

(19)



(11)

EP 1 584 220 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
29.09.2010 Patentblatt 2010/39

(51) Int Cl.:
H05G 1/54 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **03785820.6**

(86) Internationale Anmeldenummer:
PCT/EP2003/014257

(22) Anmeldetag: **15.12.2003**

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:
WO 2004/064458 (29.07.2004 Gazette 2004/31)

(54) **HOCHSPANNUNGS-VERSORGUNG FÜR EINE RÖNTGENEINRICHTUNG**

HIGH-VOLTAGE SUPPLY FOR AN X-RAY DEVICE

ALIMENTATION HAUTE TENSION POUR UN DISPOSITIF A RAYONS X

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HU IE IT LI LU MC NL PT RO SE SI SK TR

(30) Priorität: **09.01.2003 DE 10300542**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
12.10.2005 Patentblatt 2005/41

(73) Patentinhaber: **SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT**
80333 München (DE)

(72) Erfinder:
• **KÜHNEL, Werner**
91080 Uttenreuth (DE)
• **BEYERLEIN, Walter**
91088 Bubenreuth (DE)

(56) Entgegenhaltungen:
EP-A- 0 421 720 EP-A- 0 497 517
EP-A- 0 933 980 DE-A- 2 402 125

• **PATENT ABSTRACTS OF JAPAN Bd. 0031, Nr. 13 (E-139), 19. September 1979 (1979-09-19) & JP 54 090987 A (TOSHIBA CORP), 19. Juli 1979 (1979-07-19)**

EP 1 584 220 B1

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

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Hochspannungs-Versorgung für eine Röntgeneinrichtung, die im wesentlichen aus elektrischen Leitungen besteht, die zwischen einem Hochspannungskreis und einer Röntgenröhre der Röntgeneinrichtung angeordnet sind.

[0002] Röntgenröhren sind als Hochvakuumröhren aufgebaut. Durch das Hochvakuum werden Überschläge zwischen der Kathode und der Anode der Röntgenröhre bei Anlegen der Röntgenspannung, die sich im Kilo-Volt-Bereich bewegt, grundsätzlich verhindert. Geringe Mengen an Restgasen, die das Hochvakuum verunreinigen, sind jedoch unvermeidlich. Dies gilt insbesondere deshalb, weil im Laufe des Betriebs der Röntgenröhre gasförmige Materialbestandteile im Inneren der Röhre austreten. Die Restgase können durch die Röntgenspannung ionisiert werden. Durch die Ionisation kommt es zum Überschlag und damit zum Kurzschluss innerhalb der Röntgenröhre.

[0003] Die zeitlichen Verläufe der Kurzschlussströme und der dadurch verursachten Vorgänge zum Ladungsausgleich in der Leitungen der Hochspannungs-Versorgung weisen teilweise sehr hohe Flankensteilheiten auf, da sie sehr schnell ablaufen. Das resultierende Störspektrum reicht daher bis in den oberen Mega-Hertz-Bereich hinein und ist sehr breitbandig. Zudem verursachen die Kurzschluss- und Ladungsausgleich-Ströme mit Überspannungen verbundene Schwingungen, die nur sehr langsam abklingen.

[0004] Durch derartige Störsignale und Überspannungen im Hochspannungskreis der Röntgeneinrichtung kann es zu Funktionsstörungen der Elektronik und der Computereinrichtung kommen. Häufig treten auch Bauteilausfälle auf, vor allem im Hochspannungskreis des Röntgengenerators. Neben Ausfallzeiten beim Betrieb und kostspieligen Schäden an der Röntgeneinrichtung verursachen die Störungen auch eine erhöhte Strahlungsbelastung der zu untersuchenden Patienten, die aufgrund von Anlagenausfällen wiederholt untersucht werden müssen.

[0005] Aus der EP 0 497 517 ist eine Röntgeneinrichtung bekannt, bei der je ein die elektrische Spannung begrenzender Widerstand auf jeder Seite der Röntgenröhre zur Masse hin vorgesehen ist. Besagte Widerstände verursachen jedoch Leistungsverluste im Heizstrom zur Beheizung der Kathode.

[0006] Aus der DE 24 02 125 und der JP 54090987 sind ebenfalls Röntgeneinrichtungen bekannt, bei denen spannungsbegrenzende Bauelemente vorgesehen sind, ohne dass dabei der Kathodenheizstrom berücksichtigt würde.

[0007] Aufgabe der Erfindung ist es, eine Röntgeneinrichtung anzugeben, bei der Störsignale und Überspannungen, die aufgrund von Kurzschlüssen in der Röntgenröhre auftreten, so stark gedämpft werden, dass Funktionsstörungen der Elektronik und Bauteilbeschädigungen innerhalb der Röntgeneinrichtung vermieden

werden, und bei der gleichzeitig Leistungs-Verluste eines Kathoden-Heizstroms gering gehalten werden.

[0008] Die Erfindung löst diese Aufgabe durch eine Röntgeneinrichtung mit den Merkmalen des ersten Patentanspruchs.

[0009] Ein Grundgedanke der Erfindung besteht darin, Schwingungen und Störsignale in der Hochspannungs-Versorgung der Röntgeneinrichtung, also zwischen Röntgengenerator und Röntgenröhre, zu dämpfen. Die Dämpfung wird durch Vorsehen von Abschluss-Widerständen an den Hochspannungs-Leitungen der Hochspannungs-Versorgung bewirkt. Eine Dämpfung durch Abschluss-Widerstände ist besonders unaufwändig und einfach realisierbar. Ein Heizstrom-Transformator wird über zusätzliche Filter-Induktivitäten, die parallel zu dem kathodenseitigen Abschluss-Widerstand angeordnet sind, mit der Röntgenröhre verbunden.

[0010] Eine vorteilhafte Ausgestaltung der Erfindung ergibt sich, wenn die Hochspannungs-Leitungen der Hochspannungs-Versorgung nicht an beiden Enden, sondern lediglich an einem Ende, also einseitig, mit einem Abschluss-Widerstand versehen sind. Bereits ein einseitiger Abschluss-Widerstand kann nämlich ein ausreichend schnelles Abklingen der Störsignale bewirken.

[0011] Eine besonders vorteilhafte Variante dieser Ausgestaltung ergibt sich dadurch, dass der einseitige Abschluss-Widerstand jeweils am Röntgenröhren-seitigen jeder Hochspannungs-Leitung angeordnet ist. Dadurch kann die für den Betrieb einzuhaltende hohe Ausgangsimpedanz des Röntgengenerators beibehalten werden.

[0012] Bei einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung wird die Impedanz der Abschluss-Widerstände an die Leitungsimpedanz der jeweiligen Leitung angepasst. Eine ausreichende Dämpfung ergibt sich insbesondere, wenn die Impedanz der Abschluss-Widerstände der Impedanz der Hochspannungs-Leitungen entspricht.

[0013] Weitere Ausgestaltungen der Erfindung sind Gegenstand der abhängigen Patentansprüche.

[0014] Nachfolgend werden Ausführungsbeispiele der Erfindung anhand von Figuren näher beschrieben. Die Figuren zeigen:

- 45 FIG 1 den prinzipiellen Aufbau des Hochspannungskreises einer Röntgeneinrichtung gemäß Stand der Technik,
- FIG 2 Spannungsverhältnisse in der Hochspannungs-Versorgung während des Betriebs der Röntgeneinrichtung,
- FIG 3 Spannungsverhältnisse in der Hochspannungs-Versorgung unmittelbar nach Auftreten eines Kurzschlusses in der Röntgenröhre,
- 55 FIG 4 Hochspannungs-Leitung mit parallelen Abschluss-Widerständen,

- FIG 5 Hochspannungs-Leitung mit seriellen Abschluss- Widerständen,
- FIG 6 Hochspannungskreis einer Röntgeneinrichtung mit Abschluss-Widerständen gemäß der Erfindung mit Filterinduktivitäten für Kathodenheizstrom,
- FIG 7 Hochspannungskreis einer Röntgeneinrichtung mit in die Röntgenröhre integriertem Heizstromtransformator,
- FIG 8 Hochspannungskreis einer Röntgeneinrichtung mit Hochspannungs- Glättungs-Kapazitäten an den Ausgängen des Röntgen- generators,
- FIG 9 simulierter Spannungsverlauf an der Kathode einer Röntgeneinrichtung gemäß Stand der Technik,
- FIG 10 simulierter Spannungsverlauf an der Kathode einer Röntgeneinrichtung gemäß der Erfindung.

