von Ausführungsformen der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung mit Bezug auf die beigefügten Zeichnungen.

Figurenliste

[0030] Im Folgenden soll die Erfindung anhand einiger Figuren näher erläutert werden, dazu zeigen:

Fig. 1 eine schematische Darstellung eines Stromwandlers mit einer Halbbrücke,

Fig. 2 schematische Spannung-, Strom- /Zeit - Diagramme, die einen qualitativen Spannungsverlauf an den Steuerkontakten der Schaltelemente und der Spannungen und Ströme an den Schaltelementen darstellen.

Fig. 3 schematische Spannung-, Strom- /Zeit - Diagramme, die einen alternativen qualitativen Spannungsverlauf an den Steuerkontakten der Schaltelemente und der Spannungen und Ströme an den Schaltelementen darstellen.

Fig. 4 ein schematisch dargestelltes Fahrzeug mit einem Antriebsstrang,

Fig. 5 ein schematisch dargestelltes Ablaufdiagramm für ein Verfahren zur Ansteuerung eines ersten und eines zweiten Schaltelementes einer Halbbrücke in einem Stromwandler.

Ausführungsformen der Erfindung

[0031] Die **Fig. 1** zeigt einen Stromwandler 100 mit einer Halbbrücke 110 mit einem ersten 120 und einem zweiten 140 Schaltelement. Beispielhaft sind die Anschlüsse der Schaltelemente mit G(Gate), D (Drain), S (Source) bezeichnet. Der Stromwandler 100 umfasst einen Eingangsanschluss 102 zum Anschließen einer Gleichspannungsquelle 104 und einen Ausgangsanschluss 106 zum Anschließen einer Last 108 parallel zum zweiten Schaltelement 140. Bei geschlossenem zweiten Schaltelement 140 ist die Last 108 kurzgeschlossen. Die Gleichspannungsquelle 104 ist beispielhaft als eine Batterie oder Traktionsbatterie dargestellt. Sie kann jedoch auch als eine beliebig andere Gleichspan-

nungsquelle, beispielsweise eine Brennstoffzelle, ausgestaltet sein. Bevorzugt ist entsprechend der Darstellung in der **Fig. 1** das positive Potential der Gleichspannungsquelle 104 an dem oberen Eingangsanschluss 102 und das negative Potential der Gleichspannungsquelle an dem unteren Eingangsanschluss 102 anschließbar, sodass das positive Potential der Gleichspannungsquelle 104 am ersten Schaltelement 120 und das negative Potential der Gleichspannungsquelle an dem zweiten Schaltelement 140 anschließbar ist. Bevorzugt sind entsprechend die intrinsischen Dioden oder die bevorzugt innerhalb der Halbbrücke zusätzlich zu den Schaltelementen 120, 140 antiparallel angeordneten Dioden in Sperrrichtung geschaltet, damit bei geöffneten Schaltern eine angeschlossene Gleichspannungsquelle 104 nicht kurzgeschlossen wird. Als Last 108 kann ein induktiver Verbraucher, beispielsweise eine Phase oder Wicklung einer mehrphasigen elektrischen Maschine, eine Drossel, aber auch eine Kombination einer induktiven Last mit einer ohmschen und/oder kapazitiven Last an dem Ausgangsanschluss 106 parallel zum zweiten Schaltelement 140 angeschlossen werden. Weiter umfasst der Stromwandler einen ersten Gate-Treiber 122 zum Ansteuern des ersten Schaltelementes 120 und einen zweiten Gate-Treiber 142 zum Ansteuern des zweiten Schaltelementes 140. Bevorzugt bezeichnet man als Gate-Treiber (MOSFET-Treiber, IGBT-Treiber oder Halbbrücken-Treiber) in der Elektronik, speziell der Leistungselektronik, eine diskrete oder integrierte elektronische Schaltung, welche Leistungsschalter, wie beispielsweise MOSFETs oder IGBTs, ansteuert. Bevorzugt beeinflusst der Gate-Treiber 122, 142, an einem Steuerkontakt G, 124, 144 eines Schaltelementes mittels einer Spannung oder eines Stromes den Schaltzustand des Schaltelementes. Bevorzugt steuern moderne Gate-Treiber oder integrierte Ansteuerschaltungen die Schaltelemente nicht mehr mit einfachen Spannungsmustern an, sondern nutzen je nach Arbeitspunkt beispielsweise einen vorgegebenen Stromverlauf. Bevorzugt kann mit solchen Stromverläufen sowohl für das Schließen wie auch das Öffnen einzelner Schaltelemente separat die Strom- wie auch die Spannungskommütierung eingestellt werden.

[0032] Das Ansteuern umfasst das Beibehalten eines Schaltzustandes, das Schließen oder das Öffnen eines Schaltelementes 120, 140. Das erste 120 und das zweite 140 Schaltelement sind in Reihe zwischen die Potentiale des Eingangsanschlusses 102 geschaltet. Ein Zwischenabgriff 107 ist zwischen dem ersten 120 und dem zweiten Schaltelement 140 mit dem Ausgangsanschluss 106 elektrisch verbunden. Entsprechend ist die Last 108 zwischen den Ausgangsanschluss 106 und einem Potential des Eingangsanschlusses 102, welches auch mit dem zweiten Schaltelement 140 verbunden ist, anschlie-

bar. Der erste Gate-Treiber 122 stellt, mittels Einstellen einer ersten Spannung und oder einer ersten Impedanz an einem ersten Steuerkontakt 124 des ersten Schaltelementes 120, einen ersten Stromverlauf am ersten Steuerkontakt 124 ein, zur Ansteuerung des ersten Schaltelementes 120. Bevorzugt kann das Einstellen einer Impedanz mittels einer schaltbaren Widerstandskombination erfolgen. Der zweite Gate-Treiber 142 stellt, mittels Einstellen einer zweiten Spannung und oder einer zweiten Impedanz an einem zweiten Steuerkontakt 144 des zweiten Schaltelementes 140, einen zweiten Stromverlauf am zweiten Steuerkontakt 144 ein zur Ansteuerung des zweiten Schaltelementes 140. Während des Betriebs des Stromwandlers 100 werden fortlaufend wiederholend das erste Schaltelement 120 geschlossen und geöffnet und anschließend das zweite Schaltelement 140 geschlossen und geöffnet, sodass an dem Ausgangsanschluss 106 abwechselnd eines der Potentiale des Eingangsanschlusses 102 anliegt. Weiter umfasst der Stromwandler 100 bevorzugt einen Datenspeicher 160 mit einem Kennfeld 162 und oder ein Modell 170. Der Stromwandler 100 ist dazu eingerichtet, einen Parameter P einzulesen, der einen Arbeitspunkt der Halbbrücke 110 charakterisiert. Weiter ist der Stromwandler 100 dazu eingerichtet, in Abhängigkeit des eingelesenen Parameters P, mittels dem Kennfeld 162 in dem Datenspeicher 160 und oder dem Modell 170 eine erste Variation des ersten Stromverlaufs und eine zweite Variation des zweiten Stromverlaufes zu ermitteln. Die erste Variation des ersten Stromverlaufs wird mittels dem ersten Gate-Treiber 122 am ersten Steuerkontakt 124 eingestellt zum Schließen des ersten Schaltelementes 120. Die zweite Variation des zweiten Stromverlaufs wird mittels dem zweiten Gate-Treiber 142 am zweiten Steuerkontakt 144 während des Schließens des ersten Schaltelementes 120 eingestellt.

