

19



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets



11 Veröffentlichungsnummer: **0 677 335 A2**

12

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

21 Anmeldenummer: **95105027.7**

51 Int. Cl.⁶: **B06B 1/02, B05B 17/06**

22 Anmeldetag: **04.04.95**

30 Priorität: **14.04.94 DE 4412900**

71 Anmelder: **Firma J. Eberspächer**
Eberspächerstrasse 24
D-73730 Esslingen (DE)

43 Veröffentlichungstag der Anmeldung:
18.10.95 Patentblatt 95/42

72 Erfinder: **Wilson, Robert F.**
2853 Waterloo Street
Vancouver, B.C. V6T 3J2 (CA)

84 Benannte Vertragsstaaten:
AT BE DE DK ES FR GB IT PT SE

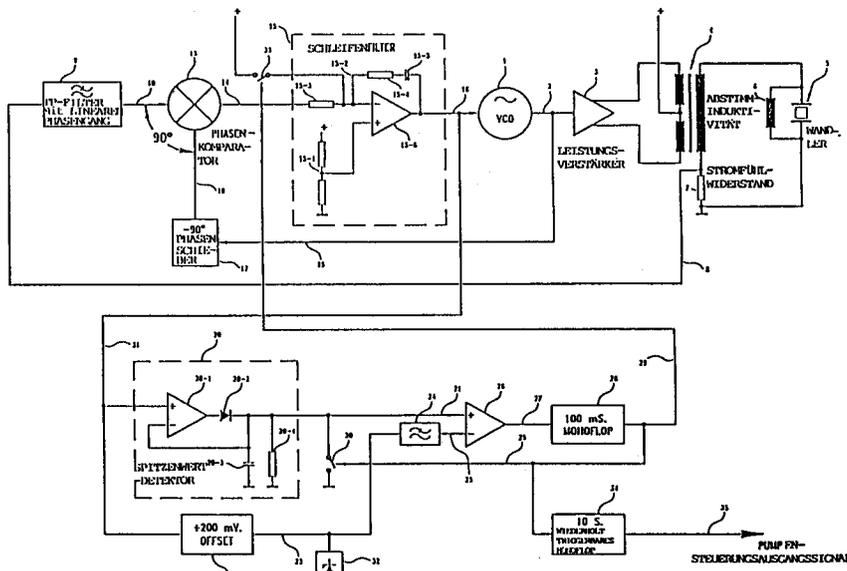
74 Vertreter: **Klunker . Schmitt-Nilson . Hirsch**
Winzererstrasse 106
D-80797 München (DE)

54 **Verfahren und Vorrichtung zum Feststellen des Einsetzens einer Überflutung eines Ultraschallzerstäubers.**

57 Methode zum Feststellen des Einsetzens einer Überflutung einer Zerstäuberoberfläche eines Ultraschallwandler (5) aufweisenden Ultraschallzerstäubers mit zu zerstäubender Flüssigkeit, insbesondere flüssigem Brennstoff im Zusammenhang mit Heizgeräten, wobei die natürliche Resonanzfrequenz des schwingenden Ultraschallwandlers (5) auf Fre-

quenzänderungen überwacht wird und ein Überflutungszustand meldendes Überflutungssignal dann erzeugt wird, wenn gegenüber einer zuvor festgestellten Resonanzfrequenz ein Abfall der Resonanzfrequenz festgestellt wird, dessen Abfallgeschwindigkeit einen vorbestimmten Mindestschwellenwert übersteigt.

FIG. 2.



EP 0 677 335 A2

Die Erfindung betrifft ein Verfahren gemäß Oberbegriff des Anspruchs 1 und einen Ultraschallzerstäuber gemäß Oberbegriff des Anspruchs 3.

Die Erfindung befaßt sich mit Ultraschallgeneratoren, die in Verbindung mit Ultraschallschwingern verwendet werden, die als Zerstäuber für Flüssigkeiten benutzt werden. Genauer gesagt befaßt sich die Erfindung mit einem Verfahren und mit einer Vorrichtung zum zuverlässigen Feststellen des Zustandes, daß der Zerstäuber überflutet worden ist und die Zerstäubung eingestellt hat, und zum darauffolgenden Befreien des Zerstäubers von überschüssiger Flüssigkeit und zur Wiederherstellung eines stabilen Betriebes bei der Resonanz des Ultraschallschwingers.

Es sind zahlreiche Schaltungen bekannt, die dazu verwendet werden können, einen Ultraschallschwinger bei brauchbaren Leistungswerten zu betreiben. Diese Ultraschallschwinger werden üblicherweise aus einem piezoelektrischen Keramikmaterial hergestellt, das elektromechanische Resonanzeffekte aufweist, die für viele piezoelektrischen Vorrichtungen typisch sind. Wenn solche piezoelektrischen Vorrichtungen bei einer ihrer natürlichen Resonanzfrequenzen betrieben werden, kann eine enorme Verbesserung der Umwandlung elektrischer Energie in mechanische Energie erreicht werden, wenn die resultierenden Schwingungen durch Verwendung eines geeigneten Horns verstärkt werden.

