

(12)

## Patentschrift

(21) Anmeldenummer: A 50834/2020 (51) Int. Cl.: **H02M 3/158** (2006.01)  
(22) Anmeldetag: 29.09.2020 **H02M 3/28** (2006.01)  
(45) Veröffentlicht am: 15.02.2023 **H02M 7/493** (2007.01)  
**H02M 7/77** (2006.01)

(56) Entgegenhaltungen:  
DE 102012106262 A1  
EP 2863528 A1  
US 2010033154 A1  
WO 2013174967 A1  
DE 102015200716 A1

(73) Patentinhaber:  
AVL List GmbH  
8020 Graz (AT)

(72) Erfinder:  
Reisinger Erwin Dr.  
8073 Feldkirchen bei Graz (AT)  
SCHMIDT Martin Dr. Ing.  
63225 Langen (DE)

(74) Vertreter:  
Hartinger Mario Dipl.Ing.  
8020 Graz (AT)

### (54) Gleichspannungswandler mit Stromsensoranordnung

(57) Gleichspannungswandler zur Umwandlung einer Eingangs-Gleichspannung  $V_1$  in zumindest eine variable Ausgangs-Gleichspannung  $V_{out}$ , umfassend zumindest zwei geschaltete Wandlereinheiten (2, 2') mit jeweils zumindest einer elektronisch steuerbaren Halbbrücke (3, 3'), und eine Steuerungseinheit (4), die zur Ansteuerung der Halbbrücken (3, 3') in einem Modulationsverfahren mit einer variablen Periodendauer und einem variablen Tastverhältnis ausgebildet ist, wobei in den Ausgangsleitungen (5, 5') der Wandlereinheiten (2, 2') jeweils ein dedizierter Stromsensor (6, 6') vorgesehen ist, und die Steuerungseinheit (4) dazu ausgebildet ist, die von den Stromsensoren (6, 6') gemessenen Stromstärken  $I_2$ ,  $I_2'$  der Wandlereinheiten (2, 2') entgegenzunehmen, und die Wandlereinheiten (2, 2') mit voneinander unterschiedlichen Tastverhältnissen anzusteuern, insbesondere einzelne Wandlereinheiten (2, 2') mit gegenüber anderen Wandlereinheiten (2, 2') reduzierten Tastverhältnissen oder nicht zu aktivieren, wobei die Ausgangsleitungen (5, 5') der Wandlereinheiten (2, 2') nach den Stromsensoren (6, 6') zusammengeschaltet sind, sodass sich die Ströme der Ausgangsleitungen (5, 5') addieren, wobei die Steuerungseinheit (4) dazu ausgebildet ist, den Summenstrom  $I_{out}$  zu berechnen und dass die Steuerungseinheit (4) dazu ausgebildet ist, den Summenstrom  $I_{out}$  mit den Nennströmen  $I_N$ ,  $I_N'$

zu vergleichen und jene Wandlereinheit (2, 2') zu aktivieren, deren zugeordneter Stromsensor (6, 6') einen Nennstrom aufweist, der größer als der Summenstrom  $I_{out}$  ist, aber am nächsten zum Summenstrom  $I_{out}$  liegt, oder jene Wandlereinheiten (2, 2') zu aktivieren, deren Summe ihrer Nennströme größer als der Summenstrom ist, aber am nächsten zum Summenstrom liegt, sodass die Stromstärken in den Ausgangsleitungen (5, 5') der aktivierten Wandlereinheiten (2, 2') jeweils unter, aber möglichst nahe am Nennstrom  $I_N$ ,  $I_N'$  der zugeordneten Stromsensoren (6, 6') liegt.

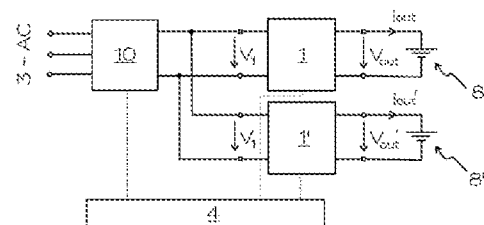


Fig. 1a

## Beschreibung

### GLEICHSPANNUNGSWANDLER MIT STROMSENSORANORDNUNG

**[0001]** Die Erfindung betrifft einen Gleichspannungswandler mit einer Stromsensoranordnung und einen Zelltester mit einem derartigen Gleichspannungswandler.

**[0002]** Aus dem Stand der Technik sind gesteuerte Gleichspannungswandler (DC/DC-Wandler) zur Umwandlung einer Eingangs-Gleichspannung in eine oder mehrere, zeitlich variable Ausgangs-Gleichspannungen unter Verwendung von geschalteten Wandlereinheiten mit elektronisch steuerbaren Halbbrücken bekannt. Eine elektronische Steuerungseinheit sorgt dabei für die synchrone Aktivierung der Wandlereinheiten, indem sie die Halbbrücken durch ein Modulationsverfahren, beispielsweise Pulsweitenmodulation (PWM), mit einer variablen Periodendauer und einem variablen Tastverhältnis ein- und ausschaltet. Die Halbleiterschalter der Halbbrücken schalten die Eingangs-Gleichspannung mit hoher Schaltfrequenz ein und aus; eine nachgeschaltete Filteranordnung glättet den erzeugten Spannungspuls und wandelt ihn in die gewünschte Ausgangs-Gleichspannung um. Die Schaltfrequenz liegt dabei weit über der Netzfrequenz und meist über 20 kHz. Die Ausgangs-Gleichspannung kann kleiner oder größer als die Eingangs-Gleichspannung sein und gleiche oder unterschiedliche Polarität aufweisen.

**[0003]** Zur Messung des übertragenen Stroms bzw. der übertragenen Leistung ist es bekannt, den Ausgangsstrom durch eine Stromsensoranordnung zu messen. Eine Problematik besteht jedoch darin, dass bei herkömmlichen Stromsensoren eine hohe Genauigkeit nur in einem eng definierten Messbereich möglich ist.

