

(19)



Europäisches Patentamt

European Patent Office

Office européen des brevets



(11)

**EP 0 552 687 B1**

(12)

## EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:  
**09.04.1997 Patentblatt 1997/15**

(51) Int Cl.6: **H05B 41/04**

(21) Anmeldenummer: **93100602.7**

(22) Anmeldetag: **16.01.1993**

### (54) **Elektronischer Starter für Fluoreszenzlampen**

Electronic starter for fluorescent lamps

Starter électronique pour tube fluorescent

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
**AT CH DE FR GB IT LI NL**

(30) Priorität: **24.01.1992 CH 193/92**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:  
**28.07.1993 Patentblatt 1993/30**

(73) Patentinhaber: **KNOBEL AG LICHTTECHNISCHE  
KOMPONENTEN  
CH-8755 Ennenda (CH)**

(72) Erfinder: **Horn, Peter  
CH-8833 Samstagern (CH)**

(74) Vertreter: **Blum, Rudolf Emil Ernst et al  
c/o E. Blum & Co  
Patentanwälte  
Vorderberg 11  
8044 Zürich (CH)**

(56) Entgegenhaltungen:  
**EP-A- 0 333 359                      EP-A- 0 471 228  
GB-A- 2 194 400                      GB-A- 2 201 307**

**EP 0 552 687 B1**

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).

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft einen elektronischen Starter für Fluoreszenzlampen gemäss Oberbegriff des Patentanspruches 1.

Aus der Europäischen Patentanmeldung Nr. 118 309 ist ein derartiger Starter bekannt.

In Figur 1 der vorliegenden Patentanmeldung ist ein Schaltungsbeispiel eines solchen Starters mit einem als Fluoractor bezeichneten Thyristor-Halbleiterschaltenelement und Spannungsbegrenzungselement 3 gezeigt. An den bekannten Lampenstromkreis mit der Lampe 1, der Drossel L und dem Kondensator C ist dabei das Vorschaltgerät mit dem Gleichrichter 2, dem Fluoractor 3 und einem weiteren Thyristor 4 angeschlossen.

Der grösste Nachteil dieser Schaltung ist, dass das Vorheizen bereits bei kleinen Netzspannungen  $U_N$  erfolgt, bei welchen die Lampe noch nicht erfolgreich gezündet werden kann. Nach den Dimensionierungsvorschlägen für diese Schaltung beginnt der Heizvorgang bevor die Hälfte der nominellen Netzspannung erreicht wird. Diese Schaltung hat auch bei der nominellen Netzspannung bei kleinen Lampenleistungen Nachteile.

Anhand der Figuren 2a bis 2d mit den Spannungsverläufen der in der Figur 1 angegebenen Spannungen  $U_1$  bis  $U_4$  kann die Funktion des bekannten Starters kurz rekapituliert werden. Beim Anlegen der Netzspannung an die Lampenschaltung wird der Fluoractor 3 durch die steigende Spannung  $U_3$  an seinem Steuereingang leitend. Der Lampenstrom  $I_L$  fliesst durch die Drossel L, die Glühkathoden der Lampe 1, den Gleichrichter 2 und den Fluoractor 3. Die Lampe 1 wird vorgeheizt. Die gleichgerichtete Spannung  $U_1$  lädt dabei allmählich den Kondensator C1 des Starters auf. Die Spannung  $U_2$  ist rampenförmig mit einer überlagerten Welligkeit (Fig. 2b). Bei einem vorbestimmten Spannungswert von  $U_2$ , der bei einem Maximum von  $U_1$  erscheint, wird die Schaltschwelle des Thyristors 4 erreicht und der Steuereingang des Fluoractors 3 auf einen tiefen Spannungswert bzw. die Durchschaltspannung des Thyristors 4 gesetzt. Damit wird der Fluoractor 3 zum Sperren angesteuert.

Der tatsächliche Sperrzustand wird indes erst später erreicht, da der Fluoractor erst beim Absinken des Stromes  $I_L$  unter einen vorgegebenen, durch den Fluoractor bestimmten Haltestrom  $I_H$  in den Sperrzustand gehen kann. Beim Sperren des Fluoractors wird der Strom  $I_L$  unterbrochen, was infolge der Drossel L zu einer hohen induzierten Zündspannung zum Zeitpunkt  $t_z$  führt (Figur 2d). Die Zündspannung wird durch eine Zenerdiode im Fluoractor 3 auf ca. 1500 Volt beschränkt.

