



(19)  
Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 699 38 465 T2** 2009.06.04

(12) **Übersetzung der europäischen Patentschrift**

(97) **EP 1 176 853 B1**

(51) Int Cl.<sup>8</sup>: **H05B 41/24** (2006.01)

(21) Deutsches Aktenzeichen: **699 38 465.6**

(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/JP99/05728**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **99 947 939.7**

(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2001/030120**

(86) PCT-Anmeldetag: **18.10.1999**

(87) Veröffentlichungstag  
der PCT-Anmeldung: **26.04.2001**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **30.01.2002**

(97) Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung beim EPA: **02.04.2008**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **04.06.2009**

(73) Patentinhaber:  
**Ushio Denki K.K., Tokio/Tokyo, JP**

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
**DE, GB, NL**

(74) Vertreter:  
**Patentanwälte Lang & Tomerius, 80687 München**

(72) Erfinder:  
**OKAMOTO, Masashi, Akashi-shi Hyogo 673-0877, JP; HIROSE, Kenichi, Takasago-shi Hyogo 671-0123, JP**

(54) Bezeichnung: **DIELEKTRISCH BEHINDERTE ENTLADUNGSLAMPE UND LICHTQUELLE**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

## Beschreibung

**[0001]** Diese Erfindung betrifft eine Lichtquellenvorrichtung, die eine so genannte dielektrische Barrierenentladungslampe umfasst, bei der es sich um einen Typ von Entladungslampe handelt, die beispielsweise als eine Quelle für Ultraviolettstrahlung für photochemische Reaktionen dient, in der von einer dielektrischen Barrierenentladung Excimer-Moleküle ausgebildet werden und die Licht verwendet, das von den Excimer-Moleküle abgegeben wird.

### Hintergrund der Technologie

**[0002]** Technische Literatur, die sich mit der Technologie beschäftigt, die mit den dielektrischen Barrierenentladungslampen verbunden ist, mit der diese Erfindung befasst ist, findet sich beispielsweise im JPO Kokai Patentbericht H2-7353. In diesem Dokument wird ein Emittor beschrieben, der Licht erzeugt, indem er die Bildung von Excimer-Molekülen mittels einer dielektrischen Barrierenentladung in einer Entladungskammer auslöst, die mit einem Entladungsgas gefüllt ist, das Excimer-Moleküle bildet, und das von diesen Excimer-Molekülen abgestrahlte Licht verwendet (eine dielektrische Barrierenentladung ist auch bekannt als Ozonisator-Entladung oder stille Entladung; vgl. Denki Gakkai, "Discharge Handbook," durchgesehene Auflage, 7. Printing, Juni 1989, S. 263).

**[0003]** Dielektrische Barrierenentladungslampen haben einen Entladungsplasmaraum und ein oder zwei Dielektrika, die zwischen Elektroden eingebracht sind. In [Fig. 19\(a\)](#) ist eine dielektrische Barrierenentladungslampe **1** mit zwei Dielektrika **5, 6** dargestellt. In [Fig. 19\(a\)](#) dient die Lampendichtung **7** übrigens auch als zwei Dielektrika **5, 6**.

**[0004]** Wenn die dielektrische Barrierenentladungslampe **1** eingeschaltet wird, wird an die Elektroden **3, 4** ein hochfrequenter Wechselstrom von beispielsweise 10 bis 200 kHz und 2 bis 10 kV angelegt.

**[0005]** Wegen der Dielektrika **5, 6** zwischen dem Entladungsplasmaraum **2** und den Elektroden **3, 4** fließt jedoch der Strom nicht direkt von den Elektroden **3, 4** zum Entladungsplasmaraum **2**; der Strom fließt vermöge der Dielektrika **5, 6** als Kondensator. Mit anderen Worten, eine Ladung, die in ihrer Größe jener der Elektroden **3, 4** gleich ist und in ihrem Vorzeichen gegenteilig, wird infolge der Polarisierung des Dielektrikums auf der Entladungsplasmaraumseite der Dielektrika **5, 6** induziert. Die Entladung findet zwischen den Dielektrika **5, 6** statt, die dem Entladungsplasmaraum **2** zugewandt sind.

**[0006]** Wenig Strom fließt an der Seite des Entladungsplasma-raums **2** der Dielektrika **5, 6**; wenn es zu einer Entladung kommt, wird die auf der Seite des Entladungsplasma-raums **2** der Dielektrika **5, 6** induzierte Ladung von der durch die Entladung bewegten Ladung neutralisiert, und das elektrische Feld im Entladungsplasma-raum **2** verringert sich. Aus diesem Grund stoppt der Strom auch dann, wenn die Spannung weiterhin in den Elektroden **3, 4** eingepreßt ist. Doch wenn die in den Elektroden **3, 4** eingepreßte Spannung wieder steigt, bleibt der Entladungsstrom aufrecht.

**[0007]** Wenn die Entladung nach ihrer Entstehung aufhört, findet keine weitere Entladung statt, bis die Polarität der in die Elektroden **3, 4** eingepreßten Spannung gewechselt hat.

**[0008]** Im Falle einer dielektrischen Barrierenentladungslampe, in der beispielsweise Xenongas dicht eingeschlossen ist, wird das Xenongas durch die Entladung in Ionen und Elektronen zerlegt und wird zu Xenonplasma. Wenn das Xenonplasma auf einen bestimmten Energielevel angeregt wird, bilden sich in dem Plasma Excimer-Moleküle. Xenon-Excimer teilen sich nach einer bestimmten Lebensdauer, doch die zu diesem Zeitpunkt abgegebene Energie wird als Photon mit Vakuum-UV-Wellenlänge emittiert. Um eine dielektrische Barrierenentladungslampe effizient als Vakuum-UV-Lichtquelle funktionieren zu lassen, müssen die Excimer-Moleküle effizient ausgebildet sein.

**[0009]** Das größte Hindernis für eine effiziente Ausbildung von Excimer-Molekülen während der Entladung liegt in der Anregung des Entladungsplasmas auf Energielevels, die nicht zur Bildung von Excimer-Molekülen beitragen.

**[0010]** Die Bewegung der Elektronen des Entladungsplasmas unmittelbar nach Beginn der Entladung ist kollektiv, und die Energie ist hoch, während die Temperatur niedrig ist. In diesem Zustand hat das Entladungsplasma eine hohe Wahrscheinlichkeit für einen Übergang in den Resonanz-Zustand, der für die Ausbildung von Excimer-Molekülen erforderlich ist. Wenn die Entladungszeit verlängert ist, wird die Bewegung der Plas-

maelektronen jedoch allmählich thermisch. Das bedeutet, sie erreicht einen Zustand eines thermischen Gleichgewichts, der als Maxwell-Boltzmann-Verteilung bekannt ist; die Plasmatemperatur steigt, und es besteht eine erhöhte Wahrscheinlichkeit eines Übergangs in einen Zustand einer höheren Anregung, in dem sich keine Excimer-Moleküle bilden können.

**[0011]** Nach der Ausbildung von Excimer-Molekülen kommt es zudem in einigen Fällen vor, dass eine anschließende Entladung die Excimer-Moleküle aufricht, bevor deren Lebensdauer abläuft, und sie teilen sich auf natürliche Weise durch Abgabe des gewünschten Photons. Im Fall der Xenon-Excimer ist eine Zeitspanne von etwa 1  $\mu$ s zwischen dem Beginn der Entladung und der Abgabe eines Vakuum-UV-Photons erforderlich, und eine anschließende Entladung oder Wiederentladung in diesem Zeitraum verringert die Effizienz der Excimer-Lichtemission.

**[0012]** Mit anderen Worten, nachdem die Entladung einmal begonnen hat, ist es von größter Wichtigkeit, die Energie nachfolgender Entladungen so weit wie nur möglich zu reduzieren.

**[0013]** Auch in dem Fall, dass die Entladungszeit kurz ist, besteht in dem Fall, dass die während der Entladungsdauer eingebrachte Energie zu hoch ist, eine erhöhte Wahrscheinlichkeit eines Übergangs in einen Zustand hoher Anregung. Plasma, das in einen Zustand hoher Anregung übergegangen ist, dämpft sich selbst durch die Abgabe einer Infrarotstrahlung, die nur die Temperatur der Lampe erhöht und nicht zur Excimer-Lichtemission beiträgt.

**[0014]** Das bedeutet, die Entladung muss so betrieben werden, dass die Erregung von Entladungsplasma auf Energielevel unterdrückt wird, die nicht zur Ausbildung von Excimer-Molekülen beitragen. Dieser Punkt lässt sich mit herkömmlichen Lichtquellenvorrichtungen von dielektrischen Barrierenentladungslampen nicht befriedigend lösen.

**[0015]** Der JPO Kokai Patentbericht H1-243363 ist ein Vorschlag zur Schaffung einer Excimerlichtemission mit hoher Effizienz mittels aller Impulsentladungen, einschließlich dielektrischer Barrierenentladungen. Dies folgt auf die oben festgestellte Bedingung, dass nach dem Beginn einer Entladung die Energie der anschließenden Entladung so weit wie möglich reduziert wird. In diesem Vorschlag wird indessen beschrieben, welche Parameter kontrolliert werden müssen, um die Effizienz der Excimer-Lichtemission zu erhöhen; die wirksamen Bedingungen für diese Parameterwerte werden nicht eigens erwähnt. Insbesondere im Falle dielektrischer Barrierenentladungen besteht wenig Freiraum zur Kontrolle der zu imprägnierenden Spannung und des in den Entladungsplasmaumraum via Dielektrikum einzubringenden Stroms, und es ist extrem schwierig, die optimalen Bedingungen zu entdecken.

**[0016]** Es gibt Vorschläge zur Verbesserung der Effizienz dielektrischer Barrierenentladungslampen, wie beispielsweise der JPO Patentbericht H8-508363 (US Patent 5,604,410). Indessen wird in diesen Berichten nicht über spezifische Punkte berichtet, die für das Erreichen der Kontrolle über die Anregung von Entladungsplasma auf Energielevels, die nicht zur Ausbildung von Excimer-Molekülen beitragen, tatsächlich wirksam sind, so dass eine effiziente Bildung von Excimer-Molekülen möglich ist. Es gibt Beschreibungen der Ergebnisse von Experimenten über die Variation der Helligkeit im Verhältnis zur Variation der eingepprägten Spannung im Zusammenhang mit Frequenz und Arbeitszyklus hinsichtlich Kurzimpuls-Arrays und kurzer Wellenformen sowie Erklärungen von Effizienzsteigerungen im Verhältnis zu herkömmlichen Sinusantrieben.

**[0017]** Die aktuellen Stromversorgungen umfassen jedoch Hochspannungstransformatoren und sind nicht geeignet, ideale Kurzimpuls-Arrays und Kurzwellenformen zu imprägnieren; aufgrund des Zusammenwirkens der Ausgangsimpedanz der Stromversorgung und der Impedanz der Lampe, fehlt es der Wellenform an Präzision, und partielle Resonanzen lösen die Imprägnierung einer Sinusspannung aus.

**[0018]** Im Fall von Abweichungen von den idealen Kurzwellenformen in solchen aktuellen Stromversorgungen ist es unmöglich, auf wirtschaftliche Art und Weise eine praktikable Lichtquellenvorrichtung zu konstruieren oder herzustellen, es sei denn, es ist bekannt, welches Maß an Abweichungen zulässig ist.

**[0019]** Diese Erfindung wurde im Lichte der beschriebenen Situation getätigt; ihr Ziel besteht darin, eine Lichtquellenvorrichtung für eine dielektrische Barrierenentladungslampe zu schaffen, die auf effiziente Weise Excimer-Moleküle produzieren und als Vakuum-UV-Lichtquelle betrieben werden kann.

**[0020]** Im Sinne einer effizienten Ausbildung von Excimer-Molekülen, worin die Aufgabe der Erfindung dieser Anmeldung besteht, wird die Anregung des Entladungsplasmas auf Energie-Levels kontrolliert, die nicht zur Ausbildung von Excimer-Molekülen beitragen. Zu diesem Zweck sollte die Entladung, nachdem die in die Lampe eingeprägte Spannung mit einer beschränkten Anstiegsrate gestiegen ist, die Spannung zum Beginn der Entladung erreicht hat und die Entladung begonnen hat, so rasch wie möglich gestoppt werden.

**[0021]** Die Betätigung des elektrischen Schaltkreises der dielektrischen Barrierenentladungslampe **1** wird anhand der [Fig. 19\(b\)](#) veranschaulicht. Wie in [Fig. 19\(b\)](#) dargestellt, wird der Entladungsweg des Entladungsplasmaraums **2** in Serie mit einem Widerstand **10** und einem Schalter **11** fortgesetzt. Die dielektrische Barrierenentladungslampe **1** hat Dielektrika **5, 6** zwischen den Elektroden **3, 4** und dem Entladungsplasmaraum **2**, und sie funktioniert im elektrischen Schaltkreis als Kondensator. Für den Fall, dass zwei Stück Dielektrikum vorhanden sind, können die beiden Kondensatoren jedoch als Einzelkondensator **13** betrachtet werden.