Eine bekannte Anwendung von Ultraschallwellen liegt in der Zerstäubung von Flüssigkeiten, insbesondere Brennstofföl. Hierfür wird ein piezoelektrischer Wandler oder Schwinger so konstruiert, daß Brennstoff in Form eines Brennstofffilms über eine Zerstäubungsfläche seines Horns fließen kann. Wenn der Ultraschallschwinger bei einer seiner natürlichen Resonanzfrequenzen mit ausreichender Amplitude angeregt wird, wird die Schicht aus Brennstoffflüssigkeit, die das Horn bedeckt, von dessen Oberfläche in Form eines Nebels aus feinen Tröpfchen abgeschleudert. Ein derartiger Ultraschallschwinger oder Ultraschallwandler findet Anwendung als Einrichtung zur Zerstäubung des Brennstoffs in einem Ölbrenner, indem er beispielsweise die gewöhnlich verwendete Hochdruckzerstäubungsdüse ersetzt.

Während der Zerstäubung und für einen festen Systemwirkungsgrad gibt es eine definierte Beziehung zwischen der Viskosität und dem Flüssigkeitsdurchsatz und der zur Aufrechterhaltung der Zerstäubung erforderlichen minimalen Energie. Daher ist eine zunehmende Energie erforderlich, wenn die Viskosität und/oder der Flüssigkeitsdurchsatz zunehmen. Für irgendeinen gegebenen Energiewert bewirkt eine übermäßige Flüssigkeitsviskosität oder ein übermäßiger Flüssigkeitsdurchsatz, daß der Zerstäuber überflutet wird und die Zerstäubung

aufhört.

Im Fall eines Ultraschallzerstäubers, der zum Zerstäuben von Brennöl in einem Ölbrenner verwendet wird, stellt die Notwendigkeit, das Verhältnis von Luft zu Brennstoff für einen optimalen Betrieb genau zu steuern, sicher, daß der Brennstoffdurchsatz genau festgelegt ist. Die Viskosität des Brennstoffs kann jedoch in weitem Ausmaß variieren, und zwar als Ergebnis des Betriebes über einen großen Umgebungstemperaturbereich oder der Verwendung von verschiedenen Brennstoffarten. Es stellt daher eine realistische Möglichkeit dar, daß von Zeit zu Zeit eine Überflutung des Zerstäubers auftreten kann und es somit ein notwendiges Erfordernis eines zum Treiben eines solchen Zerstäubers verwendeten Ultraschallgenerators ist, daß er erkennen kann, wenn eine Überflutung des Zerstäubers aufgetreten ist, und daß er sich darüberhinaus aus diesem Zustand befreien kann.

Ein bekanntes Verfahren zur Feststellung des Auftretens einer Überflutung besteht darin, zu überwachen, ob der Zerstäuber nicht mehr bei seiner gewählten Resonanzfrequenz getrieben wird. Die dafür erforderliche Schaltung ist im allgemeinen lediglich eine Erweiterung derjenigen Schaltung, die verwendet wird, um die Resonanz des Ultraschallwandlers aufzufinden und dieser Resonanz zu folgen. Betrachtet man speziell Ultraschallgeneratoren, bei denen die Resonanzfrequenz des Ultraschallwandlers dadurch aufgefunden und dieser Resonanzfrequenz gefolgt wird, daß die Phase der Treibspannung mit der Phase des resultierenden Wandlerstroms verglichen und die Treiberfrequenz geändert wird, bis die Treiberspannung und der Wandlerstrom in Phase sind, wird dann angenommen, daß der Zerstäuber überflutet ist, wenn die Treiberspannung und der resultierende Wandlerstrom phasenungleich werden. Wenn dies auftritt, wird der Ultraschallgenerator typischerweise dazu gebracht, einen Frequenzdurchlauf des Ultraschallwandlers über einen bestimmten Frequenzbereich zu beginnen, bis der Resonanzpunkt wieder gefunden ist. Für Ultraschallgeneratoren, die eine andere Methode der Resonanzermittlung verwenden, nämlich das Aufspüren der Frequenz, bei welcher der Wandlerstrom ein Maximum (für Betrieb bei Serienresonanz) oder ein Minimum (für Betrieb bei Parallelresonanz) aufweist, wird angenommen, daß der Zerstäuber überflutet ist, wenn der Strom nicht mehr den maximalen bzw. minimalen Wert aufweist. Auch in diesem Fall beginnt der Ultraschallgenerator typischerweise mit einem Frequenzdurchlauf für den Ultraschallwandler über einen bestimmten Frequenzbereich, um zu versuchen, das Amplitudenmaximum oder Amplitudenminimum zu lokalisieren und wieder zu einem stabilen Betrieb zurückzugelangen.

