

(19)



(11)

EP 2 201 821 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
13.09.2017 Patentblatt 2017/37

(51) Int Cl.:
H05B 33/08 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **08840612.9**

(86) Internationale Anmeldenummer:
PCT/EP2008/008729

(22) Anmeldetag: **15.10.2008**

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:
WO 2009/049876 (23.04.2009 Gazette 2009/17)

(54) **BETRIEBSSCHALTUNG FÜR LEUCHTDIODEN UND VERFAHREN ZUM BETRIEB VON LEUCHTDIODEN**

OPERATING CIRCUIT FOR LIGHT-EMITTING DIODES AND METHOD FOR OPERATING LIGHT-EMITTING DIODES

CIRCUIT PERMETTANT DE FAIRE FONCTIONNER DES DIODES ÉLECTROLUMINESCENTES ET PROCÉDÉ PERMETTANT DE FAIRE FONCTIONNER DES DIODES ÉLECTROLUMINESCENTES

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MT NL NO PL PT RO SE SI SK TR

(30) Priorität: **16.10.2007 DE 102007049533**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
30.06.2010 Patentblatt 2010/26

(73) Patentinhaber: **Tridonic GmbH & Co KG**
6851 Dornbirn (AT)

(72) Erfinder: **RICHTER, Falk**
A-6830 Rankweil (AT)

(74) Vertreter: **Rupp, Christian et al**
Mitscherlich PartmbB
Patent- und Rechtsanwälte
Sonnenstraße 33
80331 München (DE)

(56) Entgegenhaltungen:
US-A1- 2006 214 603 US-A1- 2007 097 044
US-B1- 6 320 330

EP 2 201 821 B1

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents im Europäischen Patentblatt kann jedermann nach Maßgabe der Ausführungsordnung beim Europäischen Patentamt gegen dieses Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf eine Schaltung und ein Verfahren zum Betrieb von Leuchtdioden mittels Schaltreglern zur Bereitstellung der Betriebsspannung für die LEDs .

[0002] Es ist grundsätzlich bekannt, Schaltregler, insbesondere Tiefsetzsteller (Buck-Konverter) zur Ansteuerung von Leuchtdioden zu verwenden. Dabei steuert eine Steuereinheit einen getakteten Halbleiter-Leistungsschalter an, mittels dessen in dessen eingeschalteten Zustand eine Induktivität energetisiert wird, wobei sich die Energie der Induktivität im ausgeschalteten Zustand des Schalters dann über die Leuchtdiodenstrecke entlädt.

[0003] Aus der US 2007/0097044 A1 ist eine Treiberschaltung für Leuchtmittel bekannt, die ein Schalten eines Schalters abhängig von einem LED Strom erlaubt.

[0004] Es kommt somit durch die Leuchtdioden zum einem Zick-Zackförmigen Stromverlauf um einen konstanten Mittelwert herum, wobei sich im eingeschalteten Zustand des Schalters jeweils eine ansteigende Flanke und im ausgeschalteten Zustand des Schalters eine abfallende Flanke des Leuchtdiodenstroms ergibt.

[0005] Somit kann der zeitliche Mittelwert des Leuchtdiodenstroms durch entsprechende Taktung des Leistungsschalters eingestellt werden. Zur Regelung des Mittelwerts des Leuchtdiodenstroms muss dementsprechend der Strom durch die Leuchtdioden auch erfasst werden.

[0006] In Fig. 1 ist schematisch ein Beispiel für eine Schaltung zum geregelten Betrieb für Leuchtdioden dargestellt. Im hier gezeigten Beispiel gemäß Fig. 1 ist als Grundschaltung für LED-Module ein erster Buck-Konverter 10 dargestellt. Für den Betrieb zumindest einer Leuchtdiode 7 wird der Schaltung eine Eingangs-Gleichspannung V_1 zugeführt, die natürlich auch eine gleichgerichtete Wechselspannung sein kann.

[0007] Eine Serienschaltung zwischen einem Schalter 5, beispielsweise einem Halbleiter-Leistungsschalter insbesondere einem MOSFET, und einer Freilaufdiode 2 energetisiert in eingeschalteten Zustand des Schalters 5 eine Induktivität 3 mittels des durch den Schalter 5 fließenden Stroms. Im ausgeschalteten Zustand des Schalters 5 entlädt sich die in der Induktivität 3 gespeicherte Energie in Form eines Stromes durch die zumindest eine Leuchtdiode 7

[0008] Der durch die zumindest eine Leuchtdiode 7 fließende Strom kann an einem Shuntwiderstand 6 durch eine entsprechende Sensorik gemessen werden. Nachteilig hierbei ist jedoch, dass an dem Shuntwiderstand 6 der Strom nur während der Einschaltphase des Schalters 5 gemessen werden kann. In der Freilaufphase fließt der Strom durch die Freilaufdiode 2, die zumindest eine Leuchtdiode 7 und die Induktivität 3 und ist für eine am Shuntwiderstand 6 angeschlossene Sensorik nicht detektierbar.

[0009] Um jedoch einen gewissen Rippel, d. h. einen bestimmten zeitlichen Mittelwert des Leuchtdiodenstroms erhalten zu können, wird eine Information auch über den Kurvenverlauf des Stromes während der Freilaufzeit benötigt. Eine Möglichkeit, dies zu erreichen, ist das Vorsehen eines weiteren Stromsensors, durch welchen der Strom während der Freilaufphase gemessen werden kann. Nachteilig hierbei ist jedoch die aufwändige Schaltung und Sensorik sowie die damit verbundenen Fehlerquellen.

[0010] Eine weitere Möglichkeit ist es, die Elemente der Schaltung so anzuordnen, dass sowohl in der Einschaltphase als auch in der Freilaufphase der Strom detektiert werden kann. Allerdings ist eine solche Schaltung sehr aufwändig. Die Druckschrift US 2007/0097044 A1 offenbart ein Betriebsgerät für LEDs aufweisend einen Schalter. Ein Impulssignal verursacht periodisch das Wiedereinschalten des Schalters. Wenn nach Einschalten des Schalters der LED-Strom sich unterhalb bzw. oberhalb eines Schwellenwerts befindet, so wird die Periode des Impulssignals abgesenkt bzw. erhöht.

[0011] Es ist daher die Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine Betriebsschaltung für wenigstens eine Leuchtdiode sowie ein Verfahren zum Betrieb wenigstens einer Leuchtdiode bereitzustellen, welcher auf einfache Art und Weise eine Konstanzhaltung des Diodenstroms und somit der Diodenleistung ermöglicht.

[0012] Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch die Merkmale der unabhängigen Ansprüche gelöst. Die abhängigen Ansprüche bilden den zentralen Gedanken der Erfindung in besonders vorteilhafter Weise weiter.

[0013] Die vorliegende Erfindung betrifft eine Betriebsschaltung für wenigstens eine Leuchtdiode, aufweisend eine Schaltreglerschaltung, der eine Gleichspannung zugeführt wird und mittels einem durch eine Steuereinheit getakteten Schalter eine Versorgungsspannung für die wenigstens eine Leuchtdiode bereitstellt, und einen mit der Steuereinheit verbundenen Stromsensor zum Erfassen des durch die zumindest eine Leuchtdiode fließenden Stromes während der Einschaltphase des Schalters, wobei die Steuereinheit die Zeitdauer zwischen einem Ausschalten und einem folgenden Einschalten des Schalters abhängig von dem mittels des Stromsensors während der Einschaltphase erfassten Strom bestimmt . Die Steuereinheit ist dazu ausgebildet, anhand eines Anstieges des mittels des Stromsensors während der Einschaltphase erfassten Stroms eine Zeitdauer zwischen einem Ausschalten und einem folgenden Einschalten des Schalters zu berechnen, die zum Erreichen eines bestimmten Stromwertes am Ende einer Freilaufphase notwendig ist.

[0014] Die Steuereinheit (13) kann mittels zumindest eines durch den Stromsensor (6, 12) erfassten Stromwertes den Stromwert (I_A) am Ende der Freilaufphase (F) des Schalters (5) berechnen.

[0015] Die Steuereinheit (13) kann den berechneten Stromwert (I_A) am Ende der Freilaufphase (F) mit einem vorgegebenen Sollwert vergleichen.

[0016] Die Steuereinheit kann die Zeitdauer (toff) zwischen einem Ausschalten und einem folgenden Einschalten des

Schalters (5) nicht verändern, falls der berechnete Stromwert (I_A) am Ende der Freilaufphase (F) dem Sollwert entspricht.

