



(10) **DE 10 2004 018 764 A1** 2004.12.16

## Offenlegungsschrift

(51) Int Cl.<sup>7</sup>: **H05G 1/34**

(43) Offenlegungstag: **16.12.2004**

Sieb, R., Dipl.-Chem. Dr.rer.nat., Pat.-Anw., 69514  
Laudenbach

**Chretien, Patrick, Issy les Moulineaux, FR**

(54) Bezeichnung: **Verfahren zum Zuführen von Energie zu einem Heizelement einer Strahlungsquelle und entsprechende Quelle**

**Beschreibung****BEZUGNAHME AUF VERWANDTE ANMELDUNGEN**

**[0001]** Diese Anmeldung beansprucht die Priorität der am 20. Mai 2003 eingereichten französischen Patentanmeldung 03 50162, deren gesamter Inhalt durch Bezugnahme aufgenommen ist.

**HINTERGRUND DER ERFINDUNG**

**[0002]** Die vorliegende Erfindung ist auf ein Verfahren zum Zuführen von Energie zu einem Element einer Strahlungsquelle gerichtet. Im Besonderen ist die vorliegende Erfindung auf ein Verfahren zum Zuführen von Energie zu einem Heizfaden einer Kathode einer Röntgenröhre gerichtet. Die Erfindung kann in der Medizin, insbesondere für Gefäßanwendungen, benutzt werden. Die vorliegende Erfindung ist auf die mit Röntgenröhren erzeugte Bildqualität gerichtet. Die vorliegende Erfindung bezieht sich auch auf die Röntgenröhre selbst.

**[0003]** Für die Erfassung eines Radiologiebildes wird ein Gegenstand, wie ein Körper eines Patienten, der Bestrahlung mittels Röntgenstrahlen ausgesetzt, die durch den Gegenstand hindurchgehen und darin teilweise geschwächt werden, wobei die verbliebene Bestrahlung durch einen Detektor, d.h., einen Film oder einen elektronischen Detektor, nachgewiesen wird. Anstelle fester Röntgenquellen werden Elektronenröhren, die zur Erzeugung von Röntgenstrahlen in der Lage sind, als Strahlungsquelle eingesetzt. Elektronenröhren sind bei ihrer Verwendung flexibler. Elektronenröhren können dazu benutzt werden, die Härte der erzeugten Röntgenstrahlen (mit Bezug auf ihre Energie und somit die Frequenz der Photonenstrahlung) und die Abgaberate der erzeugten Röntgenstrahlen zu bestimmen.

**[0004]** Die Abgaberate der Röntgenstrahlen wird als eine Funktion der Resultate der Messungen ausgewählt, die mittels einer Integration der gesammelten Energie am Detektor entwickelt sind. Um die Beschreibung zu vereinfachen, ist die erforderliche Abgaberate, damit ein signifikanter Teil der Röntgenstrahlen den Detektor erreicht, um so größer, je größer der Gegenstand ist. Da der Detektor einen Energie-bezogenen dynamischen Bereich für die Entwicklung von Resultaten hat, sollte die mittlere Menge der vom Detektor empfangenen Energie pro Oberflächenelement in der Mitte dieses dynamischen Bereiches (oder bei einem erwarteten Wert) angeordnet sein, sodass der Bildkontrast so wirksam wie möglich verteilt ist. Ist die gesammelte Energie exzessiv stark, dann ist der Detektor gesättigt und es gibt einen Kontrastverlust für die transparenten Teile des Gegenstandes. Ist, im Gegensatz dazu, die empfangene Energie zu schwach, dann ist der Detektor unterexponiert und es gibt einen Kontrastverlust für die dicksten Teile des Gegenstandes.

**[0005]** Die Härte der Röntgenstrahlen wird hauptsächlich durch die Hochspannung zwischen einer Anode und einer Kathode der Röhre kontrolliert, während die Abgaberate der Röntgenstrahlen hauptsächlich vom Heizstrom der Anode abhängt. Die an der Kathode freigesetzten harten Elektroden treffen die Anode mit besonders hohen Geschwindigkeiten, wenn die Hochspannung erhöht wird. Dieses Treffen der Anode führt zur Produktion von Röntgenstrahlen hoher Energie. Gleichzeitig hängt die Anzahl der Elektronen, die von der Kathode zur Projektion auf die Anode freigesetzt werden kann, im Besonderen vom Anregungszustand der Kathode ab, der von ihrem thermischen Zustand abhängt.

**[0006]** Schließlich ist die Fließrate des Röhrenstromes, die in direkter Beziehung zur Röntgenstrahl-Abgaberate steht, mit der Temperatur der Röhre verknüpft.

**[0007]** Die Erfassung eines Radiographiebildes und allgemeiner eine radiologische Untersuchung erfordert daher nach der Anordnung eines Gegenstandes, wie eines Patienten, in einer Zwischenposition zwischen der Röhre und dem Detektor, dass die Röhre Strahlung während der Exposition aussendet. Die Dauer der Exposition ist ein anderer Vervielfältigungsfaktor der Energieansammlung, die durch den Detektor nachgewiesen wird. Aus Gründen des außerordentlich raschen Verschleißes und Reißens der Kathode durch die spontane Freisetzung von Elektronen gibt es bekannte Wege, die Kathode nur zu erhitzen, wenn sie emittieren soll. In den Praxis kann man die Kathode weit unterhalb der hohen Temperatur (um 4.000°K), die die Betriebstemperatur ist, halten.

**[0008]** Der Pulsbetrieb, dem die Röhre ausgesetzt ist, ist verbunden mit einer Schwierigkeit mit Bezug auf die Zeitkonstante des thermischen Erhitzens der Kathode. Diese Schwierigkeit verzögert das Einstellen der Röhre auf ihre Temperatur. Eine Kathode würde bei einer sehr tiefen Temperatur einen außerordentlich schwachen Röhrenstrom aussenden und für eine gegebene Bestrahlungsdauer würde sich die angesammelte Energie der emittierten Röntgenstrahlen von der erwarteten angesammelten Energie unterscheiden.

**[0009]** Um dieses Problem zu überwinden, gibt es einen bekannten Weg des Vorerhitzens der Kathode vor dem Emissionsimpuls, sodass sie ihre Betriebstemperatur erreicht. Dieses Vorerhitzen ist jedoch recht langsam und erfordert etwa vier bis fünf Sekunden. Eine solche Langsamkeit ist natürlich auf gewissen Gebieten, insbesondere bei der Gefäßuntersuchung, unakzeptabel, bei der ein Kontrastprodukt zur gleichen Zeit in das Blut des Patienten geschickt wird, zu der die radiographische Bestrahlung des Arterien- und Venen-Verteilungssystems erfolgt. Dieses Kontrastmittel breitet sich im Blut in Form einer Welle aus, die durch den Herzschlag gebildet wird. In anderen Worten, der verbesserte Kontrast ist nur für eine Dauer nahe einer Sekunde vorübergehend sichtbar und zu einem Zeitpunkt, der ein statistischer Zeitpunkt ist und in Beziehung zum Injektions-Zeitpunkt steht und in jedem Falle wenig Verträglichkeit mit der Warteperiode von vier oder fünf Sekunden hat.