Eine weitere bekannte Methode für das Feststellen einer Zerstäuberüberflutung macht Verwendung von der Verringerung des "Q" des Resonanzsystems, die bei einer Überflutung des Zerstäubers auftritt. Wenn bei dieser Methode der Wert des Wandlerstroms unter einen bestimmten Schwellenwert abfällt, wird angenommen, daß der Zerstäuber übermäßig gedämpft wird und daher überflutet ist. Wiederum beginnt der Ultraschallgenerator typischerweise mit einem Frequenzdurchlauf, um zu versuchen, den Zerstäuber von übermäßiger Flüssigkeit zu befreien und wieder zur Systemresonanz zurückzukehren.

Aus der EP-A-0 340 470 ist eine weitere Methode für das Feststellen einer Zerstäuberüberflutung bekannt, bei welcher die Resonanzgüte "Q" des Resonanzsystems durch Bewertung der Flankensteilheit der Resonanzkurve beobachtet wird. Zu diesem Zweck rastet die für diese bekannte Methode verwendete Resonanzschaltung nicht auf eine Resonanzfrequenz ein sondern wobbelt laufend die Anregungsfrequenz zwischen zwei beidseits der Resonanzfrequenz liegenden Frequenzgrenzen hin und her. Bei ausreichend stark ausgeprägter Resonanz wird zwischen den beiden Frequenzgrenzen eines engen Wobbelbereichs gewobbelt. Bei Feststellung schwach ausgeprägter Resonanz wird zwischen den beiden Frequenzgrenzen eines weiten Frequenzbereichs gewobbelt. Die Steilheit der Resonanzkurve wird ermittelt, indem der Spannungsabfall über einem Widerstand, der von dem Strom der Treiberendstufe der Steuerschaltung durchflossen wird, einem Komparator einerseits direkt und andererseits über eine Verzögerungsschaltung zugeführt wird. Liegen die Unterschiede von unverzögertem Spannungswert und verzögertem Spannungswert unterhalb eines bestimmten Schwellenwertes, wird davon ausgegangen, daß die Resonanzkurve zu schwach ausgeprägt ist, und wird auf den breiten Wobbelbereich umgeschaltet. Gelingt durch das Wobbeln über den breiten Frequenzbereich ein Abschleudern nicht zerstäubter Tröpfchen, werden die Flanken der Resonanzkurve wieder steiler und kann wieder zum Wobbeln über den engen Frequenzbereich zurückgekehrt werden.

Alle zuvor erläuterten Methoden der Feststellung einer Überflutung haben sich jedoch als unzuverlässig bei der Feststellung einer Zerstäuberüberflutung erwiesen. Der Hauptgrund hierfür liegt an der Unfähigkeit dieser Methoden, einen üblichen Überflutungsmechanismus zuverlässig zu detektieren.

Dies sei nun etwas genauer erläutert. Bei einem typischen Ultraschallzerstäuber läßt man die zu zerstäubende Flüssigkeit durch ein Loch fließen, das axial durch die Länge des Horns gebohrt ist und in der Mitte der Hornfläche austritt. Von hier

fließt die zu zerstäubende Flüssigkeit in einem Flüssigkeitsfilm auf der Hornfläche radial nach außen. Wenn die Flüssigkeit von Schwingungsknoten in der Hornmitte nach außen fließt, wird sie einer erhöhten Beschleunigung ausgesetzt, und zwar aufgrund der Ultraschallschwingungen, die am extremen Umfang der Hornfläche ein Maximum aufweisen. Bevor die Flüssigkeit zum Hornumfang gelangt, erreicht sie normalerweise einen Punkt, an dem die Beschleunigung ausreicht, um die Flüssigkeit von dem Horn in Form eines Nebels zerstäubter Flüssigkeit abzuschleudern. Die Zerstäubung tritt somit hauptsächlich in einer relativ engen ringförmigen Zone auf der Zerstäuberoberfläche auf. Der mittlere Radius dieser Zerstäubungszone bezüglich des Hornradius wird für den Energiewert und den Wirkungsgrad eines gegebenen Systems hauptsächlich durch die Viskosität der Flüssigkeit und deren Flüssigkeitsdurchsatz bestimmt.

Im Fall der Verwendung des Zerstäubers für das Zerstäuben von Brennstoff in einem Brenner über einen ausgedehnten Temperaturbereich ist zwar, wie bereits erwähnt, der Brennstoffdurchsatz in engem Maß gesteuert, kann jedoch die Brennstoffviskosität weitläufig variieren. Es ist daher nicht ungewöhnlich, daß die Brennstoffviskosität von Zeit zu Zeit so hoch ist, daß der Brennstoff bei einem bestimmten Energiewert den ganzen Weg bis zum Rand der Hornfläche fließt und trotzdem nicht genug Energie erhält, um vom Horn abgestoßen und zerstäubt zu werden.