Der Haltestrom  $I_H$ , bei welchem die Zündung der Lampe erfolgt bzw. der Zündzeitpunkt  $t_z$ , ist somit nicht einstellbar sondern durch den Fluoractor bestimmt. Bei grossen Induktivitätswerten der Drossel L (d.h. bei kleinen Leistungen der Fluoreszenzlampen), kann dieser vorgegebene Strom sogar zu einer Zerstörung des

Fluoractors führen.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, einen elektronischen Schalter der genannten Art zu schaffen, bei welchem die Einleitung der Vorheizphase und die nachfolgende Auslösung des Zündimpulses erst bei einem Wert der Netzspannung erfolgt, bei welchem die Lampenkathoden genügend vorgeheizt werden und die Fluoreszenzlampe brennen kann und insbesondere einen elektronischen Schalter zu schaffen, bei dem der Halbleiterschalter nicht zerstört werden kann, wenn Fluoreszenzlampen mit kleinen Leistungen und folglich Vorschaltgeräte mit hohen Induktivitätswerten betrieben werden.

Diese Aufgabe wird mit dem kennzeichnenden Teil des Patentanspruches 1 gelöst.

Im folgenden wird die Erfindung anhand der Zeichnungen erläutert. Es zeigen:

Figur 1 ein Vorschaltgerät mit Lampe und mit einem elektronischen Starter gemäss Stand der Technik in schematischer Darstellung;

Figuren 2a bis 2d die Spannungsverläufe im Starter von Figur 1;

Figur 3 ein erstes Ausführungsbeispiel eines Starters, bei welchem die Erfindung einsetzbar ist;

Figur 4 ein zweites Ausführungsbeispiel eines Starters, bei welchem die Erfindung einsetzbar ist;

Figur 5 ein Ausführungsbeispiel eines Starters gemäss der Erfindung; und

Figur 6 Spannungsverläufe im Starter von Figur 5.

Die Figuren 1 und 2 beziehen sich auf einen bekannten elektronischen Starter mit einer Fluoreszenzlampe und einem Vorschaltgerät, die im wesentlichen in der EP-A 118 309 offenbart sind und bereits oben beschrieben wurden. Der grösste Nachteil dieser Schaltung ist, dass eine Vorheizphase bereits bei kleiner Netzspannung eingeleitet wird und am Ende dieser Vorheizphase ein Zündimpuls ausgelöst wird, auch wenn bei dieser Netzspannung die Lampe noch nicht brennen kann.

Figur 3 zeigt eine schematische Darstellung eines elektronischen Starters mit einer Fluoreszenzlampe und einem Vorschaltgerät. Die Sperrspannung der Zenerdiode ZD1 bewirkt, dass bei kleineren Netzspannungen kein Strom durch die Zenerdiode ZD1 fliesst und dass der Steuereingang des Fluoractors TH1 spannungslos bleibt. Dadurch wird der Fluoractor TH1 gesperrt und bei kleineren Netzspannungen keine Vorheizphase ausgelöst. Erst wenn der Spitzenwert der Netzspannung über die Sperrspannung der Zenerdiode ansteigt, beginnt ein Strom durch die Zenerdiode ZD1 zu fließen und eine Spannung baut sich über dem Widerstand R2 auf. Steigt die Netzspannung weiter an, so wird der Schwellwert der Einschaltspannung am Gate des Fluoractors TH1 erreicht und der Fluoractor gezündet, womit die Vorheizphase beginnt. Es ist ersichtlich, dass durch geeignete Dimensionierung der Zenerdiode

ZD1 und der Widerstände R1 und R2 der Schwellwert der Netzspannung zur Einleitung der Vorheizphase eingestellt werden kann.

Eine weitere Verbesserung gegenüber der Schaltung in Figur 1 kann durch den Ersatz der zwei Dioden in Serie mit dem Fluoraktor 3 (Figur 1) durch eine zweite Zenerdiode ZD2 erreicht werden, wie es in Figur 3 dargestellt ist.