**[0010]** Um dieses Problem zu überwinden, gibt es bekannte Wege des Überganges vom Wert eines elektrischen Haltestromes (der das Halten der Kathodenheizung ermöglicht) zu einem Betriebsstrom (der einer erwarteten Röntgenstrahlenabgaberate entspricht) mittels eines Kurzzeit-Impulses, der dem Heizstrom einen verstärkten Stromwert gibt. Für ein und die gleiche thermische Zeitkonstante ist dann die Entwicklung der Kathodentemperatur beträchtlich kürzer. Nach einer kalibrierten Dauer dieses Verstärkungsstromes, die im Allgemeinen 400 ms beträgt, ist der Heizstrom der Kathode auf einen Betriebswert gebracht. Dieser Betriebswert liegt zwischen dem Wert des Haltestromes und dem Wert des Verstärkungsstromes.

**[0011]** Im Allgemeinen kann am Ende einer nachfolgenden Stabilisierungs-Periode, die in einem Beispiel selbst 400 ms beträgt, die Bestrahlung richtig ausgeführt werden. Diese Bestrahlung, die von der benutzten Röhrentechnologie abhängt, kann entweder durch das Schalten der Hochspannung zwischen Anode und Kathode oder das Schalten einer Spannung des Steuergitters zwischen der Kathode und der Anode beschleunigt werden. Ein solches Herangehen ergibt gute Resultate, in jedem Falle bessere Resultate als solche, die erhalten werden, wenn der temporäre Verstärkungsstrom nicht angewendet wird.

**[0012]** Moderne Anforderungen hinsichtlich der Kontrolle der Abgaberate sind jedoch weit größer. Im Besonderen sollte die mittlere Abgaberate der Röhre während des Impulses innerhalb eines Fensters von  $\pm 10\%$  um einen erwarteten Mittelwert herum gehalten werden. Es wurde realisiert, dass trotz des Verstärkungsstromes größere Abweichungen auftreten, und dass der Röhrenstrom nicht mit der gewünschten Genauigkeit kontrolliert werden kann.

#### KURZE BESCHREIBUNG DER ERFINDUNG

**[0013]** Eine Ausführungsform der Erfindung ist auf das Überwinden dieses Problems gerichtet. Es wurde durch Messungen festgestellt, dass der Verstärkungsstrom nicht einmal und immer hinsichtlich Wert und Dauer zu benutzen ist, sondern dass er von dem zu erhaltenden Betriebsstrom (dem Strom, bei dem die Betriebstemperatur der Kathode zu stabilisieren ist) abhängen sollte, und dass der Verstärkungsstrom eine Funktion des Haltestromes vor dem Verstärkungsstrom sein sollte. Das Antreiben und Kontrollieren des Wertes des Verstärkungsstromes (in einem Beispiel für eine gegebene Dauer des Verstärkungsstromes) hat es dann ermöglicht, sicherzustellen, dass der mittlere Strom der Röhre während der brauchbaren Röntgenbestrahlung in einem Fenster von  $\pm 1,5\%$  des erwarteten Stromes enthalten ist, nämlich eines Wertes, der vollständig gemäß den Erwartungen ist.

**[0014]** In einer Ausführungsform wurde, statt der Benutzung empirischer Verfahren und des Tabulierens des Wertes des Verstärkungsstromes als eine Funktion des Haltestromes und des Betriebsstromes, ein besonders einfaches analytisches Modell benutzt. Dieses Modell gestattet die präzise Berechnung und hat den Vorteil der Übertragbarkeit von einer Röhre zur anderen. Von einer Röntgenröhre zur anderen resultieren nämlich, selbst für das gleiche Modell, Unterschiede in der Natur in unterschiedlichen Verhaltensformen, die nicht länger die oben vorgesehene Toleranz ermöglichen. Statt einer Kartierung der verschiedenen Verhaltensformen jeder Röhre, kann eine relativ einfache Reihe von Experimenten die Parameter des Modelles bestimmen, die die Röhre betreffen. Die Parameter des Modelles einer Röhre sind richtig für diese Röhre. Das Modell ist gemeinsam für alle die Röhren. Dieses Verfahren löst ein Problem der Genauigkeit bei der Verwendung der Röntgenröhre und ein Problem der Anwendung im industriellen Maßstab, bei der Abweichungen zwischen den Röhren berücksichtigt werden.

**[0015]** Eine Ausführungsform der Erfindung ist auf ein Verfahren des Zuführens von Energie zu einem Heizelement einer Strahlungsquelle vor der Emission gerichtet: Erhitzen des Elementes auf eine Heiztemperatur mittels eines Heizstromes, dessen Intensität einen Haltewert hat, Aussetzen des Heizelementes einem Verstärken des Heizstromes während einer Periode, die der Emission vorausgeht, und nach dieser Periode Aus-

setzen des Heizelementes einem Strom, dessen Intensität einen Zwischenwert zwischen dem Haltewert und dem Wert des Verstärkungsstromes hat, wobei der Wert des Verstärkungsstromes, Emission für Emission, als eine Funktion des Haltewertes und des Zwischenwertes bestimmt wird.

**[0016]** Eine Ausführungsform der Erfindung ist auf eine Strahlungsquelle mit einer Kathode mit einem Heizelement, einer Anode, einer Einrichtung zum Zuführen von Energie zu dem Element, einer Einrichtung zum Heizen des Elementes auf eine Haltetemperatur, deren Intensität einen Haltewert hat, um das Heizelement einer Verstärkung des Heizstromes während einer einer Emission vorausgehenden Periode auszusetzen, und nach dieser Periode das Heizelement einem Strom auszusetzen, dessen Intensität einen Zwischenwert zwischen dem Haltewert und dem Wert des Verstärkungsstromes hat, und eine Einrichtung zum Bestimmen des Wertes des Verstärkungsstromes, Emission für Emission, als eine Funktion des Haltewertes und des Zwischenwertes.

#### KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNG

**[0017]** Die Erfindung und deren Ausführungsformen werden deutlicher aufgrund der folgenden Beschreibung und der beigefügten Zeichnungen verstanden werden. Diese Zeichnungen dienen nur der Veranschaulichung und beschränken in keiner Weise den Umfang der Erfindung. Diese Figuren zeigen:

**[0018]** **Fig. 1** eine schematische Ansicht einer Röntgenröhre, die zum Ausführen des Verfahrens benutzt werden kann,

**[0019]** **Fig. 2** eine schematische Ansicht der Stufen des Vorerhitzens und Überhitzens der Kathode, wenn eine Emission auftritt,

**[0020]** **Fig. 3** das Prinzip der Feststellung der Einstellungs-Parameter und, nachdem diese Parameter bekannt sind, das Prinzip der Einstellung der Röntgenröhren, um die erwartete Emission zu erhalten, und