[0017] Die Steuereinheit kann die Zeitdauer (toff) zwischen einem Ausschalten und einem folgenden Einschalten des Schalters (5) erhöhen, falls der berechnete Stromwert (I_A) am Ende der Freilaufphase (F) größer als der Sollwert ist.

[0018] Die Steuereinheit kann die Zeitdauer (toff) zwischen einem Ausschalten und einem folgenden Einschalten des Schalters (5) verringern, falls der berechnete Stromwert (I_A) am Ende der Freilaufphase (F) kleiner als der Sollwert ist.

[0019] Die vorliegende Erfindung betrifft des Weiteren ein Verfahren zum Betrieb wenigstens einer Leuchtdiode mittels einer Schaltreglerschaltung, der eine Gleichspannung zugeführt wird und die mittels eines getakteten Schalters eine Versorgungsspannung für die wenigstens eine Leuchtdiode bereitstellt, umfassend die Schritte Erfassen des durch die zumindest eine Leuchtdiode (LED) fließenden Stromes während der Einschaltphase des Schalters und Bestimmen der Zeitdauer zwischen einem Ausschalten und einem folgenden Einschalten des Schalters abhängig von dem während der Einschaltphase erfassten Strom. Anhand eines Anstieges des während der Einschaltphase erfassten Stroms wird eine Zeitdauer zwischen einem Ausschalten und einem folgenden Einschalten des Schalters berechnet, die zum Erreichen eines bestimmten Stromwertes am Ende einer Freilaufphase notwendig ist.

[0020] Vorteilhafterweise berechnet die Steuereinheit mittels zumindest eines durch den Stromsensor erfassten Stromwertes den Stromwert am Ende der Freilaufphase des Schalters.

[0021] Vorteilhafterweise vergleicht die Steuereinheit den berechneten Stromwert am Ende der Freilaufphase mit einem vorgegebenen Sollwert.

[0022] Des Weiteren verändert vorteilhafterweise die Steuereinheit die Zeitdauer zwischen einem Ausschalten und einem folgenden Einschalten des Schalters nicht, falls der berechnete Stromwert am Ende der Freilaufphase dem Sollwert entspricht.

[0023] Vorteilhafterweise erhöht die Steuereinheit die Zeitdauer zwischen einem Ausschalten und einem folgenden Einschalten des Schalters, falls der berechnete Stromwert am Ende der Freilaufphase größer als der Sollwert ist.

[0024] Andernfalls erhöht vorteilhafterweise die Steuereinheit die Zeitdauer zwischen einem Ausschalten und einem folgenden Einschalten des Schalters, falls der berechnete Stromwert am Ende der Freilaufphase kleiner als der Sollwert ist.

[0025] Bevorzugt wartet die Steuereinheit beginnend mit der Einschaltphase des Schalters eine Ausblendzeit t_{blk} ab und erfasst unmittelbar nach der Ausblendzeit mittels des Stromsensors einen ersten Stromwert.

[0026] Gemäß einer ersten Ausführungsform ist vorgesehen, dass die Steuereinheit den Stromwert am Ende der Freilaufphase mittels des ersten Stromwertes berechnet durch $I_A = I_B$, wobei I_A der Stromwert am Ende der Freilaufphase und I_B der erste Stromwert ist.

[0027] Gemäß einer zweiten Ausführungsform ist vorgesehen, dass die Steuereinheit einen zweiten Stromwert am Ende der Einschaltphase bestimmt und die Steuereinheit den Stromwert am Ende der Freilaufphase mittels des ersten und zweiten Stromwertes berechnet aus

$$I_A = I_B - \frac{I_D - I_B}{t_{on} - t_{blk}} * t_{blk},$$

wobei I_A der Stromwert am Ende der Freilaufphase, I_B der erste Stromwert und I_D der zweite Stromwert ist.

[0028] Gemäß einer dritten Ausführungsform ist vorgesehen, dass die Steuereinheit nach Erfassen des ersten Stromwertes erneut die Dauer der Ausblendzeit abwartet und unmittelbar nach der zweiten Ausblendzeit einen dritten Stromwert erfasst und

dass die Steuereinheit den Stromwert am Ende der Freilaufphase mittels des ersten und dritten Stromwertes berechnet aus

$$I_A = 2 * I_B - I_C,$$

wobei I_A der Stromwert am Ende der Freilaufphase, I_B der erste Stromwert und I_C der dritte Stromwert ist.

[0029] Gemäß einer weiteren Ausführungsform ist vorgesehen, dass die Steuereinheit die Zeitdauer zwischen einem Ausschalten und einem folgenden Einschalten des Schalters abhängig von dem Anstieg des mittels des Stromsensors während der Einschaltphase erfassten Strom bestimmt.

[0030] Weitere Merkmale, Vorteile und Eigenschaften der vorliegenden Erfindung sollen nunmehr anhand der Figuren der begleitenden Zeichnungen und der detaillierten Beschreibung von Ausführungsbeispielen erläutert werden. Hierbei zeigt

- Fig. 1 einen ersten bekannten Buck-Konverter für Leuchtdioden,
- Fig. 2 einen typischen Stromverlauf durch ein Leuchtdiodenmodul in einem Buck-Konverter,
- 5 Fig. 3 eine erfindungsgemäße Betriebsschaltung für Leuchtdioden,
- Fig. 4 und Fig. 5 Details bezüglich des Stromverlaufs durch das Leuchtdiodenmodul,
- Fig. 6 in Flussdiagramm mit den Schritten des erfindungsgemäßen Verfahrens zum Betrieb des Leuchtdiodenmoduls, und
- 10 Fig. 7 eine weitere erfindungsgemäße Betriebsschaltung für Leuchtdioden.

[0031] Fig. 2 zeigt die typischen Spannungs- und Stromverläufe in einem Buck-Konverter, bzw. im Fall einer Rechteckspannung. In Fig. 2 ist hierfür entlang der X-Achse die Zeit dargestellt und entlang der Y-Achse der Spannungsverlauf bzw. der Stromverlauf durch die zumindest eine Leuchtdiode 7.

[0032] Durch entsprechendes Ansteuern des Schalters 5 wird die Betriebsschaltung mit einer Rechteckspannung versorgt, d. h. während der Einschaltphase E des Schalters 5 über eine Zeitspanne t_{On} wird die Betriebsschaltung mit einer bestimmten Spannung versorgt, und während einer Freilaufphase F über eine Zeitspanne t_{Off} , während welcher der Schalter 5 offen ist, wird die Schaltung nicht durch die Spannungsquelle versorgt.

[0033] Durch die bereits erläuterte Induktivität 3 ergibt sich an der zumindest einen Leuchtdiode 7 ein Stromverlauf wie in Fig. 2 dargestellt. Während der Einschaltphase E des Schalters 5 steigt der Strom durch die zumindest eine Leuchtdiode 7 an und während der darauffolgenden Freilaufphase F sinkt der Strom durch die zumindest eine Leuchtdiode 7 wieder ab. Allerdings entsteht beim Einschalten des Schalters 5 zu Beginn der Einschaltphase E durch ein Snubber-Netzwerk oder die parasitäre Kapazität des Schalters 5 eine Stromspitze. Nach dessen Abklingen steigt der Strom aufgrund der Induktivität 3 linear an. Nach dem Ausschalten des Schalters 5 läuft sich die Induktivität über die Last und die Diode 2 frei. Die Zeitdauer während der Stromspitze wird als Blanking-Time t_{blk} bzw. als Ausblendzeit t_{blk} bezeichnet.

[0034] Um einen konstanten zeitlichen Mittelwert für den Leuchtdiodenstrom zu erhalten, ist es notwendig, den Stromwert am Ende der Freilaufzeit zu kennen, da in Abhängigkeit von diesem Stromwert die Zeitdauer zwischen einem Ausschalten und einem folgenden Einschalten des Schalters 5 festgelegt wird. Da aber wie bereits erläutert, der Freilaufstrom nicht über den Shuntwiderstand wegläuft, kann dieser Strom nicht detektiert werden.

[0035] Die vorliegende Erfindung umgeht dieses Problem, indem der Strom direkt nach dem Einschalten des Schalters 5 detektiert wird und durch die Messwerte des Stromes während der Einschaltzeit E auf den Freilaufstrom rückgeschlossen wird.