Nach Auslösung der Vorheizphase fließt der Vorheizstrom über den Widerstand R4 und lädt den Kondensator C2. Nach Erreichen des Schwellwertes der Gatespannung am Thyristor TH2 wird dieser gezündet und entnimmt dem Gate des Fluoraktors TH1 die zu seiner Leitung benötigte Ladung. Nach dem Unterschreiten des Haltestromes des Fluoraktors wird der Vorheizstrom unterbrochen und ein Zündimpuls generiert. Wenn die Fluoreszenzlampe brennen kann, sinkt die am Starter ersichtliche Spannung auf den Wert der Lampenspannung, die gewöhnlich unter der Hälfte der nominellen Netzspannung liegt, damit ein induktives Vorschaltgerät funktionieren kann. Wenn der untere Schwellwert der Netzspannung zur Einleitung der Vorheizphase auf drei Viertel der nominellen Netzspannung festgelegt wird, wird nach einer erfolgreichen Zündung der Lampe die Zenerdiode ZD1 und damit der Thyristor TH2 nicht mehr leiten können und der Kondensator C2 entladen. Der entladene Zustand des Kondensators C2 ist für die Funktion des elektronischen Starters sehr wichtig. Bei kurzen Netzspannungsunterbrüchen, die nur einige Netzperioden ausmachen können, wird die Lampe verlöschen. In diesem Fall wird nach vorhandener Netzspannung die Lampe mit einer vollen Vorheizphase wieder problemlos gezündet.

Wenn am Ende der Lebensdauer die Fluoreszenzlampe deaktiviert ist und nach der Vorheizphase nicht mehr brennen kann, erscheint über dem Starter die volle Netzspannung. In diesem Fall leitet die Zenerdiode zur Selbsthaltung des Thyristors TH2 genügend Strom, so dass die Vorheizphase nicht wiederholt wird und das Flackern der Fluoreszenzlampe am Ende ihrer Lebensdauer verhindert ist.

Wenn mit der Schaltung solche Fluoreszenzlampen betrieben werden, deren Wiederzündspannung nach dem Nulldurchgang der Netzspannung grössere Spannungsspitzen verursachen, ist es vorteilhaft, parallel zu der Zenerdiode ZD1 und dem Widerstand R2 einen Kondensator C1 und eventuell einen weiteren Widerstand R3 zu schalten, wie es in Figur 3 schematisch dargestellt ist.

In Figur 4 ist eine andere vorteilhafte Ausführung schematisch dargestellt. Zusätzlich wird eine Diode D1 und eine Zenerdiode ZD3 so eingeführt, dass zwei Schwellwerte unabhängig voneinander eingestellt werden können. Der Schwellwert der Netzspannung zur Einleitung der Vorheizphase kann somit etwas höher mit Hilfe der Zenerdiode ZD1 eingestellt werden, als der Schwellwert der Netzspannung, bei welchem der Thyristor TH2 noch im leitfähigen Zustand gehalten werden

kann. Diese Hysterese zwischen den zwei Schwellwerten dient zur Unterdrückung von Schwingneigungen bei schwierigen Lampentypen und/oder bei tiefen Temperaturen.

In Figur 5 ist eine Ausführungsform der Erfindung schematisch dargestellt, bei welcher der Zündzeitpunkt eingestellt werden kann. Diese Einstellung ist besonders bei Fluoreszenzlampen mit kleinen Lampenleistungen nötig. Zum Betrieb diese Lampen werden relativ grosse Induktivitätswerte des Vorschaltgerätes benötigt. Weil der Haltestrom des Fluoraktors auch relativ gross ist, werden so hohe Energieimpulse erzeugt, die zu einer Selbsterstörung des Fluoraktors führen können. Zur Begrenzung des Abrissstromes, bei welchem der Vorheizstrom unterbrochen wird, ist eine Impulsschaltung, bestehend aus zwei Widerständen R6 und R7 und einem weiteren Thyristor TH3 vorgesehen.