**[0004]** Deshalb wird im Stand der Technik meist versucht, die Stromsensoranordnung derart zu dimensionieren, dass genau im erwarteten Strombereich die gewünschte Genauigkeit erzielt wird. Wird der erwartete Strombereich verlassen, so wird bei herkömmlichen Stromsensoren der Messbereich umgeschaltet. Dadurch entstehen jedoch Unstetigkeiten, die umso störender sind, je höher die Dynamik des bereitgestellten Nutzsignals ist. Aus dem Stand der Technik sind hier beispielsweise die DE 102012106262 A1, EP 2863528 A1, US 2010033154 A1, WO 2013174967 A1, DE 102015200716 A1 bekannt.

**[0005]** Gerade Zelltester von elektrischen Batteriemodulen oder Brennstoffzellen erfordern jedoch die Bereitstellung von Gleichspannungen mit sehr hoher Dynamik sowohl im Zeitbereich als auch bezüglich der Größenordnung des Laststroms. Eine sehr hohe Messgenauigkeit wäre hier über einen weiten Strombereich und bei hoher Dynamik wünschenswert. Konkrete Anforderungen sind etwa die hochpräzise Messung des Stroms bzw. der Leistung bei variablen Gleichspannungen mit einer Dynamik von bis zu 150 kHz in einem Strombereich von 0 A - 250 A oder darüber.

**[0006]** Die Aufgabe der Erfindung besteht somit darin, diese Probleme zu beheben und einen elektrischen Gleichspannungswandler sowie einen Zelltester bereitzustellen, der in der Lage ist, zeitlich hochdynamische Gleichspannungen zu erzeugen, und die dabei übertragenen Ströme mit konstanter und hoher Genauigkeit über einen sehr weiten Messbereich zu messen.

**[0007]** Diese Aufgabe wird durch eine Vorrichtung gemäß Anspruch 1 gelöst.

**[0008]** Ein erfindungsgemäßer Gleichspannungswandler ist zur Umwandlung einer Eingangs-Gleichspannung  $V_1$  in zumindest eine variable Ausgangs-Gleichspannung  $V_{out}$  ausgebildet und umfasst zumindest zwei geschaltete Wandlereinheiten mit jeweils zumindest einer elektronisch steuerbaren Halbbrücke, sowie eine Steuerungseinheit, die zur Ansteuerung der Halbbrücken in einem Modulationsverfahren mit einer variablen Periodendauer und einem variablen Tastverhältnis ausgebildet ist.

**[0009]** Erfindungsgemäß ist in den Ausgangsleitungen der geschalteten Wandlereinheiten jeweils ein dedizierter Stromsensor vorgesehen.

**[0010]** Die Steuerungseinheit ist dazu ausgebildet, die von den Stromsensoren gemessenen

Stromstärken der Wandlereinheiten entgegenezunehmen, und die Wandlereinheiten mit voneinander unterschiedlichen Tastverhältnissen anzusteuern. Insbesondere kann die Steuerungseinheit einzelne Wandlereinheiten mit gegenüber anderen Wandlereinheiten reduzierten Tastverhältnissen aktivieren. Die Steuerungseinheit kann auch dazu ausgebildet sein, einzelne Wandlereinheiten nicht, also mit einem Tastverhältnis von Null zu aktivieren. Die Steuerungseinheit steuert erfindungsgemäß also den über die jeweiligen Wandlereinheiten übertragenen Anteil des gesamten übertragenen elektrischen Stroms.

**[0011]** Vorzugsweise sind die Ausgangsleitungen der Wandlereinheiten nach den Stromsensoren zusammengeschaltet. Dadurch wird erreicht, dass sich die Ströme der Ausgangsleitungen addieren. Die Steuerungseinheit kann dazu ausgebildet sein, durch Abfrage der Stromsensoren den Summenstrom  $I_{out}$  zu berechnen. Es kann eine beliebige Zahl von Wandlereinheiten und zugeordneten Ausgangsleitungen vorgesehen sein. Die Steuerungseinheit berechnet den Summenstrom als Summe aller Ströme der Ausgangsleitungen.

**[0012]** In Folge kann die Steuerungseinheit das Modulationsverfahren derart anpassen, dass genau jene Wandlereinheiten aktiviert werden, deren zugeordnete Stromsensoren für die betreffende Stromstärke des Summenstroms den minimalen Messfehler aufweisen. Folglich wird ein minimaler Messfehler für den gesamten Summenstrom erreicht, ohne dass es erforderlich ist, Messbereiche umzuschalten. Anstatt Messbereiche umzuschalten, aktiviert die Steuerungseinheit jene Wandlereinheiten, deren zugeordnete Stromsensoren den passenden Nennstrom aufweisen.

**[0013]** Insbesondere kann die Steuerungseinheit dazu ausgebildet sein, die Wandlereinheiten in Abhängigkeit des berechneten Summenstroms  $I_{out}$  oder in Abhängigkeit eines Sollwerts  $I_{soll}$  des Summenstroms zu aktivieren. Mit anderen Worten, die Steuerungseinheit kann den zu übertragenden Summenstrom bereits im Vorhinein kennen und vorab genau jene Wandlereinheiten aktivieren, deren zugeordnete Stromsensoren für diesen Sollwert zum geringsten Messfehler führen werden. In Ausführungsformen der Erfindung können die Stromsensoren jeweils gleiche Nennströme  $I_N$ ,  $I_N'$  aufweisen. In anderen Ausführungsformen der Erfindung können die Stromsensoren unterschiedliche Nennströme  $I_N$ ,  $I_N'$  aufweisen. Insbesondere kann vorgesehen sein, dass die Stromsensoren jeweils unterschiedliche Messbereiche aufweisen.

