



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:  
**01.04.2015 Patentblatt 2015/14**

(51) Int Cl.:  
**H05B 6/68 (2006.01)**

(21) Anmeldenummer: **14001470.5**

(22) Anmeldetag: **24.04.2014**

(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**

(72) Erfinder: **Betschart, Alfred**  
**6443 Morschach (CH)**

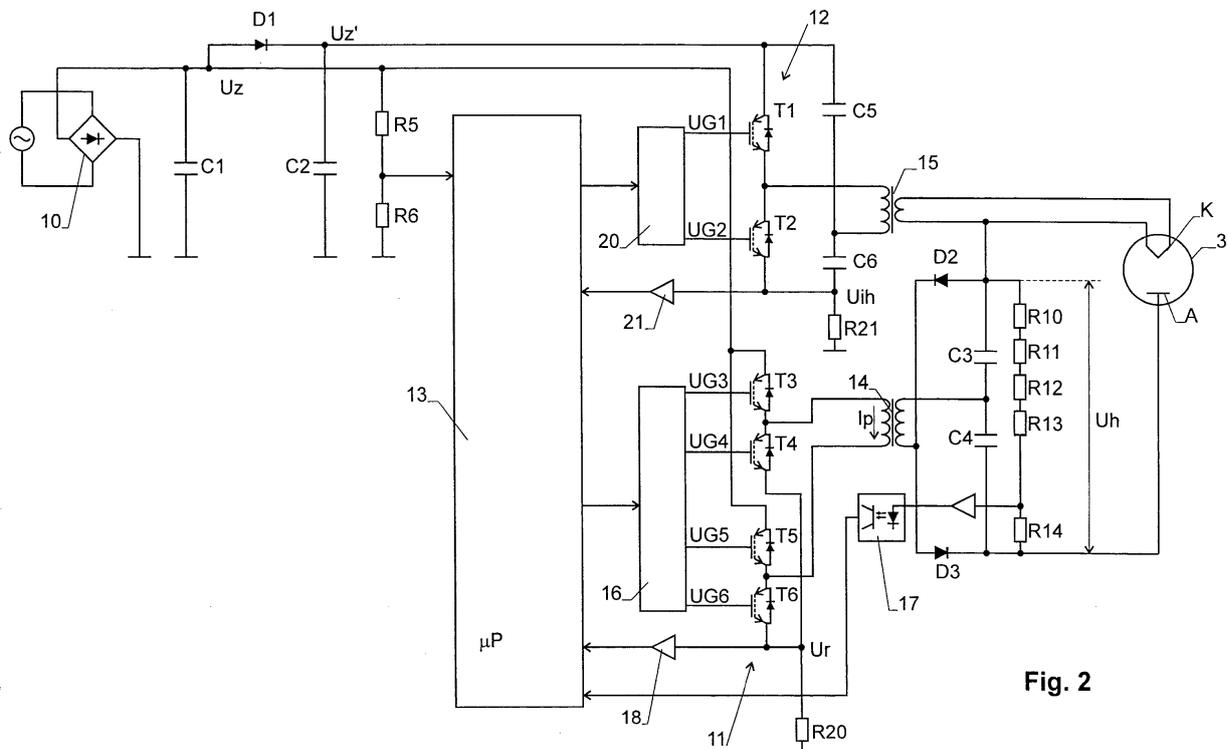
(74) Vertreter: **Sutter, Kurt**  
**E. Blum & Co. AG**  
**Vorderberg 11**  
**8044 Zürich (CH)**

(71) Anmelder: **V-Zug AG**  
**6301 Zug (CH)**

(54) **Mikrowellenofen mit schwankungsgesteuerter Heizleistung**

(57) Die Steuerschaltung für einen Mikrowellenofen besitzt eine Gegentakt-Endstufe (T1, T2) zum Ansteuern eines Heiztransformators (15), mit welchem die Kathodenheizung des Magnetrons (3) betrieben wird. Für die Erzeugung der Hochspannung ist ein separater Hochspannungstransformator (14) vorgesehen, der von einer Brückenschaltung (T3 - T6) gespeist wird. Die Steuer-

einheit (13) des Geräts ist dazu ausgestaltet, Schwankungen in einem vom Anodenstrom des Magnetrons (3) abhängigen Parameter zu ermitteln. Sind diese Schwankungen hoch, so wird die Heizleistung der Kathodenheizung erhöht. Auf diese Weise kann das Magnetron (3) mit einer optimalen, geringen Heizleistung betrieben werden.



**Fig. 2**

**Beschreibung**Gebiet der Erfindung

5 **[0001]** Die Erfindung betrifft einen Mikrowellenofen mit einem Magnetron umfassend eine Anode, eine Kathode und eine Kathodenheizung und mit einer Ansteuerschaltung für das Magnetron. Die Erfindung betrifft auch ein Verfahren zum Betrieb eines derartigen Mikrowellenofens.

Hintergrund

10 **[0002]** Normalerweise besitzt ein Mikrowellenofen einen Transformator mit zwei Sekundärwicklungen. Die eine Sekundärwicklung dient zur Ansteuerung der Kathodenheizung des Magnetrons, während die andere Sekundärwicklung zur Erzeugung der Hochspannung zwischen Kathode und Anode verwendet wird. In solchen Geräten ist eine getrennte Steuerung des Anodenstroms und des Heizstroms nicht möglich.

15 **[0003]** In US 4 742 442 wird ein Gerät beschrieben, bei welchem die Ansteuerschaltung einen getrennt vom Hochspannungsgenerator steuerbaren Heizstromgenerator besitzt. Insbesondere sind zwei getrennte Transformatoren für den Heizstrom und die Hochspannung vorgesehen. Nach dem Aktivieren des Geräts wird zunächst eine Wechselspannung an den Heizstrom-Transformator angelegt, um die Kathode zu heizen. Nach bestimmter Zeit, z.B. fünf Sekunden, wird sodann auch eine Wechselspannung für den Hochspannungs-Transformator erzeugt, so dass die Hochspannung  
20 erst nach Vorheizen der Kathode an das Magnetron angelegt wird.

**[0004]** Die Lebensdauer eines Magnetrons ist direkt abhängig von der Temperatur des Filaments der Kathodenheizung. Die Lebensdauer wird verlängert, wenn die Heizleistung im Betrieb möglichst tief ist. Die Kathodentemperatur muss aber so hoch sein, dass genügend freie Elektronen für die Erzeugung der Mikrowellen vorhanden sind.

25 **[0005]** Im Laufe der Alterung des Magnetrons benötigt dieses eine zunehmend grössere Heizleistung für einen stabilen Betrieb. In konventionellen Lösungen wird deshalb die Heizleistung so gross gewählt, dass auch ein bereits gealtertes Magnetron noch sicher betrieben werden kann. Dabei nimmt man in Kauf, dass diese Heizleistung an sich zu hoch für ein neuwertiges Magnetron ist und dass es deshalb zu einer schnelleren Alterung des Magnetrons kommt.

Darstellung der Erfindung

30 **[0006]** Es stellt sich deshalb die Aufgabe, einen Mikrowellenofen und ein Verfahren der eingangs genannten Art bereitzustellen, bei welchen das Magnetron eine hohe Lebensdauer hat. Diese Aufgabe wird vom Gerät bzw. Verfahren gemäss den unabhängigen Patentansprüchen gelöst.

35 **[0007]** Demgemäss besitzt die Ansteuerschaltung des Magnetrons in an sich bekannter Weise einen Hochspannungsgenerator zum Erzeugen der Hochspannung zwischen der Anode und der Kathode sowie einen Heizstromgenerator zum Erzeugen des Heizstroms für die Kathodenheizung. Zudem ist eine Steuerung vorgesehen, welche diese Komponenten steuert.