**[0022]** Da die Struktur diesen Kondensator in Serie mit dem Entladungsplasmaraum **2** geschaltet vorsieht, fließt der Entladungsstrom durch die dielektrische Barrierenentladungslampe **1** nur für einen Zeitraum unmittelbar nach der Änderung der Polarität der in die Lampe eingepprägten Spannung, und eine Nicht-Entladungsperiode findet natürlicherweise statt, auch ohne Spannung in die Lampe einzuprägen, als Impulsspannung, die eine Ruheperiode mit im wesentlichen Nullspannung aufweist.

**[0023]** Überdies kommt es zu einer Entladung erst dann, wenn die Spannung des Entladungsplasmaraums **2** die Spannung für den Beginn der Entladung erreicht.

**[0024]** Der Entladungsplasmaraum **2** bildet selbst einen Kondensator **12**, und wenn die Entladung beginnt, wird beinahe die gesamte in diesem Kondensator gespeicherte Energie verbraucht; nachdem die Entladung begonnen hat, besteht folglich keine Notwendigkeit, von der Stromversorgung zusätzlichen Strom zur dielektrischen Barrierenentladungslampe **1** zuzuführen.

**[0025]** Als nächstes wird die Einheitsfläche der Lampenwandoberfläche behandelt.

**[0026]** Die Spannung für den Beginn der Entladung wird beinahe automatisch entschieden, wenn der Gasdruck und die Entladungsstrecke festgelegt werden. Und da das Ausmaß der Entladungsstrecke die feste Kapazität **C1** des vom Entladungsplasmaraum erzeugten Kondensators **12** bestimmt, ist die Mindestenergie, die zwischen dem Beginn und dem Abschluss einer einzelnen Entladung in das Plasma geführt werden kann, die Energie einer vollen Entladung der Ladung, die in dem vom Entladungsplasmaraum ausgebildeten Kondensator **12** gespeichert ist. Das bestimmt die Struktur der Lampe.

**[0027]** Wie bereits oben festgehalten, wird im Sinne einer effizienten Ausbildung von Excimer-Molekülen die Anregung des Entladungsplasmas auf Energielevels, die nicht zur Ausbildung von Excimer-Molekülen beitragen, kontrolliert. Diese Kontrolle wird am besten über die Bedingungen für die Entladung dieser Minimalenergie erreicht.

**[0028]** Indessen können die Bedingungen für die Entladung dieser Minimalenergie auf ideale Weise durch ein sehr langsames Anheben der in die Lampe eingepprägten Spannung und deren nachfolgendes Entladen unter Anwendung einer Stromversorgung mit einer ziemlich großen Ausgangsimpedanz realisiert werden.

**[0029]** Es gibt indessen Probleme mit der Anwendung einer solchen Stromversorgung in einer aktuellen Lichtquelle.

**[0030]** Das erste Problem besteht darin, dass bei einer großen Ausgangsimpedanz nicht die Möglichkeit besteht, schnell genug zu operieren, um schnell genug in zyklischen Wiederholungen zu entladen.

**[0031]** Das zweite Problem besteht darin, dass unter Bedingungen für die Entladung der Minimalenergie wegen mangelnder Positions-Gleichmäßigkeit der Entladungsstrecke in der Lampe ein Mangel an Gleichmäßigkeit der Entladung in einer einzelnen Lampe besteht.

**[0032]** Bei Verwendung einer Stromversorgung, die die kleine Ausgangsimpedanz aufweist, die das erforderliche Lichtvolumen erzeugen kann, muss folglich die in die Lampe eingepprägte Spannung über die Minimalenergiebedingungen für die Entladung hinaus angehoben werden, wenn eine praktikable Lichtquelle bereitge-

stellt werden soll, die über die gesamte Oberfläche der dielektrischen Barrierenentladungslampe gleichmäßige Entladungen produziert. Das Ausmaß, in dem die in die Lampe eingeprägte Spannung angehoben wird, sollte jedoch unterhalb des Bereichs gehalten werden, der einen Rückgang der Effizienz der Excimer-Lichtemission zulassen würde.

**[0033]** Der Spitzenwert der in die Lampe eingeprägte Spannung muss also auf dem niedrigsten Wert basieren, zu dem der Mangel an Entladungsgleichmäßigkeit praktisch ignoriert werden kann, und sollte namentlich auf dem Zweifachen dieses niedrigsten Werts gehalten werden, vorzugsweise 1,5 mal dieses niedrigsten Werts. Oder um ihn auf dem niedrigsten Wert zur Erhaltung der Entladung zu basieren, sollte er auf dem 3-Fachen, vorzugsweise auf dem 2,5-Fachen dieses niedrigsten Werts gehalten werden. Wenn nun die Lampenenergie angehoben wird, geschieht dies nicht durch Anheben der in die Lampe eingeprägte Spannung, sondern durch Anheben der Antriebsfrequenz der Lampen-Stromversorgung. Da jedesmal wenn die in die Lampe eingeprägte Spannung umgekehrt wird, ein festes Lampenstromvolumen fließt, ist die Lampenenergie proportional zur Antriebsfrequenz. Durch Erhöhung dieser Antriebsfrequenz ist es deshalb möglich, die Lampenenergie zu erhöhen, ohne die nachteiligen Auswirkungen hinnehmen zu müssen, die mit einem Anstieg der in die Lampe eingeprägte Spannung einher gehen würden.

**[0034]** Die Grundstruktur der Lichtquellenvorrichtung der dielektrischen Barrierenentladungslampe ist in [Fig. 1](#) dargestellt. In dieser Figur steht **1** für die oben beschriebene dielektrische Barrierenentladungslampe, und **8** für die Stromversorgung. Die Stromversorgung **8** umfasst eine Hochfrequenz-Wechselstromversorgung **9** vom Brücken-, Gegentakt- oder Rücklauf-Typ und einen Aufwärtstransformator Tr.

**[0035]** Typische Wellenformen für die in die Lampe eingeprägte Spannung  $E(t)$ , die Entladungsstrecken-Spannung (d. h. die Spannung des Entladungsplasmaraums)  $V_1(t)$ , den Lampenstrom  $I_s(t)$  und den Entladungsstrom  $I_d(t)$  einer praktischen Stromversorgung sind in [Fig. 2](#) dargestellt (die Figur zeigt Wellenformen, die von einer Computersimulation stammen, die den Schaltkreis und die Lampe auf Basis einer Vollbrücken-Stromversorgung modelliert, sie wären aber mit einer Halbbrücken- oder einer Gegentakt-Stromversorgung im Grunde gleich).

**[0036]** Hinsichtlich des Entladungsstroms  $I_d(t)$  ist es der Strom in der Lampe, der durch den Widerstand in [Fig. 19\(b\)](#) fließt, weshalb die Wellenform nicht direkt gemessen werden kann, doch wenn es möglich ist, die Wellenformdaten für die in die Lampe eingeprägte Spannung  $E(t)$  und den Lampenstrom  $I_s(t)$  zu messen, lässt sich aus der festen Kapazität  $C_1$  des Kondensators **12**, der den in [Fig. 19\(b\)](#) dargestellten Entladungsplasmaraum bildet, die feste Kapazität  $C_2$  des Kondensators **13** messen, der die Dielektrika **5, 6** ist, und die veränderbare feste Kapazität  $C_3$ , die parallel zu der dielektrischen Barrierenentladungslampe existiert.

**[0037]** Das heißt, die feste Kapazität  $C_1$  des Kondensators **12**, die der Entladungsplasmaraum ist, die feste Kapazität  $C_2$  des Kondensators **13**, die die Dielektrika **5, 6** ist, und die veränderbare feste Kapazität  $C_3$ , die parallel zur dielektrischen Barrierenentladungslampe besteht, bestimmen die zwei Relationen  $F = 1 + C_1/C_2$  und  $C_v = C_1 + C_3 \cdot F$ . Damit kann der Entladungsstrom  $I_d(t)$  aus der nachstehenden Formel (1) ermittelt werden.

$$I_d(t) = F \cdot I_s(t) - C_v \cdot dE(t)/dt \quad (1)$$

**[0038]** Da sich dieses Verfahren einer numerischen Differenzierung bedient, ist die Präzision in Bereichen nicht so gut, wo die Stromwerte der als Ergebnis gewonnenen Wellenform klein sind, es zeigt indessen den raschen Anstieg an, wenn die Entladung beginnt; es besteht also kein Problem, solange es zu diesem Zweck verwendet wird.

**[0039]** In [Fig. 2](#), wenn die in die Lampe eingeprägte Spannung  $E(t)$  plötzlich die Polarität ändert, vollzieht auch die Entladungsstrecken-Spannung  $V_1(t)$  eine rasche Änderung, und wenn sie die Spannung für den Beginn der Entladung am Punkt G1 erreicht, beginnt die Entladung. Wenn die Entladung beginnt, erscheint rasch die Entladungsstrom-Wellenform  $J_1$  (vgl. die Entladungsstrom- $I_d(t)$ -Wellenform in [Fig. 2](#)), und als Ergebnis kommt es zu einem plötzlichen Abfall der Entladungsstrecken-Spannung  $V_1(t)$ . Als Reaktion auf diesen plötzlichen Abfall der Entladungsstrecken-Spannung  $V_1(t)$  (also der Spannung im Entladungsplasmaraum) fällt auch die in die Lampe eingeprägte Spannung  $E(t)$ , wodurch der Knick am Punkt K entsteht.

**[0040]** Der Punkt auf der Wellenform der in die Lampe eingeprägte Spannung, der dem Punkt J2 entspricht, wo der Entladungsstrom aufhört, ist der Punkt P1 mit dem größten absoluten Wert, oder gerade eben über diesem. Bei der Evaluierung der aktuellen Lichtquellenvorrichtung kann dieser Punkt als am Punkt P1 mit dem größten absoluten Wert lokalisiert angenommen werden.

**[0041]** Die Änderung der Wellenform der in die Lampe eingepprägten Spannung wird  $C2/(C1 + C2)$  Mal reduziert, und die Wellenform der Entladungsstrecken-Spannung  $V1(t)$  wird effektiv ausgedrückt.

**[0042]** Für unsere Zwecke sind  $C1$  und  $C2$  die feste Kapazität  $C1$  des Kondensators **12**, der der Entladungsplasmaraum ist, und die feste Kapazität  $C2$  des Kondensators **13**, der die Dielektrika **5, 6** ist, wie oben beschrieben. Im Fall einer dielektrischen Barrierenentladungslampe, die die Dielektrika **5, 6** für beide Elektroden **3, 4** hat, kann  $C2$  als unabhängige feste Kapazität jedes Dielektrikums in Serie vorgestellt werden.

**[0043]** In einer praktischen Stromversorgung weist die in die Lampe eingepprägte Spannung am Punkt K aus folgendem Grund einen Knick auf. Als Reaktion auf den plötzlichen Abfall der oben beschriebenen Entladungsstrecken-Spannung  $V1(t)$  (die die Spannung des Entladungsplasmaraums ist), fällt auch die in die Lampe  $E(t)$  eingepprägte Spannung. Die Stromversorgung **8** versucht einen Ausgleich für den Abfall der in die Lampe eingepprägten Spannung, doch wird wegen der Anwesenheit einer induktiven Ausgangsimpedanz, die von der magnetischen Streuung des Aufwärtstransformators ausgelöst wird, oder der Induktion des Kabels der Ausgleich für den Abfall in der in die Lampe eingepprägten Spannung verzögert, und als Folge davon wird der Knick in Richtung des größten absoluten Werts am Punkt K produziert. Wegen der Resonanz zwischen dieser induktiven Ausgangsimpedanz und der festen Kapazität der dielektrischen Barrierenentladungslampe **1** wird anschließend an den Knick beim Punkt K eine Schwingungskomponente in die in die Lampe eingepprägte Spannung eingebracht. Als Folge davon werden die Punkte mit dem größten absoluten Wert und dem geringsten absoluten Wert auf der Wellenform der in die Lampe eingepprägten Spannung produziert.

**[0044]** Die Schwingung, die auf den Knick am Punkt K folgt, wird als Nachschwingen bezeichnet, ihre Frequenz ist die Nachschwingfrequenz  $Fr$ . Die Periode vom Beginn der Entladung am Punkt K bis zum Spitzenwert der in die Lampe eingepprägten Spannung  $E(t)$  wird mit  $\tau$  bezeichnet, und die Periode vom Spitzenwert  $P1$ , der nach dem Knick am Punkt K erscheint, bis zur nächsten Spitze  $P2$  ist  $T12$ .

**[0045]** Diese Erfindung konzentriert sich auf die Variation der Wellenform der in die Lampe eingepprägten Spannung nach dem Knick am Punkt K und versucht, wirksam Energie in die dielektrische Barrierenentladungslampe zu injizieren, ohne die Effizienz der Ultraviolettstrahlung zu senken.

**[0046]** Das heißt, Excimer-Moleküle werden durch die Entladung produziert, die mit dem oben beschriebenen plötzlichen Anstieg oder Abfall der Wellenform der in die Lampe eingepprägten Spannung  $E(t)$  stattfindet, und die Excimer-Moleküle werden zerlegt, wenn zusätzlicher Entladungsstrom in der Periode, bevor die Excimer-Moleküle zerfallen und Ultraviolettstrahlung produzieren, hinzugefügt wird. Es ist deshalb aus der Perspektive einer effizienten Produktion der Ultraviolettstrahlung wünschenswert, den Entladungsstrom schnell zu unterbrechen.