**[0014]** Mit dem Nennstrom eines Stromsensors ist jeweils eine bestimmte Skalengenauigkeit (Full-Scale-Genauigkeit) in diesem Messbereich verbunden. Beispielsweise hat ein Stromsensor mit  $I_N=600$  A und einer Skalengenauigkeit von 0,01 % im Messbereich bis 600 A einen zu erwartenden Fehler von +/- 60 mA, jener mit einem Nennstrom von  $I_N' = 300$  A und gleicher Skalengenauigkeit im Messbereich bis 300 A einen Fehler von +/- 30 mA. Der absolut zu erwartende Messfehler eines Stromsensors mit hohem Nennstrom ist also in der Regel höher als der eines Stromsensors mit niedrigem Nennstrom.

**[0015]** Die Stromsensoren können jeweils einen niederohmigen elektrischen Shuntwiderstand und ein Voltmeter aufweisen. Insbesondere können die Stromsensoren Messwiderstände  $R_m$ ,  $R_m'$  aufweisen, deren Widerstandswerte sich um einen Faktor von zumindest 5, beispielsweise um einen Faktor von 10 bis 20, unterscheiden.

**[0016]** Beispielsweise kann der Widerstandswert  $R_m$  eines ersten Stromsensors etwa 100 p $\Omega$  und der Widerstandswert  $R_m'$  eines zweiten Stromsensors etwa 2 m $\Omega$  betragen. Die Stromsensoren können aber auch einen Magnetkreis zur induktiven Strommessung aufweisen. Die Erfindung ist nicht auf bestimmte Mechanismen zur Strommessung beschränkt.

**[0017]** Die Steuerungseinheit kann dazu ausgebildet sein, den Summenstrom  $I_{out}$  mit den Nennströmen  $I_N$ ,  $I_N'$  zu vergleichen und jene Wandlereinheit zu aktivieren, deren zugeordneter Stromsensor einen Nennstrom aufweist, der größer als der Summenstrom ist, aber am nächsten zum Summenstrom liegt. Dies ist dann vorteilhaft, wenn der Summenstrom kleiner als ein Nennstrom eines einzigen Stromsensors ist.

**[0018]** Die Steuerungseinheit kann aber auch dazu ausgebildet sein, den Summenstrom  $I_{out}$  mit den Nennströmen  $I_N$ ,  $I_N'$  zu vergleichen und jene Wandlereinheiten zu aktivieren, deren Summe

ihrer Nennströme größer als der Summenstrom ist, aber am nächsten zum Summenstrom liegt. Dies ist dann vorteilhaft, wenn der Summenstrom größer als jeder einzelne Nennstrom der Stromsensoren ist. Dadurch wird sichergestellt, dass die Stromstärken in den Ausgangsleitungen der aktivierten Wandlereinheiten jeweils unter, aber möglichst nahe am Nennstrom  $I_N$ ,  $I_{N'}$  der zugeordneten Stromsensoren liegen. Dadurch werden die Messbereiche der verwendeten Stromsensoren jeweils möglichst weit ausgenutzt, um den zu erwartenden Messfehler zu reduzieren.

**[0019]** Erfindungsgemäß kann vorgesehen sein, dass in den Ausgangsleitungen Interleavingdrosseln vorgesehen sind. Zumindest eine der Wandlereinheiten kann zwei, drei, vier oder mehr Halbbrücken aufweisen, deren Ausgänge zur Bildung ihrer gemeinsamen Ausgangsleitung über Interleavingdrosseln, welche insbesondere stromkompensiert sein können, zusammengeschaltet sind.

**[0020]** Jede der Halbbrücken kann zwei gesteuerte Halbleiterschalter oder einen gesteuerten Halbleiterschalter und eine Diode umfassen, wobei die Halbleiterschalter vorzugsweise als SiC- oder GaN-Transistoren ausgebildet sind, und wobei gegebenenfalls mehrere dieser Transistoren parallelgeschaltet sind.

**[0021]** Die Wandlereinheiten können in einer gemeinsamen Umrichterbaugruppe integriert sein.

**[0022]** Die Steuerungseinheit kann dazu ausgebildet sein, die Halbbrücken bei der Verwendung von SiC-Transistoren mit einer Schaltfrequenz von bis zu 200 kHz, beispielsweise 24 kHz, 33 kHz, oder 75 kHz, und bei der Verwendung von GaN-Transistoren mit einer Schaltfrequenz von bis zu 2,5 MHz anzusteuern.

**[0023]** In den Ausgangsleitungen der Wandlereinheiten können LC-Filteranordnungen angeordnet sein, die als Tiefpässe mit Grenzfrequenzen über der Frequenz des bereitzustellenden Nutzsignals ausgebildet sind, vorzugsweise einer Grenzfrequenz über 30 kHz, beispielsweise etwa 60 kHz, bis zu über 150 kHz.

**[0024]** In den LC-Filteranordnungen können Filterdrosseln vorgesehen sein, die eine Induktivität im Bereich von jeweils etwa 150 nH bis 300 nH aufweisen. Die Stromsensoren können beispielsweise Nennströme  $I_N$ ,  $I_{N'}$  im Bereich von etwa 50 A, 175 A, 300 A, 600 A oder 700 A aufweisen. Die Messgenauigkeiten der Stromsensoren können, bezogen auf deren Nennströme  $I_N$ ,  $I_{N'}$ , beispielsweise im Bereich von etwa +/- 0,005 %, +/- 0,01 % oder +/- 0,05 % liegen.

**[0025]** Ein erfindungsgemäßer Gleichspannungswandler kann einen ersten Messkanal mit geringer Messgenauigkeit und hoher Dynamik, beispielsweise etwa 1 MHz, und einen zweiten Messkanal mit hoher Messgenauigkeit und geringer Dynamik, beispielsweise etwa 10 Hz, aufweisen, wobei die Steuerungseinheit zur sequentiellen oder gleichzeitigen Abfrage beider Messkanäle ausgebildet sein kann. Die beiden Messkanäle können voneinander getrennt sein, die beiden Messkanäle können aber auch in den jeweiligen Stromsensoren integriert sein. Beispielsweise können die Stromsensoren je einen Shuntwiderstand zur Messung des Spannungsabfalls und zwei zugeordnete Spannungsverstärker sowie zwei nachgeschaltete A/D-Wandler zur Messung und Digitalisierung des Spannungsabfalls in zwei Messkanälen aufweisen.

