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

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro

(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
5. März 2009 (05.03.2009)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2009/027523 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:
H02M 1/15 (2006.01) *H02M 3/158* (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2008/061422

(22) Internationales Anmeldedatum:
29. August 2008 (29.08.2008)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2007 041 510.0 31. August 2007 (31.08.2007) DE

(71) Anmelder *(für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US)*: **KOSTAL INDUSTRIE ELEKTRIK GMBH** [DE/DE]; An der Bellmerei 10, 58513 Lüdenscheid (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder *(nur für US)*: **BARTLING, Ralf** [DE/DE]; Dorfstr. 9a, 58239 Schwerte (DE).

(74) Anwalt: **KERKMANN, Detlef**; c/o Leopold Kostal GmbH & Co. KG, An der Bellmerei 10, 58513 Lüdenscheid (DE).

(81) Bestimmungsstaaten *(soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart)*: AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

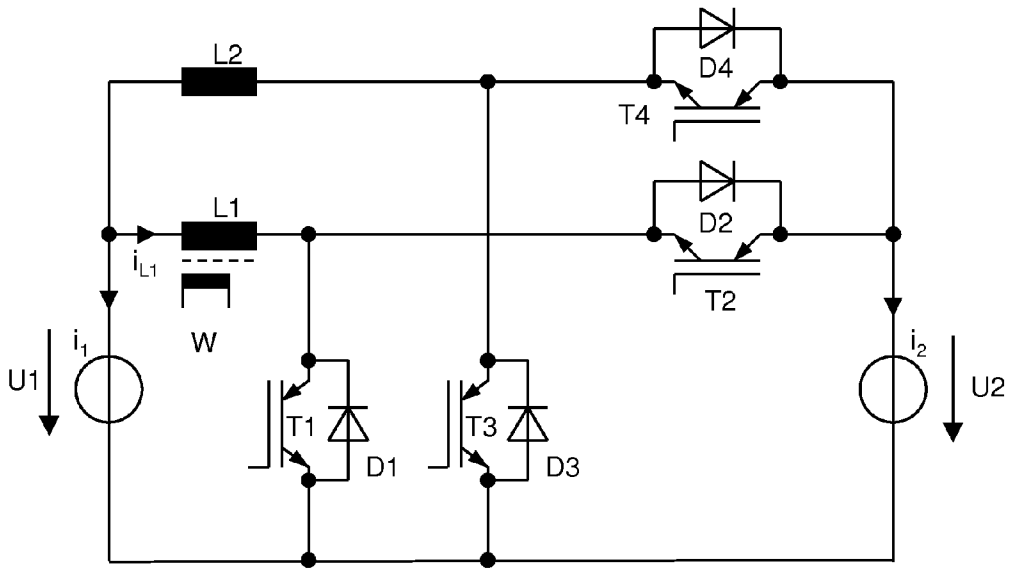
(84) Bestimmungsstaaten *(soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart)*: ARIPO (BW,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: MULTI-CHANNEL DC CONTROLLER OPERATING INDEPENDENTLY OF OUTPUT POWER IN CRITICAL CONDUCTION MODE

(54) Bezeichnung: MEHRKANALIGER GLEICHSTROMSTELLER DER UNABHÄNGIG VON DER AUSGANGSLEISTUNG AN DER LÜCKGRENZE ARBEITET

Fig. 1



(57) Abstract: A multi-channel DC controller is described, with a plurality of parallel current channels which are controlled by a microcontroller at a time offset to each other, wherein the current channels each have at least two semiconductor switches(T1, T2, T3, T4), by means of which they can be operated by the microcontroller either as a boost converter or as a buck converter, wherein at least one current channel has a device to detect the zero crossing of the current (W), wherein the microcontroller detects the periodicity of the zero crossing in this current channel, and wherein the microcontroller operates the DC controller of all current channels in critical conduction mode based on the detected periodicity.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2009/027523 A1

GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— *mit internationalem Recherchenbericht*

— *vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen eintreffen*

(57) Zusammenfassung: Beschrieben wird ein mehrkanaliger Gleichstromsteller, mit mehreren parallelen Stromkanälen, die durch einen MikroController zeitversetzt zueinander gesteuert werden, wobei die Stromkanäle jeweils mindestens zwei Halbleiterschalter (T1, T2, T3, T4) aufweisen, durch die sie vom MikroController entweder als Hochsetzsteller oder als Tief setzsteiler betrieben werden können, wobei wenigstens ein Stromkanal eine Einrichtung zur Erfassung des Stromnulldurchgangs aufweist (W), wobei der MikroController die Periodenzeit der Stromnulldurchgänge in diesem Stromkanal erfasst, und wobei der MikroController aufgrund der erfassten Periodenzeit die Gleichstromsteller aller Stromkanäle stets an der Lückgrenze betreibt.

MEHRKANALIGER GLEICHSTROMSTELLER DER UNABHÄNGIG VON DER AUSGANGSLEISTUNG AN DER LÜCKGRENZE ARBEITET

Die Erfindung betrifft einen mehrkanaligen Gleichstromsteller, mit mehreren parallelen Stromkanälen, die durch einen Mikrocontroller zueinander zeitversetzt gesteuert werden.

Aus der deutschen Patentanmeldung DE 10 2004 011 801 A1 ist ein Gleichstromsteller mit vier parallelen Stromkanälen bekannt, der als ein reiner Hochsetzsteller beschrieben ist. Zur Steuerung dieses Gleichstromstellers sind externe Zeitglieder erforderlich.

Es sind darüber hinaus auch bidirektionale Gleichstromsteller bekannt. Die Grundschaltung eines solchen Gleichstromstellers ist in der Figur 2 dargestellt.

Es stellte sich die Aufgabe einen Gleichstromsteller zu schaffen, der einfach und kostengünstig aufgebaut ist, möglichst vielseitig und effizient einsetzbar ist und einen möglichst glatten Ausgangsstrom liefert.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß dadurch gelöst, dass die Stromkanäle jeweils mindestens zwei Halbleiterschalter aufweisen, durch die sie vom Mikrocontroller entweder als Hochsetzsteller oder als Tiefsetzsteller betrieben werden können, dass wenigstens ein Stromkanal eine Einrichtung zur Erfassung des Stromnulldurchgangs aufweist, dass der Mikrocontroller die Periodenzeit der Stromnulldurchgänge in diesem Stromkanal erfasst, und dass der Mikrocontroller aufgrund der erfassten Periodenzeit die Gleichstromsteller aller Stromkanäle an der Lückgrenze betreibt.

Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung ist in der Zeichnung schematisch dargestellt und wird im folgenden anhand der Zeichnung näher erläutert.

Es zeigen

Figur 1	die Grundschaltung eines erfindungsgemäßen mehrkanaligen bidirektionalen Gleichstromstellers,
Figur 2	die Grundschaltung eines bidirektionalen Gleichstromstellers nach dem Stand der Technik,
Figuren 3 bis 5	Stromverlaufsdiagramme eines Hochsetzstellers,
Figuren 6 bis 8	Stromverlaufsdiagramme eines Tiefsetzstellers,
Figur 9	ein Verwendungsbeispiel eines bidirektionalen Gleichstromstellers,
Figur 10	einen Regelkreis nach dem Stand der Technik,
Figur 11	die Grundschaltung eines bidirektionalen, an der Lückgrenze betreibbaren Gleichstromstellers,
Figur 12	ein Stromverlaufsdiagramm der Schaltung gemäß der Figur 11 im Hochsetzstellerbetrieb,
Figur 13	einen Regelkreis zur Schaltung gemäß der Figur 11,
Figur 14	ein Stromverlaufsdiagramm eines mehrkanaligen Gleichstromstellers im Hochsetzstellerbetrieb,
Figur 15	ein weiteres Stromverlaufdiagramm der Schaltung gemäß Figur 11 als Tiefsetzsteller,
Figur 16	einen Abschnitt eines Regelkreises,
Figur 17	eine vereinfachte Darstellung des Regelkreisabschnitts gemäß der Figur 16,
Figur 18	ein Stromverlaufdiagramm eines mehrkanaligen Gleichstromstellers im Tiefsetzstellerbetrieb.

Die Figur 2 zeigt die schematisch dargestellte Grundschaltung eines bidirektionalen Gleichstromstellers, an der dessen grundsätzliche Funktionsweise erläutert werden soll. Der Gleichstromsteller besteht im wesentlichen aus einer ersten und einer zweiten Spannungsquelle (U1, U2), einer Speicherdrossel L1, sowie aus zwei Halbleiterschaltern (T1, T2), die

bevorzugt als IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) ausgebildet sein können. Parallel zu den Lastanschlüssen der Halbleiterschalter (T1, T2) ist jeweils eine Freilaufdiode (D1, D2) geschaltet.

Die Halbleiterschalter (T1, T2) sind derart mit den anderen Bauelementen verschaltet, dass bei einem durchgeschalteten ersten Halbleiterschalter T1 die Anschlüsse der Speicherdrossel L1 über den ersten Halbleiterschalter T1 mit der ersten Spannungsquelle U1 verbunden sind, und bei einem durchgeschaltetem zweiten Halbleiterschalter T2 die Speicherdrossel L1 mit dem zweiten Halbleiterschalter T2 und den beiden Spannungsquellen (U1, U2) zugleich in Reihe geschaltet ist.

Das Funktionsprinzip eines derartigen Gleichstromstellers besteht darin, dass durch Einschalten eines der Halbleiterschalter (T1 bzw. T2) die Speicherdrossel L1 bestromt wird, die in daraufhin ein Magnetfeld aufbaut. Die in diesem Magnetfeld gespeicherte Energie bewirkt nach dem Ausschalten des einen Halbleiterschalters (T1 bzw. T2) einen Induktionsstrom (Ausgangsstrom i_2 bzw. i_1), der über die zum jeweils anderen Halbleiterschalter (T2 bzw. T1) gehörende Freilaufdiode (D2 bzw. D1) und eine der Spannungsquellen (U2, U1) fließt.