**[0047]** Dennoch geht der Entladungsstrom vom Beginn der Entladung am Knick am Punkt K weiter zur ersten Spitze der in die Lampe eingepprägten Spannung  $E(t)$ . Wenn folglich vom Beginn der Entladung bis zur Spitze der in die Lampe eingepprägten Spannung eine lange Periode  $\tau$  gegeben ist, ist die Effizienz der Ultraviolettstrahlung reduziert.

**[0048]** In dem Zustand, in dem es nach dem Knick am Punkt K zu einer Nachschwingung kommt, wird der Entladungsstrom fortgesetzt, bis die Spitze erreicht ist. Wenn also die Nachschwingfrequenz klein ist, dauert es länger, bis der Entladungsstrom aufhört, und die Effizienz der Ultraviolettstrahlung wird reduziert.

**[0049]** Mit anderen Worten, eine dielektrische Barrierenentladungslampe kann zur Entladung gebracht werden, ohne die Effizienz der UV-Lichtemission zu reduzieren, indem die Periode  $\tau$  vom Beginn der Entladung bis zur ersten Spitze der in die Lampe eingepprägten Spannung verkürzt wird, oder indem die Nachschwingfrequenz  $Fr$  erhöht wird.

**[0050]** In diesem Fall werden die Periode  $\tau$  vom Beginn der Entladung zur ersten Spitze der in die Lampe eingepprägten Spannung und die Nachschwingfrequenz  $Fr$  im allgemeinen von der Impedanz  $L$  und der festen Kapazität  $C$  des Stromkreises bestimmt, der die Stromversorgung **8** und die dielektrische Barrierenentladungslampe **1** umfasst. Indem diese Werte verkleinert werden, kann die Zeit  $\tau$  verkürzt und die Nachschwingfrequenz erhöht werden.

**[0051]** In diesem Fall hört die Entladung auf, wenn die erste Spitze  $P1$  passiert wird (der Schalter in [Fig. 19\(b\)](#) ist zu diesem Zeitpunkt geöffnet); wenn also die erste Spitze  $P1$  passiert ist, schwingt die Wellenform der in die Lampe  $E(t)$  eingepprägten Spannung mit einer Frequenz auf und ab, die von den festen und veränderbaren Ka-

pazitäten der Kondensatoren **12**, **13** und der in [Fig. 19\(b\)](#) dargestellten Schaltungsinduktanz L bestimmt wird.

**[0052]** Da die Entladung unmittelbar nach Passieren der ersten Spitze P1 abgeschlossen ist, entspricht die Periode T12 von der ersten Spitze P1 zur zweiten Spitze P2 der Periode der Schwingungsfrequenz, die von den festen und veränderbaren Kapazitäten der Kondensatoren **12**, **13** und der Schaltungsinduktanz L bestimmt wird.

**[0053]** Allgemein ist es möglich, die Resonanzfrequenz eines LC Resonanzkreises mit der folgenden Formel zu berechnen:

$$LC = 1/(2\pi f)^2$$

**[0054]** Bei gegebener Induktanz L und statischer Kapazität C des oben bezeichneten Schaltkreises wird die Nachschwingfrequenz Fr folglich ungefähr bestimmt durch  $1/\{2\pi \times \sqrt{LC}\}$ , und der Wert der festen Kapazität C ist von der festen Kapazität der dielektrischen Barrierenentladungslampe **1** abhängig; um also die Nachschwingfrequenz Fr zu erhöhen (die Periode  $\tau$  zu verkürzen) wird am besten der Wert der Induktanz L reduziert. Es ist insbesondere möglich, die Nachschwingfrequenz Fr durch Reduzierung der Kopplungsinduktanz des Aufwärtstransformators Tr zu steigern.

**[0055]** Auf der Grundlage des oben dargestellten Konzepts untersuchten die Erfinder das Verhältnis zwischen der Periode  $\tau$  und der Effizienz der UV-Lichtemission während der Periode T12 von der Spitze P1 zur Spitze P2.

**[0056]** Als Ergebnis hat sich herausgestellt, dass es – wie in [Fig. 8](#), [Fig. 9](#) und [Fig. 10](#) dargestellt – möglich ist, eine dielektrische Barrierenentladungslampe zu entladen, ohne die Effizienz der UV-Lichtemission zu reduzieren, wenn die Periode  $\tau \leq 2,1 \mu\text{s}$ , die Periode T12  $\leq 3 \mu\text{s}$  oder die Nachschwingfrequenz Fr  $\geq 300 \text{ kHz}$ .

**[0057]** In diesem Fall wird die Nachschwingfrequenz Fr grob bestimmt durch  $1/\{2\pi \times \sqrt{LC}\}$ , weshalb es am besten ist, wenn  $LC \leq 2,8 \times 10^{-13}$ , wobei die Einheit von C F (Farad) ist, und die Einheit von L H (Henry).

**[0058]** Da der oben festgestellte Wert von LC grob durch die feste Kapazität der Lampe **1** und die Induktanz des Transformators Tr bestimmt ist, sollte die Induktanz des Transformators Tr so ausgewählt sein, dass der Wert von LC die oben mit Bezug auf die feste Kapazität der Lampe **1** festgestellte Bedingung erfüllt.

**[0059]** Der Messwert der festen Kapazität C kann von Werten wie der Induktanz bei eingeschalteter Lampe gewonnen werden. Der Messwert von L sollte durch Messen der Induktanz auf der Sekundärseite des Transformators Tr mit einem Impedanzmessgerät ermittelt werden, während der Zustand auf der Primärseite auf Basis des Zustands unmittelbar nach Abschluss der Entladung beim Einschalten der Lampe wiederhergestellt wird.

**[0060]** Bei Verwendung beispielsweise einer Vollbrücken- oder Halbbrücken-Hochfrequenz-Wechselstromversorgung, kann die Induktanz auf der Sekundärseite des Transformators gemessen werden, während die Primärseite kurzgeschlossen wird. Im Fall einer Gegentakt-Stromversorgung kann die Induktanz auf der Sekundärseite des Transformators durch Kurzschließen der Mitte der Primärseite mit einem Ende gemessen werden, wobei das andere Ende offen bleibt. Und im Fall einer Rücklauf-Stromversorgung kann die Induktanz auf der Sekundärseite des Transformators Tr mit offener Primärseite gemessen werden.

**[0061]** Je nach der verwendeten Stromversorgung **8** wird der oben erwähnte Knick am Punkt K nicht eindeutig in der Wellenform der in die Lampe eingepprägten Spannung erscheinen. Die Abwesenheit eines klaren Knicks in der Wellenform der in die Lampe eingepprägten Spannung ist besonders häufig im Fall einer Rücklauf-Stromversorgung. In diesem Fall kann die Wellenform des Entladungsstrom Id(t) berechnet und der steilste Teil ihres Anstiegs als Knick genommen werden.

**[0062]** Der in den Ansprüchen 1 bis 3 dieser Erfindung beschriebene Aspekt ist einer, der auf der Grundlage der voranstehenden Feststellungen die praktischen Bedingungen für die Entladung in einer dielektrischen Barrierenentladungslampe mit guter Effizienz definiert. Durch Erfüllung einer der nachstehenden Bedingungen ist es möglich, eine effiziente Entladung einer dielektrischen Barrierenentladungslampe zu schaffen.

(1) Wenn L die Induktanz und C die feste Kapazität des Schaltkreises ist, der die Stromversorgungsanlage und die dielektrische Barrierenentladungslampe umfasst, werden die Induktanz L und die feste Kapazität C so gewählt, dass sie folgender Formel entsprechen:

$$LC \leq 2,8 \times 10^{-13}$$

(2) Nach Passieren des Zeitpunkts, zu dem der Spannungswert zum Starten einer dielektrischen Barrierenentladung erreicht ist, wird Spannung in die dielektrische Barrierenentladungslampe mit einer Nachschwingung eingepreßt, die eine Periode von nicht mehr als 3  $\mu$ s aufweist.

(3) Spannung wird in die dielektrische Barrierenentladungslampe für eine Periode von nicht mehr als 2,1  $\mu$ s von dem Spannungswert, bei dem die dielektrische Barrierenentladung beginnt, bis zum Maximalspannungswert in der nächsten Runde der Nachschwingung der Spannungseinprägung eingepreßt.

#### Kurze Erklärung der Zeichnungen

[0063] [Fig. 1](#) ist ein Diagramm, das die Grundstruktur einer dielektrischen Barrierenentladungslampen-Lichtquelle darstellt.

[0064] [Fig. 2](#) stellt typische Wellenformen in einer aktuellen Stromversorgung für eingepreßte Lampenspannung  $E(t)$ , Entladungsstreckenspannung  $V1(t)$ , Strom  $I_s(t)$  und Entladungsstrom  $I_d(t)$  dar.

[0065] [Fig. 3](#) ist ein Schaltplan, der ein Beispiel eines (Vollbrücken-)Beleuchtungsschaltkreises für die dielektrische Barrierenentladungslampe einer Implementierung dieser Erfindung darstellt.

[0066] [Fig. 4](#) zeigt Wellenformen zur Erklärung des Betriebs des Beleuchtungsschaltkreises in [Fig. 3](#).

[0067] [Fig. 5](#) zeigt Messdaten für die Wellenform  $E(t)$  der eingepreßten Spannung und die Stromwellenform  $I(t)$  im Beleuchtungsschaltkreis in [Fig. 3](#).

[0068] [Fig. 6](#) ist eine vergrößerte Darstellung von Messdaten für die Wellenform  $E(t)$  der eingepreßten Spannung und die Stromwellenform  $I(t)$  im Beleuchtungsschaltkreis in [Fig. 3](#).

[0069] [Fig. 7](#) ist eine vergrößerte Darstellung des Y2 Abschnitts der [Fig. 6](#) unter Hinzufügung einer berechneten Entladungsstrom-Wellenform  $I_d(t)$ .

[0070] [Fig. 8](#) ist ein Diagramm des Verhältnisses zwischen der Zeit  $\tau$  und der Lichtemissionseffizienz  $\eta$ .

[0071] [Fig. 9](#) ist ein Diagramm des Verhältnisses zwischen der Zeit  $T_{12}$  und der Lichtemissionseffizienz  $\eta$ .

[0072] [Fig. 10](#) ist ein Diagramm des Verhältnisses zwischen der Nachschwingfrequenz  $F_r$  und der Lichtemissionsfrequenz  $\eta$ .

[0073] [Fig. 11](#) zeigt die Wellenform  $E(t)$  der eingepreßten Spannung und die Stromwellenform  $I(t)$  im Beleuchtungsschaltkreis in [Fig. 3](#), wenn die Nachschwingspannung auf 250 kHz gesenkt wird.

[0074] [Fig. 12](#) ist ein Diagramm der Beleuchtungswellenform einer anderen Lampe.

[0075] [Fig. 13](#) ist eine vergrößerte Darstellung des Z Abschnitts der [Fig. 12](#) unter Hinzufügung einer berechneten Entladungsstrom-Wellenform  $I_d(t)$ .

[0076] [Fig. 14](#) ist ein Schaltplan, der die Struktur eines anderen Beleuchtungsschaltkreises (Gegentakt) darstellt.

[0077] [Fig. 15](#) ist ein Wellenformdiagramm zur Erklärung des Betriebs des Beleuchtungsschaltkreises in [Fig. 14](#).

[0078] [Fig. 16](#) ist ein Schaltplan, der die Struktur eines Rücklauf-Beleuchtungsschaltkreises darstellt.

[0079] [Fig. 17](#) zeigt Messdaten für die Wellenform  $E(t)$  der eingepreßten Spannung und die Stromwellenform  $I(t)$  in einem Rücklauf-Beleuchtungsschaltkreis.

[0080] [Fig. 18](#) ist ein Wellenform-Diagramm, das unterschiedliche Werte darstellt, wenn ein Rücklauf-Beleuchtungsschaltkreis verwendet wird.

**[0081]** Fig. 19 ist ein Diagramm einer dielektrischen Barrierenentladungslampe mit zwei dielektrischen Teilen und eines Äquivalenz-Schaltkreises zur Illustration des elektrischen Betriebs.

#### Optimale Wirkung der Implementierung der Erfindung

**[0082]** Nachstehend wird der Implementierungsmodus dieser Erfindung erklärt.

**[0083]** Fig. 3 ist ein Schaltplan, in dem ein Beispiel eines Beleuchtungsschaltkreises für die dielektrische Barrierenentladungslampe einer Implementierung dieser Erfindung dargestellt ist; die Figur zeigt einen Beleuchtungsschaltkreis einer dielektrischen Barrierenentladungslampe, der einen Vollbrücken-Wechselrichter-Schaltkreis benützt. In der Figur ist  $L_p$  die Primärspule des Aufwärtstransformators  $Tr$  und  $D1$  bis  $D4$  sind Dioden.

**[0084]** Fig. 4 ist ein Diagramm, das die Wellenformen darstellt, um den Betrieb des Beleuchtungsschaltkreises zu erklären; es handelt sich um eine modellhafte Darstellung der Wellenformen in einem Fall, in dem keine primäre oder sekundäre Streuinduktivität im Transformator vorhanden ist und die kapazitive Last ohne das Entladungsphänomen fortbesteht. In der Zeichnung sind  $Q1$  bis  $Q4$  Schaltelemente (z. B. FETs),  $G1$  bis  $G4$  sind die Torsignale der Schaltelemente  $Q1$  bis  $Q4$ ,  $V_p$  ist die Primärspannung des Aufwärtstransformators  $Tr$  (im weiteren "Transformator  $Tr$ "), und  $V_s$  ist die Spannung auf der Sekundärseite des Transformators  $Tr$ .

