

(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
03. Oktober 2024 (03.10.2024)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2024/200315 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:

H01S 5/042 (2006.01) H01S 5/062 (2006.01)
H01S 5/068 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2024/057874

(22) Internationales Anmeldedatum:
22. März 2024 (22.03.2024)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2023 108 243.4
30. März 2023 (30.03.2023) DE

(71) Anmelder: OSRAM GMBH [DE/DE]; Marcel-Breuer-Straße 4, 80807 München (DE).

(72) Erfinder: BOENIGK, Michael; Mahonienweg 44d, 12437 Berlin (DE).

(74) Anwalt: SJW PATENTANWÄLTE; Goethestraße 21, 80336 München (DE).

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

(54) Title: LASER DIODE DRIVER AND METHOD FOR OPERATING AN OPTOELECTRONIC COMPONENT

(54) Bezeichnung: LASERDIODENTREIBER UND VERFAHREN ZUM BETREIBEN EINES OPTOELEKTRONISCHEN BAUELEMENTS

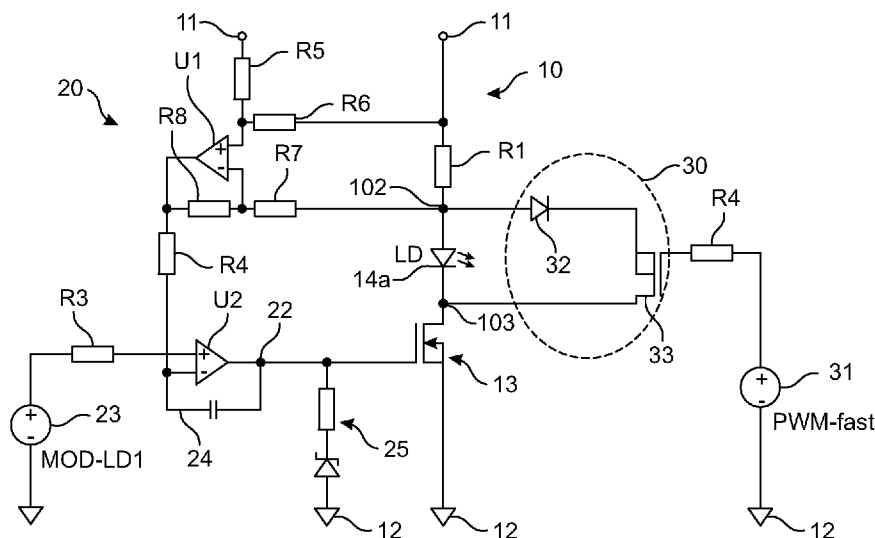


FIG. 4

(57) Abstract: The invention relates to a laser diode driver having a controllable current path (10), which is connected between a supply potential connection (11) and a reference potential connection (12) and has a controllable analogue current source (13) and a terminal pair (14), which is connected thereto in series, for an optoelectronic component. An analogue current regulator (20) is connected to the controllable analogue current source (13) for adjusting the current through the current path and has a target value input (23) for setting a target value of the current through the current path. The driver further comprises a switch input (31) for supplying a switching signal to a bridging circuit (30) arranged in parallel with the terminal pair (14), wherein the bridging circuit (30) comprises a non-linear component (32), in particular a diode.

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft einen Laserdiodentreiber mit einem steuerbaren Strompfad (10), der zwischen Versorgungspotentialanschluss (11) und Bezugspotentialanschluss (12) geschaltet ist und eine steuerbare analoge Stromquelle (13) sowie ein dazu in Serie geschaltetes Klemmenpaar (14) für ein optoelektronisches Bauelement aufweist. Ein analoger Stromregler (20) der mit



WO 2024/200315 A1



(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, ME, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)

der steuerbaren analogen Stromquelle (13) zur Einstellung des Stroms durch den Strompfad verbunden ist und einen Sollwerteingang (23) zur Einstellung eines Sollwertes des Stroms durch den Strompfad aufweist. Der Treiber umfasst weiterhin einen Schalteingang (31) zur Zuführung eines Schaltsignals an einen parallel zu dem Klemmenpaar (14) angeordneten Überbrückungskreis (30), wobei der Überbrückungskreis (30) ein nichtlineares Bauelement (32), insbesondere eine Diode umfasst.

LASERDIODENTREIBER UND VERFAHREN ZUM BETREIBEN EINES OPTOELEKTRONISCHEN BAUELEMENTS

Die vorliegende Anmeldung nimmt die Priorität der deutschen Erstanmeldung DE 10 2023 108 243.4 vom 30. März 2023 in Anspruch, deren Offenbarungsgesamt durch Rückbezug hiermit vollständig aufgenommen wird.

Die vorliegende Erfindung betrifft einen Laserdiodentreiber sowie ein Verfahren zum Betreiben eines optoelektronischen Bauelements und insbesondere einer Hochstromlaserdiode.

HINTERGRUND

Laserdioden werden oftmals in einem sogenannten PWM-Betrieb verwendet. Hierzu wird die Laserdiode bzw. der Halbleiterlaser in einem Strompfad angeordnet, welcher gepulst an- und abgeschaltet wird.

Dabei ist ein wesentliches Kriterium im Hochstrombereich für den gepulsten Betrieb die Flankensteilheit des Laserdiodenstroms. Da Hochleistungslaserdioden und Hochleistungshalbleiterlaser besonders empfindlich auf Überströme bzw. Stromspitzen reagieren (Gefahr der Zerstörung), ist hierzu eine entsprechende defizile Regelung notwendig. Um Überschwinger bzw. eine Stromspitze während des Einschaltens, d.h. in der Schaltflanke eines Versorgungsstroms für die Laserdiode zu verhindern, muss der Regler eine entsprechend hohe (langsame) Regelzeitkonstante aufweisen. Diese begrenzt jedoch die maximal erzielbare Flankensteilheit und damit auch die Schaltfrequenz. Insbesondere für hohe Ströme bei der Versorgung von Hochleistungslaserdioden wird zudem durch die Implementierung eine erhöhte Leitungsinduktivität zwischen dem Ausgang des Stromtreibers und dem Eingang der Hochleistungslaserdiode erzeugt, welche weiterhin die Flankensteilheit reduziert.

Bei einigen konventionellen LED-Stromtreibern mit getakteten Anordnungen (getakteter Stromtreiber, Schaltregler) wird zur Erhöhung der Flankensteilheit ein sogenanntes parallel FET Dimming eingesetzt. Dabei wird neben dem eigentlichen Schaltregler und der Laserdiode eine parallele Anordnung geschaffen, die den erforderlichen Strom durch die

Laserdiode überbrückt bzw. freigibt. Die dadurch entstehenden Schaltflanken bei den Stromimpulsen sind zwar deutlich steiler, es kommt aber auch zu Überschwingern und schwer zu kontrollierenden Stromspitzen. Diese Überschwinger bzw. Stromspitzen können bei Laserdiode zu Beschädigungen führen und sollten daher vermieden werden. Um die Überschwinger und Stromspitzen zu dämpfen, kann die Regelzeitkonstante verlangsamt werden, wodurch allerdings die Flankensteilheit wiederum reduziert wird.

Wegen der hohen Empfindlichkeit von Laserdioden gegenüber Stromspitzen ist der oben genannte Schaltungsansatz aus dem Bereich der LED-Treiber für Laserdioden nicht oder nur bedingt möglich. Daher werden bei Laserdioden oftmals analoge Stromquellen mit analogen Stromregelschaltungen verwendet, bei denen eine bessere Kontrolle insbesondere der ansteigenden Flanke eines Strompulses möglich ist.

Zwar sind Schaltkreise für ein schnelles im Wesentlichen überschwingungsfreies Schalten von Laserdioden im MHz Bereich kommerziell verfügbar, jedoch sind derartige Anordnungen nur für geringe Versorgungsströme geeignet, d. h. für Ströme unterhalb von 1 Ampere. Für Anwendungen mit höheren Versorgungsströmen lassen sich diese nicht verwenden, bzw. die vorhandenen Lösungen zeigen bei Schaltvorgängen wiederum nur eine geringe Flankensteilheit. Auch hier tritt wiederum das Problem auf, dass bei einer Reduktion der Zeitkonstanten des analogen Stromreglers (d.h. schnelleres Einschwingen) Stromspitzen in der Pulsflanke auftreten, die zu einer Beschädigung der Hochleistungslaserdiode führen.

Daher besteht das Bedürfnis, in der vorliegenden Anmeldung einen Laserdiodentreiber zur Verfügung zu stellen, der einerseits für Hochstromanwendungen geeignet ist und zudem Flanken mit einer erhöhten Steilheit ohne größere Stromspitzen oder Überschwinger erzeugt.

ZUSAMMENFASSUNG DER ERFINDUNG

Diese Aufgabe wird mit den Gegenständen der unabhängigen Patentansprüche gelöst. Weiterbildungen und Ausgestaltungsform des vorgeschlagenen Prinzips sind in den Unteransprüchen angegeben.

5 Der Erfinder hat herausgefunden, dass bei einem analogen Ansatz, d. h. einer analogen Stromquelle die gewünschten Ergebnisse dadurch erzielt werden können, dass in dem geregelten Strompfad zur Versorgung eines Hochleistungslasers parallel zu dem Laser ein schaltbares Netzwerk mit einem zusätzlichen stromunabhängigen Element eingesetzt wird. Dieses
10 erzielt eine deutliche Erhöhung der Schaltflanke. Die Verbesserung der Steilheit der Schaltflanke liegt dabei bis zu einem Faktor von 100 höher, ohne dass größere Überschwinger oder Stromspitzen hierbei auftreten. Zudem kann mit dem vorgeschlagenen Prinzip eine Vorspannung des analogen Stromreglers (Biasstrom) erzeugt werden, sodass der mit
15 Strom zu versorgende Halbleiter-Laser unterhalb seiner Laserschwelle betrieben wird und so zusätzlich eine Verbesserung in der Schaltgeschwindigkeit auftritt.

Das vorgeschlagene Prinzip erlaubt somit eine hohe Flankensteilheit
20 auch bei analogen Laserdiodentreibern für Hochleistungslaseranwendungen. Zudem wird die Regelzeitkonstante des analogen Stromreglers von der Flankensteilheit des erzeugten Pulses entkoppelt, sodass beide unabhängig voneinander optimiert werden können. Zudem lässt sich eine Spitzenstrombegrenzung im Einschaltmoment durch die vorgeschlagene An-
25 ordnung erzeugen, welche weiterhin das Bauteil, d. h. die Hochleistungslaserdiode schützt.