Zum kontinuierlichen Betrieb ist eine Taktung eines der Halbleiterschalter (T1 bzw. T2) erforderlich, beispielsweise durch eine PWM-Steuerung (PWM = Pulsweitenmodulation), die durch einen zentrale Steuerungseinrichtung und besonders vorteilhaft durch einen Mikrocontroller realisiert sein kann. Ohne Beschränkung der Allgemeinheit wird diese Steuerungseinrichtung im folgenden als Mikrocontroller bezeichnet. Zur Vereinfachung wurde in den Figuren auf eine Darstellung des Mikrocontrollers verzichtet.

Grundsätzlich sind zwei Betriebsarten des Gleichstromstellers zu unterscheiden, und zwar den Hochsetzstellerbetrieb und den

Tiefsetzstellerbetrieb.

Hochsetzstellerbetrieb (Figuren 3 bis 5)

Im Hochsetzstellerbetrieb fließt die Energie von der ersten Spannungsquelle U1 zur zweiten Spannungsquelle U2. Dazu wird der Halbleiterschalter T1 mit einem geeigneten PWM-Signal angesteuert. Der Halbleiterschalter T2 ist in diesem Betriebszustand nicht aktiv und daher stromlos. Damit die Schaltung arbeiten kann, muss die Spannung u_2 der zweiten Spannungsquelle U2 größer sein als die Spannung u_1 der ersten Spannungsquelle U1.

Beim Betrieb eines Gleichstromstellers sind grundsätzlich drei unterschiedliche Betriebszustände definiert. Diese Betriebszustände sind vom Stromverlauf i_{L1} in der Speicherdrossel L1 bestimmt. Für die drei Betriebszustände sind die typischen Strom- und Spannungsverläufe in den Figuren 3 bis 5 dargestellt. Hierbei steht u_{T1} für die Ansteuerspannung des ersten Halbleiterschalters T1 und i_{T1}, i_{D2} und i_{L1} für die durch den ersten Halbleiterschalter T1, die zugehörige Diode D1 und die Speicherdrossel L1 fließenden Ströme.

Die drei möglichen Betriebszustände des Hochsetzstellers sind:

- kontinuierlicher Betrieb, d. h. der Strom i_{L1} in der Speicherdrossel L1 weist keine Nullstellen auf (Figur 3),
- diskontinuierlicher Betrieb, d. h. es treten Zeiträume auf, in denen die Speicherdrossel L1 stromlos ist (Figur 4),
- Betrieb an der Lückgrenze (Transition Mode). Hier wird durch eine geeignete Ansteuerung des Halbleiterschalters T1 der Strom i_{L1} in der Speicherdrossel L1 an der Lückgrenze, das heißt genau zwischen dem kontinuierlichen und dem diskontinuierlichen Betrieb gehalten (Figur 5).

Kontinuierlicher Hochsetzstellerbetrieb (Figur 3)

Der Strom i_{L1} in der Speicherdrossel L1 ist hier ohne Nullstellen. Während der Einschaltphase des Halbleiterschalters T1 hängt der Strom i_{L1} von folgender Differentialgleichung ab:

$$u_{L_1} = L\frac{di_{L1}}{dt}$$

Wenn die Diode D2 leitet gilt:

$$u_1 - u_2 = L\frac{di_{L1}}{dt}$$

Da u_2 größer als u_1 ist, wird der Differentialquotient negativ und der Strom sinkt in dieser Phase ab. Generell hängt also die Stromverlauf von der Einschaltzeit des Halbleiterschalters T1, den Spannungen u_1 und u_2 und der Induktivität L der Speicherdrossel L1 ab.

Diskontinuierlicher Hochsetzstellerbetrieb (Figur 4)

In diesem Fall weist der Strom i_{L1} durch die Speicherdrossel L1 Nullstellen auf. Dieser Betriebszustand wird häufig auch „Lückbetrieb“ genannt.

Betrieb des Hochsetzstellers an der Lückgrenze (Transition Mode) (Figur 5)

In der Figur 5 ist der Betrieb des Hochsetzstellers an der Lückgrenze, der auch als Transition Mode bezeichnet wird, dargestellt. Der Vorteil dieses Betriebszustands ist, dass der Halbleiterschalter T1 noch im stromlosen

Zustand wieder eingeschaltet wird und so die Schaltverluste minimal sind. Weiterhin kann die Freilaufdiode D1 als „normale“ schnelle Siliziumdiode ausgeführt sein. Häufig findet man in den Hochsetzstellern von Solarwechselrichtern Siliziumkarbid-Dioden, da die sogenannten Reverse Recovery Ströme der Diode massiv die Verluste im Halbleiterschalters T1 bestimmen. Weiterhin wird die Speicherdrossel L1 optimal ausgenutzt, d. h. es existieren keine Zeiträume, in denen die Speicherdrossel L1 stromlos ist und keine Energie überträgt.

Bei Gleichstromstellern, die mit einer konstanten Schaltfrequenz arbeiten, bestimmt der jeweilige Lastzustand, welcher der drei oben genannten Betriebszustände sich einstellt.

Tiefsetzstellerbetrieb (Figuren 6 bis 8)

Im Tiefsetzstellerbetrieb fließt in der Schaltung gemäß der Figur 2 die Energie von der Spannungsquelle U2 nach U1. Dazu wird der Halbleiterschalter T2 mit einer geeigneten pulsweitenmodulierten Ansteuerspannung u_{T2} angesteuert. Der Halbleiterschalter T1 ist nicht aktiv und daher stromlos. Damit die Schaltung arbeiten kann, muss u_2 hier ebenfalls größer als u_1 sein.

Analog zu den Betriebszuständen des Hochsetzstellers verdeutlichen die Figuren 6 bis 8 die drei möglichen Betriebszustände im Tiefsetzstellerbetrieb. Aufgetragen sind wiederum die charakteristischen Stromverläufe i_{T2}, i_{D1} und i_{L1} gegen den Verlauf der Ansteuerspannung U_{T2} des zweiten Halbleiterschalters T2.

Dargestellt sind die Betriebszustände:

- kontinuierlicher Betrieb (Figur 6),
- diskontinuierlicher Betrieb (Figur 7),

- Betrieb an der Lückgrenze (Transition Mode; Figur 8).

Damit sind alle möglichen Betriebszustände der in der Figur 2 dargestellten Schaltung beschrieben. Einsetzbar ist ein solcher bidirektionaler Steller z. B. in der Solartechnik für das Batteriemanagement eines Inselwechselrichters. Das Blockschaltbild der Figur 9 verdeutlicht die Verwendung eines bidirektionalen Stellers.

Die in der Figur 9 dargestellte Solaranlage wird von einem Solargenerator 1 gespeist. Dieser ist über einen unidirektional arbeitenden Hochsetzsteller 2 an den Gleichspannungszwischenkreis 3 angeschlossen. Die Energie des Solargenerators 1 kann dann von einem Wechselrichter 4 mit drei ausgangsseitigen Phasen (P1, P2, P3) ins öffentliche Stromnetz eingespeist werden.

In Zeiten, in denen der Solargenerator 1 mehr Leistung liefert als zur Einspeisung in das Stromnetz erforderlich ist, kann eine Speicherbatterie 5 über den bidirektionalen Gleichstromsteller 6 aufgeladen werden. Die Voraussetzung hierzu ist, dass die Spannung u_z im Gleichspannungszwischenkreis 3 größer als die Spannung u_B der Speicherbatterie 5 ist. Der Gleichstromsteller 6 arbeitet in diesem Fall als Tiefsetzsteller und die Energieflussrichtung ist vom Gleichspannungszwischenkreis 3 hin zur Speicherbatterie 5.

Sollte vom Stromnetz mehr elektrische Leistung gefordert werden, als augenblicklich vom Solargenerator 1 geliefert werden kann, kann die Speicherbatterie 5, sofern sie vorher ausreichend geladen wurde, zusätzlich Energie in den Gleichspannungszwischenkreis 3 einspeisen Der bidirektionale Gleichstromsteller 6 arbeitet dann als Hochsetzsteller, d. h. auch hier muss die Spannung u_z im Gleichspannungszwischenkreis 3 größer als die

Batteriespannung u_B sein. Die Energieflussrichtung ist nun von der Speicherbatterie 5 hin zum Gleichspannungszwischenkreis 3.

In den heute verwendeten bidirektionalen Gleichstromstellern wird häufig zur Ansteuerung der Halbleiterschalter eine Pulsweitenmodulation mit fester Frequenz verwendet. Das führt dazu, dass je nach Lastfall die Schaltung im diskontinuierlichen oder im kontinuierlichen Betriebszustand oder im Betriebszustand an der Lückgrenze arbeiten kann und zwischen diesen Betriebszuständen hin und her wechselt.

Regelungstechnisch wird üblicherweise für einen solchen Gleichstromsteller ein unterlagerter Stromregelkreis vorgesehen. Dieser ist entweder in Hardware, z. B. mit einem Steuer-IC oder mit Hilfe eines Mikrocontrollers realisiert. In Photovoltaikwechselrichtern werden nahezu ausschließlich digital geregelte Systeme eingesetzt, so dass für die Stromregelung der Stromistwert in Echtzeit erfasst und verarbeitet werden muss.

Das regelungstechnische Ersatzschaltbild einer solchen Anordnung ist in der Figur 10 dargestellt. Die Regelung ist als eine Kaskadenreglung realisiert. Es existiert ein innerer „schneller“ Regelkreis (Stromsollwert i_soll, I-Regler, integrierender Regler 1/L, Stromistwert i_ist; gestrichelt gekennzeichnet) und ein äußerer Regelkreis (Spannungssollwert u_soll, U-Regler, integrierender Regler 1/C, Spannungssollwert u_ist) zur Spannungsregelung.