**[0085]** Der Betrieb des Beleuchtungsschaltkreises in Fig. 3 wird in der Fig. 4 erklärt.

(a) Wenn das erste Torsignal  $G1$  und das vierte Torsignal  $G4$  eingeschaltet werden (ON), machen die Steuerschaltungen  $GD1$ ,  $GD4$  das erste Schaltelement  $Q1$  und das vierte Schaltelement  $Q4$  leitend (Punkt (1) in der Zeichnung); eine Gleichstromspannung von der Gleichstromversorgung  $DC$  wird in die Primärseite des Transformators  $Tr$  eingeprägt (Punkt (2) in der Zeichnung); und Spannung wird auf der Sekundärseite des Transformators  $Tr$  produziert, und die Spannung wird in die dielektrische Barrierenentladungslampe 1 eingeprägt (Punkt (3) in der Zeichnung).

(b) Wenn das erste Torsignal  $G1$  und das vierte Torsignal  $G4$  ausgeschaltet werden (OFF) (Punkt (4) in der Zeichnung), werden das erste Schaltelement  $Q1$  und das vierte Schaltelement  $Q4$  geöffnet; die Spannung  $V_p$  auf der Primärseite des Transformators  $Tr$  und die Spannung  $V_s$  auf der Sekundärseite des Transformators beginnen mit einem instabilen Wechsel in einer Geschwindigkeit im Verhältnis zur Resonanzfrequenz, die von der Streuinduktivität des Transformators  $Tr$  und der festen Kapazität der Sekundärseite des Transformators  $Tr$  bestimmt wird (Punkte (5), (6) in der Zeichnung).

(c) Wenn das zweite Torsignal  $G2$  und das dritte Torsignal  $G3$  eingeschaltet sind, machen die Steuerschaltungen  $GD2$ ,  $GD3$  das zweite Schaltelement  $Q2$  und das dritte Schaltelement  $Q3$  leitend (Punkt (7) in der Zeichnung); eine Gleichstromspannung, die zu der in (a) oben umgekehrt ist, wird in die Primärseite des Transformators  $Tr$  eingeprägt; und eine Spannung, die zu der in (a) oben umgekehrt ist, wird auf der Sekundärseite des Transformators  $Tr$  produziert, und die umgekehrte Spannung wird in die dielektrische Barrierenentladungslampe 1 eingeprägt (Punkt (9) in der Zeichnung).

(d) Wenn das zweite Torsignal  $G2$  und das dritte Torsignal  $G3$  ausgeschaltet sind (OFF) (Punkt (10) in der Zeichnung), werden das zweite Schaltelement  $Q2$  und das dritte Schaltelement  $Q3$  geöffnet; die Spannung  $V_p$  auf der Primärseite des Transformators  $Tr$  und die Spannung  $V_s$  auf der Sekundärseite des Transformators beginnen mit einem instabilen Wechsel in einer Geschwindigkeit, die auf die Resonanzfrequenz bezogen ist, die von der Streuinduktivität des Transformators  $Tr$  und der festen Kapazität auf der Sekundärseite des Transformators  $Tr$  abhängig ist. (Punkte (11), (12) in der Zeichnung).

(e) Die Operationen (a) bis (d) werden im Anschluss daran wiederholt.

**[0086]** Fig. 5 und Fig. 6 sind Messdaten für die Wellenformen der in die Lampe eingeprägten Spannung  $E(t)$  und des Stroms  $I(t)$  im oben beschriebenen Schaltkreis. Fig. 6 ist eine vergrößerte Darstellung des Abschnitts  $Y1$  der Fig. 5; die Wellenformen wurden unter den nachstehend aufgeführten Bedingungen gemessen. Es handelt sich dabei um die Bedingungen, die den Beleuchtungsschaltkreis der Fig. 3 am effizientesten beleuchten.

Frequenz:

Transformator Tr	
Primärinduktivität:	1,42 mH
Sekundärinduktivität:	204 mH
Kopplungsimpedanz:	0,99955
Dielektrische Barrierenentladungslampe	
Dielektrikum:	Quarzglas 1 mm dick
Entladungsgas:	Xenon bei 33 kPa
Entladungsstrecke:	4,3 mm
Feste Nicht-Entladungskapazität der Lampe:	84 pF

[0087] [Fig. 7](#) stellt als Ergebnis einer analytischen Berechnung die Wellenform des Entladungsstroms  $I_d(t)$  dar, daneben die Wellenformen der in die Lampe eingepprägten Spannung  $E(t)$  und des in [Fig. 5](#) und [Fig. 6](#) dargestellten Strom  $I(t)$ . Es ist eine erweiterte Darstellung des Abschnitts Y2 der [Fig. 6](#). Folgende Bedingungen werden für die analytische Berechnung verwendet:

Feste Kapazität C1 des Entladungsplasmaraums	97,2 pF
Feste Kapazität C2 des Dielektrikums	607 pF
Veränderbare Kapazität C3	70 pF

[0088] Der Knick am Punkt K ist in [Fig. 7](#) eindeutig ausgedrückt, und da die Wellenform des Entladungsstroms  $I_d(t)$  an diesem Punkt Td scharf ansteigt, ist bekannt, dass der Knickpunkt K der Beginn der Entladung ist. Die Zeitperiode vom Knick am Punkt K zur ersten darauf folgenden Spitze P1 ist  $\tau$ , und die Zeitperiode von der ersten Spitze P1 zur zweiten Spitze P2 ist T12. Anschließend an die erste Spitze P1 ist eine Schwingung der in die Lampe eingepprägten Spannung  $E(t)$ .

[0089] Im Beleuchtungsschaltkreis der [Fig. 3](#) wird die Beleuchtungseffizienz durch Hinzufügen der Induktanz zur Sekundärseite des Transformators Tr zur Anpassung der Nachschwingfrequenz (Zeitperiode  $\tau$  oder Zeitperiode T12) festgestellt.

[0090] [Fig. 8](#), [Fig. 9](#) und [Fig. 10](#) zeigen das Verhältnis zwischen der wie oben beschrieben ermittelten Beleuchtungseffizienz  $\eta$  und der Zeitperiode  $\tau$ , der Zeitperiode T12 und der Nachschwingfrequenz Fr. [Fig. 11](#) zeigt die Wellenformen der in die Lampe eingepprägten Spannung  $E(t)$  und des Entladungsstroms  $I(t)$ , wenn die Nachschwingfrequenz Fr auf 250 Hz reduziert ist.

[0091] Wie aus [Fig. 8](#), [Fig. 9](#) und [Fig. 10](#) deutlich wird, ist es wirksam für die Effizienzsteigerung, wenn die Zeitperiode  $\tau$  nicht mehr als  $2,1 \mu\text{s}$ , die Zeitperiode T12 nicht mehr als  $3 \mu\text{s}$  oder die Nachschwingfrequenz Fr mindestens 300 Hz ist. Jetzt stellen die Kurven a, b und c in [Fig. 8](#), [Fig. 9](#) und [Fig. 10](#) die Effizienz im Falle von Änderungen der in die Lampe eingepprägten Spannung dar. Die in Kurve a ausgedrückte, in die Lampe eingepprägte Spannung ist die eingepprägte Spannung V1, Kurve b ist die eingepprägte Spannung V2 und Kurve c ist die eingepprägte Spannung V3, so dass  $V1 < V2 < V3$ . Die relativen Lichtvolumina sind in diesen Fällen 1 für die Kurve a, 1,33 für die Kurve b und 1,67 für die Kurve c.

[0092] [Fig. 12](#) zeigt Messdaten für die Wellenformen der in die Lampe eingepprägten Spannung  $E(t)$  und den Lampenstrom  $I_s(t)$ . Die Zeichnung zeigt ein Beispiel eines Falls, in dem kein klarer Spannungsknick am Punkt K zur Anzeige des Anfangs der Entladung gegeben ist.

[0093] In einem Fall, in dem kein klarer Knick am Punkt K ist, kann der Punkt, an dem die Entladung beginnt, gefunden werden, indem die Wellenform des Entladungsstroms  $I_d(t)$  aus der Formel (1) oben ermittelt wird und hierzu die feste Kapazität C1 des Kondensators 12, der der Entladungsplasmaraum ist, die feste Kapazität C2 des Kondensators 13, der die Dielektrika 5, 6 ist, und die veränderbare Kapazität C3 der dielektrischen Barrierenentladungslampe parallel verwendet werden.

[0094] [Fig. 13](#) ist eine erweiterte Ansicht des Abschnitts Z der [Fig. 12](#) und zeigt die analytische Berechnung der Wellenform des Entladungsstroms  $I_d(t)$  zusammen mit den Wellenformen der in die Lampe  $E(t)$  eingepprägten Spannung und dem Lampenstrom  $I_s(t)$ . Die experimentellen Bedingungen für diese Zeichnung und für die Analyse der Wellenform des Entladungsstroms  $I_d(t)$  sind wie folgt:

Stromversorgungs-Wechselrichterverfahren:	Gegentakt
Feste Kapazität C1 des Entladungsplasmarums:	8,7 pF
Feste Kapazität C2 des Dielektrikums:	140 pF
Veränderbare Kapazität C3:	10 pF

**[0095]** Die Zeit  $T_d$  in [Fig. 13](#) markiert den raschen Anstieg des Entladungsstroms  $I_d(t)$  und ist als Beginn der Entladung bekannt. Dem entsprechend ist der Punkt auf der Wellenform der in die Lampe eingepprägten Spannung  $E(t)$  in Entsprechung zu dieser  $T_d$  äquivalent zum Knick am Punkt K, und die Zeitperiode  $\tau$  kann durch Messen der Zeit vom Knick am Punkt K zur nächsten Spitze P1 ermittelt werden. In diesem Beispiel sind die erste Spitze P1 und die zweite Spitze P2 klar ausgedrückt, und die Zeitperiode  $T_{12}$  kann von der Wellenform der in die Lampe eingepprägten Spannung  $E(t)$  abgeleitet werden.

**[0096]** [Fig. 14](#) ist ein Diagramm, das ein Beispiel der Struktur zeigt, die einen Gegentakt-Wechselrichterschaltkreis als Beleuchtungsschaltkreis verwendet; [Fig. 15](#) ist ein Diagramm der Wellenformen zur Erklärung der Betätigung dieses Beleuchtungsschaltkreises. [Fig. 15](#) zeigt Modell-Wellenformen für einen Fall, in dem keine Streuinduktivität auf der Primär- oder Sekundärseite des Transformators gegeben ist und keine Entladung stattfindet, so dass die kapazitive Last kontinuierlich ist. In der Zeichnung sind G1 und G2 die Gatesignale der Schaltelemente Q1 und Q2, V1 und V2 sind Spannungen auf der Primärseite des Transformators  $T_r$ , und Vs ist die Spannung auf der Sekundärseite des Transformators  $T_r$ . Der Betrieb des Beleuchtungsschaltkreises der [Fig. 3](#) wird in der [Fig. 4](#) erklärt.

(a) Wenn das erste Gatesignal G1 auf ON geschaltet wird, macht die Steuerschaltung GD1 das erste Schaltelement Q1 leitend (Punkt (1) in der Zeichnung); und eine Gleichspannung von der Gleichspannungs-Stromversorgung DC wird in eine Spule L1 auf der Primärseite des Transformators  $T_r$  eingepragt (Punkt (2) in der Zeichnung). Da die Spule L1 auf der Primärseite des Transformators  $T_r$  und die Spule Ls auf der Sekundärseite des Transformators  $T_r$  entgegengesetzte Ausrichtungen haben, wird in der Spule Ls auf der Sekundärseite des Transformators eine Spannung erzeugt, die der in der Spule L1 auf der Primärseite des Transformators entgegengesetzt ist, und die Spannung wird in die dielektrische Barrierenentladungslampe 1 eingepragt (Punkt (3) in der Zeichnung).

(b) Wenn das erste Gatesignal G1 OFF geschaltet wird, wird das erste Schaltelement Q1 geöffnet; die Spannung V1 der ersten Spule auf der Primärseite des Transformators  $T_r$ , die Spannung V2 der zweiten Spule auf der Primärseite des Transformators  $T_r$  und die Spannung Vs auf der Sekundärseite des Transformators beginnen einen instabilen Wechsel mit einer Geschwindigkeit, die auf die Resonanzfrequenz bezogen ist, welche von der Streuinduktivität des Transformators  $T_r$  und der festen Kapazität der Sekundärseite des Transformators  $T_r$  bestimmt ist (Punkte (5), (6) in der Zeichnung).

(c) Wenn das zweite Gatesignal G2 ON geschaltet wird, wird das zweite Schaltelement Q2 leitend (Punkt (7) in der Zeichnung); und eine Gleichstromspannung von der Gleichstromversorgung DC wird in die zweite Spule L2 auf der Primärseite des Transformators  $T_r$  eingepragt (Punkt (8) in der Zeichnung). Da die Spule L2 auf der Primärseite des Transformators  $T_r$  und die Spule Ls auf der Sekundärseite des Transformators  $T_r$  dieselbe Ausrichtung haben, wird eine Spannung mit der selben Polarität wie die in der Spule L2 auf der Primärseite des Transformators in der Spule Ls auf der Sekundärseite des Transformators erzeugt, und die Spannung wird in die dielektrische Barrierenentladungslampe 1 eingepragt (Punkt (9) in der Zeichnung).

