

12

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

21 Anmeldenummer: 80200625.4

51 Int. Cl.³: **H 05 G 1/36**
H 05 G 1/26

22 Anmeldetag: 01.07.80

30 Priorität: 05.07.79 DE 2927207

43 Veröffentlichungstag der Anmeldung:
14.01.81 Patentblatt 81/2

84 Benannte Vertragsstaaten:
DE FR GB NL SE

71 Anmelder: Philips Patentverwaltung GmbH
Steindamm 94
D-2000 Hamburg 1(DE)

84 Benannte Vertragsstaaten:
DE

71 Anmelder: N.V. Philips' Gloeilampenfabrieken
Pieter Zeemanstraat 6
NL-5621 CT Eindhoven(NL)

84 Benannte Vertragsstaaten:
FR GB NL SE

72 Erfinder: Ochmann, Rudolf
Wogemannsburg 60
D-2000 Hamburg 60(DE)

74 Vertreter: Hartmann, Heinrich et al,
Philips Patentverwaltung GmbH Steindamm 94
D-2000 Hamburg 1(DE)

54 Verfahren zum Steuern der einer Drehanoden-Röntgenröhre zugeführten elektrischen Leistung.

57 Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren wird fortlaufend die Temperatur der Anodenscheibe ermittelt. Überschreitet die Temperatur einen ersten Grenzwert, wird die Leistung der Röntgenröhre auf einen Bruchteil (z.B. 80 %) der sonst zulässigen Leistung herabgesetzt. Wird ein zweiter Grenzwert der Anodenscheibentemperatur überschritten, wird die Aufnahme ganz blockiert. Bei Aufnahmen mit relativ niedriger Leistung, die dicht aufeinanderfolgen, kann es vorkommen, daß die Anodenscheibentemperatur den zweiten Grenzwert nicht erreicht, doch kann der Mittelwert der zugeführten elektrischen Leistung dabei so hoch sein, daß das Lager der Drehanode gegebenenfalls auch die Verbindungsstelle der Anodenwelle mit ihrem Rotor überlastet. Dies wird dadurch verhindert, daß zugleich auch der Mittelwert der Leistung, die der Röntgenröhre zugeführt wird, überwacht wird und die Aufnahme blockiert wird, wenn dieser Mittelwert zu hoch ist.

EP 0 022 295 A1

./...

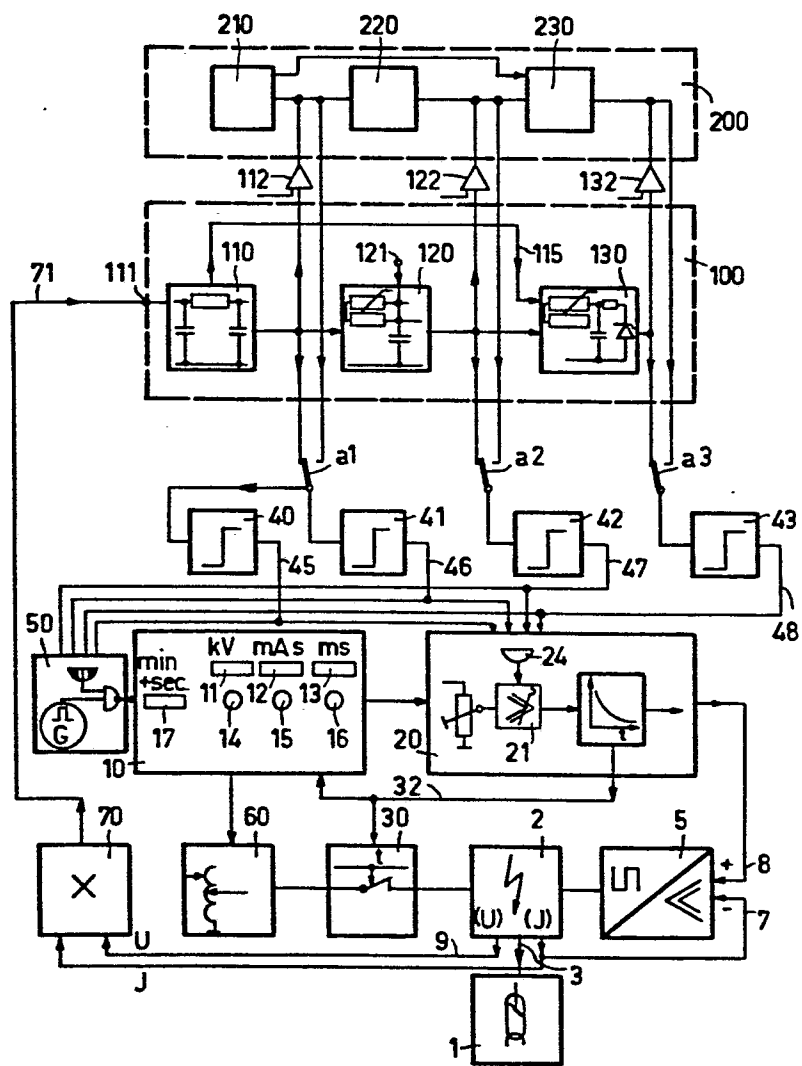


FIG.2

PHD 79-073 EP

Verfahren zum Steuern der einer Drehanoden-Röntgenröhre
zugeführten elektrischen Leistung

Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zum Steuern
der einer Drehanoden-Röntgenröhre in einem Röntgengenerator
zugeführten elektrischen Leistung in Abhängigkeit von der
Anodentemperatur der Röntgenröhre, wobei die jeweilige
5 Anodenscheibentemperatur fortlaufend ermittelt wird und
mit einem ersten Grenzwert verglichen wird, wobei die der
Röntgenröhre zugeführte elektrische Leistung selbsttätig
abgesenkt wird, wenn die Anodenscheibentemperatur den
ersten Grenzwert überschreitet.

10 Ein solches Verfahren ist im wesentlichen aus der
DE-OS 22 08 871 bekannt. Allerdings wird dabei nicht
die Anodenscheibentemperatur ermittelt (das ist die
Temperatur, die die Anodenscheibe annimmt, wenn sich die
15 im Brennfleck zugeführte Wärme wenigstens annähernd
gleichmäßig auf die ganze Scheibe verteilt hat), sondern
die Temperatur im Brennfleck. Zur Ermittlung der Tempera-
tur ist dabei ein analoger Rechenkreis vorgesehen. Eben-
sogut könnte ein digitaler Rechner dafür verwendet werden;
20 auch könnte die Temperatur durch Messung ermittelt werden.