40 **[0008]** Weiter ist eine Messschaltung vorgesehen, welche dazu ausgestaltet ist, Schwankungen in einem vom Anodenstrom des Magnetrons abhängigen Parameter zu bestimmen, und die Steuerung ist dazu ausgestaltet, den Heizstromgenerator abhängig von diesen Schwankungen derart zu steuern, dass der Heizstrom bei zunehmenden Schwankungen erhöht wird.

**[0009]** Entsprechend betrifft die Erfindung auch ein Verfahren zum Betrieb eines Mikrowellenofens, wobei der Mikrowellenofen ein Magnetron aufweist, das eine Kathode, eine Anode und eine Kathodenheizung besitzt. Im Rahmen dieses Verfahrens werden zumindest die folgenden Schritte ausgeführt:

45 (A) Messen von Schwankungen in einem vom Anodenstrom des Magnetrons abhängigen Parameter. Bei diesem Parameter kann es sich z.B. um den Anodenstrom selbst oder um einem anderen vom Anodenstrom abhängigen Parameter handeln.

50 (B) Steuern des Heizstromgenerators abhängig von den Schwankungen derart, dass der Heizstrom bei zunehmenden Schwankungen erhöht wird. Mit anderen Worten wird bei einem Anstieg der Schwankungen, z.B. über einen Schwankungs-Schwellwert, der Heizstrom erhöht.

**[0010]** Der Erfindung liegt die Erkenntnis zu Grunde, dass Schwankungen im Anodenstrom ein früher Indikator dafür sind, dass die Kathode zu kalt ist. Durch die anspruchsgemässen Merkmale wird es möglich, diesem Umstand Rechnung zu tragen. Insbesondere kann die Heizleistung also so lange erhöht werden, bis die Schwankungen zurückgehen. Dadurch kann die Kathode stets mit der gerade erforderlichen Leistung für einen stabilen Betrieb geheizt werden. Damit wird die Lebensdauer des Magnetrons verlängert. Bei einer Alterung des Magnetrons wird der Heizstrom automatisch und bedarfsgerecht erhöht. Toleranzen des Geräts und insbesondere der Parameter des Magnetrons werden automa-

tisch ausgeglichen, ebenso Schwankungen in der Netzspannung.

**[0011]** Die Erfindung erlaubt es auch, das Magnetron in den meisten Fällen bei geringerer Heizleistung zu betreiben als bei einem konventionellen Betrieb, so dass der Wirkungsgrad des Geräts erhöht wird.

**[0012]** Vorteilhaft ist ein Leistungsregler vorgesehen, welcher so ausgestaltet ist, dass die von der Kathodenheizung aufgenommene Leistung auf einen Sollwert geregelt werden kann. Die Steuerung ist in diesem Fall dazu ausgestaltet, den Sollwert für die Heizleistung abhängig von den Schwankungen vorzugeben.

**[0013]** In einer weiteren vorteilhaften Ausführung weist der Hochspannungsgenerator einen Wechselrichter und einen Hochspannungstransformator auf. Der Wechselrichter speist Strompulse in die Primärwicklung des Hochspannungstransformators ein. Die Sekundärwicklung des Hochspannungstransformators erzeugt über einen Gleichrichter die Spannung zwischen Anode und Kathode des Magnetrons. Die erwähnte Messschaltung ist zur Messung von Schwankungen in den Strompulsen durch die Primärwicklung ausgestaltet. Die Höhen der Strompulse sowie auch deren Anstiegsgeschwindigkeiten hängen direkt mit dem Anodenstrom zusammen und bilden, da sie primärseitig einfach gemessen werden können, einen sehr geeigneten Messparameter für den hier beschriebenen Zweck.

**[0014]** In diesem Fall ist die Messschaltung vorzugsweise dazu ausgestaltet ist, Anstiegsgeschwindigkeiten der Strompulse zu messen und Schwankungen in den Anstiegsgeschwindigkeiten zu ermitteln. Dem steht die Erkenntnis zugrunde, dass für einen praktischen Betrieb die Strompulse im Vergleich zu Induktivität des Hochspannungstransformators so kurz sind, dass der Strom nicht seinen Höchstwert erreicht, dass aber die Anstiegsgeschwindigkeit des Stroms zu Beginn des Pulses ein Mass für diesen Höchstwert und somit auch für den Anodenstrom ist.

#### Kurze Beschreibung der Zeichnungen

**[0015]** Weitere Ausgestaltungen, Vorteile und Anwendungen der Erfindung ergeben sich aus den abhängigen Ansprüchen und aus der nun folgenden Beschreibung anhand der Figuren. Dabei zeigen:

Fig. 1 einen Schnitt durch die im vorliegenden Zusammenhang wichtigsten Teile eines Mikrowellenofens,

Fig. 2 ein vereinfachtes Schaltungsdiagramm des Mikrowellenofens,

Fig. 3 ein Diagramm einiger Signale der Ansteuerschaltung für die Kathodenheizung,

Fig. 4 ein Diagramm einiger Signale der Ansteuerschaltung für den Hochspannungsgenerator,

Fig. 5 eine Detailansicht des Verlaufs des Spannungsabfalls  $U_r$  und

Fig. 6 die Anstiegsgeschwindigkeit der Strompulse im stabilen Betrieb (a) und im instabilen Betrieb (b).

#### Wege zur Ausführung der Erfindung

##### *Definitionen:*

**[0016]** Als Hochspannung wird im vorliegenden Kontext eine Spannung verstanden, welche als Anoden-Kathoden-Spannung zum Betrieb des Magnetrons erforderlich ist. In der Praxis beträgt diese Spannung in den meisten Fällen mindestens 1 kV, in der Regel mehrere Kilovolt.

**[0017]** Eine Gegentakt-Endstufe ist eine Serieschaltung zweier elektronischer Bauelemente, welche abwechslungsweise durchgängig geschaltet werden können, so dass am Mittelabgriff der beiden Bauelemente eine zeitlich variierende Spannung entsteht.

**[0018]** Eine Halbbrückenschaltung ist eine Schaltung mit genau einer Gegentakt-Endstufe.

**[0019]** Eine Vollbrückenschaltung (H-Schaltung, H-Brücke) ist eine Schaltung mit zwei parallel geschalteten Gegentakt-Endstufen, wobei die Last zwischen den Mittelabgriffen der beiden Gegentakt-Endstufen liegt.

##### *Grundaufbau:*

**[0020]** Die Erfindung betrifft einen Mikrowellenofen, wie er beispielhaft in Fig. 1 dargestellt ist. Der Mikrowellenofen besitzt einen Garraum 1 zur Aufnahme der zu erwärmenden Speisen, der zum Benutzer hin von einer Benutzertüre 2 verschlossen werden kann. Im Gerät ist zudem ein Magnetron 3 angeordnet, welches über einen Holleiter 4 mit dem Garraum 1 in Verbindung steht. Eine Steuerung 5 steuert die Funktion des Geräts.

**[0021]** Fig. 2 zeigt die im vorliegenden Zusammenhang wichtigsten Komponenten der Steuerung 5.

**[0022]** Die Netzspannung von z.B. 230 Volt bei 50 Hz wird in einem Gleichrichter 10 gleichgerichtet. Die so erzeugte erste Zwischenspannung  $U_z$  wird sodann über einem ersten Kondensator C1 leicht gefiltert, wobei der Kondensator C1 allerdings so dimensioniert ist, dass bei Last der Wert der ersten Zwischenspannung  $U_z$  mit der doppelten Netzfrequenz um mindestens 50% schwankt. Die Zwischenspannung  $U_z$  wird zudem über eine Diode D1 abgegriffen und über einen zweiten Kondensator C2 weiter gefiltert, um eine zweite Zwischenspannung  $U_z'$  zu bilden.