[0036] Fig. 3 zeigt eine erfindungsgemäße Betriebsschaltung 1 für den Betrieb wenigstens einer Leuchtdiode 7. Die Schaltung entspricht hierbei dem ersten Buck-Konverter 11, wie er in Fig. 1 dargestellt ist und bereits erläutert wurde. Erfindungsgemäß ist hierbei zusätzlich ein Sensor 12 vorgesehen, welcher geeignet ist, den mittels des Shuntwiderstands 6 gemessenen Strom zu detektieren und den Wert an eine Steuereinheit 13 weiterzuleiten. Die Steuereinheit 13 steuert den Schalter 5 an und ist des Weiteren geeignet, auf Basis der von dem Sensor 12 übermittelten Strommesswerte die Ausschaltzeitdauer t_{Off} sowie die Einschaltzeitdauer t_{On} des Schalters 5 entsprechend zu bestimmen. Die Bestimmung der Ausschaltzeitdauer t_{Off} durch die Steuereinheit 13 wird im Folgenden im Detail erläutert.

[0037] In Fig. 4 ist nochmals der Spannungs- und Stromverlauf in einem Leuchtdiodenmodul dargestellt. Eine erste Möglichkeit, auf den Strom I_A am Ende der Freilaufzeit rückschließen zu können, ist, nach der Ausblendzeit, d.h. der Blankingtime t_{blk} , einen ersten Stromwert I_B zu messen. Bei dieser ersten Möglichkeit wird davon ausgegangen, dass t_{blk} viel kleiner ist als t_{On} und somit der nach der Blankingtime gemessene Strom I_B ungefähr dem Strom I_A am Ende der Freilaufzeit entspricht. Somit kann der Stromwert am Ende der Freilaufphase mittels der ersten Stromwertes berechnet werden aus $I_A = I_B$.

[0038] Der so berechnete Stromwert am Ende der Freilaufphase I_A wird mit einem Sollwert verglichen und falls I_A größer als der gewünschte Sollwert ist, so wird beim nächsten Takt die Zeitdauer t_{Off} zwischen einem Ausschalten und einem Folgenden Anschalten vergrößert. Ist der Strom I_A kleiner als der gewünschte Sollwert, so wird hingegen beim nächsten Takt t_{Off} verkürzt. Entspricht der Strom I_A ggf. auch innerhalb vorbestimmter Toleranzwerte dem gewünschten Sollwert, so wird beim nächsten Takt t_{Off} unverändert belassen.

[0039] Eine zweite Methode zur Bestimmung des Stromes am Ende der Freilaufphase I_A wird im Folgenden erläutert. Diese Methode kann dann Anwendung finden, falls die Blankingtime t_{blk} nicht gegenüber der Einschaltzeitdauer t_{On} vernachlässigbar ist und durch die oben angenommene Näherung die Genauigkeitsanforderungen an I_A nicht erfüllt werden können oder im Fall, dass I_A besonders genau bestimmt werden muss. Für diesen Fall ist es möglich, noch einen zweiten Stromwert I_D am Ende der Einschaltphase E zu messen. Der Strom I_A am Ende der Freilaufphase kann

dann folgendermaßen berechnet werden:

$$I_A = I_B - \frac{I_D - I_B}{t_{on} - t_{blk}} * t_{blk}$$

[0040] Diese Berechnung beruht auf dem Prinzip, dass der Strom nach dem Einschalten des Schalters 5 linear ansteigt und somit durch zwei Messungen des Stromverlaufs I_B und I_D auf den Strom I_A am Ende der Freilaufphase zurückgerechnet werden kann.

[0041] Der Rechenaufwand für die oben genannte zweite Methode ist insbesondere bei einer Digitalschaltung verhältnismäßig kompliziert, da sowohl Division als auch Multiplikation durchgeführt werden muss.

[0042] Erfindungsgemäß wird daher eine dritte Methode vorgeschlagen, welche auf der Messung eines dritten Stromwertes I_C basiert. Dies ist schematisch in Fig. 5 dargestellt. Für diese Methode wird ebenfalls die Blankingtime t_{blk} abgewartet und dann der erste Stromwert am Ende der Blankingtime I_B erfasst. Anschließend wird nochmals die Blankingtime t_{blk} abgewartet und der dritte Stromwert I_C erfasst. Da die Differenz aus I_C und I_B , also $I_C - I_B$, auf Grund des linearen Spulenstroms gleich der Differenz $I_B - I_A$, ist, kann I_A berechnet werden aus:

$$I_A = I_B - (I_C - I_B) = 2 * I_B - I_C.$$

[0043] Somit lässt sich auch in einer Digitalschaltung der Stromwert I_A am Ende der Freilaufphase verhältnismäßig einfach berechnen, da sich die Berechnung im Digitalbereich auf eine Bitverschiebung sowie eine Subtraktion reduziert.

[0044] Durch die vorliegende Erfindung ist sichergestellt, dass der Stromfluss durch die zumindest eine Leuchtdiode 7 möglichst nie auf Null abfällt, d. h. die Erfindung bezieht sich insbesondere auf den continuous conduction mode. Somit ergibt sich ein möglichst kleiner Rippel des Stromverlaufs durch die zumindest eine Leuchtdiode 7.

[0045] Das erfindungsgemäße Verfahren ist in der Übersicht in Fig. 6 nochmals schematisch dargestellt. Das Verfahren beginnt in Schritt S0 mit dem Ende der Freilaufphase F. Im folgenden Schritt S1 gibt die Steuereinheit 13 das Signal für die Einschaltphase an den Schalter 5 aus. Im folgenden Schritt S2 wird die Ausblendzeit, d. h. die Blankingtime t_{blk} abgewartet. Im folgenden Schritt S3, welcher auch aus mehreren

[0046] Unterschritten bestehen kann, wird zumindest ein Stromwert, d.h. ein Messwert des Stromes während der Einschaltphase, durch den Shuntwiderstand 6 und die Sensorik 12 aufgenommen.

[0047] Im folgenden Schritt S4 berechnet die Steuereinheit auf Basis der übermittelten Stromwerte den Rücklaufstrom, d. h. den Strom I_A am Ende der Freilaufphase. Im folgenden Schritt S5 wird überprüft, ob der Rücklaufstrom einem vorgegebenen Sollwert entspricht. Falls dies der Fall ist, wird im folgenden Schritt S7 keine Veränderung der Ausschaltzeit t_{off} vorgenommen.

[0048] Andernfalls, falls im Schritt S5 festgestellt wird, dass der Rücklaufstrom I_A nicht einem Sollwert entspricht, wird im folgenden Schritt S6 überprüft, ob der Rücklaufstrom I_A größer als der Sollwert ist. Falls dies der Fall ist, wird in einem folgenden Schritt S9 die nächste Ausschaltzeit erhöht, andernfalls wird in einem folgenden Schritt S8 die folgende Ausschaltzeit verringert. Hierbei ist die Ausschaltzeit die Zeitdauer zwischen dem Ausschalten und dem folgenden Einschalten des Schalters 5. Das Verfahren endet in Schritt S10.

[0049] Die in Schritt S4 vorgenommene Berechnung kann hierbei auf einer der drei genannten Methoden basieren in Abhängigkeit von den Voreinstellungen und den aufgenommenen Messwerten. Eine weitere Möglichkeit der Regelung besteht darin, daß der Anstieg des durch den Stromsensor 6,12 erfassten Stromwertes ausgewertet wird. Dabei wird die Differenz zwischen dem Stromwert am Anfang und am Ende der Einschaltphase ermittelt. Aus dem Anstieg des Stromes kann auf die Größe der Induktivität 3 oder auch die Flußspannung der Leuchtdiode 7 geschlossen werden. Wenn die Größe der Induktivität 3 oder auch die Flußspannung der Leuchtdiode 7 bekannt sind, kann auf die für ein Erreichen eines Rücklaufstromes I_A erforderliche Ausschaltzeit t_{off} geschlossen werden.

[0050] Die Berechnung der erforderlichen Ausschaltzeit t_{off} bereits während einer Einschaltphase E anhand des Anstiegs des Stromes durch den Schalter S bietet den Vorteil, daß bereits vor der ersten Freilaufphase F die Ausschaltzeit vorausbestimmt werden kann.

[0051] Während der Einschaltphase ergibt sich der Strom durch den Schalter S aus dem Quotienten von Spannung über der Induktivität 3 und dem Wert der Induktivität 3 multipliziert mit der Einschaltzeit. Während der Ausschaltzeit ergibt sich der Abfall des Strom im Freilaufpfad (durch die Leuchtdiode 7) aus dem Quotienten von Spannung über der Induktivität 3 und dem Wert der Induktivität 3 multipliziert mit der Ausschaltzeit. Da während der Freilaufphase die Spannung über der Induktivität in etwa der Spannung über der Leuchtdiode 7 entspricht (die Differenz ergibt sich aus der Flußspannung der Freilaufdiode 2). Somit kann über die Dauer von Einschaltphase E und Ausschaltphase F sowie

durch Messung der Einschaltzeit und Ausschaltzeit t_{off} sowohl die Flußspannung der Leuchtdioden 7 als auch die Induktivität 3 bestimmt werden.

