



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
31.01.2024 Patentblatt 2024/05

(21) Anmeldenummer: **22187539.6**

(22) Anmeldetag: **28.07.2022**

(51) Internationale Patentklassifikation (IPC):
H01J 35/04 ^(2006.01) **H01J 35/06** ^(2006.01)
H05G 1/08 ^(2006.01) **H05G 1/32** ^(2006.01)
H05G 1/46 ^(2006.01)

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):
H01J 35/066; H01J 35/045; H05G 1/085;
H05G 1/56; H01J 35/26; H01J 2235/062;
H01J 2235/068; H05G 1/32; H05G 1/46

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB
GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO
PL PT RO RS SE SI SK SM TR
Benannte Erstreckungsstaaten:
BA ME
Benannte Validierungsstaaten:
KH MA MD TN

(71) Anmelder: **Siemens Healthcare GmbH**
91052 Erlangen (DE)

(72) Erfinder: **Deuringer, Josef**
91074 Herzogenaurach (DE)

(74) Vertreter: **Siemens Healthineers**
Patent Attorneys
Siemens Healthcare GmbH
SHS TE IP
Henkestraße 127
91052 Erlangen (DE)

(54) **RÖNTGENSTRAHLENQUELLE MIT EINER GITTERSPPANNUNGSEINHEIT**

(57) Die Erfindung betrifft eine Röntgenstrahlenquelle, aufweisend

- eine Kathodeneinrichtung zur Emission von Elektronen,
- einen ersten Anodenbereich,
- einen zweiten Anodenbereich,
- zumindest ein Hochspannungskabel und
- eine Hochspannungsquelle zur Bereitstellung einer Hochspannung in dem Hochspannungskabel für die Beschleunigung der Elektronen,

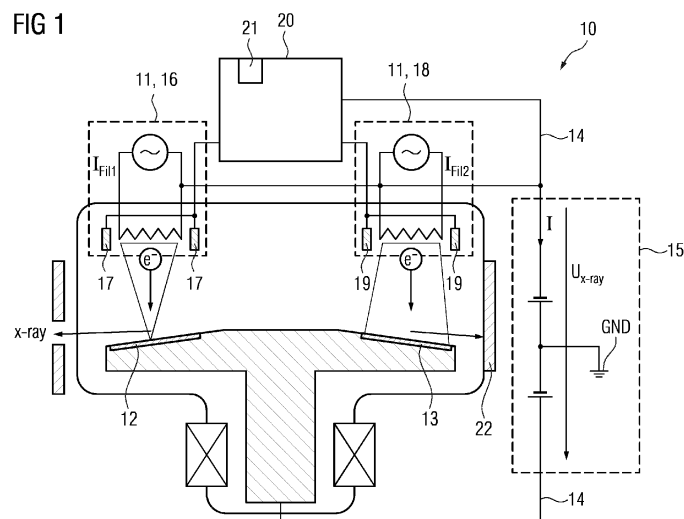
wobei die Hochspannung größer 10 kV beträgt und die Hochspannungsquelle gemeinsam mit dem Hochspannungskabel eine Kapazität zur Bereitstellung eines Generatorstroms bildet,

wobei die Kathodeneinrichtung

- eine erste gittergeschaltete Kathode mit einem ersten Gitter und
- eine zweite gittergeschaltete Kathode mit einem zweiten Gitter aufweist,

gekennzeichnet durch

- eine Gitterspannungseinheit, welche eine Schnittstelle zum Empfang eines Steuersignals aufweist und dazu ausgebildet ist, durch ein Regeln der ersten Gitterspannung am ersten Gitter und durch ein Regeln der zweiten Gitterspannung am zweiten Gitter die in der Kapazität vorhandene Ladungsmenge und somit den Generatorstrom in Abhängigkeit des Steuersignals zu regeln.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Röntgenstrahlenquelle.

[0002] Eine herkömmliche Röntgenstrahlenquelle generiert mittels kathodenseitig erzeugten Elektronen Röntgenstrahlen auf der Anode. Bestimmte Anwendungen der Röntgenstrahlen erfordern regelmäßig ein schnelles Regeln der Röntgenstrahlen, wodurch beispielsweise die Röntgenstrahlen unmittelbar abgeschaltet und/oder angeschaltet werden sollen. Eine weitere Anwendung betrifft die Variation der maximalen Energie der Röntgenstrahlen, um z.B. bei einer Dual-Energie-Bildaufnahme die energieabhängige Schwächung bei den durchleuchteten Materialien zur Materialunterscheidung nutzen zu können.

[0003] Für das schnelle Schalten weist eine herkömmliche Röntgenstrahlenquelle beispielsweise ein Gitter auf, welches den an der Kathode generierten Strom an Elektronen (Röhrenstrom) in Abhängigkeit von der Gitterspannung passieren, fokussieren oder sperren kann. Das schnelle Schalten einer solchen herkömmlichen Röntgenstrahlenquelle mittels der Gitterspannung führt regelmäßig zu einem Hochspannungsüberschwingen und/oder Hochspannungsunterschwingen, insbesondere wenn die Taktperiode kleiner 1 ms ist. Ursächlich ist dafür typischerweise, dass eine herkömmliche Hochspannungsquelle, welche diese gepulsten Gitterspannungen bereitstellen kann, üblicherweise nicht schnell genug reagieren kann. Gepulst bedeutet in diesem Anwendungsfall insbesondere An und Aus. Dies liegt insbesondere an den Ladungsmengen, welche in der Leistungselektronik der Hochspannungsquelle in vorgesehenen oder parasitären Kapazitäten vorgehalten sind und zu vergleichsweise flachen Kanten bei Gitterspannung und/oder Strömen durch die Entladung oder Aufladung der Kapazitäten führen können. Regelmäßig ist es also nicht möglich, die Hochspannungsquelle mit der Gitterspannung zu synchronisieren. Somit ist ein zum vorgesehenen Takt der Röntgenstrahlenemission zeitsynchrones Schalten üblicherweise nicht möglich, weil die bisherigen Schaltzeiten relativ groß sind.

[0004] DE 10 2007 042 108 A1 betrifft eine Elektronenquelle umfassend einen eine Elektronenemissionskathode aufweisenden Elektronenemitter, eine zur Energieversorgung der Elektronenemissionskathode vorgesehene Hochspannungseinheit sowie eine zur Ansteuerung der Hochspannungseinheit vorgesehene Niederspannungseinheit. Zwischen der Hochspannungseinheit und der Niederspannungseinheit werden nicht elektrisch, insbesondere optisch, Daten übertragen.

[0005] In DE 10 2013 219 173 A1 ist eine schnell regelbare Hochspannungsversorgung zum elektrischen Fokussieren eines Elektronenstrahls mit einer Hochspannungsendstufe beschrieben. Die Hochspannungsendstufe weist eine Mehrzahl an Verstärkerelementen auf, die in Serie geschaltet mit einem ersten Hochspannungsanschluss in Verbindung stehen, eine Spannungs-

teilerkette mit einer Serie von Spannungsteilergliedern, die mit dem ersten Hochspannungsanschluss verbunden ist und mit den Verstärkerelementen in Signalverbindung stehen, sodass bei Anlegen einer Spannung über die Spannungsteilerkette eine Differenz von Spannungen zwischen dem Signaleingang eines Verstärkerelements und dem Signaleingang des jeweils nächsten Verstärkerelements jeweils gleiches Vorzeichen besteht.

[0006] US 11,000,248 B2 beschreibt Verfahren und Systeme für Dual-Energie-Bildgebung, wobei in einer Ausführung ein Verfahren die Schritte Kontrollieren einer Röntgenstrahlenquelle mit einer ersten Spannung zur Generierung von Röntgenstrahlen bei einer ersten Energie, Kontrollieren derselben Röntgenstrahlenquelle mit einer zweiten Spannung zur Generierung von Röntgenstrahlen bei einer zweiten Energie und Kontrollieren eines Stroms der Röntgenstrahlenquelle umfasst.

[0007] Bisher realisierte Kabelentladeschalter basieren regelmäßig auf einer Serienschaltung von vielen Halbleiterschaltern. Aufgrund einer begrenzten Sperrspannung der Halbleiterschalter sind typischerweise viele Halbleiterschalter, insbesondere Transistoren, samt Ansteuerung notwendig, welche wiederum eine Komponente mit großem Volumen ergeben.

[0008] Bei der Anwendung der Röntgenstrahlen für die Dual-Energie-Bildaufnahme wird im Gegensatz zum zuvor beschriebenen schnellen (An- und Aus-)Schalten die Gitterspannung zwischen zwei Hochspannungspotentialen im Takt hin- und her geschaltet. Bei einer solchen Dual-Energie-Bildaufnahme ist abhängig vom Röhrenstrom und/oder bei kleinen Röhrenströmen eine Zeit für den Spannungsabfall relativ hoch oder eine Spannungsänderungsgeschwindigkeit vergleichsweise gering. Der Zeitraum der zeitlichen Änderung der Hochspannung ist insbesondere bei kleinen Röhrenströmen besonders hoch. Ein schneller Spannungswechsel ist also insbesondere bei kleinen Röhrenströmen nicht möglich. Im Zeitraum der zeitlichen Änderung der Hochspannung werden vorzugsweise keine Röntgenstrahlen von der herkömmlichen Röntgenstrahlenquelle emittiert, da die durch diese mit variierender maximaler Energie emittierten Röntgenstrahlen applizierte Röntgenstrahlendosis typischerweise nicht für die Bildaufnahme vorteilhaft ist und somit unnötigerweise ausgestrahlt wird. Werden diese Röntgenstrahlen allerdings dennoch ausgestrahlt, können sie zu einer Bildverschlechterung führen und/oder zu einer Patientendosis ohne klinischen Nutzen. Wird die Bildaufnahme Frequenz beispielsweise entsprechend der vergleichsweise geringen Spannungsänderungsgeschwindigkeit verringert, kann dies bei einer um das Untersuchungsobjekt herum rotierenden Röntgenstrahlenquelle zu einer geringeren Ortsabtastung bei der Dual-Energie-Bildaufnahme führen.