Ein solcher Regler weist mehrere Nachteile auf:

- Es muss in Echtzeit der Stromistwert i_ist erfasst und verarbeitet werden.
- Je nach Betriebszustand der Schaltung (kontinuierlich, diskontinuierlich oder Transition Mode) ändern sich die Eigenschaften der Stromregelstrecke, so dass unter Umständen eine Anpassung im I-Regler vorgenommen werden muss.

- Da die Induktivität L der Speicherdrossel maßgeblich das Verhalten des Stromregelkreises bestimmt, darf für deren Wert eine gewisse Untergrenze nicht unterschritten werden.
- Wenn sich die Schaltung im kontinuierlichen Betriebszustand befindet, steigen die Verluste im aktiven Halbleiterschalter stark an, weil dann der Halbleiterschalter auf eine leitende Freilaufdiode schaltet. Die Reverse Recovery Ladung der Freilaufdiode beeinflusst massiv die Einschaltverluste des Halbleiterschalters.
- Um die sogenannten Reverse Recovery Verluste zu verringern, werden häufig Silizium Karbid Dioden an Stelle der üblichen Siliziumdioden eingesetzt. Solche Dioden sind extrem teuer, schwer verfügbar und nicht sehr robust.
- Wegen des „hart“ schaltenden Betriebes der Leistungsendstufe wird die Schaltfrequenz häufig so niedrig wie möglich gewählt. Das führt zu einer Vergrößerung des Bauvolumens der Speicherdrossel.

Beschreibung eines bidirektionalen Transition Mode-Stellers

Die Figur 11 zeigt schematisch einen bidirektionaler Gleichstromsteller, der stets an der Lückgrenze betrieben werden kann. Dafür ist auf der Speicherdrossel L1 eine zusätzliche Wicklung W aufgebracht, die nur einige wenige Windungen aufzuweisen braucht und über die der Stromnulldurchgang in der Speicherdrossel L1 detektiert werden kann. Der Zeitpunkt des Stromnulldurchgangs wird beispielsweise von einem nichtdargestellten Mikrocontroller erkannt, der dann sofort wieder einen der Halbleiterschalter (T1 bzw. T2) ansteuert. Je nach Lastzustand stellt sich so eine variable Schaltfrequenz der Leistungsendstufe ein; je höher die Ausgangsleistung, desto niedriger wird die Schaltfrequenz.

Bezeichnet man die Zeit in der Aufmagnetisierungsphase mit „t_on“ und die Zeit in der Abmagnetisierung mit „t_off“, dann können die folgenden Gleichungen unter Berücksichtigung linearer Verhältnisse aufgestellt werden:

$$i_{L1_dach} = \frac{u_1 \cdot t_on}{L} \qquad i_{L1_dach} = \frac{(u_2 - u_1) \cdot t_off}{L}$$

Aus der Figur 12 ist ersichtlich, dass der Mittelwert i_{L1_avg} des Stromes i_{L1} genau der Hälfte des maximalen Stromwerts i_{L1_dach} entspricht. Somit kann durch Vorgabe der Einschaltzeit t_on der Strom i_{L1_avg} direkt und verzögerungsfrei verstellt werden.

Damit ergibt sich für den Hochsetzstellerbetrieb das regelungstechnische Ersatzschaltbild gemäß der Figur 13. Ein unterlagerter Stromregelkreis ist hier nicht mehr erforderlich, weil durch die Stromnulldurchgangserkennung der Gleichstromsteller stets im Transition Mode, also ständig genau an der

Lückgrenze, arbeitet und daher t_on proportional zu i_{L1_avg} ist. Der jeweilige Lastzustand wird im Regelkreis durch die Einflussgröße Laststrom i_Last berücksichtigt.

Nachteilig am Betrieb an der Lückgrenze ist allerdings die große Welligkeit des Speicherdrosselstromes i_{L1} und damit auch im Ausgangsstrom i_1 bzw. i_2. Um diese zu verringern, ist ein Gleichstromsteller vorgesehen, der mehrere parallele Stromkanäle (I, II) aufweist. Einen derartigen Gleichstromsteller mit zwei Stromkanälen zeigt die Figur 1.

Zu Ausbildung des Gleichstromstellers können selbstverständlich auch mehr als zwei parallele Stromkanäle (I, II) vorgesehen sein, was trotz des größeren Bauteileaufwands vorteilhaft sein kann, da sich mit jedem weiteren Stromkanal die Welligkeit des Speicherdrosselstromes i_{L1} verringert.

Der erste Stromkanal I ist durch die Speicherdrossel L1, die Halbleiterschalter T1 und T2 und die Dioden D1 und D2 gebildet; der zweite Stromkanal II entsprechend durch die Speicherdrossel L2, die Halbleiterschalter T3 und T4, sowie durch die Dioden D3 und D4.

Beide Stromkanäle (I, II) werden mit der gleichen Taktrate, aber jeweils mit einem zeitlichen Versatz getaktet. Der zur Taktung der Halbleiterschalter (T1, T3 bzw. T2, T4) vorgesehene Mikrocontroller kann dabei vorteilhafterweise die jeweils zu taktenden Halbleiterschalter (T1, T3 bzw. T2, T4) sämtlicher Stromkanäle (I, II) ansteuern.

Die Speicherdrossel L2 im zweiten, zum ersten Stromkanal I parallel geschalteten, Stromkanal II weist hier keine Instanz zur Erkennung eines Stromnulldurchgangs auf. Der Stromkanal II wird in Abhängigkeit von dem im ersten Stromkanal I erfassten Stromnulldurchgang gesteuert und kann daher als “Slavekanal” bezeichnet werden, während der erste Stromkanal I, dessen

Speicherdrossel L1 eine Wicklung W zur Stromnulldurchgangserkennung aufweist, nachfolgend als “Masterkanal” bezeichnet wird.

Die Welligkeit im Ausgangsstrom i_1 bzw. i_2 wird minimal, wenn die Phasenverschiebung zwischen dem Masterkanal I und dem Slavekanal II oder gegebenenfalls auch den weiteren Slavekanälen, 360°/n (n = Anzahl der Stromkanäle) beträgt. Der Mikrocontroller bestimmt nun aus den erfassten Stromnulldurchgängen die Periodendauer des Masterkanals I, um aus dieser Information den Zündzeitpunkt für den Slavekanal II und gegebenenfalls auch für die weiteren Slavekanäle zu ermitteln.

In der Figur 14 sind die Stromverläufe für einen zweikanaligen Gleichstromsteller gemäß der Figur 1 dargestellt, der als Hochsetzsteller betrieben wird. Das obere Diagramm zeigt den Stromverlauf i_{L1} durch die Speicherdrossel L1 im Masterkanal I; das mittlere Diagramm zeigt den Stromverlauf durch die Speicherdrossel L2 im Slavekanal II. Der Mikrocontroller bestimmt den zeitlichen Abstand der Stromnulldurchgänge $T_{Periode}$ des Masterkanals I in Echtzeit, um daraus dann den Zündzeitpunkt des Slavekanals II zu errechnen. Da mit dem Masterkanal I und dem Slavekanal II hier insgesamt zwei Stromkanäle (n = 2) realisiert sind, beträgt der zeitliche Versatz bei der Ansteuerung der Halbleiterschalter (T1, T3) des Slavekanals II 1/n = ½ Periodendauer $T_{Periode}/2$ gegenüber der Ansteuerung des Masterkanals I.

Die Figur 14 zeigt, dass der resultierende Ausgangsstrom i_1, hier invertiert als $-i_1$ dargestellt, eine deutlich geringere Welligkeit aufweist als die Stromverläufe (i_{L1}, i_{L2}) in jedem einzelnen der Stromkanäle (I, II). In einer praktischen Realisierung ist es vorteilhaft, statt nur eines Slavekanals II mehrere Slavekanäle vorzusehen, da hierdurch ein noch weitaus glatterer Ausgangsstrom erzielt werden kann.

Neben dem zuvor beschriebenen Hochsetzstellerbetrieb kann der Gleichstromsteller auch als Tiefsetzsteller betrieben werden, was insbesondere für Photovoltaikwechselrichter mit Batteriepuffer interessant ist.

Für den Tiefsetzstellerbetrieb gelten sehr ähnliche Bedingungen wie für den Hochsetzstellerbetrieb. Aus dem in der Figur 15 skizzierten Stromverlauf i_{L1} findet man die Bedingungen:

$$i_{L1_dach} = \frac{u_1 \cdot t_off}{L} \qquad i_{L1_dach} = \frac{(u_2 - u_1) \cdot t_on}{L}$$

Im Tiefsetzstellerbetrieb ist die Ausschaltzeit t_off proportional zum maximalen Strom i_{L1_dach} bzw. dem durchschnittlichen Strom i_{L1_avg} durch die Speicherdrossel L1. Da der Mikrocontroller aber nur die Einschaltzeit t_on direkt verstellen kann, muss eine weitere Bedingung herangezogen werden, um eine Regelung realisieren zu können. Aus den beiden zuletzt genannten Gleichungen kann der folgende Zusammenhang hergeleitet werden:

$$t_on = t_off \frac{u_1}{u_2 - u_1}$$

Indem der Mikrocontroller die Spannungen u_1 und u_2 mit erfasst, kann er die erforderliche Einschaltzeit t_on errechnen, die dann zum gewünschten t_off führt. Wie die aus der Figur 15 hervorgeht, ergibt die Summe aus t_on und t_off genau die Zeit zwischen zwei Stromnulldurchgängen, die vom Mikrocontroller erfasst wird. Solange die Schaltung im Betrieb an der Lückgrenze arbeitet, ist eine direkte Verstellung von i_{L1_avg} ohne Verzögerung möglich.