[0052] Wenn die Größe der Induktivität 3 oder die Flußspannung der Leuchtdiode 7 bereits (beispielsweise durch die Auslegung der Betriebsschaltung) bekannt ist, wird die Ermittlung der erforderlichen Ausschaltzeit vereinfacht. Es ist aber auch möglich, während des Betriebs die Spannung über der Induktivität 3 oder auch der Leuchtdiode 7 zu messen. Wenn der Schalter S eingeschaltet ist, kann gemäß der Schaltung nach Fig. 3 die Spannung über der Induktivität 3 über eine Spannungsmessung am Anschlußpunkt zwischen der Induktivität 3 und der Leuchtdiode 7 gemessen werden. Wenn beide Bauteile vertauscht sind, kann auf einfache Weise die Flußspannung über der Leuchtdiode 7 gemessen werden. Eine solche Spannungsmessung kann auch für eine Fehlererkennung genutzt werden. So kann beispielsweise auf einen Fehler der Leuchtdiode 7 oder auch auf einen durch einen in der Verkabelung der Leuchtdiode 7 verursachten Fehler wie einen Kurzschluß geschlossen werden.

[0053] Bei einer Speicherung der Werte für den Stromwert I_A kann eine zeitliche Überwachung der erfassten Stromwerte durchgeführt werden. Wenn eine Änderung der erfaßten Stromwerte erkannt wird, kann auf einen möglichen Fehler oder auch eine Alterung der Leuchtdiode 7 oder auch anderer Bauteile geschlossen werden.

[0054] Auch für die Berechnung der erforderlichen Ausschaltzeit t_{off} anhand des Anstiegs des Stromes durch den Schalter S während einer Einschaltphase E kann das bereits erläuterte Verfahren der Berücksichtigung der Ausblendzeiten t_{blk} genutzt werden.

[0055] Unter Zuhilfenahme des erfindungsgemäßen Verfahrens zum Vergleich des erfassten Stromwertes I_A am Ende der Freilaufphase F mit einem vorgegebenen Sollwert kann dabei die Bestimmung der Induktivität 3 oder auch der Flußspannung der Leuchtdiode 7 korrigiert oder auch vervollständigt werden. Somit kann anhand des Anstiegs des Stromes während einer Einschaltphase die erforderliche Zeitdauer t_{off} berechnen, die zum Erreichen eines bestimmten Stromwertes I_A am Ende der Freilaufphase F notwendig ist. Zusätzlich kann dann der tatsächlich erreichte Stromwert I_A am Ende der Freilaufphase F mit einem vorgegebenen Sollwert verglichen werden und die Zeitdauer t_{off} nochmals angepasst werden.

[0056] Bei dem Einsatz einer Digitalschaltung ist die Nutzung eines Speichers wie auch die Durchführung der notwendigen Berechnungen auf einfache Weise realisierbar. Eine solche Digitalschaltung verfügt vorteilhafterweise über mindestens einen Analog-Digital-Wandler zur Erfassung der Strom- und Spannungswerte, einen Rechenblock zur Verarbeitung und Berechnung der entsprechenden Werte sowie ein Speicher-Register zur Ablage der Messwerte und berechneten Werte.

[0057] Eine vorteilhafte Auslegung der erfindungsgemäßen Betriebsschaltung kann so ausgeführt sein, dass für die Regelung des Stromes durch die Leuchtdiode 7 nur der Strom während der Einschaltphase gemessen und ausgewertet wird, während eine vorhandene Spannungsdetektion nur für eine Fehlerabschaltung verwendet wird. Somit kann beispielsweise ein Komparator zur Überwachung der Spannung der Leuchtdiode 7 oder der Spannung über der Induktivität 3 eingesetzt werden, womit eine kostengünstige Schaltung aufgebaut werden kann.

[0058] Um eine möglichst genaue Bestimmung der notwendigen Schaltparameter wie der Ausschaltzeit t_{off} zu ermöglichen, kann es vorteilhaft sein, die Temperatur der Leuchtdiode 7 zu überwachen.

[0059] Fig. 7 zeigt eine weitere erfindungsgemäße Betriebsschaltung 1 für den Betrieb wenigstens einer Leuchtdiode 7. Die Schaltung entspricht hierbei einem Buck-Boost-Konverter 110. Erfindungsgemäß wird hierbei mittels des Shuntwiderstands 6 der Strom durch den Schalter 5 gemessen und der Wert an eine Steuereinheit 13 weitergeleitet. Die Steuereinheit 13 steuert den Schalter 5 an und ist des Weiteren geeignet, auf Basis der von dem Shuntwiderstand 6 übermittelten Strommesswerte die Ausschaltzeitdauer t_{off} sowie die Einschaltzeitdauer t_{on} des Schalters 5 entsprechend zu bestimmen. Während der Einschaltphase E des Schalters 5 wird die Induktivität 3 aufmagnetisiert. Während der Ausschaltphase F über eine Zeitspanne t_{off} wird die Induktivität 3 entmagnetisiert, wobei der Strom durch die Leuchtdiode 7 und die Diode 2 fließt.

[0060] Das erfindungsgemäße Verfahren kann für alle Schaltungstopologien zum Betrieb von Leuchtdioden eingesetzt werden, bei denen keine direkte Messung des Stromes durch die Leuchtdioden möglich ist, weil die Leuchtdioden nicht direkt gegen Masse verschaltet sind, sondern auf einem gegenüber Masse veränderlichen Potential angeschlossen sind. Dieses Verfahren kann daher auch bei Betriebsschaltungen mit Potentialtrennung eingesetzt werden, wobei während einer Einschaltphase E eine Induktivität 3 aufmagnetisiert wird und in einer darauffolgenden Ausschaltphase F entmagnetisiert wird und dabei einen Strom durch wenigstens eine Leuchtdiode 7 treibt. Die Induktivität 3 kann eine Sekundärwicklung aufweisen, über die sie ihre Energie während der Ausschaltphase F abgibt, wodurch die Potentialtrennung in der Schaltung erreicht wird. Eine solche Schaltung kann beispielsweise ein Forward-Konverter sein. Dabei wird der Strom durch einen Schalter (und der Stromanstieg) während einer Einschaltphase E erfasst und ausgewertet und das notwendige Schaltverhalten des Schalters 5 (beispielsweise die (Ausschalt-)Zeitdauer t_{off}) bestimmt.

[0061] Die vorliegende Betriebsschaltung und das vorliegende Verfahren zum Betrieb wenigstens einer Leuchtdiode ergibt also, dass unabhängig von der Last, beispielsweise unabhängig von der Anzahl der versorgten Leuchtdioden, der Stromverlauf immer zwischen einem Wert I_{max} und einem Wert I_{min} gehalten wird, d. h. dass immer bei demselben Wert $I_{\text{min}} > 0$ das Wiedereinschalten des Schalters 5 erfolgt. Ein Vorteil des durch die Erfindung garantierten verhältnis-

mäßig geringen Rippels, d. h. der Differenz zwischen $I_{\min}$ und $I_{\max}$, also $I_{\min}-I_{\max}$, ist es, dass die Leuchtdiode im Wesentlichen mit einem gleichbleibenden Strom versorgt wird, so dass sich die Farbverschiebung bei sehr unterschiedlichen Leuchtdiodenströmen nicht zeigt. Dies ist ein Nachteil von Schaltungen, die im discontinuous mode arbeiten, bei dem also der Leuchtdiodenstrom auf Null absinkt und ggf. auch eine zeitlang auf Null verbleibt, bevor der Schalter wieder eingeschaltet wird.

Patentansprüche

1. Betriebsschaltung für wenigstens eine Leuchtdiode (7), aufweisend eine Schaltreglerschaltung, der eine Gleichspannung zugeführt wird und mittels einem durch eine Steuereinheit (13) getakteten Schalter (5) eine Versorgungsspannung für die wenigstens eine Leuchtdiode (7) bereitstellt, und einen mit der Steuereinheit (13) verbundenen Stromsensor (6, 12) zum Erfassen des durch die zumindest eine Leuchtdiode (7) fließenden Stromes während der Einschaltphase (E) des Schalters (5), **dadurch gekennzeichnet, dass** die Steuereinheit (13) dazu ausgebildet ist, anhand eines Anstieges des mittels des Stromsensors (6, 12) während der Einschaltphase (E) erfassten Stroms eine Zeitdauer (t_{off}) zwischen einem Ausschalten und einem folgenden Einschalten des Schalters (5) zu berechnen, die zum Erreichen eines bestimmten Stromwertes (I_A) am Ende einer Freilaufphase (F) notwendig ist.