In dem Augenblick, in dem bei dem bekannten Verfahren die
Brennflecktemperatur den Grenzwert erreicht hat, wird die
Röhrenleistung so geregelt, daß die Brennflecktemperatur

gerade dem Grenzwert entspricht. Als Folge des automatischen Herabsetzens der Leistung während der Aufnahme ergeben sich in diesem Grenzbereich der Belastung ständig ändernde Aufnahmezeiten bei demselben Objekt, und es ist keine Reproduzierbarkeit hinsichtlich der Bewegungsunschärfe des Objektes erzielbar. Außerdem berücksichtigt dieses Verfahren nicht, daß auch dann, wenn die Brennflecktemperatur ständig kontrolliert wird, das Drehanodenlager, das über eine Welle mit vergleichsweise hohem Wärmewiderstand mit der Anodenscheibe verbunden ist, Temperaturen annehmen kann, die zu Lagerschäden und damit zu verkürzter Lebensdauer der Röntgenröhre führen. Trotz der Überwachung der Brennflecktemperatur ist die Röntgenröhre also nicht in jedem Fall gegen Überlastung gesichert.

Das gleiche gilt für das aus der DE-AS 1 050 458 bekannte Verfahren, bei dem die noch zulässige weitere Belastung einer Röntgenröhre auf einen Bruchteil des für die kalte Röntgenröhre aufgrund ihrer Kenn tafel oder ihres Diagramms zulässigen Belastungswertes festgelegt wird, sobald die Brennflecktemperatur den Grenzwert erreicht hat.

Weiterhin ist es aus der DE-OS 20 31 590 bekannt, eine Anzeigevorrichtung in Abhängigkeit von der erreichten, mit einer Strahlenmeßsonde ermittelten Anodentemperatur so zu steuern, daß der verbleibende Bruchteil der zulässigen Belastung der kalten Röntgenröhre angezeigt wird. Der Benutzer ist dabei aber gezwungen, die Aufnahme parameter seiner nächsten Aufnahme zum Vergleich umzurechnen in prozentuale Belastung und seine Parameter unter Berücksichtigung der vorgegebenen Grenzen neu einzustellen, was für den Routinebetrieb zu aufwendig und zeitraubend ist.

Schließlich ist es aus der DE-OS 23 45 947 bekannt, durch Simulation oder Messung der Anodentemperatur und durch Schnellsimulation der Abkühlung der Anodenscheibe dem

Benutzer die Wartezeit anzuzeigen, die nach dem Überschreiten eines Anodentemperatur-Grenzwertes abgewartet werden muß, bevor die nächste Aufnahme ohne Gefahr für die Anodenscheibe ausgelöst werden kann. Auch hier wie in allen
5 anderen vorgenannten Fällen kann aber nicht verhindert werden, daß die Röntgenröhre überlastet wird, wenn die ihr zugeführte mittlere Leistung zu hoch wird, weil dabei der Grenzwert der Anodenscheibentemperatur u.U. gar nicht erreicht wird, obwohl die Lagertemperatur zu hoch ist.

10 Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es daher, ein Verfahren anzugeben, das eine Überlastung der Röntgenröhre wirksam ausschließt und das bei der Aufnahme eines Objektes reproduzierbare Aufnahmezeiten ergibt.

15 Ausgehend von einem Verfahren der eingangs genannten Art wird diese Aufgabe erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß die Leistung selbsttätig auf einen vorgegebenen konstanten Bruchteil der jeweils zulässigen Leistung abgesenkt wird,
20 daß die Leistungsabsenkung in den Aufnahmepausen erfolgt, daß die Anodenscheibentemperatur mit einem zweiten oberhalb des ersten liegenden Grenzwert verglichen wird und daß die Röhrenleistung auf einen zweiten vorgegebenen konstanten Bruchteil, vorzugsweise den Wert Null, abgesenkt
25 wird, wenn in einer Aufnahmepause die Anodenscheibentemperatur den zweiten Grenzwert überschreitet, daß weiter die Temperatur der Drehanoden-Lager fortlaufend ermittelt wird und mit einem dritten Grenzwert verglichen wird und daß die Aufnahmeauslösung blockiert wird, solange die
30 ermittelte Lagertemperatur den dritten Grenzwert überschreitet.

Dabei wird also die der Röntgenröhre zugeführte elektrische Leistung selbsttätig - durch automatische Steuerung der
35 Stellglieder für den Röhrenstrom und gegebenenfalls für die Röhrenspannung - auf einen festen Bruchteil der jeweils zulässigen Leistung abgesenkt. Die zulässige Leistung ist

... diejenige Leistung, mit der die Röntgenröhre bei der dem ersten Grenzwert entsprechenden Temperatur gerade noch betrieben werden kann, ohne daß die Röntgenröhre - durch Anschmelzvorgänge in der Brennfleckbahn - überlastet wird.

5 Bei einer 50 kW-Röhre beträgt die zulässige Leistung bei einer Aufnahmedauer von 0,1 s oder weniger 50 kW; nimmt die Aufnahmedauer zu, dann wird die zulässige Leistung entsprechend geringer - und ebenso natürlich der Bruchteil dieser zulässigen Leistung, der der Röntgenröhre zugeführt wird, wenn die Anodenscheibentemperatur den ersten

10 Grenzwert überschritten hat.

Die Leistungsabsenkung erfolgt nicht während einer Aufnahme, sondern in den Aufnahmepausen. Beginnt die nächste Aufnahme

15 erst, nachdem die Anodenscheibentemperatur den ersten Grenzwert wieder unterschritten hat, dann wird die der Röntgenröhre zugeführte Leistung selbsttätig auf den jeweils zulässigen Wert heraufgesetzt - wie bei den bekannten Verfahren auch. Die Einführung eines zweiten Grenzwertes

20 für die Anodenscheibentemperatur stellt sicher, daß die Röntgenröhre auch durch die herabgesetzte Leistung nicht überlastet werden kann. Der zweite Grenzwert und der Bruchteil, auf den die Leistung abgesenkt wird, müssen also so aufeinander abgestimmt sein, daß bei dem zweiten

25 Grenzwert die Röntgenröhre mit dem erwähnten Bruchteil der zulässigen Leistung belastet werden kann, ohne daß dabei eine Beschädigung eintritt.

Dadurch, daß auch die Temperatur der Drehanoden-Lager

30 fortlaufend ermittelt und mit einer zulässigen Lagertemperatur verglichen wird, wird sichergestellt, daß dann, wenn die pro Aufnahme zugeführte elektrische Leistung relativ niedrig ist, der zeitliche Mittelwert der der Röntgenröhre bei den einzelnen Aufnahmen und

35 Durchleuchtungen zugeführten Leistung aber relativ hoch ist - in diesem Fall wird der zweite Grenzwert der

Anodenscheibentemperatur meist nicht erreicht - die Röntgenröhre nicht zerstört werden kann. In einigen Fällen kann es aber auch vorkommen, daß - bevor die Lagertemperatur den dritten Grenzwert erreicht - die Verbindungsstelle
5 (z.B. eine Lötstelle) des Rotors mit der Welle auf der die Anodenscheibe sitzt - einen kritischen Wert überschreitet. Dann muß statt der Lagertemperatur die Temperatur an dieser Verbindungsstelle überwacht werden. In beiden
10 Fällen läuft dies darauf hinaus, daß die zugeführte elektrische Leistung - gemittelt über einen Zeitraum von einigen Minuten - einen Grenzwert nicht überschreiten darf.