[0015] In **Figur 1** ist der prinzipielle Aufbau des Hochspannungskreises einer Röntgeneinrichtung gemäß Stand der Technik dargestellt. Innerhalb des Röntgengenerators 1 erzeugt ein Primärspannungsgenerator 3 eine Primärspannung, die an Hochspannungs-Transformatoren 5 weitergeleitet und von diesen in eine für den Betrieb der Röntgenröhre ausreichende Hochspannung transformiert wird. Die von den Hochspannungs-Transformatoren 5 abgegebene Hochspannung wird an die Bauelemente 7, in denen eine Gleichrichter-Diode und eine Glättungs-Kapazität angedeutet sind, weitergeleitet und von diesen gleichgerichtet und geglättet. Die Bauelemente 7 geben die Hochspannung an die Dämpfungs-Widerstände 9 (R_D) ab. Die Dämpfungs-Widerstände 9 (R_D) haben die Aufgabe, den Röntgengenerator 1 weitgehend vor Überspannungen und Störsignalen aus der Hochspannungs-Versorgung zu schützen. Sie weisen normalerweise Werte in der Größenordnung einiger Kilo-Ohm auf.

[0016] An den Röntgengenerator 1 ist durch eine dazwischen liegende Hochspannungs-Versorgung die Röntgen-Röhre 15 angeschlossen, wobei die Hochspannungs-Versorgung im wesentlichen aus einer anodischen coaxialen Hochspannungs-Leitung 11 und einer kathodischen coaxialen Hochspannungs-Leitung 13 besteht. Der coaxiale Aufbau der Hochspannungs-Leitungen 11 und 13 ist durch die zeichnerische Darstellung als Kasten anstelle als Linie angedeutet. Die anodische Hochspannungs-Leitung 11 verbindet den Ausgang des Röntgengenerators 1 mit der Anode 17 der Röntgenröhre 15. Analog verbindet die kathodische Hochspannungs-Leitung 13 die Kathode 19 der Röntgenröhre 15. Die Röntgenröhre 15 kann zweistrahlig, d.h. als Zweifokus-

röhre, ausgebildet sein, weswegen die Kathode 19 andeutungsweise mit zwei Wendeln dargestellt ist. Die beiden Wendeln der Kathode 19 werden durch den Heiztransformator 21 mit Heizstrom versorgt.

[0017] Um die Probleme zu verringern, die in Zusammenhang mit in der Röntgenröhre 15 auftretenden Kurzschlüssen verursacht werden, ist es bekannt, zum einen am Röntgengenerator 1 hochohmige Dämpfungs-Widerstände 9 (R_D) im Kiloohm-Bereich vorzusehen, zum anderen in der gesamten Röntgeneinrichtung auf die saubere Erdung aller Komponenten zu achten, um eindeutige Bezugspotentiale zu gewährleisten und Induktionsschleifen zu vermeiden. Dadurch soll vor allem eine "Verschleppung" der Störpotentiale vermieden werden. Die saubere Erdung aller Komponenten ist durch die mehrfache Erdung 23 der coaxialen Hochspannungs-Leitungen dargestellt.

[0018] **Figur 2** zeigt eine schematische Darstellung des Hochspannungskreises einer Röntgeneinrichtung gemäß Stand der Technik. Durch den Generator 31 wird die Röntgenspannung U_0 erzeugt und über die Dämpfungs-Widerstände 9 (R_D) an die Hochspannungs-Leitungen 11 und 13 abgegeben. Über die Hochspannungs-Leitungen 11 und 13 liegt die Spannung an der Röntgenröhre an, die hier als Lastwiderstand 33 (R_L) eingezeichnet ist. Der Hochspannungskreis ist während des Betriebs dargestellt, d.h. in eingeschwungenem Zustand. Die anodische Hochspannungs-Leitung 11 liegt auf ihrer gesamten Länge auf Potential U_0 , die kathodische Hochspannungs-Leitung 13 liegt auf ihrer gesamten Länge auf $-U_0$ Volt. Der Anschaulichkeit halber wird in **Figur 3** und im folgenden lediglich die anodische Seite betrachtet und die kathodische außer Acht gelassen. Die Potentialverteilung auf der anodischen Hochspannungs-Leitungen ist in **Figur 2** durch Pfeile angedeutet, die mit plus, minus und U_0 bezeichnet sind. Der Potentialabfall in den Dämpfungs-Widerständen 9 (R_D) soll vernachlässigt werden.

[0019] **Figur 3** zeigt die gleiche schematische Darstellung des Hochspannungskreises gemäß Stand der Technik wie die vorhergehende **Figur 2** mit den gleichen Bezugszeichen. **Figur 3** zeigt den Hochspannungskreis jedoch zu einem anderen Zeitpunkt, nämlich unmittelbar nach Auftreten eines Kurzschlusses in der Röntgenröhre.

[0020] Das Auftreten eines Kurzschlusses in der Röntgenröhre ist damit gleichbedeutend, dass der Lastwiderstand 33 (R_L) verschwindend gering wird, d.h. $R_L = 0$. Das Verschwinden des Lastwiderstandes 33 (R_L) hat zur Folge, dass die Spannung an den Hochspannungs-Leitungen 11 sowie 13 zusammenbricht, weil die Ladungen, die sich auf den Hochspannungs-Leitungen 11 sowie 13 befinden, über den Kurzschluss in der Röntgenröhre abfließen können. Diese Art der Entladung einer gleichmäßig aufgeladenen Leitung ist ein Standardproblem, das in der Literatur bestens bekannt ist. Näherungsweise kann der Entladungsvorgang so beschrieben werden, dass die Hälfte der Ladungen auf der Leitung nach links

läuft, die andere Hälfte der Ladungen nach rechts. Dadurch bewegen sich Wellen mit der halben Ausgangsspannung, also $U_0/2$, auf jeder Leitung nach links und rechts voneinander weg. Dies ist in Figur 3 lediglich für die anodische Hochspannungs-Leitung 11 durch Pfeile angedeutet, die mit + und $U_0/2$ bezeichnet sind, und die entlang der Hochspannungs-Leitung 11 nach rechts bzw. links gerichtet sind. Die Pfeile sollen das Abfließen der Ladungen symbolisieren.

[0021] In dem Hochspannungskreis treffen die auseinander laufenden Wellen sowohl links als auch rechts auf Impedanz-Sprungstellen. Links sind dies die Dämpfungswiderstände 9 (R_D), rechts ist dies der Kurzschluss in der Röntgenröhre, also der Lastwiderstand 33 (R_L), der den Wert $R_L = 0$ angenommen hat. Die Sprungstellen in der Impedanz reflektieren die voneinander fortlaufenden Wellen, wobei ein Kurzschluss einen Reflexions-Faktor $r = -1$ bewirkt. An einem Kurzschluss reflektierte Wellen wechseln daher bekanntlich das Vorzeichen, vorliegend wechselt ihre Spannung also von $+U_0/2$ auf $-U_0/2$. Die reflektierten Wellen laufen anschließend wieder aufeinander zu, begegnen sich und laufen erneut auseinander, bis sie wieder an den Sprungstellen der Leitungsimpedanz reflektiert werden. Für die hin und herlaufenden Wellen ergibt sich eine von der Länge der Hochspannungs-Leitungen 11 bzw. 13 abhängige Schwingungsdauer. Nach einem Viertel dieser Schwingungsdauer nimmt die Hochspannungs-Leitung auf der gesamten Länge die Spannung 0 an, nach der Hälfte der Schwingungsdauer die Spannung $-U_0$ und nach drei Vierteln der Schwingungsdauer wiederum die Spannung 0, bis sich der Schwingungsvorgang nach einer ganzen Schwingungsdauer zu wiederholen beginnt. Die Schwingung setzt sich grundsätzlich endlos fort, wird in der Realität aber durch Leitungsverluste gedämpft.