**[0021]** **Fig. 4 bis 8** graphische Darstellungen, die dazu benutzt werden, das Verfahren besser zu erklären.

#### DETAILLIERTE BESCHREIBUNG DER ERFINDUNG

**[0022]** **Fig. 1** zeigt eine Röntgenröhre **1**, die zur Ausführung einer Ausführungsform des Verfahrens benutzt werden kann. Röhre **1** umfasst eine Kathode **2** und eine Anode **3**, z.B. des Rotationstyps. Die Kathode **2** ist entweder eine direkte Kathode oder eine indirekte Kathode. Sie wird durch ihr Heizelement repräsentiert. Werden die Kathode und die Anode einer hohen Spannung mit Bezug aufeinander ausgesetzt, dann emittiert Kathode **2** Elektronen mit hoher Geschwindigkeit, die beim Treffen auf ein Target der Anode **3** die Emission von Röntgenstrahlen **4** durch die Anode bewirken, die zur Ausführung einer Radiographie, insbesondere auf medizinischem Gebiet, benutzt werden. Die Röhre **1** umfasst eine Kontroll- bzw. Regeleinrichtung **5**, die durch einen Mikroprozessor **6** gebildet wird, der durch eine Adress-, Daten- und Regel-Sammelschiene **7** mit einem Eingabe/Ausgabe-Interface **8**, einem Programmspeicher **9** und einem Datenspeicher **10** verbunden ist. Das Eingabe/Ausgabe-Interface **8** ist zum Empfang von Anweisungen von einem (nicht gezeigten) Mann-Maschine-Interface vorgesehen, das zum Diktieren eines erwünschten Betriebes der Röhre **1** benutzt werden kann. Ein im Speicher **9** enthaltenes Programm **11** wird zur Ausführung einer Reihe von Operationen durch den Mikroprozessor **6** benutzt, sodass die Röntgenstrahlen **4** strikt auf einen erwarteten Wert festgelegt sind.

**[0023]** Auf dem Gebiet der Gefäß-Radiographie (**Fig. 2**), z.B., ist der Halte-Heizstrom  $i_{h0}$  permanent an das Eingabe/Ausgabe-Interface **8** gelegt, um dem Glühfaden **2** der Kathode Leistung bzw. Energie zuzuführen. **Fig. 2** gibt unter dem Zeitdiagramm des Heizstromes eine Ansicht einer graphischen Darstellung der Temperatur  $\theta$  der Kathode. Unter der graphischen  $\theta$ -Darstellung zeigt die Figur den Röhrenstrom  $i$ , der auch als Anodenstrom bekannt ist, der direkt die Abgaberate der Röntgenstrahlen **4** repräsentiert. Vor einer Exposition **12**, während der die Bestrahlung ausgeführt wird, wird die Kathode **2** in einer bekannten Weise durch einen Verstärkungsstrom  $i_b$  für eine gegebene Dauer **13** vorerhitzt, die in einem Beispiel gleich 400 ms ist. Unten in der Erläuterung wird diese beispielhafte Dauer von 400 ms ausgewählt. Danach wird jedoch gezeigt, wie es speziell mit dem Modell möglich ist, eine andere Dauer auszuwählen. Die Dauer von 400 ms ist jedoch eine bevorzugte Dauer, weil sie einer normalen Belastung der Kathode **2** entspricht.

**[0024]** Nach der Periode **13**, während der der Verstärkungsstrom angewendet wird, ist es möglich, die Bestrahlung **12** auszuführen. Im Stande der Technik ist es jedoch bevorzugt, auf eine Stabilisierungsperiode **14** zu warten, die, in einem Beispiel, ebenfalls gleich 400 Millisekunden ist, bevor man die Bestrahlung **12** aus-

führt. In einer Ausführungsform der Erfindung ist es möglich, dass eine solche Dauer **14** nicht obligatorisch ist. Während der Stabilisierungsperiode **14** und während der Bestrahlungsperiode **12** ist der Kathodenstrom  $i_p$  ein Strom mit einem Zwischenwert zwischen dem Wert  $i_{ch0}$  des Haltestromes und dem Wert  $i_b$  des Verstärkungsstromes.

**[0025]** Fig. 2 gibt auch eine schematische Ansicht der Brauchbarkeit der Anwendung einer Verstärkungsstrom-Periode **13**. Wird eine Verstärkungsstrom-Periode **13** nicht benutzt, dann würde die Temperatur der Kathode ihre stabilisierte Temperatur **15** mit einer langsamen Entwicklung **16** erreichen, die in Beziehung zu ihrer thermischen Konstante steht. Unter Anwendung des Verstärkungsstromes und mit etwa der gleichen thermischen Konstanten wird die Betriebstemperatur **15** am Ende der Verstärkungsstrom-Periode **13** und damit vor dem Startzeitpunkt der Bestrahlung **12** erreicht. Mit einem Verstärkungsstrom kann folglich die Stabilisierungstemperatur **15** mit größerer Genauigkeit erreicht werden.

**[0026]** In einer Ausführungsform der Erfindung wurde jedoch festgestellt, dass der Verstärkungsstrom, wenn er ein für alle mal bestimmt worden ist, für welche Werte der vorläufigen Halteströme und für welche Werte der Zwischen-Betriebsströme  $i_p$  auch immer, nicht befriedigend ist und zu einer zu starken Streuung der Mittelwerte der Betriebsströme während der Bestrahlung **12** führt. In einer Ausführungsform der Erfindung wird der Wert **17** des Verstärkungsstromes  $i_b$  während der Periode **13** abhängig gemacht vom Wert **18** des Haltestromes  $i_{ch0}$  vor der Bestrahlung **12** und von dem Wert **19** des Zwischenwertes des Betriebsstromes  $i_p$ , der während der Bestrahlung benutzt werden kann. Diese Abhängigkeit bezieht sich auf die Dauer der Periode **13**.

**[0027]** Ein solches Verfahren und eine solche Vorrichtung sind besonders brauchbar, wenn eine Gefäßuntersuchung ausgeführt werden soll, für die der Zeitpunkt der Bestrahlung **12** statistisch bestimmt werden muss und wenn es geeignet ist, die Perioden der Zubereitung bis zum maximalen Ausmaß zu verringern oder sogar bis zur Stabilisierungsperiode **14** zu gehen. Fig. 2 zeigt schematisch, dass es die Vorerhitzungs-Zeitkonstante **20** aufgrund des Verstärkungsstromes **17** gestattet, dass die Betriebstemperatur **15** genau am Ende der Periode **13** erreicht wird.

**[0028]** Fig. 3 zeigt das Programm, das durch die Schaltung **5** ausgeführt wird, um zu einer genauen und erwarteten Einstellung der Betriebstemperatur zu gelangen. Ein erstes Unterprogramm **21** empfängt Information hinsichtlich der Dauer **22** der Periode **13**, der Dauer **23** der Periode **14** und der Dauer **24** des Haltestromes (der den Wert **18** hat). Das Unterprogramm **21** empfängt weiter als Information **25**  $i_{chmax}$ , was anzeigt, dass der Wert des Heizstromes nicht zu überschreiten ist, wenn die Kathode **2** keine Verschlechterung erleiden soll. Das Unterprogramm **21** des Programmes **11** führt daher eine Berechnung der Dauer **22** der Periode **13** des Wertes **17** des Verstärkungsstromes, der im Folgenden  $i_b$  genannt wird, wie in "i Verstärkung (boost)" für den Verstärkungsstrom aus. Das Unterprogramm **21** ist ein Modell für die Berechnung des Verstärkungsstromes des Glühfadens.