Eine Weiterbildung der Erfindung sieht vor, daß der erste Grenzwert der Temperatur entspricht, der sich die Anodenscheibentemperatur bei andauernder Beaufschlagung mit
15 einer mittleren Durchleuchtungsleistung von etwa 250 W annähert. Diese Weiterbildung geht davon aus, daß die Belastbarkeit einer Röhre - z.B. 50 kW (in 0,1 s oder weniger) bei einer 50 kW-Röhre - nicht die maximale zulässige Leistung bei kalter Anodenscheibe ist - bei kalter
20 Anodenscheibe wäre eine höhere Belastung möglich - , sondern die Leistung, die nach einer länger andauernden Durchleuchtung, wonach die Anodenscheibe eine Temperatur von einigen 100°C erreicht haben kann, gerade noch zulässig ist, ohne die
25 Anodenscheibe zu beschädigen. Mithin liegt der erste Grenzwert der Anodenscheibentemperatur bei 500°C oder höher, je nachdem, ob die Anodenscheibe aufgeraut oder geschwärzt ist - in diesem Fall wird eine größere Leistung abgestrahlt, so daß die Anodenscheibe kühler bleibt - oder nicht.

30

Wenn die Leistung dadurch abgesenkt wird, daß lediglich der Röhrenstrom abgesenkt wird, behalten die mit in dieser Weise abgesenkter Leistung aufgenommenen Bilder zwar ihren
35 Charakter bei, jedoch verlängert sich die Belichtungsdauer, wenn die gleiche Schwärzung bzw. das gleiche mAs-Produkt erreicht werden soll. Eine Verlängerung der Belichtungs-

dauer ist in vielen Fällen, z.B. bei Schichtaufnahmen, bei denen eine bestimmte Aufnahmezeit fest vorgegeben ist, aber nicht zulässig. Eine Weiterbildung der Erfindung sieht daher vor, daß die Leistung dadurch abgesenkt wird, 5 daß die Spannung an der Röntgenröhre um einen vorgebbaren Bruchteil erhöht und gleichzeitig der Röhrenstrom um das Drei- bis Fünffache dieses Bruchteils abgesenkt wird. Hierbei wird zwar die der Röntgenröhre zugeführte elektrische Leistung abgesenkt, nicht aber die durch die Röntgenröhre 10 erzeugte Dosisleistung. Die Dosisleistung ändert sich nämlich linear mit dem Röhrenstrom, aber mit der dritten bis fünften Potenz der Spannung, so daß die Röhrenstromabsenkung in bezug auf die Dosisleistung durch die Erhöhung der Spannung an der Röntgenröhre wieder kompensiert 15 wird. Da somit die Dosisleistung näherungsweise konstant bleibt, kann in diesem Fall auch bei einer Leistungsänderung mit der gleichen Belichtungszeit gearbeitet werden; allerdings ändert sich der Aufnahmecharakter infolge der Änderung der Spannung an der Röntgenröhre.

20

Die Erfindung wird nachstehend anhand eines in der Zeichnung dargestellten Ausführungsbeispiels erläutert. Es zeigen Fig. 1 die verschiedenen Grenzwerte der Temperatur, Fig. 2 das Blockschaltbild einer Anordnung zur Durchführung 25 des erfindungsgemäßen Verfahrens und Fig. 3 den Temperaturverlauf bei einer längeren Röntgenuntersuchung.

Fig. 1 zeigt den zeitlichen Verlauf der verschiedenen 30 Temperaturen. Dabei ist mit T_{g1} der erste Grenzwert der Anodenscheibentemperatur bezeichnet. Dieser Grenzwert der Anodenscheibentemperatur ist der Wert, dem sich die Anodenscheibentemperatur asymptotisch nähert, wenn sie mit einer mittleren Durchleuchtungsleistung, z.B. 250 W, 35 beaufschlagt wird. Die üblichen Röntgenröhren sind so ausgelegt, daß sie bei diesem Grenzwert die Leistung, für

- die sie bestimmt sind (d.h. z.B. bei einer 30 kW-Röhre für 0,1 s oder weniger 30 kW), noch ohne Überlastung verarbeiten können. Der zweite Grenzwert ist mit T_{g2} bezeichnet. Er ist so bemessen, daß die Röntgenröhre nicht überlastet wird, wenn die Anodenscheibentemperatur diesem Grenzwert entspricht und der Röntgenröhre etwa 80 % der bei dem ersten Grenzwert der Anodenscheibentemperatur zulässigen elektrischen Leistung zugeführt wird.
- Mit T_{a2} ist der Verlauf der Anodenscheibentemperatur bezeichnet, der sich ergibt, wenn der Röntgenröhre ständig die elektrische Leistung zugeführt wird, die noch zulässig ist, ohne zu einer Zerstörung der Röhrenlager zu führen. Sie strebt einem Grenzwert T_{g1} zu, der zwischen dem ersten Grenzwert T_{g1} und dem zweiten Grenzwert T_{g2} liegt. Die beiden letztgenannten Grenzwerte betragen bei einer typischen Röntgenröhre ohne Aufrauhung oder Schwärzung der Anodenscheiben- oder Rotorflächen 780° bzw. 1050°C . Mit T_l ist der Verlauf der Temperatur angegeben, die sich im Lager einstellt, wenn die Röntgenröhre mit der erwähnten Leistung beaufschlagt wird. Die Lagertemperatur strebt in diesem Fall asymptotisch einem Grenzwert T_{lg} zu. Wenn die Anodenscheibentemperatur bei Beginn einer Aufnahme dem Grenzwert T_{g1} entspricht oder darunter liegt, wird die Röntgenaufnahme mit der vollen für diese Temperatur zulässigen Leistung durchgeführt. Liegt die Anodenscheibentemperatur in einer Aufnahmepause zwischen den Grenzwerten T_{g1} und T_{g2} , dann wird die Leistung abgesenkt, d.h. die Stellglieder für die Röhrenspannung und den Röhrenstrom werden so gesteuert, daß die mit ihnen einstellbare elektrische Leistung gerade 80 % der unterhalb des Grenzwertes T_{g1} zulässigen elektrischen Leistung beträgt. Sinkt die ermittelte Anodenscheibentemperatur in der Aufnahmepause wieder unter den ersten Grenzwert, wird die zuführbare elektrische Leistung wieder auf den vollen Wert erhöht. - Befindet sich die Anodenscheibentemperatur in einer Aufnahmepause oberhalb

des zweiten Grenzwertes, wird die Aufnahme blockiert, bis
zumindest die Temperatur T_{g2} wieder unterschritten ist.