Wenn dieser Zustand rasch eintritt, sammelt sich der Brennstoff unmittelbar an dem Außenumfang des Horns und die rasche und sehr wesentliche Zunahme der Dämpfung, die unmittelbar auftritt, führt dazu, daß der Ultraschallgenerator die Kontrolle über die Wandlerfrequenz verliert. Dies führt zu einem vollständigen Einstellen der Zerstäubung, wobei der Brennstoff von der Zerstäuberoberfläche praktisch genauso herabläuft als wäre der Ultraschallgenerator einfach abgeschaltet worden. In diesem Fall wird das System so stark gedämpft und/oder so weit ab von der Resonanz getrieben, daß die Umwandlung von elektrischer Energie in mechanische Energie am Ultraschallwandler vernachlässigbar ist. Diese abrupte Form des Überflutens ist generell feststellbar mittels einer der oben angegebenen Methoden.

Ein Überflutungsmechanismus, der sehr viel schwerer festzustellen ist, tritt auf, wenn die Überflutung des Zerstäubers langsam beginnt. Dies tritt beispielsweise auf, wenn das Flüssigkeitsvolumen langsam in Richtung zu einem festgesetzten Durchsatz oder einer festgesetzten Durchflußrate zunimmt, deren Größe die Durchflußrate übersteigt, für welche eine Zerstäubung unter den vorhandenen Bedingungen hinsichtlich Viskosität und Energiewert aufrechterhalten werden kann. Da üblicher-

weise die Verwendung eines Impulsdämpfers in der Brennstoffzufuhrleitung einiger Ölbrenner erforderlich ist, um die durch die Wirkung der Brennstoffpumpe verursachten Durchflußimpulse zu glätten, tritt diese zunehmende Erhöhung des Brennstoffflusses in Richtung zu einer Durchflußrate im eingelaufenen stetigen Zustand in einem solchen System jedesmal auf, wenn der Brennstofffluß gestartet wird. Diese Wirkung beruht auf der Art des Impulsdämpfers, der als ein vorübergehendes Speicherreservoir wirkt, das jeglichen raschen Änderungen in der Brennstoffmengen-zuführ-rate entgegensteht. Am Anfang, bevor die volle Brennstoffabgabe auftritt, ist unter den vorhandenen Bedingungen hinsichtlich Brennstoffviskosität und Energie-wert die Durchflußrate niedriger als diejenige, welche eine Überflutung verursacht. Wenn sich die Durchflußrate erhöht, bewegt sich die Zerstäubungszone dichter zum Rand des Zerstäuberhorns, und sie kann ganz bis zum Rand des Horns vor-dringen.

Wenn dies passiert, befindet sich der Zerstäuber an der Grenze zur Überflutung. Da die Durchflußrate weiterhin langsam zunimmt, beginnt die Zerstäubung abzubrechen, wenn sich flüssiger Brennstoff um den Rand des Horns zu sammeln beginnt. Dieser Brennstoff erhöht die effektive Masse des Zerstäuberhorns und dies führt dazu, daß sich die natürliche Resonanzfrequenz des Ultraschallwandlers leicht zu verringern beginnt. Dies wird von dem Ultraschallgenerator, hier auch Anregungsschaltung genannt, festgestellt und führt dazu, daß der Ultraschallgenerator seine Ausgangsfrequenz entsprechend absenkt, um sie an die neue Resonanz anzupassen. Dieser Vorgang dauert an, wobei sich mehr Brennstoff auf der Oberfläche des Horns aufbaut und die Resonanzfrequenz abnimmt, bis die Zerstäubung vollständig aufhört und sich eine halbkugelförmige Brennstoffmasse, die von Stehwellen gehalten wird, aufbaut und auf der gesamten Oberfläche des Zerstäuberhorns gehalten wird. Überschüssiger Brennstoff, der von der Pumpe geliefert wird, läuft nun einfach ab, was zu einem sehr stabilen System mit einem aufgrund der Dämpfung durch die Flüssigkeit etwas niedrigerem "Q" führt, das aufgrund der hinzugekommenen Flüssigkeitsmasse bei einer etwas niedrigeren natürlichen Resonanzfrequenz arbeitet. Selbst wenn der Brennstoffzufluß gestoppt wird, bleibt die Masse des Brennstoffs am Horn haften und das System bleibt für viele Minuten in seinem neuen Resonanzpunkt in einem nutzlosen Betrieb.