Die Funktion der Impulsschaltung in Figur 5 ist mit den Spannungsverläufen in Figur 6 schematisch dargestellt. Nach dem Nulldurchgang des Vorheizstromes leitet der Thyristor TH3 nicht. Der Vorheizstrom fließt über die Widerstände R6 und R7. Bei Erreichen der Gatespannung des Thyristors TH3 aufgrund des Spannungsabfalls über R7 wird der Thyristor TH3 gezündet. Dadurch entsteht eine Spannungsspitze am Thyristor TH3, deren Höhe sich mit dem Widerstand R6 einstellen lässt. Der Wert des Widerstandes R7 bestimmt den Wert des Vorheizstromes, bei welchem diese Spannungsspitze entsteht. Die Form der über dem Thyristor TH3 auf diese Weise generierten Spannung U1 ist in Figur 6a dargestellt. Durch das sukzessive Aufladen des Kondensators C2 entsteht ein Spannungsverlauf U2 am Gate des Thyristors TH2, der in Figur 6b dargestellt ist. Es ist ersichtlich, dass die lokalen Maxima dieses Spannungsverlaufs nur an den Rändern der Zeitperioden ta erscheinen. Dadurch ist es nicht möglich, dass die Schwellwertspannung am Gate des Thyristors TH2 während der Zeitperiode tb erreicht wird, wo der Vorheizstrom seine grössten Werte annimmt. Nach Erreichen des Schwellwertes der Gatespannung am Thyristor TH2 wird dieser gezündet (Figuren 6b, 6c). Dadurch wird dem Gate des Fluoraktors seine Ladung entzogen und dieser bei dem vorbestimmten Wert des Vorheizstromes sofort geöffnet, weil dieser Wert unter dem Haltestrom des Fluoraktors liegt. Dadurch entsteht am Starter ein Zündimpuls, dessen Höhe durch die Einstellung des Zündzeitpunktes auch vorbestimmt werden kann. Der Verlauf der Starterspannung U4 ist in der Figur 6d dargestellt.

Der Thyristor TH3 kann auch aus einem PNP- und einem NPN-Transistor nachgebildet werden. Eine weitere Möglichkeit zur Verstärkung der lokalen Maxima am Gate des Thyristors TH2 ist die Einführung einer zusätzlichen Serieschaltung mit einem Kondensator C3 und einem Widerstand R8, die zwischen dem Gate des Thyristors TH2 und der Anode des Thyristors TH3 geschaltet werden kann. Mit geeigneten Werten von C3 und R8 kann man die Welligkeiten in den Zeitperioden ta und tb

damit voneinander unabhängig einstellen.

Zur Vermeidung von Störungen kann man zwischen Gate und Kathode des Thyristors TH2 einen Kondensator C4 und/oder zwischen Anode und Kathode des Thyristors TH3 einen Kondensator C5 schalten.

### Patentansprüche

1. Elektronischer Starter für Fluoreszenzlampen für den Betrieb mit einem Vorschaltgerät, zum Vorheizen der Lampenkathoden und zur Auslösung eines Zündimpulses, mit einem ersten Halbleiterschalt-element (TH1), mit einer Teilschaltung zur Auslösung der Vorheizphase in Abhängigkeit der am Vorschaltgerät anliegenden Netzspannung, und mit einem Zeitglied zur Bestimmung der Vorheizzeit und zur Ansteuerung eines zweiten Halbleiterschalt-elementes (TH2), welches den Zündimpuls durch Einwirkung am Steuereingang des ersten Halbleiterschalt-elementes (TH1) auslöst, dadurch gekennzeichnet, dass die Teilschaltung eine Serieschaltung mit einem ersten Widerstand (R1), mit einer Zenerdiode (ZD1) und mit einem zweiten Widerstand (R2) umfasst, dass der Steuereingang des ersten Halbleiterschalt-elementes (TH1) am Knotenpunkt zwischen der Zenerdiode (ZD1) und dem zweiten Widerstand (R2) angeschlossen ist und dass die Elemente der Serieschaltung (R1, ZD1, R2) so dimensioniert sind, dass die Auslösung der Vorheizphase und der Zündimpuls erst dann erfolgen, wenn die Netzspannung etwa drei Viertel oder mehr der nominellen Netzspannung erreicht hat, und dass eine in Serie zum ersten Halbleiterschalt-element (TH1) geschaltete Impulsschaltung vorgesehen ist, welche aus einem Thyristor (TH3) und einem Spannungsteiler (R6, R7) gebildet ist und die Auslösung des Zündimpulses bei einer vorbestimmten, maximalen Grösse des Vorheizstromes bewirkt. 5
2. Elektronischer Starter nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass der Thyristor (TH3) aus zwei Transistoren (TR1, TR2) gebildet ist. 10
3. Elektronischer Starter nach einem der Ansprüche 1 oder 2, gekennzeichnet durch eine Serieschaltung eines dritten Widerstandes und eines ersten Kondensators (R8, C3), die zwischen der Anode des Thyristors (TH3) und dem Steuereingang des zweiten Halbleiterschalters (TH2) geschaltet ist. 15
4. Elektronischer Starter nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass zwischen Gate und Kathode des zweiten Halbleiterschalt-elementes (TH2) ein zweiter Kondensator (C4) und/oder zwischen Anode und Kathode des Thyristors (TH3) ein dritter Kondensator (C5) geschaltet sind. 20