[0022] Der Vereinfachung halber wurde der Vorgang nur für die anodische Hochspannungs-Leitung 11 beschrieben, die Vorgänge auf der kathodischen Hochspannungs-Leitung 13 verlaufen grundsätzlich analog dazu mit umgekehrtem Vorzeichen.

[0023] Im Ergebnis wird auf den Hochspannungs-Leitungen 11 und 13 eine Schwingung erhalten, bei der auf der jeweiligen Leitung selbst zwar keine Überspannungen auftreten, die aber wechselnd die Spannungen $+U_0$ und $-U_0$ annimmt. Daher tritt an den Dämpfungswiderständen 9 (R_D) im Verlauf der Schwingung die doppelte Spannung auf, also $2U_0$. Bei einer Länge der Hochspannungs-Leitungen von beispielsweise 12 Metern ergibt sich eine Schwingungsdauer von 266 Nano-sekunden, also eine Frequenz in der Größenordnung von einigen Mega-Hertz. Diese Schwingung, die als Störsignal aufzufassen ist, und die dabei auftretenden Überspannungen, können Bauteilausfälle und Betriebsstörungen in der Röntgeneinrichtung bewirken.

[0024] **Figur 4** zeigt die anodische Seite eines Hochspannungskreises einer Röntgeneinrichtung mit Gleichrichtungs- und Dämpfungsbauelement 7, Dämpfungswiderstand 9 (R_D), über die Erdungen 23 geerdeten ko-

axialen Hochspannungs-Leitung 11 und Röntgenröhre 15. Dieser herkömmliche Aufbau ist ergänzt durch den Abschluss-Widerstand 37 (R_A), der das Röntgengenerators-seitige Ende der Hochspannungs-Leitung 11 abschließt, und durch den Abschluss-Widerstand 38 (R_A), der das Röntgenröhren-seitige Ende der Hochspannungs-Leitung 11 abschließt. Die Abschluss-Widerstände 37, 38 (R_A) sind parallelgeschaltet, sie liegen also zwischen dem jeweiligen Ende der Hochspannungs-Leitung 11 und der Erdung 23. Sie können durch Lötens verbunden werden. Für die Leitungsimpedanz der Hochspannungs-Leitungen 11, 13 im Hochspannungskreis einer Röntgeneinrichtung sind Werte von etwa 40 bis 50 Ohm üblich. Die Abschluss-Widerstände 39 (R_A) weisen daher einen Wert von etwa 45 Ohm auf, da ihre Dämpfungswirkung optimal wird, wenn ihre Impedanz derjenigen der Hochspannungs-Leitungen 11, 13 entspricht.

[0025] Der Abschluss alleine mit parallelen Abschluss-Widerständen 37, 38 (R_A) wäre in der Realität jedoch nicht anwendbar, da im Betriebszustand an den beiden Abschluss-Widerständen 37 (R_A) und 38 (R_A) die gesamte Betriebsspannung anstünde und zur Masse hin abfiele, was zu dauerhaften und extrem hohen Leistungsverlusten führen würde. Außerdem wäre der Röntgenröhren-seitige Abschluss-Widerstand 38 (R_A) durch den Kurzschluss in der Röntgenröhre 15 kurzgeschlossen und würde damit keine Dämpfungswirkung aufbauen können.

[0026] Daher sind in Ergänzung zu den Abschluss-Widerständen 37, 38 (R_A) Hochspannungs-Glättungs-Kapazitäten 41 (C_H) vorgesehen, die zwischen diesen und der Erdung 23 in Serie geschaltet sind. Die Hochspannungs-Glättungs-Kapazitäten 41 (C_H) haben die Aufgabe, hochfrequente Störsignale und Überspannungen zur Erdung 23 passieren zu lassen, niederfrequente und Gleichspannungs-Nutzsignale jedoch zu blockieren. Sie dienen also als Hochpass, dessen Frequenz so zu wählen ist, dass Störsignale zur Erdung abfließen können, in Bezug auf Nutzsignale jedoch keine Verlustleistung auftritt. Die Hochspannungs-Glättungs-Kapazitäten 41 (C_H) verhindern außerdem, dass der Röntgenröhren-seitige Abschluss-Widerstand 38 (R_A) durch den Kurzschluss in der Röntgenröhre 15 kurzgeschlossen wird und deshalb wirkungslos bleibt. Wegen der hohen Frequenzen der Störsignale wird ein Hochpass mit relativ hoher Grenzfrequenz benötigt, daher wird als Kapazität der Hochspannungs-Glättungs-Kapazitäten 41 (C_H) ein Wert in der Größenordnung von etwa 50 Nano-Farad gewählt. Es können z.B. Keramik- oder Folien-Kondensatoren verwendet werden, die durch Lötens verbunden werden können.

[0027] **Figur 5** zeigt eine Variante der Schaltung in Abkehr von der Parallelschaltung der Abschluss-Widerstände. Dargestellt ist das Gleichrichter- und Dämpfungsbauelement 7, die koaxiale Hochspannungs-Leitung 11 samt Erdungen 23 sowie die Röntgenröhre 15. Außerdem dargestellt sind die Abschluss-Widerstände 39 (R_A), diesmal jedoch in serieller Schaltung zwischen

der Hochspannungs-Leitung 11 und dem Bauelement 7 sowie zwischen der Hochspannungs-Leitung 11 und der Röntgenröhre 15. Der Röntgengenerator-seitige niederohmige Abschluss-Widerstand 39 (R_A) ersetzt dabei den normalerweise vorzusehenden hochohmigen Dämpfungs-Widerstand R_D , der das Bauelement 7 sowie den sich dahinter anschließenden sonstigen, in der Figur 5 nicht dargestellten, Röntgengenerator vor Überspannungen schützt.

[0028] Da der normalerweise vorzusehende Dämpfungs-Widerstand R_D in der Größenordnung mehrerer Kilo-Ohm liegt, bietet der Abschluss-Widerstand 39 (R_A), der in der Größenordnung von einigen Zehn Ohm liegt, nicht den selben Schutz vor Überspannungen im Röntgengenerator 1. Der Röntgengenerator 1 müsste also ausreichend robust dimensioniert sein, um im Falle eines Kurzschlusses in der Röntgenröhre 15 Ströme im Kilo-Ampere-Bereich zu überstehen.

[0029] In einer abgeänderten Variante der Schaltung in Figur 5 weisen die Abschluss-Widerstände 39 (R_A) nicht die gleiche Impedanz wie die abzuschließenden Hochspannungs-Leitungen 11, 13 auf, sondern die doppelte Impedanz oder mehr, also mindestens 90 Ohm. Durch diese Dimensionierung wird eine weitgehend aperiodische Entladung der Hochspannungs-Leitungen 11, 13 bewirkt. Die aperiodische Entladung geht stufenweise vor sich und erfordert längere Zeit als die Entladung durch Abschluss-Widerstände 39 (R_A) mit der optimalen Impedanz von 45 Ohm. Die höhere Dimensionierung der Abschluss-Widerstände 39 (R_A) hat jedoch den Vorteil, dass der Röntgenröhren-seitige Kurzschluss-Strom stärker begrenzt wird. Ein Nachteil besteht in der höheren Dauerverlustleistung, wie durch den Abfall der Hochspannung über den Abschluss-Widerständen 39 (R_A) verursacht wird. Außerdem ist beim Betrieb einer so ausgestatteten Röntgeneinrichtung zu beachten, dass die Röntgengeneratorseitig gemessene Röntgenröhrenspannung um den erhöhten Spannungsabfall verkehrt gemessen wird. Dies kann aber durch eine rechnerische Korrektur des Messwertes kompensiert werden.

[0030] Figur 6 zeigt einen unter den beschriebenen Aspekten verbesserten Hochspannungskreis gemäß der Erfindung. Bei diesem ist hinsichtlich der Abschluss-Widerstände insofern ein Kompromiss realisiert, als hier sowohl die anodische Hochspannungs-Leitung 11 als auch die kathodische Hochspannungs-Leitung 13 jeweils nur auf einer Seite durch einen Abschluss-Widerstand 39 (R_A) abgeschlossen sind. Die Impedanz der Abschluss-Widerstände 39 (R_A) ist ungefähr gleich groß wie die Leitungsimpedanz der Hochspannungs-Leitungen 11 und 13, also ungefähr 45 Ω . Die Figur 6 zeigt den Röntgengenerator 1, darin befindlich den Primärspannungs-Erzeuger 3, die Hochspannungs-Transformatoren 5, die Gleichrichter- und Dämpfungsbauelemente 7, die Dämpfungs-Widerstände 9 (R_D) sowie den Heizstromtransformator 21. Der Röntgengenerator 1 ist über die mit der Erdung 23 verbundenen coaxialen Hochspannungs-Leitungen 11 und 13 mit der Röntgenröhre 15 verbunden.