Der Zerstäuber ist nun vollständig überflutet. Es findet keine Zerstäubung statt. Die oben beschriebenen Methoden zur Feststellung der Überflutung sind jedoch nicht in der Lage, diesen Zustand zu detektieren, da sich das System tatsächlich in Resonanz befindet und das "Q" des Sy-

stems nicht unvernünftig niedrig ist. Die einzige Möglichkeit der Befreiung von dieser großen Menge überschüssigen Brennstoffs besteht entweder darin, daß System abzuschalten, oder darin, die Frequenz rasch auf einen ganz verschiedenen Wert zu treiben, beispielsweise auf die minimale Frequenz des Frequenzbereichs. Dies eliminiert in beiden Fällen die Stehwellen, die den überschüssigen Brennstoff halten, und der Brennstoff fällt augenblicklich ab.

Mit der vorliegenden Erfindung sollen ein Verfahren und eine Schaltungsanordnung zur Überwindung der geschilderten Probleme verfügbar gemacht werden, mit denen einerseits zuverlässig das Einsetzen einer Überflutung eines Ultraschallzerstäubers festgestellt und andererseits überschüssige Flüssigkeit von einem überfluteten Ultraschallzerstäuber entfernt und danach eine stabile Zerstäubung bei einer ausgewählten Wandlerresonanzfrequenz der möglichen Wandlerresonanzfrequenzen wieder aufgenommen wird.

Ein derartiges Verfahren und eine derartige Schaltungsanordnung sind im Anspruch 1 bzw. im Anspruch 5 angegeben. Weiterbildungen hiervon sind in den abhängigen Ansprüchen definiert.

Aus den vorausgehenden Betrachtungen ergibt sich als klares Erfordernis für einen praktischen Ultraschallgenerator, daß er das tatsächliche Einsetzen einer Überflutung eines zugehörigen Ultraschallzerstäubers feststellt. Lediglich festzustellen, daß sich der Ultraschallzerstäuber nicht im Resonanzbetrieb befindet, kann nicht zur zuverlässigen Feststellung führen, daß der Zerstäuber überflutet ist.

Im Gegensatz zu bekannten Methoden wird erfindungsgemäß die Frequenz des Ultraschallgenerators bzw. der Anregungsschaltung überwacht, während sie den Zerstäuber bei Resonanz treibt, und erfindungsgemäß wird der geringe, jedoch relativ rasche Abfall der natürlichen Resonanzfrequenz erfaßt, der durch die sich ansammelnde Flüssigkeitsmasse verursacht wird und der nun als ein eine auftretende Überflutung immer begleitender Umstand erkannt worden ist. Langsame Erhöhungen oder Absenkungen der Resonanzfrequenz, wie sie durch Temperaturänderungen verursacht werden, werden genauso ignoriert wie rasche Frequenzerhöhungen, wie sie beispielsweise verursacht werden, wenn ein anfänglicher Suchvorgang zum Aufsuchen der gewünschten Resonanzfrequenz durchgeführt wird. Vorteilhafterweise kann der Ultraschallwandler durch einen anderen ersetzt werden, der gewöhnlich nicht exakt die gleiche Resonanzfrequenz aufweist wie der ersetzte Ultraschallwandler, ohne daß die Fähigkeit der Schaltung beeinträchtigt wird, eine Überflutung des Zerstäubers festzustellen. Dies ist möglich, weil im Betrieb die absolute Frequenz unbeachtet bleibt

und lediglich ein Frequenzverhältnis von Frequenzen, die in einem kurzen Zeitabstand betrachtet werden, überwacht wird.

Wenn auf diese Weise einmal das Überfluten des Zerstäubers zuverlässig festgestellt worden ist, wird der Ultraschallgenerator auf die minimale Frequenz innerhalb seines Frequenzbereichs gezwungen. Dies führt zu einem unmittelbaren Abbrechen der Stehwellenstruktur, die einen großen Überschuß an Brennstoff an der Zerstäuberoberfläche des Horns halten kann, was ein Abfallen des überschüssigen Brennstoffs ermöglicht. Gleichzeitig wird von der die Überflutung feststellenden Schaltung ein Signal zu einer Systemsteuereinrichtung geschickt, welche die Brennstoffpumpe vorübergehend abschaltet, und der Brennstofffluß beginnt geringer zu werden, während sich der Brennstoffimpulsdämpfer entlädt. Der Ultraschallgenerator muß nun versuchen, erneut auf die gewählte Resonanzfrequenz des Zerstäubers einzurasten.