**[0023]** Die erste Zwischenspannung  $U_z$  wird einem Hochspannungsgenerator 11 zugeführt, mit welchem wie unten

beschrieben die Hochspannung zur Ansteuerung des Magnetrons 3 erzeugt wird. Die zweite Zwischenspannung Uz' wird einem Heizstromgenerator 12 zugeführt, mit welchem wie unten beschrieben der Heizstrom für die Kathodenheizung des Magnetrons 3 erzeugt wird.

**[0024]** Der Betrieb des Hochspannungsgenerators 11 und des Heizstromgenerators 12 wird von einer Steuereinheit 13, z.B. in Form eines Mikroprozessors, gesteuert.

**[0025]** Einem Analog-Digital-Konverter der Steuereinheit 13 wird über einen Spannungsteiler R5, R6 ein zur Zwischenspannung Uz proportionaler Wert zugeführt, so dass diese die Zwischenspannung Uz bestimmen kann.

*Hochspannungsgenerator:*

**[0026]** Der Hochspannungsgenerator 11 umfasst eine Vollbrückenschaltung mit vier elektronischen Schaltelementen T3 - T6, insbesondere in Form von IGBT-Transistoren, jeweils mit einer Freilaufdiode. Die Schaltelemente T3 - T6 sind in bekannter Weise in zwei Zweigen T3 und T4 bzw. T5 und T6 angeordnet, wobei die Schaltelemente jedes Zweigs jeweils in Serie zwischen der ersten Zwischenspannung Uz und Masse angeordnet sind. Zwischen den Schaltelementen jedes Zweigs ist jeweils ein Mittelabgriff vorgesehen, wobei die beiden Mittelabgriffe mit den beiden Anschlüssen der Primärwicklung eines Hochspannungstransformators 14 verbunden sind. Somit bilden die Schaltelemente T3 - T6 einen Wechselsrichter, welcher eine Wechselspannung in die Primärwicklung des Hochspannungstransformators einspeist.

**[0027]** Der Hochspannungstransformator 14 besitzt eine Sekundärwicklung mit wesentlich höherer Wicklungszahl als die Primärwicklung zur Erzeugung der Hochspannung. Die Hochspannung wird über zwei Dioden D2 und D3 gleichgerichtet, verdoppelt und mittels zwei Kondensatoren C3 und C4 gefiltert. Die so erzeugte Hochspannung Uh wird zwischen der Kathode K und der Anode A des Magnetrons 3 angelegt.

**[0028]** Zum Ansteuern der Schaltelemente T3 - T6 ist eine Ansteuerschaltung 16 vorgesehen, welche von der Steuereinheit 13 gesteuert wird. Die Ansteuerschaltung 16 erzeugt die Steuerspannungen (Gate- oder Basisspannungen) UG3 - UG6 für die Schaltelemente T3 - T6. Die Steuereinheit 13 ist dazu ausgestaltet, die beiden Zweige der Vollbrückenschaltung T3 - T6 alternierend zu schalten. Die Ansteuerung geschieht so, dass während eines Schaltzyklus die Primärwicklung von Hochspannungstransformator 14 nicht dauernd zwischen der ersten Zwischenspannung Uz und Masse liegt, sondern dass die Primärwicklung während einer von der Steuereinheit 13 zu wählenden Zeitspanne von der Zwischenspannung Uz abgekoppelt wird, d.h. die Schaltung wird mit Pulsweitenmodulation getaktet, so dass der Wert der Hochspannung Uh gesteuert werden kann.

**[0029]** Zur Überwachung der Hochspannung Uh kann diese über einen Spannungsteiler R10 - R13 und R14 geteilt und einem Optokoppler 17 zugeführt, dessen Ausgangssignal an die Steuereinheit 13 weitergeleitet wird. Beispielsweise kann auf diese Weise ein Fehlen oder Nichtzünden des Magnetrons detektiert werden.

**[0030]** Weiter ist zwischen den beiden Zweigen T3, T4 bzw. T5, T6 und einem fixen Referenzpotenzial, insbesondere Masse, ein Widerstand R20 vorgesehen. Der Anfangsanstieg des Spannungsabfalls Ur über diesem Widerstand zu Beginn eines Strompulses ist ein Mass für den Anodenstrom des Magnetrons 3 und wird über einen Verstärker 18 zu Messzwecken der Steuereinheit 13 zugeführt. Dies wird weiter unten im Detail beschrieben.

*Heizstromgenerator:*

**[0031]** Der Heizstromgenerator 12 wird in der vorliegenden Ausführung von einer Halbbrücke mit zwei als Gegentakt-Endstufe betriebenen Schaltelementen T1 und T2 gebildet. Die Schaltelemente T1 und T2, welche wiederum z.B. als IGBT-Transistoren ausgestaltet sein können und die jeweils mit einer Freilaufdiode ausgestattet sind, sind in Serie zwischen der zweiten Zwischenspannung Uz' und Masse angeordnet.

**[0032]** Der Mittelabgriff zwischen den beiden Schaltelementen T1, T2 ist mit dem einen Anschluss der Primärwicklung eines Heiztransformators 15 verbunden. Der zweite Anschluss der Primärwicklung des Heiztransformators 15 ist mit dem Mittelabgriff eines kapazitiven Spannungsteilers aus zwei Kondensatoren C5 und C6 verbunden. Die beiden Kondensatoren C5 und C6 liegen in Serie zwischen der zweiten Zwischenspannung Uz' und Masse.

**[0033]** Die Diode D1 verhindert, dass Strom aus den Kondensatoren C5, C6 abgeleitet wird, wenn der an der Zwischenspannung Uz angeschlossene Hochspannungsgenerator 11 Strom zieht.

**[0034]** Die Sekundärwicklung des Heiztransformators 15 ist mit der Kathodenheizung, d.h. dem Filament, des Magnetrons 3 verbunden und versorgt diese mit Strom.

**[0035]** Zum Ansteuern der Schaltelemente T1 und T2 ist eine Ansteuerschaltung 20 vorgesehen, welche von der Steuereinheit 13 gesteuert wird. Die Ansteuerschaltung 20 erzeugt die Steuerspannungen (Gate- oder Basisspannungen) UG1, UG2 für die Schaltelemente T1 bzw. T2. Die Art der Ansteuerung wird weiter unten im Detail beschrieben.

**[0036]** Zwischen der Gegentakt-Endstufe, gebildet von den Schaltelementen T1, T2, und der Masse (oder einem anderen festen Referenzpotenzial) ist ein Widerstand R21 angeordnet, durch welchen der Strom von der Gegentakt-Endstufe T1, T2 durch den Heiztransformator gegen Masse (bzw. das Referenzpotenzial) abfließt. Der Spannungsabfall über diesem Widerstand ist ein Mass für den Strom, der von der zweiten Zwischenspannung Uz' durch die Primärspule

des Hochspannungstransformators 15 gegen Masse (bzw. Referenzpotenzial) fließt. Er wird von einem Verstärker 21 abgegriffen und der einem Analog-Digital-Konverter der Steuereinheit 13 zugeführt.

*Ansteuerung des Heizstromgenerators:*

5

**[0037]** Im Folgenden wird anhand von Fig. 3 beschrieben, wie die Steuereinheit 13 die Schaltelemente des Heizstromgenerators 12 ansteuert. Die Figur zeigt den Verlauf der Spannungen UG1 und UG2, welche an den Steuereingängen der Schaltelemente T1 und T2 anliegen, sowie den Verlauf der Spannung Uih, welche über dem Widerstand R21 abfällt.

10

**[0038]** Die Steuereinheit 13 ist dazu ausgestaltet, die beiden Schaltelemente T1 und T2 zyklisch alternierend einzuschalten. Eine typische Zyklusperiode Tz liegt vorteilhaft im Bereich von 10 - 50  $\mu$ s.