[0031] Die Abschluss-Widerstände 39 (R_A) sind zwischen den Hochspannungs-Leitungen 11 und 13 und der Röntgenröhre 15 in Serienschaltung angeordnet. Der lediglich einseitige Abschluss der Hochspannungs-Leitungen 11 und 13 verhindert das Entstehen einer dauerhaften Schwingung bei Auftreten eines Kurzschlusses in der Röntgenröhre 15.

[0032] Von den beiden zum Ladungsausgleich in den Hochspannungs-Leitungen 11 und 13 auseinanderlaufenden Wellen mit der Spannung $+U_0/2$ bzw. $-U_0/2$ wird lediglich die jeweils in Richtung Röntgengenerator 1 laufende reflektiert, da lediglich generatorseitig ein Impedanz-Sprung auftritt. In der mit Abschluss-Widerständen 39 (R_A) ausgestatteten Richtung zur Röntgenröhre 15 laufen die Wellen ohne reflektiert zu werden weiter und die Ladungen können abfließen. Daher endet der Vorgang des Ladungsausgleiches nach einmaliger Reflexion. Der lediglich einseitige Abschluss der Hochspannungs-Leitungen 11 und 13 bietet so ein ausreichend schnelles Abklingen der Störsignale und damit eine ausreichende Dämpfung von Überspannungen.

[0033] Auf der kathodischen Hochspannungsseite tritt die Besonderheit auf, dass der Kathode nicht nur der negative Teil der Röntgenröhrenspannung zugeführt wird, sondern zusätzlich auch der Heizstrom für die Kathode. Bei einer üblichen Zweifokusröhre sind also insgesamt drei Leitungen vorhanden, die die beiden Kathodenwendeln mit Heizstrom und der kathodischen Röntgenspannung versorgen. Würde in die Heizstrom-Versorgung ebenfalls ein Abschluss-Widerstand eingefügt werden, so würden unvermeidbar hohe Verluste beim Heizstrom - der immerhin einige Ampere beträgt - verursacht werden. Da die drei Abschluss-Widerstände auf den Leitungen parallel zueinander geschaltet wären, müssten sie zudem einen dreimal größeren Widerstandswert als der einfache Abschluss-Widerstand 39 (R_A) aufweisen, weswegen sich die Heizstrom-Verluste sogar noch verdreifachen würden.

[0034] Um trotzdem den Heizstrom-Transformator 21 im Falle eines Kurzschlusses in der Röntgenröhre 15 vor Überspannungen und Störsignalen zu schützen, werden deswegen anstelle von Abschluss-Widerständen zusätzliche Filter-Induktivitäten 40 eingeführt. Diese zusätzlichen Filter-Induktivitäten 40 werden als stromkompensierte Drosseln ausgeführt und in aller Regel durch Lötens verbunden. Sie haben die Aufgabe, die hochfrequenten Störsignale in der Hochspannungs-Leitung 13 zu blockieren, den niederfrequenten Heizstrom hingegen passieren zu lassen. Insofern stellen sie eine Tiefpassfilterung dar. Zu diesem Zweck sind sie in serieller Schaltung zwischen der Röntgenröhre 15 und der Hochspannungsleitung 13 sowie dem Heizstrom-Transformator 21 angeordnet und in paralleler Schaltung zu dem Abschluss-Widerstand 39 (R_A). Die Größe der Filter-Induktivitäten 40 ist abhängig von den Störsignalen in der Hochspannungs-Leitung 13 bzw. 11 zu bemessen. Da die Störsignale sich im Mega-Hertz-Bereich bewegen, der Heizstrom üblicherweise im Kilo-Hertz-Bereich, sind

die Filter-Induktivitäten 40 mit einer Größe von etwa 50 Mikro-Henry zu bemessen.

[0035] In einer verbesserten Ausführungsform dieser Schaltung wäre es möglich, die Filter-Induktivitäten 40 auf der kathodischen Hochspannungsseite als stromkompensierte Drossel auszuführen, um so die Gesamtinduktivität gegenüber dem Heizstrom nochmals zu reduzieren, ohne die Filter-Wirksamkeit gegenüber den hochfrequenten Störungssignalen zu verringern.

[0036] **Figur 7** zeigt eine weitere Variante, die bezüglich der Versorgung der Kathode mit Heizstrom wesentlich geändert ist. **Figur 7** zeigt den Hochspannungskreis mit dem Röntgengenerator 1 und den bereits aus den vorhergehenden Figuren bekannten internen Baugruppen. An den Röntgengenerator 1 sind die anodische Hochspannungs-Leitung 11 und die kathodische Hochspannungs-Leitung 13 angeschlossen, diese wiederum sind mit den Abschluss-Widerständen 39 (R_A) in Serienschaltung verbunden. Bei dem bisher gezeigten, herkömmlichen Aufbau der Röntgeneinrichtung ist der Heizstrom-Transformator 21 in der Peripherie der Röntgenröhre 15 angeordnet, etwa im Röntgengenerator 1 oder innerhalb des Hochspannungstanks, der die Röntgenröhre 15 zum Schutz der Umgebung vor Hochspannung und Strahlung umgibt. Im Gegensatz zu diesem herkömmlichen Aufbau ist der Heizstrom-Transformator 21 in **Figur 7** innerhalb der Röntgenröhre 15 angeordnet. Dadurch ist der Heizstrom-Transformator 21 von den Störungsvorgängen in der Hochspannungs-Leitung 13 von vorne herein entkoppelt. Es müssen daher keine zusätzlichen Filter-Induktivitäten zur Filterung von Überspannungen oder Störsignalen vor der Heizstromversorgung angeordnet werden.

[0037] Es ist offensichtlich, dass diese Variante der Erfindung eine Änderung im Aufbau der gesamten Röntgeneinrichtung erforderlich macht. Dagegen können Änderungen wie das Ergänzen von Abschluss-Widerständen und zusätzlichen Filter-Induktivitäten mit deutlich geringerem Aufwand durchgeführt werden.

[0038] **Figur 8** zeigt eine weitere Variante des Hochspannungskreises, bei der die Hochspannungs-Leitungen 11 und 13 ebenfalls jeweils einseitig mit Abschluss-Widerständen 39 (R_A) versehen sind. **Figur 8** zeigt den Röntgengenerator 1 mit den Dämpfungs-Widerständen 9 (R_D) und ansonsten gleichen Bauelementen wie in den vorhergehenden Figuren. An den Röntgengenerator 1 sind sowohl auf der anodischen als auch auf der kathodischen Seite die Abschluss-Widerstände 39 (R_A) angeschlossen, mit denen wiederum die coaxialen Hochspannungs-Leitungen 11 und 13 mit jeweiligen Erdungen 23 verbunden sind. Die Abschluss-Widerstände 39 (R_A) sind seriell zwischen den Hochspannungs-Leitungen 11 und 13 und dem Röntgengenerator 1 geschaltet. Im Röntgengenerator 1 sind außerdem in üblicher Weise Dämpfungs-Widerstände 9 (R_D) angeordnet, die in der üblichen Größenordnung von einigen Kilo-Ohm bemessen sind. Die Abschluss-Widerstände 39 (R_A) sind also zusätzlich zu den Dämpfungs-Widerständen 9 (R_D) in-

nerhalb des Röntgengenerators 1 vorgesehen.