2. Schaltung (1) nach Anspruch 1, wobei die Steuereinheit (13) beginnend mit der Einschaltphase (E) des Schalters (5) eine Ausblendzeit (t_{blk}) abwartet und unmittelbar nach der Ausblendzeit (t_{blk}) mittels des Stromsensors (6, 12) einen ersten Stromwert (I_B) erfasst.

3. Schaltung (1) nach Anspruch 2, wobei die Steuereinheit (13) den Stromwert (I_A) am Ende der Freilaufphase (F) mittels des ersten Stromwertes (I_B) berechnet durch

$$I_A = I_B,$$

wobei I_A der Stromwert am Ende der Freilaufphase (F) und I_B der erste Stromwert ist.

4. Schaltung (1) nach Anspruch 2, wobei die Steuereinheit (13) einen zweiten Stromwert (I_D) am Ende der Einschaltphase (E) bestimmt und wobei die Steuereinheit (13) den Stromwert (I_A) am Ende der Freilaufphase (F) mittels des ersten (I_B) und zweiten Stromwertes (I_D) berechnet aus

$$I_A = I_B - \frac{I_D - I_B}{t_{\text{on}} - t_{\text{blk}}} * t_{\text{blk}},$$

wobei I_A der Stromwert am Ende der Freilaufphase (F), I_B der erste Stromwert und I_D der zweite Stromwert ist.

5. Schaltung (1) nach Anspruch 2, wobei die Steuereinheit nach Erfassen des ersten Stromwertes (I_B) erneut die Dauer der Ausblendzeit (t_{blk}) abwartet und unmittelbar nach der zweiten Ausblendzeit (t_{blk}) einen dritten Stromwert (I_C) erfasst und wobei die Steuereinheit (13) den Stromwert (I_A) am Ende der Freilaufphase (F) mittels des ersten (I_B) und dritten Stromwertes (I_C) berechnet aus

$$I_A = 2 * I_B - I_C,$$

wobei I_A der Stromwert am Ende der Freilaufphase (F), I_B der erste Stromwert und I_C der dritte Stromwert ist.

6. Verfahren zum Betrieb wenigstens einer Leuchtdiode (7) mittels einer Schaltreglerschaltung, der eine Gleichspan-

nung zugeführt wird und die mittels eines getakteten Schalters (5) eine Versorgungsspannung für die wenigstens eine Leuchtdiode (7) bereitstellt, umfassend den Schritt

- Erfassen des durch die zumindest eine Leuchtdiode (7) (LED) fließenden Stromes während der Einschaltphase (E) des Schalters (5)

dadurch gekennzeichnet, dass

anhand eines Anstieges des während der Einschaltphase (E) erfassten Stroms eine Zeitdauer (t_{off}) zwischen einem Ausschalten und einem folgenden Einschalten des Schalters (5) berechnet wird, die zum Erreichen eines bestimmten Stromwertes (I_A) am Ende einer Freilaufphase (F) notwendig ist.

7. Verfahren nach Anspruch 6, wobei die Zeitdauer (t_{off}) zwischen einem Ausschalten und einem folgenden Einschalten des Schalters (5) abhängig von dem Anstieg des mittels des Stromsensors (6, 12) während der Einschaltphase (E) erfassten Strom bestimmt wird.
8. Verfahren nach Anspruch 6 oder 7, wobei die Steuereinheit die Zeitdauer (t_{off}) zwischen einem Ausschalten und einem folgenden Einschalten des Schalters (5) erhöht, falls der berechnete Stromwert (I_A) am Ende der Freilaufphase (F) größer als der Sollwert ist, und/oder diese Zeitdauer verringert, falls der berechnete Stromwert kleiner als der Sollwert ist.
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 6 bis 8, wobei die Steuereinheit (13) beginnend mit der Einschaltphase (E) des Schalters (5) eine Ausblendzeit (t_{blk}) abwartet und unmittelbar nach der Ausblendzeit (t_{blk}) mittels des Stromsensors (6, 12) einen ersten Stromwert (I_B) erfasst.
10. Verfahren nach Anspruch 9, wobei die Steuereinheit (13) den Stromwert (I_A) am Ende der Freilaufphase (F) mittels des ersten Stromwertes (I_B) berechnet durch

$$I_A = I_B,$$

wobei I_A der Stromwert am Ende der Freilaufphase (F) und I_B der erste Stromwert ist.

11. Verfahren nach Anspruch 9, wobei die Steuereinheit (13) einen zweiten Stromwert (I_D) am Ende der Einschaltphase (E) bestimmt und wobei die Steuereinheit (13) den Stromwert (I_A) am Ende der Freilaufphase (F) mittels des ersten (I_B) und zweiten Stromwertes (I_D) berechnet aus

$$I_A = I_B - \frac{I_D - I_B}{t_{on} - t_{blk}} * t_{blk},$$

wobei I_A der Stromwert am Ende der Freilaufphase (F), I_B der erste Stromwert und I_D der zweite Stromwert ist.

12. Verfahren nach Anspruch 9, wobei die Steuereinheit nach Erfassen des ersten Stromwertes (I_B) erneut die Dauer der Ausblendzeit (t_{blk}) abwartet und unmittelbar nach der zweiten Ausblendzeit (t_{blk}) einen dritten Stromwert (I_C) erfasst und wobei die Steuereinheit (13) den Stromwert (I_A) am Ende der Freilaufphase (F) mittels des ersten (I_B) und dritten Stromwertes (I_C) berechnet aus

$$I_A = 2 * I_B - I_C,$$

wobei I_A der Stromwert am Ende der Freilaufphase (F), I_B der erste Stromwert und I_C der dritte Stromwert ist.

Claims

1. Operating circuit for at least one light emitting diode (7), comprising a switching regulator circuit to which a direct voltage is fed, and which provides a supply voltage for the at least one light emitting diode (7) by means of a switch (5) clocked by a control unit (13), and a current sensor (6, 12) connected to the control unit (13) to detect the current flowing through the at least one light emitting diode (7) during the turn-on phase (E) of the switch (5),

characterized in that

the control unit (13) is configured to calculate a period (t_{off}) between a turn-off and a subsequent turn-on of the switch (5) on the basis of an increase in the current detected by the current sensor (6, 12) during the turn-on phase (E) of the switch (5), which period is necessary to reach a certain current value (I_A) at the end of a freewheeling phase (F).

2. Circuit (1) according to claim 1, wherein the control unit (13) waits a blanking time (t_{blk}) starting with the turn-on phase (E) of the switch (5), and determines a first current value (I_B) by means of the current sensor (6, 12) immediately after the blanking time (t_{blk}).
3. Circuit (1) according to claim 2, wherein the control unit (13) calculates the current value (I_A) at the end of the freewheeling phase (F) by means of the first current value (I_B)

$$I_A = I_B,$$

wherein I_A is the current value at the end of the freewheeling phase (F) and I_B is the first current value.

4. Circuit (1) according to claim 2, wherein the control unit (13) determines a second current value (I_D) at the end of the turn-on phase (E), and wherein the control unit (13) calculates the current value (I_A) at the end of the freewheeling phase (F) using the first current (I_B) and the second current value (I_D)

$$I_A = I_B - \frac{I_D - I_B}{t_{on} - t_{blk}} * t_{blk},$$

wherein (I_A) is the current value at the end of the freewheeling phase (F), and (I_B) is the first current value, and (I_D) is the second current value.

5. Circuit (1) according to claim 2, wherein, after detecting the first current value (I_A), the control unit waits again for the duration of the blanking time (t_{blk}), and determines a third current value (I_C) immediately after the second blanking time (t_{blk}), and wherein the control unit (13) calculates the current value (I_A) at the end of the freewheeling phase (F) using the first current (I_B) and the third current value (I_C), wherein

$$I_A = 2 * I_B - I_C,$$

wherein I_A is the current value at the end of the freewheeling phase (F), I_B is the first current value, and I_C is the third current value.

6. Method for operating at least one light emitting diode (7) by means of a switching regulator circuit to which a direct voltage is applied, and which provides a supply voltage for the at least one light-emitting diode (7) by means of a clocked switch (5), comprising the step:

- detection of the current flowing through the at least one light emitting diode (7) (LED) during the turn-on phase (E) of the switch (5)

characterized in that

a period (t_{off}) between a turn-off and a subsequent turn-on of the switch (5) is calculated on the basis of an increase in the current detected during the turn-on phase (E), which is necessary in order to reach a certain current value (I_A) at the end of a freewheeling phase (F).