15

**[0039]** Die Zeitspannen, in denen eines der Schaltelemente T1 oder T2 eingeschaltet ist, werden im Folgenden als Heizphasen H1 bzw. H2 bezeichnet und sind in Fig. 3 eingezeichnet, wobei in Heizphase H1 das erste Schaltelement T1 und in Heizphase H2 das zweite Schaltelement T2 eingeschaltet ist. Zwischen den Heizphasen H1 und H2 bzw. H2 und H1 sind beide Schaltelemente T1, T2 abgeschaltet. Die Phasen, in denen beide Schaltelemente T1 und T2 abgeschaltet sind, werden als Ruhephasen R1 und R2 bezeichnet und sind in Fig. 3 ebenfalls eingezeichnet. Die Heizphasen besitzen eine Dauer th, die Ruhephasen eine Dauer tr.

20

**[0040]** Die Zeit th kann in einer einfachen Ausführung für beide Schaltelemente T1 und T2 identisch gewählt werden, ebenso tr.

**[0041]** Auf diese Weise wird in der Primärwicklung des Heiztransformators 15 ein Wechselstrom erzeugt, der (bis auf Verluste in den Komponenten, insbesondere im Heiztransformator 15) als Heizleistung der Kathodenheizung des Magnetrons 3 zugeführt wird. Die gemittelte Grösse der Heizleistung ist eine Funktion des Tastverhältnisses, d.h. des Quotienten th/Tz.

25

**[0042]** Wie aus Fig. 3 ersichtlich, steigt nach dem Einschalten eines der Schaltelemente T1, T2 der Strom durch die Primärwicklung des Heiztransformators 15 und somit der Spannungsabfall Uih über Widerstand R21 an und kann über den Verstärker 21 von der Steuereinheit 13 gemessen werden.

30

**[0043]** Der Spannungsabfall Uih bildet einen Parameter, der vom Widerstand der Kathodenheizung des Magnetrons 3 abhängt. Unter der Annahme, dass keine Verluste im Heiztransformator 15 auftreten, ist Uih gegen Ende des Heizpulses umgekehrt proportional zum Widerstand der Kathodenheizung. Somit bilden Widerstand R21 zusammen mit Verstärker 21 eine Messschaltung, welche dazu ausgestaltet ist, einen vom Widerstand der Kathodenheizung abhängigen Parameter zu bestimmen.

35

**[0044]** In Fig. 3 ist ein Zeitpunkt tm eingezeichnet, zu welchem die Steuerung 13 den Spannungsabfall Uih misst. Dieser Zeitpunkt tm liegt vorzugsweise kurz vor dem Ende tx der jeweiligen Heizphase H1 bzw. H2, z.B. höchstens 1  $\mu$ s vor dem Ende tx der Heizphase. Vorteilhaft findet in jeder Heizphase eine Messung statt.

**[0045]** Die Steuereinheit 13 ist dazu ausgestaltet, den das Produkt  $P = U_{z'} \cdot U_{ih}(t_m) \cdot t_h$  konstant zu halten, indem die Dauer th der Heizphasen abhängig von den Werten von Uih(tm) und Uz' variiert wird. Das Produkt P ist zumindest näherungsweise proportional zur Leistung, welche der Kathodenheizung zugeführt wird.

40

**[0046]** Für den Wert der Zwischenspannung Uz' kann näherungsweise der Wert der Zwischenspannung Uz benutzt werden, wie er von der Steuereinheit über den Spannungsteiler R5, R6 ermittelt wird. Solange (in der Vorheizphase) der Hochspannungsgenerator 11 nicht in Betrieb ist, entspricht Uz' bis auf den Spannungsabfall über D1 dem Wert von Uz. Danach ist Uz' zwar teilweise etwas grösser als Uz, doch bleibt bei geeigneter Dimensionierung der Komponenten der Unterschied klein. Falls Uz' genau bestimmt werden soll, kann zusätzlich oder alternativ zu R5, R6 ein zweiter Spannungsteiler vorgesehen sein, der die zweite Zwischenspannung Uz' zur Messung der Steuereinheit 13 zuführt.

45

**[0047]** Vorzugsweise wird P über eine Filterzeit gemittelt, welche mindestens eine halbe Taktperiode der Netzspannung, d.h. mindestens 10 ms, beträgt. Eine Anpassung der Pulsweite th erfolgt erst nach Ablauf der Filterzeit.

**[0048]** P ist ein direktes Mass für die Leistung, welche die Gegentakt-Endstufe T1, T2 abgibt, und somit (unter Vernachlässigung der Verlustleistungen, insbesondere im Heiztransformator 15) auch ein Mass für die Heizleistung der Kathodenheizung des Magnetrons 3. Somit bildet die Steuereinheit 13 also einen Leistungsregler, mit welchem die von der Kathodenheizung aufgenommene Leistung auf einen Sollwert geregelt werden kann.

50

*Ansteuerung des Hochspannungsgenerators:*

55

**[0049]** Im Folgenden wird anhand von Fig. 4 beschrieben, wie die Steuereinheit 13 die Schaltelemente T3 - T6 des Hochspannungsgenerators 11 ansteuert. Die Figur zeigt den Verlauf der Spannungen UG3 - UG6, welche an den Steuereingängen der Schaltelemente T3 - T6 anliegen, sowie den Verlauf des Stroms Ip in der Primärwicklung des Hochspannungstransformators und der Spannung Ur, welche über dem Widerstand R20 abfällt.

**[0050]** Die Steuereinheit 13 ist dazu ausgestaltet, die vier Schaltelemente T3 - T6 zyklisch zu betreiben. Eine typische Zyklusperiode tc liegt vorteilhaft im Bereich von 10 - 50  $\mu$ s.

**[0051]** Jede Zyklusperiode umfasst vier Phasen A - D:

## EP 2 854 480 A1

- In der Phase A sind die Schaltelemente T3 und T6 eingeschaltet und die Schaltelemente T4 und T5 ausgeschaltet, so dass sich ein positiver Strom  $I_p$  von der Zwischenspannung  $U_z$  durch die Brückenschaltung gegen Masse aufbaut. Dieser Strom führt zu einem ansteigenden Spannungsabfall  $U_r$  über R20. (Da die Induktivität des Hochspannungstransformators 14 wesentlich höher ist als jene des Heiztransformators 15, geht der Strom im Gegensatz zur Situation nach Fig. 3 nicht in Sättigung sondern steigt über die Phase A praktisch linear an.)
- In der Phase B bleibt Schaltelement T6 eingeschaltet. Schaltelement T3 wird ausgeschaltet und sodann Schaltelement T4 eingeschaltet. Der Strom durch den Hochspannungstransformator 14 baut sich wieder ab, indem er das Schaltelement T6 und die Freilaufdiode des Schaltelements T4 durchfließt.
- In der Phase C wird das Schaltelement T6 abgeschaltet und das Schaltelement T5 eingeschaltet. Es baut sich nun ein negativer Strom  $I_p$  von der Zwischenspannung  $U_z$  durch die Brückenschaltung und die Primärwicklung gegen Masse auf. Dieser Strom führt wieder zu einem ansteigenden Spannungsabfall  $U_r$  über R20.
- In der Phase D bleibt Schaltelement T4 eingeschaltet. Schaltelement T5 wird ausgeschaltet und sodann Schaltelement T6 eingeschaltet. Der Strom durch den Hochspannungstransformator 14 baut sich wieder ab, indem er das Schaltelement T4 und die Freilaufdiode des Schaltelements T6 durchfließt.