[0039] Zwischen den Abschluss-Widerständen 39 (R_A) und den Dämpfungs-Widerständen 9 (R_D) des Röntgengenerators 1 sind Hochspannungs-Glättungs-Kapazitäten 41 (C_H) vorgesehen, in aller Regel Keramik- oder Folien-Kondensatoren, die durch Lötens verbunden werden. Die Hochspannungs-Glättungs-Kapazitäten 41 (C_H) sind mit dem jeweiligen Verbindungspunkt zwischen den Dämpfungs-Widerständen 9 (R_D) und den Abschluss-Widerständen 39 (R_A) sowie mit der jeweiligen Erdung 23 verbunden. Sie sind also parallel zu den Dämpfungs-Widerständen 9 (R_D) und parallel zu den Abschluss-Widerständen 39 (R_A) geschaltet.

[0040] Die Hochspannungs-Leitungen 11 und 13 sind bei dieser Variante der Schaltung mit der Serienschaltung der jeweiligen Abschluss-Widerstände 39 (R_A) und den jeweiligen Hochspannungs-Glättungs-Kapazität 41 (C_H) abgeschlossen. Damit näherungsweise nur der Ohm'sche Widerstand der Abschluss-Widerstände 39 (R_A) zur Leitungsimpedanz beiträgt, müssen die Hochspannungs-Glättungs-Kapazitäten 41 (C_H) groß genug gewählt sein, um bezüglich der Ausgleichsvorgänge in den Hochspannungs-Leitungen 11 und 13 niederohmig zu wirken. Mit dem für diesen Zweck erforderlichen Wert von etwa 50 Nano-Farad ist diese Variante der Schaltung insbesondere in Röntgeneinrichtungen von Interesse, in deren Hochspannungskreis von vorneherein eine große Hochspannungs-Glättungs-Kapazität vorgesehen ist.

[0041] **Figur 9** zeigt eine Simulation des Spannungsverlaufs an der Kathode eines herkömmlichen Hochspannungskreises einer Röntgeneinrichtung, wie er in **Figur 1** dargestellt ist. In **Figur 9** ist die kathodische Hochspannung über der Zeit aufgetragen, wobei von einer Röntgen-typischen Hochspannung von 100 Kilo-Volt ausgegangen wird. Bei 50 Nano-Sekunden wird ein Kurzschluss in der Röntgenröhre simuliert, der deutlich am Zusammenbrechen der kathodischen Spannung erkennbar ist. Der Kurzschluss setzt schlagartig ein und endet ebenso schlagartig bei 300 Nano-Sekunden. Dargestellt sind zwei Spannungsverläufe, von denen einer am Anfang der Hochspannungs-Leitung 13 abgegriffen ist, der andere am Ende der Hochspannungs-Leitung 13. Deutlich zu erkennen sind starke Störsignale, die sich nach Ende des Kurzschlusses über längere Zeit und mit deutlichen Überspannungsspitzen fortsetzen. Während des Auftretens dieser Störungen wäre ein Betrieb der Röntgenröhre nicht sinnvoll möglich bzw. Bauteildefekte könnten auftreten.

[0042] **Figur 10** zeigt die gleiche Simulation bei Zugrundelegung einer Schaltung gemäß der Erfindung, wie er in **Figur 6** dargestellt ist. Dargestellt ist wieder die kathodische Spannung über der Zeit. Die beiden Spannungsverläufe stellen wieder die Spannung am Anfang bzw. am Ende der Hochspannungs-Leitung 13 dar. Bei 50 ns setzt schlagartig ein Kurzschluss in der Röntgenröhre ein, der bei 300 ns ebenso schlagartig endet. Nach Ende des Kurzschlusses bleiben Überspannungen und Störsignale völlig aus. Stattdessen steigt die kathodische

Spannung, gedämpft durch den Abschluss-Widerstand und die Filterinduktivitäten, nach und nach wieder an. Nach etwa 7 MikroSekunden, ein Zeitpunkt, der in Figur 10 nicht mehr dargestellt ist, erreicht die Kathode wieder die Betriebsspannung.

[0043] Durch die Einführung von Abschluss-Widerständen und dazu parallel geschalteten Filter-Induktivitäten gelingt es also, die Röntgeneinrichtung vor Störungen und Beschädigungen durch die Folgen eines Kurzschlusses in der Röntgenröhre weitestgehend zu bewahren. Es muss lediglich eine geringe Zeit in Kauf genommen werden, bis nach Ende eines Kurzschlusses in der Röntgenröhre die Röntgenspannung wieder erreicht ist, so dass mit dem Betrieb der Röntgeneinrichtung fortgefahren werden kann.

Patentansprüche

1. Hochspannungs-Versorgung (11, 13, 23) _für eine Röntgeneinrichtung mit einer Röntgenröhre (15) und einem Röntgengenerator (1) zur Erzeugung der für den Betrieb der Röntgenröhre (15) erforderlichen Hochspannung, wobei die Hochspannungs-Versorgung (11, 13, 23) eine elektrisch leitfähige Leitung (11, 13) zur Verbindung des Röntgengenerators (1) mit der Röntgenröhre (15) aufweist, wobei die Leitung (11, 13) ein Ende aufweist, an dem sie mit dem Röntgengenerator (1) verbindbar ist, und ein weiteres Ende, an dem sie mit der Röntgenröhre (15) verbindbar ist, wobei mindestens ein Ende der Leitung (11, 13) mit einem elektrischen Abschluss-Widerstand (39) verbunden ist, der zwischen der Leitung (11, 13) und dem Röntgengenerator (1) oder zwischen der Leitung (11, 13) und der Röntgenröhre (15) angeordnet ist, wobei durch die Hochspannungs-Versorgung (11, 13, 23) eine Kathode (19) der Röntgenröhre (15) mit einem Transformator (21) zur Erzeugung von Heizstrom für die Kathode (19) verbindbar ist,
dadurch gekennzeichnet, dass in jeder elektrischen Leitung zur Verbindung von Heizstrom-Transformator (21) und Kathode (19) eine Filter-Induktivität (40), insbesondere in der Größenordnung von 50 μ H, in serieller Schaltung angeordnet ist, dass mit dem mit der Kathode (19) verbindbaren Ende der Leitung (13) zur Verbindung von Röntgengenerator (1) und Kathode (15) ein Abschluss-Widerstand (39) in serieller Schaltung verbunden ist, dass mit dieser Leitung (13) auch der Heizstrom-Transformator (21) verbindbar ist, und dass jede der besagten Filter-Induktivitäten (40) parallel zu dem Abschluss-Widerstand (39) angeordnet ist.
2. Hochspannungs-Versorgung (11, 13, 23) nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet, dass der Abschluss-Widerstand (39) und/oder die Abschluss-Widerstände

(39) in serieller Schaltung zwischen der Leitung (11, 13) und dem Röntgengenerator (1) oder der Röntgenröhre (15) anordenbar sind.

3. Hochspannungs-Versorgung (11, 13, 23) nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass die Impedanz des Abschluss-Widerstands (39) und/oder der Abschluss-Widerstände (39) entweder gleich groß oder mindestens doppelt so groß wie die Leitungsimpedanz der damit verbundenen Leitung (11, 13) ist.
4. Hochspannungs-Versorgung (11, 13, 23) nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass jeweils genau ein Abschluss-Widerstand (39) mit einer Leitung (11) zur Verbindung von Röntgengenerator (1) und einer Anode (17) der Röntgenröhre (1) und mit einer Leitung (13) zur Verbindung von Röntgengenerator verbunden ist.
5. Hochspannungs-Versorgung (11, 13, 23) nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass die besagten Filter-Induktivitäten (40) als stromkompensierte Drossel ausgeführt sind.
6. Hochspannungs-Versorgung (11, 13, 23) nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass ein Abschluss-Widerstand (39) mit dem mit dem Röntgengenerator (1) verbindbaren Ende einer Leitung (11, 13) zur Verbindung von Röntgengenerator (1) und Röntgenröhre (15) verbunden ist, und dass mit der Verbindung zwischen Röntgengenerator (1) und Abschluss-Widerstand (39) eine Hochspannungs-Glättungs-Kapazität (41) seriell zur Erdung (23) verbindbar ist, insbesondere in der Größenordnung von 50 nF.
7. Hochspannungs-Versorgung (11, 13, 23) nach Anspruch 1, 2, 3, 4, 5, 6 oder 7,
dadurch gekennzeichnet, dass die Abschluss-Widerstände (39) jeweils mit den mit der Röntgenröhre (1) verbindbaren Enden von Leitungen (11, 13) zur Verbindung von Röntgengenerator (1) und Röntgenröhre (15) verbunden sind.