Man erkennt nun aus dem Diagramm der Fig. 1, daß nicht in
5 jedem Fall, in dem die Anodenscheibentemperatur zwischen
den Grenzwerten T_{g1} und T_{g2} liegt, eine Aufnahme - auch
nicht mit reduzierter Leistung - erfolgen kann, weil es
vorkommen kann, daß die Lagertemperatur den zulässigen
Grenzwert erreicht hat, ohne daß die Anodenscheibentemperatur
10 den zweiten Grenzwert überschritten hat. Bei der Erfindung
wird durch die Ermittlung der Lagertemperatur und die
Blockierung der Aufnahme, wenn der Grenzwert der Lager-
temperatur erreicht wird, eine Überlastung der Röntgen-
röhre verhindert. Bei den bekannten Verfahren, bei denen
15 die der Röntgenröhre zugeführte elektrische Leistung ober-
halb eines Grenzwertes der Anodenscheibentemperatur selbst-
tätig abgesenkt wird, ist dies nicht der Fall, es sei denn,
es wäre sichergestellt, daß die Anodenscheibentemperatur
den zwischen den beiden Grenzwerten T_{g1} und T_{g2} liegenden
20 Wert T_{g1} nicht überschreiten kann; in diesem Fall würden
aber die noch vorhandenen Belastungsreserven nicht voll
ausgenutzt werden können.

Es ist nicht sinnvoll, den zweiten Grenzwert wesentlich
25 höher anzusetzen, weil dann im Bereich zwischen diesen
Grenzwerten die Leistung wesentlich stärker herabgesetzt
werden muß (z.B. auf 50 % der unterhalb des ersten Grenzwertes T_{g1} zulässigen Leistung) und weil der vergrößerte
Temperaturspielraum, innerhalb dessen Aufnahmen mit redu-
30 zierter Leistung ausgeführt werden könnten, praktisch
nicht ausgenutzt werden kann, weil die Lagertemperatur
im allgemeinen schon ihren Grenzwert erreicht hat, bevor
der so erhöhte zweite Grenzwert erreicht ist.

35 Das Blockschaltbild in Fig. 2 stellt einen Röntgengenerator
zur Ausführung des erfindungsgemäßen Verfahrens dar. Eine

Drehanodenröntgenröhre 1 ist an einen Hochspannungserzeuger 2 angeschlossen. Dieser ist über einen Zeitschalter 30 mit einem Niederspannungs-Stellglied 60 verbunden. Der elektronisch geregelte Heizkreis 5 erhält seinen Sollwert über die Leitung 8 aus einem Funktionsgeber 20 für die Röhrennomogramme, der seinerseits die Einstellsignale von den am Bedienpult 10 angeordneten Gebern 14, 15, 16 zur Eingabe der Aufnahmeparameter (Röhrenspannung, Röhrenstrom, Aufnahmezeit) erhält. Der Funktionsgeber dient in bekannter Weise (DE-OS 21 58 865) dazu, die Röhrenbelastungsnomogramme für die verschiedenen Röntgenröhren und gegebenenfalls für unterschiedliche Brennflecke innerhalb der einzelnen Röntgenröhren zu erzeugen, aber nur jeweils für eine Aufnahme. Er liefert also ein Signal, das in jedem Augenblick für die bei einer Aufnahme zu benutzende Röntgenröhre und deren Brennfleck ein Signal liefert, das dem in diesem Augenblick jeweils zulässigen Röhrenstrom und damit der elektrischen Leistung entspricht und das als Führungsgröße bzw. als Sollwert auf der Leitung 8 erscheint. Dabei kann es sich einerseits um ein nach einer Anfangszeit (0,1 s) stetig fallendes Signal handeln entsprechend einer Röntgenaufnahme mit stetig fallender Leistung oder um einen konstanten Wert, beispielsweise dann, wenn am Bedienpult 10 eine Aufnahme mit konstantem Strom eingestellt ist.

Die für die Röhrenstromregelung erforderlichen Ist-Werte des Röhrenstroms werden von einem Meßaufnehmer I geliefert, der im Hochspannungserzeuger enthalten ist. Die Führungsgröße bzw. der Sollwert wird an die Leitung 8 über einen im Funktionsgeber 20 enthaltenen Verstärker 21 mit stufig einstellbarer Verstärkung zugeführt. Die Verstärkung dieses Verstärkers bleibt während einer Aufnahme jeweils konstant.

Bei Betrieb des Röntgengenerators mit einem Belichtungsautomaten wird am Bedienpult 10 lediglich die Röhrenspannung eingestellt. Der Funktionsgeber bestimmt daraus

und aus der Röhrenleistung den für diese Leistung erforderlichen, mit der Zeit abnehmenden Röhrenstrom ("fallende Last") und dieser Wert wird über den Verstärker 21 auf die Leitung 8 für die Führungsgröße des Röhrenstrom-Regelkreises gegeben. Die Führungswerte sind also außer von der Einstellgröße und der Röhrenleistung in ihrer Größe zusätzlich abhängig von der jeweils eingestellten Verstärkung des Verstärkers 21.

Das gleiche gilt in der Betriebsart "Zwei-Knopf-Technik", bei der außer der Röhrenspannung auch noch das mAs -Produkt eingestellt wird. Hier hängt aber zusätzlich auch die resultierende Aufnahmedauer von der Verstärkung ab. Dieser im Funktionsgeber 20 in bekannter Weise (DE-OS 27 21 535) gebildete Wert wird über die Leitung 32 einerseits der Anzeigeeinrichtung 13 am Bedienpult 10 vorgegeben und andererseits dem Zeitschalter 30 zugeführt.

Die Verstärkung des Verstärkers 21 wird in Abhängigkeit von der Temperatur der Anodenscheibe, des Anodenlagers und des Röntgenröhrengehäuses gesteuert.