**[0052]** Im Betrieb sind die Phasen A und C vorzugsweise gleich lang, d.h. die entsprechenden Zeitdauern  $t_A$  und  $t_C$  sind identisch. Ebenso sind die Phasen B und D vorzugsweise gleich lang, d.h. die entsprechenden Zeitdauern  $t_B$  und  $t_D$  sind identisch. Die Phasen A und C sind in der Regel jedoch kürzer oder höchstens gleich lang wie die Phasen B und D. Durch das Verhältnis von  $t_A + t_C$  zur Zykluszeit  $t_c$  kann die vom Magnetron abzugebende Leistung eingestellt werden. Dieses Verhältnis wird von der Steuerung 13 z.B. entsprechend Vorgaben des Benutzers eingestellt.

### *Betrieb:*

**[0053]** Wenn der Benutzer den Mikrowellenofen aktiviert, d.h. den Befehl gegeben hat, den Lebensmitteln im Garraum Energie zuzuführen, startet die Steuerung 13 zunächst eine Vorheizphase. In dieser Vorheizphase bleiben die Schaltelemente T3 - T6 alle ausgeschaltet, so dass keine Hochspannung am Magnetron 3 anliegt. An die Vorheizphase schließt sodann eine Betriebsphase an, in welcher auch die Schaltelemente T3 - T6 alternierend in Betrieb genommen werden, um die Hochspannung an das Magnetron anzulegen und die gewünschte Mikrowellenstrahlung zu erzeugen. Im Folgenden wird die Betriebsphase genauer beschrieben.

**[0054]** Wie eingangs erwähnt, wird in der Betriebsphase die Leistung der Kathodenheizung möglichst tief gehalten, und zwar so tief, dass gerade noch ein stabiler Betrieb des Magnetrons 3 möglich ist.

**[0055]** Um die Grenze dieses stabilen Betriebs zu erkennen, werden - wie eingangs bereits erwähnt - Schwankungen in einem vom Anodenstrom abhängigen Parameter untersucht. In der soweit beschriebenen Ausführung handelt es sich bei diesem Parameter um die Anstiegsgeschwindigkeit der Strompulse durch die Primärspule des Hochspannungstransformators 14. Hierzu wird der Anstieg des Spannungsabfalls  $U_r$  über R20 gemessen.

**[0056]** Fig. 5 zeigt den Verlauf des Spannungsabfalls  $U_r$  im Detail. Die Steuereinheit 13 führt pro Strompuls zwei Messungen zu den Zeiten  $t_1$  und  $t_2$  durch und errechnet hieraus den entsprechenden Unterschied  $\Delta = U_r(t_2) - U_r(t_1)$ , welcher ein Maß für die Anstiegsgeschwindigkeit des Strompulses ist. Fig. 5 zeigt zwei entsprechende Messungen  $\Delta_i$  und  $\Delta_{i+1}$ , wobei  $i$  bzw.  $i+1$  die Indizes zweier aufeinander folgender Strompulse darstellen.

**[0057]** Anstelle der Messung zweier Werte zu den Zeiten  $t_1$  und  $t_2$  kann auch nur ein Wert in bekanntem zeitlichem Abstand vom Pulsstart gemessen werden. Die Messung zweier Werte besitzt jedoch den Vorteil, dass die Pulsform genauer ermittelt werden kann, was insbesondere eine zuverlässigere Erkennung von Fehlzuständen erlaubt. So werden z.B. zum Zeitpunkt  $t_1$  negative Ströme bzw. Spannungen detektiert, falls am Ausgang des Hochspannungstransformators 14 ein Kurzschluss herrscht.

**[0058]** Schwankungen in den Anstiegsgeschwindigkeiten, wie sie in Fig. 5 gestrichelt dargestellt sind, können zwei Ursachen haben:

1) Eine erste Ursache liegt darin, dass die Zwischenspannung  $U_z$  nur unvollständig geglättet ist. Sie variiert mit einer Frequenz, welche dem Doppelten der Netzfrequenz entspricht, also mit ca. 100 Hz. Je höher die Zwischenspannung  $U_z$  ist, desto grösser ist die Anstiegsgeschwindigkeit der Strompulse. Die mit  $U_z$  skalierte Anstiegsgeschwindigkeit  $\Delta/U_z$  ist jedoch deutlich weniger abhängig von der Zwischenspannung  $U_z$ . Dies ist in Fig. 6a illustriert, welche die Zwischenspannung  $U_z$ , den Wert der Anstiegsgeschwindigkeit  $\Delta_i$  und der skalierten Anstiegsgeschwindigkeit  $\Delta_i/U_z$  darstellt.

2) Eine zweite Ursache liegt in der Instabilität des Magnetrons 3. Wenn die Heizleistung zu tief ist, beginnen die Anstiegsgeschwindigkeiten zu schwanken, vgl. Fig. 6b. Die Schwankungen sind auch in der skalierten Anstiegsgeschwindigkeit  $\Delta/U_z$  zu beobachten.

**[0059]** Sobald die Steuereinheit 13 Schwankungen der in Fig. 6b dargestellten Art feststellt, erhöht sie den Sollwert für die Heizleistung der Kathodenheizung.

**[0060]** Um die Schwankungen numerisch zu erfassen, errechnet die Steuereinheit in der vorliegenden Ausführung den folgenden Kennwert S für die Schwankungen:

$$S = \sum_i \left| \frac{\Delta_{i+1}}{U_{Z_{i+1}}} - \frac{\Delta_i}{U_{Z_i}} \right|. \quad (1)$$

Hierbei bezeichnet  $U_{Z_i}$  die Zwischenspannung  $U_z$  zum Zeitpunkt des Pulses  $i$ . Die Summe erstreckt vorzugsweise über mindestens eine halbe Netzperiode, d.h. 10 ms. Liegt der Wert  $S$  über einem oberen Schwellwert  $S_1$ , so erhöht die Steuereinheit 13 den Sollwert für die Heizleistung. Liegt der Wert  $S$  über einem tieferen, unteren Schwellwert  $S_2$ , so reduziert die Steuereinheit 13 den Sollwert für die Heizleistung.

**[0061]** Anstelle der Formel (1), welche die Schwankungen aus der Summe der Absolutwerte der Differenzen der skalierten Stromanstiegsgeschwindigkeiten bestimmt, kann zur Ermittlung der Schwankungen beispielsweise auch eine andere Funktion verwendet werden, welche von den absoluten Differenzen der skalierten Stromanstiegsgeschwindigkeiten mehrerer Paare von aufeinander folgenden Strompulse  $i, i+1$  abhängt

$$S = F\left(\left|\frac{\Delta_{i+1}}{U_{Z_{i+1}}} - \frac{\Delta_i}{U_{Z_i}}\right|_{i=1..N}\right), \quad (2)$$

wobei  $F$  die genannte Funktion ist, und  $N$  die Zahl der in der Funktion  $F$  berücksichtigten Paare von Strompulsen.  $F$  kann z.B. die Summe der Quadrate der Differenzen der skalierten Stromanstiegsgeschwindigkeiten sein.

**[0062]** Es zeigt sich, dass bei Beginn einer Instabilität die ersten Schwankungen jeweils zwischen aufeinander folgenden Strompulsen sichtbar werden, indem der eine Strompuls schneller und dafür der nächste Strompuls langsamer ansteigt, wie dies in Fig. 6b illustriert ist. Deshalb ist eine Funktion der Art von Gleichung (1) bzw. (2) ein besonders guter Indikator des Einsetzens von Instabilitäten.

**[0063]** Alternativ zu einer Formel der in Gleichung (2) gezeigten Art kann jedoch auch eine andere Größe verwendet werden, welche die Schwankung der skalierten Stromanstiegsgeschwindigkeiten oder der nicht-skalierten Stromanstiegsgeschwindigkeiten beschreibt. Beispielsweise können die nicht-skalierten Stromanstiegsgeschwindigkeiten in einem Hochpass gefiltert werden, und sodann kann deren statistische Varianz errechnet werden. Der Hochpass besitzt dabei eine Grenzfrequenz, welche höher ist als die doppelte Netzfrequenz, aber tiefer als die Schaltfrequenz des Wechselrichters.