[0009] EP 3 823 002 A1 offenbart eine Drehanoden-Röntgenstrahlenquelle. Zusätzlich zu einer primären Kathode einer Drehanoden-Röntgenröhre ist eine Hilfskathode in der Drehanoden-Röntgenröhre vorgesehen.

Elektronen der Hilfskathode werden auf einen Anodenbereich zur Generierung von solchen Röntgenstrahlen fokussiert, welche nicht den an der primären Kathode generierten nutzbaren Röntgenstrahl kreuzen.

[0010] Der Erfindung liegt die Aufgabe zu Grunde, eine Röntgenstrahlenquelle für ein schnelles Schalten der Röntgenstrahlung anzugeben.

[0011] Die Aufgabe wird durch die Merkmale der unabhängigen Ansprüche gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen sind in den Unteransprüchen beschrieben.

[0012] Die erfindungsgemäße Röntgenstrahlenquelle weist

- eine Kathodeneinrichtung zur Emission von Elektronen,
- einen ersten Anodenbereich,
- einen zweiten Anodenbereich,
- zumindest ein Hochspannungskabel und
- eine Hochspannungsquelle zur Bereitstellung einer Hochspannung in dem Hochspannungskabel für die Beschleunigung der Elektronen auf,

wobei das Hochspannungskabel die Hochspannungsquelle und die Kathodeneinrichtung zur Versorgung mit der Hochspannung verbindet, wobei die Hochspannung größer 10 kV beträgt und die Hochspannungsquelle gemeinsam mit dem Hochspannungskabel eine Kapazität zur Bereitstellung eines Generatorstroms bildet, wobei die Kathodeneinrichtung

- eine erste gittergeschaltete Kathode mit einem ersten Gitter zur Erzeugung eines ersten Stroms an emittierten Elektronen in Abhängigkeit einer auf Hochspannungspotential liegenden ersten Gitterspannung und
- eine zweite gittergeschaltete Kathode mit einem zweiten Gitter zur Erzeugung eines zweiten Stroms an emittierten Elektronen in Abhängigkeit einer auf Hochspannungspotential liegenden zweiten Gitterspannung aufweist, gekennzeichnet durch
- eine Gitterspannungseinheit, welche eine Schnittstelle zum Empfang eines Steuersignals aufweist und dazu ausgebildet ist, durch ein Regeln der ersten Gitterspannung am ersten Gitter und durch ein Regeln der zweiten Gitterspannung am zweiten Gitter die in der Kapazität vorhandene Ladungsmenge und somit den Generatorstrom in Abhängigkeit des Steuersignals zu regeln.

[0013] Gemäß einer Ausführungsform ist die erste gittergeschaltete Kathode dazu eingerichtet, mittels des erzeugbaren ersten Elektronenstroms erste Röntgenstrahlen in einem ersten Anodenbereich der Röntgenstrahlenquelle für eine Durchleuchtung eines Objekts zu generieren,

wobei die zweite gittergeschaltete Kathode dazu eingerichtet ist, mittels des erzeugbaren zweiten Elektronenstroms zweite Röntgenstrahlen in einem zweiten Anodenbereich der Röntgenstrahlenquelle zu generieren,

wobei der erste Anodenbereich und der zweite Anodenbereich disjunkt sind und

wobei der zweite Anodenbereich derart auf einen Röntgenstrahlenschirm ausgerichtet ist, dass das zu durchleuchtende Objekt von den zweiten Röntgenstrahlen abgeschirmt ist.

[0014] Gemäß einer Ausführungsform ist der erste Anodenbereich Teil einer ersten Anode und der zweite Anodenbereich ist Teil einer zweiten Anode, wobei die erste Anode und die zweite Anode thermisch entkoppelt sind.

[0015] Gemäß einer Ausführungsform sind die erste Anode und die erste gittergesteuerte Kathode innerhalb eines ersten evakuierten Röntgenröhrengehäuses der Röntgenstrahlenquelle angeordnet, wobei die zweite Anode und die zweite gittergesteuerte Kathode innerhalb eines zweiten evakuierten Röntgenröhrengehäuses der Röntgenstrahlenquelle angeordnet sind und wobei das Vakuum des ersten Röntgenröhrengehäuses und das Vakuum des zweiten Röntgenröhrengehäuses voneinander separiert sind.

[0016] Gemäß einer Ausführungsform umfasst das zweite Röntgenröhrengehäuse eine Hochfrequenz-Verstärkerröhre oder eine Wärmekapazität-optimierte Stehanodenröhre.

[0017] Gemäß einer Ausführungsform weist die Gitterspannungseinheit eine Gitterspannungsquelle zur Erzeugung der Gitterspannungen und einen Gitterspannungsschalter auf, wobei der Gitterspannungsschalter dazu ausgebildet ist, die Gitterspannungen zwischen dem ersten Gitter und dem zweiten Gitter durch ein Schalten des Gitterspannungsschalters zu übertragen.

[0018] Gemäß einer Ausführungsform weist die Gitterspannungseinheit eine erste Gitterspannungsquelle zur Erzeugung der am ersten Gitter anlegbaren ersten Gitterspannung und eine zweite Gitterspannungsquelle zur Erzeugung der am zweiten Gitter anlegbaren zweiten Gitterspannung auf, so dass die erste Gitterspannung unabhängig von der zweiten Gitterspannung regelbar ist.

[0019] Gemäß einer Ausführungsform ist die zweite gittergeschaltete Kathode zu einem Aufweiten des zweiten Elektronenstroms in Abhängigkeit von der zweiten Gitterspannung ausgebildet.

[0020] Gemäß einer Ausführungsform ist die Gitterspannungseinheit dazu ausgebildet, die Amplitude des zweiten Elektronenstroms zu ermitteln und die erste Gitterspannung und die zweite Gitterspannung in Abhängigkeit der ermittelten Amplitude zu regeln.

[0021] Gemäß einer Ausführungsform ist die Gitterspannungseinheit dazu ausgebildet, die erste Gitterspannung und die zweite Gitterspannung in Abhängigkeit einer zeitlichen Änderung der Hochspannung zu regeln.

[0022] Gemäß einer Ausführungsform ist die Gitterspannungseinheit dazu ausgebildet, die erste Gitterspannung und die zweite Gitterspannung zur Vermeidung eines Überschwingens oder eines Unterschwingens bei der Hochspannung zu regeln, indem der Generatorstrom im Wesentlichen konstant gehalten wird.

[0023] Gemäß einer Ausführungsform ist die Gitterspannungseinheit dazu ausgebildet, die erste Gitterspannung und die zweite Gitterspannung zur Bereitstellung rechteckförmiger Pulse des ersten Elektronenstroms und/oder des zweiten Elektronenstroms zu regeln

[0024] Gemäß einer Ausführungsform ist die Gitterspannungseinheit dazu ausgebildet, die erste Gitterspannung und die zweite Gitterspannung in einer Taktperiode kleiner 1 ms, vorzugsweise kleiner 200 μ s, zu regeln.

[0025] Ein Vorteil der Röntgenstrahlenquelle ist, dass insbesondere die Hochspannungsquelle eine konstante Last sieht und somit die Trägheit beim Verändern der Hochspannung und/oder des Röhrenstroms mittels der Hochspannungsquelle überwunden werden kann.

[0026] Im Folgenden wird die Erfindung anhand der in den Figuren dargestellten Ausführungsbeispiele näher beschrieben und erläutert. Grundsätzlich werden in der folgenden Figurenbeschreibung im Wesentlichen gleich bleibende Strukturen und Einheiten mit demselben Bezugszeichen wie beim erstmaligen Auftreten der jeweiligen Struktur oder Einheit benannt.

[0027] Es zeigen:

Fig. 1 eine erfindungsgemäße Röntgenstrahlenquelle,

Fig. 2 ein erstes Ausführungsbeispiel der Röntgenstrahlenquelle,

Fig. 3 ein zweites Ausführungsbeispiel der Röntgenstrahlenquelle und

Fig. 4 bis Fig. 7 das unterschiedliche beispielhafte Verhalten der Röntgenstrahlenquelle je nach Regelung.

[0028] Fig. 1 zeigt eine erfindungsgemäße Röntgenstrahlenquelle 10.

[0029] Die Röntgenstrahlenquelle 10 weist eine Kathodeneinrichtung 11 zur Emission von Elektronen, einen ersten Anodenbereich 12, einen zweiten Anodenbereich 13, zumindest ein Hochspannungskabel 14 und eine Hochspannungsquelle 15 zur Bereitstellung einer Hochspannung U_{x-ray} in dem Hochspannungskabel 14 für die Beschleunigung der Elektronen e^- auf.