Diese Temperaturen werden in der Einrichtung 100 ermittelt, die drei Rechenkreise 110, 120, 130 enthält. Der Rechenkreis 110 kann in bekannter Weise (DE-AS 1 050 458) aus einem Netzwerk, aus Widerständen und Kondensatoren bestehen, das den Verlauf der Anodentemperatur simuliert. Dazu wird dem Rechenkreis 110 an seinem Eingang 111 über eine Leitung 71 ein Signal zugeführt, das dem Momentanwert der der Röntgenröhre jeweils zugeführten elektrischen Leistung entspricht und das in einer Aufnahme- und Durchleuchtungspause den Wert Null hat. Das Signal wird von einem Multiplizierer 70 erzeugt, der das Produkt aus Röhrenspannung (U) und Röhrenstrom bei der Aufnahme oder der Durchleuchtung bildet. Die im Rechenkreis 110 verwendeten Bauelemente sind entsprechend den Wärmeparametern der

- Anodenscheibe der Röntgenröhre bemessen; bei Verwendung von mehreren Röntgenröhren oder einer Röntgenröhre mit mehreren Brennflecken sind diese Bauelemente entsprechend umschaltbar. Die am Ausgang 112 angreifbare Spannung ist
- 5 ein angenähertes Abbild der jeweiligen Anodenscheibentemperatur. Sie wird einerseits auf dem Eingang eines zweiten Rechenkreises 120 zur Simulation der Drehanoden-Lagertemperatur gegeben, dessen Elemente ebenfalls auf die thermischen Parameter der Röntgenröhre einstellbar sind,
- 10 und andererseits den Eingängen zweier Vergleichsstufen 40 bzw. 41, die ansprechen, wenn der vom Rechenkreis 110 gelieferte Wert dem ersten Grenzwert (T_{g1}) bzw. dem zweiten Grenzwert (T_{g2}) entspricht.
- 15 Der Rechenkreis 120 ist so ausgelegt, daß - wenn über die Leitung 71 andauernd ein Signal zugeführt wird, das der im Hinblick auf die Lagererwärmung noch zulässigen Dauerleistung entspricht - das Ausgangssignal des Rechenkreises 120 einem Grenzwert zustrebt, der dem Grenzwert T_{lg}
- 20 entspricht. Dieses an der Leitung 122 anliegende Signal wird dem Eingang einer weiteren Vergleichseinrichtung 42 zugeführt, die anspricht, sobald der erwähnte Grenzwert erreicht ist. - Zusätzlich kann der Rechenkreis 120 einen Eingang 121 enthalten, in den bei jedem Anlauf oder Abbremsen
- 25 der Drehanode ein Strom eingespeist wird, der den Anteil der Anlauf- bzw. Bremsleistung umfaßt, die induktiv auf den Rotor übertragen wird.
- Vom Ausgang des Rechenkreises 120 wird dem Eingang eines
- 30 dritten Rechenkreises 130, der die Gehäusetemperatur simuliert, ein Signal zugeführt, das der bei den vorhandenen Wärmeübergangswiderständen sich ergebenden Wärmeleistung entspricht. Außerdem ist der Rechenkreis 130 über die Leitung 115 mit dem Rechenkreis 110 verbunden und
- 35 erhält von diesem ein Signal, das der von der Anodenscheibe abgestrahlten Wärmeleistung entspricht. Der Ausgang

des Rechenkreises 130 für die Gehäusetemperatur ist mit dem Eingang einer vierten Vergleichsstufe 43 verbunden. Die Umgebungstemperatur kann dabei durch eine gegebenenfalls einstellbare Spannungsquelle simuliert werden, die im einfachsten Fall durch eine geeignete Zehner-Diode realisiert sein kann. Der Ausgang des Rechenkreises 130 ist mit einer vierten Vergleichsstufe 43 verbunden, die anspricht, wenn die Spannung am Ausgang einem vorgebbaren Grenzwert der Gehäusetemperatur entspricht.

10

Der Rechenkreis 130 kann durch einen geeigneten Temperaturfühler, der die Gehäusetemperatur mißt, ersetzt werden. Grundsätzlich könnten auch die Rechenkreise 110 und 120 durch Temperaturfühler ersetzt sein, die die Anodenscheibentemperatur bzw. die Lagertemperatur messen, doch ist eine derartige Messung wesentlich schwieriger als die Simulation bzw. die Berechnung der entsprechenden Temperaturen.

20 Die Ausgänge 45, 46, 47 bzw. 48 der Vergleichsstufen 40, 41, 42 bzw. 43 sind mit Steuereingängen des Funktionsgebers 20 verbunden und steuern über ein geeignetes Verknüpfungsnetzwerk die Verstärkung des Verstärkers 21 mit einstellbarer Verstärkung. Diese Steuerung, die nur
25 in den Aufnahmepausen wirksam wird, erfolgt so, daß die Verstärkung auf Null gesetzt wird, wenn wenigstens eine der Vergleichsstufen 41, 42 oder 43 angesprochen hat, d.h., wenn die Anodenscheibentemperatur den zweiten Grenzwert T_{g2} überschritten hat, wenn die Lagertemperatur
30 ihren Grenzwert überschritten hat und/oder wenn die Grenztemperatur des Gehäuses überschritten ist. Wenn hingegen nur die Vergleichsstufe 40 angesprochen hat, d.h., wenn die Anodenscheibentemperatur oberhalb des ersten Grenzwertes T_{g1} liegt, ohne daß eine der drei
35 anderen Vergleichsstufen 41, 42, 43 angesprochen hat, wird die Verstärkung des einstellbaren Verstärkers 21

auf 80 % gesetzt. Dies bedeutet, daß die Führungsgröße für den Röhrenstrom auf 80 % des Wertes herabgesetzt wird, der unterhalb des ersten Grenzwertes bei der gegebenen Einstellung am Bedienpult 10 und der gegebenen Belastbarkeit der Röntgenröhre noch zulässig wäre. Bei Zeitschalterbetrieb wird zugleich die Aufnahmedauer verändert und auf den veränderten Wert der Aufnahmedauer wird über die Signalverbindung 32 der Zeitschalter 30 und die Anzeige 13 am Bedienpult gesetzt. Zugleich kann - z.B. durch ein Aufblinken dieser Anzeige oder durch ein anderes Signal - dem Benutzer signalisiert werden, daß die Leistung reduziert ist. Wenn keine der vier Vergleichsstufen angesprochen hat, beträgt die Verstärkung 100 % eines Nennwertes, d.h. der vom Funktionswert gelieferte Führungswert bzw. Sollwert entspricht einem Röhrenstrom, bei dem die Leistung der Röntgenröhre voll ausgenutzt wird.

Hat einer der Vergleiche 40 bis 43 eine Grenztemperaturüberschreitung festgestellt, so wird eine Schnellsimulation im Zeitrafferbetrieb, wie sie z.B. aus der DE-OS 23 45 947 bekannt ist, mit Hilfe eines zweiten Simulations-Netzwerkes gestartet. Das zweite Netzwerk 200 besitzt ebenfalls drei Rechenkreise 210, 220, 230, deren Aufbau mit dem Aufbau der Rechenkreise 110, 120 bzw. 130 identisch ist, deren Zeitkonstante sich jedoch von den derjenigen der Rechenkreise 110, 120 bzw. 130 um einen konstanten Faktor unterscheidet, der wesentlich größer ist als 1. Wenn eine der Vergleichsstufen 40 bis 43 entspricht, beginnt ein schneller Simulationszyklus, bei dem die Rechenkreise über die Spannungsfolge 112, 122, 132 auf die von den Rechenkreisen 110, 120 und 130 ermittelten (Realzeit) Temperaturen gesetzt werden und danach den Abkühlvorgang simulieren. Während dieser Zeitraffersimulation sind die Vergleiche 40 bis 43 über Schalter a_1 bis a_3 auf die Ausgänge des Schnellsimulations-Netzwerkes 200 geschaltet. Zugleich mit dem Schnellsimulationszyklus wird in der

-- Schaltung 50 ein Tor aufgesteuert, durch das ein Generator mit auf den Zeitrafferfaktor abgestimmter Frequenz einen Wartezeitähler mit Anzeige 17 auf dem Bedienpult hochzählt. Sobald im Schnellsimulations-Netzwerk 200 die
5 Grenztemperaturen wieder unterschritten sind, enthält der Wartezeitähler die Wartezeit, die erforderlich ist, um eine Aufnahme wieder mit 100 % der Leistung durchführen zu können. Der Wartezeitähler wird in Realzeit wieder heruntergezählt, so daß in jedem Augenblick die aktuelle Wartezeit angezeigt
10 wird.