In einem Aspekt des vorgeschlagenen Prinzips umfasst ein Laserdiodentreiber einen steuerbaren Strompfad, der zwischen einen Versorgungspotenzialanschluss und einen Bezugspotenzialanschluss geschaltet ist.
30 Der steuerbare Strompfad umfasst eine steuerbare analoge Stromquelle sowie ein dazu in Serie geschaltetes Klemmenpaar für ein optoelektronisches Bauelement. Unter dem Begriff „optoelektronisches Bauelement“ ist für die vorliegende Anmeldung insbesondere ein Halbleiterlaser,
35 eine Laserdiode oder einen VCSEL gemeint. Insbesondere sollen darunter die jeweiligen Hochleistungsformen fallen, die für einen Betrieb mit einem Versorgungsstrom größer als 1 A geeignet sind. Im Folgenden

werden daher die Begriffe Halbleiterlaser oder auch Laserdiode synonym für die verschiedenen möglichen Ausführungen verwendet.

Der Laserdiodentreiber umfasst einen analogen Stromregler mit einem
5 Regeleingang zum Erfassen eines von einem Strom entlang des steuerbaren Strompfads abgeleiteten Signals. Dies kann beispielsweise ein Spannungssignal sein, welches über einen Strom-Spannungskonverter abgegriffen wird. Der analoge Stromregler weist weiterhin einen Regelausgang auf, der mit der steuerbaren Stromquelle zur Einstellung des
10 Stroms durch den Strompfad und damit durch das optoelektronische Bauelement verbunden ist. Zudem ist ein Stelleingang zur Einstellung eines Sollwertes des Stroms durch den Strompfad vorgesehen.

Der analoge Stromregler ist somit ausgeführt, basierend auf dem am
15 Stelleingang anliegenden Sollwert, einen Strom durch den steuerbaren Strompfad und damit das optoelektronische Bauelement zu regeln. Die Regelzeitkonstante des analogen Stromreglers ist von einem mit dem Regelausgang gekoppelten Ladungsspeicher abhängig.

20 Nach dem vorgeschlagenen Prinzip umfasst der Laserdiodentreiber zudem einen Schalteingang zur Zuführung eines Schaltsignals an einen parallel zu dem Klemmenpaar angeordneten Überbrückungskreis. Der Überbrückungskreis dient dazu, abhängig von dem Schaltsignal das optoelektronische Bauelement von dem Strompfad zu entkoppeln (zu überbrücken) bzw. in
25 dieses zu schalten (freizugeben), ohne dass es dabei zu einer Stromunterbrechung in dem Strompfad kommt.

Auf diese Weise lässt sich mit einer hohen Geschwindigkeit, d.h. deutlich schneller als die Regelzeitkonstante des analogen Stromreglers,
30 das optoelektronische Bauelement bzw. der Halbleiterlaser in den Strompfad schalten oder von diesem trennen.

Erfindungsgemäß ist nun zur Vermeidung möglicher Überschwinger und Stromspitzen während des Schaltvorgangs ein nichtlineares Bauelement
35 in den Überbrückungskreis geschaltet. Das nichtlineare Bauelement ist dabei ausgeführt, dass der Spannungsabfall über den Überbrückungskreis und das Bauelement im Wesentlichen unabhängig bzw. nur geringfügig

abhängig von dem durch den Überbrückungskreis fließenden Strom ist. Im Gegensatz zu konventionellen Ansätzen, bei der beispielsweise ein Widerstand verwendet wird, lässt sich so das Verhalten der Laserdiode nachbilden. Der Überbrückungskreis bedingt somit das schnelle Schalten, da der analoge Stromregler nun nicht mehr, wie in konventionellen Implementierungen, komplett einschwingen muss. Insofern ist somit ein Strompuls nicht mehr von der Regelzeitkonstanten abhängig, sondern vor allem von dem Verhalten des Überbrückungskreises. Da sich dieser schneller Ein- bzw. Ausschalten lässt, werden damit deutlich steilere Flanken bei einem entsprechenden Strompuls durch Hinzufügen bzw. Trennen des Überbrückungskreises erzeugt.

Der hier verwendete Ansatz stellt somit eine geregelte analoge Stromquelle für Hochleistungslaserdioden bereit, die eine hohe Schaltflankensteilheit bietet und gleichzeitig von der Regelzeitkonstanten entkoppelt ist. Durch den Überbrückungskreis wird ein besseres Einschwingverhalten im Freigabemoment erreicht und es erfolgt trotz der großen Flankensteilheit keine die Laserdiode beschädigende Stromspitze des Einschaltstroms. Ein weiterer Vorteil ist die Bereitstellung eines Bias-Stroms auf einfache Weise.

In einigen Aspekten umfasst das nichtlineare Bauelement wenigstens eine in Flussrichtung geschaltete Diode. Die Einsatzspannung dieser in Flussrichtung geschalteten Diode bedingt im Wesentlichen den Spannungsabfall, sofern es in dem Überbrückungskreis keine weiteren, einen Widerstand erzeugenden Elemente gibt. In diesem Zusammenhang können auf einfache Weise somit mehrere Dioden in Flussrichtung geschaltet werden, um eine geeignete (höhere) Vorspannung für das zwischen die Anschlussklemmen geschaltete Bauelement zu erzeugen.

Alternativ hierzu lässt sich auch eine oder mehrere in Sperrrichtung geschaltete Zenerdiode verwenden. Dabei müssen diese Zenerdioden jedoch den durch den Überbrückungskreis fließenden Strom aufnehmen, so dass ihre Stromtragefähigkeit deutlich größer als bei Zenerdioden geringer Leistung sein muss.

Alternativ dazu lassen sich auch Transistoren beispielsweise in Form von Bipolar- oder Feldeffekttransistoren benutzen, um einen im Wesentlichen vom Stromfluss unabhängigen Spannungsabfall zu erzeugen. Zu diesem Zweck kann ein Basisanschluss eines Bipolartransistors mit seinem Kollektor- bzw. Emitteranschluss gekoppelt sein. Bei einem Feldeffekttransistor ist dessen Gate mit einem der beiden weiteren Kanalanschlüsse gekoppelt, so dass die Spannung über dem Kanal konstant gehalten wird. Gleiches kann auch für Bipolartransistoren erfolgen. Die Kopplung kann direkt oder über weitere Elemente wie Spannungsteiler, Widerstände u.ä. erfolgen.

Das nichtlineare Bauelement wird in einigen Aspekten derart implementiert, dass der über dem parallel angeordneten Überbrückungskreis erzeugte Spannungsabfall und damit insbesondere der Spannungsabfall über dem Bauelement geringer ist als eine Einsatzspannung des mit dem Klemmenpaar verbundenen optoelektronischen Bauelements. Mit anderen Worten wird somit das optoelektronische Bauelement auch in einem ausgeschalteten Zustand, d. h. bei einem aktivierten und parallel geschalteten Überbrückungskreis unterhalb seiner Einsatzspannung bzw. seines Einsatzstromes betrieben. Das optoelektronische Bauelement, beispielsweise in Form der Halbleiterlaserdiode, kann somit in einem Zustand unterhalb seiner Schwellenspannung bzw. Laserschwelldstroms gehalten werden, so dass bei einem späteren Einschaltvorgang dieses schneller und mit einer größeren Flankensteilheit vonstattengeht. Insgesamt verbessert sich so auch die Flankensteilheit des optischen Impulses.

Einige Aspekte beschäftigen sich mit dem Aktivieren bzw. Deaktivieren des analogen Stromreglers, um so auf diese Weise eine Reduzierung des gesamten Energieverbrauchs zu gewährleisten. Dies kann in einigen Aspekten beispielsweise durch eine entsprechende Schaltung erfolgen, die einen Längsregeltransistor im Strompfad, d. h. der steuerbaren Stromquelle, an- bzw. abschaltet.

Alternativ ist es auch möglich, den am Stelleingang anliegenden Sollwert auf null zu setzen, sodass der Stromregler herunterregelt. Alternativ dazu ist zudem auch eine Unterbrechung des Laserdiodenstroms

durch ein weiteres zum optoelektronischen Bauelement und dem Überbrückungskreis in Reihe angeordnetes Schaltelement möglich. Weiter alternativ dazu kann der analoge Stromregler dauerhaft betrieben werden, und es erfolgt ein An- bzw. Abschalten des am Klemmenpaar angeschlossenen Bauelements lediglich am Schalteingang, d.h. mit Hilfe des Überbrückungskreises.

Einige weitere Aspekte betreffen die Ausgestaltung des Laserdiodentreibers. Dieser ist so ausgestaltet, dass das Schaltsignal erst nach dem Anlegen eines Sollwertes und der erfolgten Regelung des analogen Stromreglers bereitgestellt wird. Dadurch ist sichergestellt, dass das Schaltsignal erst nach der Einschwingzeit des analogen Stromreglers, wenn dieser in seiner Regelung aktiv ist, bereitgestellt wird. Oszillationen während des Einschwingens werden so vermieden.

Die analoge steuerbare Stromquelle ist in diesem Zusammenhang dazu ausgeführt, ein Stromsignal im Bereich von größer 1 Ampere bereitzustellen, beispielsweise für einen gepulsten Betrieb, bei der ein Strom durch das optoelektronische Bauelement im Bereich von 1 Ampere bis zu 10 Ampere liegt. Das vorgeschlagene Prinzip ist jedoch darauf nicht beschränkt, sondern die verbesserte Flankensteilheit kann sowohl für Hochleistungslaserdioden mit Versorgungsströmen von mehr als 1 Ampere, aber auch für Laserdioden mit geringeren Versorgungsströmen und deutlich höheren Schaltzeiten zur Verfügung stehen.

Nach dem vorgeschlagenen Prinzip wird in einigen Aspekten die Flankensteilheit eines Stroms entlang des steuerbaren Strompfades durch das optoelektronische Bauelement im Wesentlichen durch einen Spannungsabfall des parallel zu dem Klemmenpaar angeordneten Überbrückungskreises bestimmt.

Ein anderer Aspekt betrifft ein Verfahren zum Betreiben eines optoelektronischen Bauelements und insbesondere eines Halbleiterlasers bzw. einer Hochleistungslaserdiode. Das optoelektronische Bauelement ist in einem regelbaren Strompfad angeordnet.

Das Verfahren umfasst die Schritte des Bereitstellens eines Stromsollwertes und der nachfolgenden Regelung eines Stroms durch den Strompfad auf den Stromsollwert. Hierbei wird aber das optoelektronische Bauelement durch einen parallel angeordneten Überbrückungskreis überbrückt und der Strom wird im Wesentlichen durch diesen Überbrückungskreis geleitet.