(d) Wenn das zweite Gatesignal G2 ausgeschaltet ist (OFF), wird das zweite Schaltelement Q2 geöffnet (Punkt (10) in der Zeichnung); die Spannung V1 in der ersten Spule auf der Primärseite des Transformators  $T_r$ , die Spannung V2 in der zweiten Spule auf der Primärseite des Transformators  $T_r$  und die Spannung Vs auf der Sekundärseite des Transformators beginnen einen instabilen Wechsel mit einer Geschwindigkeit, die auf die Resonanzfrequenz bezogen ist, welche von der Streuinduktivität des Transformators  $T_r$  und der festen Kapazität der Sekundärseite des Transformators  $T_r$  bestimmt wird (Punkte (11), (12) in der Zeichnung).

(e) Die Operationen (a) bis (d) werden anschließend wiederholt.

**[0097]** Wie aus der voranstehenden Erklärung hervorgeht, ist bei Verwendung eines Gegentakt-Wechselrichterschaltkreises als Beleuchtungsschaltkreis die Wellenform der in die dielektrische Barrierenentladungslampe eingepprägten Spannung beinahe gleich wie bei Verwendung eines Vollbrücken-Wechselrichters. Die Zeitperiode  $\tau$ , die Zeitperiode  $T_{12}$  und die Nachschwingfrequenz  $f_r$  können alle wie oben beschrieben ermittelt werden. Und auch wenn hier nicht illustriert, sind sie gleich wie bei Verwendung eines Halbbrücken-Wechselrichterschaltkreises.

**[0098]** [Fig. 16](#) ist ein Diagramm, in dem ein Beispiel der Struktur unter Verwendung eines Rücklauf-Wechselrichterschaltkreises als Beleuchtungsschaltkreis dargestellt ist; [Fig. 17](#) ist ein Diagramm der Wellenformen zur Erklärung der Operation eines Rücklauf-Wechselrichterschaltkreises als Beleuchtungsschaltkreis.

**[0099]** Wie in [Fig. 17](#) dargestellt, sind bei Verwendung eines Rücklauf-Wechselrichterschaltkreises als Beleuchtungsschaltkreis die Wellenformen der auf die dielektrische Barrierenentladungslampe eingepprägten Spannung  $E(t)$  und des Lampenstroms  $I_s(t)$  wesentlich unterschieden von jenen bei Verwendung eines Vollbrücken-, Halbbrücken- oder Gegentakt-Wechselrichterschaltkreises. Dennoch ist es möglich, die Lampe mit der selben guten Effizienz zu beleuchten, wenn auf die Änderung der Wellenform der in die Lampe eingepprägten Spannung anschließend an den Knick am Punkt K fokussiert wird, auch bei Verwendung eines Rücklauf-Wechselrichterschaltkreises.

**[0100]** Es folgt eine Erklärung des Falles der Beleuchtung einer dielektrischen Barrierenentladungslampe unter Verwendung eines Rücklauf-Wechselrichterschaltkreises als Beleuchtungsschaltkreis.

**[0101]** [Fig. 18](#) ist ein Modelldiagramm, basierend auf der Simulation der Wellenformen in [Fig. 17](#) und der Schaltkreis-Wellenformen. In dieser Zeichnung ist  $E(t)$  die Wellenform der Spannung auf der Sekundärseite des Transformators  $Tr$  in [Fig. 16](#) (die in die dielektrische Barrierenentladungslampe eingepprägte Spannung);  $I_s(t)$  ist die Wellenform des Lampenstroms;  $I_d(t)$  ist die durch analytische Berechnung ermittelte Entladungsstrom-Wellenform;  $V(t)$  ist die Wellenform der Spannung auf dem Schaltelement Q (beispielsweise ein FET);  $I_q(t)$  ist die Wellenform des Stroms durch das Schaltelement Q;  $I_r(t)$  ist die Wellenform des Stroms durch die Diode D1; und  $G(t)$  ist das Gatesignal, das in die Steuerschaltung GD eingegeben wird.

**[0102]** [Fig. 18](#) erklärt die in [Fig. 17](#) dargestellte Operation des Beleuchtungsschaltkreises.

(a) Das Gatesignal  $G(t)$  wird nur für die Periode von  $t_1$  bis  $t_2$  eingeschaltet, während dessen ein beinahe linearer Anstieg des durch das Schaltelement Q strömenden Stroms  $I_q(t)$  stattfindet, der abrupt zum Zeitpunkt  $t_2$  unterbrochen wird. Die im Kern des Transformators  $Tr$  als Reaktion auf den Strom  $I_q(t)$  unmittelbar vor dessen Abschalten gespeicherte magnetische Energie wird ausgedrückt als Spannung auf der Primär- und Sekundärseite des Transformators  $Tr$ , wobei die Spannung in der Sekundärseite des Transformators  $Tr$  proportional zum Wicklungsverhältnis des Transformators  $Tr$  erhöht ist; diese Sekundärspannung wird in die dielektrische Barrierenentladungslampe **1** eingepprägt.

(b) Wenn die Hochspannung in die Lampe **1** eingepprägt ist, entlädt sich die Lampe zum Zeitpunkt  $t_a$ , und ein Knick am Punkt K wird in der Wellenform der eingepprägten Spannung  $E(t)$  erzeugt [sic]. Indessen ist der Knick am Punkt K1 in [Fig. 18](#) nicht klar. Wenn es zu der Entladung kommt, wird die Spannung im Entladungsraum rasch neutralisiert und ist beinahe Null.

(d) Die Resonanzschwingung der in die Lampe eingepprägten Spannung  $E(t)$  findet mit einer Frequenz statt, die grob von der festen Kapazität der Lampe **1** und der Induktanz der Sekundärseite des Transformators  $Tr$  bestimmt wird.

(e) Wenn die in die Lampe eingepprägte Spannung  $E(t)$  eine Tiefspannung erreicht, findet im Entladungsraum eine Hochspannung entgegengesetzter Polarität statt, weil die Spannung im Entladungsraum durch die Entladung zum Zeitpunkt  $t_a$  neutralisiert wurde. Deshalb findet zum Zeitpunkt  $t_b$  eine zweite Entladung statt, die den Knick am Punkt K2 erzeugt. Allerdings ist der Knick am Punkt K2 in [Fig. 18](#) nicht klar.

(f) Da die Resonanzspannung der in die Lampe eingepprägten Spannung  $E(t)$  auf der Primärseite des Transformators  $Tr$  ebenfalls dargestellt ist, ändert sich die Spannung  $V(t)$  des Schaltelements Q so wie in [Fig. 18](#) dargestellt.

(g) Während die Spannung  $V(t)$  positiv ist, findet im wesentlichen kein Stromfluss auf der Primärseite des Transformators  $Tr$  statt.

**[0103]** Jedoch für den Fall, dass eine Diode D1 parallel zum Schaltelement Q geschaltet ist, findet dann, wenn die Spannung  $V(t)$  negativ wird, ein Stromfluss durch die Diode D1 für die Zeitperiode  $T_z$  von  $t_3$  bis  $t_4$  statt. Das kann als schnelle Reduzierung der großen Impedanz auf der Primärseite des Transformators interpretiert werden. Aus diesem Grund ist die freie Resonanzschwingung der in die Lampe eingepprägten Spannung  $E(t)$  blockiert, und als Reaktion darauf kommt es zu einer Zeitperiode  $T_r$ , während der die Spannungsänderung aufhört.

**[0104]** Wie oben, ist im Fall eines Rücklauf-Beleuchtungsschaltkreises die Wellenform der in die Lampe  $E(t)$  eingepprägten Spannung relativ schwer zu verstehen, doch der Anstieg des Entladungsstroms  $I_d(t)$  löst sofortige Entladungen zu den Zeitpunkten  $T_a$  und  $T_b$  aus, und der Knick am Punkt K kann zu diesem Zeitpunkt unterschieden werden.

**[0105]** Mit anderen Worten, auch bei Verwendung eines Rücklauf-Wechselrichterschaltkreises ist es möglich, eine Zeitperiode  $\tau$  vom Knick am Punkt K, der den Beginn der Entladung anzeigt, zur nächsten Spitze zu finden. Und es ist möglich, die Lampe mit guter Effizienz durch die Wahl einer Induktanz für den Transformator  $Tr$  zu beleuchten, so dass die Zeitperiode  $\tau$  2,1  $\mu$ s nicht überschreitet.

**[0106]** Im Fall eines Rücklauf-Beleuchtungsschaltkreises unter Verwendung eines Schaltelements Q mit einer angeschlossenen umgekehrt parallelen Diode (oder welches eine umgekehrt parallele Diode enthält), wie oben beschrieben, kommt es zu einer Periode  $T_s$  zwischen der ersten Spitze P1 und der zweiten Spitze P2, wenn die grundsätzlich unnötige Spannungsänderung aufhört. Aus diesem Grund ist die Periode T12 zwischen der ersten und der zweiten Spitze bedeutungslos, und das Verhältnis ist in [Fig. 9](#) nicht dargestellt.

**[0107]** Für den Fall, dass die Impedanz des Schaltkreises während des Betriebs wechselt, ist so wie oben bei der Anwendung dieser Erfindung Vorsicht geboten. Im Fall eines Vollbrücken-, Halbbrücken-, Gegentakt- oder Rücklauf-Wechselrichterschaltkreises, der ein Schaltelement verwendet, zu dem eine umgekehrt parallele Diode hinzugefügt wurde (oder in den eine solche eingebaut ist), kommt es nicht zu dem oben beschriebenen Problem, da die Primärseite des Transformators immer an eine Stromversorgung mit niedriger Impedanz angeschlossen ist. Dennoch ist, wenn das Gatesignal ausgeschaltet wird und der durch die umgekehrt parallele Diode fließende Strom schließlich stoppt, die Impedanz daraufhin größer, und die in die Lampe eingepreßte Spannung  $E(t)$  beginnt eine Resonanzschwingung mit einer Frequenz, die grob durch die feste Kapazität der Lampe und die Induktanz auf der Sekundärseite bestimmt wird, und das Nachschwingen ebbt ab.

**[0108]** Es ist nun möglich, dass die Entladung nicht abgeschlossen ist, wenn die erste Spitze passiert wird, doch in diesem Fall ist die Periode T12 geringfügig länger als die Periode des anschließenden Nachschwingens. Das Ausmaß, in dem diese länger ist, ist von der Struktur der Lampe abhängig, also von der Verteilung der Größen der festen Kapazität C1 des Kondensators **12**, der der Entladungsplasmaraum **2** ist, und der festen Kapazität des Kondensators **13**, die die Dielektrika **5**, **6** ist.

**[0109]** Auch in einem solchen Fall ist es wünschenswert, die Lichtquellenvorrichtung so zu strukturieren, dass sie nach Möglichkeit der Spezifikation  $T12 \leq 3 \mu s$  entspricht.

**[0110]** Wenn es andererseits nicht möglich ist, unter solchen Umständen die Spezifikation  $T12 \leq 3 \mu s$  zu erfüllen, wird die Entladung allgemein schwächer, nachdem die erste Spitze vorbeigegangen ist, und die Wirkung auf die Effizienz der UV-Lichtemission ist gering, weshalb es ausreicht, die Lichtquellenvorrichtung so zu strukturieren, dass die Bedingung  $LC \leq 2,8 \times 10^{-13}$  oder die Bedingung  $\tau \leq 2,1 \mu s$  erfüllt ist.

**[0111]** Diese Erfindung kann auf die dielektrischen Barrierenentladungslampen angewendet werden, die UV-Licht abgeben, ohne eine Beschichtung mit fluoreszierender Substanz auf der Innenwand der Entladungskammer, und auf dielektrische Barrierenentladungslampen, die sichtbares Licht abgeben, mit einer Beschichtung mit fluoreszierender Substanz auf der Innenwand der Entladungskammer.

**[0112]** In der oben erklärten Erfindung ist es möglich, einen Entladungsstrom schnell zu unterbrechen, der Excimer-Moleküle aufspalten würde, und damit die Beleuchtungseffizienz einer dielektrischen Barrierenentladungslampe unter Anwendung einer praktischen Stromversorgung zu verbessern, indem die Lampe so konstruiert wird, dass (1) L als Induktanz und C als feste Kapazität des Schaltkreises, der die Stromversorgungs-ausrüstung und die dielektrische Barrierenentladungslampe umfasst, genommen wird, die Induktanz L und die feste Kapazität C so ausgewählt werden, dass sie die Formel  $LC \leq 2,8 \times 10^{-13}$  erfüllen; oder (2) nach Passieren des Zeitpunktes, zu dem der Spannungswert zum Starten einer dielektrischen Barrierenentladung erreicht ist, Spannung in die dielektrische Barrierenentladungslampe eingepreßt wird, wobei eine Nachschwingung eine Periode von nicht mehr als  $3 \mu s$  hat; oder (3) die Spannung in die dielektrische Barrierenentladungslampe für eine Periode von nicht mehr als  $2,1 \mu s$  von dem Spannungswert eingepreßt wird, bei dem die dielektrische Barrierenentladung beginnt, bis zum maximalen Spannungswert in der nächsten Runde der Nachschwingung der Spannungsimpregnierung.