5. Elektronischer Starter nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass in Serie zum Halbleiterschalt-element (TH1) eine zweite Zenerdiode (ZD2) geschaltet ist. 25
6. Elektronischer Starter nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass parallel zu der Zenerdiode (ZD1) und dem zweiten Widerstand (R2) ein vierter Kondensator (C1) geschaltet ist. 30
7. Elektronischer Starter nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass parallel zum vierten Kondensator (C1) ein vierter Widerstand (R3) geschaltet ist. 35
8. Elektronischer Starter nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass zwischen dem Steuereingang des ersten Halbleiterschalt-elementes (TH1) und dem zweiten Halbleiterschalt-element (TH2) eine Diode (D1) und zwischen dem Knotenpunkt des ersten Widerstandes (R1) und der Zenerdiode (ZD1) und dem Knotenpunkt der Diode (D1) und des zweiten Halbleiterschalt-elementes (TH2) eine weitere Zenerdiode (ZD3) geschaltet sind. 40

### Claims

1. Electronic starter for fluorescent lamps working with a ballast device, for preheating the lamp cathodes and for triggering a firing impulse, with a first semiconductor switch (TH1), with a dividing circuit for triggering the preheating period in dependence of the mains tension applied to the ballast device, and with a timer for determining the preheating time and for acting on a second semiconductor switch (TH2) which triggers the firing impulse through its action on the command input of the first semiconductor switch (TH1), characterized in that the dividing circuit is a series circuit with a first resistor (R1), a Zener diode (ZD1) and a second resistor (R2), that the command input of the first semiconductor (TH1) is connected to the node between the Zener diode (ZD1) and the second resistor (R2) and that the elements of the series circuit (R1, ZD1, R2) are sized so that the activation of the preheating period and the firing impulse only occur when the mains voltage has reached three-quarter or more of the rated voltage of the mains, and that there is provided an impulse circuit connected in series to the first semiconductor switch (TH1), which circuit consists of a thyristor (TH3) and a voltage divider (R6, R7) and actuates the release of the firing impulse when the preheating current has a predetermined maximal value. 45
2. Electronic starter according to claim 1, characterized in that the thyristor (TH3) consists of two tran- 50

sistors (TR1, TR2).

3. Electronic starter according to claim 1 or 2, characterized by a series connection of a third resistor and a first condenser (R8, C3) which are inserted between the anode of the thyristor (TH3) and the command input of the second semiconductor switch (TH2).
4. Electronic starter according to one of claims 1 to 3, characterized in that a second condenser (C4) is inserted between the gate and the anode of the second semiconductor switch (TH2) and/or that a third condenser (C5) is inserted between anode and cathode of the thyristor (TH3).
5. Electronic starter according to one of claims 1 to 4, characterized in that a second Zener diode is connected in series with the semiconductor switch (TH1).
6. Electronic starter according to one of claims 1 to 5, characterized in that a fourth condenser (C1) is connected in parallel with the Zener diode (ZD1) and the second resistor (R2).
7. Electronic starter according to claim 6, characterized in that a fourth resistor (R3) is connected in parallel to the fourth condenser (C1).
8. Electronic starter according to one of claims 1 to 7, characterized in that a diode (D1) is connected between the command input of the first semiconductor switch (TH1) and the second semiconductor switch (TH2), and that a further Zener diode (ZD3) is connected between the node of the first resistor (R1) with the Zener diode (ZD1) and the node of the diode (D1) with the second semiconductor switch (TH2).

#### Revendications

1. Starter électronique pour lampes fluorescentes fonctionnant avec un redresseur, pour préchauffer les cathodes des lampes et pour déclencher une impulsion d'allumage, avec un premier élément semi-conducteur (TH1), avec un circuit diviseur pour déclencher la phase de préchauffage en fonction de la tension du secteur appliquée au redresseur, et avec un organe de temporisation pour déterminer le temps de préchauffage et pour commander un second élément semi-conducteur (TH2) qui déclenche l'impulsion d'allumage par action sur l'entrée de commande du premier élément semi-conducteur (TH1), caractérisé en ce que le circuit diviseur comprend un agencement en série comportant une première résistance (R1), une diode

Zener (ZD1) et une seconde résistance (R2), que l'entrée de commande du premier élément semi-conducteur (TH1) est connectée à la liaison de la diode Zener (ZD1) avec la seconde résistance (R2), et que les éléments de l'agencement en série (R1, ZD1, R2) sont dimensionnés de façon à ce que la phase de préchauffage et l'impulsion d'allumage ne soient déclenchées que lorsque la tension du réseau atteint environ les trois quarts ou plus de la tension de consigne du réseau, et en ce qu'un circuit à impulsion formé par un thyristor (TH3) et un diviseur de tension (R6, R7) est connecté en série avec le premier élément semi-conducteur (TH1), ce circuit à impulsion provoquant le déclenchement de l'impulsion d'allumage lorsque le courant de préchauffage atteint une valeur maximale prédéterminée.