Der Spannungsabfall über dem Überbrückungskreis ist dabei im Wesentlichen unabhängig bzw. nur geringfügig abhängig von dem durch den Überbrückungskreis fließenden Strom. Nachdem eine Regelung des Stroms auf den Stromsollwert erfolgt ist, wird der parallel angeordnete Überbrückungskreis getrennt, sodass der Strom nun über das optoelektronische Bauelement bzw. den Halbleiterlaser fließt. Im Allgemeinen verändern sich durch diesen Schaltvorgang die Lastverhältnisse im geregelten Strompfad und der Regler muss nachjustieren. Hierbei startet der Regler jetzt aber von einem vorgeregelten Niveau, welches möglichst nahe am Sollwert ist.

Um ein korrektes Abschalten des optoelektronischen Bauelements bei einem parallel angeordneten Überbrückungskreis zu gewährleisten, ist es in einigen Aspekten vorgesehen, dass der Spannungsabfall über den Überbrückungskreis kleiner ist als eine Einsatzspannung des optoelektronischen Bauelements.

Der Spannungsabfall wird in einigen Aspekten des vorgeschlagenen Verfahrens unter anderem durch ein nichtlineares Bauelement erzeugt. Dabei wird der Spannungsabfall im Wesentlichen durch dieses Bauelement bewirkt, wobei andere Elemente des Überbrückungskreises hierzu einen weiteren Beitrag leisten können. Das nichtlineare Bauelement umfasst in einigen Aspekten wenigstens eine oder mehrere in Flussrichtung geschaltete Dioden. Alternativ können auch eine oder mehrere in Sperrrichtung geschaltete Zenerdioden eingesetzt werden. Ebenso ist es wie bereits oben erläutert auch möglich, Transistoren, beispielsweise in Form von Bipolar oder Feldeffekttransistoren, vorzusehen, deren jeweilige Basis- bzw. Gate-Anschluss mit einem der weiteren Anschlüsse gekoppelt ist.

Durch das vorgeschlagene Prinzip wird die Regelzeitkonstante der analogen Regelung von dem Einschwingverhalten bei Anliegen eines Pulses, d. h. der Flankensteilheit entkoppelt. Somit lässt sich die Regelzeitkonstante unabhängig von der Flankensteilheit einstellen. In einigen Aspekten wird die Regelzeitkonstante durch eine Kapazität eines Ladungsspeichers bestimmt. Die Flankensteilheit während eines Schaltvorgangs wird wiederum im Wesentlichen von einem Spannungsabfall über den Überbrückungskreis bestimmt.

10 KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

Weitere Aspekte und Ausführungsformen nach dem vorgeschlagenen Prinzip werden sich in Bezug auf die verschiedenen Ausführungsformen und Beispiele offenbaren, die in Verbindung mit den begleitenden Zeichnungen ausführlich beschrieben werden.

15

Figuren 1A und 1B zeigen einen zeitlichen Verlauf des Laserdiodenstroms für einen Einschaltvorgang bei konventionellen analogen Stromtreibern;

20

Figur 2 stellt einen zeitlichen Verlauf des Laserdiodenstroms für einen Puls dar, wie er mit konventionellen analogen Treiberschaltungen erzeugbar ist;

25

Figur 3 zeigt eine erste Ausführungsform eines Laserdiodentreibers nach dem vorgeschlagenen Prinzip;

Figur 4 zeigt eine zweite Ausführungsform eines Laserdiodentreibers nach dem vorgeschlagenen Prinzip;

30

Figur 5 ist eine dritte Ausführungsform eines Laserdiodentreibers nach dem vorgeschlagenen Prinzip;

Figur 6 stellt einen zeitlichen Verlauf des Laserdiodenstroms dar, im Besonderen die Anstiegszeit mit einem Treiber nach dem vorgeschlagenen Prinzip;

35

Figur 7 zeigt einen zeitlichen Verlauf des Laserdiodenstroms für einen schnellen Puls, erzeugt von einem Treiber nach dem vorgeschlagenen Prinzip;

- 5 Figur 8 zeigt beispielhaft die Signalverläufe für das Schaltsignal, das Stellsignal und den Strom durch die Laserdiode nach einer Ausgestaltung mit einigen Aspekten des vorgeschlagenen Prinzips;

Figur 9 ist eine Pulsfolge mit einem eingestellten Bias-Strom;

10

Figur 10 zeigt eine Ausgestaltung des vorgeschlagenen Verfahrens;

Figur 11 zeigt eine Ausgestaltung eines weiteren nicht linearen Bauelements.

15

DETAILLIERTE BESCHREIBUNG

Die folgenden Ausführungsformen und Beispiele zeigen verschiedene Aspekte und ihre Kombinationen nach dem vorgeschlagenen Prinzip. Die Ausführungsformen und Beispiele sind nicht immer maßstabsgetreu.

20

Ebenso können verschiedene Elemente vergrößert oder verkleinert dargestellt werden, um einzelne Aspekte hervorzuheben. Es versteht sich von selbst, dass die einzelnen Aspekte und Merkmale der in den Abbildungen gezeigten Ausführungsformen und Beispiele ohne weiteres miteinander kombiniert werden können, ohne dass dadurch das erfindungsgemäße

25

Prinzip beeinträchtigt wird. Einige Aspekte weisen eine regelmäßige Struktur oder Form auf. Es ist zu beachten, dass in der Praxis geringfügige Abweichungen von der idealen Form auftreten können, ohne jedoch der erfinderischen Idee zu widersprechen.

30

Außerdem sind die einzelnen Figuren, Merkmale und Aspekte nicht unbedingt in der richtigen Größe dargestellt, und auch die Proportionen zwischen den einzelnen Elementen müssen nicht grundsätzlich richtig sein. Einige Aspekte und Merkmale werden hervorgehoben, indem sie vergrößert dargestellt werden. Begriffe wie "oben", "oberhalb", "unten",

35

"unterhalb", "größer", "kleiner" und dergleichen werden jedoch in Bezug auf die Elemente in den Figuren korrekt dargestellt. So ist es möglich,

solche Beziehungen zwischen den Elementen anhand der Abbildungen abzuleiten.

Für den Betrieb von Leuchtdioden, (nicht unbedingt für die in der vorliegenden Anmeldung vorgesehenen Laserdioden) kommen häufig getaktet Stromkonverterschaltungen zum Einsatz. Sofern diese LEDs gepulst betrieben werden, wird das durch ein Ein- bzw. Ausschalten des Konverters realisiert. Allerdings sind damit die Pulsfrequenzen durch die Schaltflanken und die Regelzeit des Konverters begrenzt. Um die Flankensteilheit bei getakteten Stromkonvertern dennoch zu erhöhen, lassen sich verschiedene Maßnahmen angeben, die jedoch häufig zu einem entsprechenden Überspringen in der Pulsfolge, d.h. Stromspitzen im Versorgungsstrom der LED aufgrund der Einschwingzeit und der Regelung des Konverters, führen.

Um Überschwinger und Stromspitzen beim Betrieb von Laserdioden zu vermeiden, werden bevorzugt analoge Konstantstromregler genutzt. Dabei spielt eine Komponente des Reglers eine wichtige Rolle, nämlich der Integrationskondensator, welcher die Einschwingzeit maßgeblich bestimmt. Die Figuren 1A und B sowie die Figur 2 zeigen Aufnahmen aus einem Oszilloskop, welches den Anstieg eines derartigen gepulsten Laserdiodenstroms abhängig von diesem Kondensator darstellt.

In Teilfigur A ist der sogenannte Integrationskondensator des Stromreglers relativ klein gewählt. Daraus ergibt sich eine steilere Anstiegsflanke, die allerdings im oberen Bereich zu einem geringfügigen Überschwinger, d.h. einer Stromspitze führt. Unter dem Begriff Überschwinger wird dabei ein überschießender Strom- und/oder Spannungsanteil verstanden, der sich aufgrund der Regelung und der damit verbundenen Regelzeitkonstanten ergibt. Die Spitze folgt aus dem Verhalten des Reglers und ist unter anderem auch von parasitären Effekten wie Streukapazitäten und Streuinduktivitäten abhängig. Diese lassen sich zwar durch gutes Platinenlayout reduzieren, es verbleiben aber die Anteile, die sich aus dem Design der Schaltung und insbesondere den Laserdiodenzuleitungen ergeben.

Die Stromspitze ist zwar in Teilfigur 1A relativ klein ausgeführt und beträgt nur wenige % des Gesamtwertes, dies kann jedoch zu einer Beschädigung der Laserdiode während des Schaltvorgangs führen. Während LEDs hier eine größere Robustheit zeigen, sind insbesondere Hochstromlaserdioden bezüglich dieser Stromspitzen sehr sensibel. Hintergrund ist die direkte Abhängigkeit von der Laserausgangsleistung zu dem Versorgungsstrom. Eine Stromspitze führt direkt zu einem starken Anstieg der Laserleistung, welches schnell zu einer Beschädigung des Resonators führen kann. Das Problem wird insbesondere dann erschwert, wenn die Laserdiode bereits im oberen Bereich ihrer Leistung betrieben wird.

Um ein Überspringen wie in der Teilfigur A gezeigt zu verhindern, ist es beispielsweise möglich, die Regelzeit des Stromreglers zu erhöhen, was beispielsweise durch eine Erhöhung der Kapazität des Integrationskondensators erreicht wird. Dies ist in Teilfigur 1B dargestellt. Jedoch ist hier deutlich zu erkennen, dass die Anstiegszeit aufgrund dieser Tatsache ebenfalls um mindestens den gleichen Faktor ansteigt.

Figur 2 zeigt hierzu einen tatsächlich aufgenommenen Puls in einem Oszilloskop, dessen Zeitachse eine Zeiteinstellung bei 400 μ s pro Division aufweist. Daraus ergibt sich eine Anstiegszeit im Bereich von ca. 70 μ s, was im Wesentlichen dem in Teilfigur 1B dargestellten Verlauf entspricht. Die Anstiegszeit mag zwar für normale Lichtanwendungen ausreichend sein, für höhere Schaltfrequenzen ist die Flankensteilheit 2 zu groß.

Die beiden Aspekte einer hohen Schaltfrequenz bei gleichzeitig großer Flankensteilheit lässt sich zwar in aufwändigeren analogen Stromregelschaltungen für geringe Ströme einigermaßen realisieren, für Hochstromanwendungen, insbesondere zur Versorgung von Hochleistungslaserdioden mit Strömen im Amperebereich, erzeugen diese Regelungen nicht die gewünschten Stromstärken.

Der Erfinder hat nun herausgefunden, dass bei analogen Stromquellen für Hochstromlaserdioden zusätzlich ein paralleles Netzwerk an den zu regelnden Strompfad geschaltet werden kann, mit dessen Hilfe eine deutliche Erhöhung der Schaltflanke realisierbar ist, ohne jedoch die nicht

gewünschten Stromspitzen zu erzeugen. Diese Verbesserung ist sogar besser als bei konventionellen getakteten Konvertern, die bereits mit hohen Schaltfrequenzen und steilen Schaltflanken arbeiten.