Mit Vorteil werden das Simulations-Netzwerk 100, das Schnellsimulations-Netzwerk 200, die Vergleichsstufen 40 ... 43 sowie der Funktionsgeber 20 mit Hilfe eines Mikroprozessors
15 realisiert. Die Berechnung der verschiedenen Temperaturen im Realzeit- und im Zeitraffer-Betrieb ist dabei besonders einfach, weil zum Zeitraffer-Betrieb die Rechenschritte lediglich in schnellerer Folge durchgeführt werden müssen, als es dem zur Realzeit-Berechnung der Temperaturen benutzten
20 Zeitinkrement entspricht; das Zeitinkrement kann für die Zeitraffersimulation außerdem größer gewählt werden.

In Fig. 3 ist der zeitliche Verlauf der Temperatur T_a an der Anodenscheibe und der Temperatur (T_l) am Lager einer
25 Drehanoden-Röntgenröhre während einer typischen Röntgenuntersuchung dargestellt. Während jeder Aufnahme steigt die Temperatur T_a der Anodenscheibe nahezu sprunghaft an (in Wirklichkeit ist die Temperaturzunahme pro Zeiteinheit proportional zum Momentanwert der der Röntgenröhre
30 zugeführten Leistung), wobei die Höhe dieses Sprunges von der während einer Aufnahme zugeführten Energie abhängt. Man erkennt, daß die Temperatur der Anodenscheibe während der Aufnahmepausen etwa exponentiell abnimmt, jedoch wesentlich langsamer, als sie während einer Aufnahme zunimmt. Bei
35 der vierten Aufnahme überschreitet die Temperatur der Anodenscheibe sowohl den ersten als auch den zweiten Grenzwert T_{g1} bzw. T_{g2} . Es sprechen daher die Vergleichs-

stufen 40 und 41 an, und es wird ein schneller Simulationszyklus ausgelöst, und dem Benutzer wird am Bedienpult an der Anzeige 17 angezeigt, wie lange er warten muß, bis er wieder eine Aufnahme mit voller Leistung durchführen kann. Nachdem die Anodenscheibentemperatur den zweiten Grenzwert T_{g2} unterschritten hat, kehrt die Vergleichsstufe 41 in den Ruhezustand zurück, d.h. die Aufnahmeperrre wird aufgehoben und es ist nur noch die Vergleichsstufe 40 wirksam, so daß von da an eine Aufnahme durchgeführt werden kann - wenn auch mit auf 80 % reduzierter Leistung. Nach der fünften Aufnahme, die mit 80 % der Nennleistung durchgeführt wird, weil zu Beginn dieser Aufnahme der erste Grenzwert noch nicht unterschritten ist, steigt die Anodenscheibentemperatur wieder über den zweiten Grenzwert, so daß die Vergleichsstufe 41 anspricht, während die Vergleichsstufe 40 im Ansprechzustand bleibt. Bei der sechsten Aufnahme wird der zweite Grenzwert erneut deutlich überschritten, so daß die Aufnahme wiederum kurzzeitig blockiert bleibt (Vergleichsstufen 40 und 41 im Ansprechzustand).

Die Lagertemperatur T_l ändert sich im Vergleich zu der Anodenscheibentemperatur aufgrund der vorhandenen Wärmeübergangswiderstände zwischen der Anodenscheibe und den Lagern nur relativ langsam. Sie überschreitet den Lagertemperatur-Grenzwert T_{lg} nach dem Ende der sechsten Aufnahme (die Vergleichsstufe 42 spricht ebenfalls an) und ihre Temperatur steigt danach noch bis zu einem Maximum an, ohne daß der Röntgenröhre während dieser Zeit noch elektrische Leistung zugeführt wird. Deshalb muß der Grenzwert T_{lg} der Lagertemperatur etwas unterhalb der maximal zulässigen Lagertemperatur gewählt sein. Nachdem die Anodenscheibentemperatur T_a den zweiten Grenzwert wieder unterschritten hat, kehrt die Vergleichsstufe 41 zwar wieder in ihren Ursprungszustand zurück, doch bleibt die Vergleichsstufe 42 dann noch im Ansprechzustand. Wenn die

Lagertemperatur T_1 den Grenzwert T_{1g} wieder unterschritten hat, könnte grundsätzlich eine neue Aufnahme angefertigt werden, doch ist dies nicht sehr zweckmäßig, weil schon bei einer geringen Aufnahmeleistung der Grenzwert T_{1g} wieder überschritten wird. Deshalb ist es zweckmäßig, wenn die Vergleichsstufe 42 ein Hystereseverhalten aufweist, d.h., wenn sie erst bei einer Lagertemperatur, die unterhalb des Grenzwertes T_{1g} liegt, wieder in ihren Ursprungszustand zurückkehrt. Dann können wieder mehrere Röntgenaufnahmen angefertigt werden, ohne daß die Vergleichsstufe 42 wegen Erreichens der Grenztemperatur anspricht.