**[0026]** Die Stromsensoren können zur thermischen Konditionierung, beispielsweise zur Sicherstellung einer Temperatur der Stromsensoren von etwa 50°C, mit Kühlelementen, beispielsweise Peltier-Elementen oder Flüssigkeitskühlkörpern, und/oder mit Heizelementen, beispielsweise Heizwiderständen thermisch leitend verbunden sein.

**[0027]** Ein erfindungsgemäßer Gleichspannungswandler kann eine interne galvanische Trennung zur Trennung der Eingangs-Gleichspannung  $V_1$  von der Ausgangs-Gleichspannung  $V_{out}$  aufweisen, beispielsweise einen Transformator.

**[0028]** Die Erfindung betrifft ferner einen Zelltester zum Testen von ein oder mehreren elektrischen Batteriezellen oder Brennstoffzellen, umfassend einen erfindungsgemäßen Gleichspannungswandler. Der Begriff Zelltester umfasst dabei jede Vorrichtung zum Prüfen von elektrischen Energiespeichern oder Brennstoffzellen, insbesondere Vorrichtungen zum Prüfen von einzelnen Zellen, einer Mehrzahl von Zellen, einzelner oder mehrerer Batteriepacks, oder auch gesamter

elektrischer Batterien.

Zur Bereitstellung der Eingangs-Gleichspannung  $V_1$  kann ein Netzumrichter mit galvanischer Trennung, beispielsweise einem Transformator, vorgesehen sein.

**[0029]** Weitere erfindungsgemäße Merkmale ergeben sich aus den Patentansprüchen, den Figuren und der nachfolgenden Figurenbeschreibung. Die Erfindung wird im Folgenden an Hand von nicht ausschließlichen Ausführungsbeispielen erläutert.

**[0030]** Fig. 1a zeigt ein schematisches Blockschaltbild einer Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Zelltesters;

**[0031]** Fig. 1b zeigt ein schematisches Schaltbild einer Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Gleichspannungswandlers;

**[0032]** Fig. 1c zeigt ein schematisches Schaltbild einer weiteren Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Gleichspannungswandlers;

**[0033]** Fig. 1d zeigt ein schematisches Schaltbild einer weiteren Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Gleichspannungswandlers.

**[0034]** Fig. 1a zeigt ein schematisches Blockschaltbild einer Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Zelltesters. Der Zelltester ist zum Testen von ein oder mehreren elektrischen Batteriezellen 8, 8', die beispielsweise Teil eines gemeinsamen Batteriemoduls sein können, ausgebildet und umfasst zwei erfindungsgemäße Gleichspannungswandler 1, 1'.

**[0035]** Die Gleichspannungswandler 1, 1' werden von einem gemeinsamen Netzumrichter 10 mit der Eingangsspannung  $V_1$  versorgt. Der Netzumrichter 10 ist an das 3-phasige Versorgungsnetz angeschlossen und mit einer galvanischen Trennung, beispielsweise einem internen Transformator, versehen. Die Gleichspannungswandler 1, 1' erzeugen voneinander unabhängige, im Amplituden- und Frequenzbereich hochdynamisch variierende Gleichspannungen  $V_{out}$ ,  $V_{out}'$  zum Testen der Batteriezellen 8, 8'. Eine Steuerungseinheit 4 ist mit beiden Gleichspannungswandlern 1, 1' über eine schematisch dargestellte Datenleitung verbunden und bezieht von diesen die gelieferten Strom- bzw. Spannungswerte. Ferner ist die Steuerungseinheit 4 über Ansteuerleitungen mit den Wandlereinheiten der Gleichspannungswandler 1, 1' verbunden.

**[0036]** In einem nicht dargestellten Ausführungsbeispiel umfasst jeder Gleichspannungswandler 1, 1' eine interne galvanische Trennung. Dies ist insbesondere dann vorteilhaft, wenn die zu testenden Batteriezellen 8, 8' elektrisch verbunden sind, beispielsweise wenn sie Teil eines gemeinsamen Batteriepacks sind.

**[0037]** Fig. 1b zeigt ein schematisches Schaltbild einer Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Gleichspannungswandlers 1. Der Gleichspannungswandlers 1 umfasst zwei geschaltete Wandlereinheiten 2, 2' mit jeweils einer elektronisch steuerbaren Halbbrücke 3, 3', und eine elektronische Steuerungseinheit 4, die zur Ansteuerung der Halbbrücken 3, 3' in einem Modulationsverfahren mit einer variablen Periodendauer und einem variablen Tastverhältnis ausgebildet ist. In den Ausgangsleitungen 5, 5' der Wandlereinheiten 2, 2' ist jeweils ein dedizierter Stromsensor 6, 6' vorgesehen.

**[0038]** Die Steuerungseinheit 4 ist dazu ausgebildet, die von den Stromsensoren 6, 6' gemessenen Stromstärken  $I_2$ ,  $I_2'$  der Wandlereinheiten 2, 2' über schematisch angedeutete Datenleitungen entgegenzunehmen und zu verarbeiten.

**[0039]** Die Ausgangsleitungen 5, 5' der Wandlereinheiten 2, 2' sind nach den Stromsensoren 6, 6' zusammengeschaltet, sodass sich die Ströme der Ausgangsleitungen 5, 5' addieren. Die Steuerungseinheit 4 ist dazu ausgebildet, den Summenstrom  $I_{out} = I_2 + I_2'$  zu berechnen.