[0030] Die Röntgenstrahlenquelle 10 ist für eine bildgeberische Untersuchung eines Objekts vorgesehen. Das Objekt kann ein Werkstoff und/oder ein Patient sein. Die bildgeberische Untersuchung kann eine Angiographie, eine Computertomographie und/oder eine Radiographie sein. Alternativ oder zusätzlich kann die bildge-

berische Untersuchung eine Werkstoffprüfung und/oder eine Zollkontrolle sein.

[0031] Die Röntgenstrahlenquelle 10 stellt insbesondere Röntgenstrahlen mit einer maximalen Energie von über 10 keV und/oder kleiner 200 keV bereit. Die maximale Energie hängt insbesondere von der Beschleunigungsspannung U_{x-ray} zwischen der Kathodeneinrichtung 11 und dem ersten Anodenbereich 12 oder dem zweiten Anodenbereich 13 ab. Die Beschleunigungsspannung U_{x-ray} korreliert insbesondere mit der Hochspannung. Die Beschleunigungsspannung U_{x-ray} entspricht insbesondere dann der Hochspannung, wenn die Röntgenstrahlenquelle 10 einpolig ausgebildet ist. Bei einer zweipoligen Ausbildung der Röntgenstrahlenquelle 10 und einer symmetrischen Hochspannungsquelle beträgt die maximale Energie üblicherweise das Zweifache des Betrags der Hochspannung. Übliche Beschleunigungsspannungen U_{x-ray} sind im Bereich zwischen 40 kV und 150 kV, beispielsweise 70 kV, 80 kV und/oder 120 kV.

[0032] Die Hochspannungsquelle 15 ist zur Bereitstellung der Hochspannung ausgebildet. Die Hochspannungsquelle 15 stellt die Hochspannung insbesondere in dem Hochspannungskabel für die Beschleunigung der Elektronen e^- bereit.

[0033] Das Hochspannungskabel 14 verbindet die Hochspannungsquelle 15 und die Kathodeneinrichtung 11. Das Hochspannungskabel 14 ist insbesondere an der Kathodeneinrichtung 11 lösbar angeschlossen. Durch die Verbindung mit dem Hochspannungskabel 14 kann die Hochspannungsquelle 15 die Kathodeneinrichtung 11 mit der Hochspannung verbinden. Die Hochspannung beträgt größer 10 kV.

[0034] Die Hochspannungsquelle 15 bildet gemeinsam mit dem Hochspannungskabel 14 eine Kapazität und ist zur Bereitstellung des Generatorstroms ausgebildet. Die Kapazität enthält insbesondere eine Ladungsmenge, welche über die Zeit variieren kann. Der Stromfluß (Amplitude und Zeit) des Generatorstroms entspricht damit einer Änderung der Ladungsmenge. Die Kapazität speichert somit einen gewissen elektrischen Strom, welcher im Betrieb der Röntgenstrahlenquelle regelmäßig variiert. Eine maximale Ladungsmenge hängt insbesondere von dem geometrischen Aufbau des Hochspannungskabels 14, insbesondere von dem Leiterquerschnitt und/oder der Leiterlänge, ab.

[0035] Die Kathodeneinrichtung 11 weist eine erste gittergeschaltete Kathode 16 und eine zweite gittergeschaltete Kathode 18 auf. Die erste Kathode 16 weist ein erstes Gitter 17 auf und ist zur Erzeugung eines ersten Stroms an emittierten Elektronen in Abhängigkeit einer auf Hochspannungspotential liegenden ersten Gitterspannung U_{G1} ausgebildet. Die zweite Kathode 18 weist ein zweites Gitter 19 auf und ist zur Erzeugung eines zweiten Stroms an emittierten Elektronen in Abhängigkeit einer auf Hochspannungspotential liegenden zweiten Gitterspannung U_{G2} ausgebildet. Der erste Strom an emittierten Elektronen kann erster Röhrenstrom

und/oder der zweite Strom an emittierten Elektronen kann zweiter Röhrenstrom bezeichnet sein.

[0036] Die erste Kathode 16 weist einen ersten Elektronenemitter auf. Die zweite Kathode 18 weist einen zweiten Elektronenemitter auf. In Fig. 1 ist der erste Elektronenemitter ein thermionischer Emitter und der zweite Elektronenemitter ist ebenfalls ein thermionischer Emitter. Beide Kathoden 16, 18 weisen eine Heizstromquelle zum Aufheizen der beiden thermionischen Emitter auf, wobei die Elektronen e^- emittiert werden. Der erste Elektronenemitter und der zweite Elektronenemitter werden mit jeweils einer eigenen Heizstromquelle betrieben. Alternativ ist auch eine Serienschaltung möglich. Alternativ dazu können der erste Elektronenemitter und der zweite Elektronenemitter parallelgeschaltet sein.

[0037] Eine Weiterbildung der in Fig. 1 gezeigten Ausführungsform betrifft die Ausgestaltung der Elektronenemitter. Einer der oder beide Elektronenemitter können grundsätzlich als Feldeffekt-Emitter ausgebildet sein. Die Elektronenemission bei einem Feldeffekt-Emitter wird typischerweise durch das Anlegen einer Gatespannung erwirkt, welche durch das in den Spitzen der Nanoröhrchen auftretenden elektrischen Felds die Elektronen e^- aus diesen Nanoröhrchen extrahiert, wodurch der Elektronenstrom gebildet wird. Zusätzlich zum Schalten mittels der Gatespannung kann das Sperren eines generierten Elektronenstroms mittels des ersten Gitters 17 und/oder des zweiten Gitters 19 erfolgen. Der Feldeffekt-Emitter weist typischerweise eine Vielzahl an Nanoröhrchen, beispielsweise aus Kohlenstoff oder Silizium oder Molybdän, auf. Es ist grundsätzlich denkbar, dass die erste Kathode 16 und die zweite Kathode 18 gleich aufgebaut sind. Alternativ kann sich die erste Kathode 16 von der zweiten Kathode 18 in der Art des Elektronenemitters und/oder in einem maximalen Strom des Elektronenemitters unterscheiden.

[0038] Das erste Gitter 17 und/oder das zweite Gitter 19 ist eine Elektrode, welche das Steuern der emittierten Elektronenstroms ermöglicht. Die Elektrode kann eine gitterförmige Struktur aufweisen. Alternativ kann die Elektrode von je einem Fokuskopf gebildet sein, in welchem jeweils die erste Kathode 16 und die zweite Kathode 18 eingesetzt sind. Das erste Gitter 17 und/oder das zweite Gitter 19 können in Bezug auf das elektrische Potential der Elektronenemitter durch die angelegte erste Gitterspannung U_{G1} bzw. durch die angelegte zweite Gitterspannung U_{G2} negativ oder positiv geladen sein. Wenn das elektrische Potential eines Gitters 17, 19 zwischen dem elektrischen Potential des Elektronenemitters und dem elektrischen Potential des Anodenbereiches 12, 13 liegt, ist das Gitter 17, 19 eher durchlässig, als wenn das elektrische Potential des Gitters 17, 19 negativer ist und somit den Elektronenstrom sperrt. Die erste Gitterspannung U_{G1} und die zweite Gitterspannung U_{G2} schwankt insbesondere um das Potential der Hochspannung um 1 bis 6 kV. Beträgt die erste Gitterspannung U_{G1} und/oder die zweite Gitterspannung U_{G2} weniger als 1 kV, beispielsweise 200 bis 500 V, fokussiert

bzw. defokussiert das entsprechende Gitter 17, 19 den jeweiligen emittierten Elektronenstrom.

[0039] Fokussieren bedeutet insbesondere ein Verkleinern des Brennflecks. Defokussieren bedeutet insbesondere ein Vergrößern des Brennflecks. Das Fokussieren bzw. Defokussieren kann insbesondere durch die geometrische Ausgestaltung der jeweiligen Kathode 16, 18, insbesondere durch die geometrische Ausgestaltung des Fokuskopfs, jeweils in Kombination mit dem Anschalten oder Aufschalten der Gitterspannungen U_{G1} , U_{G2} erfolgen.

[0040] Die Röntgenstrahlenquelle 10 weist ferner eine Gitterspannungseinheit 20 auf. Die Gitterspannungseinheit 20 weist eine Schnittstelle 21 zum Empfang eines Steuersignals auf. Die Gitterspannungseinheit 20 ist dazu ausgebildet, durch ein Regeln der ersten Gitterspannung U_{G1} am ersten Gitter 17 und durch ein Regeln der zweiten Gitterspannung U_{G2} am zweiten Gitter 19 die in der Kapazität vorhandene Ladungsmenge und somit den Generatorstrom in Abhängigkeit des Steuersignals zu regeln.

[0041] Das Regeln der Ladungsmenge bzw. des Generatorstroms bedeutet insbesondere, dass die Röntgenstrahlenquelle 10 derart betrieben wird, dass die Ladungsmenge bzw. der Generatorstrom nicht unkontrolliert aufgebaut oder abgebaut wird. Das Regeln der Ladungsmenge bzw. des Generatorstroms umfasst ein Abbauen der Ladungsmenge in der Kapazität durch ein Erhöhen des ersten Elektronenstroms und/oder des zweiten Elektronenstroms unter Berücksichtigung der abzubauenen Ladungsmenge, was typischerweise entsprechend den Generatorstrom verändert. Das Regeln der Ladungsmenge bzw. des Generatorstroms umfasst ein Aufbauen der Ladungsmenge in der Kapazität durch ein Verringern des ersten Elektronenstroms und/oder des zweiten Elektronenstroms unter Berücksichtigung der aufzubauenen Ladungsmenge. Das Erhöhen bzw. das Verringern des ersten Elektronenstroms und/oder des zweiten Elektronenstroms erfolgt insbesondere durch entsprechende Regeln der ersten Gitterspannung U_{G1} bzw. der zweiten Gitterspannung U_{G2} .