[0033] Die **Fig. 2** zeigt aus dem Stand der Technik bekannte schematische Spannung-/ Strom-/Zeit - Diagramme. Im oberen Diagramm ist ein qualitativer Spannungsverlauf der Spannungen UG1, UG2 an den Steuerkontakten 124, 144 der Schaltelemente 120, 140 über vier zeitlich aufeinanderfolgende Phasen I, II, III und IV dargestellt. In dem unteren Diagramm ist ein zeitgleicher qualitativer Spannungsverlauf der Spannungen UDS1 und UDS2 über dem ersten und dem zweiten Schaltelement 120, 140 dargestellt. Die Spannung über dem jeweiligen Schaltelement ist bevorzugt jeweils die Spannung, die über den Anschlusskontakten Drain und Source oder Basis und Emitter anliegt. Zusätzlich ist der Strom ID1 durch das erste Schaltelement 120 und der Strom ID2 durch das zweite Schaltelement 140 dargestellt. Beginnend mit Phase I bis Phase IV wird das erste Schaltelement aus dem geöffneten Zustand in den geschlossenen Zustand überführt. Phase I startet zum Zeitpunkt t1, zu dem das Einstellen der ers-

ten Variation des ersten Stromverlaufs mittels dem ersten Gate-Treiber 122 am ersten Steuerkontakt 124 zum Schließen des ersten Schaltelementes 120 beginnt und folglich die Spannung UG1 am ersten Steuerkontakt 124 ansteigt. Phase II ab dem Zeitpunkt t_2 beschreibt die Zeitdauer zu der bereits die Stromkommutierung begonnen hat, also der Strom ID1 durch das erste Schaltelement 120 stark zunimmt und als Überschwinger sein Maximum erreicht bis zu dem Zeitpunkt t_3 , bei dem der Strom ID1 im Wesentlichen auf den Laststrom einschwingt und die Stromkommutierung endet. Gegenläufig dazu sinkt der Strom ID2 durch das zweite Schaltelement und erreicht mit der negativen Rückstromspitze sein Minimum um anschließend auf im Wesentlichen Null Ampere einzuschwingen. Phase III ab dem Zeitpunkt t_3 bis zum Zeitpunkt t_4 beschreibt die Zeitdauer ab dem Ende der Stromkommutierung. Die Spannungskommutierung hat bereits begonnen und endet mit dem Zeitpunkt t_4 . Folglich fällt in Phase III die Spannung UDS1 am ersten Schaltelement 120 ab. Am zweiten Schaltelement 140 steigt die Spannung entsprechend gegenläufig an. In Phase IV ab dem Zeitpunkt t_4 wird lediglich die Spannung UG1 am ersten Steuerkontakt 124 weiter angehoben gehalten zur Minimierung der Leitverluste des ersten Schaltelementes 120. Während des Betriebs des Stromwandlers 100 werden fortlaufend wiederholend das erste Schaltelement 120 geschlossen und geöffnet und anschließend das zweite Schaltelement 140 geschlossen und geöffnet, sodass an dem Ausgangsanschluss 108 abwechselnd eines der Potentiale des Eingangsanschlusses 102 anliegt. Bevorzugt vor und zu Beginn der Phase I sind die Spannungen UG1 am Gate des ersten Schaltelementes 120 und UG2 am Gate des zweiten Schaltelement 140 minimal. Dies resultiert aufgrund der Ansteuerung mittels der Gate-Treiber 122, 142 an den Steuerkontakten 124, 144. Entsprechend sind beide Schaltelemente 120 und 140 zu diesem Zeitpunkt geöffnet. Das bedeutet, dass die von beiden Gate-Treibern empfangenen digitalen Schaltsignale den Schaltzustand Offen vorgeben. Bevorzugt ist dabei das erste Schaltelement 120 hochohmig. Durch die Diode des zweiten Schaltelementes 140 fließt ein Laststrom, der Strom ID2. Dieses Verhalten bei diesem Schaltzustand ergibt sich bevorzugt aufgrund der transienten Vorgänge beim Betrieb der Halbbrücke bei einer angeschlossenen Last 108, bevorzugt einer induktiven Last, bevorzugt parallel zum zweiten Schaltelement 140. In **Fig. 1** ist das erste Schaltelement 120 einerseits mit dem hohen Potential der Gleichspannungsquelle 104 verbunden. Daher liegt eine hohe Spannung UDS1 über dem ersten Schaltelement 120 an. Das Potential am Zwischenabgriff 107 liegt auf niedrigem Potential, da durch die Diode des zweiten Schaltelementes 140 der Strom ID2 durch die Last 108 fließt. Innerhalb der Phase I stellt der erste Gate-Treiber 122 ab dem Zeitpunkt t_1 am ersten Steuerkontakt 124 zum Schließen