Damit kann wiederum ein Regelkreis realisiert werden, der in der Figur 16 skizziert ist. Wird der Tiefsetzstellerbetrieb zum Laden einer Speicherbatterie verwendet, so ist in der Regel kein überlagerter Spannungsregelkreis erforderlich. Der Sollwert des Ladestroms i_soll kann direkt vom Mikrocontroller vorgegeben werden. Die beiden Proportionalglieder (L1/U1, U1/(U2-U1)) in der Figur 16 können dann noch zu einem einzigen Proportionalglieder L1/(U2-U1) zusammengefasst werden, wodurch man den in der Figur 17 dargestellte Regelkreis erhält.

Durch Einsatz des Transitionmodestellers ist kann so der Strom ohne unterlagerten Stromregelkreis direkt und verzögerungsfrei verstellt werden.

Die Figur 18 zeigt eine Skizze der Stromverläufe (i_{L1}, i_{L2}) in den Stromkanälen (I, II) und am Ausgang des Gleichstromstellers im Tiefsetzstellerbetrieb. Diese Stromverläufe (i_{L1}, i_{L2}) entsprechen genau den invertierten Stromverläufen für den Hochsetzstellerbetrieb, welche aus der Figur 14 ersichtlich sind. Entsprechend erhält man auch im Tiefsetzstellerbetrieb durch eine zeitversetzte Steuerung der Stromkanäle (I, II) einen besonders glatten Ausgangsstrom ($-i_1$).

Bezugszeichen

1	Solargenerator
2	Hochsetzsteller
3	Gleichspannungszwischenkreis
4	Wechselrichter
5	Speicherbatterie
6	Gleichstromsteller
D1 – D4	(Freilauf)dioden
I	erster Stromkanal (Masterkanal)
II	zweiter Stromkanal (Slavekanal)
L	Induktivität (der Speicherdrossel)
L1, L2	Speicherdrossel
T1 - T4	Halbleiterschalter
U1, U2	Spannung(squell)en
P1, P2, P3	Phasen
UZ	Spannung im Gleichspannungszwischenkreis
UB	Spannung der Speicherbatterie
W	Wicklung
i_1, i_2	Ausgangsstrom
i_{T1}, i_{T2}, $i_{D1...}$	Strom (durch das jeweils indizierte Bauelement)
i_{L1_avg}	mittlerer Ausgangsstrom
i_ist	Stromistwert
i_Last	Laststrom
i_soll	Stromsollwert
t_on	Einschaltzeit
t_off	Ausschaltzeit
$T_{Periode}$	Periodenzeit (zeitlicher Abstand der Stromnulldurchgänge)

$T_{Periode}/2$	zeitlicher Versatz
u_ist	Spannungsistwert (Ausgangsspannung)
u_soll,	Spannungssollwert
u_1, u_2	Spannungen (der Spannungsquellen U1 und U2)
u_B	Batteriespannung
u_{T1}, u_{T2}	Ansteuerspannung (der Halbleiterschalter)
u_z	Spannung im Gleichspannungszwischenkreis

1/C, 1/L	integrierende Regler
L1/U1, U1/(U2-U1) L1/(U2-U1)	Proportionalglieder

Patentansprüche

1. Mehrkanaliger Gleichstromsteller,

mit mehreren parallelen Stromkanälen, die durch einen Mikrocontroller zueinander zeitversetzt gesteuert werden,

dadurch gekennzeichnet,

dass die Stromkanäle (I, II) jeweils mindestens zwei Halbleiterschalter (T1, T2; T3, T4) aufweisen, durch die sie vom Mikrocontroller entweder als Hochsetzsteller oder als Tiefsetzsteller betrieben werden können,

dass wenigstens ein Stromkanal (I) eine Einrichtung zur Erfassung des Stromnulldurchgangs aufweist,

dass der Mikrocontroller die Periodenzeit ($T_{Periode}$) der Stromnulldurchgänge in diesem Stromkanal (I) erfasst,

und dass der Mikrocontroller aufgrund der erfassten Periodenzeit ($T_{Periode}$) alle Stromkanäle (I, II) an der Lückgrenze betreibt.

2. Gleichstromsteller nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Mikrocontroller die Stromkanäle (I, II) mit einem zeitlichen Versatz ($T_{Periode}/2$) ansteuert, wobei der zeitliche Versatz ($T_{Periode}/2$) durch die erfasste Periodenzeit ($T_{Periode}$) geteilt durch die Anzahl der Stromkanäle gegeben ist.

3. Gleichstromsteller nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass jeder Stromkanal (I, II) wenigstens eine Speicherdrossel (L1, L2) aufweist und die Speicherdrossel (L1) wenigstens eines Stromkanals (I) eine zusätzliche

Wicklung (W) aufweist, deren Ausgangssignal der Mikrocontroller zur Erfassung des Stromnulldurchgang auswertet.

4. Gleichstromsteller nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Gleichstromsteller Bestandteil einer Lade-/Entladeschaltung für eine Speicherbatterie (5) einer Photovoltaik-Anlage ist.

5. Gleichstromsteller nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass der Mikrocontroller den Gleichstromsteller zum Laden der Speicherbatterie (5) als Tiefsetzsteller und zum Entladen der Speicherbatterie (5) als Hochsetzsteller steuert.

6. Gleichstromsteller nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Einschaltzeit (t_on) für jeweils einen der Halbleiterschalter (T1, T2, T3, T4) eines Stromkanal (I, II) einen zur Einschaltzeit (t_on) proportionalen Ausgangsstrom (i_1, i_2) des Gleichstromstellers bewirkt.

7. Gleichstromsteller nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Einschaltzeit (t_on) im Hochsetzstellerbetrieb durch einen überlagerten Spannungsregelkreis (U-Regler, 1/C) für die Ausgangsspannung (u_ist) des Gleichstromstellers geregelt wird.

8. Gleichstromsteller nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Einschaltzeit (t_on) im Tiefsetzstellerbetrieb proportional zum mittleren Ausgangsstrom (i_{L1_avg}) und umgekehrt proportional zur Ausgangs-/Eingangsspannungsdifferenz (U_2-U_1) ist.

9. Gleichstromsteller nach einem der vorgenannten Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass ein Mikrocontroller die Halbleiterschalter (T1, T2, T3, T4) sämtlicher Stromkanäle (I, II) steuert.