[0042] Die Schnittstelle 21 kann kabelgebunden oder kabellos ausgebildet sein. Das Steuersignal kann analog oder digital sein. Die Schnittstelle 21 kann für den Empfang des analogen Steuersignals oder des digitalen Steuersignals ausgebildet sein. Zusätzlich kann die Schnittstelle 21 für ein Zurücksenden von Statussignalen und/oder Messwerten ausgebildet sein.

[0043] Das Steuersignal hängt insbesondere von einer Anwendungsart der Röntgenstrahlen und/oder von der bildgeberischen Untersuchung ab. Das Steuersignal kann insbesondere in einem Protokoll gemäß der Anwendung der Röntgenstrahlen und/oder in einem Protokoll der bildgeberischen Untersuchung festgelegt sein.

[0044] Das Steuersignal umfasst insbesondere einen Istwert oder einen Sollwert. Das Steuersignal kann lediglich einen einzelnen Istwert oder mehrere Istwerte verschiedener Art und/oder mehrere vergangene Istwerte

umfassen. Das Steuersignal kann lediglich einen nächsten Sollwert oder mehrere Sollwerte verschiedener Art und/oder mehrere zukünftige Sollwerte umfassen. Das Steuersignal beschreibt insbesondere die Beschleunigungsspannung $U_{x\text{-ray}}$, die Hochspannung, den ersten Elektronenstrom, den zweiten Elektronenstrom, die erste Gitterspannung U_{G1} , die zweite Gitterspannung U_{G2} , einen Heizstrom und/oder eine Kombination der vorgenannten Werte. Das Steuersignal ist typischerweise zeitlich veränderbar.

[0045] Die Gitterspannungseinheit 20 kann eine Logikeinheit umfassen, welche zur Verarbeitung des Steuersignals ausgebildet ist. Die Verarbeitung des Steuersignals kann ein Berechnen von zumindest einem weiteren Istwert und/oder Sollwert und/oder das Regeln der ersten Gitterspannung U_{G1} am ersten Gitter 17 und durch ein Regeln der zweiten Gitterspannung U_{G2} am zweiten Gitter 19 umfassen. Die Verarbeitung des Steuersignals erfolgt typischerweise wiederholbar durch Implementierung der Verarbeitungsschritte in Programmcodemitteln. Die Logikeinheit kann insbesondere die Programmcodemitteln ausführen.

[0046] Beispielsweise kann gemäß dem Steuersignal die Gitterspannungseinheit 10 derart konfigurierbar sein, dass beim schnellen Schalten der Röntgenstrahlen die Hochspannungsquelle 15 dieselbe oder eine konstante Last sieht. Sprich die von der Hochspannungsquelle 15 bereitgestellte Hochspannungsleistung wird in diesem Fall unmittelbar zwischen den beiden Kathoden 16 und 18 teilweise oder in Gänze verteilt. Bei einem anderen Betreiben der Röntgenstrahlenquelle, insbesondere beim Verringern der Hochspannung, wobei vergleichsweise große Ladungsmengen in der Hochspannungsquelle einer herkömmlichen Röntgenstrahlenquelle aufgebaut werden, kann die zweite Kathode 18 die zusätzlichen Ladungsmengen bzw. einen Teil des Generatorstroms aufnehmen und in Form des zweiten Elektronenstroms abbauen.

[0047] Grundsätzlich ist es denkbar, dass das erfindungsgemäße Prinzip auch für mehr als zwei gittergesteuerte Kathoden und somit auch mehr als zwei Elektronenemitter anwendbar ist. Beispielsweise kann die Kathodeneinrichtung drei gittergesteuerte Kathoden aufweisen, wovon zwei Kathoden zur Erzeugung eines ersten Stroms an emittierten Elektronen und eines zweiten Stroms an emittierten Elektronen ausgebildet sind, wobei der erste Strom höher als der zweite Strom sein kann. Diese beiden Kathoden sind typischerweise umschaltbar zwischen hohem und niedrigem Strom und können jeweils keinen Strom führen, wenn beispielsweise die dritte Kathode diesen Strom übernimmt. Weiterhin kann vorteilhafterweise die dritte Kathode beim Umschalten der Ströme an den beiden vorgenannten Kathoden einen solchen Strom übernehmen, dass der Generatorstrom im Wesentlichen konstant gehalten wird.

[0048] Die Gitterspannungseinheit 20 ist vorzugsweise dazu ausgebildet, die erste Gitterspannung U_{G1} und die zweite Gitterspannung U_{G2} in einer Taktperiode klei-

ner 1 ms, vorzugsweise kleiner 200 μ s, zu regeln.

[0049] Das Ausführungsbeispiel in der Fig. 1 zeigt außerdem, dass die erste gittergeschaltete Kathode 16 dazu eingerichtet ist, mittels des erzeugbaren ersten Elektronenstroms erste Röntgenstrahlen in dem ersten Anodenbereich 12 der Röntgenstrahlenquelle 10 für eine Durchleuchtung eines Objekts zu generieren. Die zweite gittergeschaltete Kathode 18 ist dazu eingerichtet, mittels des erzeugbaren zweiten Elektronenstroms zweite Röntgenstrahlen in dem zweiten Anodenbereich 13 der Röntgenstrahlenquelle 10 zu generieren.

[0050] Der erste Anodenbereich 12 und der zweite Anodenbereich 13 sind disjunkt. Der erste Anodenbereich 12 und der zweite Anodenbereich 13 unterscheiden sich insbesondere und überlappen sich nicht. Der zweite Anodenbereich 12 ist derart auf einen Röntgenstrahlenschirm 22 ausgerichtet, dass das zu durchleuchtende Objekt von den zweiten Röntgenstrahlen abgeschirmt ist. Der Röntgenstrahlenschirm 22 weist beispielsweise Blei auf.

[0051] Der erste Anodenbereich 12 und/oder der zweite Anodenbereich 13 ist insbesondere durch den ersten Elektronenstrom bzw. den zweiten Elektronenstrom örtlich festgelegt. Der erste Elektronenstrom bildet im ersten Anodenbereich 12 einen ersten Brennfleck, worin die Röntgenstrahlen generiert werden können, aus. Der zweite Elektronenstrom bildet im zweiten Anodenbereich 13, worin die Röntgenstrahlen generiert werden können, aus. In anderen Worten bestimmt die Kathodeneinrichtung 11, insbesondere die erste Kathode 16 und/oder die zweite Kathode 18, an welcher Position und/oder mit welcher Fläche der erste Elektronenstrom bzw. der zweite Elektronenstrom auf einer Anode auftreffen, wodurch der erste Anodenbereich 12 und der zweite Anodenbereich 13 örtlich festgelegt sind. Wenn die Anode beispielsweise eine Stehanode ist, sind der erste Anodenbereich 12 und der zweite Anodenbereich 13 relativ zur Kathodeneinrichtung 11 und zur Anode ortsfest, insbesondere solange die Elektronenströme von der Kathodeneinrichtung 11 nicht verändert werden. Wenn die Anode beispielsweise eine Drehanode ist, sind der erste Anodenbereich 12 und der zweite Anodenbereich 13 relativ zur Kathodeneinrichtung 11 ortsfest, aber nicht zur Anode, weil durch die Drehung der Anode der erste Anodenbereich 12 und der zweite Anodenbereich 13 synchron mit der Rotation mitwandert. Somit bildet sich auf der Anode eine kreisförmige Brennbahn.

[0052] Die Vorderseite der Anode weist insbesondere im Bereich des ersten Anodenbereichs 12 und/oder des zweiten Anodenbereichs 13 oder der Brennbahn Wolfram und/oder Molybdän auf. Auf der Rückseite weist die Anode beispielsweise Graphit zur Entwärmung der Vorderseite auf. Fig. 1 zeigt eine Drehanode, welche einen Anodenteller aufweist. Der Anodenteller weist üblicherweise einen Anodenwinkel größer 0° auf. Die der Kathodeneinrichtung 11 abgewandte Rückseite der Anode kann eine die Oberfläche vergrößernde Struktur aufweisen.

[0053] Fig. 2 zeigt ein erstes Ausführungsbeispiel der

Röntgenstrahlenquelle 10.

[0054] Die Gitterspannungseinheit 20 weist eine Gitterspannungsquelle 23 zur Erzeugung der Gitterspannungen U_G , U_{G1} , U_{G2} und einen Gitterspannungsschalter 24 auf. Der Gitterspannungsschalter 24 ist dazu ausgebildet, die Gitterspannungen U_G , U_{G1} , U_{G2} zwischen dem ersten Gitter 17 und dem zweiten Gitter 19 durch ein Schalten des Gitterspannungsschalters 24 zu übertragen. In diesem Fall ist die erste Gitterspannung U_{G1} abhängig von der zweiten Gitterspannung U_{G2} regelbar. In anderen Worten wird die erste Gitterspannung U_{G1} und die zweite Gitterspannung U_{G2} hin- und hergeschaltet, so dass letztlich an dem jeweiligen Gitter 17, 19 der gleiche Potentialunterschied anliegen kann. Somit können die jeweiligen Gitter 17, 19 abwechselnd nur dieselbe Funktion durchführen, beispielsweise Sperren oder Fokussieren.