Erreicht wird dies durch einen das Netzwerk bildenden Überbrückungskreis, welcher parallel zu der verwendeten Laserdiode (oder allgemein einem optoelektronischen Bauelement) geschaltet wird. Der Überbrückungskreis besitzt neben einem Element zum Aktivieren bzw. Deaktivieren des Überbrückungskreises als solches auch ein nichtlineares Bauteil, welches einen vom Strom im wesentlichen unabhängigen Spannungsabfall erzeugt. Das nichtlineare Bauteil ist beispielsweise eine Diode, dessen Einsatzspannung und auch dessen Spannungsabfall im Wesentlichen unabhängig vom Strom ist, bzw. nur eine leichte Stromabhängigkeit in Vorwärtsrichtung zeigt.

Figur 3 zeigt hierzu ein Ausführungsbeispiel eines Laserdiodentreibers nach dem vorgeschlagenen Prinzip.

Der Laserdiodentreiber, welcher als analoge Stromquelle ausgeführt ist, umfasst einen steuerbaren Strompfad 10, der zwischen einen Versorgungspotenzialanschluss 11 und einen Bezugspotenzialanschluss 12 geschaltet ist. In diesem Ausführungsbeispiel ist eine regelbare analoge Stromquelle 13 vorgesehen, die eingangsseitig mit dem Versorgungspotenzialanschluss 11 verbunden ist und an ihrem Ausgang 131, ein von einem Regelsignal 132 abhängigen Strom bereitstellt. Der Ausgang 131 der Stromquelle ist zum einen mit dem Abgriff 102 sowie dem Klemmenpaar 14 verbunden. Der Abgriff 102 bzw. 103 ist zudem an den Überbrückungskreis 30 angeschlossen, der so das Klemmenpaar 14 und die Laserdiode 14a überbrückt.

Dazu umfasst der Überbrückungskreis einen Schalteingang 31 sowie ein nichtlineares Element 32, so dass dieses mittels eines Schaltsignals PWM_{fast} am Schalteingang 31 zwischen die beiden Abgriffe 102 und 103 trennbar geschaltet werden kann. Dadurch lässt sich anhand des Schaltsignals PWM_{fast} somit das nichtlineare Element 32 parallel zu dem Klemmenpaar 14 verschalten. Der zweite Abgriff 103 führt einerseits an einen nicht gezeigten Widerstand (der auch weggelassen werden kann), der an einen Bezugspotenzialanschluss 12 angeschlossen ist, und zum

anderen an den Rückführungseingang 21 eines analogen (P)I(D)-Reglers 20.

Der analoge Regler 20 besitzt weiterhin einen Sollwerteingang 23 zur
5 Einstellung eines Stroms durch die regelbare Stromquelle 13 mittels
eines Sollwertsignals MOD_LD1. Hierzu ist weiterhin der analoge Regler
mit einem Ladungsspeichers in Form eines Kondensators 24 ausgerüstet,
wobei dieser Ladungsspeicher zwischen den Reglerausgang 22, und einen
Rückführungseingang geschaltet ist. Der Kondensator 24 entspricht so-
10 mit dem Integrationskondensator in den vorangegangenen Teilfiguren 1A
und 1B.

Im Betrieb dieser Anordnung wird bei einer Vorgabe eines Sollwertsig-
nals am Eingang 23 ein davon abhängiges Signal an dem Regelausgang 22
15 erzeugt und der regelbaren Stromquelle 13 zugeführt. Basierend hierauf
erzeugt die regelbare Stromquelle an ihrem Ausgang 131 ein entspre-
chendes Stromsignal. Dieses wird durch die Regelung des (P)I(D)-Reglers
20 auf einem Sollwert gehalten.

20 Die Regelzeitkonstante für eine derartige Regelung ist dabei im We-
sentlichen von der Größe des Kondensator 24 abhängig. In einem anfäng-
lichen Betriebszustand nach dem vorgeschlagenen Prinzip wird das Stell-
signal am Ausgang 22 erzeugt, wobei gleichzeitig das Klemmenpaar 14
mit einer dazwischen geschalteten Hochleistungslaserdiode durch den
25 parallel geschalteten Überbrückungskreis 30 überbrückt wird. Der von
der Stromquelle 13 abgegebene Strom fließt anfänglich somit durch das
nichtlineare Element 32 und erzeugt dabei einen von dem Strom im we-
sentlichen unabhängigen Spannungsabfall.

30 Erst nach der Einschwingzeit des Reglers 20, d.h., wenn dieser eine
stabile und kontinuierliche Regelung auf den Sollwert (definiert am
Sollwerteingang 23) liefert, wird nun ein Schaltsignal am Eingang 31
angelegt, und so der Überbrückungskreis 30 von dem Klemmenpaar 14
abgetrennt. Dadurch fließt der Strom nun durch die Laserdiode und
35 entlang des Klemmenpaars 14. Der Stromregler stellt sich nun auf die
neuen Lastverhältnisse ein. Durch den vorhandenen vorherigen Überbrü-
ckungskreis 30 ist jedoch der Stromregler vorgespannt, d.h., er ist

näher an seinem Arbeitspunkt als bei einem Einschalten ohne die vorherige Last durch den Überbrückungskreis. Gleichzeitig kann der Schaltvorgang im Überbrückungskreis 30 optimiert und so die Anstiegszeit an die gewünschten Parameter angepasst werden.

5

Figur 4 zeigt eine weitere Ausgestaltung eines Laserdiodentreibers mit diskreten Bauelementen. Der Strompfad 10 ist hierbei zwischen den Versorgungspotenzialanschluss 11 und den Bezugspotenzialanschluss 12 geschaltet und umfasst einen Widerstand R1, den Abgriff 102, eine an das Klemmenpaar 14 angeschlossene Laserdiode 14a, einen längs Regeltransistor, welcher die regelbare Stromquelle 13 bildet, sowie den Bezugspotenzialanschluss 12. Zwischen den Abgriffen 102 und 103 ist eine Diode 32 als nichtlineares Element sowie ein Steuertransistor 33 als MosFET geschaltet. Die beiden Elemente 32 und 33 bilden den Überbrückungskreis, wobei der Steueranschluss des Transistor 33 über einen Widerstand R4 an den Schalteingang 31 angeschlossen ist.

Der analoge Stromregler 20 umfasst in diesem Ausführungsbeispiel zwei miteinander verschaltete Operationsverstärker U1 und U2. Dem nichtinvertierenden Eingang des Operationsverstärker U2 wird dabei über einen Widerstand R3 ein Stromsollwertsignal von dem Stelleingang 23 zugeführt. Der invertierende Eingang des Operationsverstärker U2 ist über einen integrierenden Ladungsspeicher 24 mit seinem Ausgang gekoppelt, der gleichzeitig auch den Regelausgang 22 bildet und an den Steueranschluss der steuerbaren Stromquelle 13 angeschlossen ist. Darüber hinaus ist der Regelausgang 22 mit einem optional vorhandenen Regelbegrenzer 25 verbunden, der aus einem zwischen den Bezugspotenzialanschluss 12 geschalteten Widerstand sowie eine in Sperrrichtung geschaltete Diode besteht. Der Regelbegrenzer 25 begrenzt während der Regelung den Strom nach unten hin.

Der analoge Stromregler umfasst weiterhin einen ersten Operationsverstärker U1, dessen Ausgang an den invertierenden Eingang des zweiten Operationsverstärker U2 über einen Widerstand R4 angeschlossen ist. Gleichzeitig ist dieser Widerstand R4 auch mit dem integrierenden Ladungsspeicher 24 verbunden.

Eingangsseitig ist der Operationsverstärker U1 über einen Spannungsteiler aus den Widerständen R5 und R6 mit dem Versorgungspotenzialanschluss 11 verbunden, der nicht-invertierende Eingang von U1 führt über einen Spannungsteiler R7 und R8 einerseits an den Ausgang des Operationsverstärker U1 und andererseits an den Abgriff 102. Damit bilden die Operationsverstärker U1 und U2 eine Regelung für die Einstellung des Längsregeltransistor 13.

In einem Betrieb wird dem ersten Operationsverstärker U1 eingangsseitig über den Widerstand R1 ein Spannungssignal zugeführt, welches im Wesentlichen dem durch den Widerstand R1 fließenden Strom entspricht. Das Ausgangssignal führt hierzu an den invertierenden Eingang des zweiten Operationsverstärker U2, dem eingangsseitig der Sollwert über den Sollwerteingang 23 zugeführt wird. Der Ausgang 22 des Operationsverstärkers U2 führt an den Regeltransistor 13, der basierend auf dem Regelsignal am Ausgang 22 nun den Strom durch den Widerstand R1 und damit auch durch die Laserdiode 14a einregelt. Dieses Betriebsverfahren entspricht im Wesentlichen dem eingeschwungenen Zustand, bei dem der Strom durch den Strompfad 10 durch den analogen Regler 20 abhängig von dem Sollwertsignal am nicht-invertierenden Eingang des Operationsverstärker U2 eingestellt wird.

Für den Einschalt- bzw. auch den Ausschaltvorgang ist dabei die Anstiegszeit und auch die Abfallzeit im Wesentlichen von dem integrierenden Kondensator 24 zwischen dem invertierenden Eingang des zweiten Operationsverstärker U2 und dem Ausgang 22 abhängig. Ein kleinerer Kondensatorwert führt zu höheren Überschwingern- und zwar sowohl während des Anstiegs als auch während des Abfalls. Um das Überschwingen zu vermeiden, können größere Kondensatoren 24 verwendet werden, allerdings vergrößern diese wiederum die Anstiegszeit. Erfindungsgemäß wird daher der Überbrückungskreis 30 vorgesehen, der zwischen die Abgriffe 102 und 103 geschaltet ist.

Für den Fall des Einschaltens der Laserdiode wird nach dem vorgeschlagenen Prinzip nun in einem ersten Schritt eine Sollwertregelung vorgenommen, in dem am Stelleingang 23 das Stromsollwertsignal angelegt

wird. Gleichzeitig oder kurz davor wird am Schalteingang 31 dem Überbrückungskreis 30 ebenfalls ein Schaltsignal zugeführt, welches den Schalttransistor 33 des Überbrückungskreises 30 aktiviert und somit das nichtlineare Element in Form der Diode 32 zwischen die Abgriffe 102 und 103 schaltet, wodurch dieses parallel zur Laserdiode 14a ausgerichtet ist. (Die Signallogik kann auch durch geeignete Wahl eines n- oder p-MOSFET umgedreht werden, so dass der Strom regelmäßig durch die Diode fließt und nur bei Aktivieren des MOSFET, der Überbrückungskreis deaktiviert wird.)