**[0029]** Das Programm **11** hat weiter ein anderes Unterprogramm **26**, das benutzt wird, das Verhalten des Heizstromes als eine Funktion der Information **27** über die anzulegende Hochspannung und einen erwarteten Wert des Röhrenstromes **28** zu modellieren. Das Unterprogramm **26** erzeugt eine Information  $i_p$  mit einem  $i_p$ -Wert **19**, das den Wert des zu benutzenden Betriebsstromes zum Halten der Kathode **2** anzeigt. Das Unterprogramm **21** empfängt auch die Information  $i_p$ , um die Berechnung des Verstärkungsstromes  $i_b$  **17** zu ermöglichen. Nachdem diese verschiedenen Elemente berechnet wurden, ermöglicht ein Unterprogramm **29** des Programmes **11** die wirksame Beaufschlagung der Kathode **2** und der Anode **3** mit den errechneten Werten. Die Röhre **1** wird dann als eine Funktion der verschiedenen Parameter in Betrieb gesetzt und die Bestrahlung **12** ausgeführt. Dann wird ein Unterprogramm **30** zum Messen der Realität des erzeugten Röhrenstromes (und seines Äquivalentes im Heizstrom) während der Bestrahlung **12** benutzt. Dieser wird mit dem erwarteten Wert  $i_p$  verglichen. Ist dies ausgeführt, dann ist ein Mittel verfügbar, die Parameter des Unterprogrammes **21** so einzustellen, dass, Röhre für Röhre, der Wert im gleich dem Wert  $i_p$  ist.

**[0030]** In der Praxis wird jede Installation, wenn sie von dem Produktionsband genommen wird, mit dem Unterprogramm **21** versehen, das mit Standardparametern versehen ist. Diese Standardparameter werden während einer Phase der Kalibrierung der Installation in einer begrenzten Anzahl von Experimenten eingestellt. Nachdem die Parameter eingestellt sind, wird die Installation an den Benutzer ausgeliefert. Falls erforderlich, ist es während des Alterns der Installation möglich, die Parameter des Unterprogrammes **21** mittels des Programmes **30** von Zeit zu Zeit oder periodisch zu modifizieren. Es ist jedoch möglich, die Auslieferung einer Installation in Betracht zu ziehen, bei der das Programm **11** das Unterprogramm **30** nicht umfasst, wobei das Versehen mit Parametern in der Produktionseinheit ein für alle mal ausgeführt worden ist.

**[0031]** Fig. 4 ist eine graphische Darstellung der Korrespondenz zwischen einer Temperatur  $\theta$  des Glühfadens und einem äquivalenten Röhrenstrom. Es ist möglich, aus den in Fig. 4 aufgetragenen Werten eine Gleichung für die Umwandlung der Anoden-Temperatur  $\theta$  in einen äquivalenten Röhrenstrom  $i_{\text{equ}}$  abzuleiten. Diese Gleichung 1 ist:

$$i_{\text{equ}} = \alpha\theta^4 + \beta\theta^3 + \gamma\theta^2 + \delta\theta + \lambda.$$

**[0032]** Mit dieser Formel 1 ist es dann möglich, eine Simulation des Verhaltens des Glühfadens für eine geplante Dauer, z.B. 400 ms im bevorzugten Falle, der Verstärkungsstrom-Periode **13** zu erhalten. Diese Simulation berücksichtigt den spezifischen Widerstand des Glühfadens, die Natur seines Materials und die physikalischen Daten, die es ermöglichen, dass seine Temperatur am Ende bekannt ist.

**[0033]** Fig. 5a zeigt erstens die Entwicklung der Glühfaden-Temperatur während des Verstärkungsstromes **13** und zweitens den Wert  $i_p$ , äquivalent der Temperatur  $\theta_{13}$ , die am Ende der Dauer **13** erreicht ist.

**[0034]** Die in Fig. 5b gezeigten Kurven zeigen die Resultate dieser Simulation, jeweils als eine Funktion eines Wertes des Stromes  $i_b$ . Es sind neun Kurven gezeigt, die als eine Funktion des Wertes  $i_{b0}$  des Haltestromes vor der Periode **13** parametrisiert sind. Die Kurven haben sehr grob die Gestalt eines Parabelabschnittes, der zeigt, dass der erwartete Strom  $i_p$  mindestens eine Funktion 2. Grades des Stromes  $i_b$  ist. Weiter wird natürlich ein erwarteter Betriebsstrom (repräsentiert durch die horizontale Linie der graphischen Darstellung 5b) erhalten und dies um so rascher, je größer der Verstärkungsstrom ist. Je geringer der Haltestrom, um so größer sollte der Verstärkungsstrom während des Impulses **13** sein.

**[0035]** Fig. 6 gibt eine Ansicht für gewisse Bedingungen der Fig. 5b der Messung im des gemessenen Heizstromes, entsprechend den Experimenten von 5b.

**[0036]** Fig. 7 zeigt die Elemente, die zur Bestimmung eines Simulationsmodells benutzt werden. Das Modell ermöglicht die Vereinfachung der Bestimmung des Verstärkungsstromes  $i_b$ , für eine Röhre, ohne dass es nötig ist, die in Fig. 5b gezeigte Kartierung auszuführen, für diese Röhre, und daher für jede der Röhren, die hergestellt werden könnte. Erstens wäre die Anfertigung dieser Kartierung ein langer und mühsamer Prozess. Zweitens wäre es entweder erforderlich, viel Speicher aufzunehmen oder komplexere Notwendigkeiten der Interpolation auszuführen, um die erforderliche Genauigkeit zu erhalten.

**[0037]** In einer Ausführungsform der Erfindung wurde festgestellt, dass sich das Problem aus der Entwicklung der Heizzeitkonstanten des Glühfadens aufgrund der verschiedenen Bedingungen ergibt, unter denen man ihn betrieben hat. Eine Ausführungsform der Erfindung ist gerichtet auf das Messen der Verschiebung im Wert des Heizstromes. Der Heizstrom hängt vom spezifischen Widerstand des Kathoden-Glühfadens ab, der seinerseits von der Temperatur der Kathode abhängt, die sich im Laufe der Zeit entwickelt. Während der Periode **13** ist daher die der Kathode **2** zugeführte thermische Energie nicht konstant und führt zu der Zeitkonstanten. Diese Entwicklung berücksichtigt weiter den technische Verlust, der konstant auftritt. Eine Ausführungsform der Erfindung ist auf die Standardisierung dieser Verschiebung mit Bezug auf den wahrscheinlichen Unterschied gerichtet, der zwischen dem Verstärkungsstrom  $i_b$  und dem erhaltenen Strom  $i$  resultiert. Die Kurve **7** zeigt die durch diese Entwicklung angenommene Form,  $1/\tau$  genannt, für ein halb offenes Intervall von Werten, die im Bereich vom Heizstrom  $i_{b0}$  bis zum Wert  $i_b$  liegen. Das Intervall ist halb offen, weil für  $i = i_b$ , die Standardisierung zu einem unendlichen Wert führt. Die Kurven wurden für Paare von Werten dargestellt, die auf der rechten Seite der graphischen Darstellung von Fig. 7 gezeigt sind.