Die üblicherweise verwendete Methode des Frequenzdurchlaufs, die oft als Hilfe zum Abschütteln überschüssiger Flüssigkeit und als Hilfe zum Lokalisieren der Resonanzfrequenz angesehen wird, braucht bei der Erfindung nicht verwendet zu werden. Diese Methode hat wenig Wert beim Abschütteln von Flüssigkeit, da beim Frequenzdurchlauf lediglich ein sehr kleiner Bruchteil der Gesamtzeit auf den Resonanzpunkt entfällt. Die meiste Zeit entfällt auf Zustände außerhalb der Resonanz, wo nahezu keinerlei mechanische Energie erzeugt wird. Gelegentlich mag ein letzter einziger Tropfen an dem Rand des Horns haften bleiben, und es ist möglich, daß die Aktion des Frequenzdurchlaufs diesen Tropfen abschüttelt. Dies ist jedoch ohne tatsächlichen Nutzen, da ein einziger Flüssigkeitstropfen nicht zu einer derart übermäßigen Dämpfung des Zerstäubers führt, daß der Ultraschallgenerator nicht dessen Resonanzpunkt finden könnte. Die Methode des Frequenzdurchlaufs ist auch nicht ein wirksamer Weg zum Lokalisieren von Resonanz. Denn während des Vorgangs des Frequenzdurchlaufs ist die normale Rückkopplungsschleife, die es dem Ultraschallgenerator bzw. der Anregungsschaltung erlaubt, in den Resonanzpunkt einzulaufen, abgetrennt. Wenn während des Frequenzdurchlaufs ein Resonanzpunkt festgestellt wird, muß die Frequenzdurchlaufschaltung abgetrennt werden und muß daraufhin die Rückkopplungsschleife der Anregungsschaltung wieder aktivgeschaltet und sehr rasch stabilisiert werden. Geschieht dies nicht, läuft die Frequenzdurchlaufschaltung über den gewünschten Resonanzpunkt hinaus und dieser wird nicht festgestellt.

Es ist oft folgendes festgestellt worden: Solange wesentliche Mengen Flüssigkeit über die Oberfläche des Zerstäuberhorns fließen, beispielsweise wenn die Pumpe arbeitet oder der Impulsdämpfer

noch entlädt, speziell bei niedriger Temperatur, bei welcher Brennstofföl eine relativ hohe Viskosität erreichen kann, ist es dem Ultraschallgenerator nicht möglich, den Resonanzpunkt des Ultraschallwandlers unter allen Umständen zu finden. Dies liegt an der unzureichenden Schwingungsenergie, die verfügbar ist, um die schwere Brennstoffschicht von dem Zerstäuberhorn wegzubringen, und zwar wegen des durch die Dämpfungswirkung des Brennstoffs bewirkten niedrigen "Q". Die einzige Möglichkeit besteht darin, zu warten, bis der Brennstofffluß dermaßen absinkt, daß die Dämpfung reduziert wird. Bevor dies eintritt, bleibt jeglicher Aufwand zur Auffindung der Resonanz nutzlos.

Die Verwendung des Frequenzdurchlaufs als ein Mittel zum Lokalisieren einer Resonanz ist daher aufgegeben worden. Stattdessen wird ein Anregungsschaltungskonzept verwendet, das automatisch auf den gewünschten Resonanzpunkt des Ultraschallwandlers konvergiert, ohne daß ein Frequenzdurchlauf erforderlich wäre, vorausgesetzt, daß der Ultraschallwandler nicht übermäßig gedämpft wird. Bei der Verwirklichung der Erfindung wird eine Anregungsschaltung verwendet, die der in der US-PS 5,113,116 beschriebenen Anregungsschaltung recht ähnlich ist. Dabei wird eine PLL-Schaltung mit sehr hoher Schleifenverstärkung verwendet, um die Phase der Wandlertreibspannung mit der Phase des resultierenden Wandlerstroms zu vergleichen. Das Ergebnis des Vergleichs wird dazu verwendet, die Frequenz der Treibspannung zu ändern, bis die Treibspannung und der resultierende Wandlerstrom auf Gleichphasigkeit eingeregelt sind. Aus praktischen Gründen ist die Schaltung für ein Einrasten auf eine Serienresonanz des Ultraschallwandlers optimiert worden. Obwohl Spannung und Strom auch bei Parallelresonanz in Phase sind, kann die Schaltung nicht auf diesen Resonanzpunkt einrasten, da die PLL-Schaltung, die für das Einrasten auf Serienresonanz optimiert worden ist, natürlich von dem Parallelresonanzpunkt weggezwungen wird. Falls Resonanz nicht festgestellt wird oder der Zerstäuber überflutet wird, wird die Treibfrequenz auf die niedrigste Frequenz in dem gewünschten Bereich zurückgestellt und die PLL-Schaltung erhält die Möglichkeit für einen neuen Versuch, den gewünschten Resonanzpunkt ohne andere Hilfe aufzusuchen. Dieser Vorgang wird wiederholt, bis der Flüssigkeitsfluß durch den Zerstäuber bis zu einem Punkt reduziert worden ist, an dem es möglich ist, die Serienresonanzfrequenz festzustellen und auf diese einzurasten.