*Bemerkungen :*

**[0064]** Im obigen Ausführungsbeispiel wird der Spannungsabfall  $U_r$  über  $R_{20}$  als Parameter für die Schwankungen des Anodenstroms des Magnetrons 3 verwendet. Alternativ kann jedoch z.B. auch ein anderer Wert verwendet werden, der den Strom im Primär- oder Sekundärkreis des Hochspannungstransformators 14 beschreibt. Beispielsweise kann eine Messwicklung im Hochspannungstransformator 14 integriert werden, deren Spannung überwacht wird. Oder der Anodenstrom kann auch direkt gemessen und z.B. über einen Optokoppler an die Steuereinheit 13 übermittelt werden.

**[0065]** Die Ablaufsteuerung der beschriebenen Verfahrensschritte kann als Hard- und/oder Software in der Steuereinheit 13 implementiert sein.

**[0066]** Zusammenfassend wird also eine Steuerschaltung für einen Mikrowellenofen beschrieben. Diese besitzt eine Gegentakt-Endstufe  $T_1, T_2$  zum Ansteuern eines Heiztransformators 15, mit welchem die Kathodenheizung des Magnetrons 3 betrieben wird. Für die Erzeugung der Hochspannung ist ein separater Hochspannungstransformator 14 vorgesehen, der von einer Brückenschaltung  $T_3 - T_6$  gespeist wird. Die Steuereinheit 13 des Geräts ist dazu ausgestaltet, Schwankungen in einem vom Anodenstrom des Magnetrons 3 abhängigen Parameter zu ermitteln. Sind diese Schwankungen hoch, so wird die Heizleistung der Kathodenheizung erhöht. Auf diese Weise kann das Magnetron 3 mit einer optimalen, geringen Heizleistung betrieben werden.

**[0067]** Während in der vorliegenden Anmeldung bevorzugte Ausführungen der Erfindung beschrieben sind, ist klar darauf hinzuweisen, dass die Erfindung nicht auf diese beschränkt ist und in auch anderer Weise innerhalb des Umfangs der folgenden Ansprüche ausgeführt werden kann.

## Patentansprüche

- 5
1. Mikrowellenofen mit einem Magnetron (3) umfassend eine Kathode (K), eine Anode (A) und eine Kathodenheizung und mit einer Ansteuerschaltung für das Magnetron (3), wobei die Ansteuerschaltung aufweist:
- 5
- einen Hochspannungsgenerator (11) zum Erzeugen einer Hochspannung zwischen der Anode (A) und der Kathode (K),  
einen Heizstromgenerator (12) zum Erzeugen eines Heizstroms für die Kathodenheizung und  
eine Steuerung (13),  
10 **gekennzeichnet durch** eine Messschaltung (R20, 18), welche dazu ausgestaltet ist, Schwankungen in einem von einem Anodenstrom des Magnetrons abhängigen Parameter zu bestimmen, wobei die Steuerung (13) dazu ausgestaltet ist, den Heizstromgenerator (12) abhängig von den Schwankungen derart zu steuern, dass der Heizstrom bei zunehmenden Schwankungen erhöht wird.
- 15
2. Mikrowellenofen nach Anspruch 1 mit einem Leistungsregler (13, 21, R21), mit welchem eine von der Kathodenheizung aufgenommene Heizleistung regelbar ist, wobei die Steuerung (13) dazu ausgestaltet ist, einen Sollwert für die Heizleistung abhängig von den Schwankungen vorzugeben.
- 20
3. Mikrowellenofen nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei der Hochspannungsgenerator (11) einen Wechselrichter (T3 - T6) und einen Hochspannungstransformator (14) aufweist, wobei der Wechselrichter (T3 - T6) Strompulse in eine Primärwicklung des Hochspannungstransformators (14) einspeist, wobei eine Sekundärwicklung des Hochspannungstransformators über einen Gleichrichter (D2, D3) eine Spannung über der Anode (A) und der Kathode (K) des Magnetrons (3) erzeugt, und wobei die Messschaltung (R20, 18) zur Messung von Schwankungen in den Strompulsen ausgestaltet ist.
- 25
4. Mikrowellenofen nach Anspruch 3, wobei der Wechselrichter eine Brückenschaltung mit vier Schaltelementen (T3 - T6) ist.
- 30
5. Mikrowellenofen nach einem der Ansprüche 3 oder 4, wobei zwischen dem Wechselrichter und einem Referenzpotenzial, insbesondere Masse, ein Widerstand (R20) angeordnet ist, wobei die Messschaltung (R20, 18) zur Messung eines Spannungsabfalls über dem Widerstand (R20) ausgestaltet ist.
- 35
6. Mikrowellenofen nach einem der Ansprüche 3 bis 5, wobei die Messschaltung (R20, 18) dazu ausgestaltet ist, Anstiegsgeschwindigkeiten der Strompulse zu messen und Schwankungen in den Anstiegsgeschwindigkeiten zu ermitteln.
- 40
7. Mikrowellenofen nach Anspruch 6, wobei die Messschaltung (R20, 18) dazu ausgestaltet ist, zu mindestens zwei Zeiten ( $t_1$ ,  $t_2$ ) in jedem Strompuls  $i$  eine Stromhöhe zu messen und hieraus die Anstiegsgeschwindigkeit  $\Delta_i$  des Stroms im Strompuls zu ermitteln.
- 45
8. Mikrowellenofen nach Anspruch 7, wobei die Steuerung (13) dazu ausgestaltet ist, eine skalierte Anstiegsgeschwindigkeit  $\Delta_i/U_{z_i}$  zu berechnen, wobei  $U_{z_i}$  eine Zwischenspannung ist, die zum Zeitpunkt des Pulses  $i$  über dem Wechselrichter (T3 - T6) anliegt, und die Schwankungen aus der skalierten Anstiegsgeschwindigkeit zu ermitteln.
- 50
9. Mikrowellenofen nach Anspruch 8, wobei die Steuerung (13) dazu ausgestaltet ist, eine Funktion zu berechnen, welche von den absoluten Differenzen der skalierten Stromanstiegsgeschwindigkeiten mehrerer Paare von aufeinander folgenden Strompulse  $i$ ,  $i+1$  abhängt.
- 55
10. Mikrowellenofen nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei die Steuerung (13) dazu ausgestaltet ist, einen Kennwert (S) für die Schwankungen zu berechnen, den Heizstrom zu erhöhen, wenn der Kennwert (S) über einen oberen Schwellwert (S1) ansteigt.
11. Vorrichtung nach Anspruch 10, wobei die Steuerung (13) weiter dazu ausgestaltet ist, den Heizstrom zu reduzieren, wenn der Kennwert (S) unter einen unteren Schwellwert (S2) abfällt.
12. Verfahren zum Betrieb eines Mikrowellenofens nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei das Verfahren durch folgende Schritte gekennzeichnet ist:

## EP 2 854 480 A1

Messen von Schwankungen in einem von einem Anodenstrom des Magnetrons (3) abhängigen Parameter und Steuern des Heizstromgenerators (12) abhängig von den Schwankungen derart, dass der Heizstrom bei zunehmenden Schwankungen erhöht wird.