**[0038]** Diese Kurven, die eine Asymptote zeigen, wenn  $i$  sich  $i_b$  nähert, haben die Gesamtgestalt einer geraden Linie und wurden als eine Linearität der Entwicklung darstellend interpretiert. Variierte die thermische Zeitkonstante  $\tau$  des Glühfadens mit der Temperatur nicht, dann könnte eine Gleichung 2 folgendermaßen geschrieben werden:

$$i_p = i_b - (i_b - i_0) \cdot \exp(-t/\tau),$$

wobei  $\tau$  eine Konstante ist, das heißt

$$di_p/dt = (i_b - i_0) \cdot \exp(-t/\tau)/\tau, \text{ das heißt}$$

$$di_p/dt = (i_b - i_p)/\tau, \text{ das heißt}$$

$$1/\tau = di_p/dt / (i_b - i_p).$$

**[0039]** Mit einem Modell erster Ordnung würde eine Konstante für  $1/\tau$  erhalten werden. Dies ist mit dem ge-

zeigten Modell nicht verifiziert, da insgesamt die Kurven zu einer Gleichung 3 führen:

$1/\tau = di/dt/(ib - i) = a + b \cdot ib + i \cdot (c + d \cdot ib)$ , das ist

$$ip = ib - \frac{ib - i0}{(\tau(ib) / \tau(i0)) \cdot (e^{t/\tau(ib)} - 1) + 1}.$$

wobei  $\tau(ib) = 1/(a + b \cdot ib + c \cdot ib + d \cdot ib \cdot ib)$ , und

wobei  $\tau(i0) = 1/(a + b \cdot ib + c \cdot i0 + d \cdot ib \cdot i0)$ .

**[0040]** Dies verringert die Komplexität des Modells zu einem einfachen Modell mit vier Koeffizienten a, b, c, d. Es ist allgemein nicht erforderlich, einen fünften Koeffizienten in Betracht zu ziehen, der das Quadrat des Verstärkungsstromes des Haltestromes berücksichtigt. Es konnte gezeigt werden, dass das Berücksichtigen dieser anderen Variablen von marginalem Wert für die erwartete Genauigkeit sein würde, die in einem Bereich von 1,5% liegt. In dieser Hinsicht gibt **Fig. 8** eine Ansicht, die sehr fein vermischte Kurven für das Modell und die Messung des Wertes des Betriebsstromes benutzt, der einerseits errechnet und andererseits gemessen wurde als eine Funktion des Wertes des Verstärkungsstromes. Dies wurde für zwei beispielhafte Halteströme von  $i0$  2,5 bzw. 3,5 Ampere ausgeführt.

**[0041]** Experimente haben gezeigt, dass das so errechnete Modell mit einer Effizienz von etwa 1,5% gültig ist, die sehr viel größer ist als die erwarteten 10%. In einem Beispiel haben die Parameter a, b, c, d in Abhängigkeit davon, ob die Kathode einen kleinen Brennpunkt oder einen großen Brennpunkt auf der Anode erzeugt, die folgenden Werte.

kleiner Brennpunkt: a = -0,9658; b = 0,0504; c = 0,4072; d = 0,0124

großer Brennpunkt: a = -0,4045; b = 0,0416; c = 0,2663; d = 0,0215

**[0042]** Wie ersichtlich, ergibt die durch Gleichung 3 empfohlene Berechnung nicht direkt den Wert des Verstärkungsstromes  $ib$ , wobei der Betriebsstrom  $ip$  und der Halteheizstrom  $i0$  bekannt sind. In der Praxis wird dieses Verfahren durch Iteration ausgeführt, indem man einen Wert nimmt, von dem man weiß, dass er an der oberen Grenze möglicher Werte für den Heizstrom liegt, und einen Wert, von dem man weiß, dass er an der unteren Grenze der möglichen Werte für den Heizstrom liegt. So ist, z.B., der Wert, von dem bekannt ist, dass er an der oberen Grenze liegt, der Wert des maximalen Heizstromes  $ich_{max}$ . Der Wert, von dem bekannt ist, dass er an der unteren Grenze liegt, ist der Wert des Halteheizstromes  $ich0$ . Dann wird das Verfahren mittels Dichotomie fortgeführt. So wird, z.B., eine Berechnung des Wertes des Heizstromes ausgeführt, der aus einer Auswahl eines Zwischen-Verstärkungsstromes resultiert, z.B. die Hälfte der Summe der beiden Werte, des oberen Grenzwertes und des unteren Grenzwertes. In Abhängigkeit von dem Unterschied, der zwischen dem Wert des errechneten Betriebsstromes und dem erwünschten Wert festgestellt wird, werden graduelle Modifikationen im Wert des Verstärkungsstromes vorgenommen, um einen neuen Wert des Betriebsstromes zu errechnen, der dichter beim erwarteten Betriebsstrom ist als der zuvor errechnete Wert. Die Berechnung wird beendet, wenn der Fehler unterhalb einer Schwelle liegt, die, z.B., bei 3 mA festgelegt ist. In der Praxis kann am Ende von drei oder vier Iterationen, was sehr rasch sein mag, weil die Berechnung nichts desto trotz ziemlich einfach ist, der Wert des Verstärkungsstromes erhalten werden. Alle diese Berechnungen können sehr einfach in einer Berechnungsperiode von weniger als einer Millisekunde mit einem modernen Prozessor erhalten werden, der mit einer Rate von einem Gigahertz arbeitet. Der Fehler wird somit durch Bestimmen des Wertes des Verstärkungsstromes als eine Funktion eines ausgewählten Modells der Entwicklung des Heizstromes errechnet. Das ausgewählte Modell der Entwicklung verursacht ein Minimieren des Röhrenstromfehlers zwischen einem für die Röntgenröhre erwarteten Röhrenstrom und einem erhaltenen Röhrenstrom. In der Praxis kann der Röhrenstrom durch seinen äquivalenten Heizstrom (für eine gegebene Hochspannung) ersetzt werden.

**[0043]** Der Fachmann kann verschiedene Modifikationen in Struktur/Weg und/oder Funktion und/oder Resultaten und/oder Stufen der offenbarten Ausführungsformen und von deren Äquivalenten vornehmen oder vorschlagen, ohne den Umfang und das Ausmaß der Erfindung zu verlassen.