7. Method according to claim 6,
wherein the period (t_{off}) is determined as a function of the rise of the current detected by means of the current sensor (6, 12) during the turn-on phase (E) between a turn-off and a subsequent turn-on of the switch (5).
8. Method according to claim 6 or 7,
wherein the control unit increases the period (t_{off}) between a turn-off and a subsequent turn-on of the switch (5), when the calculated current value (I_A) is greater than the setpoint value at the end of the freewheeling phase (F), and/or decreases the period (t_{off}) when the calculated current value is smaller than the desired value.
9. Method according to one of claims 6 to 8,
wherein the control unit (13) waits for a blanking time (t_{blk}) starting with the turn-on phase (E) of the switch (5), and detects a first current value (I_B) immediately after the blanking time (t_{blk}) by means of the current sensor (6, 12).
10. Method according to claim 9,
wherein the control (13) unit calculates the current value (I_A) at the end of the freewheeling phase (F) by means of the first current value (I_B), wherein

$$I_A = I_B,$$

wherein I_A is the current value at the end of the freewheeling phase (F) and I_B is the first current value.

11. Method according to claim 9,
wherein the control unit (13) determines a second current value (I_D) at the end of the turn-on phase (E), and wherein the control unit (13) calculates the current value (I_A) at the end of the freewheeling phase (F) by means of the first current value (I_B) and second current value (I_D), wherein

$$I_A = I_B - \frac{I_D - I_B}{t_{on} - t_{blk}} * t_{blk},$$

wherein I_A is the current value at the end of the freewheeling phase (F), and I_B is the first current value, and I_D is the second current value.

12. Method according to claim 9,
wherein, after detecting the first current value (I_A), the control unit waits again for the duration of the blanking time (t_{blk}) and detects a third current value (I_C) immediately after the second blanking time (t_{blk}), and wherein the control unit (13) calculates the current value (I_A) at the end of the freewheeling phase (F) by means of the first current value (I_B) and third current value (I_C), wherein

$$I_A = 2 * I_B - I_C,$$

wherein I_A is the current value at the end of the freewheeling phase (F), I_B is the first current value, and I_C is the third current value.

Revendications

1. Circuit d'actionnement pour au moins une diode électroluminescente (7), comprenant un circuit régulateur auquel est appliqué une tension continue et qui génère une tension d'alimentation pour l'au moins une diode électroluminescente (7) au moyen d'un commutateur (5) cadencé par une unité de commande (13) et un capteur de courant (6, 12) relié avec l'unité de commande (13) pour la mesure du courant s'écoulant à travers

l'au moins une diode électroluminescente (7) pendant la phase d'activation (E) du commutateur (5),

caractérisé en ce que

l'unité de commande (13) est conçu pour calculer, à l'aide d'une augmentation du courant mesuré au moyen du capteur de courant (6, 12) pendant la phase d'activation (E), une période (t_{off}) entre une désactivation et une activation suivante du commutateur (5), qui est nécessaire pour atteindre une valeur de courant (I_A) déterminée à la fin d'une phase de roue libre (F).

2. Circuit (1) selon la revendication 1,

l'unité de commande (13) attendant, à compter de la phase d'activation (E) du commutateur (5), un temps de masquage (t_{blk}) et, immédiatement après le temps de masquage (t_{blk}), mesurant une première valeur de courant (I_B) au moyen du capteur de courant (6, 12).

3. Circuit (1) selon la revendication 2,

l'unité de commande (13) calculant la valeur de courant (I_A) à la fin de la phase de roue libre (F) au moyen de la première valeur de courant (I_B), à l'aide de l'équation :

$$I_A = I_B$$

I_A étant la valeur de courant à la fin de la phase de roue libre (F) et I_B étant la première valeur de courant.

4. Circuit (1) selon la revendication 2,

l'unité de commande (13) déterminant une deuxième valeur de courant (I_D) à la fin de la phase d'activation (E) et l'unité de commande (13) calculant la valeur de courant (I_A) à la fin de la phase de roue libre (F) au moyen de la

première (I_B) et de la deuxième valeur de courant (I_D), à partir de $I_A = I_B - \frac{I_D - I_B}{t_{on} - t_{blk}} * t_{blk}$, I_A étant la valeur de courant à la fin de la phase de roue libre (F), I_B étant la première valeur de courant et I_D étant la deuxième valeur de courant.

5. Circuit (1) selon la revendication 2,

l'unité de commande attendant, après la mesure de la première valeur de courant (I_B), à nouveau la durée du temps de masquage (t_{blk}) et mesurant, immédiatement après le deuxième temps de masquage (t_{blk}), une troisième valeur de courant (I_C) et l'unité de commande (13) calculant la valeur de courant (I_A) à la fin de la phase de roue libre (F) au moyen de la première (I_B) et de la troisième valeur de courant (I_C), à partir de

$$I_A = 2 * I_B - I_C,$$

I_A étant la valeur de courant à la fin de la phase de roue libre (F), I_B étant la première valeur de courant et I_C étant la troisième valeur de courant.

6. Procédé d'actionnement d'au moins une diode électroluminescente (7) au moyen d'un circuit régulateur auquel est appliquée une tension continue et qui génère, au moyen d'un commutateur cadencé (5), une tension d'alimentation pour l'au moins une diode électroluminescente (7), comprenant l'étape de :

- mesure du courant s'écoulant à travers l'au moins une diode électroluminescente (7) (LED) pendant la phase d'activation (E) du commutateur (5),

caractérisé en ce que

à l'aide d'une augmentation du courant mesuré pendant la phase d'activation (E), une période (t_{off}) est mesurée entre une désactivation et une activation suivante du commutateur (5), nécessaire pour atteindre une valeur de courant (I_A) prédéterminée à la fin d'une phase de roue libre (F).

7. Procédé selon la revendication 6,

la période (t_{off}) entre la désactivation et une activation suivante du commutateur (5) étant déterminée en fonction de l'augmentation du courant mesuré au moyen du capteur de courant (6, 12) pendant la phase d'activation (E).

8. Procédé selon la revendication 6 ou 7,
l'unité de commande augmentant la période (t_{off}) entre une désactivation et une activation suivante du commutateur (5) si la valeur de courant (I_A) calculée à la fin de la phase de roue libre (F) est supérieure à la valeur de consigne, et/ou
5 diminue cette période si la valeur de courant calculée est inférieure à la valeur de consigne.

9. Procédé selon l'une des revendications 6 à 8,
l'unité de commande (13) attendant, à compter de la phase d'activation (E) du commutateur (5), un temps de masquage (t_{blk}) et mesurant, immédiatement après le temps de masquage (t_{blk}), une première valeur de courant (I_B) au moyen du capteur de courant (6, 12).

10. Procédé selon la revendication 9,
l'unité de commande (13) calculant la valeur de courant (I_A) à la fin de la phase de roue libre (F) au moyen de la première valeur de courant (I_B), à l'aide de
15 $I_A = I_B$,
 I_A étant la valeur de courant à la fin de la phase de roue libre (F) et I_B étant la première valeur de courant.

11. Procédé selon la revendication 9,
l'unité de commande (13) déterminant une deuxième valeur de courant (I_D) à la fin de la phase d'activation (E) et
20 l'unité de commande (13) calculant la valeur de courant (I_A) à la fin de la phase de roue libre (F) au moyen de la première et de la deuxième valeur de courant (I_D), à partir de

$$I_A = I_B - \frac{I_D - I_B}{t_{on} - t_{blk}} * t_{blk}$$

I_A étant la valeur de courant à la fin de la phase de roue libre (F), I_B étant la première valeur de courant et I_D étant la deuxième valeur de courant.

12. Procédé selon la revendication 9,
l'unité de commande attendant, après la mesure de la première valeur de courant (I_B), à nouveau la durée du temps de masquage (t_{blk}) et mesurant, immédiatement après le deuxième temps de masquage (t_{blk}), une troisième valeur de courant (I_C) et
35 l'unité de commande (13) calculant la valeur de courant (I_A) à la fin de la phase de roue libre (F) au moyen de la première (I_B) et de la troisième valeur de courant (I_C), à partir de

$$I_A = 2 * I_B - I_C,$$

I_A étant la valeur de courant à la fin de la phase de roue libre (F), I_B étant la première valeur de courant et I_C étant la troisième valeur de courant.