des ersten Schaltelementes 120 eine erste Variation des ersten Stromverlaufs ein, sodass ein Ansteigen der Spannung UG1 resultiert. Etwa in der Mitte der Phase II erreicht die Spannung UG1 das sogenannte Miller Plateau, welches bis etwa zur Mitte der Phase III andauert. In der zweiten Hälfte der Phase III nähert sich die Spannung UG1 an den höchsten Spannungswert an. Sodann ist das erste Schaltelement 120 geschlossen. In Phase IV, ab dem Zeitpunkt t_4 , wird der geschlossene Schaltzustand des ersten Schaltelementes 120 beibehalten. Bevorzugt bleibt die Spannung UG1 in der Phase IV konstant auf dem hohen Niveau oder dem höchsten Spannungswert und ändert sich nicht mehr, da bevorzugt auch der Stromverlauf am Steuerkontakt 124 konstant gehalten wird. Das zweite Schaltelement 140 der Halbbrücke 110 soll geöffnet bleiben, damit die Halbbrücke 110 nicht kurzgeschlossen wird. Daher wird der zweite Stromverlauf über die Phasen I, II, III, IV mittels dem zweiten Gate-Treiber 142 am zweiten Steuerkontakt 144 während des Schließens des ersten Schaltelementes 120 nicht verändert oder variiert. Die resultierende Spannung UG2 bleibt folglich über den betrachteten Zeitraum konstant. Im unteren Diagramm ist der resultierende Spannungsverlauf UDS1 über dem ersten Schaltelement 120 und der resultierende Spannungsverlauf UDS2 über dem zweiten Schaltelement 140 dargestellt. Mit dem Ansteigen der Spannung UG1 beginnt ab dem Erreichen der Schaltschwelle des ersten Schaltelementes 120 in der Phase I die Spannung UDS1 über dem ersten Schaltelement 120, aufgrund des Schließens des ersten Schaltelementes 120 aufgrund des Kommutierens des Stromes ID2 vom zweiten Schaltelement 140 auf das erste Schaltelement 140, zu fallen. Ab der Mitte der Phase II und dem Erreichen des Maximums des Stroms ID1 durch das erste Schaltelement 120 fällt die Spannung UDS1 am ersten Schaltelement 120 konstant ab, da die Spannungskommutierung am ersten Schaltelement 120 stattfindet. Der Strom ID1 durch das erste Schaltelement 120 erreicht sein Maximum, wenn der Strom ID2 durch die Diode des zweiten Schaltelementes 140 sein Minimum erreicht, die sogenannte Rückstromspitze. Gegen Ende der Phase III erreicht die Spannung UDS1 das niedrigste Niveau, ungefähr 0 Volt. Der Schalter ist nun geschlossen. Ein minimaler Spannungsabfall resultiert durch den fließenden Strom ID1 durch das geschlossene erste Schaltelement 120 und dessen Widerstand. Während des Abfalls der Spannung UDS1 wächst die Spannung UDS2 über dem zweiten Schaltelement 140 an. Ein starker Anstieg der Spannung UDS2 erfolgt ab der Mitte der Phase II, mit Erreichen des maximalen Stroms ID1 durch das erste Schaltelement 120, da sich der Spannungskommutierung des ersten Schaltelementes 120 aufgrund der Diodeneigenschaften des zweiten Schaltelementes 140 eine zusätzliche Schwingung überlagert. Beim Schalten einer dem zweiten Schaltelement 140 parallel

geschalteten, bevorzugt induktiven, Last 108 mittels des ersten Schaltelementes 120 wird ein Freilaufpfad durch das zweite Schaltelement 140 für den resultierenden Laststrom benötigt. Dieser ergibt sich bevorzugt bei Schaltelementen mit intrinsischer Diodenstruktur. Bevorzugt kann ein solcher Freilaufpfad auch durch Anordnen einer antiparallelen Diode zu dem zweiten Schaltelement 140 bereitgestellt werden. Proportional zu der an der Last 108 anliegenden mittleren Spannung UDS2 stellt sich der Strom ID1 durch das erste Schaltelement 140 ein. Wird unter Last eingeschaltet, kommutiert der Strom ID2 von der Diode oder Freilaufdiode des zweiten Schaltelementes 140 auf das erste Schaltelement 120 ab. Im Bereich der Rückstromspitze der Diode nimmt diese die mittlere Spannung auf. In Abhängigkeit der Geschwindigkeit des Einschaltens des ersten Schaltelementes 120 und des inneren Aufbaus der Diode des zweiten Schaltelementes 140 erfolgt ein unterschiedlich schnelles Aufnehmen von Sperrspannung an der Freilaufdiode des zweiten Schaltelementes 140. Das hierbei entstehende du/dt kann das du/dt des Einschaltens des ersten Schaltelementes 120 auf Grund der Halbleitereigenschaften der Freilaufdiode, ggf. erheblich, übersteigen. Aufgrund dieses hohen du/dt resultiert der dargestellte Spannungsverlauf UDS2 am zweiten Schaltelement 140 mit den großen und hochfrequenten Schwingungen, welche im Laufe der Phase III, zwischen den Zeitpunkten t_3 und t_4 , abklingen. Ab dem Zeitpunkt t_4 liegt die im Wesentlichen konstante Spannung UDS2 am zweiten Schaltelement 140 an, die vor Beginn des Schließens des ersten Schaltelementes 120 als Spannung UDS1 am ersten Schaltelement 120 anlag. Die hochfrequenten Schwingungen zwischen den Zeitpunkten t_2 und t_4 erzeugen starke elektromagnetische Emissionen. Diese elektromagnetischen Emissionen stören das gesamte elektrische System und sind daher zu minimieren. Die auftretenden hochfrequenten Überspannungen resultieren aus im Halbleiterverhalten begründeten Effekten, die während kurzzeitigen ungewollten leitenden Phasen des zweiten Schaltelementes während des Schließens des ersten Schaltelementes auftreten. Mittels einem langsameren Einschalten oder Schließen des ersten Schaltelementes 120 können die elektromagnetischen Störungen reduziert werden. Dies führt jedoch zu erhöhten Einschaltverlusten, die ebenfalls nicht erwünscht sind.

[0034] Die **Fig. 3** zeigt schematische Spannung-/Strom-/Zeit - Diagramme für ein Ausführungsbeispiel der Erfindung. Im Unterschied zu den bereits zu der **Fig. 2** erfolgten Erläuterungen wird der zweite Stromverlauf während der Phase II mittels dem zweiten Gate-Treiber 142 am zweiten Steuerkontakt 144 des zweiten Schaltelementes 140 während des Schließens des ersten Schaltelementes 120 variiert. Dabei wird eine zweite Spannung und oder eine zweite Impedanz am zweiten Steuerkontakt 144