Die Laserdiode 14a wird dadurch überbrückt, wobei ein Spannungsabfall über den Überbrückungskreis hauptsächlich von der Vorwärtsspannung durch die Diode 32 abhängig ist. Durch das Signal am Sollwerteingang 23 sowie das Stellsignal am Eingang 31 regelt nun der analoge Stromregler das durch den Strompfad 10 und die Diode 32 fließende Stromsignal auf den Sollwert. Ist dieser Vorgang abgeschlossen, d. h. der analoge Stromregler eingeschwungen, kann das Schaltsignal am Eingang 31 deaktiviert werden, sodass der Überbrückungskreis geöffnet wird und der Strom durch die Laserdiode fließt.

Dieser Vorgang ist in Figur 8 gezeigt. Dabei ist das Signal PWM_{fast} das dem Schalteingang 31 zugeführte Signal, das Signal MOD_LD1 das Sollwertsignal für den analogen Stromregler, und das Signal I_LD1 entspricht dem Stromsignal durch die Laserdiode.

Wie zu erkennen, wird das Sollwertsignal MOD_LD1 zum Zeitpunkt $T1$ als erstes aktiviert, wobei gleichzeitig das Schaltsignal und der Überbrückungskreis derart ausgeführt sind, dass die Laserdiode überbrückt wird, sodass der Strom durch die Laserdiode im Wesentlichen null ist oder einem Bias-Strom entspricht. Nach einem Einschwingvorgang des analogen Stromtreibers während des Zeitraum t_v , wird der Überbrückungskreis getrennt (PWM_{fast} geht von „low“ auf „high“), sodass der Strom I_LD1 durch die Laserdiode mit einer sehr geringen Anstiegszeit ansteigt. Sofern die Zeit t_v für den Einschwingvorgang des Stromreglers kürzer ist als die Aus-Zeit bis zum nachfolgenden Schaltsignal (PWM_{fast} auf „high“), so kann sowohl das Sollwertsignal MOD_LD1 als

auch das Schaltsignal PWM_{fast} gleichzeitig abgestellt und so der Strom durch die Laserdiode abgeschaltet werden.

5 Zum Zeitpunkt T2 wird erneut das Sollwertsignal MOD_LD1 aktiviert, diesmal jedoch mit einem geringeren Wert, sodass der Strom I_LD1 insgesamt auf einen geringeren Pegel eingestellt wird.

10 In dieser Ausführungsform erfolgt ein Einschalten des Überbrückungskreises dahingehend, dass auch hier das Schaltsignal am Schalteingang 31 wieder deaktiviert ist und so die Laserdiode überbrückt wird. Erst nach Einschwingen des Reglers wird der Überbrückungskreis abgeschaltet und der Strom I_LD1 fließt mit niedrigerem Pegel durch die Laserdiode. Sofern eine leichte Modulation des Stroms notwendig ist, kann diese mit dem Regler über das Sollwertsignal erfolgen. Zum Abschalten des
15 Stromes durch die Laserdiode wird in dieser Ausführungsform zuerst das Schaltsignal PWM_{fast} deaktiviert und erst nach Verstreichen der Zeit t_v das Sollwertsignal MOD_LD1 auf 0 gesetzt.

20 In einigen Aspekten, insbesondere bei einem Laser mit sehr schnellen Schaltfrequenzen kann es sein, dass die Regelzeit t_v des analogen Stromreglers größer ist als die eigentliche Pulsdauer der Laserdiode. Z.B. verbieten die in Figur 2 gezeigten Anstiegszeiten Schaltgeschwindigkeiten mit Pulsen von mehr als 100kHz.

25 In diesem Fall ist es zweckmäßig, den analogen Stromregeltreiber dauerhaft aktiviert zu lassen und eine Ein-Aus-Steuerung des Stroms durch die Laserdiode lediglich durch das Signal PWM_{fast} am Schalteingang 31 zu erzeugen. Dies ist im letzten Teilbereich der Figur 8 ab dem Zeitpunkt T3 dargestellt. Die einzelnen Pulse haben dabei eine kürzere
30 Länge als die Zeitdauer t_v . Erst mit der letzten fallenden Taktflanke des Signals PWM_{fast} kann auch das Sollwertsignal MOD_LD1 abgeschaltet werden. Auf diese Weise werden hohe Anstiegs- und Abfallzeiten bei hohen Schaltfrequenzen erreicht.

35 Figur 5 zeigt eine weitere Ausgestaltung, bei der der analoge Stromregeltreiber als integriertes Bauelement vorgesehen ist. Extern werden

bei diesem Bauelement lediglich der Längsregeltransistor für die Stromquelle 13, der Integralkondensator 24 zur Einstellung der Regelzeitkonstanten sowie der Überbrückungskreis 30 vorgesehen.

5 In dem Ausführungsbeispiel ist zudem ein Bipolartransistor 34 angegeben, dessen Basisanschluss über einen Widerstand mit dem Schalteingang 31 für das schnelle Schaltsignal PWM_{fast} verbunden ist. Für den schnellen Schaltvorgang wird der Bipolartransistor 34 durchgeschaltet, so dass der Steueranschluss des Schalttransistor 33 über einen weiteren
10 Widerstand auf das Bezugspotenzial 12 gezogen wird. Dadurch wird entsprechend der Überbrückungskreis aktiviert bzw. deaktiviert (negative Logik im Vergleich zu dem Schaltsignal PWM_{fast} in Fig. 8). Die eigentliche Stromregelung auf den Sollwert erfolgt über den Anschluss 23, wie auch im vorangegangenen Ausführungsbeispiel, der dem integrierten
15 Schaltkreis 20 als Sollwerteingang zur Verfügung gestellt wird.

Die Figur 6 zeigt nun einen zeitlichen Stromverlauf und im Besonderen die Anstiegszeit mit einem Treiber nach dem vorgeschlagenen Prinzip.

20 Kurve K1 entspricht dabei einer steigenden Pulsflanke mit einem Integrationskondensator in etwa von 2nF, die Kurve K2 zeigt die Anstiegszeit mit einem Integralkondensator von 390pF, also in etwa dem 1/5-fachen. Die y-Achse skaliert mit 0,5 A pro Division, die x-Achse mit 1 μ s pro Division. Der Figur ist deutlich zu entnehmen, dass bei einem kleineren
25 Integralkondensator dargestellt durch die Kurve K2 ein geringfügiges Überschießen vorhanden ist, welches bei dem größeren Integralkondensator der Kurve K1 nicht mehr auftritt. Demgegenüber besteht jedoch kein größerer Einfluss dieses Integralkondensators auf die Anstiegszeit, die im Wesentlichen zwischen 10 % und 80 % weiterhin bei etwa 1
30 μ s liegt. Daraus ergibt sich, dass durch die zusätzlich vorhandene Maßnahme eines Überbrückungskreises die Anstiegszeit im Wesentlichen unabhängig von dem verwendeten Integrationskondensator zur Einstellung der Regelzeit wird. Dies ist vorteilhaft, da nun ein Überspringen durch eine vergrößerte Regelzeit reduziert werden kann, ohne dass sich
35 dieses negativ auf die Anstiegszeit auswirkt.

Figur 7 zeigt einen vollständigen Puls mit etwa einer Länge von 10 μs , wobei der Anstieg innerhalb von etwa 1 μs liegt. Auch die Abfallzeit dieses Pulses ist in etwa ein bis 1,5 μs , sodass sich insgesamt sehr steile Pulsflanken bei einer Pulsdauer von lediglich 10 μs ergeben.

5

Figur 9 zeigt zusätzlich, dass sich mit diesen Maßnahmen nicht nur sehr steile Pulsflanken erzeugen lassen, sondern diese bei sehr starken Strömen weiterhin ohne Überschwinger ausgebildet werden können. In Figur 9 sind drei aufeinanderfolgende Pulse mit einer Pulslänge von im Wesentlichen 1 μs gezeigt. Die Anstiegszeit liegt dabei deutlich unterhalb einer μs . Zudem ist hier ein Bias-Strom vorhanden, der ungefähr 0,4 A entspricht und durch die verwendeten Dioden in Vorwärtsrichtung im Überbrückungskreis bewirkt wird.

10

15

Damit lässt sich auch eine Laserdiode im ausgeschalteten Zustand unterhalb ihres Schwellenstroms betreiben, sodass diese besonders schnell eingeschaltet werden kann, wobei der Einschwingvorgang des Reglers geringgehalten wird. Der Biasstrom lässt sich durch die verwendeten nichtlinearen Elemente, beispielsweise eine Diode oder auch einen Transistor, einstellen. Zudem sollte in diesem Zusammenhang der Spannungsabfall des nichtlinearen Elementes unterhalb der Schwellenspannung der Hochleistungslaserdiode liegen, um ein sicheres Abschalten der Diode zu gewährleisten.

20

25

Figur 10 zeigt eine Ausführungsform eines Verfahrens zum Betreiben eines optoelektronischen Bauelementes und insbesondere eines Hochleistungshalbleiterlasers, der in einem regelbaren Strompfad angeordnet ist.

30

In Schritt S1 wird für diesen Zweck ein Stromsollwert bereitgestellt, der dazu benutzt wird, in Schritt S2 einen Strom durch den Strompfad auf den Sollwert zu regeln. Diese Regelung erfolgt jedoch derart, dass das pulsförmig zu betreibende optoelektronische Bauelement bzw. der Hochleistungshalbleiterlaser während dieser ersten Einschwingphase überbrückt wird, und zwar durch einen dazu angeordneten und eingeschalteten Überbrückungskreis. Dadurch fließt der erste Einschaltstrom

35

im Wesentlichen durch den Überbrückungskreis, wobei der Spannungsabfall über diesem Überbrückungskreis im Wesentlichen unabhängig bzw. nur geringfügig abhängig von dem fließenden Strom ist.

5 Dies Verhalten wird durch ein nichtlineares Element, beispielsweise eine Diode in Flussrichtung oder auch eine oder mehrere Zenerdioden bzw. auch Transistoren, erreicht. Bei Letzteren ist der Steueranschluss so verschaltet, dass sich ein stromunabhängiger Widerstand ergibt. Die Überbrückung mittels des Überbrückungskreis erfolgt so lange, bis die
10 Stromregelung eingeschwungen ist. Erst dann wird der parallel angeordnete Überbrückungskreis getrennt, sodass der Strom nun durch das optoelektronische Bauelement und damit die Laserdiode fließt. Diese Trennung kann durch ein Schaltsignal bewirkt werden, mit dem sich auf diese Weise die Laserdiode schnell ein- und ausschalten lässt, ohne dass
15 weitere Überschwinger durch die Stromregelung erzeugt werden.