#### Potenzial für die industrielle Anwendung

**[0113]** Diese Erfindung ist eine Lichtquellenvorrichtung, die eine so genannte dielektrische Barrierenentladungslampe umfasst, welche Excimer-Moleküle mittels einer dielektrischen Barrierenentladung produziert und das von den Excimer-Molekülen abgestrahlte Licht nützt; sie kann beispielsweise als UV-Lichtquelle für photochemische Anwendungen verwendet werden.

#### Patentansprüche

1. Lichtquellenvorrichtung mit einer dielektrischen Barrierenentladungslampe (**1**) mit einer Stromversorgungsvorrichtung (**8**) zum Zuführen einer Hochspannung zu den Elektroden (**3**, **4**) einer dielektrischen Barrierenentladungslampe (**7**) und mit einer dielektrischen Barrierenentladungslampe (**7**) mit einem Entladungsplas-

maräum (2), der mit einem Entladungsgas gefüllt ist, in dem eine dielektrische Barrierentladung Excimermoleküle bildet, wobei zwischen dem Entladungsgas und mindestens einer eines Paares von Elektroden, die im Entladungsgas (2) ein Entladungsphänomen auslösen, ein Dielektrikum eingebracht ist, wobei die Stromversorgungsvorrichtung (8) so ausgebildet ist, dass sie der dielektrischen Barrierentladungslampe (7) über einen Transformator eine periodische Hochspannungs-Wellenform zuführt, **dadurch gekennzeichnet**, dass wenn L die Induktivität ist und C die statische Kapazität des die Stromversorgungsvorrichtung und die dielektrische Entladungslampe umfassenden Schaltkreises ist, die Induktivität L und die statische Kapazität C so ausgewählt sind, dass sie der Formel  $LC \leq 2,8 \times 10^{-13}$  entsprechen.

2. Lichtquellenvorrichtung (1) mit einer dielektrischen Barrierentladungslampe gemäß Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Stromversorgungsvorrichtung (8) ausgebildet ist, eine Spannung an die dielektrische Barrierentladungslampe (7) anzulegen mit einer gedämpften Schwingung, die eine Periode von nicht mehr als 3  $\mu\text{s}$  nach dem Ablauf des Zeitpunkts aufweist, zu dem der Spannungswert zum Starten einer dielektrischen Barrierentladung erreicht ist.

3. Lichtquellenvorrichtung (1) mit einer dielektrischen Barrierentladungslampe gemäß einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Stromversorgungsvorrichtung (8) ausgebildet ist, während einer Dauer von nicht mehr als 2,1  $\mu\text{s}$ , beginnend mit dem Spannungswert, bei dem die dielektrische Barrierentladung beginnt, bis zum ersten Maximalspannungswert in der nächsten Runde der gedämpften Schwingung der Spannungszufuhr der dielektrischen Barrierentladungslampe (7) eine Spannung zuzuführen.