Die Erfindung wird nun anhand von Ausführungsformen näher erläutert. In den Zeichnungen zeigen:

Fig. 1 ein Blockschaltbild einer Schaltungsanordnung zum Feststellen des Ein-

setzens einer Überflutung des Ultraschallwandlers;

Fig. 2 ein Blockschaltbild der in Fig. 1 gezeigten Schaltung in Kombination mit einer zusätzlichen Schaltungsanordnung zum Beenden der Überflutung und einem Blockschaltbild einer bevorzugten Anregungsschaltung;

Fig. 3 eine Darstellung der Ultraschallwandlerfrequenz in Abhängigkeit von der Zeit während verschiedener Betriebszustände des Ultraschallwandlers.

Fig. 1 zeigt ein Blockschaltbild einer Schaltung, die zum Feststellen des Einsetzens einer Überflutung des Ultraschallwandlers verwendet wird. Diese Schaltung wird benutzt in Verbindung mit und zur Steuerung eines Ultraschallgenerators bzw. einer Anregungsschaltung, der bzw. die später gezeigt und erläutert wird.

Die in Fig. 1 gezeigte Schaltung wird hier auch Frequenzabfalldetektorschaltung genannt.

Bei der in Fig. 1 gezeigten Ausführungsform umfaßt die Frequenzabfalldetektorschaltung einen Spitzenwertdetektor 20 und eine Offset-Addierschaltung 22. Deren Eingänge sind gemeinsam mit einer Zuführungsleitung 31 verbunden, der ein später noch erläutertes Signal zugeführt wird, das der Frequenz des Ultraschallwandlers entspricht. Ein nichtinvertierender Eingang eines Komparators 26 ist mit dem Ausgang des Spitzenwertdetektors 20 verbunden. Ein invertierender Eingang des Komparators 26 ist über ein Tiefpaßfilter 24 mit dem Ausgang der Offset-Addierschaltung 22 verbunden. An den Ausgang des Komparators 26 ist eine monostabile Kippschaltung in Form eines Monoflop 28 angeschlossen, das Ausgangsimpulse mit einer Impulsdauer von vorzugsweise 100 ms abgibt, wenn es eingangsseitig getriggert wird.

Der Spitzenwertdetektor 20 enthält einen Operationsverstärker 20-1, dessen nicht-invertierender Eingang mit der Zuführungsleitung 31 verbunden ist und dessen Ausgang unter Zwischenschaltung einer Diode 20-2 über eine Parallelschaltung aus einem Kondensator 20-3 und einem Widerstand 20-4 einerseits mit Masse und andererseits mit dem nichtinvertierenden Eingang des Komparators 26 verbunden ist. Der invertierende Eingang des Operationsverstärkers 20-1 ist mit dem Verbindungspunkt zwischen dem Kondensator 20-3 und der Diode 20-2 verbunden.

Ein Momentanwert der Steuerspannung eines spannungsgesteuerten Oszillators 1 (VCO) der in Fig. 2 gezeigten Anregungsschaltung wird der Zuführungsleitung 31 der Frequenzabfalldetektorschaltung zugeführt. Diese Spannung liegt bei der dargestellten Ausführungsform im Bereich von 1 bis 6 Volt und ist proportional zur Treibfrequenz

der Anregungsschaltung. Eine Spannung von einem Volt oder irgendeine Spannung darunter entspricht der Minimalfrequenz und eine Spannung von 6 Volt entspricht der Maximalfrequenz des gewählten Betriebsfrequenzbereichs der Anregungsschaltung. Diese Spannung wird der Spitzenwertdetektorschaltung 20 zugeführt. Deren Kondensator 20-3 dient als Speicherkondensator, der über den Widerstand 20-4 entladbar ist. Diese Schaltung wirkt wie ein üblicher Spitzenwertdetektor, dessen Kondensator 20-2 den höchsten zuvor aufgetretenen Wert der Steuerspannung des spannungsgesteuerten Oszillators 1 speichert. Der Widerstand 20-4 entlädt den Speicherkondensator 20-3 langsam, derart, daß der Spitzenwertdetektor 20 langsamen Verringerungen der Steuerspannung des VCO 1, wie sie durch Temperaturänderungen des Ultraschallwandlers verursacht werden, folgen kann, während relativ rasche Verringerungen der Steuerspannung des VCO 1 im Speicherkondensator 20-3 gespeichert werden und der Spitzenwertdetektor 20 solchen raschen Verringerungen nicht folgen kann. Eine Entladezeitkonstante von etwa 40 Sekunden wird als Optimum für einen besonders guten Betrieb bevorzugt.