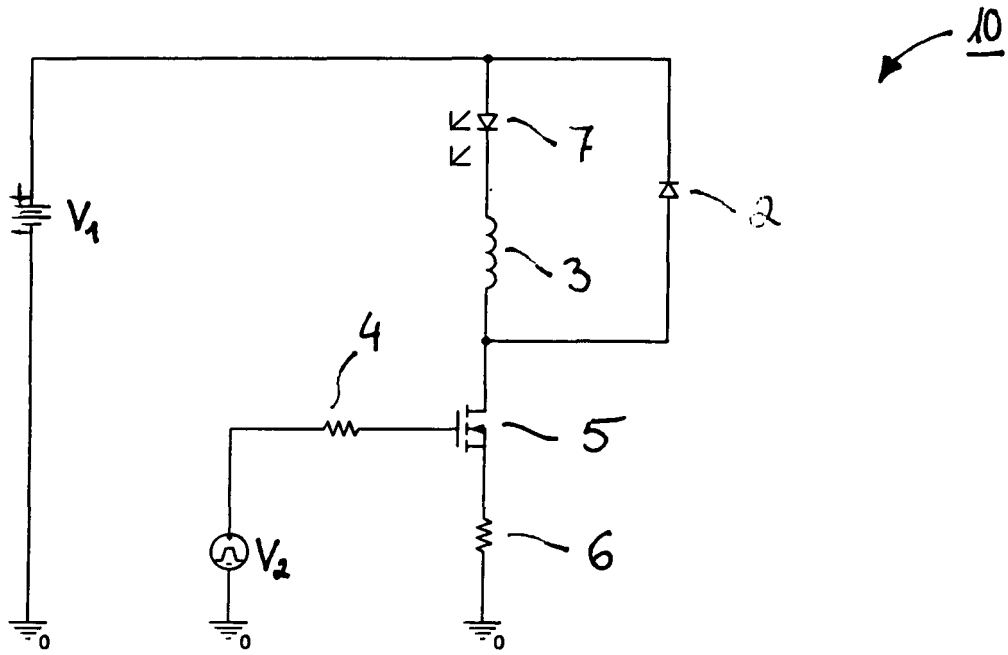


Fig. 1

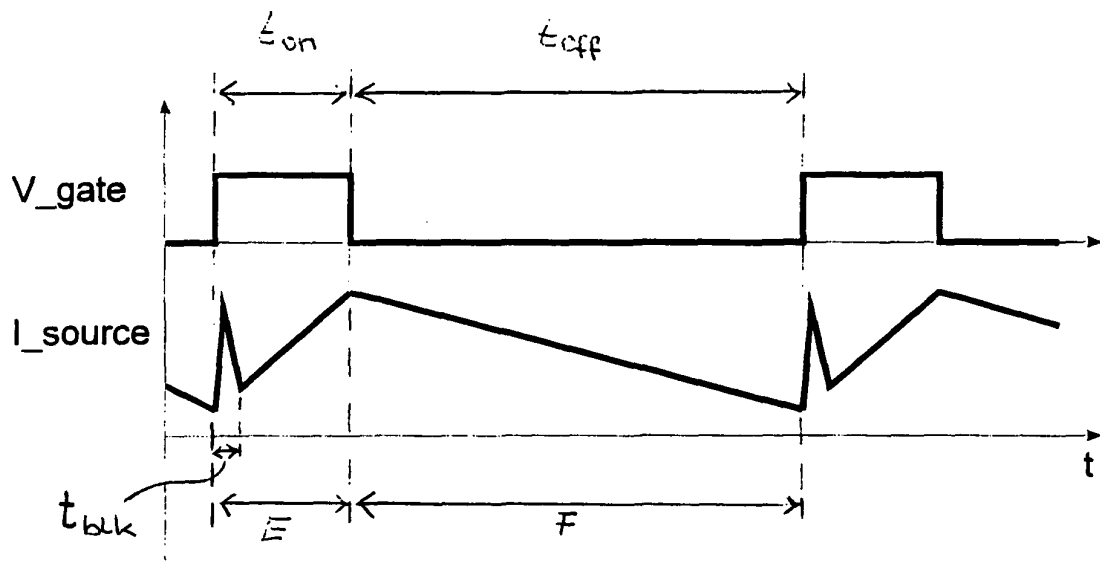


Fig. 2

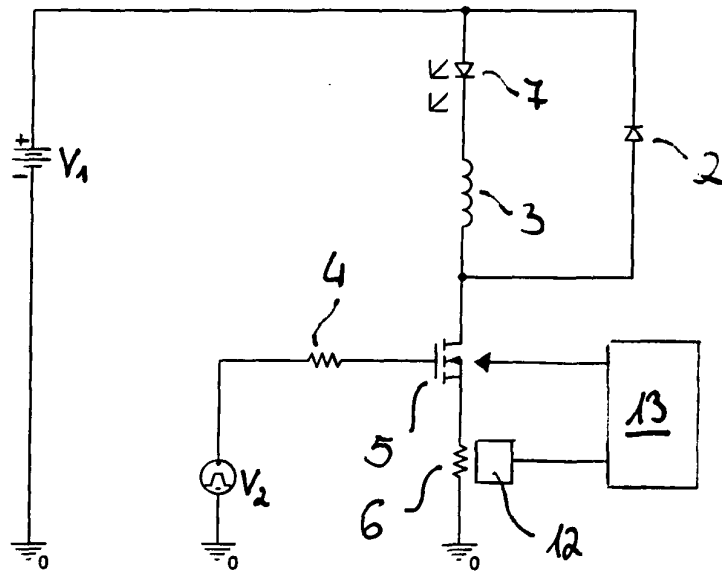


Fig. 3

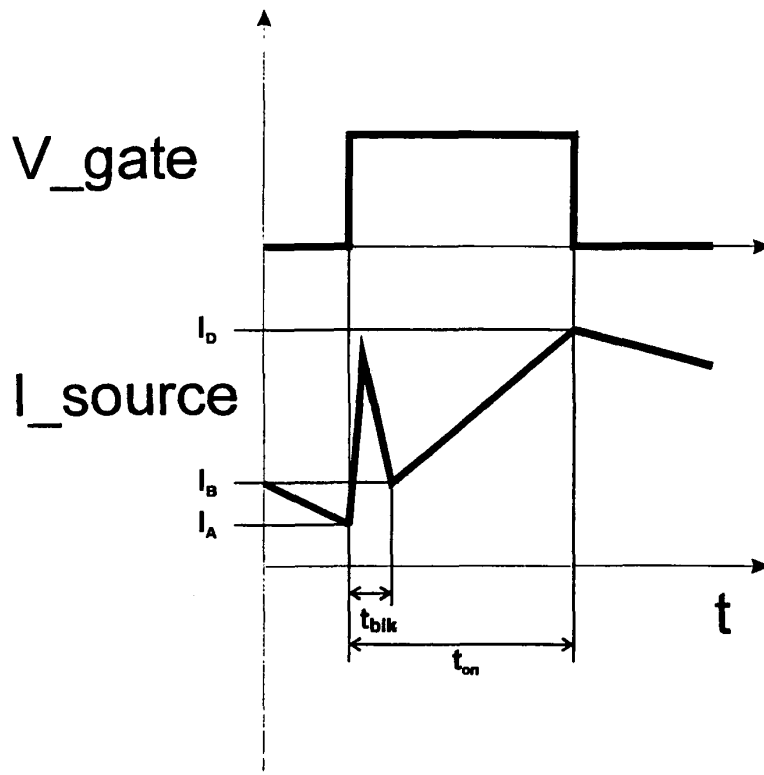


Fig. 4