## Bezugszeichenliste

1	Röntgenröhre
2	Kathode
3	Anode
4	Röntgenstrahlung
5	Steuervorrichtung
6	Mikroprozessor
7	Adress-, Daten- und Steuer-Sammelschiene
8	Eingabe/Ausgabe-Interface
9	Programmspeicher
10	Datenspeicher
11	Program
12	Bestrahlung
13	eine gegebene Periode
14	eine Stabilisierungsperiode
15	Stabilisierungs-Temperatur
16	langsame Entwicklung
17	Wert des Verstärkungsstromes $i_b$
18	Wert des Haltestromes $i_{ch0}$
19	Wert eines Zwischenwert-Betriebsstromes $i_p$
20	Vorerhitzungs-Zeitkonstante
21	erstes Unterprogramm
22	Information zur Dauer der Periode 13
23	Information zur Dauer der Periode 14
24	Information zur Dauer des Haltestromes
25	Information des $i_{chmax}$
26	Unterprogramm
27	Information zur Hochspannung
28	Röhrenstrom
29	Unterprogramm
30	Unterprogramm

## Patentansprüche

1. Verfahren zum Zuführen von Energie zu einem Heizelement einer Quelle emittierter Strahlung, umfassend:

Aufheizen des Elementes auf eine Haltetemperatur mittels eines Heizstromes, dessen Intensität einen Halte-  
wert hat,

Beaufschlagen des Heizelementes mit einem verstärkten Heizstrom während einer der Emission von Strah-  
lung vorausgehenden Periode und

Beaufschlagen des Heizelementes nach dieser Periode mit einem Strom, dessen Intensität einen mittleren  
Wert zwischen dem Halte- und dem Wert des Verstärkungsstromes hat,

wobei der Wert des Verstärkungsstromes, Emission für Emission, als eine Funktion des Halte- und des



Zwischenwertes bestimmt wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, worin die Quelle bei einer radiologischen Untersuchung eingesetzt wird.

3. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 2, worin der Wert des Verstärkungsstromes als eine Funktion eines Modelles der Entwicklung des Heizstromes entwickelt wird, und das Entwicklungsmodell ein Modell ist, das eine Minimierung des Quellenstromfehlers zwischen einem Quellenstrom, der für die Quelle erwartet wird, und einem erhaltenen Quellenstrom erzeugt.

4. Verfahren nach Anspruch 3, worin das Modell die folgenden Gleichungen umfasst:

$$ip = ib - \frac{ib - i0}{(\tau(ib) / \tau(i0)) \cdot (e^{t/\tau(ib)} - 1) + 1}.$$

wobei  $\tau(ib) = 1/(a + b \cdot ib + c \cdot ib + d \cdot ib \cdot ib)$ , und

wobei  $\tau(i0) = 1/(a + b \cdot ib + c \cdot i0 + d \cdot ib \cdot i0)$ ,

worin  $ip$  der Elementenstrom zu Beginn der Emission,  $ib$  der verstärkende Element-Überstrom,  $i0$  der anfängliche Strom,  $t$  eine Konstante und  $a$  bis  $d$  Parameter der Quelle sind und

worin der Verstärkungsstromwert  $ib$  durch Iterationen bestimmt wird, wobei der Wert  $i0$  des Haltestromes und der Zwischenwert  $ip$  bekannt sind.

5. Verfahren nach Anspruch 4, worin die Parameter  $a$ ,  $b$ ,  $c$  und  $d$  die folgenden Werte in Abhängigkeit davon haben, ob die Kathode einen kleinen Brennfleck oder einen großen Brennfleck auf der Anode erzeugt:

kleiner Brennfleck:  $a = -0,9658$ ;  $b = 0,0504$ ;  $c = 0,4072$ ;  $d = 0,0124$

großer Brennfleck:  $a = -0,4045$ ;  $b = 0,0416$ ;  $c = 0,2663$ ;  $d = 0,0215$ .

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 4 bis 5, worin die Parameter  $a$ ,  $b$ ,  $c$  und  $d$  durch Minimieren eines Fehlers bestimmt werden, der zwischen einem erwarteten Röhrenstrom und einem nachgewiesenen Röhrenstrom festgestellt wird.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, worin die Periode eine Dauer von 400 ms hat.

8. Verfahren nach Anspruch 7, worin die Periode der Emission um eine Stabilisierungsdauer vorausgeht, die etwa gleich 400 ms ist.

9. Strahlungsquelle, umfassend:

eine Kathode mit einem Heizelement,

eine Anode,

eine Einrichtung zum Zuführen von Energie zu dem Element,

eine Einrichtung zum Erhitzen des Elementes auf eine Haltetemperatur, deren Intensität einen Haltewert hat, um das Heizelement während einer Periode einem Verstärken des Heizstromes auszusetzen, die einer Emission vorhergeht, und nach dieser Periode, um das Heizelement einem Strom auszusetzen, dessen Intensität einen Zwischenwert zwischen dem Haltewert und dem Wert des Verstärkungsstromes hat, und

eine Einrichtung zum Bestimmen des Wertes des Verstärkungsstromes, Emission für Emission, als eine Funktion des Haltewertes und des Zwischenwertes.

10. Quelle nach Anspruch 9, worin die Einrichtung zum Bestimmen des Wertes des Verstärkungsstromes ein Entwicklungsmodell des Heizstromes umfasst, wobei das Entwicklungsmodell ein Modell ist, das ein Minimieren eines Quellenstromfehlers zwischen einem Quellenstrom, der für die Quelle erwartet wird, und einem erhaltenen Quellenstrom erzeugt.

11. Quelle nach Anspruch 10, worin das Modell die folgenden Gleichungen implementiert:

$$ip = ib - \frac{ib - i0}{(\tau(ib) / \tau(i0)) \cdot (e^{t/\tau(ib)} - 1) + 1}.$$

wobei  $\tau(ib) = 1/(a + b \cdot ib + c \cdot ib + d \cdot ib \cdot ib)$ , und

wobei  $\tau(i0) = 1/(a + b \cdot ib + c \cdot i0 + d \cdot ib \cdot i0)$ ,

worin  $ip$  der Elementenstrom zu Beginn der Emission,  $ib$  der verstärkende Element-Überstrom,  $i0$  der anfängliche Strom,  $t$  eine Konstante und  $a$  bis  $d$  Parameter der Quelle sind und

worin der Verstärkungsstromwert  $i_b$  durch Iterationen bestimmt wird, wobei der Wert  $i_0$  des Haltestromes und der Zwischenwert  $i_p$  bekannt sind.