15

20

25

30

35

PATENTANSPRÜCHE:

1. Verfahren zum Steuern der einer Drehanoden-Röntgenröhre in einem Röntgengenerator zugeführten elektrischen Leistung in Abhängigkeit von der Anodentemperatur der Röntgenröhre, wobei die jeweilige Anodenscheibentemperatur fortlaufend ermittelt wird und mit einem ersten Grenzwert verglichen wird, wobei die der Röntgenröhre zugeführte elektrische Leistung selbsttätig abgesenkt wird, wenn die Anodenscheibentemperatur den ersten Grenzwert überschreitet, dadurch gekennzeichnet, daß die Leistung selbsttätig auf einen vorgegebenen konstanten Bruchteil der jeweils zulässigen Leistung abgesenkt wird, daß die Leistungsabsenkung in den Aufnahmepausen erfolgt, daß die Anodenscheibentemperatur mit einem zweiten oberhalb des ersten (T_{g1}) liegenden Grenzwert verglichen wird und daß die Röhrenleistung auf einen zweiten vorgegebenen konstanten Bruchteil, vorzugsweise den Wert Null, abgesenkt wird, wenn in einer Aufnahmepause die Anodenscheibentemperatur den zweiten Grenzwert (T_{g2}) überschreitet, daß zur Überwachung des zeitlichen Mittelwertes der zugeführten elektrischen Leistung die Temperatur der Drehanoden-Lager fortlaufend ermittelt wird und mit einem dritten Grenzwert (T_{lg}) verglichen wird und daß die Aufnahmeauslösung blockiert wird, solange die ermittelte Lagertemperatur den dritten Grenzwert überschreitet.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der erste Grenzwert der Temperatur entspricht, der sich die Anodenscheibentemperatur bei andauernder Beaufschlagung mit einer mittleren Durchleuchtungsleistung von etwa 250 W annähert.
3. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der zweite Grenzwert oberhalb der Temperatur liegt, der die Anodenscheibe sich annähert,

wenn sie andauernd mit einer Leistung beaufschlagt wird, bei der die Drehanoden-Lager gerade die zulässige Lagertemperatur erreichen.

5 4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Leistung bei Erreichen des ersten Grenzwertes auf etwa 80 % der unterhalb des ersten Grenzwertes zulässigen Leistung abgesenkt wird.

10 5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Leistung dadurch abgesenkt wird, daß die Spannung an der Röntgenröhre um einen vorgebbaren Bruchteil erhöht und gleichzeitig der Röhrenstrom um das Drei- bis Fünffache dieses Bruchteils abgesenkt wird.
15

6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß zusätzlich fortlaufend die Gehäusetemperatur des die Drehanoden-Röntgenröhre enthaltenden Röntgenstrahlers ermittelt und mit einem Grenzwert verglichen wird und daß die Aufnahmeauslösung blockiert wird, wenn die ermittelte Gehäusetemperatur den Grenzwert überschreitet.
20

25 7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Temperaturen zeitgerafft errechnet bzw. simuliert werden, nachdem wenigstens ein Grenzwert überschritten ist, daß bei der zeitgerafften Ermittlung bzw. Simulation der Temperaturen der Zeitraum
30 ermittelt und angezeigt wird, der bis zum Unterschreiten dieses Grenzwertes verstreicht.