Es folgen 11 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

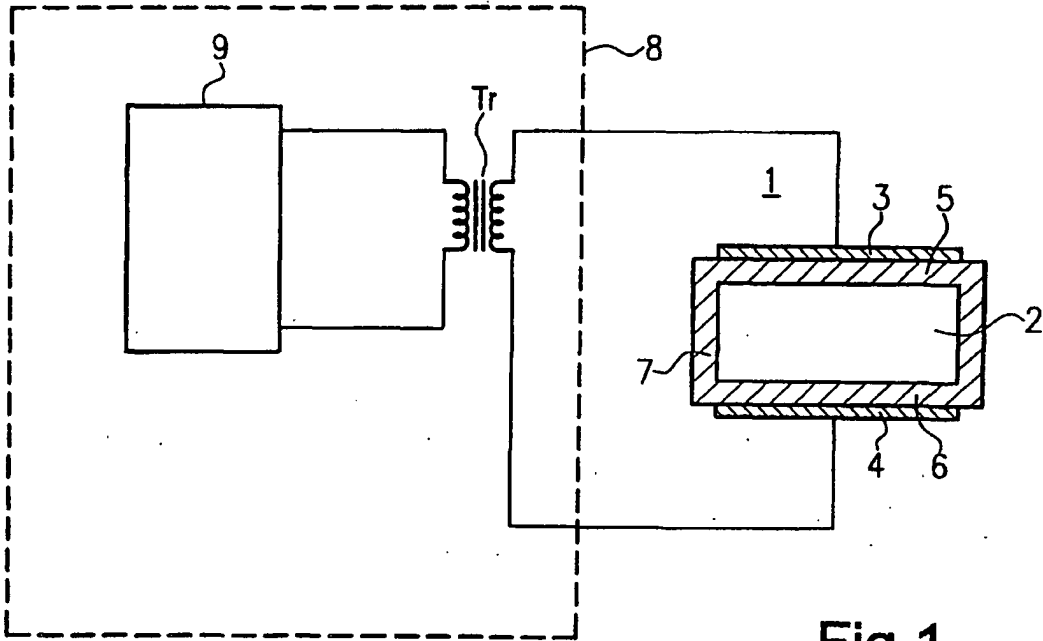


Fig.1

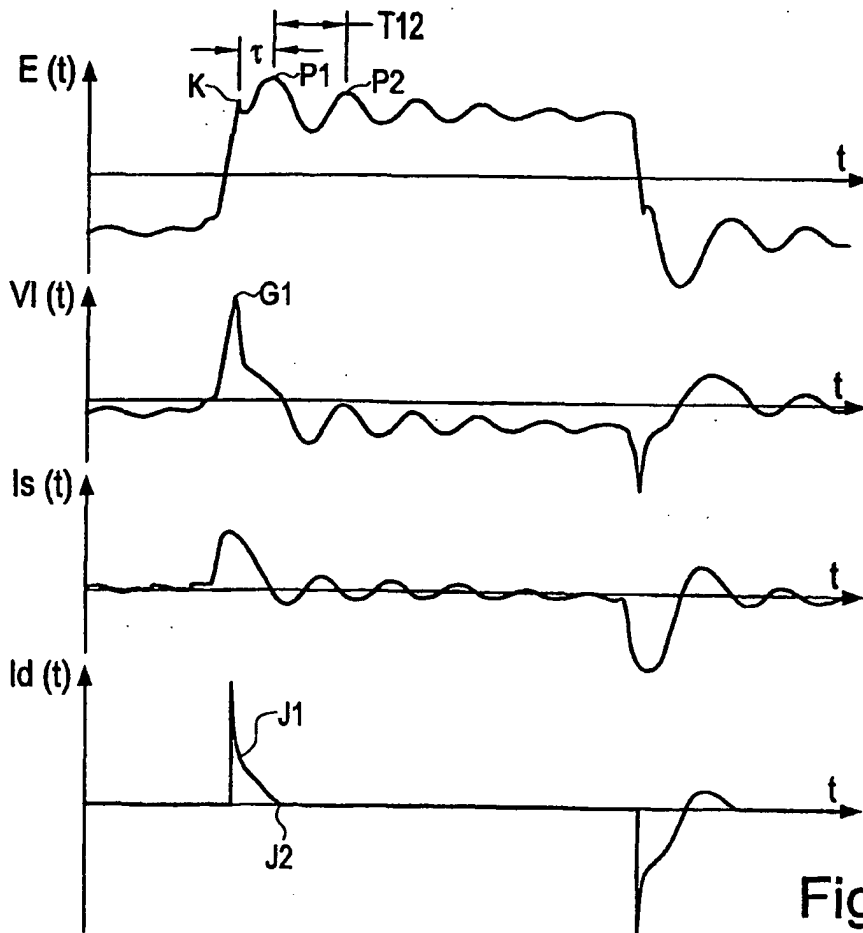


Fig.2

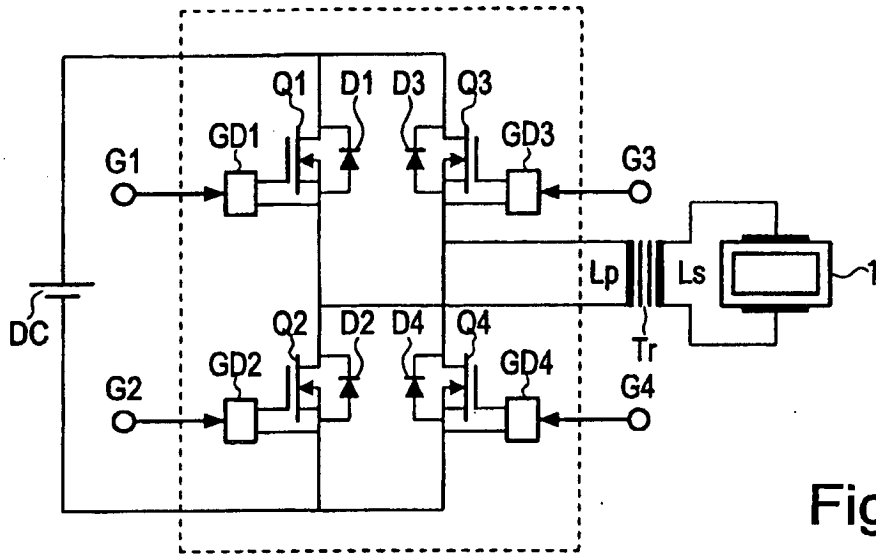


Fig.3

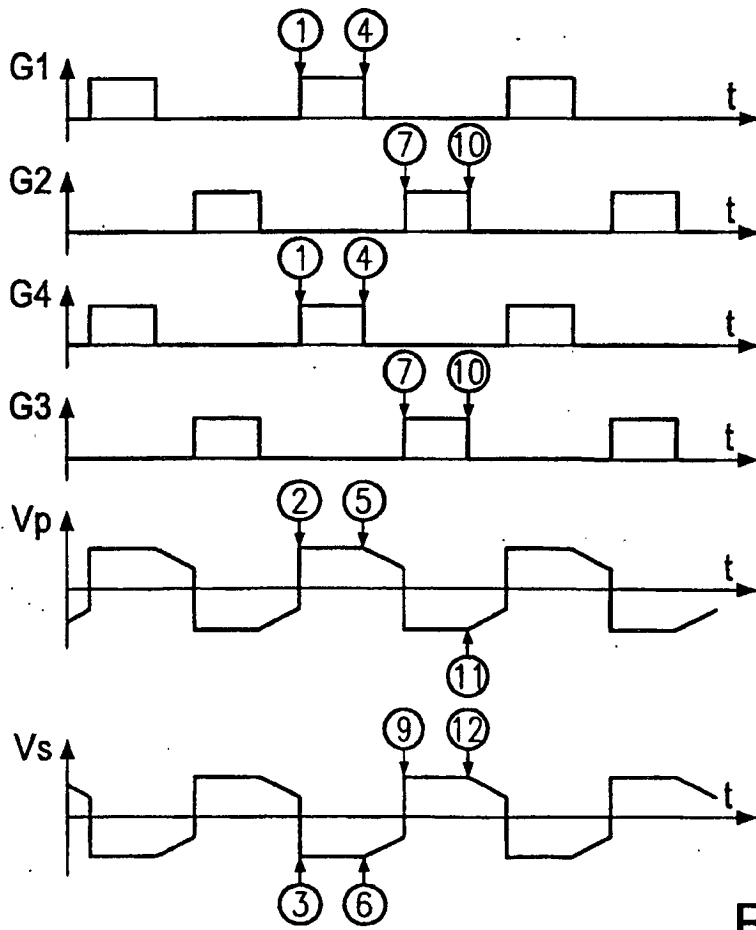


Fig.4

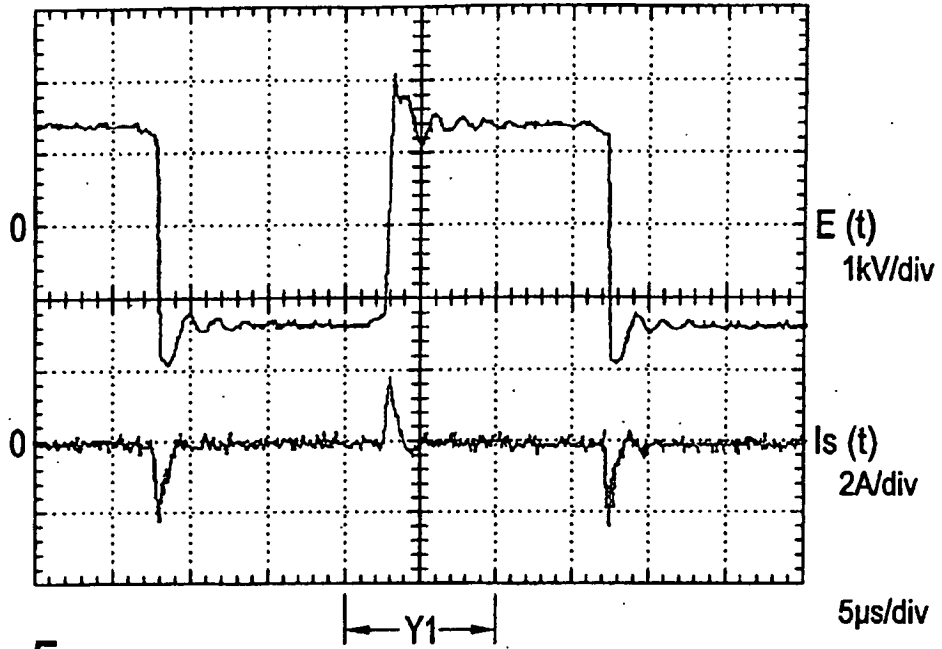


Fig.5

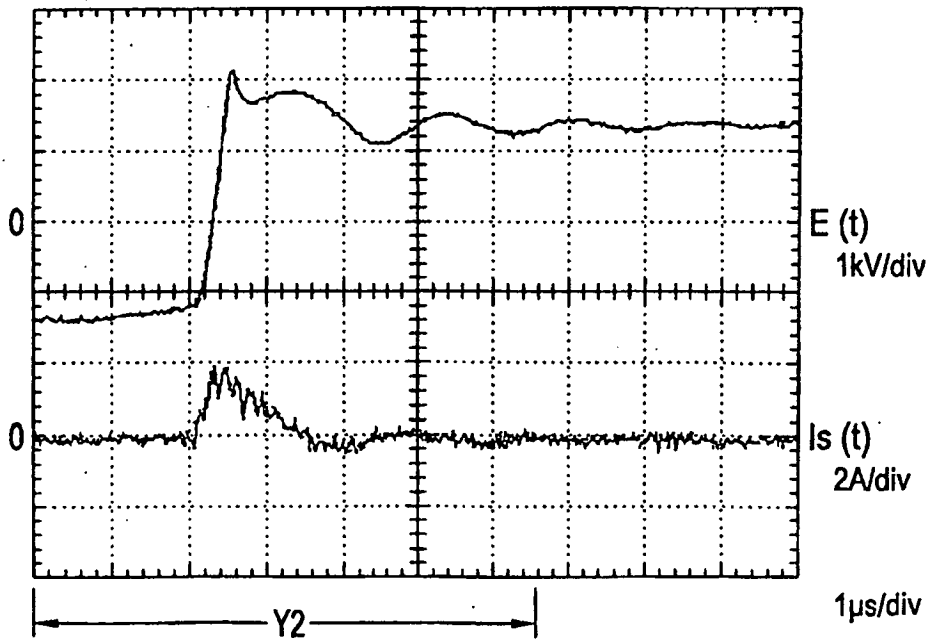


Fig.6

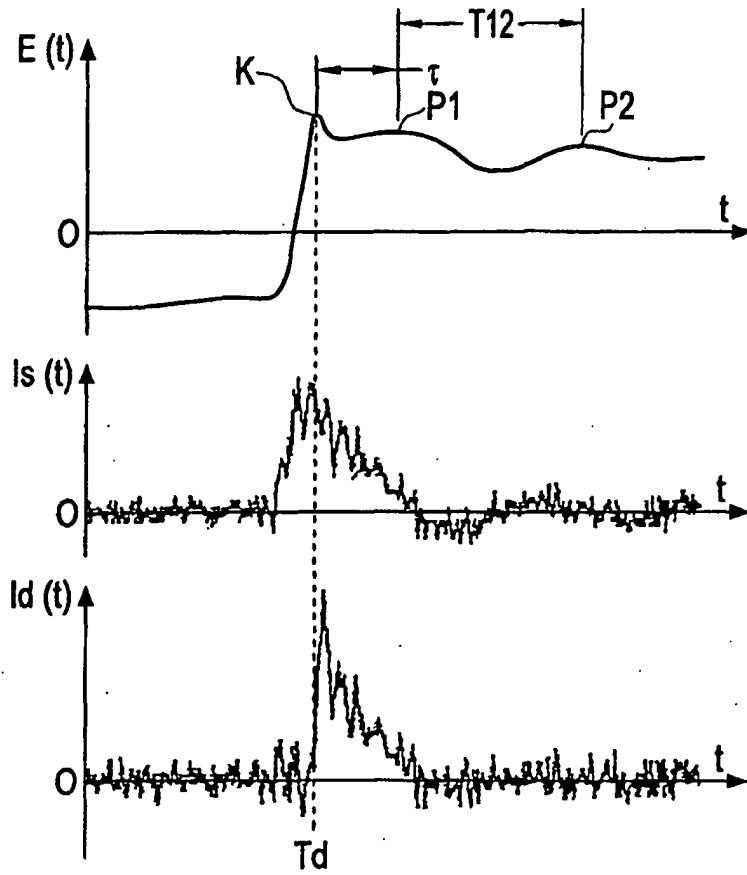


Fig.7

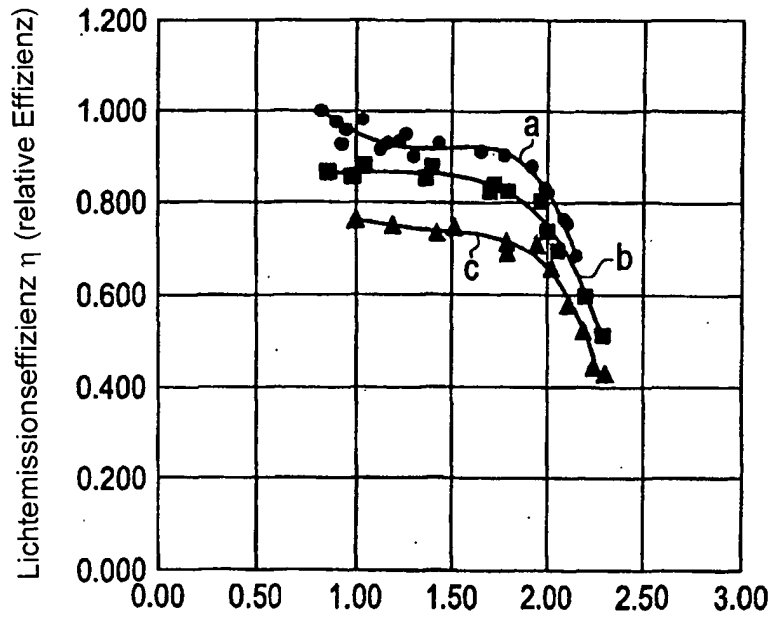
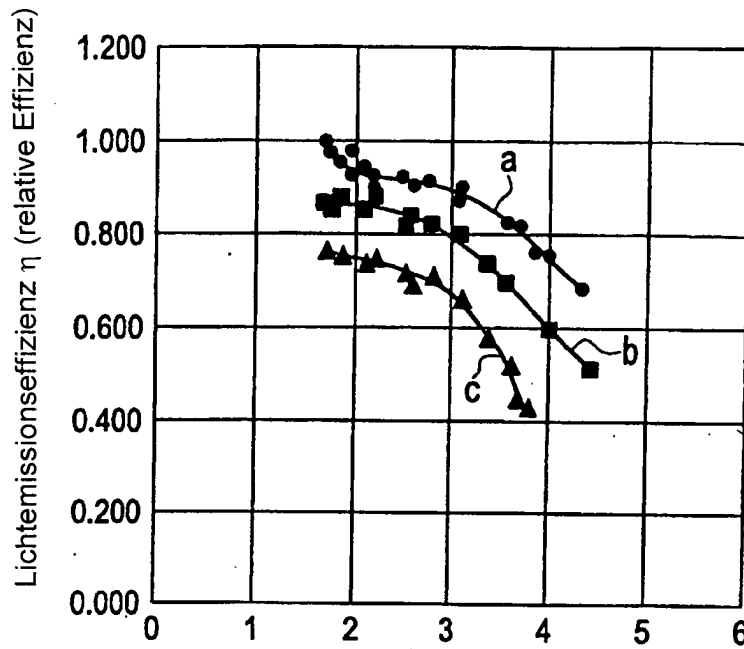
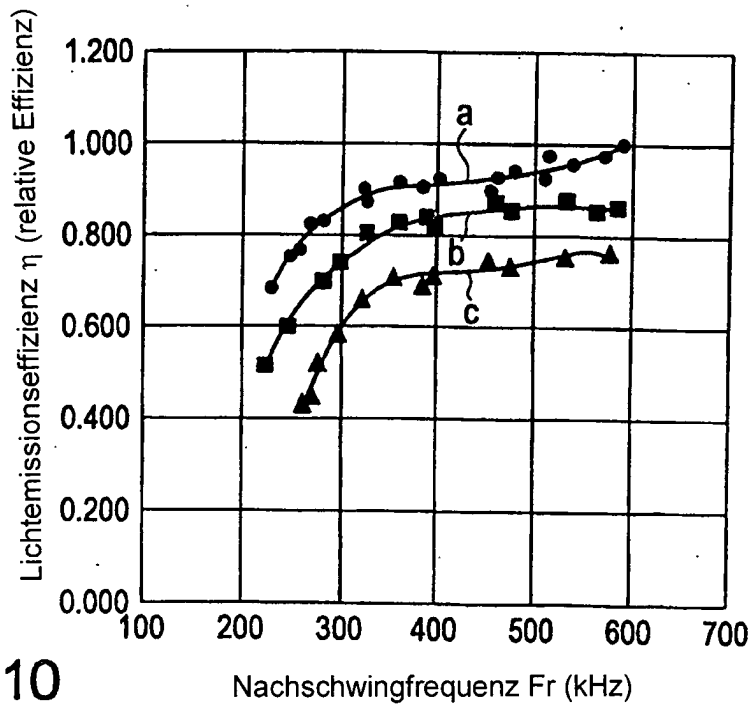


Fig.8 Zeit  $\tau$  nach der Entladungsspannungsspitze ( $\mu$ -Sek.)