12. Quelle nach Anspruch 11, worin die Parameter  $a$ ,  $b$ ,  $c$  und  $d$  die folgenden Werte in Abhängigkeit davon haben, ob die Kathode einen kleinen Brennfleck oder einen großen Brennfleck auf der Anode erzeugt:

kleiner Brennfleck:  $a = -0,9658$ ;  $b = 0,0504$ ;  $c = 0,4072$ ;  $d = 0,0124$

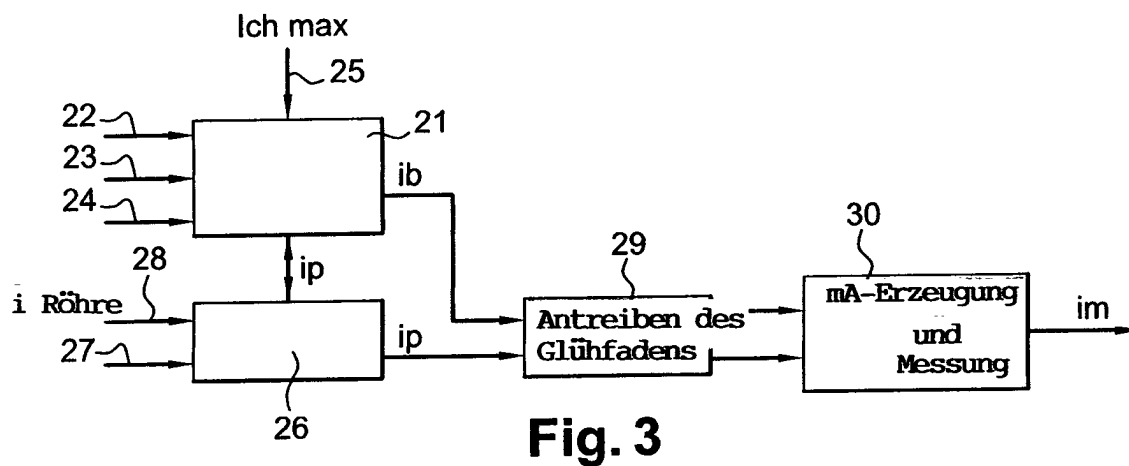
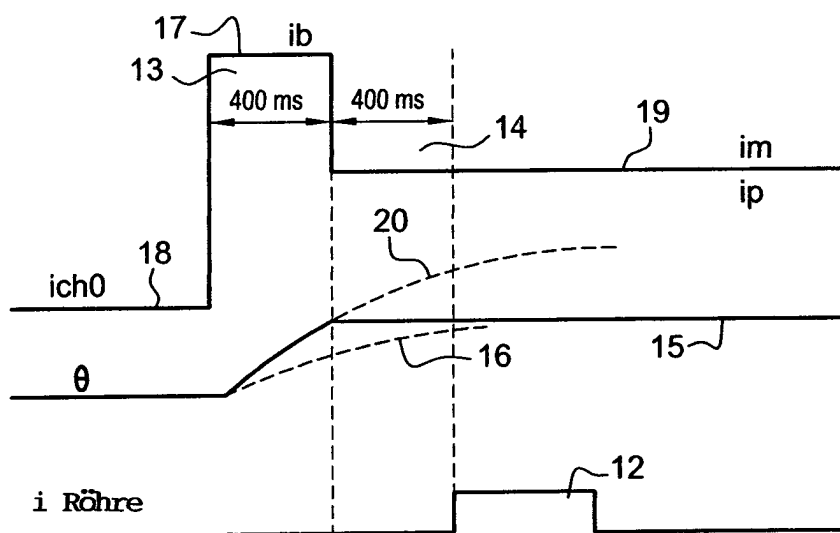
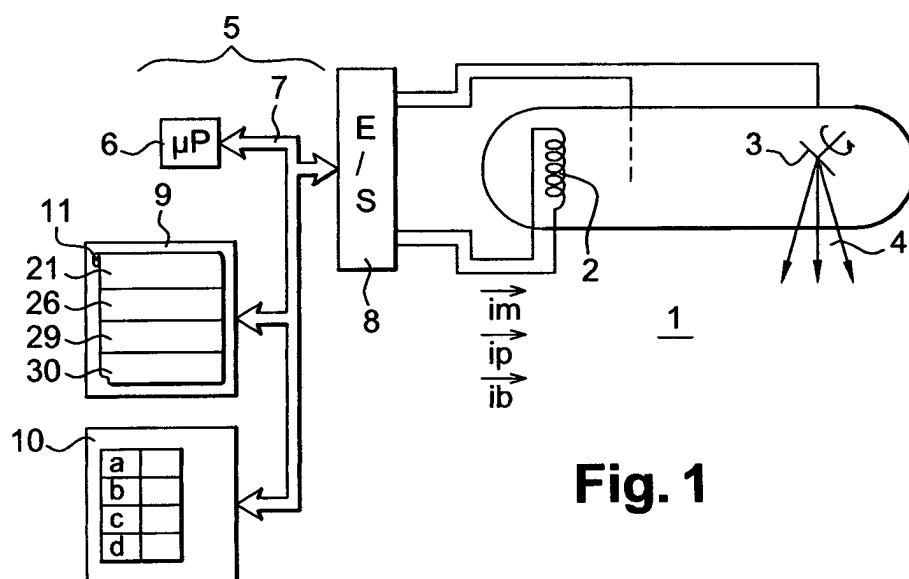
großer Brennfleck:  $a = -0,4045$ ;  $b = 0,0416$ ;  $c = 0,2663$ ;  $d = 0,0215$ .

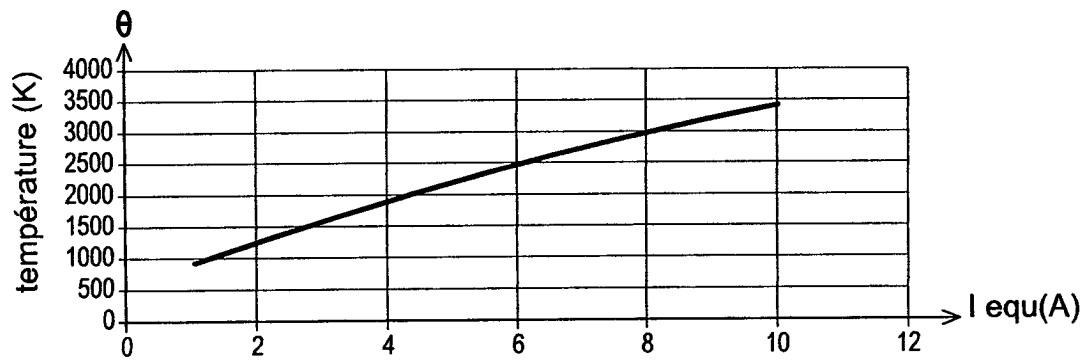
13. Computerprogramm mit Code-Einrichtungen, die beim Ausführen auf einem Computer die Stufen irgendeines der Ansprüche 1 bis 8 ausführen.

14. Computerprogramm auf einem Träger, der einen Code trägt, der beim Ausführen auf einem Computer die Stufen irgendeines der Ansprüche 1 bis 8 ausführt.