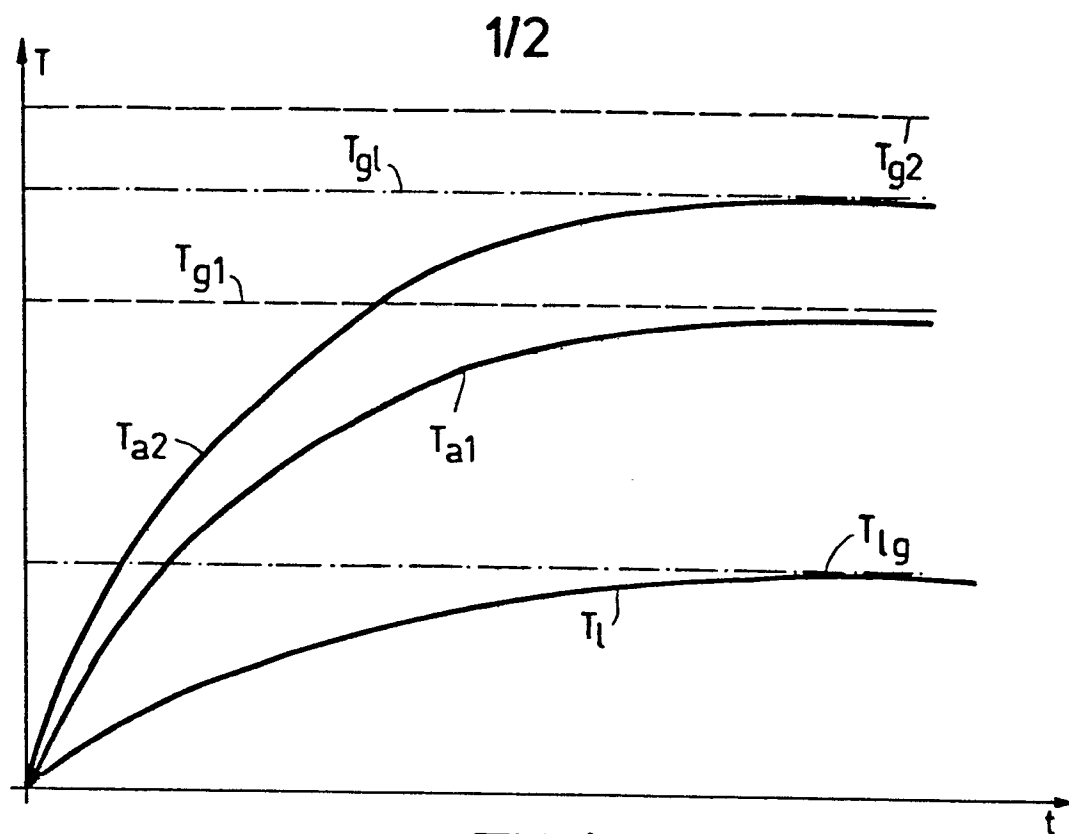


FIG. 1

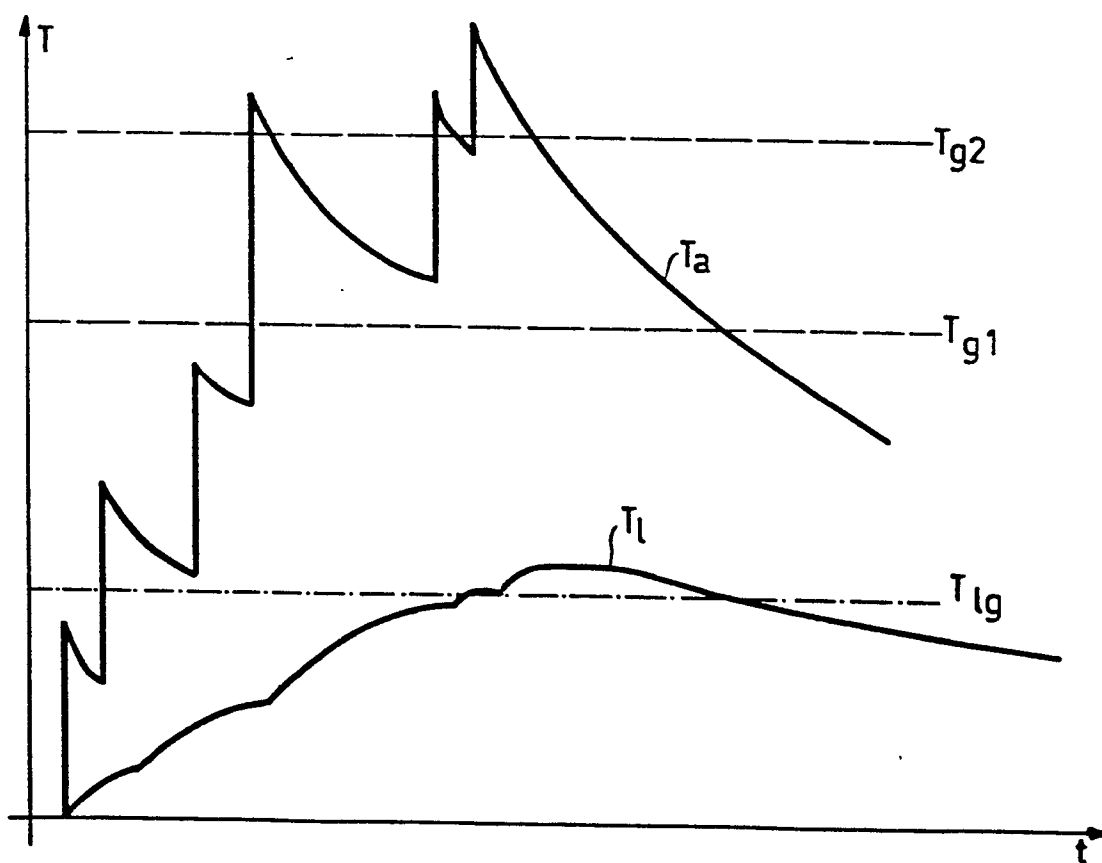


FIG. 3

2/2

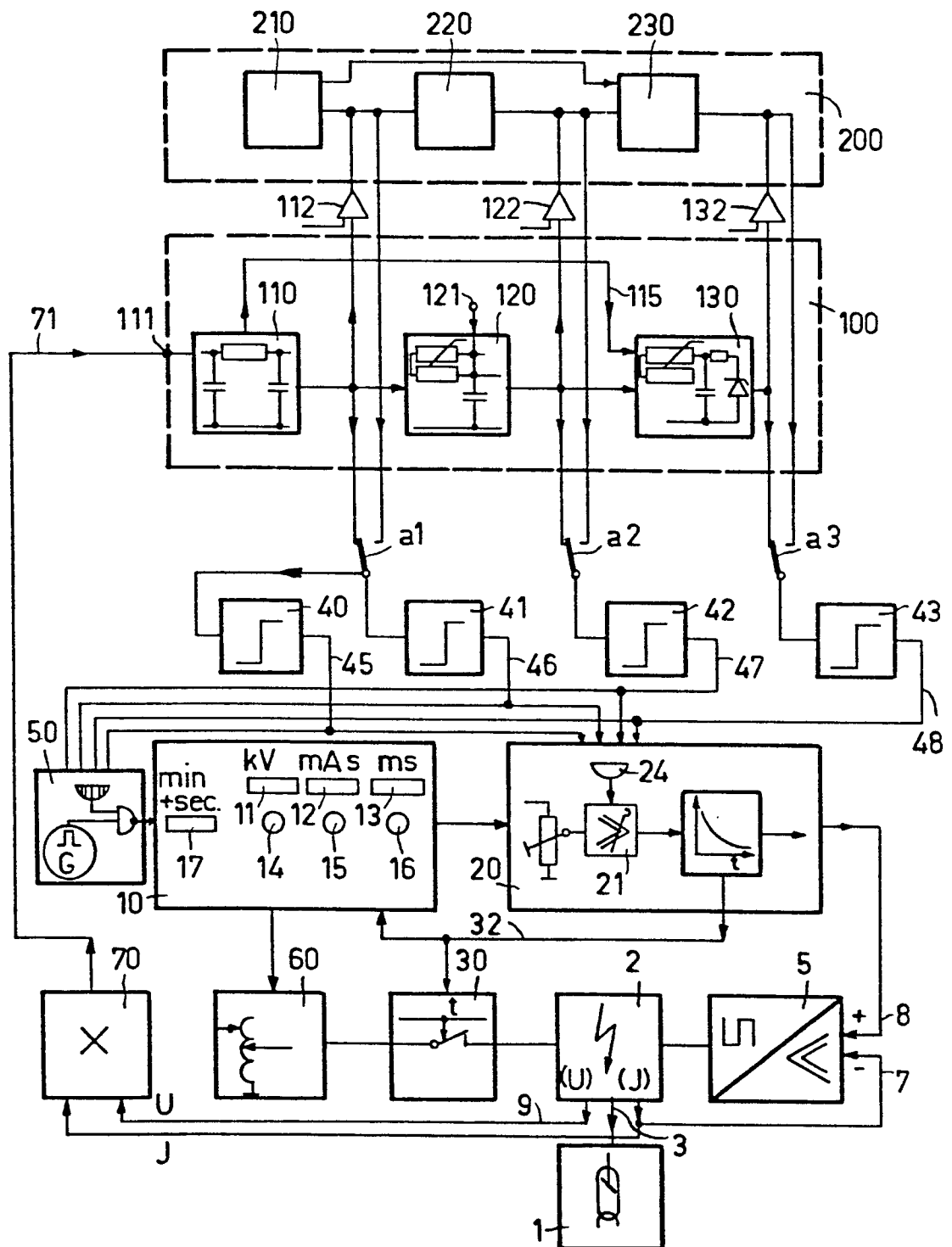


FIG.2

0022295



Europäisches
Patentamt

EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung
EP 80 20 0623

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int. Cl. '79)
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	betrifft Anspruch	
D	<u>DE - A - 2 208 871 (KOCH & STER-ZEL)</u> * Seite 9, Absatz 3 - Seite 10, Absatz 1 * --	1	H 05 G 1/36 1/26
D	<u>DE - A - 2 031 590 (SIEMENS)</u> * Seite 2, Absatz 2 * -- ELECTROMEDICA, Band 46, Nr. 3, 1978, Seiten 84-87 Erlangen, DE. G. APPELT et al.: "Eine oberste Leistungsbegrenzung bei Drehanodenröntgenröhren" * Zusammenfassung * --	1	RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (Int. Cl. '79) H 05 G 1/36 1/26 1/54
	<u>DE - A - 2 510 984 (FRITZ HOFMANN)</u> * Seite 2, Absätze 2,3; Seite 3, Absatz 3 * ----	1,6,7	
			KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X: von besonderer Bedeutung A: technologischer Hintergrund O: nichtschriftliche Offenbarung P: Zwischenliteratur T: der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E: kollidierende Anmeldung D: in der Anmeldung angeführtes Dokument L: aus andern Gründen angeführtes Dokument &: Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument
☒ Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt.			
Recherchenor.	Abschlußdatum der Recherche	Prüfer	
Den Haag	23-10-1980	CENTMAYER	