**[0040]** Die Steuerungseinheit 4 ist ferner dazu ausgebildet, die Wandlereinheiten 2, 2' mit voneinander unterschiedlichen Tastverhältnissen anzusteuern. Die Steuerungseinheit kann also die Wandlereinheit 2 mit gegenüber der Wandlereinheit 2' reduzierten Tastverhältnissen aktivieren, oder eine der Wandlereinheiten 2, 2' gar nicht aktivieren. Dies erfolgt in Abhängigkeit des berechneten Summenstroms  $I_{out}$  oder eines Sollwerts  $I_{soll}$  des Summenstroms  $I_{out}$ .

**[0041]** Im vorliegenden Ausführungsbeispiel ist der Nennstrom des ersten Stromsensors 6 gleich  $I_N = 600 \text{ A}$  und der Nennstrom des zweiten Stromsensors 6' gleich  $I_{N'} = 300 \text{ A}$ . Der Skalenfehler der Stromsensoren ist jeweils 0,01 %. In diesem Fall aktiviert die Steuerungseinheit bei einem Summenstrom von 0 A bis 300 A ausschließlich die zweite Wandlereinheit 2', um den Messfehler bei +/- 30 mA zu begrenzen. Bei einem Summenstrom von 300 A bis 600 A wird die erste Wandlereinheit 2 aktiviert, und die zweite Wandlereinheit 2' deaktiviert, um den Messfehler bei +/- 60 mA zu begrenzen. Bei einem Summenstrom von 600 A bis 900 A aktiviert die Steuerungseinheit sowohl die erste Wandlereinheit 2, als auch die zweite Wandlereinheit 2'. Die erste Wandlereinheit 2 kann dabei mit einem gegenüber der zweiten Wandlereinheit 2' reduzierten Tastverhältnis aktiviert werden, um den zweiten Stromsensor 2' mit einem Messstrom von 300 A voll auszunutzen, und den ersten Stromsensor 2 geringer zu belasten. Bei einem Summenstrom von 900 A werden schließlich beide Wandlereinheiten 2, 2' mit gleich hohem Tastverhältnis aktiviert.

**[0042]** In einem weiteren, nicht dargestellten Ausführungsbeispiel sind drei Wandlereinheiten mit identischen Stromsensoren vorgesehen, deren Nennströme gleich  $I_N = 300 \text{ A}$  sind. Der Skalenfehler der Stromsensoren ist jeweils 0,01 %. In diesem Fall aktiviert die Steuerungseinheit bei einem Summenstrom von 0 A bis 300 A ausschließlich die erste Wandlereinheit, um den Messfehler bei +/- 30 mA zu begrenzen. Bei einem Summenstrom von 300 A bis 600 A wird zusätzlich die zweite Wandlereinheit aktiviert, um den Messfehler bei +/- 60 mA zu begrenzen. Bei einem Summenstrom von 600 A bis 900 A aktiviert die Steuerungseinheit zusätzliche die dritte Wandlereinheit, um den Messfehler bei +/- 90 mA zu begrenzen.

**[0043]** In den Ausgangsleitungen 5, 5' der Wandlereinheiten 2, 2' sind Interleavingdrosseln 7, 7' vorgesehen. Jede der Halbbrücken 3, 3' umfasst zwei gesteuerte Halbleiterschalter, die als SiC-Transistoren ausgebildet sind, wobei mehrere dieser Transistoren zur Bildung eines Halbleiterschalters parallelgeschaltet sind. Die Wandlereinheiten 2, 2' sind in einer gemeinsamen Umrichterbaugruppe 8 integriert. Die Schaltfrequenz beträgt in diesem Ausführungsbeispiel etwa 75 kHz.

**[0044]** In den Ausgangsleitungen 5, 5' der Wandlereinheiten 2, 2' sind LC-Filteranordnungen 9, 9' angeordnet, die als Tiefpässe mit Grenzfrequenzen über der Frequenz des bereitzustellenden Nutzsinalns ausgebildet sind, nämlich hier etwa 45 kHz.

**[0045]** Fig. 1c zeigt ein schematisches Schaltbild einer weiteren Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Gleichspannungswandlers. Dieses Ausführungsbeispiel entspricht jenem aus Fig. 1b mit dem Unterschied, dass die erste Wandlereinheit 2 drei parallelgeschaltete Halbbrücken 3, 3a, 3b aufweist, deren Ausgänge über Interleavingdrosseln 7, 7a, 7b zusammengeschaltet sind. Wiederum sind in den beiden Ausgangsleitungen 5, 5' Stromsensoren 6, 6' vorgesehen. Es ist ein erster Messkanal 11 mit geringer Messgenauigkeit und hoher Dynamik, beispielsweise etwa 1 MHz, und ein zweiter Messkanal 11' mit hoher Messgenauigkeit und geringer Dynamik, beispielsweise etwa 10 Hz, vorgesehen, wobei die Steuerungseinheit 4 zur Abfrage beider Messkanäle 11, 11' ausgebildet ist. Die Stromsensoren 6, 6' stellen den zweiten Messkanal 11' zur Verfügung; hingegen sind für den ersten Messkanal 11 separate, schematisch angedeutete Stromsensoren vorgesehen.

**[0046]** Fig. 1d zeigt ein schematisches Schaltbild einer weiteren Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Gleichspannungswandlers. Dieses Ausführungsbeispiel entspricht jenem aus Fig. 1c mit dem Unterschied, dass die Stromsensoren 6, 6' jeweils einen ersten Messkanal 11 und einen zweiten Messkanal 11' zur Verfügung stellen. Zu diesem Zweck sind in den Stromsensoren 6, 6' jeweils zwei schematisch angedeutete Spannungsmessvorrichtungen angeordnet, beispielsweise in Form von separaten Spannungsverstärkern mit unterschiedlichen Grenzfrequenzen und A/D-Wandlern.

**[0047]** Die Erfindung beschränkt sich nicht auf die dargelegten Ausführungsbeispiele, sondern umfasst sämtliche Vorrichtungen im Rahmen der nachfolgenden Patentansprüche. Insbesondere ist die Erfindung nicht auf die Verwendung bestimmter Arten von Stromsensoren beschränkt.