Claims

1. High-voltage supply (11, 13, 23) for an x-ray device comprising an x-ray tube (15) and an x-ray generator (1) for generation of the high voltage necessary for operating the x-ray tube (15), with the high voltage supply (11, 13, 23) having an electrically-conductive line (11, 13), for the connection of the x-ray generator (1) to the x-ray tube (15), with the line (11, 13) having one end at which it can be connected to the x-ray

generator (1) and a further end at which it can be connected to the x-ray tube (15), with at least one end of the line (11, 13) being connected to an electrical terminal resistor (39) which is arranged between the line (11, 13) and the x-ray generator (1), or between the line (11, 13) and the x-ray tube (15), it being possible by means of the high voltage supply for a cathode (19) of the x-ray tube (15) to be connected to a transformer (21) for generation of heating current for the cathode (19), **characterised in that** a filter inductor (40), in particular in the order of 50 μ H, is arranged in series in each electrical line for the connection of the heating current transformer (21) and the cathode (19), that a terminal resistor (39) is connected in series with the end of the line (13) which can be connected to the cathode (19) for the connection of the x-ray generator (1) and the cathode (15), that the heating current transformer (21) can also be connected to this line (13) and that each of the said filter inductors (40) is arranged in parallel with the terminal resistor (39).

2. High-voltage supply (11, 13, 23) according to claim 1, **characterized in that** the terminal resistor and/or resistors (39) can be arranged in series between the line (11, 13) and the x-ray generator (1) or the x-ray tube (15).
3. High-voltage supply (11, 13, 23) according to one of the preceding claims, **characterised in that** the impedance of the terminal resistor and/or resistors (39) is either equally as large or at least twice as large as the line impedance of the line (11, 13) connected thereto.
4. High-voltage supply (11, 13, 23) according to one of the preceding claims, **characterised in that** just one terminal resistor (39) is connected in each instance to a line (11) for the connection of the x-ray generator (1) and an anode (17) of the x-ray tube (1) and to a line (13) for the connection of the x-ray generator.
5. High-voltage supply (11, 13, 23) according to one of the preceding claims, **characterised in that** the said filter inductors (40) are embodied as common mode chokes.
6. High-voltage supply (11, 13, 23) according to one of the preceding claims, **characterised in that** a terminal resistor (39) is connected to the end of a line (11, 13) which can be connected to the x-ray generator (1) for the connection of the x-ray generator (1) and the x-ray tube (15), and that with the

connection between the x-ray generator (1) and the terminal resistor (39), a high-voltage smoothing capacitor (41) can be connected in series with the earth (23), in particular in the order of 50 nF.

7. High-voltage supply (11, 13, 23) according to claim 1, 2, 3, 4, 5, 6 or 7, **characterised in that** the terminal resistors (39) are each connected to the ends of lines (11, 13) which can be connected to the x-ray tube (1) for connection of the x-ray generator (1) and the x-ray tube (15).

15 Revendications

1. Alimentation haute tension (11, 13, 23) pour une installation radiographique comprenant un tube à rayons X (15) et un générateur de rayons X (1) pour produire la haute tension nécessaire pour le fonctionnement du tube à rayons X (15), l'alimentation haute tension (11, 13, 23) comprenant une ligne électroconductrice (11, 13) de connexion du générateur de rayons X (1) au tube à rayons X (15), la ligne (11, 13) présentant une extrémité au niveau de laquelle elle peut être reliée au générateur de rayons X (1) et une autre extrémité au niveau de laquelle elle peut être reliée au tube à rayons X (15), au moins une extrémité de la ligne (11, 13) étant reliée à une résistance électrique terminale (39) qui est installée entre la ligne (11, 13) et le générateur de rayons X (15) ou entre la ligne (11, 13) et le tube à rayons X (15), une cathode (19) du tube à rayons X (15) pouvant être reliée, grâce à l'alimentation haute tension (11, 13, 23), à un transformateur (21) servant à produire un courant de chauffage pour la cathode (19), **caractérisée en ce qu'une** inductance de filtre (40), notamment d'un ordre de grandeur de 50 μ H, est montée en série dans chaque ligne électrique de connexion du transformateur à courant de chauffage (21) à la cathode (19), **en ce qu'une** résistance terminale (39) est branchée en série avec l'extrémité, pouvant être reliée à la cathode (19), de la ligne (13) de connexion du générateur de rayons X (1) à la cathode (15), **en ce que** le transformateur à courant de chauffage (21) peut également être relié à cette ligne (13) et **en ce que** chacune des inductances de filtre (40) mentionnées est parallèle à la résistance terminale (39).
2. Alimentation haute tension (11, 13, 23) selon la revendication 1, **caractérisée en ce que** la résistance terminale (39) et/ou les résistances terminales (39) peuvent être branchées en série entre la ligne (11, 13) et le générateur de rayons X (1) ou le tube à rayons X (15).
3. Alimentation haute tension (11, 13, 23,) selon l'une

des revendications précédentes, **caractérisée en ce que** l'impédance de la résistance terminale (39) et/ou des résistances terminales (39) est soit égale à, soit au moins égale au double de l'impédance de ligne de la ligne à laquelle elle/s est/sont reliée/s. 5

4. Alimentation haute tension (11, 13, 23) selon l'une des revendications précédentes, **caractérisée en ce que**, à chaque fois, exactement une résistance terminale (39) est reliée à une ligne (11) de connexion du générateur de rayons X (1) à une anode (17) du tube à rayons X (1) et à une ligne (13) de connexion du générateur de rayons X. 10

5. Alimentation haute tension (11, 13, 23) selon l'une des revendications précédentes, **caractérisée en ce que** les inductances de filtre (40) mentionnées sont exécutées en tant que selfs à compensation de courant. 15

6. Alimentation haute tension (11, 13, 23) selon l'une des revendications précédentes, **caractérisée en ce qu'une** résistance terminale (39) est reliée à une extrémité, pouvant être reliée au générateur de rayons X (1), d'une ligne (11, 13) de connexion du générateur de rayons X (1) au tube à rayons X (15) et **en ce qu'un** condensateur de lissage de la haute tension (41), notamment d'un ordre de grandeur de 50 nF, monté en série avec la terre (23) peut être relié à la jonction entre le générateur de rayons X (1) et la résistance terminale (39). 20 25 30

7. Alimentation haute tension (11, 13, 23) selon la revendication 1, 2, 3, 4, 5, 6 ou 7, **caractérisée en ce que** les résistances terminales (39) sont reliées à chaque fois aux extrémités, pouvant être reliées au tube à rayons X (1), de lignes (11, 13) de connexion du générateur de rayons X (1) au tube à rayons X (15). 35