Mit dem vorgeschlagenen Prinzip wird somit gerade für Hochleistungslaserdioden eine große Flankensteilheit erreicht, bei dem sich auch hohe Schaltgeschwindigkeiten im Bereich weniger Mikrosekunden realisieren lassen. Das Einschwingverhalten wird hinsichtlich der Anstiegszeit von der Regelzeitkonstanten entkoppelt, sodass beide unabhängig voneinander optimiert werden können. Insbesondere gibt es trotz der
20 großen Flankensteilheit keine Stromspitzen, sodass die Hochleistungslaserdioden entsprechend geschützt werden können. Bei einer geeigneten Verwendung eines nichtlinearen Bauelementes lässt sich ein einfacher Bias-Strom durch die Laserdiode realisieren, sodass auch hier die eigentlichen Zeiten für den Einschaltvorgang der Laserdiode verringert sind. Zusätzlich erfolgt eine Spitzenstrombegrenzung im eingeschalteten Moment.

30

Der hier verwendete Laserdiodentreiber sowie das vorgeschlagene Verfahren lässt sich vor allem für Hochleistungslaserdioden beispielsweise bei grafischen Head-Up-Displays, in holographischen Displays oder auch in Projektoren verwenden. Zusätzlich erlaubt die Anordnung
35 auch CW Treiber für den Pulsbetrieb zu modifizieren, wodurch eine höhere Flexibilität bei der Auswahl vorhandener Treiber erreicht wird.

Figur 11 zeigt eine Ausgestaltung eines nicht-linearen Bauelements 32, welches beispielsweise anstatt der in den vorher gezeigten Ausführungen anstatt der Diode 32 zum Einsatz kommen kann.

- 5 Die gezeigte Ausführung ist als npn Bipolar-Transistor ausgeführt, bei dem die Basis über eine Z-Diode wie dargestellt mit dem Kollektoran-
schluss verbunden ist. Zwischen Basis und Emitter ist ein Widerstand
geschaltet. Durch die Z-Diode wird in dieser Ausführung ein konstanter
Spannungsabfall über der Kollektor-Emitter-Strecke erzeugt, der durch
10 die Z-Diodenspannung gegeben ist. Lässt man die Diode und den Wider-
stand weg und verbindet die Basis lediglich direkt mit dem Kollektor,
dann erhält man einen Spannungsabfall, welcher Kollektor-Emitterspan-
nung bei voll durchgesteuertem Transistor entspricht, d.h. ca 0,7V.
Für pnp-Transistoren lässt sich entsprechend Basis an Kollektor ver-
15 tauschen.

Die in der Figur 11 gezeigte Ausgestaltung funktioniert grundsätzlich
auch mit einem Feldeffekttransistor, da der Spannungsabfall durch die
Eigenschaften der Diode gegeben ist.

BEZUGSZEICHENLISTE

	10	steuerbarer Strompfad
5	11	Versorgungspotentialanschluss
	12	Bezugspotentialanschluss
	13	steuerbare analoge Stromquelle
	14	Klemmenpaar
	14a	Laserdiode
10	20	analoger Stromregler
	21	Regeleingang
	22	Regelausgang
	23	Stelleingang
	24	Ladungsspeicher
15	25	Regelbegrenzer
	30	Überbrückungskreis
	31	Schalteingang
	32	nichtlineares Bauelement
	33	Schalttransistor
20	102	Abgriff
	131	Stromausgang
	132	Regeleingang

PATENTANSPRÜCHE

1. Laserdiodentreiber, aufweisend

- einen steuerbaren Strompfad (10), der zwischen einen Versorgungspotentialanschluss (11) und einen Bezugspotentialanschluss (12) geschaltet ist und eine steuerbare analoge Stromquelle (13) sowie ein dazu in Serie geschaltetes Klemmenpaar (14) für ein optoelektronisches Bauelement, insbesondere einen Halbleiterlaser (14a), insbesondere eine Laserdiode aufweist;
- einen analogen Stromregler (20) mit einem Regeleingang (21) zum Erfassen eines von einem Strom entlang des steuerbaren Strompfades (10) abgeleiteten Signals, mit einem Regelausgang (22), der mit der steuerbaren Stromquelle (13) zur Einstellung des Stroms durch den Strompfad verbunden ist, und mit einem Stelleingang (23) zur Einstellung eines Sollwertes des Stroms durch den Strompfad;
- wobei eine Regelzeitkonstante des analogen Stromreglers (20) von einem mit dem Regelausgang (22) gekoppelten Ladungsspeichers (24) abhängig ist;
- einen Schalteingang (31) zur Zuführung eines Schaltsignals an einen parallel zu dem Klemmenpaar (14) angeordneten Überbrückungskreis (30);
- wobei der Überbrückungskreis (30) ein nichtlineares Bauelement (32), insbesondere eine Diode umfasst.

2. Laserdiodentreiber nach Anspruch 1, bei dem das nichtlineare Bauelement (32) ausgebildet ist, einen Spannungsabfall zu bewirken, der im Wesentlichen unabhängig oder nur geringfügig abhängig vom Strom ist.

3. Laserdiodentreiber nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem das nichtlineare Bauelement (32) umfasst:

- wenigstens eine in Flussrichtung geschaltete Diode; und/oder
- wenigstens eine in Sperrrichtung geschaltete Zenerdiode; und/oder

- zumindest einen Bipolartransistor, dessen Basisanschluss zumindest direkt oder indirekt mit einem oder mehreren weiteren Transistoranschlüssen gekoppelt ist;
 - einen Feldeffekttransistor, dessen Gate zumindest direkt oder
5 indirekt mit einem oder mehreren weiteren Transistoranschlüssen gekoppelt ist.
4. Laserdiodentreiber nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem ein Spannungsabfall über den parallel angeordneten Überbrückungskreis (30) geringer ist als eine Einsatzspannung des mit dem Klemmenpaar (14) verbundenen optoelektronisches Bauelements (14a).
- 10
5. Laserdiodentreiber nach einem der vorhergehenden Ansprüche, weiter umfassend:
- einen Abschalttransistor, der in den Strompfad geschaltet ist;
15 und/oder
 - einen Regelbegrenzer (25), der mit dem Regelausgang (22) und dem Bezugspotentialanschluss (12) verbunden ist.
- 20
6. Laserdiodentreiber nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der parallel zu dem Klemmenpaar (14) angeordneten Überbrückungskreis (30) einen Schalttransistor (33) aufweist, dessen Steueranschluss das Schaltsignal zuführbar ist.
- 25
7. Laserdiodentreiber nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der Laserdiodentreiber ausgestaltet ist, das Schaltsignal erst nach dem Anlegen eines Sollwertes; oder erst nach einer Einschwingzeit des analogen Stromreglers (20) bereitzustellen.
- 30
8. Laserdiodentreiber nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die steuerbare Stromquelle (13) ausgeführt ist, ein Stromsignal im Bereich größer als 1A bereitzustellen.
- 35
9. Laserdiodentreiber nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem eine Flankensteilheit eines Stroms entlang des steuerbaren Strompfades (10) durch das optoelektronische Bauelement (14a) im Wesentlichen durch einen Spannungsabfall des parallel zu dem Klemmenpaar

(14) angeordneten Überbrückungskreis (30) und/oder des nichtlinearen Elements (32) bestimmt ist.

10. Verfahren zum Betreiben eines optoelektronischen Bauelements, insbesondere eines Halbleiterlasers (14a), insbesondere eine Laserdiode, die in einem regelbaren Strompfad (10) angeordnet ist, aufweisend die Schritte:

- Bereitstellen eines Stromsollwertes;
- Regeln eines Stroms durch den Strompfad auf den Stromsollwert, wobei das optoelektronische Bauelement (14a) einen parallel angeordneten Überbrückungskreis überbrückt ist und der Strom im Wesentlichen durch den Überbrückungskreis (30) fließt und wobei ein Spannungsabfall über den Überbrückungskreis (30) im Wesentlichen unabhängig oder nur geringfügig abhängig vom fließenden Strom ist;
- Trennen des parallel angeordneten Überbrückungskreises (30), nachdem eine Regelung des Stroms auf den Stromsollwert erfolgt ist.

11. Verfahren nach Anspruch 10, bei dem ein Spannungsabfall über den parallel angeordneten Überbrückungskreis (30) kleiner ist als eine Einsatzspannung des optoelektronischen Bauelements.

12. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 11, bei dem der Spannungsabfall über dem parallel angeordneten Überbrückungskreis (30) durch ein nichtlineares Bauelement (32) erzeugt wird, welches umfasst:

- wenigstens eine in Flussrichtung geschaltete Diode; und/oder
- wenigstens eine in Sperrrichtung geschaltete Zenerdiode; und/oder
- zumindest einen Bipolartransistor, dessen Basisanschluss zumindest direkt oder indirekt mit einem oder mehreren weiteren Transistoranschlüssen gekoppelt ist;
- einen Feldeffekttransistor, dessen Gate zumindest direkt oder indirekt mit einem oder mehreren weiteren Transistoranschlüssen gekoppelt ist.

13. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 12, wobei eine Regelzeitkonstante durch eine Kapazität eines Ladungsspeichers (24) bestimmt wird.

5 14. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 13, wobei eine Flankensteilheit während der Regelung auf den Sollwert im Wesentlichen von einem Spannungsabfall über den Überbrückungskreis (30) bestimmt wird.