**Fig.9** Zeit  $T_{12}$ , die die ersten und zweiten Spannungsspitzen trennt ( $\mu$ -Sek.)



**Fig.10**

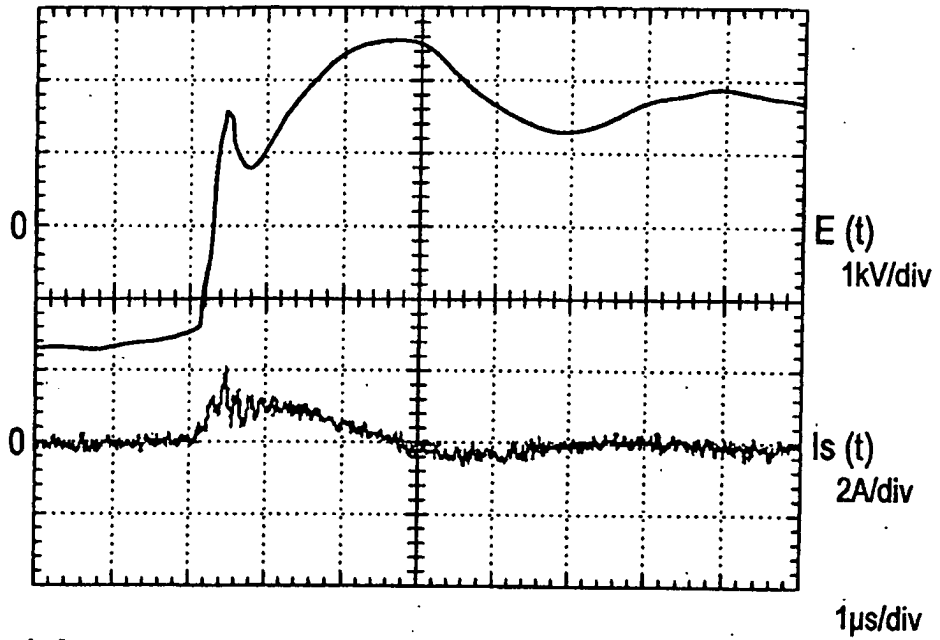


Fig.11

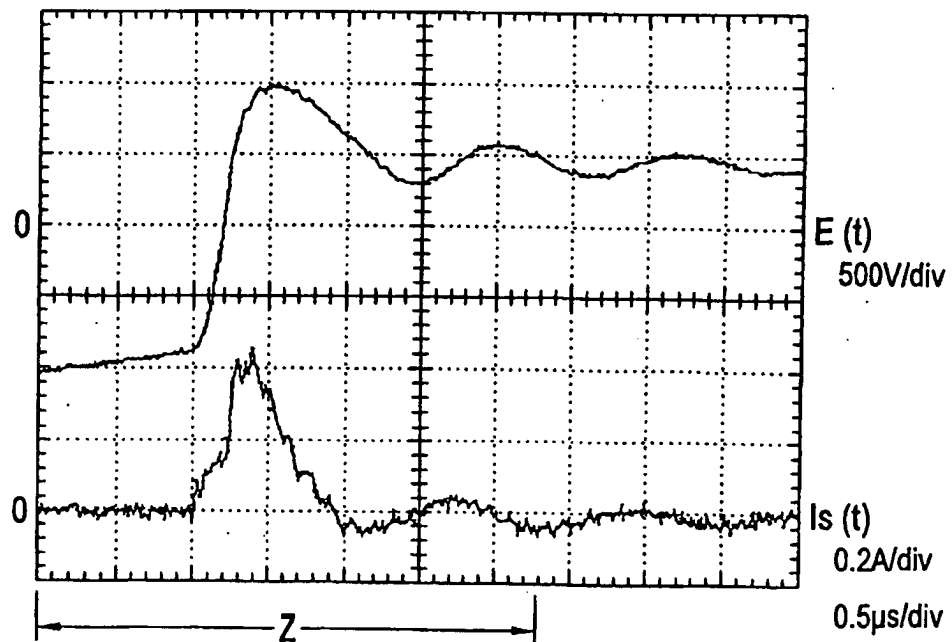


Fig.12

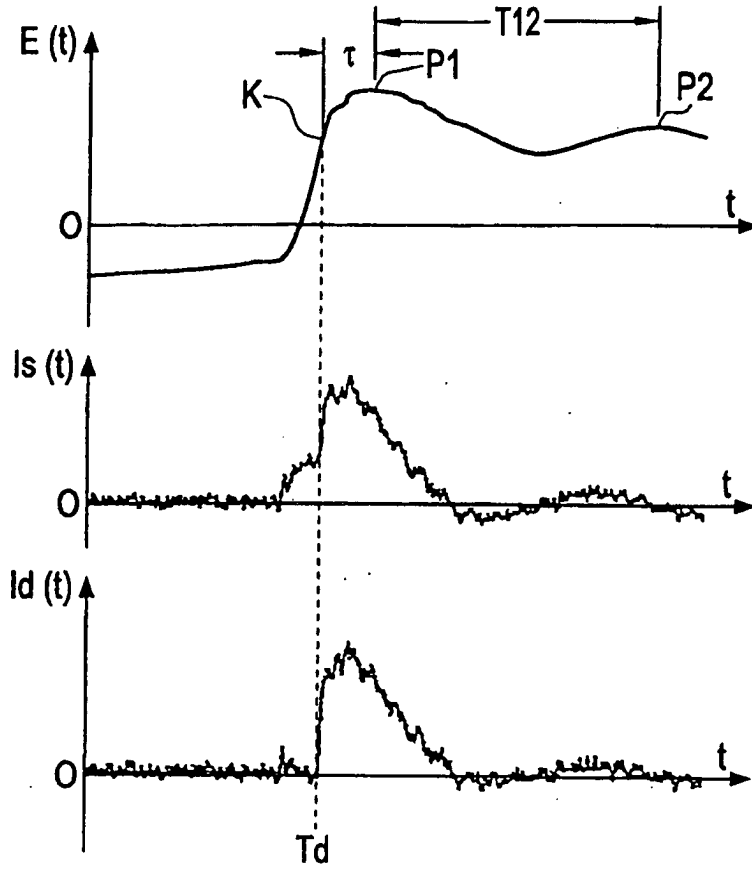


Fig.13

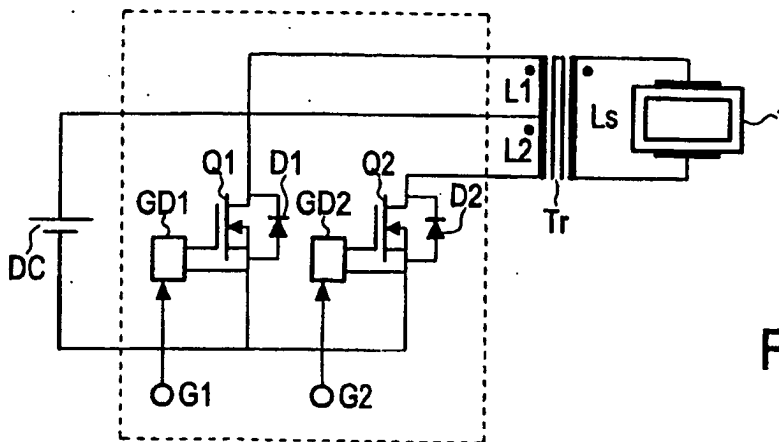


Fig.14

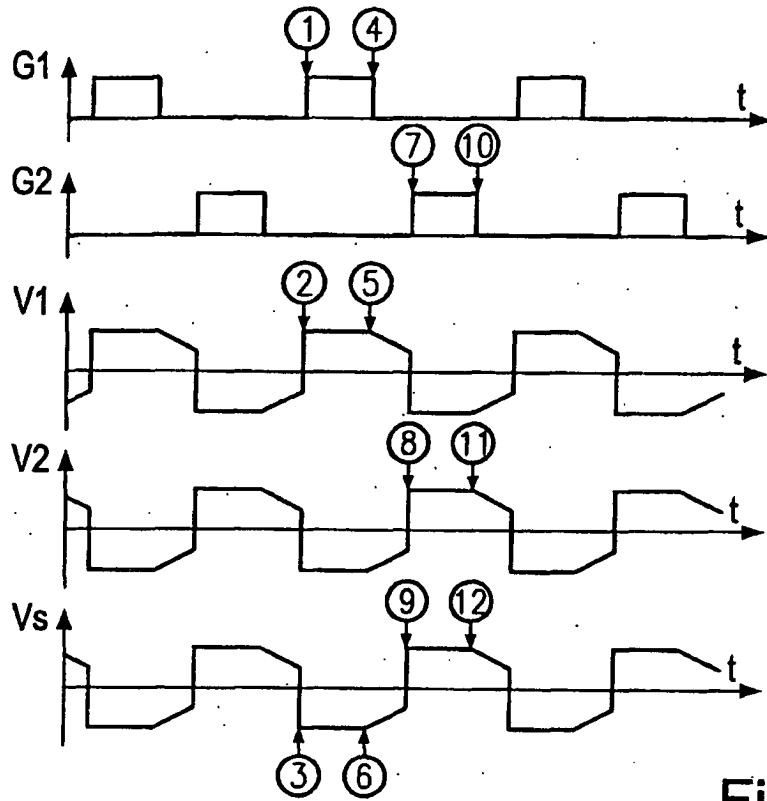


Fig.15

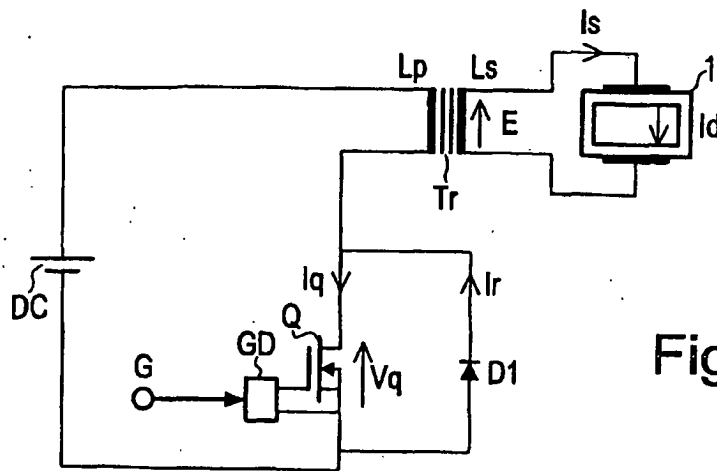


Fig.16

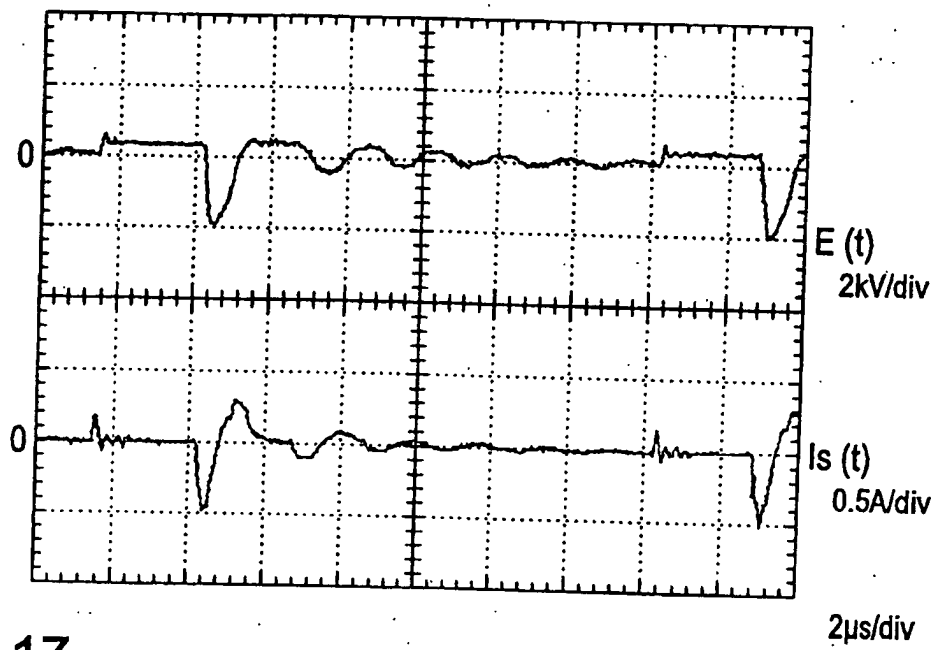


Fig.17

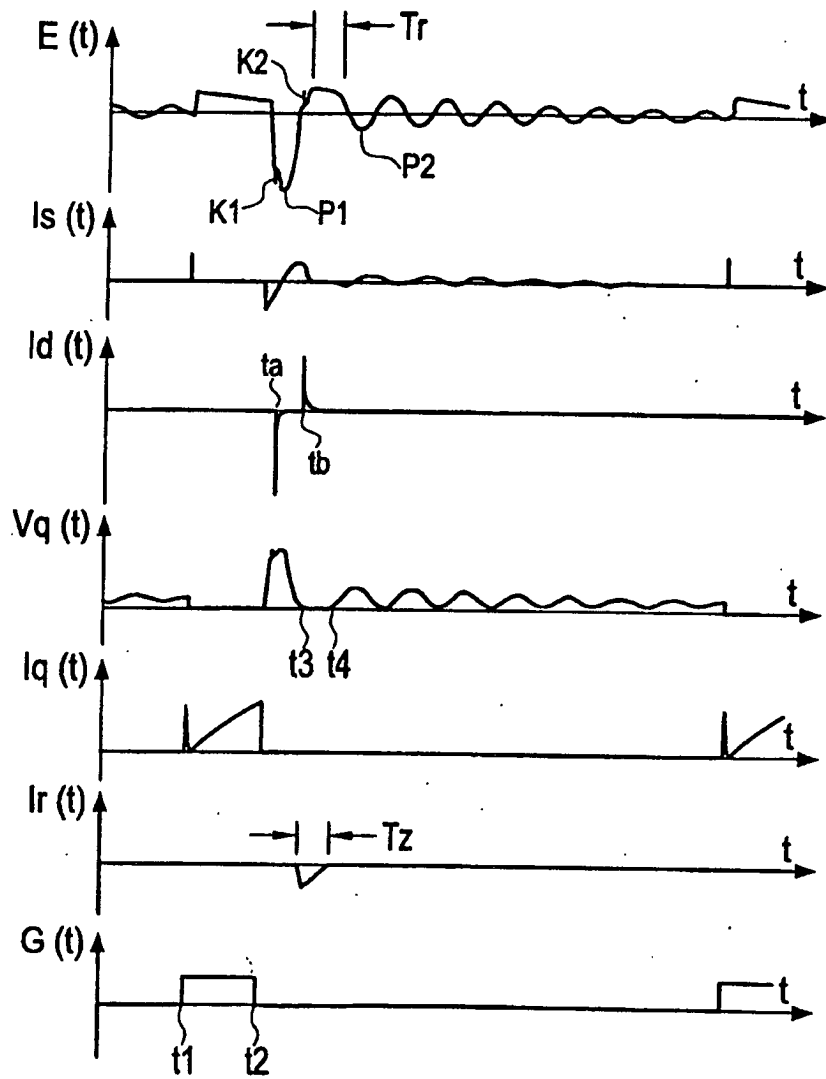
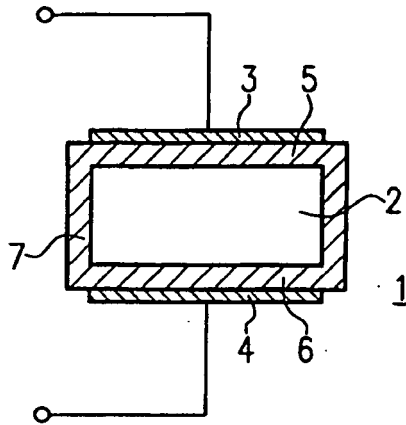
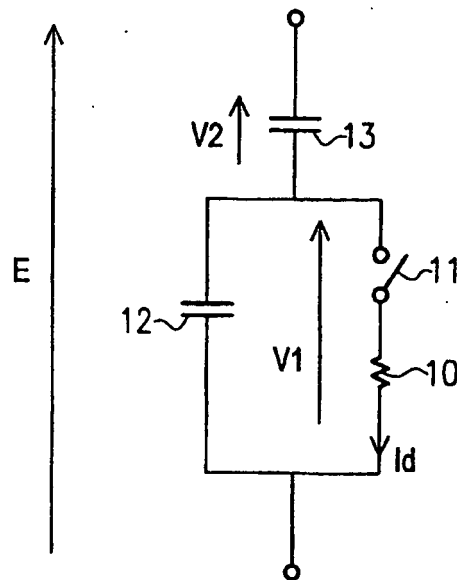


Fig.18



**Fig.19(a)**

(Stand der Technik)



**Fig.19(b)**

(Stand der Technik)