[0055] Alternativ zu dem in Fig. 2 gezeigten Ausführungsbeispiel kann die Gitterspannungseinheit 20 eine erste Gitterspannungsquelle zur Erzeugung der am ersten Gitter 17 anlegbaren ersten Gitterspannung U_{G1} und eine zweite Gitterspannungsquelle zur Erzeugung der am zweiten Gitter 19 anlegbaren zweiten Gitterspannung U_{G2} aufweisen, so dass die erste Gitterspannung U_{G1} unabhängig von der zweiten Gitterspannung U_{G2} regelbar ist. Sprich diese Ausführungsform überwindet die zuvor beschriebene Einschränkung, weil an dem jeweiligen Gitter 17, 19 verschiedene Potentialunterschiede anliegen können, so dass der erste Elektronenstrom fokussiert werden kann, aber der zweite Elektronenstrom defokussiert bzw. aufgeweitet werden kann. Diese Weiterbildung ist also insbesondere vorteilhaft, weil dadurch die zweite gittergeschaltete Kathode 18 zu einem Aufweiten des zweiten Elektronenstroms in Abhängigkeit von der zweiten Gitterspannung U_{G2} ausgebildet sein kann, um die thermische Belastung durch den zweiten Elektronenstrom im zweiten Anodenbereich zu reduzieren.

[0056] Fig. 3 zeigt ein zweites Ausführungsbeispiel der Röntgenstrahlenquelle 10 in einer schematischen Ansicht.

[0057] Im Folgenden wird insbesondere auf die Unterschiede zum in Fig. 1 und Fig. 2 gezeigten Ausführungsbeispiel eingegangen: Der erste Anodenbereich 12 ist Teil einer ersten Anode 25. Der zweite Anodenbereich 13 ist Teil einer zweiten Anode 26. Die erste Anode 25 und die zweite Anode 26 sind thermisch entkoppelt. Durch die thermische Entkopplung kann vorteilhafterweise die thermische Belastung derjenigen Anode mit der Röntgenstrahlung zur Durchleuchtung des Objekts verringert werden, während durch die thermische Kopplung der beiden Anodenbereiche 12, 13 in den Fig. 1 und Fig. 2 die gesamte Verlustwärme in derselben Anode aufgenommen wird. Die zweite Anode 26 ist in diesem Ausführungsbeispiel köcherförmig ausgebildet und bildet somit selbst den Röntgenstrahlenschirm 22.

[0058] Fig. 3 zeigt weiterhin, dass die erste Anode 25 und die erste gittergesteuerte Kathode 16 innerhalb eines

ersten evakuierten Röntgenröhrengehäuses 27 der Röntgenstrahlenquelle 10 angeordnet sind. Die zweite Anode 26 und die zweite gittergesteuerte Kathode 18 sind innerhalb eines zweiten evakuierten Röntgenröhrengehäuses 28 der Röntgenstrahlenquelle 10 angeordnet. Das Vakuum des ersten Röntgenröhrengehäuses 27 und das Vakuum des zweiten Röntgenröhrengehäuses 28 sind voneinander separiert. Eine derartige Weiterbildung ist insbesondere vorteilhaft, weil dadurch das zweite Röntgenröhrengehäuse 28 räumlich getrennt von dem ersten Röntgenröhrengehäuse 27 verbaut werden kann. Beispielsweise kann das zweite Röntgenröhrengehäuse 28 als Komponente der Leistungselektronik der Hochspannungsquelle 15 vorgesehen sein. Das erste Röntgenröhrengehäuse 27 kann somit kleiner ausfallen, wenn lediglich die erste Anode 25 und nicht zusätzlich die zweite Anode 26 verbaut ist. Besonders vorteilhafterweise umfasst das zweite Röntgenröhrengehäuse 28 eine Hochfrequenz-Verstärkerröhre oder eine Wärmekapazität-optimierte Stehanodenröhre.

[0059] Fig. 4 bis 7 zeigt das Verhalten der Röntgenstrahlenquelle 10 je nach Regelung durch die Gitterspannungseinheit 20. Das Verhalten ist illustriert an vier Kenngrößen, der Amplitude der nutzbaren Röntgenstrahlen x-ray, mit welchen das Objekt durchleuchtet werden kann. x-ray enthält nicht diejenigen Röntgenstrahlen, welche mittels der zweiten Kathode 18 generiert werden können. I_1 kennzeichnet die Amplitude des ersten Elektronenstroms, welcher von der ersten Kathode 16 ausgeht und aus welchen die nutzbaren Röntgenstrahlen x-ray im ersten Anodenbereich 12 generiert werden können. I_2 kennzeichnet die Amplitude des zweiten Elektronenstroms, welcher von der zweiten Kathode 18 ausgeht und aus welchen die zu im Röntgenstrahlenschirm 22 zu absorbierenden Röntgenstrahlen im zweiten Anodenbereich 13 generiert werden können. Der Generatorstrom entspricht im Wesentlichen der Summe von I_1 und I_2 . U_{x-ray} kennzeichnet den Betrag der Beschleunigungsspannung, welche wie zuvor ausgeführt von der Hochspannung abhängt.

[0060] Allen gezeigten Figuren 4 bis 7 stellen dar, dass die Gitterspannungseinheit 20 erfindungsgemäß dazu ausgebildet ist, die erste Gitterspannung U_{G1} und die zweite Gitterspannung U_{G2} zur Bereitstellung rechteckförmiger Pulse des ersten Elektronenstroms und/oder des zweiten Elektronenstroms zu regeln.

[0061] Fig. 4 zeigt das beispielhafte Verhalten der Röntgenstrahlenquelle 10, wenn die Gitterspannungseinheit 20 dazu ausgebildet ist, die erste Gitterspannung U_{G1} und die zweite Gitterspannung U_{G2} zur Vermeidung eines Überschwingers oder eines Unterschwingers bei der Hochspannung zu regeln, indem der Generatorstrom im Wesentlichen konstant gehalten wird. Daraus folgt, dass die Beschleunigungsspannung U_{x-ray} ebenfalls konstant gehalten werden kann. Durch das Regeln der ersten Gitterspannung U_{G1} und der zweiten Gitterspannung U_{G2} ist der erste Elektronenstrom I_1 ohne ein Überspringen der Hochspannung abschaltbar. Die Rönt-

genstrahlenquelle 10 kann vorzugsweise also schnell geschaltet bzw. gepulst betrieben werden. Die Röntgenstrahlenquelle 10 ermöglicht also insbesondere eine sogenannte digitale Dosismodulation, welche ohne ein sogenanntes analoges Verändern der von der Hochspannungsquelle 15 bereitgestellten Hochspannung auskommt. Ein weiterer Vorteil betrifft die Ansteuerung der Elektronenemitter, welche insbesondere bei einer Ausführung als thermionischer Emitter nicht schnell genug abgeschaltet werden können, sondern dafür mehrere 100 ms benötigen können. Erfindungsgemäß können also die Röntgenstrahlen unabhängig von der Trägheit der Elektronenemittern gesteuert werden.

[0062] Angedeutet in Fig. 4 mittels einer U_{x-ray} überlagernden gestrichelten Linie ist das Verhalten einer herkömmlichen Röntgenstrahlenquelle 10, bei welcher ohne das erfindungsgemäße Regeln der Gitterspannungen U_{G1} , U_{G2} die Hochspannung überschwingt beim Abschalten der Röntgenstrahlung.

[0063] Fig. 5 zeigt das beispielhafte Verhalten der Röntgenstrahlenquelle 10, wenn die Röntgenstrahlen und die Hochspannung abgeschaltet werden. Die in der Kapazität vorgehaltene Ladungsmenge wird mittels der zweiten Kathode 18 und dem darin generierten zweiten Elektronenstrom I_2 entladen. Ohne die Entladung des Hochspannungskreises würde sich die Hochspannung bei einer herkömmlichen gittergesteuerten Röntgenstrahlenquelle nur vergleichsweise langsam abbauen. Eine schnelle Röntgenpulsfolge mit unterschiedlichen Hochspannungen ist gemäß dem Stand der Technik damit nicht möglich.

[0064] Fig. 6 zeigt das beispielhafte Verhalten der Röntgenstrahlenquelle 10, wenn die Gitterspannungseinheit 20 dazu ausgebildet ist, die Amplitude des zweiten Elektronenstroms zu ermitteln und die erste Gitterspannung U_{G1} und die zweite Gitterspannung U_{G2} in Abhängigkeit der ermittelten Amplitude zu regeln. In diesem Fall werden die Röntgenstrahlen dadurch konstant geregelt, dass mittels des zweiten Elektronenstroms I_2 überschüssige Ladungsmengen der Kapazität abgebaut werden.

[0065] Weiterhin zeigt Fig. 6, dass die Gitterspannungseinheit 20 dazu ausgebildet ist, die erste Gitterspannung U_{G1} und die zweite Gitterspannung U_{G2} in Abhängigkeit einer zeitlichen Änderung der Hochspannung zu regeln.

[0066] Fig. 7 zeigt eine Weiterbildung des in Fig. 6 gezeigten Ausführungsbeispiels. Dabei wird die erste Gitterspannung U_{G1} und die zweite Gitterspannung U_{G2} derart geregelt, dass bei steigenden oder fallenden Flanken der Hochspannung und somit der Beschleunigungsspannung U_{x-ray} der erste Elektronenstrom I_1 vollkommen gesperrt wird und somit die Röntgenstrahlen x-ray.