40

45

50

55

FIG 1

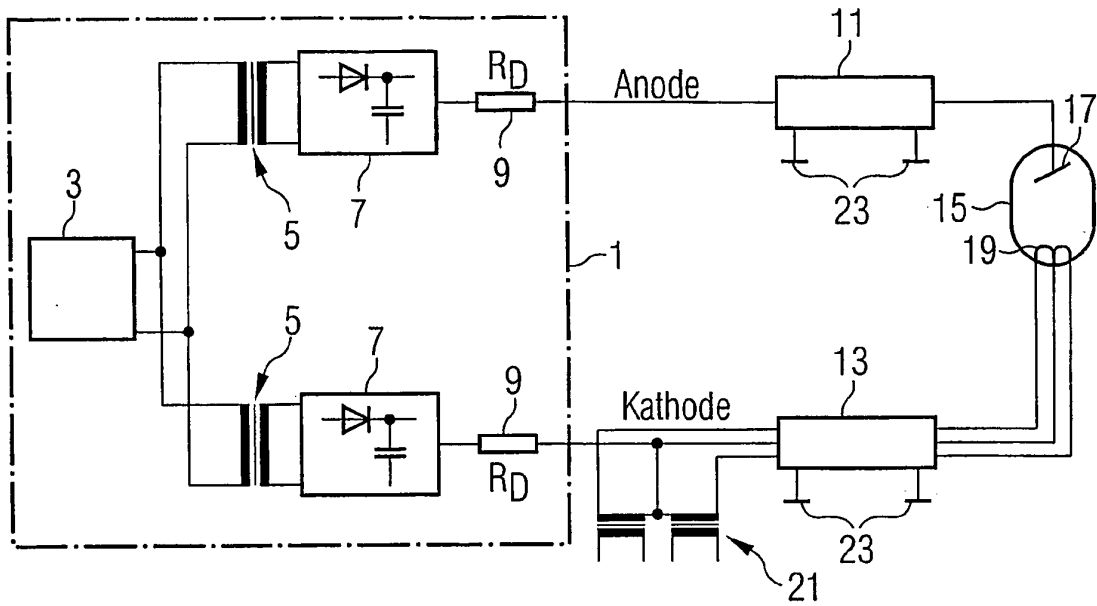


FIG 2

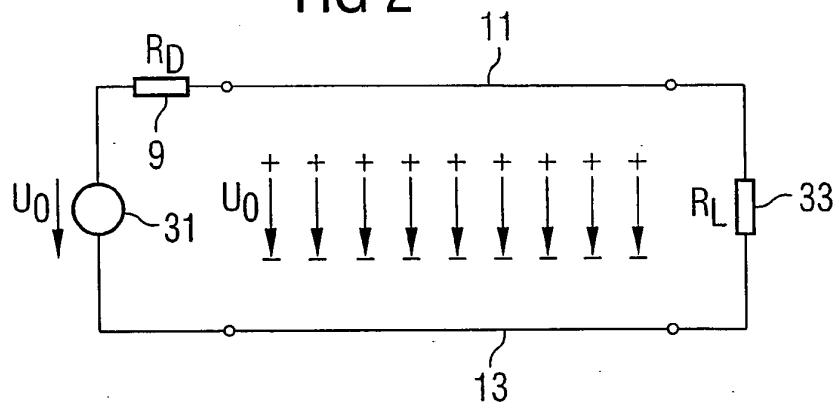


FIG 3

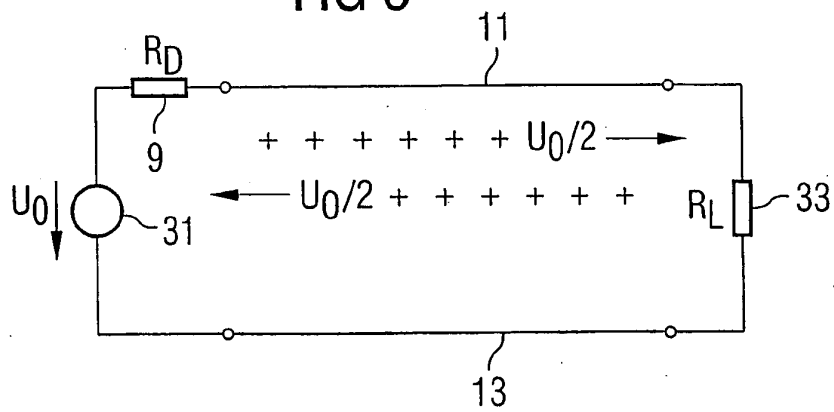


FIG 4

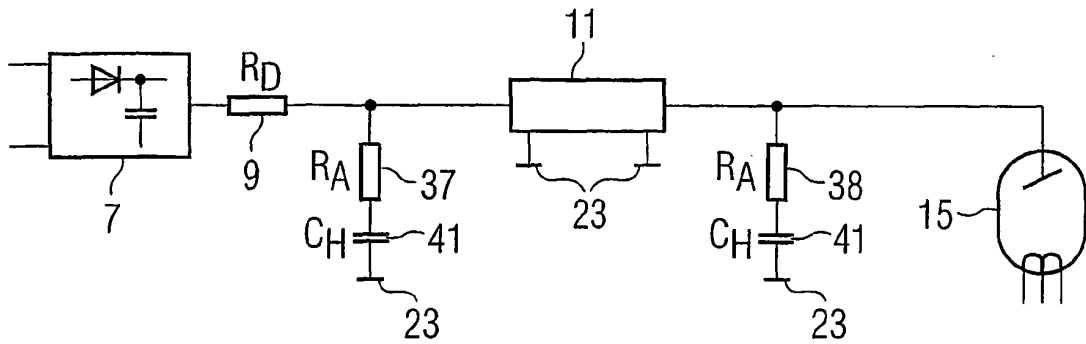


FIG 5

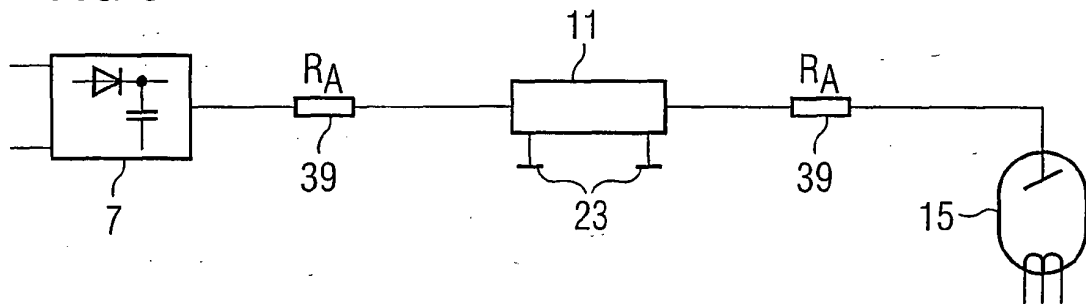


FIG 6

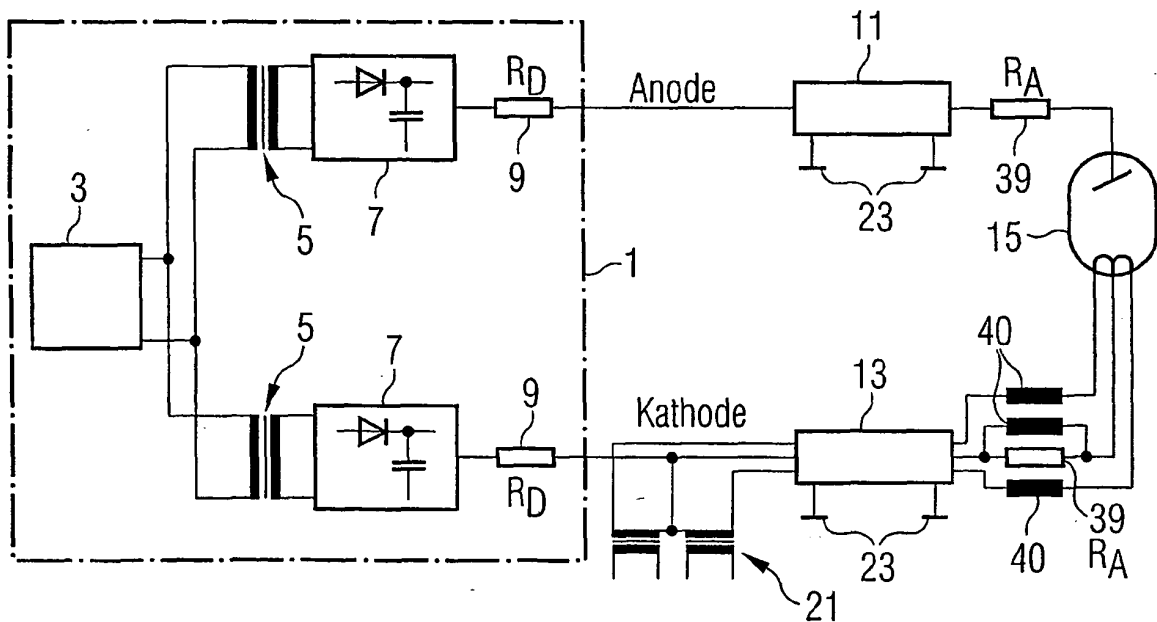


FIG 7

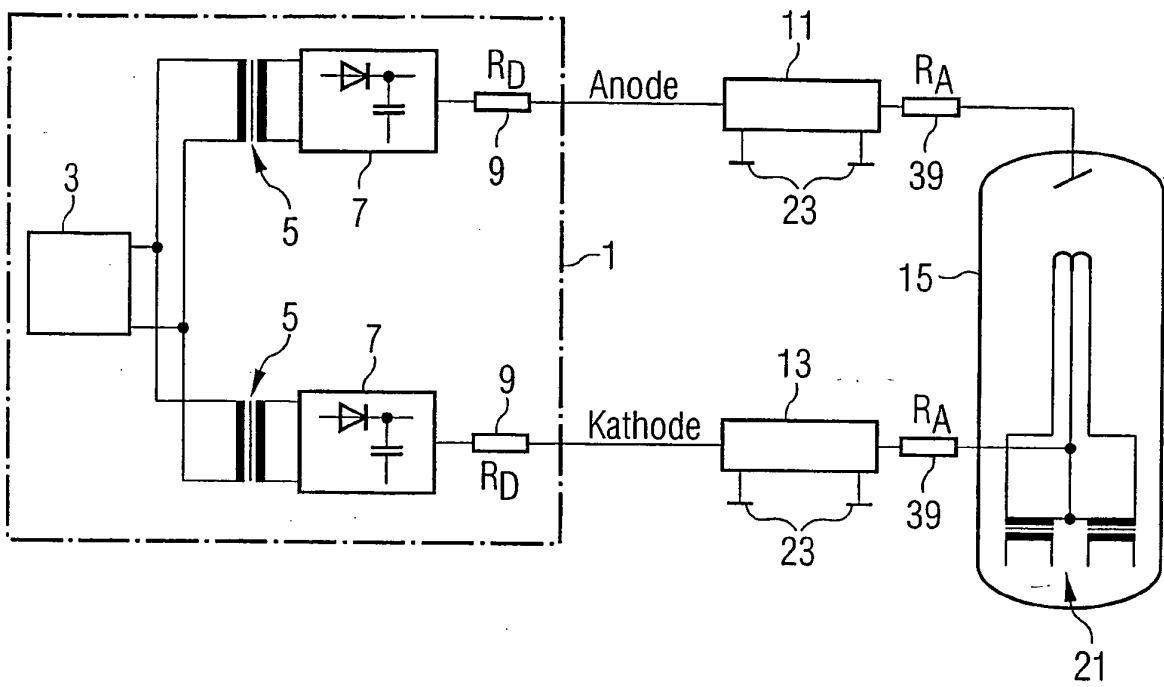


FIG 8