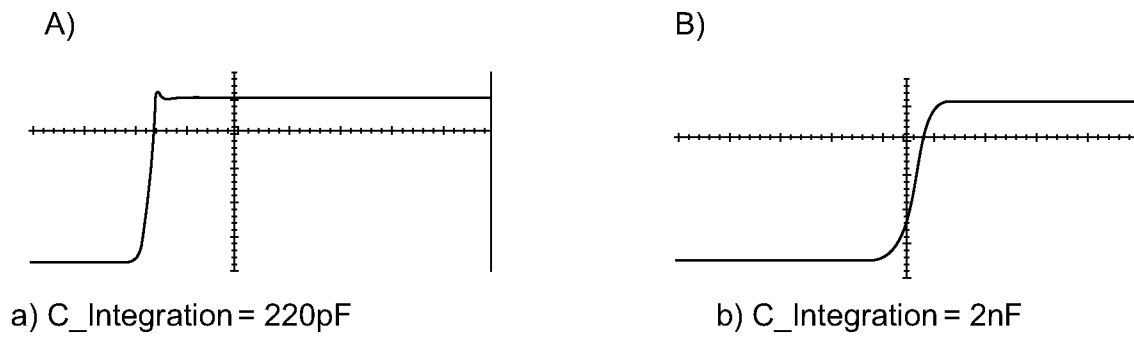


FIG. 1

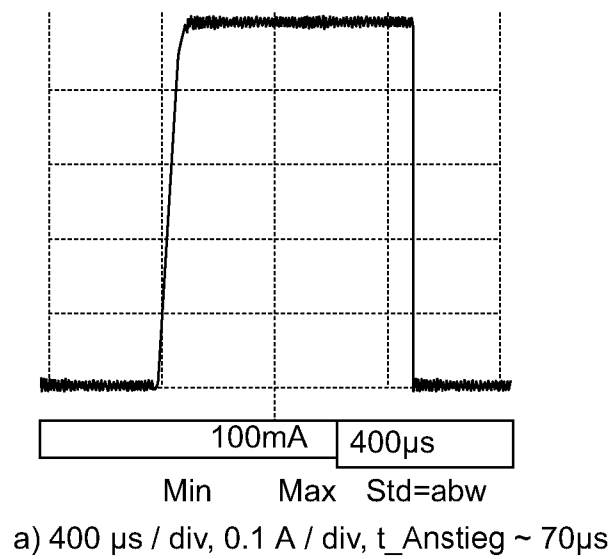


FIG. 2

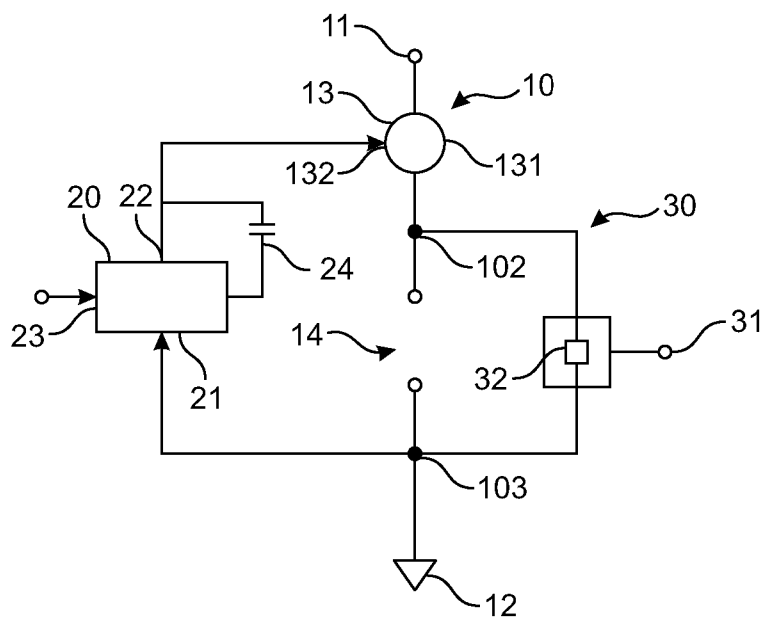


FIG. 3

2/5

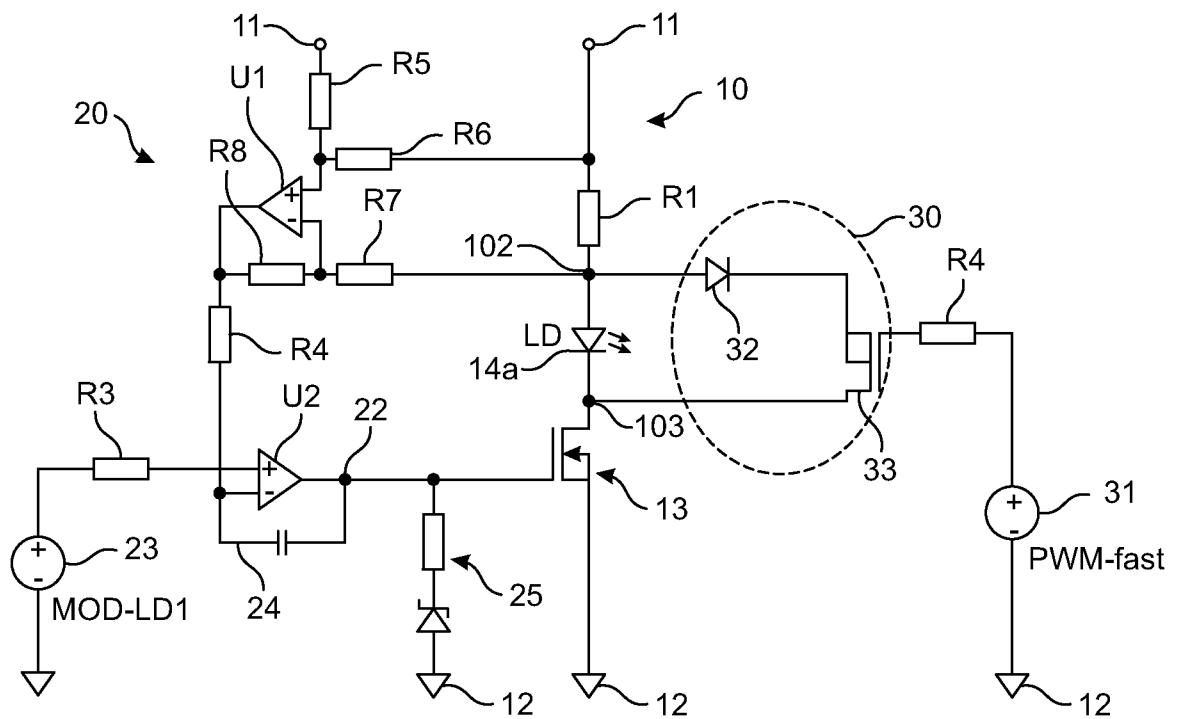


FIG. 4

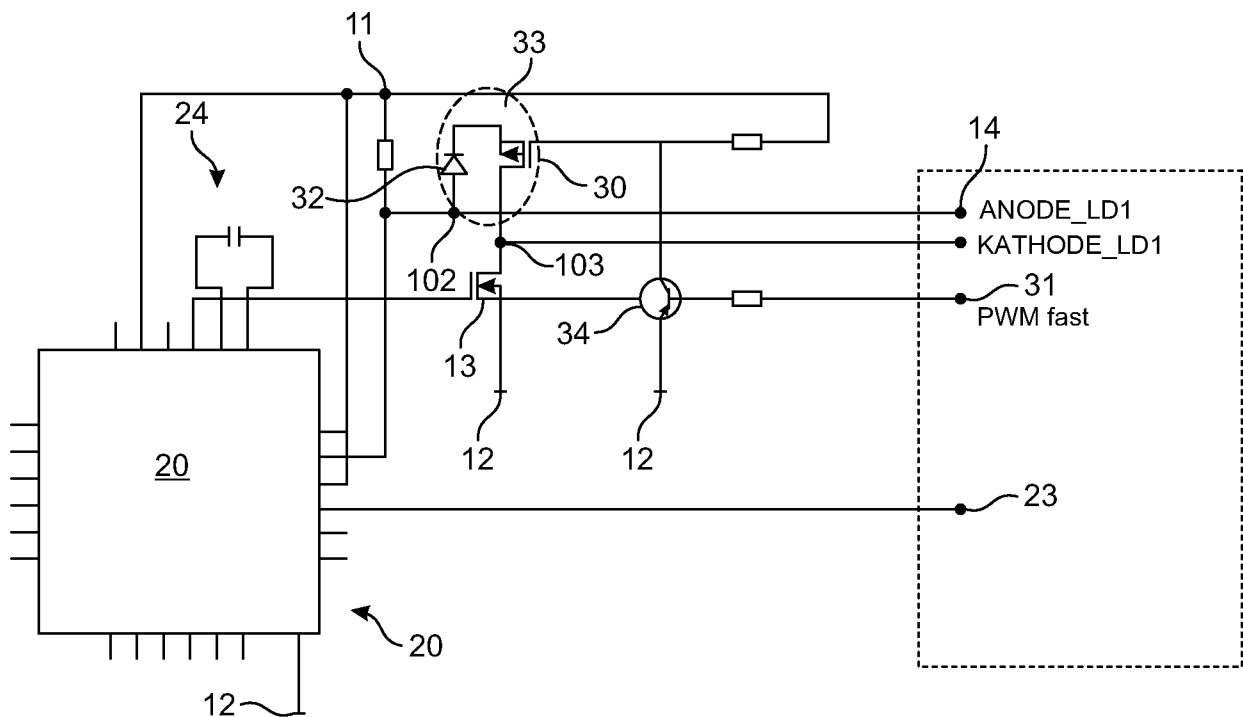


FIG. 5

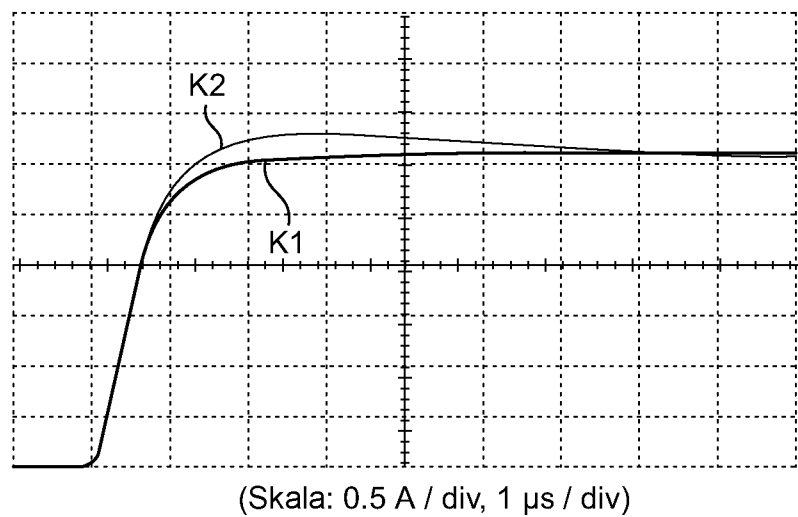
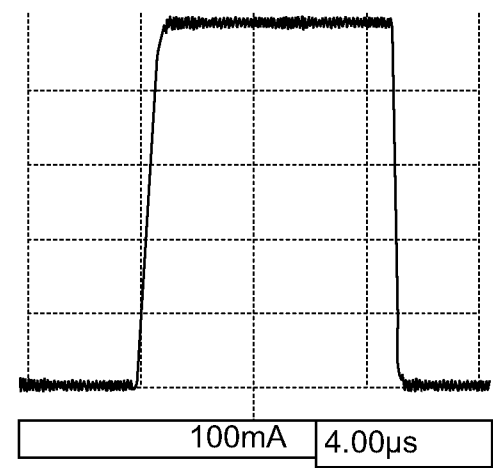