[0067] In analoger Weise kann die Gitterspannungseinheit 20 die erste Gitterspannung U_{G1} und die zweite Gitterspannung U_{G2} derart regeln, dass während einer Einstellung eines Fokus des ersten Elektronenstroms und/oder des zweiten Elektronenstroms der erste Elek-

tronenstrom I_1 vollkommen gesperrt wird und somit die Röntgenstrahlen x-ray.

[0068] Obwohl die Erfindung im Detail durch die bevorzugten Ausführungsbeispiele näher illustriert und beschrieben wurde, so ist die Erfindung dennoch nicht durch die offenbarten Beispiele eingeschränkt und andere Variationen können vom Fachmann hieraus abgeleitet werden, ohne den Schutzzumfang der Erfindung zu verlassen.

Patentansprüche

1. Röntgenstrahlenquelle (10), aufweisend

- eine Kathodeneinrichtung (11) zur Emission von Elektronen,
- einen ersten Anodenbereich (12),
- einen zweiten Anodenbereich (13),
- zumindest ein Hochspannungskabel (14) und
- eine Hochspannungsquelle (15) zur Bereitstellung einer Hochspannung in dem Hochspannungskabel (14) für die Beschleunigung der Elektronen (e^-),

wobei das Hochspannungskabel (14) die Hochspannungsquelle (15) und die Kathodeneinrichtung (11) zur Versorgung mit der Hochspannung verbindet, wobei die Hochspannung größer 10 kV beträgt und die Hochspannungsquelle (15) gemeinsam mit dem Hochspannungskabel (14) eine Kapazität zur Bereitstellung eines Generatorstroms bildet, wobei die Kathodeneinrichtung (11)

- eine erste gittergeschaltete Kathode (16) mit einem ersten Gitter (17) zur Erzeugung eines ersten Stroms an emittierten Elektronen in Abhängigkeit einer auf Hochspannungspotential liegenden ersten Gitterspannung (U_{G1}) und
- eine zweite gittergeschaltete Kathode (18) mit einem zweiten Gitter (19) zur Erzeugung eines zweiten Stroms an emittierten Elektronen in Abhängigkeit einer auf Hochspannungspotential liegenden zweiten Gitterspannung (U_{G2}) aufweist, **gekennzeichnet durch**
- eine Gitterspannungseinheit (20), welche eine Schnittstelle zum Empfang eines Steuersignals aufweist und dazu ausgebildet ist, durch ein Regeln der ersten Gitterspannung (U_{G1}) am ersten Gitter (17) und durch ein Regeln der zweiten Gitterspannung (U_{G2}) am zweiten Gitter (19) die in der Kapazität vorhandene Ladungsmenge und somit den Generatorstrom in Abhängigkeit des Steuersignals zu regeln.

2. Röntgenstrahlenquelle (10) nach Anspruch 1,

- wobei die erste gittergeschaltete Kathode (16) dazu eingerichtet ist, mittels des erzeugbaren ersten Elektronenstroms erste Röntgenstrahlen in dem ersten Anodenbereich (12) der Röntgenstrahlenquelle (10) für eine Durchleuchtung eines Objekts zu generieren, wobei die zweite gittergeschaltete Kathode (18) dazu eingerichtet ist, mittels des erzeugbaren zweiten Elektronenstroms zweite Röntgenstrahlen in dem zweiten Anodenbereich (13) der Röntgenstrahlenquelle (10) zu generieren, wobei der erste Anodenbereich (12) und der zweite Anodenbereich (13) disjunkt sind und wobei der zweite Anodenbereich (12) derart auf einen Röntgenstrahlenschirm (22) ausgerichtet ist, dass das zu durchleuchtende Objekt von den zweiten Röntgenstrahlen abgeschirmt ist.
3. Röntgenstrahlenquelle (10) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der erste Anodenbereich (12) Teil einer ersten Anode (25) ist und der zweite Anodenbereich (13) Teil einer zweiten Anode (26) ist und wobei die erste Anode (25) und die zweite Anode (26) thermisch entkoppelt sind.
 4. Röntgenstrahlenquelle (10) nach Anspruch 3, wobei die erste Anode (25) und die erste gittergesteuerte Kathode (16) innerhalb eines ersten evakuierten Röntgenröhrengehäuses (27) der Röntgenstrahlenquelle (10) angeordnet sind, wobei die zweite Anode (26) und die zweite gittergesteuerte Kathode (18) innerhalb eines zweiten evakuierten Röntgenröhrengehäuses (28) der Röntgenstrahlenquelle (10) angeordnet sind und wobei das Vakuum des ersten Röntgenröhrengehäuses (27) und das Vakuum des zweiten Röntgenröhrengehäuses (28) voneinander separiert sind.
 5. Röntgenstrahlenquelle (10) nach Anspruch 4, wobei das zweite Röntgenröhrengehäuse (28) eine Hochfrequenz-Verstärkerröhre oder eine Wärmekapazität-optimierte Stehanodenröhre umfasst.
 6. Röntgenstrahlenquelle (10) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Gitterspannungseinheit (20) eine Gitterspannungsquelle (23) zur Erzeugung der Gitterspannungen (U_G , U_{G1} , U_{G2}) und einen Gitterspannungsschalter (24) aufweist, wobei der Gitterspannungsschalter (24) dazu ausgebildet ist, die Gitterspannungen (U_G , U_{G1} , U_{G2}) zwischen dem ersten Gitter (17) und dem zweiten Gitter (19) durch ein Schalten des Gitterspannungsschalters (24) zu übertragen.
 7. Röntgenstrahlenquelle (10) nach einem der Ansprüche 1 bis 5,
 8. Röntgenstrahlenquelle (10) nach Anspruch 7, wobei die zweite gittergeschaltete Kathode (18) zu einem Aufweiten des zweiten Elektronenstroms in Abhängigkeit von der zweiten Gitterspannung (U_{G2}) ausgebildet ist.
 9. Röntgenstrahlenquelle (10) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Gitterspannungseinheit (20) dazu ausgebildet ist, die Amplitude des zweiten Elektronenstroms zu ermitteln und die erste Gitterspannung (U_{G1}) und die zweite Gitterspannung (U_{G2}) in Abhängigkeit der ermittelten Amplitude zu regeln.
 10. Röntgenstrahlenquelle (10) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Gitterspannungseinheit (20) dazu ausgebildet ist, die erste Gitterspannung (U_{G1}) und die zweite Gitterspannung (U_{G2}) in Abhängigkeit einer zeitlichen Änderung der Hochspannung zu regeln.
 11. Röntgenstrahlenquelle (10) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Gitterspannungseinheit dazu ausgebildet ist, die erste Gitterspannung (U_{G1}) und die zweite Gitterspannung (U_{G2}) zur Vermeidung eines Überschwingens oder eines Unterschwingens bei der Hochspannung zu regeln, indem der Generatorstrom im Wesentlichen konstant gehalten wird.
 12. Röntgenstrahlenquelle (10) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Gitterspannungseinheit (20) dazu ausgebildet ist, die erste Gitterspannung (U_{G1}) und die zweite Gitterspannung (U_{G2}) zur Bereitstellung rechteckförmiger Pulse des ersten Elektronenstroms und/oder des zweiten Elektronenstroms zu regeln.
 13. Röntgenstrahlenquelle (10) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Gitterspannungseinheit (20) dazu ausgebildet ist, die erste Gitterspannung (U_{G1}) und die zweite Gitterspannung (U_{G2}) in einer Taktperiode kleiner 1 ms, vorzugsweise kleiner 200 μ s, zu regeln.