- 5    **13.** Verfahren nach Anspruch 12 wobei zur Erzeugung des Anodenstroms ein Hochspannungstransformator (14) über einen Gleichrichter (D2, D3) an das Magnetron angeschlossen ist, wobei in eine Primärwicklung des Hochspannungstransformators (14) Strompulse eingespeist werden, und wobei die Schwankungen als Schwankungen in den Strompulsen gemessen werden.
- 10    **14.** Verfahren nach Anspruch 13, wobei Anstiegsgeschwindigkeiten der Strompulse gemessen werden und die Schwankungen als Schwankungen in den Anstiegsgeschwindigkeiten gemessen werden.

15

20

25

30

35

40

45

50

55

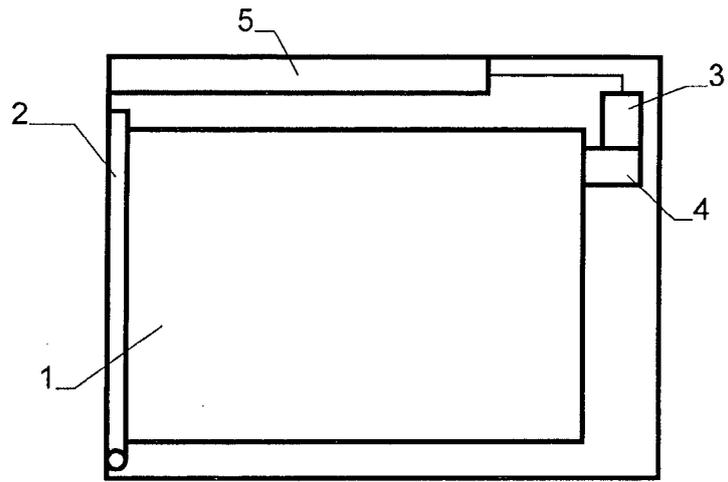


Fig. 1

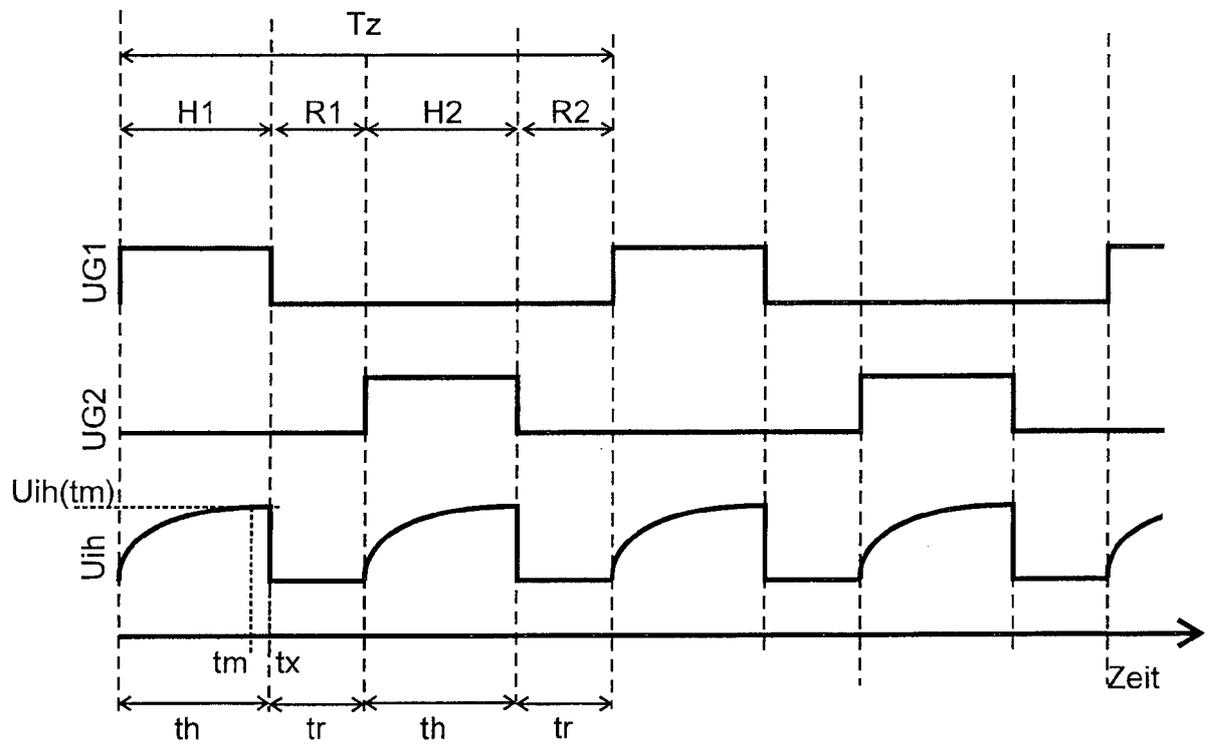


Fig. 3

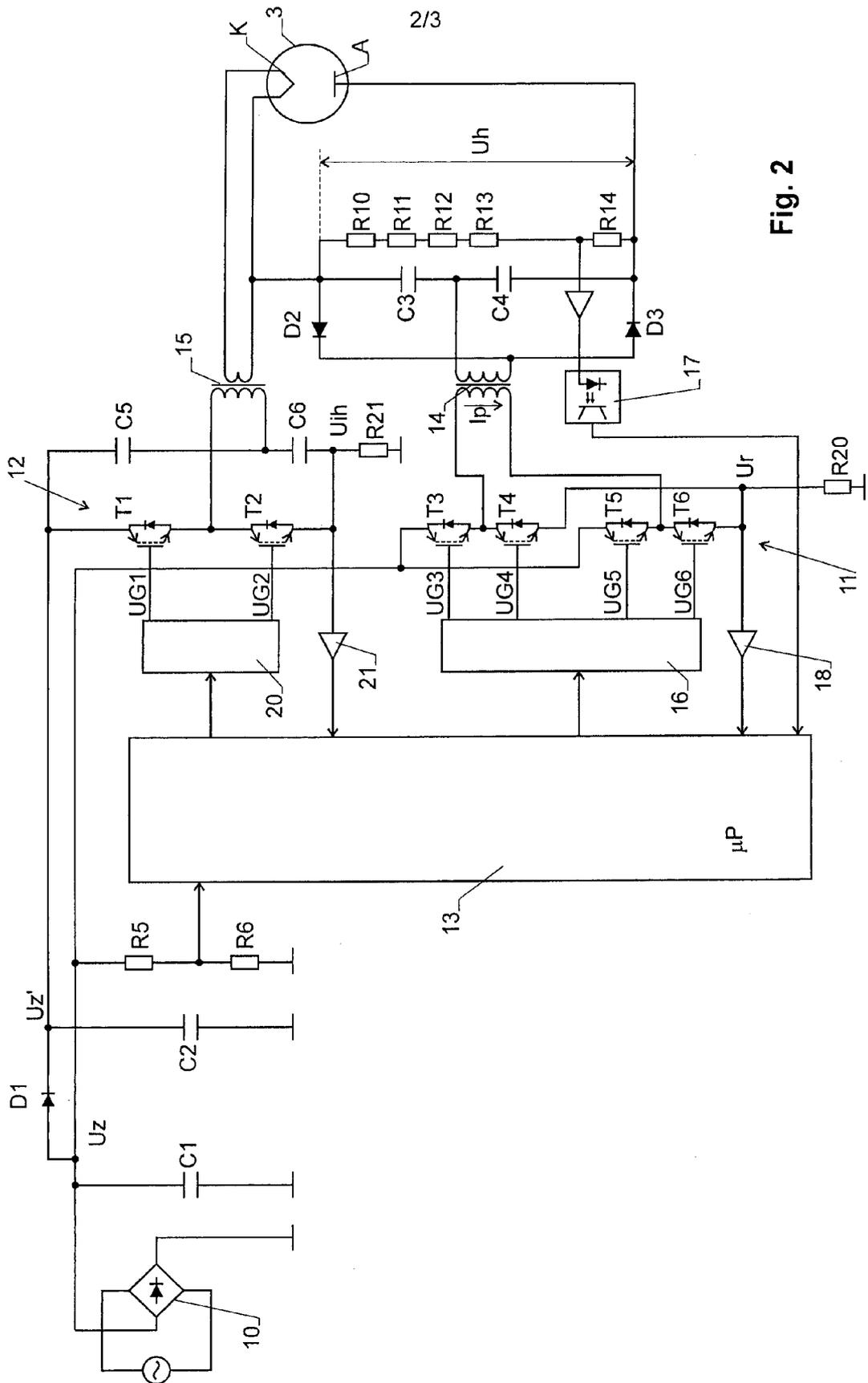


Fig. 2

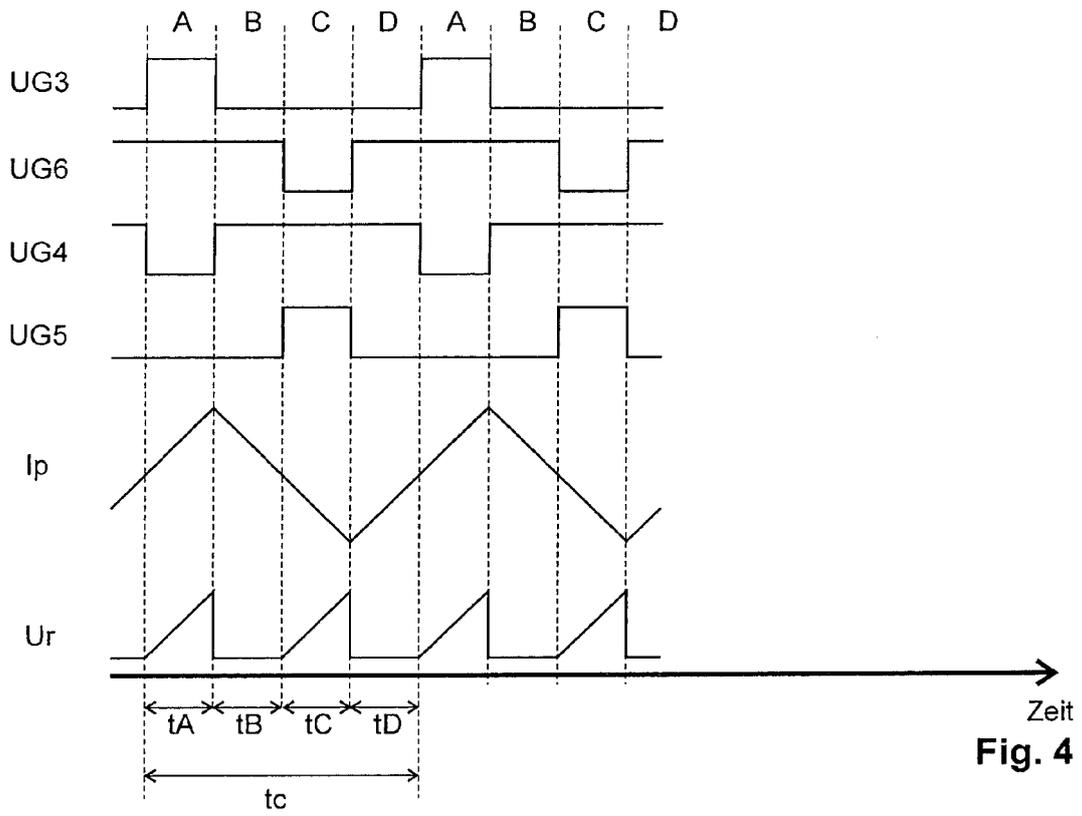


Fig. 4

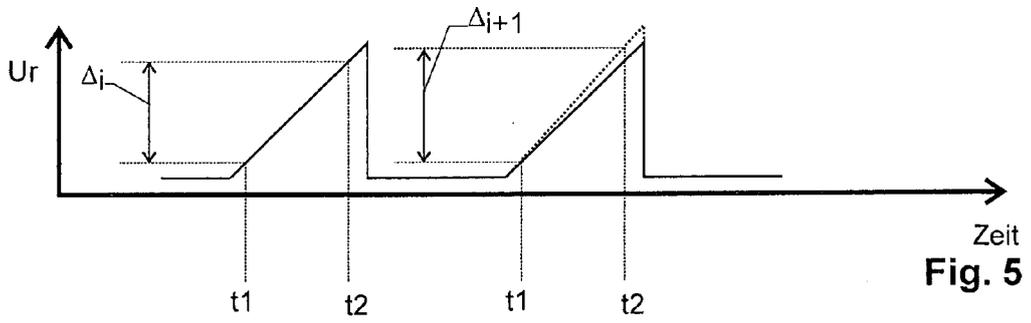


Fig. 5

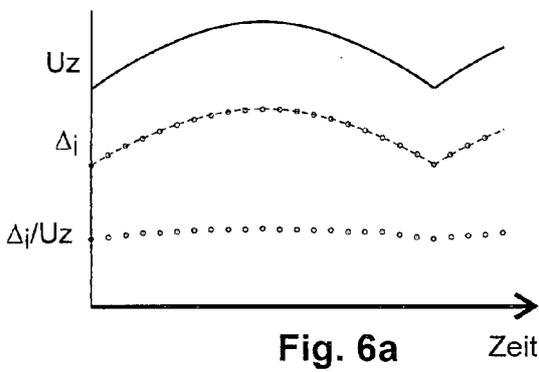


Fig. 6a

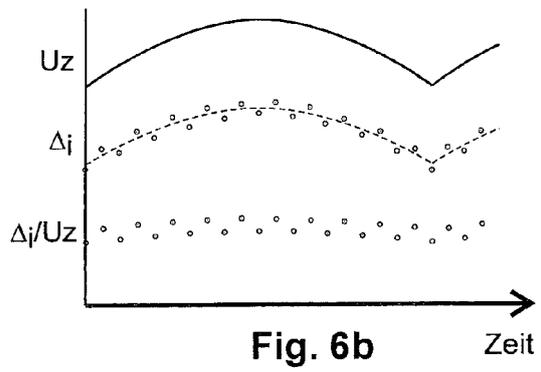


Fig. 6b



EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung  
EP 14 00 1470

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X	WO 98/11591 A1 (IKL SKELLEFTEAA AKTIEBOLAG [SE]; LIDSTROEM KJELL [SE]; GRABS JAN [SE]) 19. März 1998 (1998-03-19)	1,2,5-14	INV. H05B6/68
Y	* Seite 4, Zeile 21 - Seite 6, Zeile 24 * * Seite 13, Zeile 15 - Seite 14, Zeile 32; Abbildungen 7,8 *	3,4	
Y,D	----- US 4 742 442 A (NILSSEN OLE K [US]) 3. Mai 1988 (1988-05-03) * Spalte 3, Zeile 58 - Spalte 4, Zeile 39; Abbildung 1 * -----	3,4	
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			RECHERCHIERTER SACHGEBIETE (IPC)
			H05B
Recherchenort <b>München</b>		Abschlußdatum der Recherche <b>2. Oktober 2014</b>	Prüfer <b>Molenaar, Eelco</b>
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	

EPC FORM 1503 03.82 (P04C03) 1

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

EP 14 00 1470

5

In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentdokumente 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.

02-10-2014

10

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
WO 9811591 A1	19-03-1998	AU 4143897 A	02-04-1998
		EP 1012864 A1	28-06-2000
		SE 9603291 A	11-03-1998
		US 6204601 B1	20-03-2001
		WO 9811591 A1	19-03-1998
-----			
US 4742442 A	03-05-1988	KEINE	
-----			

15

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**

- US 4742442 A [0003]