des zweiten Schaltelementes 140 eingestellt zur Ansteuerung des zweiten Schaltelementes 140. Bevorzugt erfolgt die Einstellung des zweiten Stromverlaufs mittels dem zweiten Gate-Treiber 142 am zweiten Steuerkontakt 144 während des Schließens des ersten Schaltelementes 120 parallel zur Phase II, einem Zeitraum, zu dem die Stromkommutierung stattfindet und der Strom ID1 durch das erste Schaltelement 120 stark zunimmt und als Überschwinger sein Maximum erreicht bis zu einem Zeitpunkt, bei dem der Strom ID1 im Wesentlichen auf den Laststrom einschwingt und die Stromkommutierung endet, wobei gegenläufig dazu der Strom ID2 durch das zweite Schaltelement sinkt und mit der negativen Rückstromspitze sein Minimum erreicht um anschließend auf im Wesentlichen Null Ampere einzuschwingen. Bevorzugt erfolgt die Variation des zweiten Stromverlaufs mittels dem zweiten Gate-Treiber 142 am zweiten Steuerkontakt 144 mindestens vor Beginn des Miller-Plateaus oder vor dem Erreichen des Maximums des Stroms ID1 durch das erste Schaltelement 120. Bevorzugt erfolgt die Variation des zweiten Stromverlaufs mittels dem zweiten Gate-Treiber 142 am zweiten Steuerkontakt 144 mindestens bis der Strom ID1 nach Abklingen des Maximums wieder einen konstanten Wert angenommen hat oder bis der Strom ID2 nach dem Passieren der Rückstromspitze der Diode wieder einen konstanten Wert angenommen hat. Bevorzugt wird der zweite Stromverlauf am Steuerkontakt 144 so variiert, dass sich ein Spannungsverlauf UG2, wie in **Fig. 3** dargestellt, ergibt. Bevorzugt wird die Höhe des zweiten Stromverlauf am Steuerkontakt 144 so eingestellt oder geregelt, dass eine geänderte Spannung UDS2 resultiert, deren Spannungsanstieg du/dt deutlich gedämpft oder abgeschwächt ist, im Vergleich zu der Spannung UDS2 aus **Fig. 2**. Bevorzugt erfolgt abhängig von den Eigenschaften sowohl des ersten als auch des zweiten Schaltelementes 120, 140 und bevorzugt abhängig von der Größe der Last 108, eine Variation des zweiten Stromverlaufs, sodass unterschiedliche und in Höhe und Form einstellbare Spannungen UG2 resultieren. Bevorzugt werden diese Eigenschaften oder der Arbeitspunkt mittels des Parameters P eingelesen. Bevorzugt resultiert in Phase II eine Spannung UG2, deren Spannungsniveau höher ist als in den Phasen I, III und IV. Bei einer entsprechenden Ansteuerung bleibt der resultierende Spannungsverlauf UDS1 über dem ersten Schaltelement unverändert zu dem in **Fig. 2**. Dabei steigt die Spannung UDS2 mit weniger Schwingungen an. Dies führt vorteilhaft zu geringeren elektromagnetischen Emissionen. Bevorzugt resultiert ein idealer Verlauf der Spannung UDS2, wenn die zweite Variation des zweiten Stromverlaufs mittels dem zweiten Gate-Treiber 142 am zweiten Steuerkontakt 144 derart eingestellt wird, dass sich während der Phase II eine erhöhte Spannung UG2 am Gate des zweiten Schaltelementes 140 im Vergleich zu der Spannung UG2 in Phase I und Phase

III ergibt. Bevorzugt kann aufgrund der geringeren elektromagnetischen Emissionen eine zeitlich schnellere Spannungskommütierung der Spannung UDS1 am ersten Schaltelement 120 erfolgen.

[0035] Die **Fig. 4** zeigt ein schematisch dargestelltes Fahrzeug 300 mit einem Antriebsstrang 200. Die Darstellung zeigt beispielhaft ein Fahrzeug 300 mit vier Rädern 302, wobei die Erfindung gleichermaßen in beliebigen Fahrzeugen mit einer beliebigen Anzahl an Rädern zu Lande, zu Wasser und in der Luft einsetzbar ist.

[0036] Der Antriebsstrang 200 umfasst bevorzugt einen Stromwandler 100 mit einer Traktionsbatterie als Gleichspannungsquelle 104 und oder einer elektrischen Maschine als Last 108.

[0037] Die **Fig. 5** zeigt einen schematischen Ablauf eines Verfahrens 400 zur Ansteuerung eines ersten 120 und eines zweiten 140 Schaltelementes einer Halbbrücke 110 in einem Stromwandler 100. Mit Schritt 405 startet das Verfahren. In Schritt 410 wird mindestens ein Parameter P eingelesen, der einen Arbeitspunkt der Halbbrücke 110 charakterisiert. In Schritt 420 wird eine erste Variation des ersten Stromverlaufs in Abhängigkeit des Parameters P ermittelt. In Schritt 422 wird eine zweite Variation des zweiten Stromverlaufs in Abhängigkeit des Parameters P ermittelt. In Schritt 430 wird die erste Variation des ersten Stromverlaufs mittels dem ersten Gate-Treiber 122 am ersten Steuerkontakt 124 zum Schließen des ersten Schaltelementes 120 eingestellt. In Schritt 432 wird die zweite Variation des zweiten Stromverlaufs mittels dem zweiten Gate-Treiber 142 am zweiten Steuerkontakt 144 während des Schließens des ersten Schaltelementes eingestellt. Bevorzugt wird in einem Schritt 440, bevorzugt parallel zu den anderen Verfahrensschritten, der Stromverlauf an dem zweiten Steuerkontakt 144 des zweiten Schaltelementes 140 erfasst während des Schließens des ersten Schaltelementes 120. In Abhängigkeit des erfassten Stromverlaufes an dem zweiten Steuerkontakt 144, stellt der zweite Gate-Treiber 142, mittels Einstellen einer dritten Spannung und oder einer dritten Impedanz, einen dritten Stromverlauf am zweiten Steuerkontakt 144 des zweiten Schaltelementes 140 ein, der ein Schließen des zweiten Schaltelementes 140 verhindert. Mit Schritt 495 endet das Verfahren.

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

Zitierte Patentliteratur

- DE 102010043109 A1 [0002]

Patentansprüche

1. Verfahren (400) zur Ansteuerung eines ersten (120) und eines zweiten (140) Schaltelementes einer Halbbrücke (110) in einem Stromwandler (100),

wobei das Ansteuern das Beibehalten eines Schaltzustandes, das Schließen oder das Öffnen eines Schaltelementes (120, 140) umfasst,

wobei der Stromwandler (100) einen Eingangsanschluss (102) zum Anschließen einer Gleichspannungsquelle (104), einen Ausgangsanschluss (106) zum Anschließen einer Last (108) parallel zum zweiten Schaltelement (140) der Halbbrücke (110), einen ersten Gate-Treiber (122) zum Ansteuern des ersten Schaltelementes (120) und einen zweiten Gate-Treiber (142) zum Ansteuern des zweiten Schaltelementes (140) umfasst,

wobei das erste (120) und das zweite (140) Schaltelement in Reihe zwischen die Potentiale des Eingangsanschlusses (102) geschaltet sind und ein Zwischenabgriff (107) zwischen dem ersten (120) und dem zweiten (140) Schaltelement mit dem Ausgangsanschluss (106) verbunden ist,

wobei der erste Gate-Treiber (122), mittels Einstellen einer ersten Spannung und oder einer ersten Impedanz an einem ersten Steuerkontakt (124) des ersten Schaltelementes (120), einen ersten Stromverlauf am ersten Steuerkontakt (124) einstellt zur Ansteuerung des ersten Schaltelementes (120), wobei der zweite Gate-Treiber (142), mittels Einstellen einer zweiten Spannung und oder einer zweiten Impedanz an einem zweiten Steuerkontakt (144) des zweiten Schaltelementes (140), einen zweiten Stromverlauf am zweiten Steuerkontakt (144) einstellt zur Ansteuerung des zweiten Schaltelementes (140),

wobei während eines Betriebs des Stromwandlers (100) fortlaufend wiederholend das erste Schaltelement (120) geschlossen und geöffnet und anschließend das zweite Schaltelement (140) geschlossen und geöffnet werden, sodass an dem Ausgangsanschluss (106) abwechselnd eines der Potentiale des Eingangsanschlusses (102) anliegt,

mit den Schritten:

- Einlesen (410) mindestens eines Parameters, der einen Arbeitspunkt der Halbbrücke (110) charakterisiert,

- Ermitteln (420) einer ersten Variation des ersten Stromverlaufs in Abhängigkeit des Parameters,

- Einstellen (430) der ersten Variation des ersten Stromverlaufs mittels dem ersten Gate-Treiber (122) am ersten Steuerkontakt (124) zum Schließen des ersten Schaltelementes (120),

gekennzeichnet durch die Schritte:

- Ermitteln (422) einer zweiten Variation des zweiten Stromverlaufs in Abhängigkeit des Parameters,

- Einstellen (432) der zweiten Variation des zweiten Stromverlaufs mittels dem zweiten Gate-Treiber

(142) am zweiten Steuerkontakt (144) während des Schließens des ersten Schaltelementes (120).

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei der Stromwandler (100) einen Datenspeicher (160) umfasst, und der Datenspeicher (160) ein Kennfeld (162) umfasst, wobei in dem Kennfeld (162) Variationen des ersten und des zweiten Stromverlaufs unterschiedlichen Werten des Parameters zugeordnet sind, und wobei das Ermitteln einer ersten Variation des ersten Stromverlaufs und einer zweiten Variation des zweiten Stromverlaufs in Abhängigkeit des Parameters das Auswählen einer ersten Variation des ersten Stromverlaufs und einer zweiten Variation des zweiten Stromverlaufs aus dem Kennfeld (162) in Abhängigkeit des Wertes des eingelesenen Parameters umfasst.

3. Verfahren nach Anspruch 1, wobei der Stromwandler (100) ein Modell (170) des ersten (120) und/ oder zweiten (140) Schaltelementes umfasst, und wobei das Ermitteln (420, 422) einer ersten Variation des ersten Stromverlaufs und einer zweiten Variation des zweiten Stromverlaufs in Abhängigkeit des Parameters das Ermitteln (420, 422) einer ersten Variation des Stromverlaufs und einer zweiten Variation des zweiten Stromverlaufs mittels des Modells (170) in Abhängigkeit des Wertes des eingelesenen Parameters umfasst.

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das Einstellen (430) der ersten Variation des ersten Stromverlaufs mittels dem ersten Gate-Treiber (122) zum Schließen des ersten Schaltelementes (120) ein Ansteigen der Spannung am ersten Steuerkontakt (124) umfasst und das Einstellen (432) der zweiten Variation des zweiten Stromverlaufs mittels dem zweiten Gate-Treiber (144) während des Schließens des ersten Schaltelementes (120) ein zeitlich begrenztes Variieren, insbesondere einer Amplitude, einer Grundform, einer Pulsbreite, der Höhe eines konstanten Stromverlaufs, während des Ansteigens der Spannung am ersten Steuerkontakt (124) umfasst, insbesondere innerhalb des Zeitraums, indem die Spannung am ersten Steuerkontakt (124) von einem ersten Spannungswert auf einen zweiten Spannungswert ansteigt.

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das Einstellen (430) der ersten Variation des ersten Stromverlaufs mittels dem ersten Gate-Treiber (122) zum Schließen des ersten Schaltelementes (120) ein Ansteigen der Spannung am ersten Steuerkontakt (124) umfasst und das Einstellen (432) der zweiten Variation des zwei-

ten Stromverlaufs mittels dem zweiten Gate-Treiber (142) während des Schließens des ersten Schaltelementes (120) ein zeitlich begrenztes Erhöhen der Impedanz oder der Spannung am zweiten Steuerkontakt (144) während des Ansteigens der Spannung am ersten Steuerkontakt (124) umfasst, insbesondere innerhalb des Zeitraums, indem die Spannung am ersten Steuerkontakt (124) von einem ersten Spannungswert auf einen zweiten Spannungswert ansteigt.

6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche wobei der Stromverlauf an dem zweiten Steuerkontakt (144) des zweiten Schaltelementes (140) erfasst wird (440) während des Schließens des ersten Schaltelementes (120) und wobei in Abhängigkeit des erfassten Stromverlaufes an dem zweiten Steuerkontakt (144), der zweite Gate-Treiber (142), mittels Einstellen einer dritten Spannung und oder einer dritten Impedanz, einen dritten Stromverlauf am zweiten Steuerkontakt (144) des zweiten Schaltelementes (140) einstellt, der ein Schließen des zweiten Schaltelementes (140) verhindert.

7. Stromwandler(100) mit einer Halbbrücke (110) mit einem ersten (120) und einem zweiten (140) Schaltelement, wobei der Stromwandler (100) einen Eingangsanschluss (102) zum Anschließen einer Gleichspannungsquelle (104), einen Ausgangsanschluss (106) zum Anschließen einer Last (108) parallel zum zweiten Schaltelement (140) der Halbbrücke (110), einen ersten Gate-Treiber (122) zum Ansteuern des ersten Schaltelementes (120) und einen zweiten Gate-Treiber (142) zum Ansteuern des zweiten Schaltelementes (140) umfasst, wobei ein Ansteuern das Beibehalten eines Schaltzustandes, das Schließen oder das Öffnen eines Schaltelementes (120, 140) umfasst, wobei das erste (120) und das zweite (140) Schaltelement in Reihe zwischen die Potentiale des Eingangsanschlusses (102) geschaltet sind und ein Zwischenabgriff (107) zwischen dem ersten (120) und dem zweiten Schaltelement (140) mit dem Ausgangsanschluss (106) verbunden ist, wobei der erste Gate-Treiber (122), mittels Einstellen einer ersten Spannung und oder einer ersten Impedanz an einem ersten Steuerkontakt (124) des ersten Schaltelementes (120), einen ersten Stromverlauf am ersten Steuerkontakt (124) einstellt zur Ansteuerung des ersten Schaltelementes (120), wobei der zweite Gate-Treiber (142), mittels Einstellen einer zweiten Spannung und oder einer zweiten Impedanz an einem zweiten Steuerkontakt (144) des zweiten Schaltelementes (140), einen zweiten Stromverlauf am zweiten Steuerkontakt (144) einstellt zur Ansteuerung des zweiten Schaltelementes (140), wobei während eines Betriebs des Stromwandlers

(100) fortlaufend wiederholend das erste Schaltelement (120) geschlossen und geöffnet und anschließend das zweite Schaltelement (140) geschlossen und geöffnet werden, sodass an dem Ausgangsanschluss (106) abwechselnd eines der Potentiale des Eingangsanschlusses (102) anliegt, wobei der Stromwandler (100) dazu eingerichtet ist, - einen Parameter einzulesen, der einen Arbeitspunkt der Halbbrücke (110) charakterisiert, - eine erste Variation des ersten Stromverlaufs in Abhängigkeit des Parameters zu ermitteln, - die erste Variation des ersten Stromverlaufs mittels dem ersten Gate-Treiber (122) am ersten Steuerkontakt (124) zum Schließen des ersten Schaltelementes (120) einzustellen, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Stromwandler (100) dazu eingerichtet ist, - eine zweite Variation des zweiten Stromverlaufs in Abhängigkeit des Parameters zu ermitteln, - die zweite Variation des zweiten Stromverlaufs mittels dem zweiten Gate-Treiber (142) am zweiten Steuerkontakt (144) während des Schließens des ersten Schaltelementes (120) einzustellen.