Fig. 1

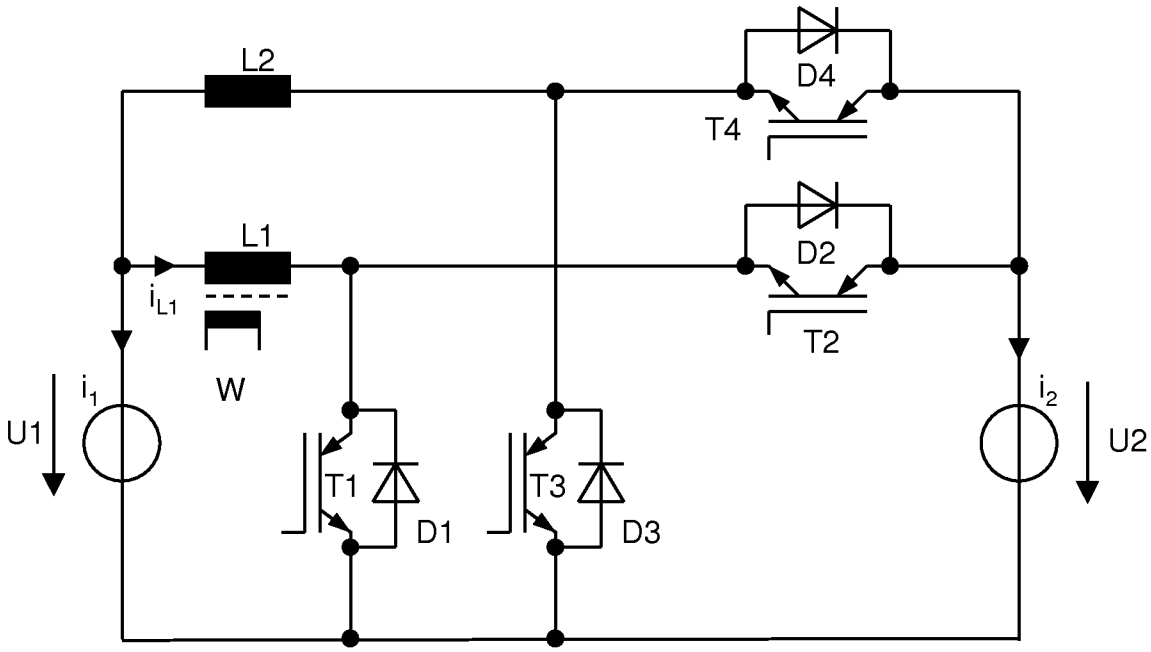


Fig. 2 Stand der Technik

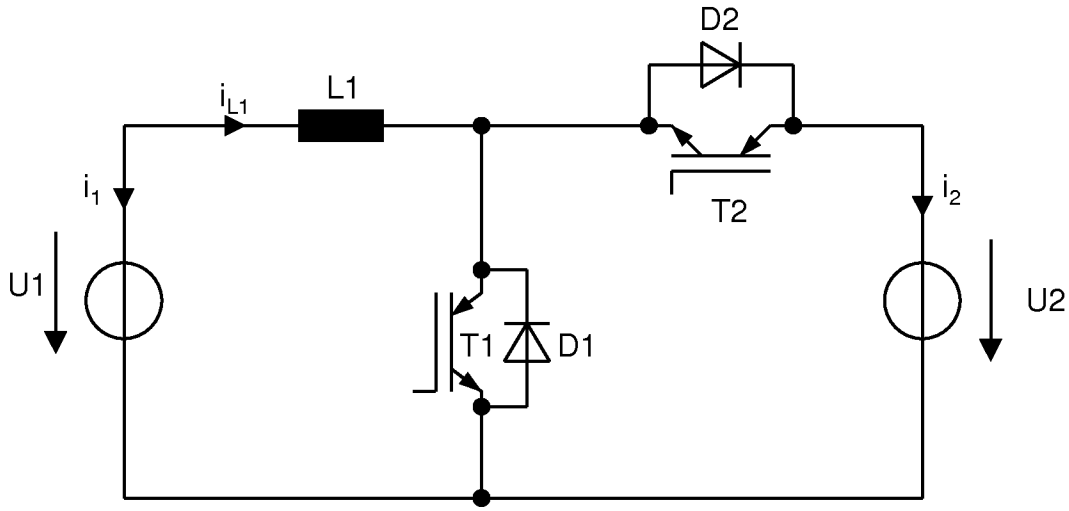


Fig. 3

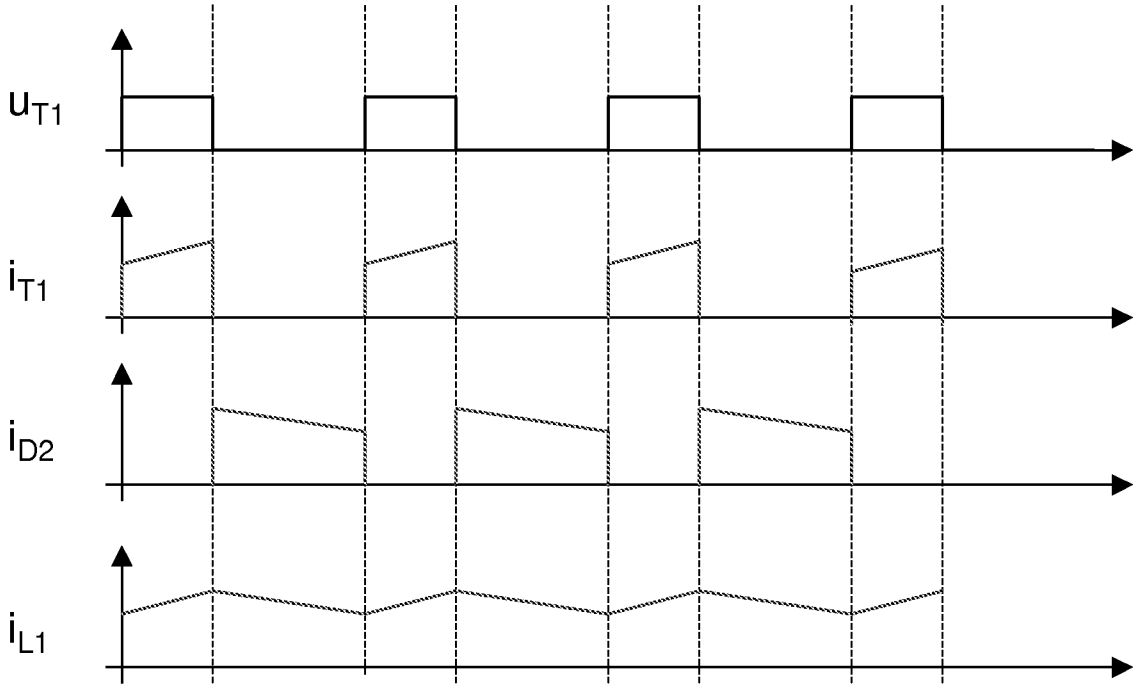


Fig. 4

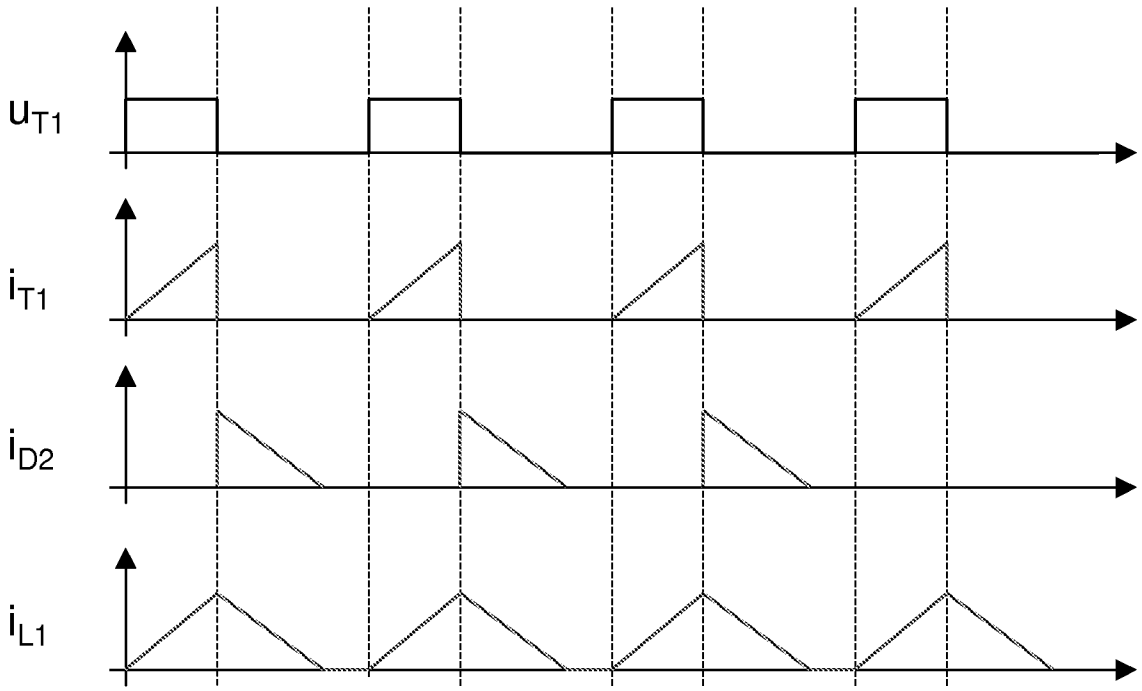


Fig. 5

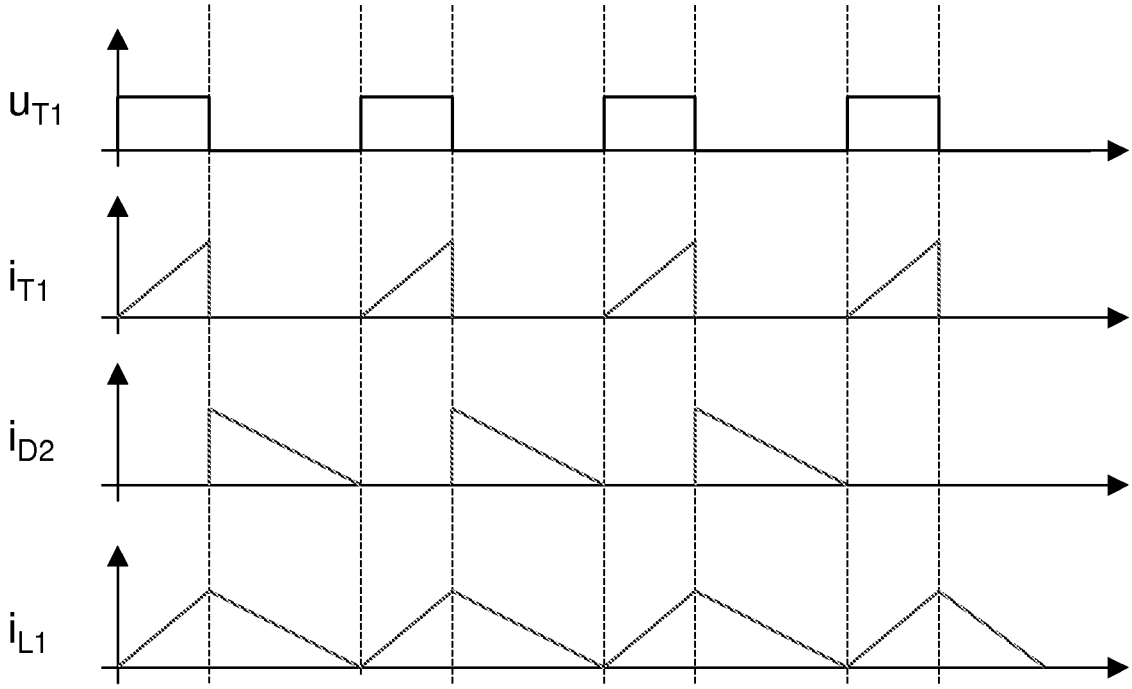


Fig. 6

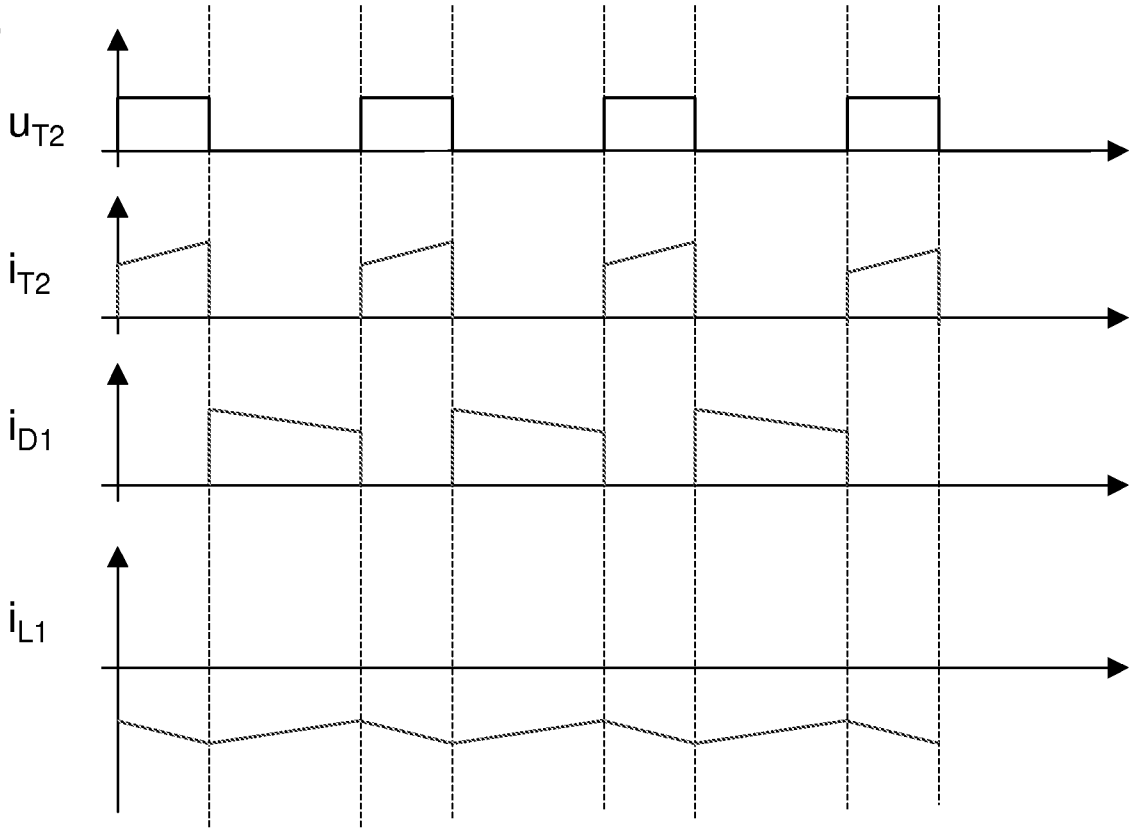


Fig. 7

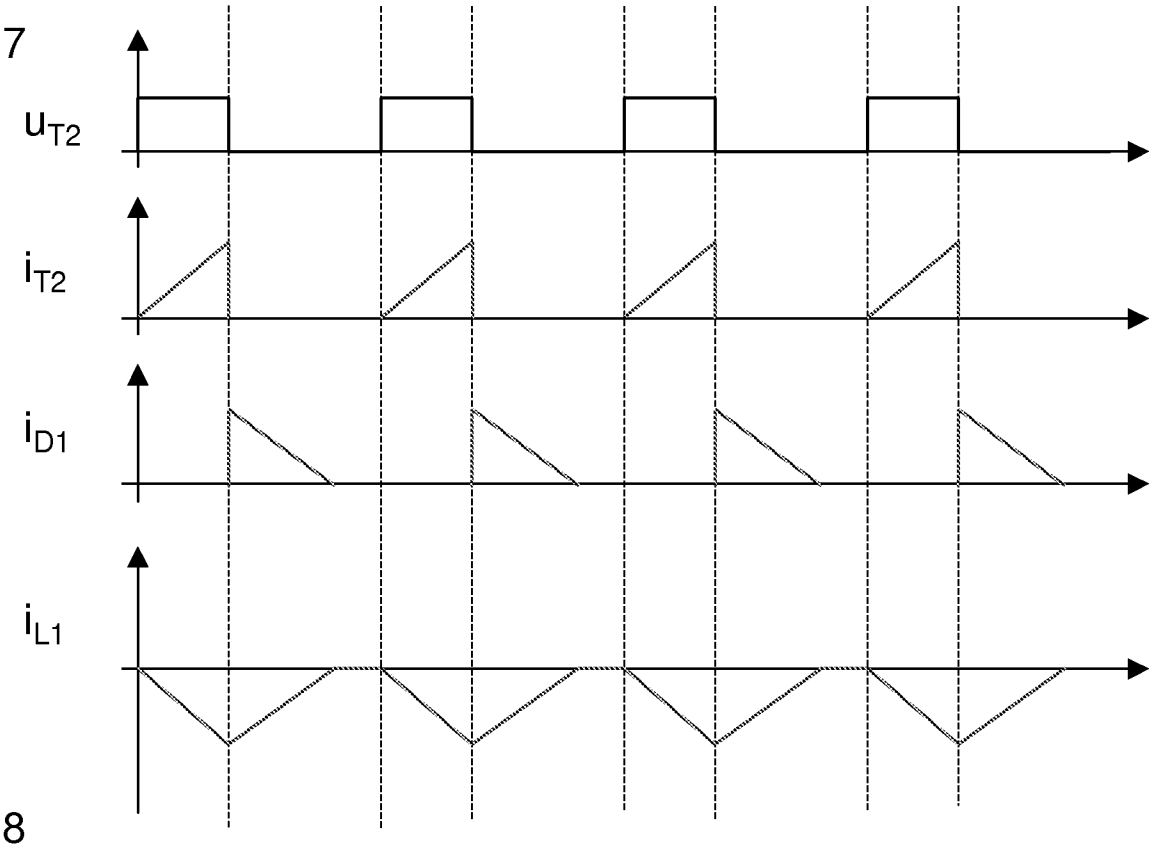


Fig. 8

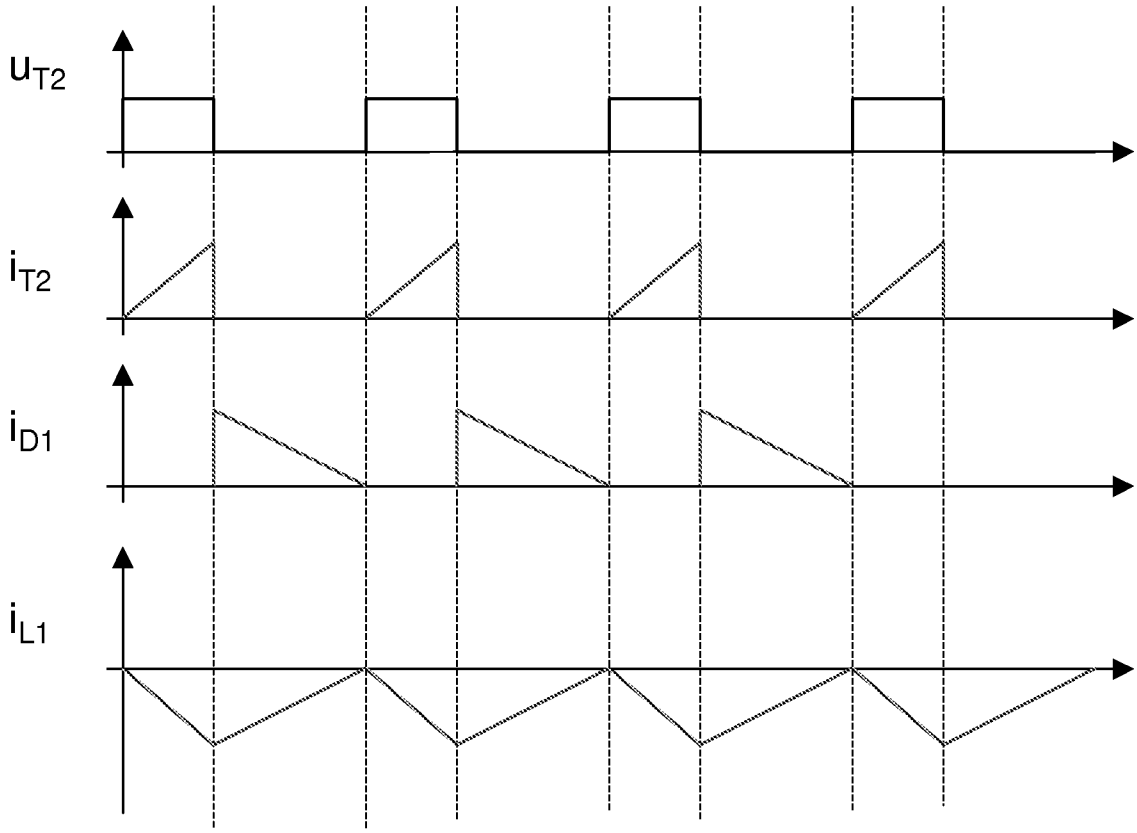


Fig. 9

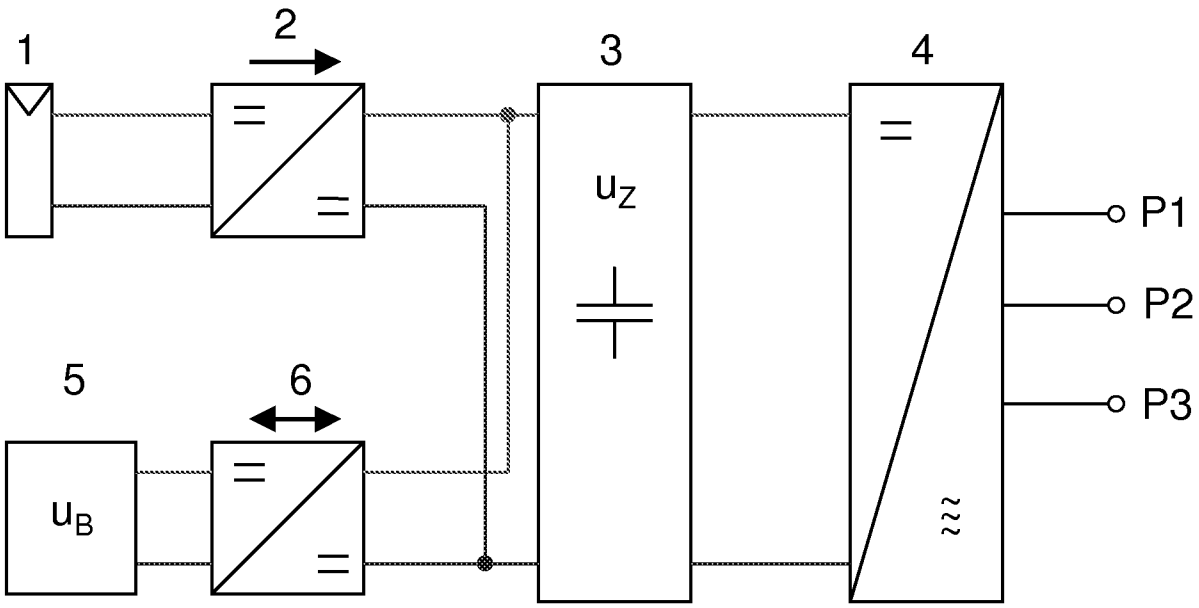


Fig. 10 Stand der Technik

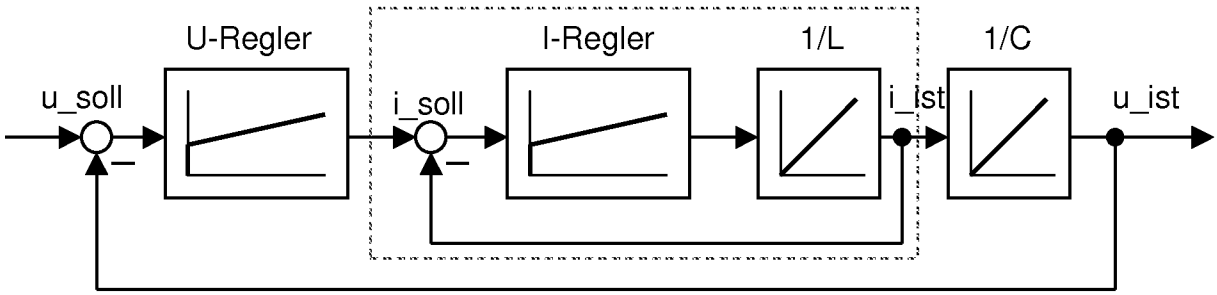


Fig. 11

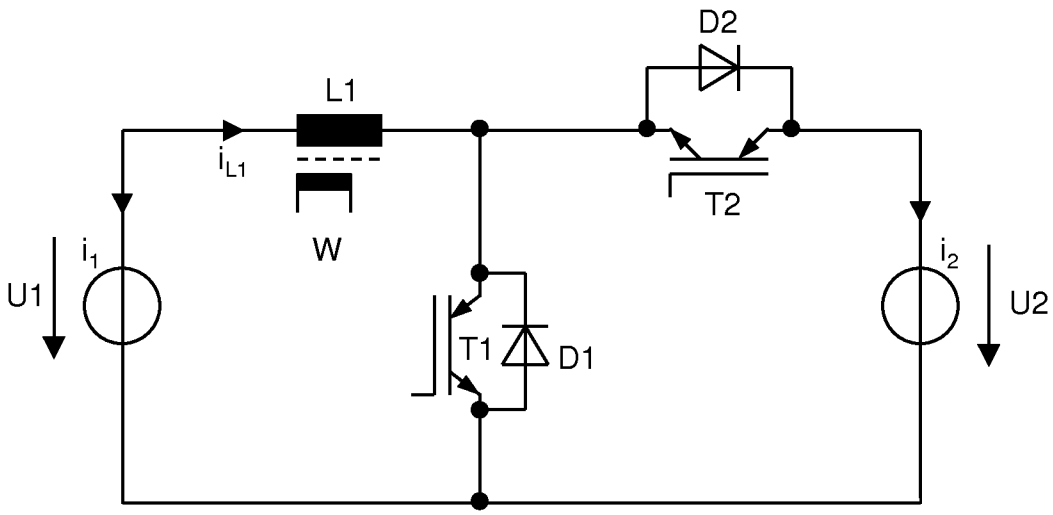


Fig. 12

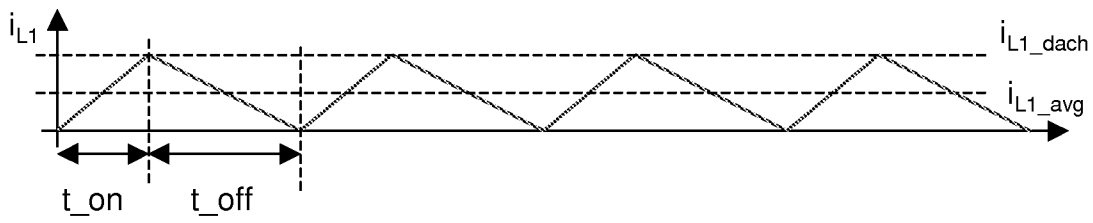


Fig. 13

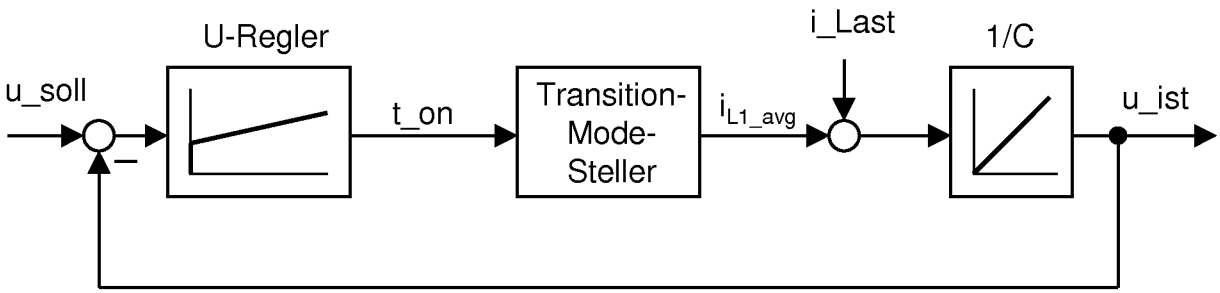

U-Regler
i_Last
1/C
u_soll
t_on
Transition-
Mode-
Steller
i_{L1_avg}
u_ist
–

Fig. 14

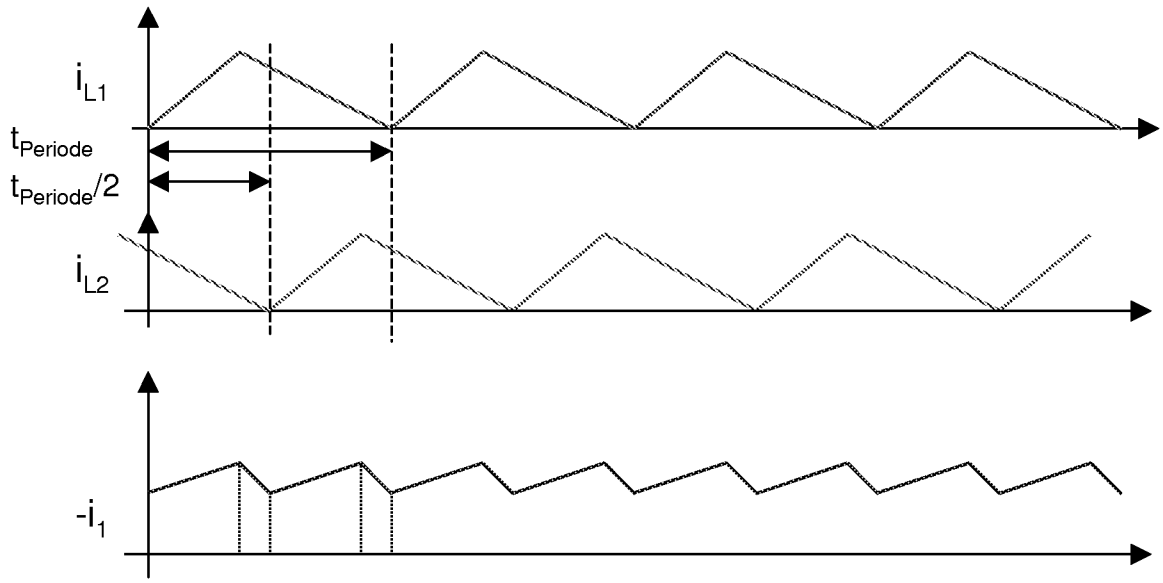

i_{L1}
$t_{Periode}$
$t_{Periode}/2$
i_{L2}
$-i_1$

Fig. 15

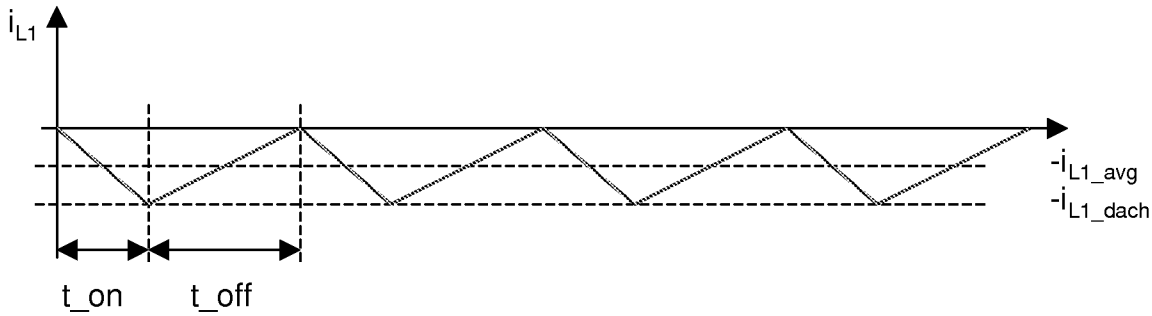


Fig. 16

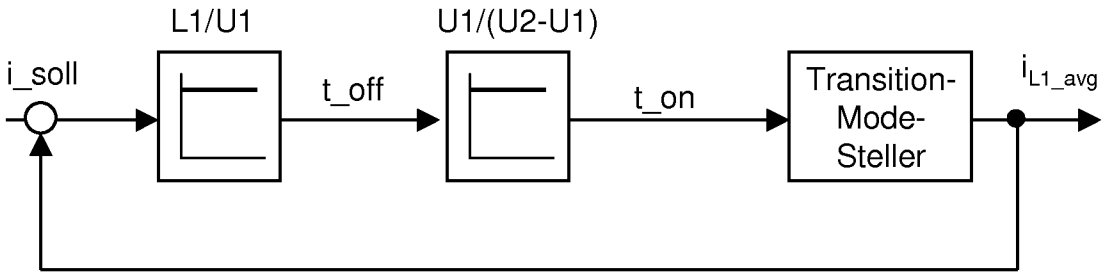


Fig. 17

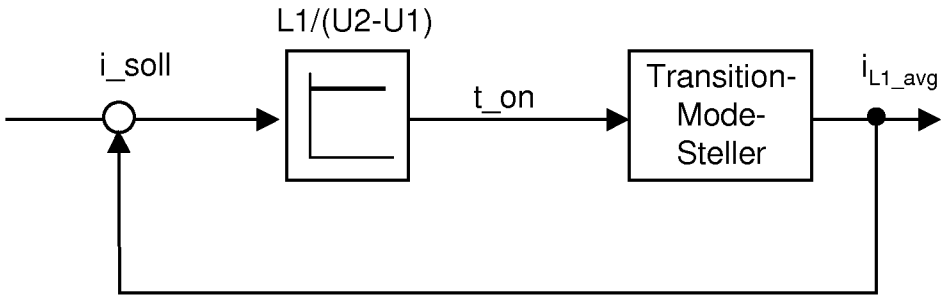
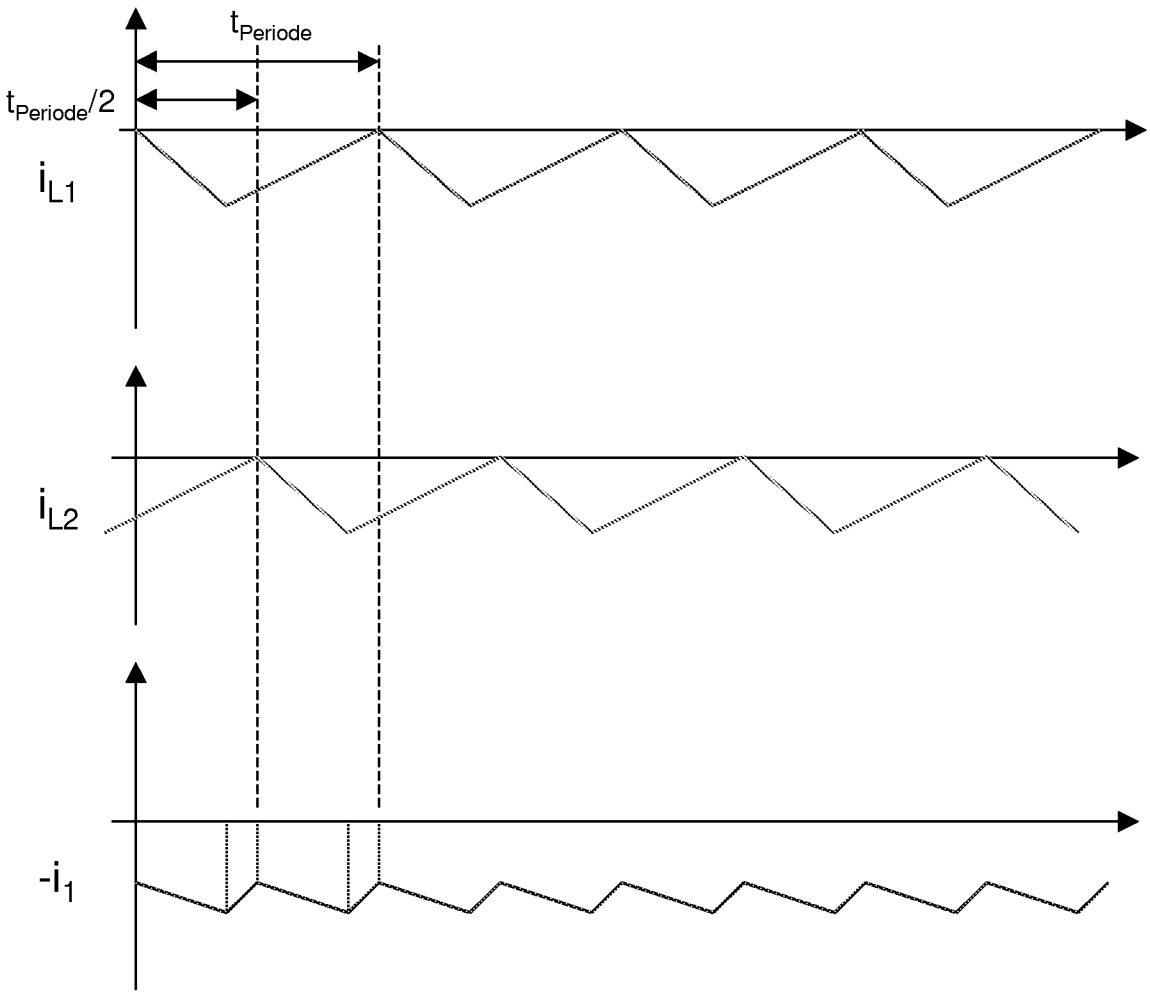


Fig. 18



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2008/061422

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. H02M1/15 H02M3/158

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

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
H02M

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

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)
EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	BLAISE DESTRAZ ET AL: "High Efficient Interleaved Multi-channel dc/dc Converter Dedicated to Mobile Applications" THE 2006 IEEE INDUSTRY APPLICATIONS CONFERENCE FORTY-FIRST IAS ANNUAL MEETING, CONFERENCE RECORD OF, IEEE, PI, 1 October 2006 (2006-10-01), pages 2518-2523, XP031026372 ISBN: 978-1-4244-0364-6 abstract figures 3,4 page 2519, right-hand column, last paragraph page 2520 page 2521, left-hand column, last paragraph page 2521, right-hand column - page 2522, left-hand column	1,9
Y		3-8

-/--

[X] Further documents are listed in the continuation of Box C.

[X] See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier document but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
23 Dezember 2008	16/01/2009

Name and mailing address of the ISA/	Authorized officer
European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Zettler, Karl-Rudolf

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (April 2005)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2008/061422

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A		2
Y	JP 2004 357388 A (DENSO CORP) 16 December 2004 (2004-12-16) abstract figures 1-4 paragraphs [0004], [0015]	7,8
A		1-6,9
Y	EP 0 837 548 A (MATSUSHITA ELECTRIC IND CO LTD [JP]) 22 April 1998 (1998-04-22) figure 8 page 7, lines 8-12	3
Y	SCHEIBLE G ET AL: "System engineering aspects and power elctronics in an autonomous photovoltaic-hydrogen system" POWER ELECTRONIC DRIVES AND ENERGY SYSTEMS FOR INDUSTRIAL GROWTH, 1998 . PROCEEDINGS. 1998 INTERNATIONAL CONFERENCE ON PERTH, WESTERN AUSTRALIA 1-3 DEC. 1998, PISCATAWAY, NJ, USA,IEEE, vol. 1, 1 December 1998 (1998-12-01), pages 475-480, XP010720722 ISBN: 978-0-7803-4879-0 figure 2 page 475, right-hand column, last paragraph	4-8