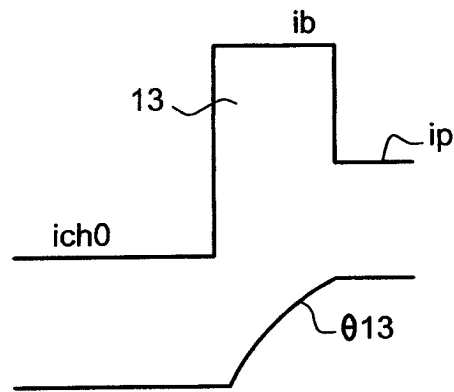
Es folgen 3 Blatt Zeichnungen

## Anhängende Zeichnungen

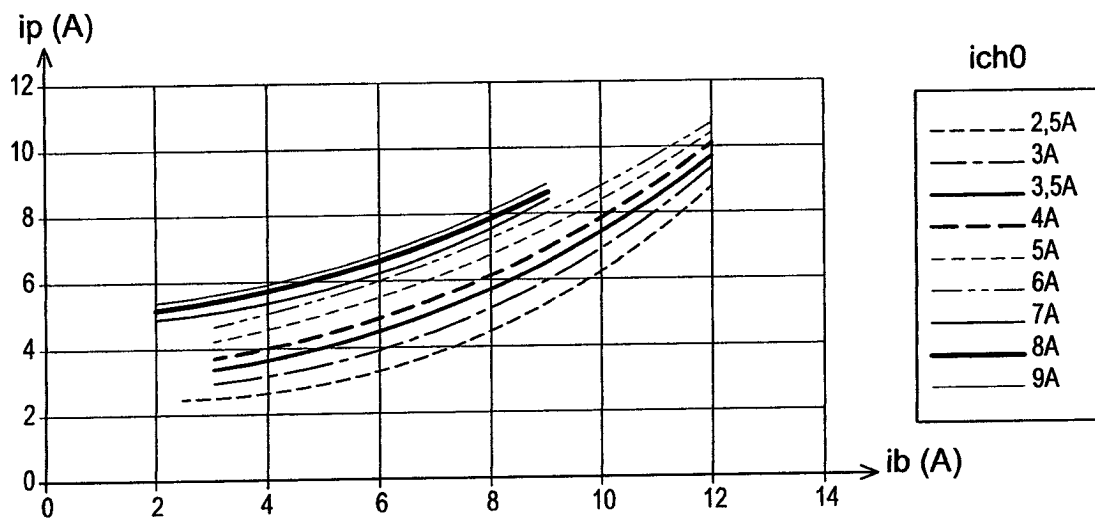




**Fig. 4**



**Fig. 5a**



**Fig. 5b**

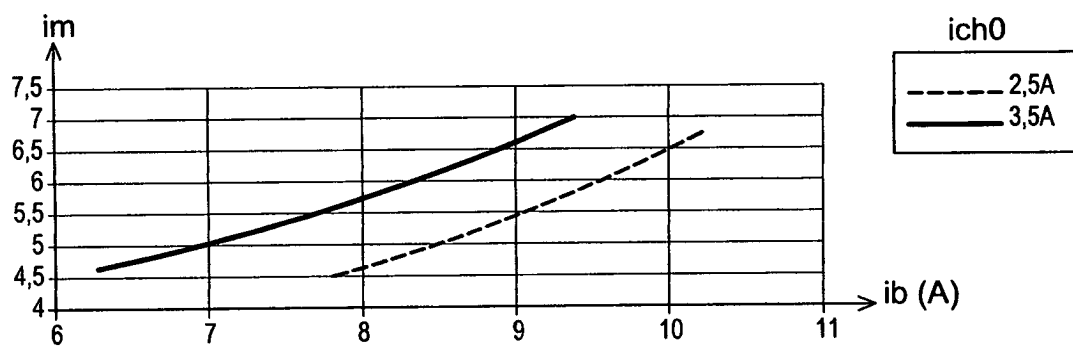


Fig. 6

$$1/\tau = (di/dt)/(i_b - i) [i_0; i_b[$$

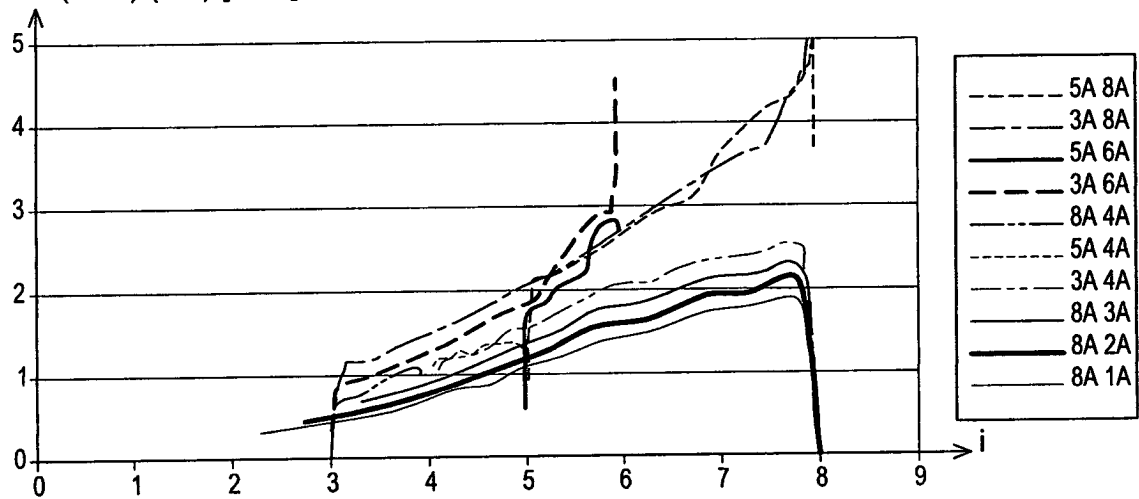


Fig. 7

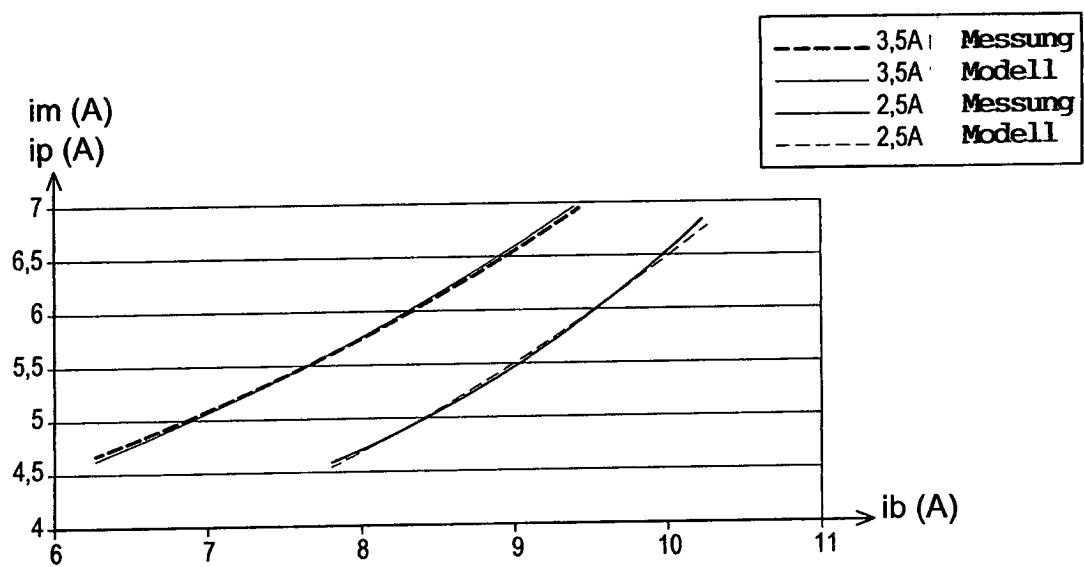


Fig. 8