FIG 1

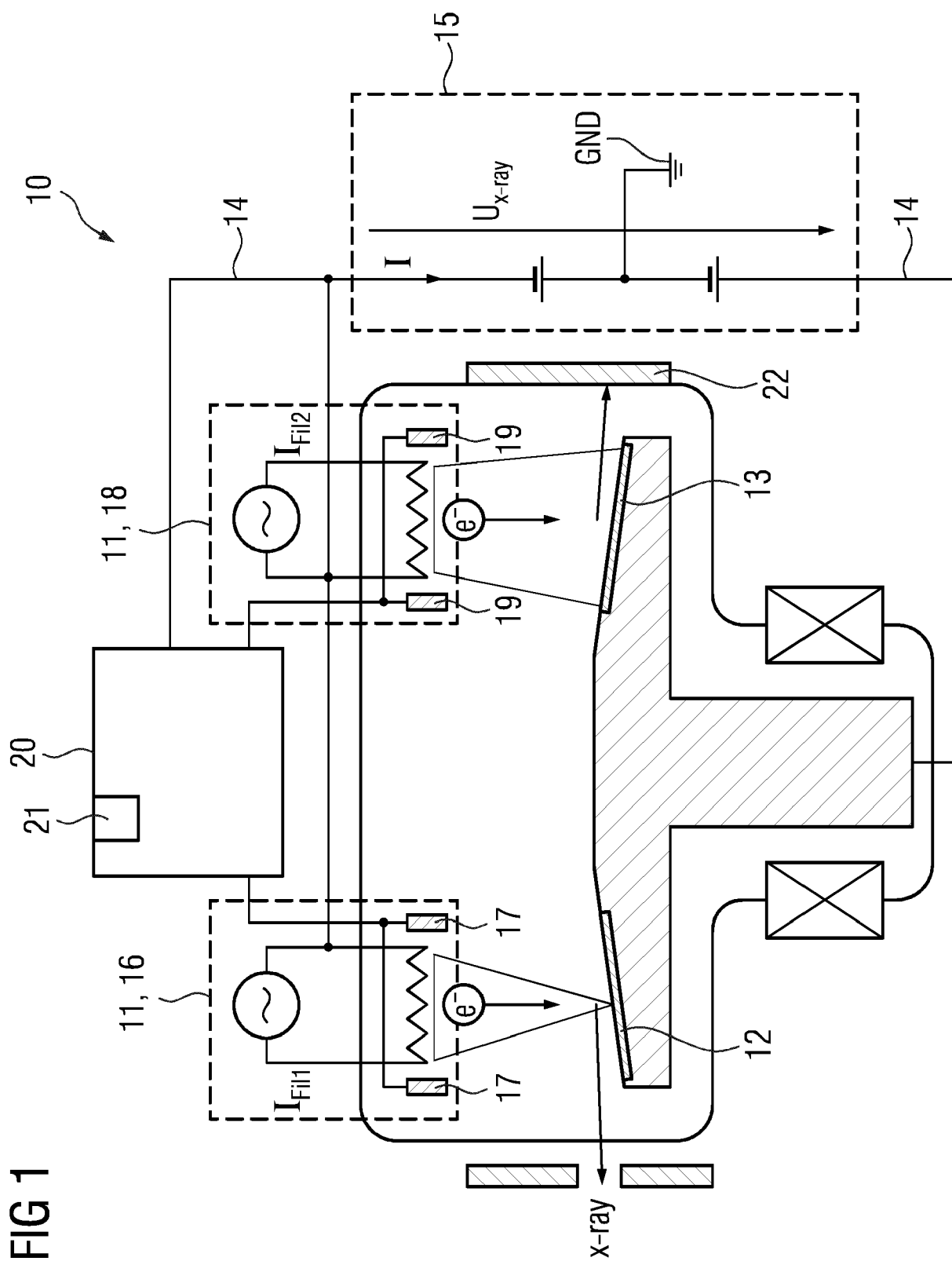


FIG 2

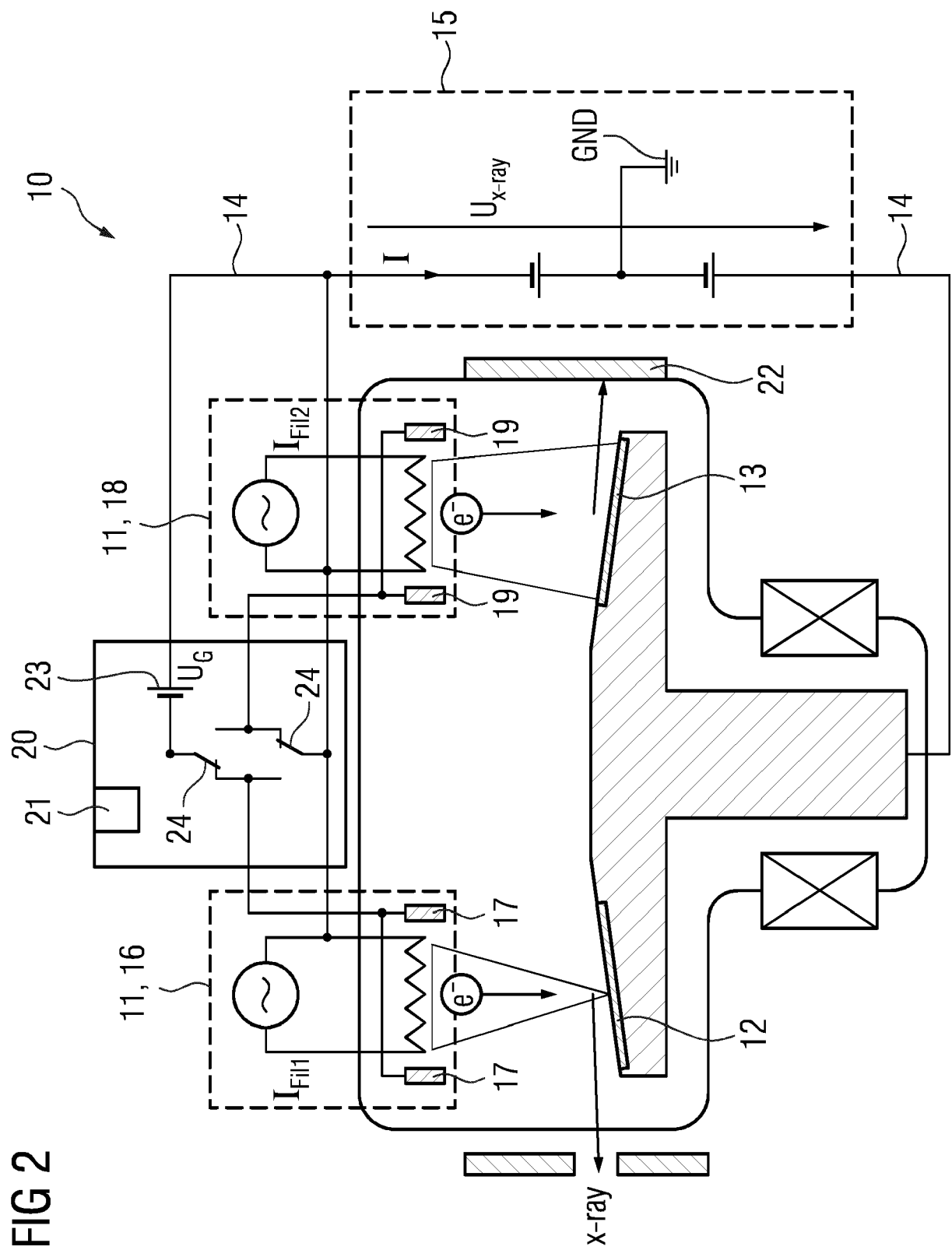


FIG 3

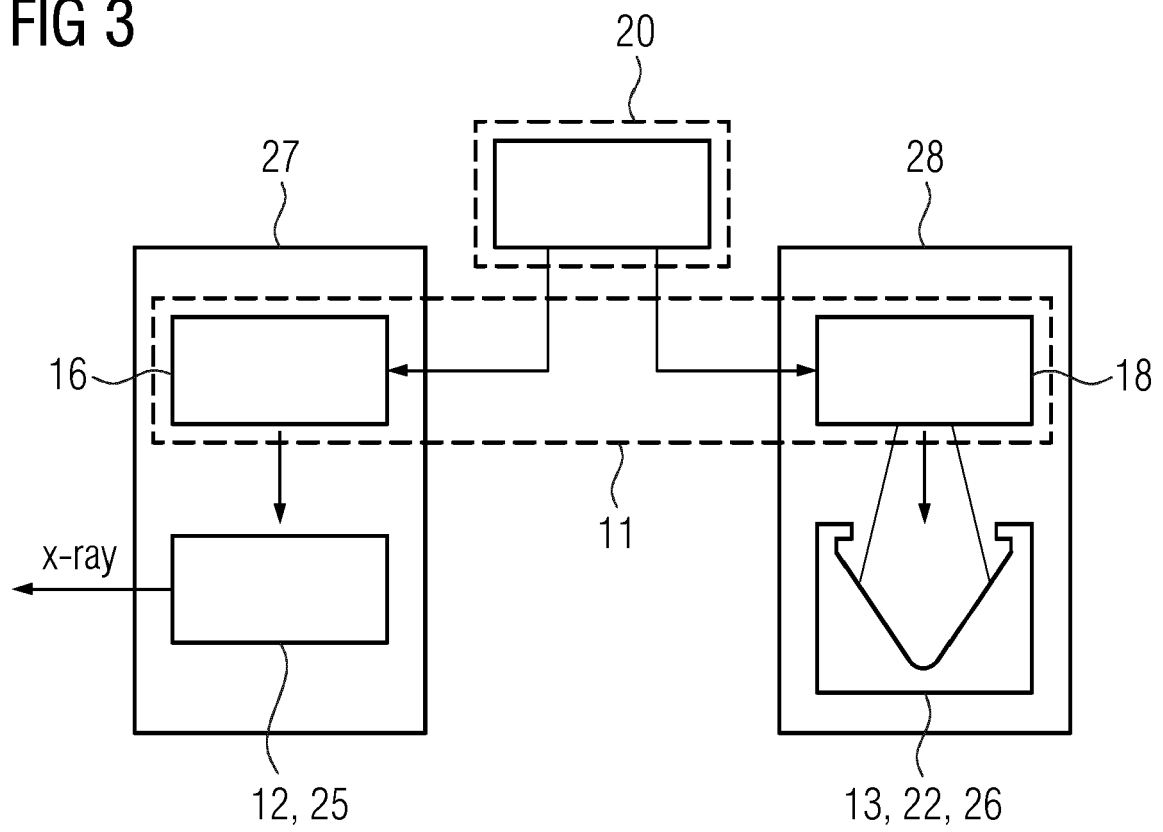


FIG 4

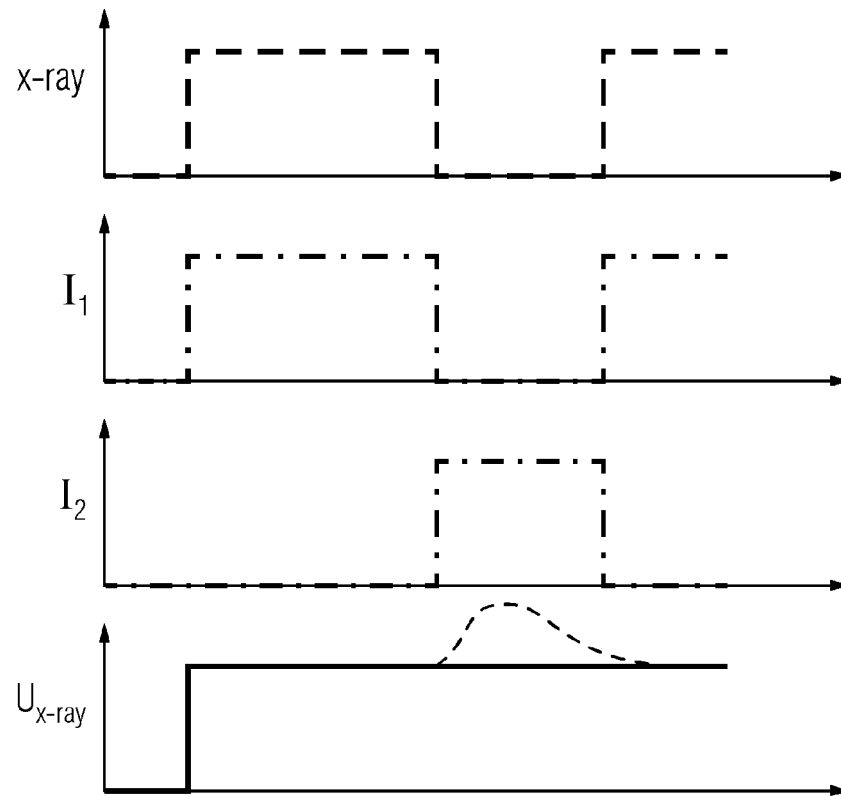


FIG 5

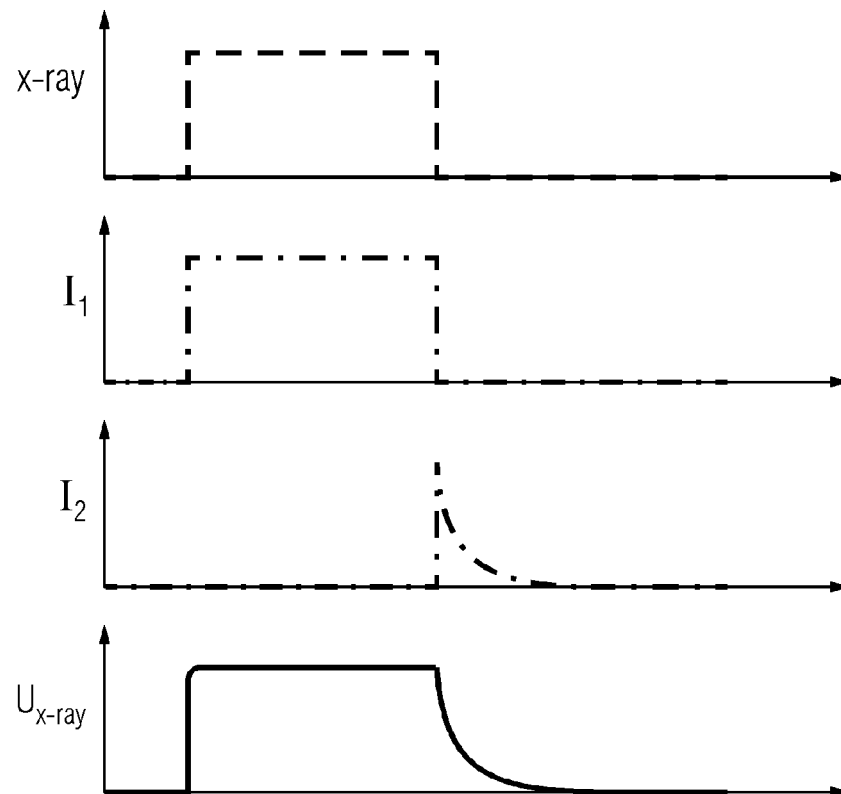


FIG 6

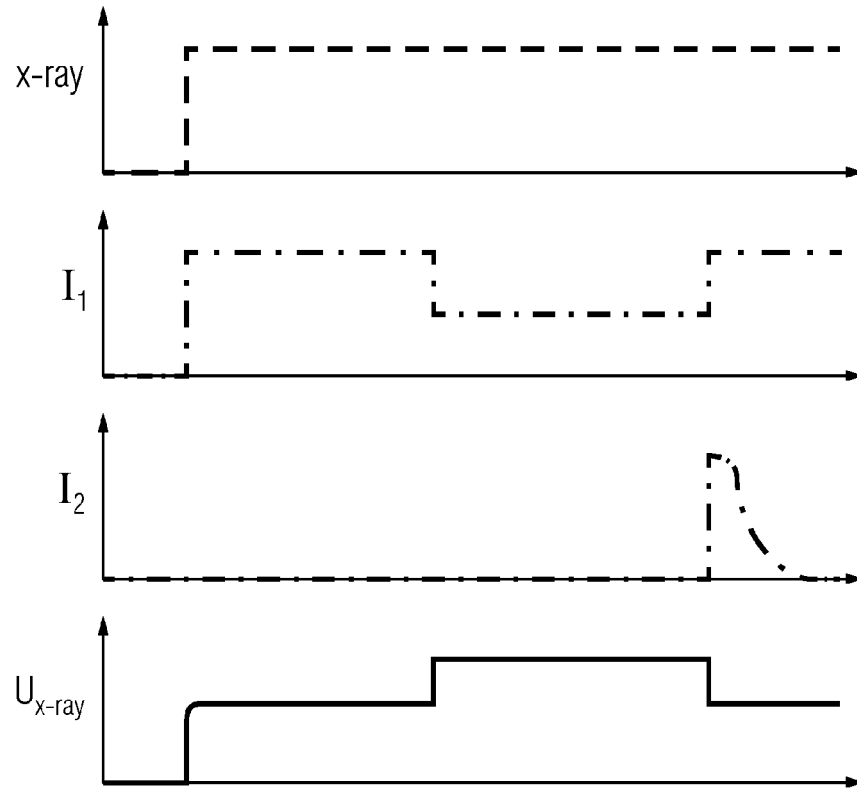
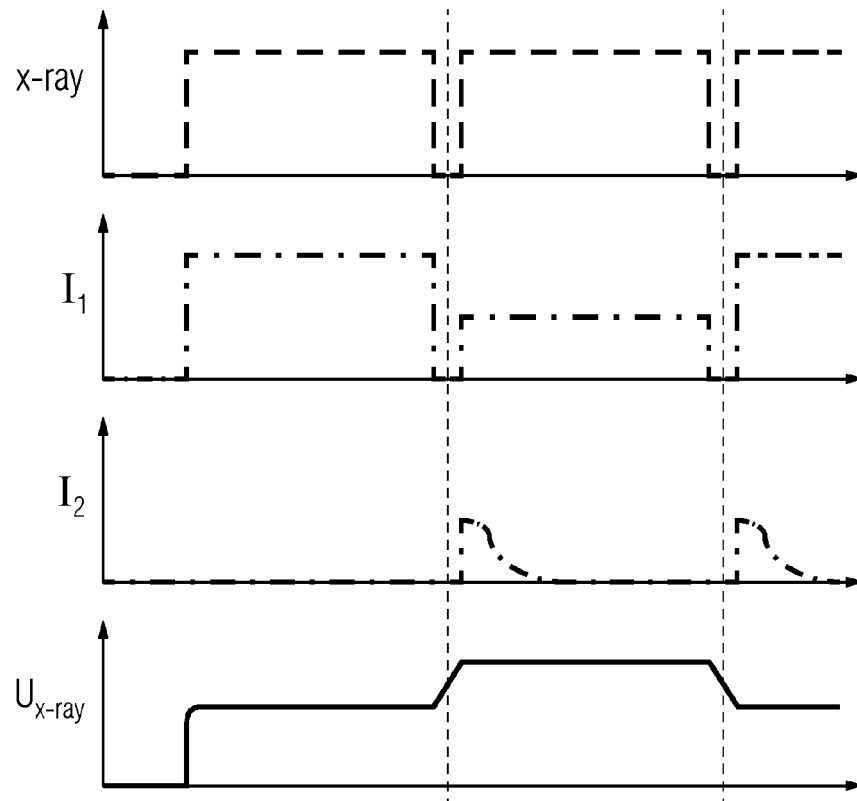


FIG 7





EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung

EP 22 18 7539

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

1

EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X	DE 29 33 831 A1 (TOKYO SHIBAURA ELECTRIC CO) 3. April 1980 (1980-04-03) * siehe Abb. 1, 2 und deren Beschreibung * -----	1-13	INV. H01J35/04 H01J35/06 H05G1/08 H05G1/32 H05G1/46
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
			H01J H05G
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort München		Abschlußdatum der Recherche 4. Januar 2023	Prüfer Angloher, Godehard
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : nichtschriftliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT
 ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 22 18 7539

5 In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentedokumente angegeben.
 Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am
 Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

04-01-2023

10	Im Recherchenbericht angeführtes Patentedokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
	DE 2933831	A1	03-04-1980	DE	2933831 A1	03-04-1980
				GB	2034149 A	29-05-1980
15				JP	S5546408 A	01-04-1980
				JP	S6331894 B2	27-06-1988
				US	4274005 A	16-06-1981

20						
25						
30						
35						
40						
45						
50						
55						

EPO FORM P0461

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82

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

- DE 102007042108 A1 **[0004]**
- DE 102013219173 A1 **[0005]**
- US 11000248 B2 **[0006]**
- EP 3823002 A1 **[0009]**