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No
PCT/EP2008/061422

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
JP 2004357388 A	16-12-2004	JP 4110470 B2	02-07-2008
EP 0837548 A	22-04-1998	CN 1180955 A	06-05-1998
		DE 69722742 D1	17-07-2003
		DE 69722742 T2	22-04-2004
		US 5905369 A	18-05-1999

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP2008/061422

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
INV. H02M1/15 H02M3/158

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

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
H02M

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

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

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	BLAISE DESTRAZ ET AL: "High Efficient Interleaved Multi-channel dc/dc Converter Dedicated to Mobile Applications" THE 2006 IEEE INDUSTRY APPLICATIONS CONFERENCE FORTY-FIRST IAS ANNUAL MEETING, CONFERENCE RECORD OF, IEEE, PI, 1. Oktober 2006 (2006-10-01), Seiten 2518-2523, XP031026372 ISBN: 978-1-4244-0364-6 Zusammenfassung Abbildungen 3,4 Seite 2519, rechte Spalte, letzter Absatz Seite 2520 Seite 2521, linke Spalte, letzter Absatz Seite 2521, rechte Spalte - Seite 2522, linke Spalte	1,9
Y		3-8
A		2
	----- -/--	

[X] Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen [X] Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :
"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist
"E" älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist
"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)