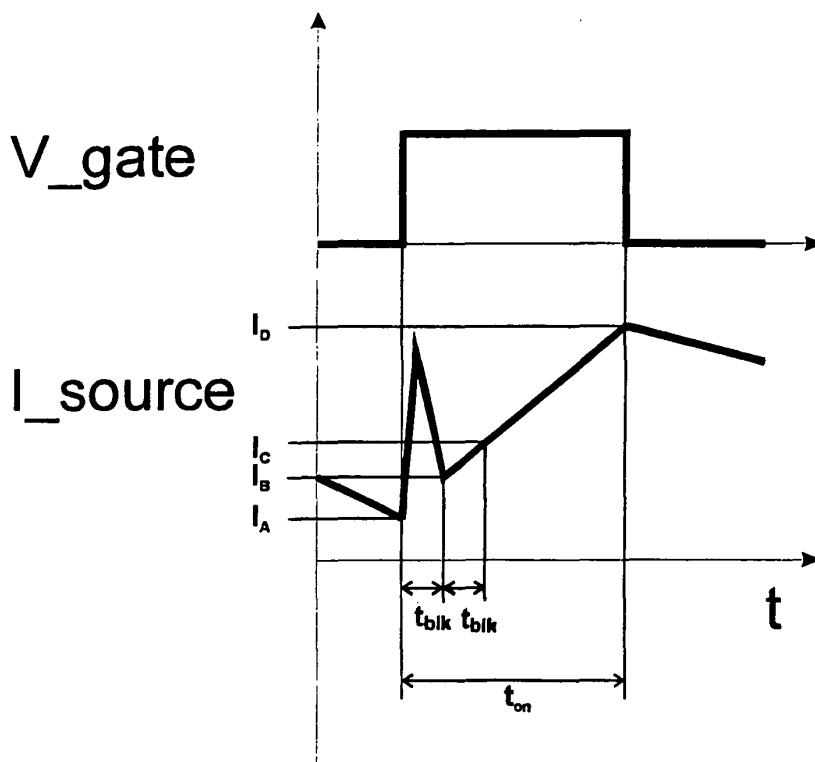


Fig. 5

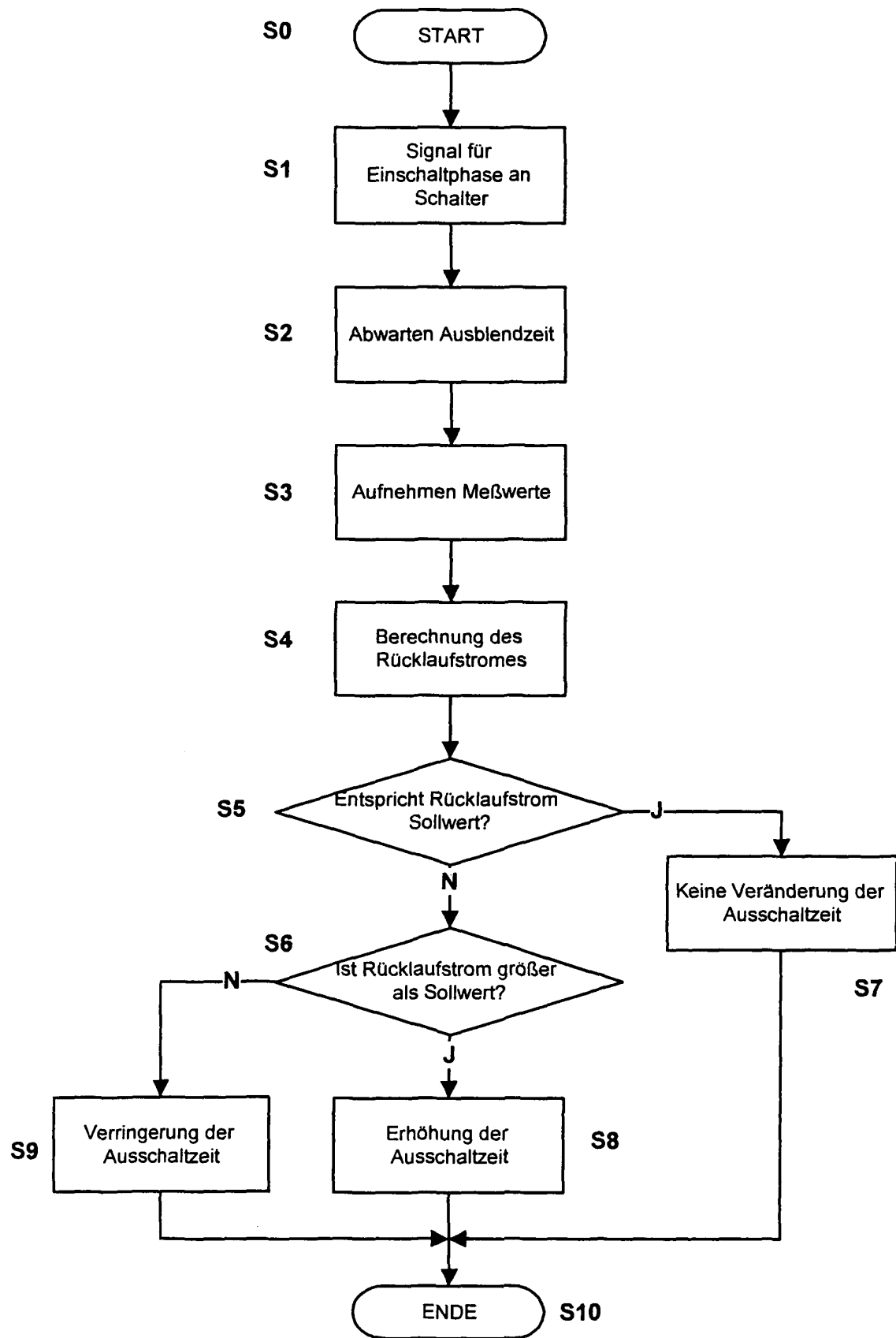
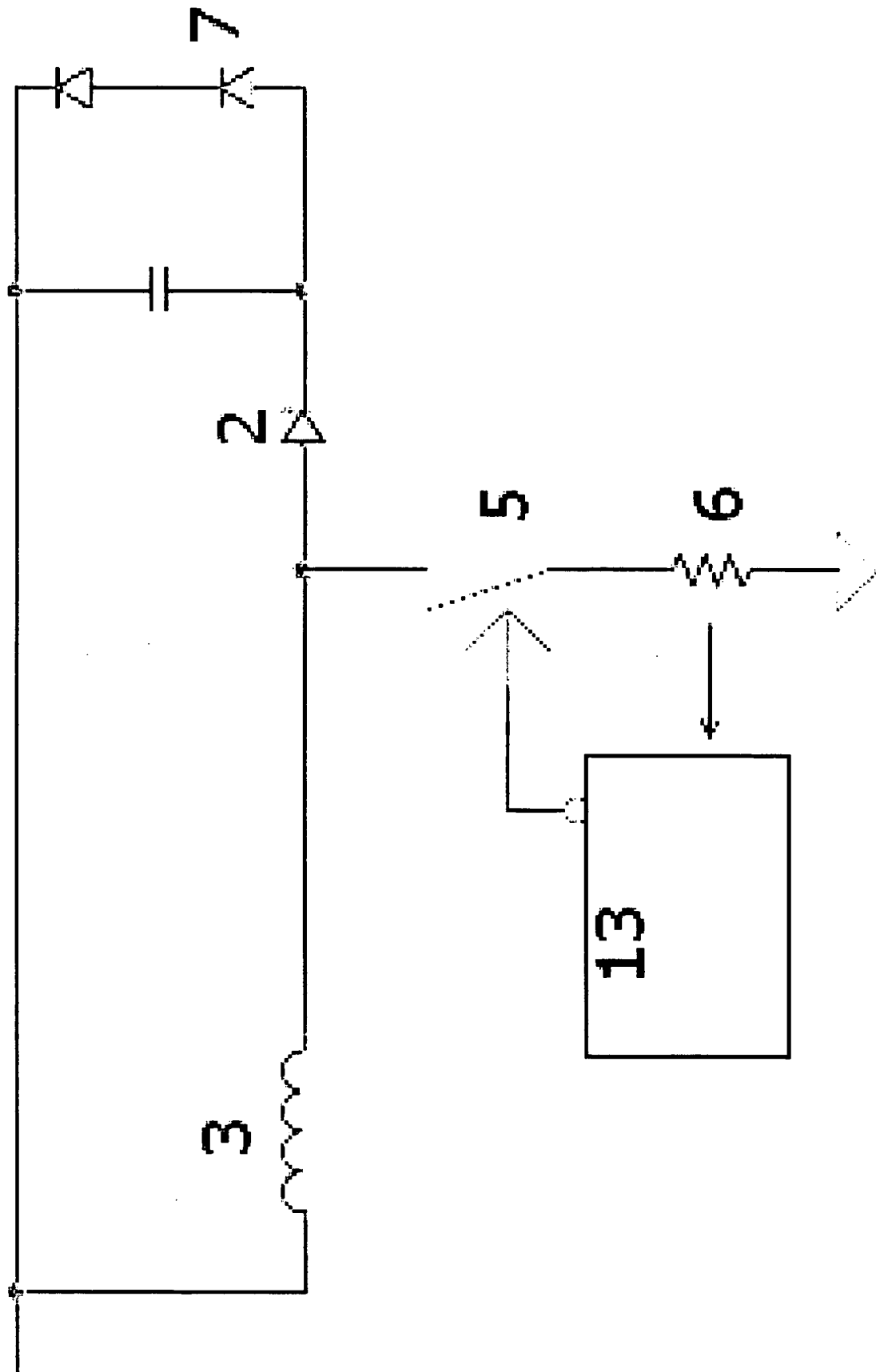


Fig. 6



IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- US 20070097044 A1 [0003] [0010]