## BEZUGSZEICHENLISTE

1	Gleichspannungswandler
2, 2'	Wandlereinheit
3, 3'	Halbbrücke
4	Steuerungseinheit
5, 5'	Ausgangsleitung
6, 6'	Stromsensor
7, 7a, 7b, 7'	Interleaving-Drossel
8, 8'	Batteriezelle
9, 9'	LC-Filteranordnung
10	Netzumrichter
11, 11'	Messkanal

## Patentansprüche

1. Gleichspannungswandler (1) zur Umwandlung einer Eingangs-Gleichspannung  $V_1$  in zumindest eine variable Ausgangs-Gleichspannung  $V_{out}$ , umfassend
  - a. zumindest zwei geschaltete Wandlereinheiten (2, 2') mit jeweils zumindest einer elektronisch steuerbaren Halbbrücke (3, 3'), und
  - b. eine Steuerungseinheit (4), die zur Ansteuerung der Halbbrücken (3, 3') in einem Modulationsverfahren mit einer variablen Periodendauer und einem variablen Tastverhältnis ausgebildet ist, wobei
    - in den Ausgangsleitungen (5, 5') der Wandlereinheiten (2, 2') jeweils ein dedizierter Stromsensor (6, 6') vorgesehen ist, und
    - die Steuerungseinheit (4) dazu ausgebildet ist,
      - o die von den Stromsensoren (6, 6') gemessenen Stromstärken  $I_2, I_2'$  der Wandlereinheiten (2, 2') entgegengesetzen, und
      - o die Wandlereinheiten (2, 2') mit voneinander unterschiedlichen Tastverhältnissen anzusteuern, insbesondere einzelne Wandlereinheiten (2, 2') mit gegenüber anderen Wandlereinheiten (2, 2') reduzierten Tastverhältnissen oder nicht zu aktivieren,

**dadurch gekennzeichnet**, dass die Ausgangsleitungen (5, 5') der Wandlereinheiten (2, 2') nach den Stromsensoren (6, 6') zusammengeschaltet sind, sodass sich die Ströme der Ausgangsleitungen (5, 5') addieren, wobei die Steuerungseinheit (4) dazu ausgebildet ist, den Summenstrom  $I_{out}$  zu berechnen und dass die Steuerungseinheit (4) dazu ausgebildet ist, den Summenstrom  $I_{out}$  mit den Nennströmen  $I_N, I_N'$  zu vergleichen und
  - a. jene Wandlereinheit (2, 2') zu aktivieren, deren zugeordneter Stromsensor (6, 6') einen Nennstrom aufweist, der größer als der Summenstrom  $I_{out}$  ist, aber am nächsten zum Summenstrom  $I_{out}$  liegt, oder
  - b. jene Wandlereinheiten (2, 2') zu aktivieren, deren Summe ihrer Nennströme größer als der Summenstrom ist, aber am nächsten zum Summenstrom liegt,sodass die Stromstärken in den Ausgangsleitungen (5, 5') der aktivierten Wandlereinheiten (2, 2') jeweils unter, aber möglichst nahe am Nennstrom  $I_N, I_N'$  der zugeordneten Stromsensoren (6, 6') liegt.
2. Gleichspannungswandler (1) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Steuerungseinheit (4) dazu ausgebildet ist, die Wandlereinheiten (2, 2') in Abhängigkeit des berechneten Summenstroms  $I_{out}$  oder eines Sollwerts  $I_{soll}$  des Summenstroms  $I_{out}$  zu aktivieren.
3. Gleichspannungswandler (1) nach einem der Ansprüche 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Stromsensoren (6, 6') gleiche Nennströme  $I_N, I_N'$  aufweisen.
4. Gleichspannungswandler (1) nach einem der Ansprüche 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Stromsensoren (6, 6') unterschiedliche Nennströme  $I_N, I_N'$  aufweisen.
5. Gleichspannungswandler (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass in den Ausgangsleitungen (5, 5') Interleavingdrosseln (7, 7') vorgesehen sind.
6. Gleichspannungswandler (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass zumindest eine der Wandlereinheiten (2) zwei, drei, vier oder mehr Halbbrücken (3, 3a, 3b) aufweist, deren Ausgänge zur Bildung ihrer gemeinsamen Ausgangsleitung (5) über Interleavingdrosseln (7, 7a, 7b), welche insbesondere stromkompensiert sind, zusammengeschaltet sind.
7. Gleichspannungswandler (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass jede der Halbbrücken (3, 3')
  - a. zwei gesteuerte Halbleiterschalter oder
  - b. einen gesteuerten Halbleiterschalter und eine Diode umfasst, wobei die Halbleiterschalter vorzugsweise als SiC- oder GaN-Transistoren ausgebildet sind, und wobei gegebenenfalls mehrere dieser Transistoren parallelgeschaltet sind.