2. Starter électronique selon la revendication 1, caractérisé en ce que le thyristor (TH3) est composé de deux transistors (TR1, TR2).
3. Starter électronique selon une des revendications 1 ou 2, caractérisé par un agencement en série d'une troisième résistance et d'un premier condensateur (R8, C3) disposés entre l'anode du thyristor (TH3) et l'entrée de commande du second élément semi-conducteur (TH2).
4. Starter électronique selon une des revendications 1 à 3, caractérisé par l'introduction d'un second condensateur (C4) entre la porte et la cathode du second élément semi-conducteur, et/ou d'un troisième condensateur (C5) entre l'anode et la cathode du thyristor (TH3).
5. Starter électronique selon une des revendications 1 à 4, caractérisé en ce qu'une seconde diode Zener (ZD2) est connectée en série avec l'élément semi-conducteur (TH1).
6. Starter électronique selon une des revendications 1 à 5, caractérisé en ce qu'un quatrième condensateur (C1) est connecté en parallèle à la diode Zener (ZD1) et à la seconde résistance (R2).
7. Starter électronique selon la revendication 6, caractérisé en ce qu'une quatrième résistance (R3) est connectée en parallèle au quatrième condensateur (C1).
8. Starter électronique selon une des revendications 1 à 7, caractérisé en ce qu'une diode (D1) est connectée entre l'entrée de commande du premier élément semi-conducteur (TH1) et le second élément semi-conducteur (TH2), et qu'une diode Zener additionnelle (ZD3) est connectée entre la liaison de la première résistance (R1) avec la diode Zener

(ZD1) et la liaison de la diode (D1) avec le second élément semi-conducteur (TH2).

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

6

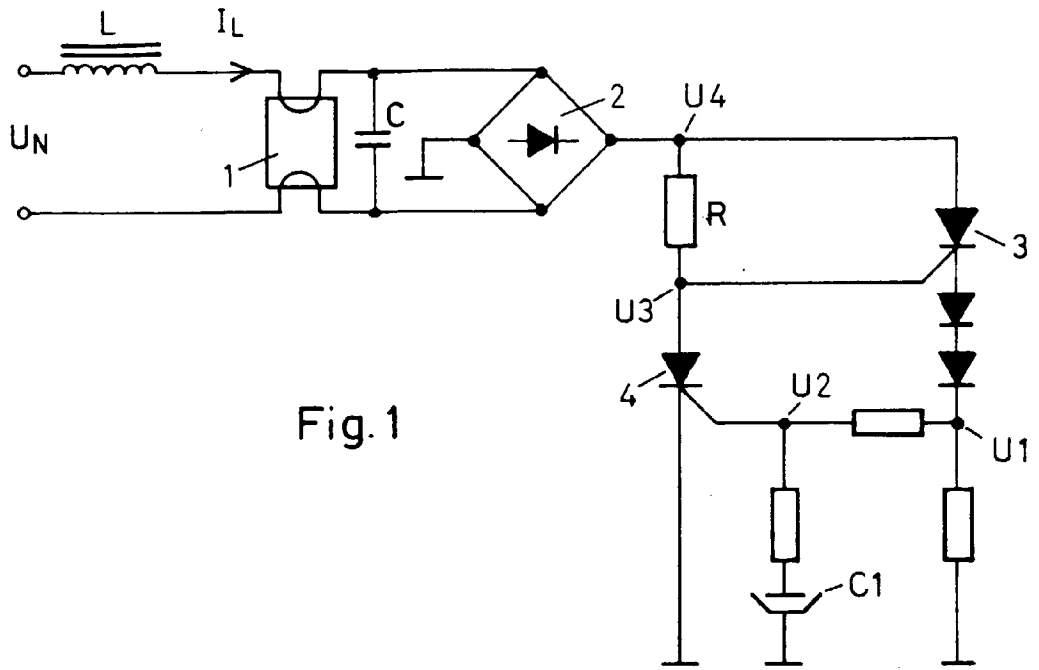


Fig. 1