8. Antriebsstrang (200) mit einem Stromwandler (100) gemäß Anspruch 7.

9. Fahrzeug (300) mit einem Antriebsstrang (200) nach Anspruch 8.

10. Computerprogramm, umfassend Befehle, die bewirken, dass der Stromwandler nach Anspruchs 7 die Verfahrensschritte nach Anspruch 1 bis 6 ausführt.

11. Computerlesbares Medium, umfassend Befehle, die bei der Ausführung durch einen Stromwandler nach Anspruch 7 diesen veranlassen, die Verfahrensschritte nach Anspruch 1 bis 6 auszuführen.

Es folgen 5 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

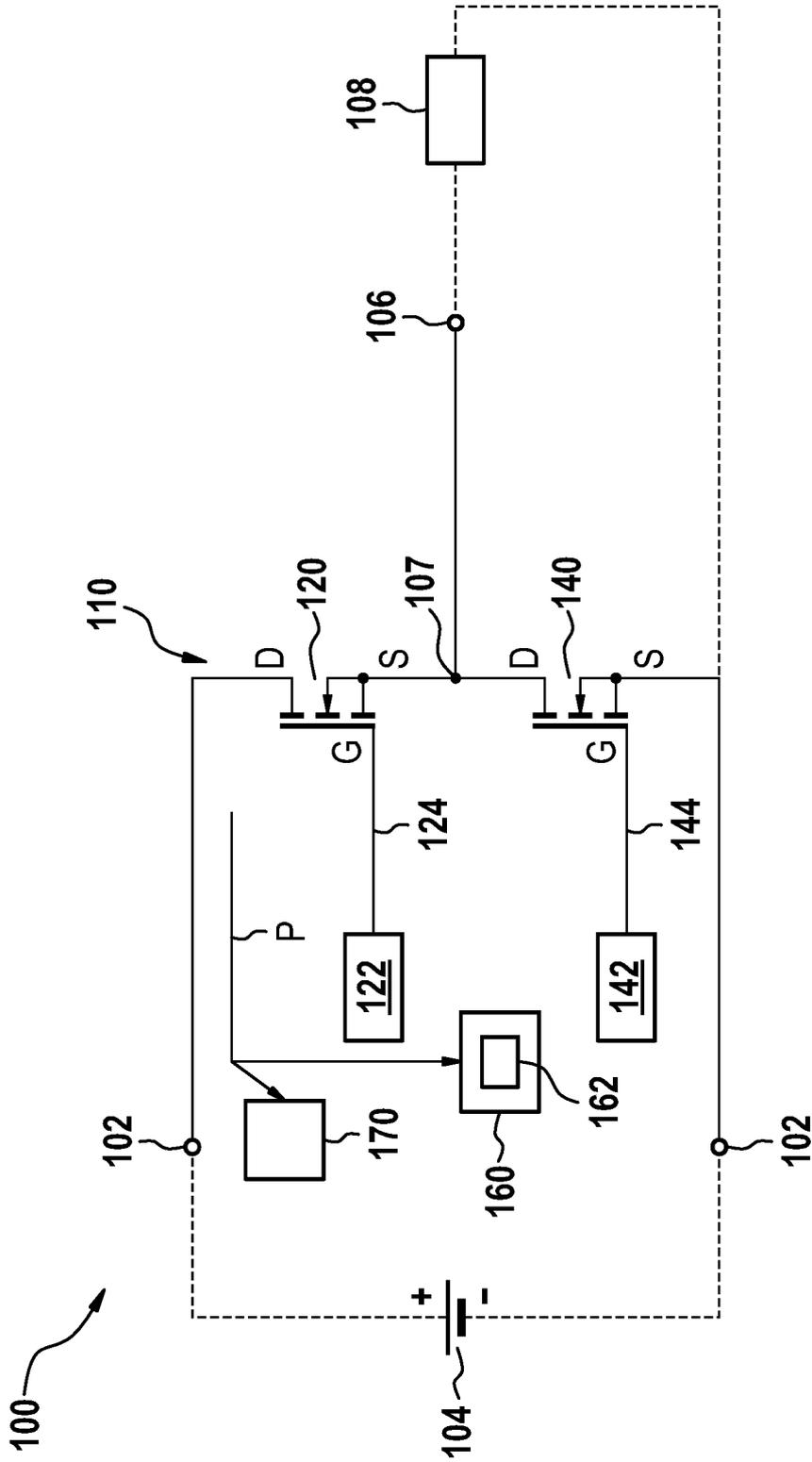


FIG. 1

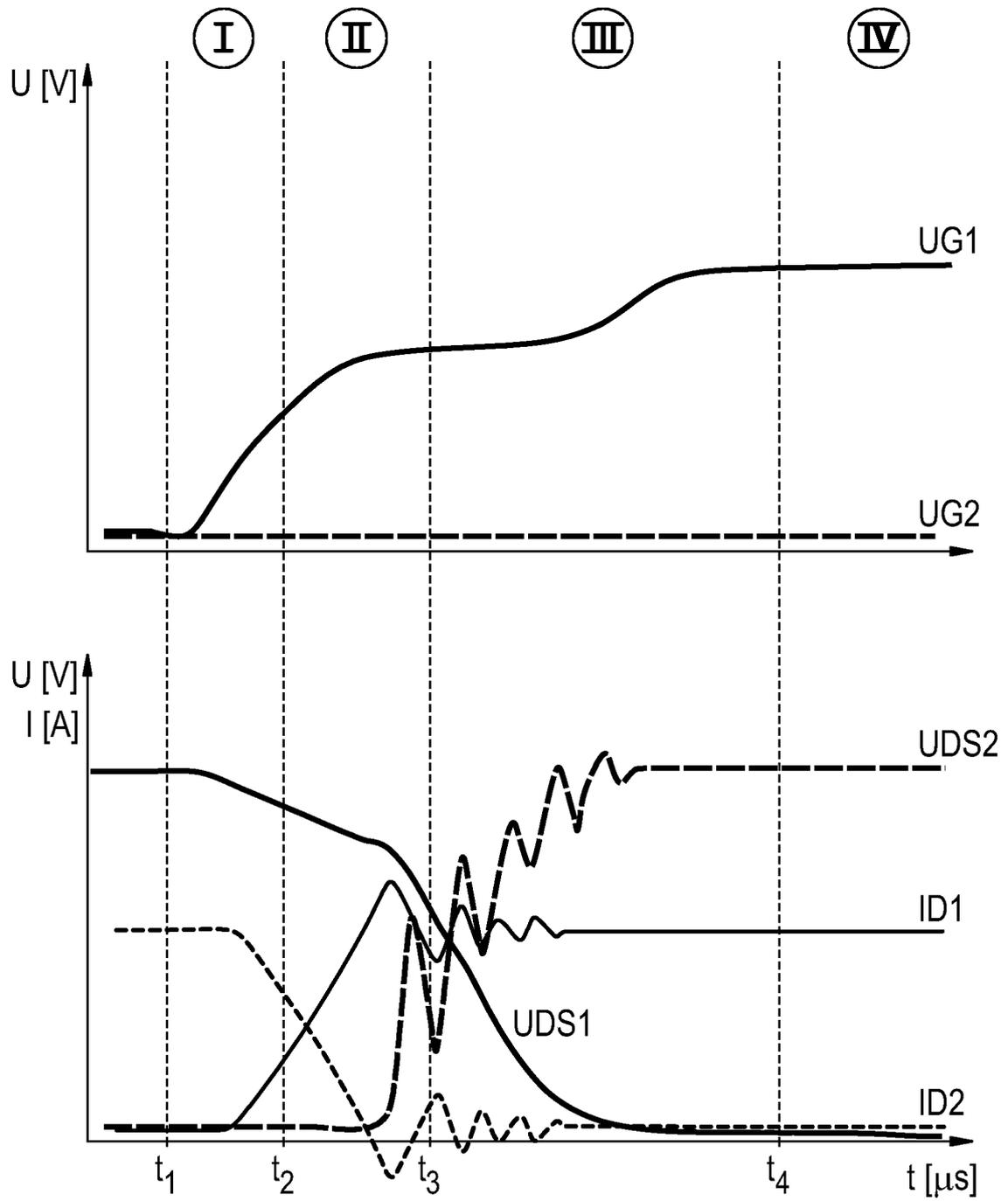


FIG. 2

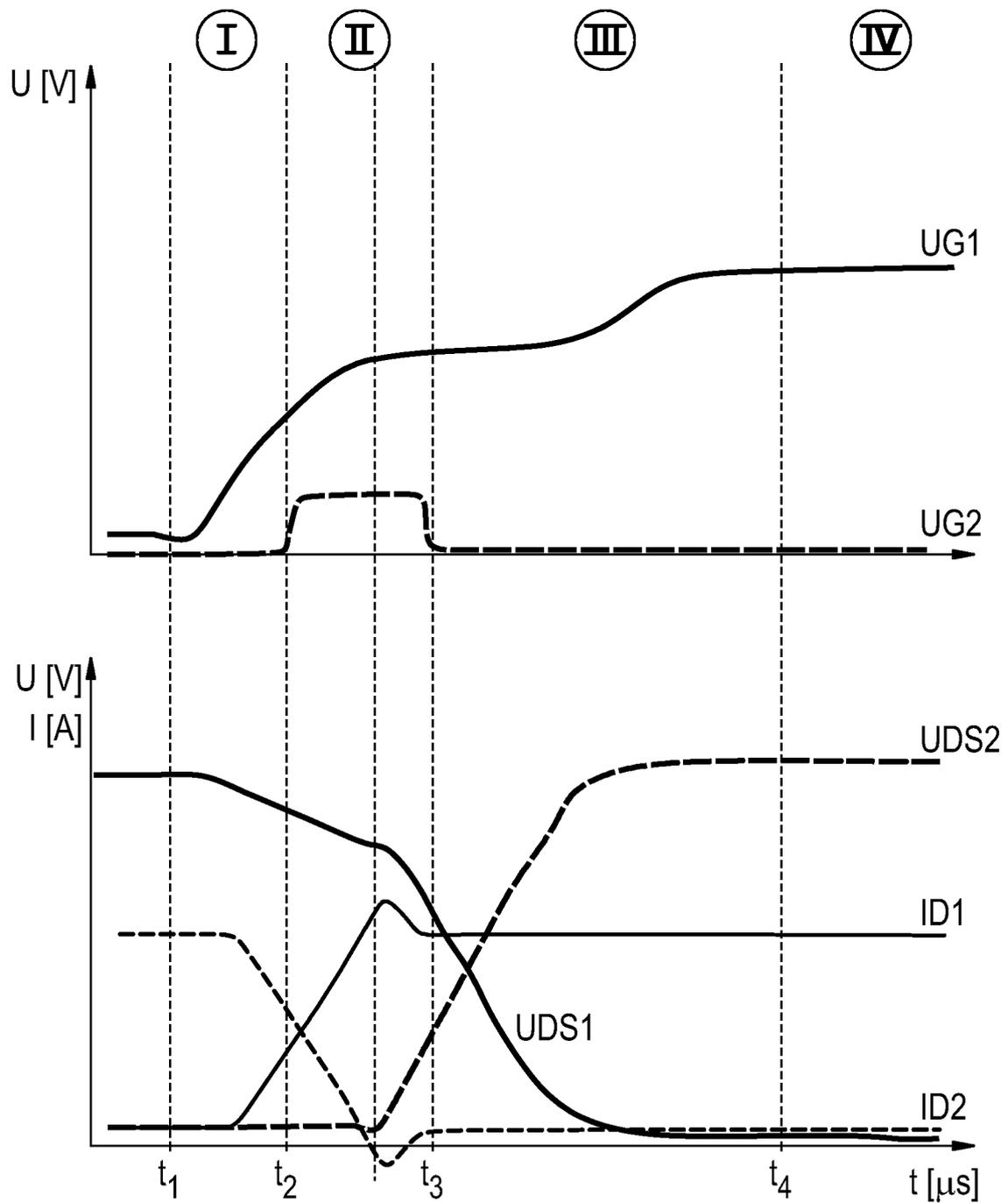


FIG. 3

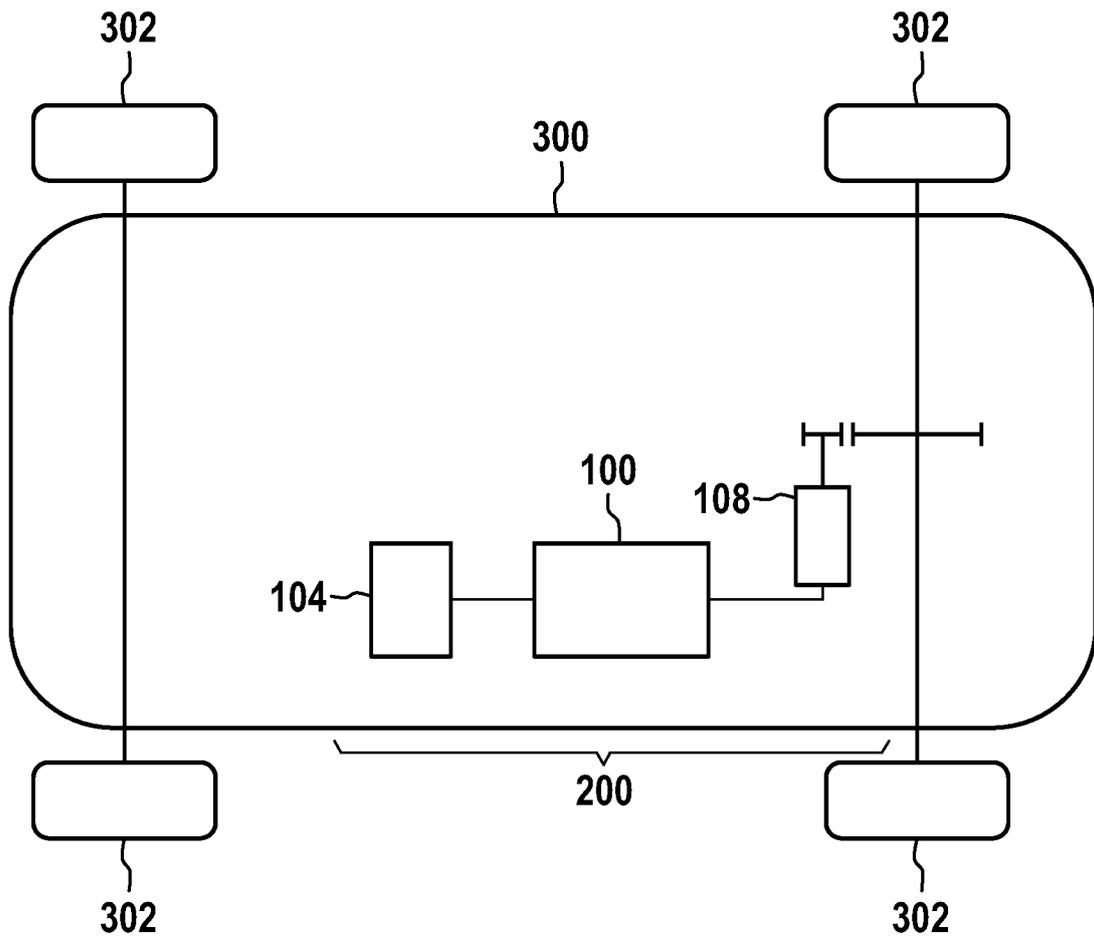


FIG. 4

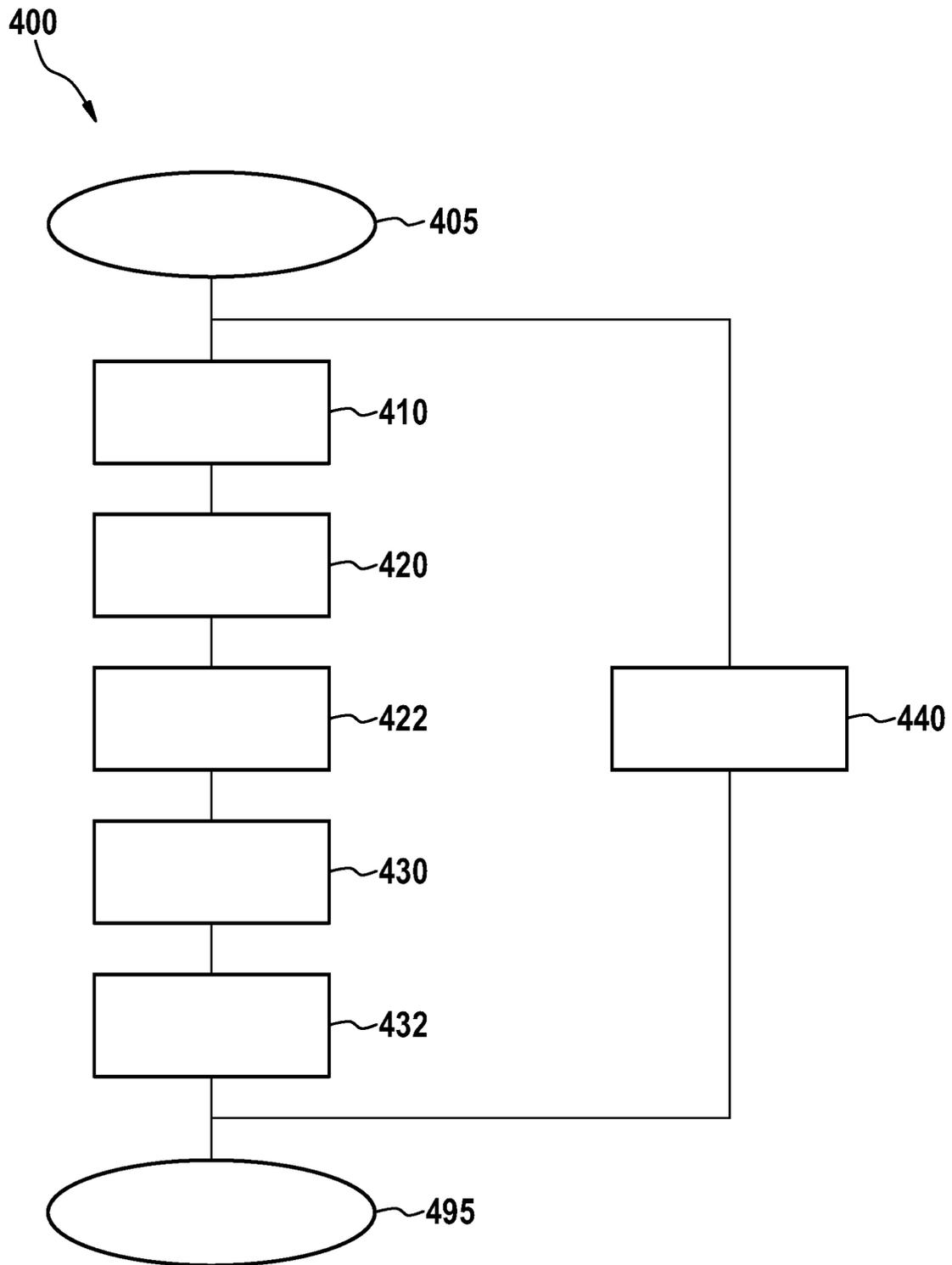


FIG. 5