FIG. 6



Min Max Std=abw

b) 4 μ s / div, 0.1 A / div, t_{Anstieg} ~ 1 μ s

FIG. 7

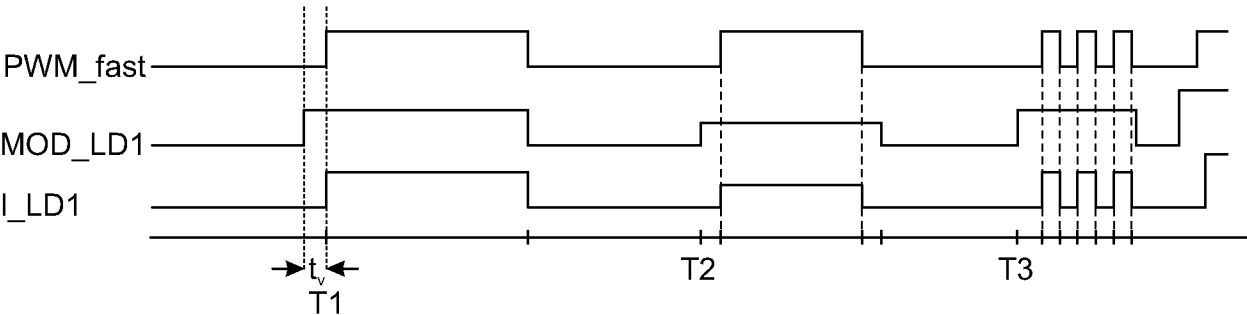


FIG. 8

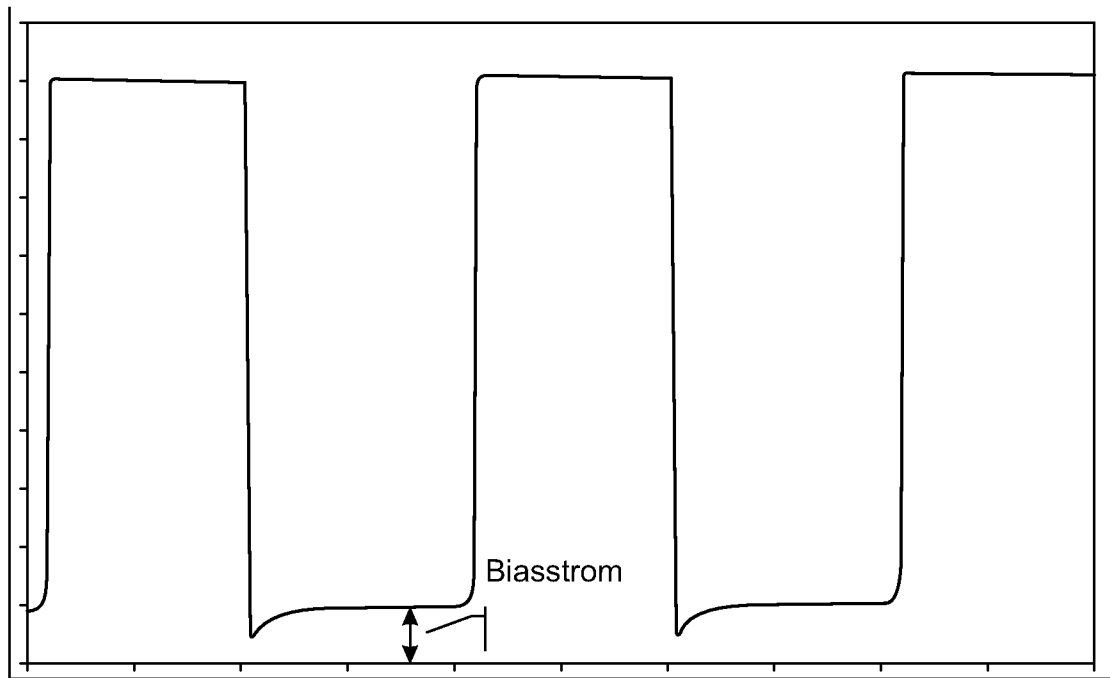


FIG. 9

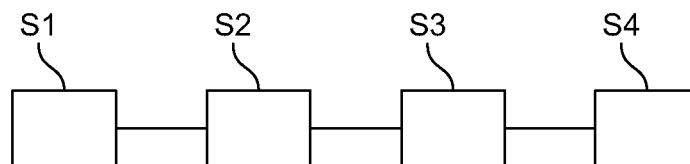


FIG. 10

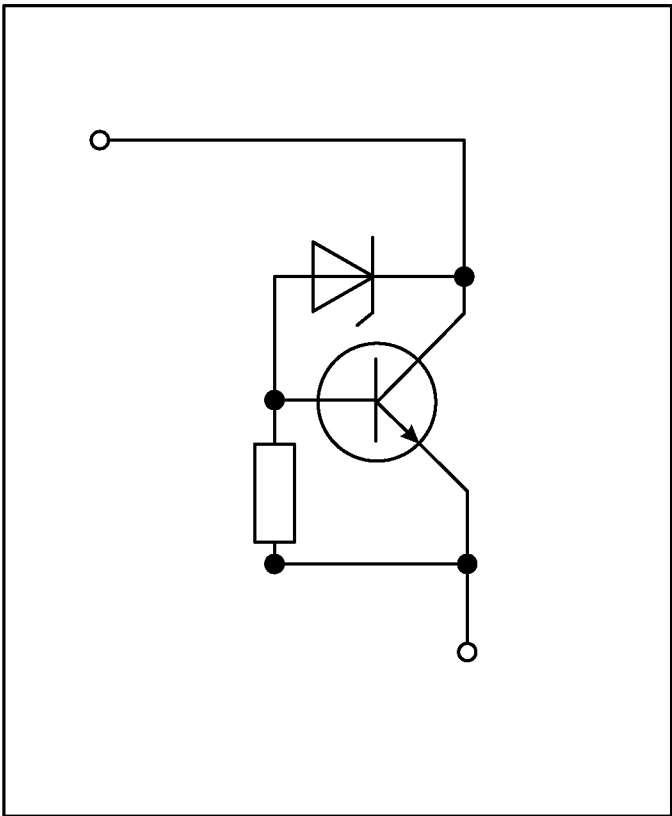


FIG. 11

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP2024/057874

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**H01S 5/042**(2006.01)i; **H01S 5/068**(2006.01)i; **H01S 5/062**(2006.01)n

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)

H01S; G01S

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 practicable, search terms used)

EPO-Internal, COMPENDEX, INSPEC, 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 Y	US 5444728 A (THOMPSON MARC T [US]) 22 August 1995 (1995-08-22) column 4, line 38 - column 14, line 49; figures 1-7	1,3-8,10-13 2,9,14
X Y	US 2012189028 A1 (HOFFMAN DAVID [US] ET AL) 26 July 2012 (2012-07-26) paragraphs [0023] - [0035], [0051], [0052]; figures 1,4A	1,3-8,10-13 2,9,14
X Y	US 2016149376 A1 (RITTER ULRICH [US] ET AL) 26 May 2016 (2016-05-26) paragraphs [0020] - [0034]; figures 6,7	1,3-8,10-13 2,9,14
Y	US 2018278017 A1 (MIGNOLI FRANCO [IT] ET AL) 27 September 2018 (2018-09-27) paragraphs [0023] - [0030]; figures 3,4	2,9,14
A	DE 102020212326 A1 (BOSCH GMBH ROBERT [DE]) 31 March 2022 (2022-03-31) paragraphs [0036] - [0062]; figures 4-6	1, 10



Further documents are listed in the continuation of Box C.



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 application or patent 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

13 June 2024

Date of mailing of the international search report

27 June 2024

Name and mailing address of the ISA/EP

European Patent Office
p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk
Netherlands (Kingdom of the)

Telephone No. (+31-70)340-2040

Facsimile No. (+31-70)340-3016

Authorized officer

Laenen, Robert

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/EP2024/057874

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
US	5444728	A	22 August 1995	NONE			
US	2012189028	A1	26 July 2012	NONE			
US	2016149376	A1	26 May 2016	CN	107005161	A	01 August 2017
				EP	3224938	A1	04 October 2017
				JP	6686020	B2	22 April 2020
				JP	2017536673	A	07 December 2017
				KR	20170086630	A	26 July 2017
				US	2016149376	A1	26 May 2016
				WO	2016085979	A1	02 June 2016
US	2018278017	A1	27 September 2018	CN	109378704	A	22 February 2019
				DE	102018106861	A1	27 September 2018
				US	2018278017	A1	27 September 2018
DE	102020212326	A1	31 March 2022	NONE			

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
INV. H01S5/042 H01S5/068
ADD. H01S5/062

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

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
H01S G01S

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, COMPENDEX, INSPEC, WPI Data

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	US 5 444 728 A (THOMPSON MARC T [US]) 22. August 1995 (1995-08-22)	1,3-8, 10-13
Y	Spalte 4, Zeile 38 - Spalte 14, Zeile 49; Abbildungen 1-7	2,9,14

X	US 2012/189028 A1 (HOFFMAN DAVID [US] ET AL) 26. Juli 2012 (2012-07-26)	1,3-8, 10-13
Y	Absätze [0023] - [0035], [0051], [0052]; Abbildungen 1,4A	2,9,14

X	US 2016/149376 A1 (RITTER ULRICH [US] ET AL) 26. Mai 2016 (2016-05-26)	1,3-8, 10-13
Y	Absätze [0020] - [0034]; Abbildungen 6,7	2,9,14

Y	US 2018/278017 A1 (MIGNOLI FRANCO [IT] ET AL) 27. September 2018 (2018-09-27)	2,9,14
	Absätze [0023] - [0030]; Abbildungen 3,4	

	- / - -	

☒ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen ☒ 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" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. 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 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 13. Juni 2024	Absendedatum des internationalen Recherchenberichts 27/06/2024
Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Bevollmächtigter Bediensteter Laenen, Robert

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	DE 10 2020 212326 A1 (BOSCH GMBH ROBERT [DE]) 31. März 2022 (2022-03-31) Absätze [0036] - [0062]; Abbildungen 4-6 -----	1,10

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2024/057874

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 5444728	A	22-08-1995	KEINE
US 2012189028	A1	26-07-2012	KEINE
US 2016149376	A1	26-05-2016	CN 107005161 A 01-08-2017
		EP 3224938 A1	04-10-2017
		JP 6686020 B2	22-04-2020
		JP 2017536673 A	07-12-2017
		KR 20170086630 A	26-07-2017
		US 2016149376 A1	26-05-2016
		WO 2016085979 A1	02-06-2016
US 2018278017	A1	27-09-2018	CN 109378704 A 22-02-2019
		DE 102018106861 A1	27-09-2018
		US 2018278017 A1	27-09-2018
DE 102020212326	A1	31-03-2022	KEINE