8. Gleichspannungswandler (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Wandlereinheiten (2, 2') in einer gemeinsamen Umrichterbaugruppe (8) integriert sind.
9. Gleichspannungswandler (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Steuerungseinheit (4) dazu ausgebildet ist, die Halbbrücken (3, 3') bei der Verwendung von SiC-Transistoren mit einer Schaltfrequenz von bis zu 200 kHz, beispielsweise 24 kHz, 33 kHz, oder 75 kHz, und bei der Verwendung von GaN-Transistoren mit einer Schaltfrequenz von bis zu 2,5 MHz anzusteuern.
10. Gleichspannungswandler (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass in den Ausgangsleitungen (5, 5') LC-Filteranordnungen (9, 9') angeordnet sind, die als Tiefpässe mit Grenzfrequenzen über der Frequenz des bereitzustellenden Nutzsignals ausgebildet sind, vorzugsweise einer Grenzfrequenz über 30 kHz, beispielsweise etwa 60 kHz, bis zu über 150 kHz.
11. Gleichspannungswandler (1) nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet**, dass in den LC-Filteranordnungen (9, 9') Filterdrosseln vorgesehen sind, die eine Induktivität im Bereich von jeweils etwa 150 nH bis 300 nH aufweisen.
12. Gleichspannungswandler (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 11, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Stromsensoren (6, 6') Nennströme  $I_N$ ,  $I_{N'}$  im Bereich von etwa 50 A, 175 A, oder 700 A aufweisen.
13. Gleichspannungswandler (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 12, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Messgenauigkeiten der Stromsensoren (6, 6') bezogen auf deren Nennströme  $I_N$ ,  $I_{N'}$  im Bereich von etwa +/- 0,01% liegen.
14. Gleichspannungswandler (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 13, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein erster Messkanal (11) mit geringer Messgenauigkeit und hoher Dynamik, beispielsweise etwa 1 MHz, und ein zweiter Messkanal (11') mit hoher Messgenauigkeit und geringer Dynamik, beispielsweise etwa 10 Hz, vorgesehen sind, wobei die Steuerungseinheit (4) zur Abfrage beider Messkanäle (11, 11') ausgebildet ist.
15. Gleichspannungswandler (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 14, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Stromsensoren (6, 6') zur thermischen Konditionierung, beispielsweise zur Sicherstellung einer Temperatur der Stromsensoren (6, 6') von etwa 50°C, mit Kühlelementen, beispielsweise Peltier-Elementen oder Flüssigkeitskühlkörpern, und/oder Heizelementen, beispielsweise Heizwiderständen thermisch leitend verbunden sind.
16. Gleichspannungswandler (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 15, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine galvanische Trennung zur Trennung der Eingangs-Gleichspannung  $V_1$  von der Ausgangs-Gleichspannung  $V_{out}$  vorgesehen ist, beispielsweise ein interner Transformator.
17. Zelltester zum Testen von ein oder mehreren elektrischen Batteriezellen (8, 8') oder Brennstoffzellen, umfassend einen Gleichspannungswandler (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 16.
18. Zelltester nach Anspruch 17, **dadurch gekennzeichnet**, dass zur Bereitstellung der Eingangs-Gleichspannung  $V_1$  ein Netzumrichter (10) mit galvanischer Trennung vorgesehen ist.