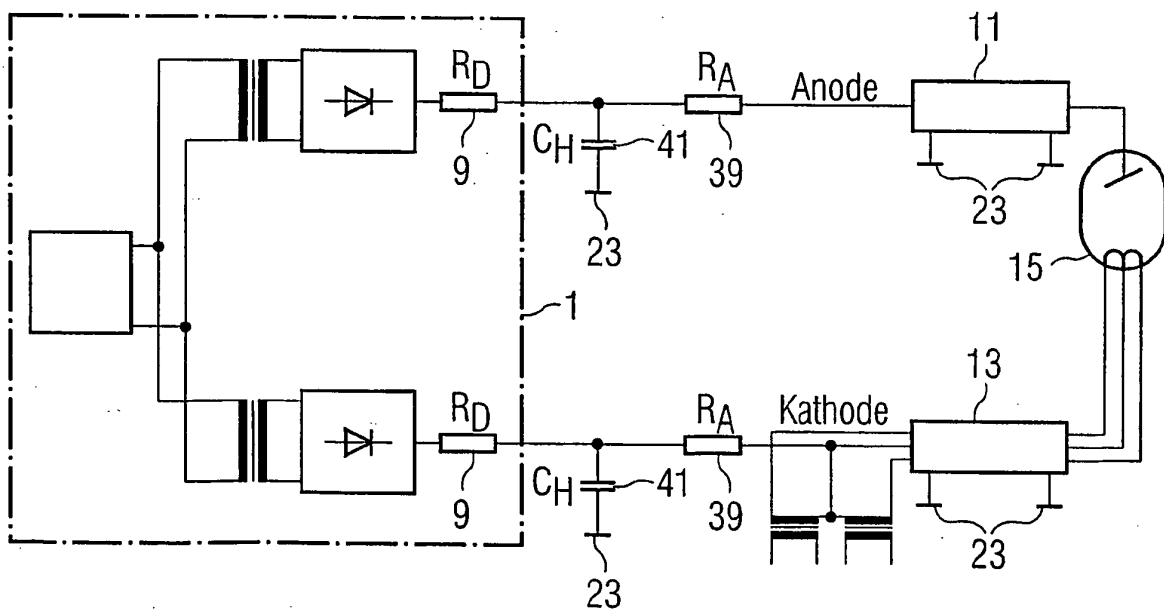


FIG 9

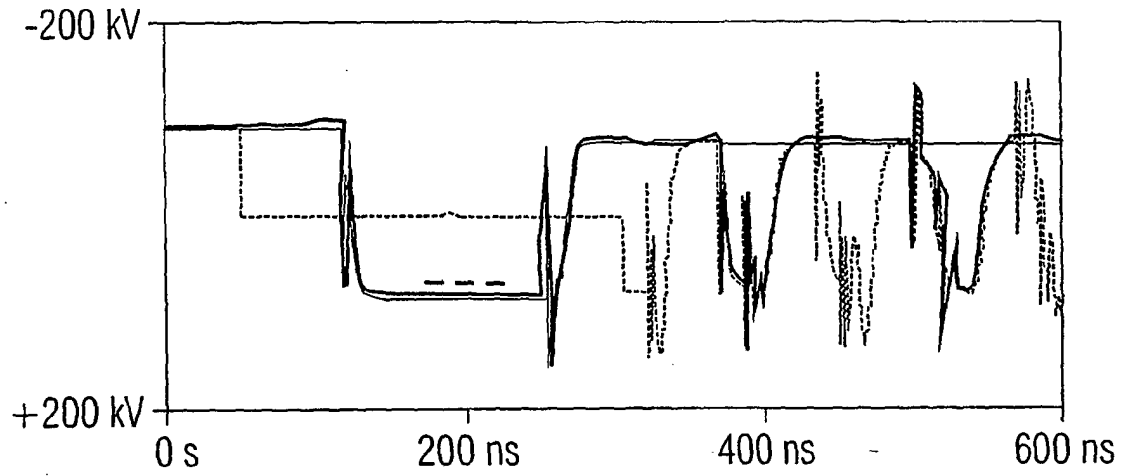
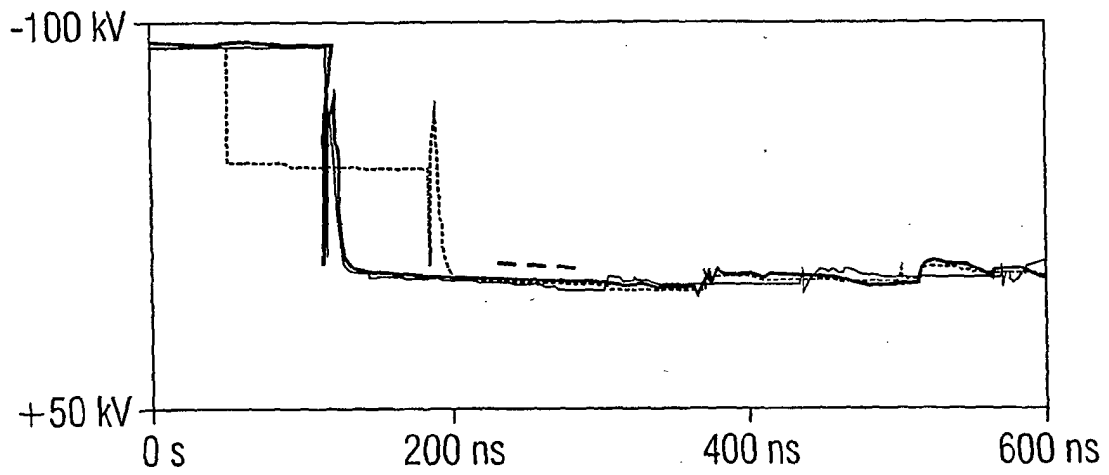


FIG 10



IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

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

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- EP 0497517 A [0005]
- DE 2402125 [0006]
- JP 54090987 B [0006]