"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht
"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist
"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist
"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden
"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist
"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche	Absendedatum des internationalen Recherchenberichts
23. Dezember 2008	16/01/2009

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

Formblatt PCT/ISA/210 (Blatt 2) (April 2005)

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
Y	JP 2004 357388 A (DENSO CORP) 16. Dezember 2004 (2004-12-16) Zusammenfassung Abbildungen 1-4 Absätze [0004], [0015]	7,8
A		1-6,9
Y	EP 0 837 548 A (MATSUSHITA ELECTRIC IND CO LTD [JP]) 22. April 1998 (1998-04-22) Abbildung 8 Seite 7, Zeilen 8-12	3
Y	SCHEIBLE G ET AL: "System engineering aspects and power elctronics in an autonomous photovoltaic-hydrogen system" POWER ELECTRONIC DRIVES AND ENERGY SYSTEMS FOR INDUSTRIAL GROWTH, 1998 . PROCEEDINGS. 1998 INTERNATIONAL CONFERENCE ON PERTH, WESTERN AUSTRALIA 1-3 DEC. 1998, PISCATAWAY, NJ, USA,IEEE, Bd. 1, 1. Dezember 1998 (1998-12-01), Seiten 475-480, XP010720722 ISBN: 978-0-7803-4879-0 Abbildung 2 Seite 475, rechte Spalte, letzter Absatz	4-8

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP2008/061422

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
JP 2004357388 A	16-12-2004	JP 4110470 B2	02-07-2008
EP 0837548 A	22-04-1998	CN 1180955 A	06-05-1998
		DE 69722742 D1	17-07-2003
		DE 69722742 T2	22-04-2004
		US 5905369 A	18-05-1999