**Hierzu 2 Blatt Zeichnungen**

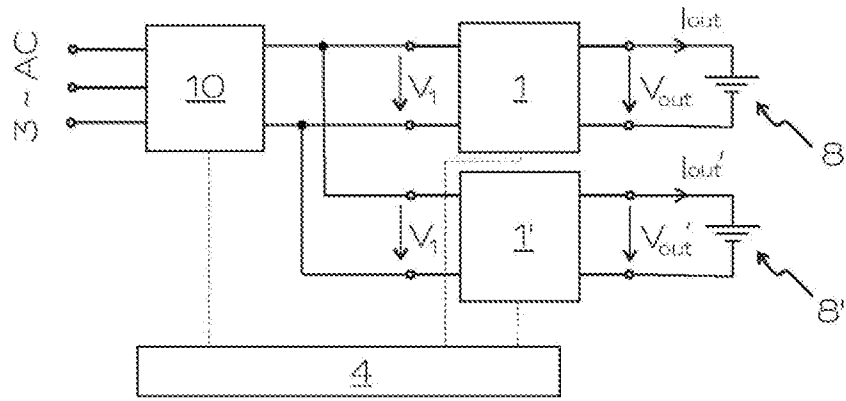


Fig. 1a

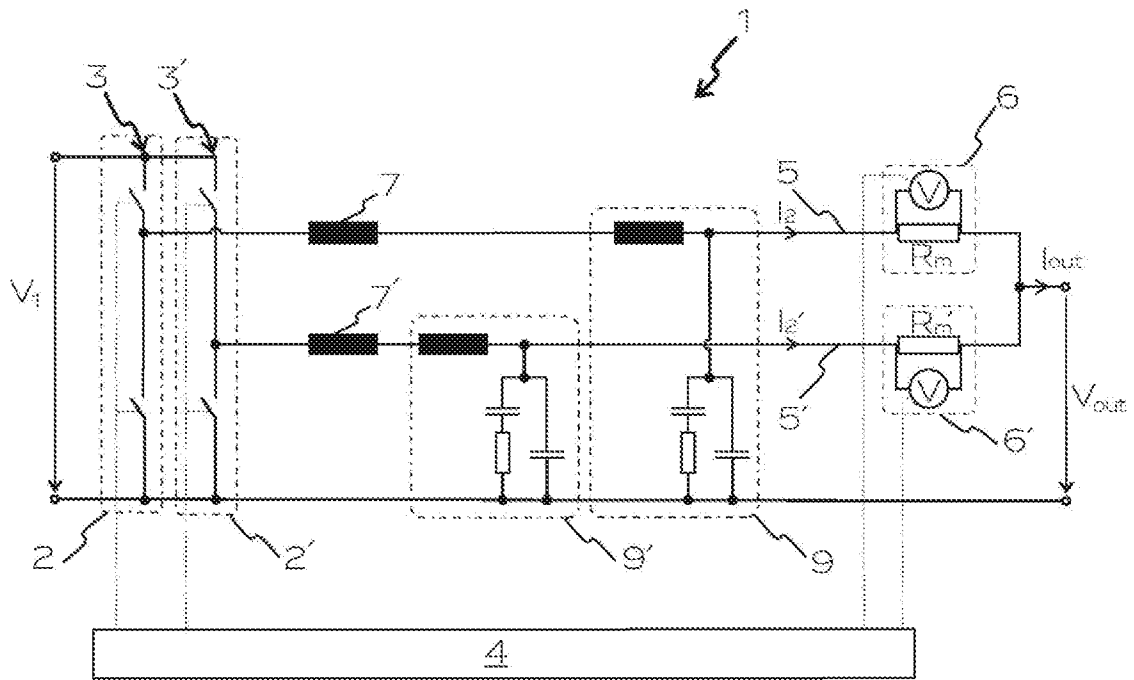


Fig. 1b

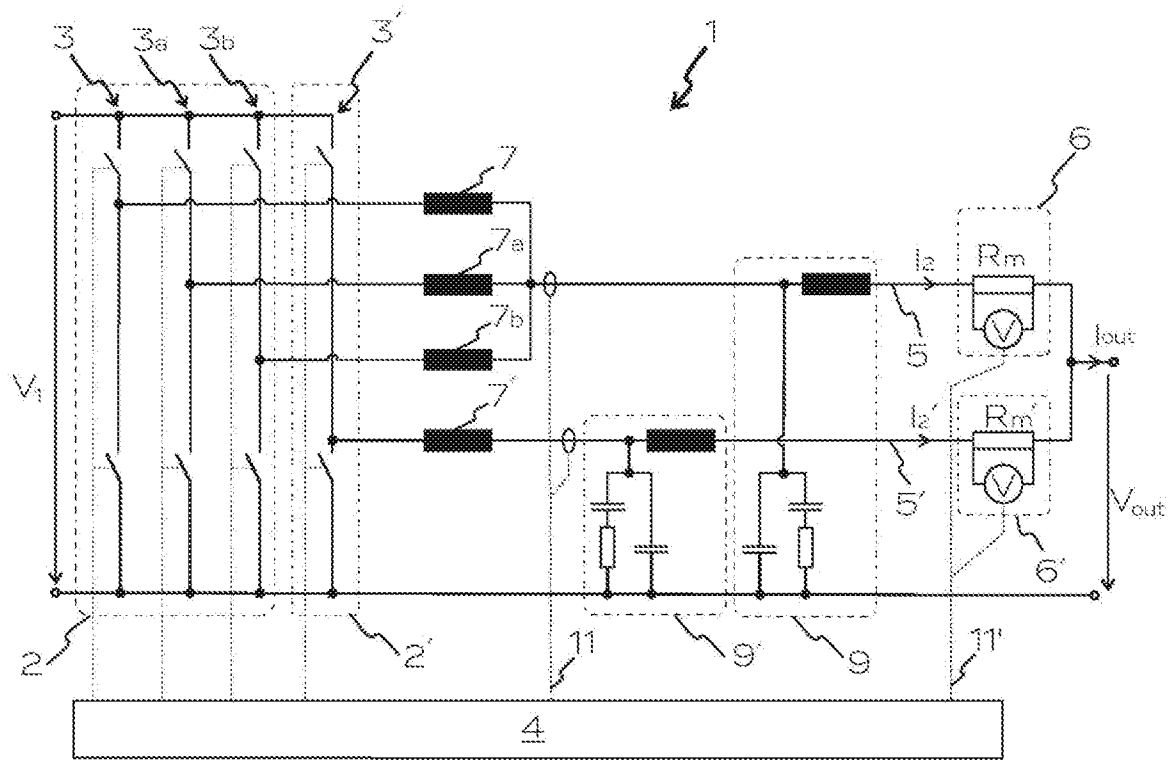


Fig. 1c

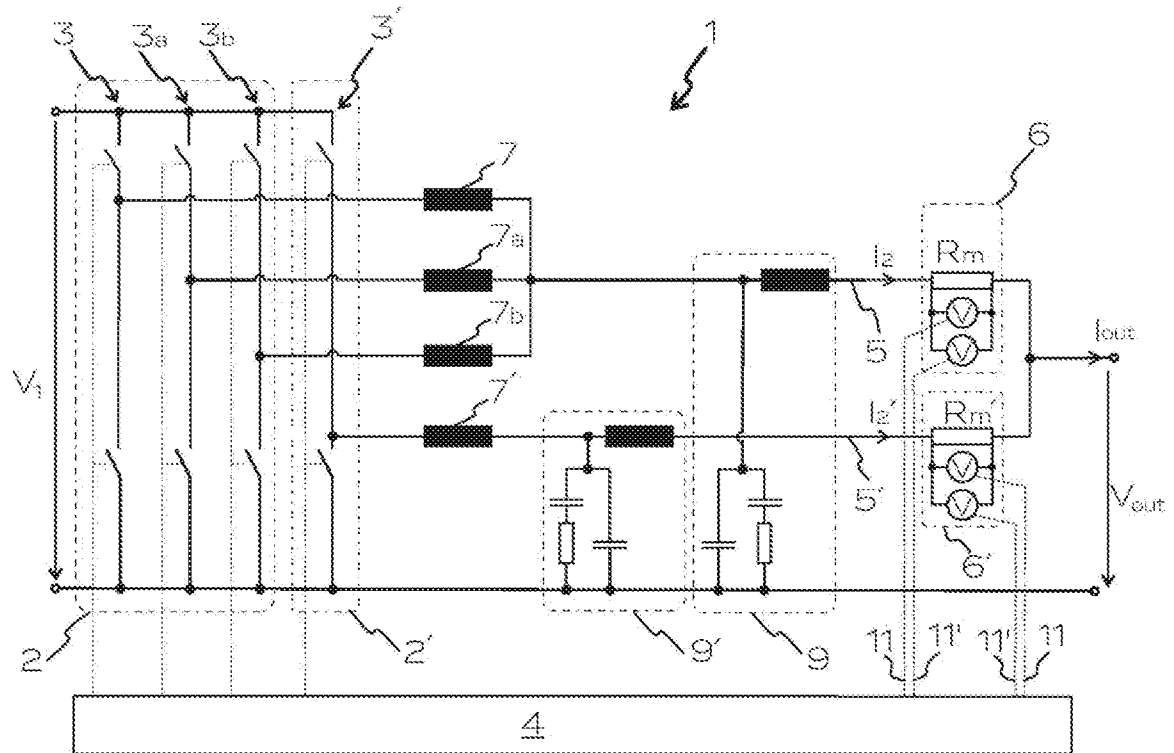


Fig. 1d