Der Momentanwert der VCO-Steuerspannung wird außerdem der Offset-Addierschaltung 22 zugeführt, die zu der VCO-Steuerspannung eine konstante positive Offset-Spannung hinzuaddiert. Diese Offset-Spannung repräsentiert den maximalen Kurzzeit-Frequenzabfall, der zugelassen wird, bevor der Zerstäuber als überflutet zu betrachten ist. Der Wert der Offset-Spannung hängt von vielen Faktoren ab. Bei der dargestellten Ausführungsform wird ein Wert von etwa 200 mV bevorzugt, der sich als optimal für einen guten Betrieb erwiesen hat.

Das Tiefpaßfilter 24 ist vorgesehen, um irgendwelches Rauschen zu entfernen. Das Ausgangssignal des Spitzenwertdetektors 20 wird naturgemäß durch den Speicherkondensator 20-2 gefiltert.

Wenn die Anregungsschaltung den Ultraschallwandler in seiner Resonanzfrequenz treibt, sind die Treibfrequenz und somit die VCO-Steuerspannung auf der Zuführungsleitung 31 relativ konstant. Die Ausgangsspannung des Spitzenwertdetektors 20 ist in diesem Fall mit der VCO-Steuerspannung auf der Zuführungsleitung 31 identisch. Der Spitzenwertdetektor 20 ist in der Lage, langsamen Änderungen der Frequenz und somit der VCO-Steuerspannung auf der Zuführungsleitung 31 zu folgen, wie sie verursacht werden können durch Änderungen der Betriebstemperatur, Änderungen der Zerstäuberlast aufgrund von Veränderungen des Brennstoffs, den Aufbau von Verunreinigungen auf dem Zerstäuber, Alterung des Zerstäubers und dergleichen. Dies deshalb, weil der Spitzenwertdetektor 20 natürlicherweise Erhöhungen der VCO-Steuerspannung jeglicher Änderungsgeschwindigkeit

keit folgt und an langsame Spannungsabnahmen eine Anpassung erfolgt aufgrund der langsamen Entladungswirkung des Entladungswiderstandes 20-4. Unter stabilen Arbeitsbedingungen im eingelaufenen Zustand erhält der Komparator 26 an seinem nicht-invertierenden Eingang ein Ausgangssignal 21 des Spitzenwertdetektors 20 und an seinem invertierenden Eingang ein gefiltertes Signal 25 vom Ausgang der Offset-Addierschaltung 22, das 200 mV höher liegt als das Signal, das an dem nicht-invertierenden Eingang des Komparators 26 auftritt. Dies führt zu einem Signalzustand "LOW" am Ausgang 27 des Komparators 26. Das Ausgangssignal des Komparators 26 wird dem Monoflop 28 zugeführt, dessen Ausgang 29 sich normalerweise im Zustand "LOW" befindet. Wenn das Monoflop 28 einen kurzen positiv gerichteten Signalübergang an seinem Eingang 27 erhält, wechselt dessen Ausgang 29 in den Zustand "HIGH", und zwar für eine Zeitdauer von etwa 100 ms. Der Zweck und Grund für diesen kurzen positiven Ausgangsimpuls werden nachfolgend beschrieben werden. Für jetzt sei so viel bemerkt, daß ein Zerstäuber, der im eingelaufenen Zustand getrieben wird, kein Ausgangssignal am Ausgang des Monoflop 28 erzeugt.

Die obigen Bedingungen ändern sich jedoch, wenn eine Überflutung des Zerstäubers beginnt. Beim Einsetzen des Überflutens bewirkt die zusätzliche Flüssigkeitsmasse auf dem Zerstäuberhorn, daß die Resonanzfrequenz etwas abzusinken beginnt. Die Anregungsschaltung ist noch auf die Resonanzfrequenz des Zerstäubers eingerastet und stellt daher die Treibfrequenz so ein, daß sie an die neue, niedrigere Resonanzfrequenz angepaßt ist. Die VCO-Steuerspannung auf der Zuführungsleitung 31 beginnt daher abzusinken, da der VCO 1 mit einer etwas niedrigeren Frequenz betrieben werden muß. Das Ausgangssignal 21 des Spitzenwertdetektors 20 folgt anfangs der Abnahme der VCO-Steuerspannung nicht, da der Entladungswiderstand 20-4 den Speicherkondensator 20-3 nicht genügend schnell entladen kann und weil die Diode 20-2 den Operationsverstärker 20-1 daran hindert, den Speicherkondensator 20-4 auf eine niedrigere Spannung zu bringen. Das Ausgangssignal 23 der Offset-Addierschaltung 22 jedoch folgt der VCO-Steuerspannung in deren Abnahme, wobei der Ausgang der Offset-Addierschaltung 22 immer auf einem Wert von 200 mV über dem Momentanwert der VCO-Steuerspannung gehalten wird.

Eine relativ rasche Verringerung der Resonanzfrequenz bei Beginn der Überflutung des Zerstäubers, die einer Verminderung der VCO-Steuerspannung von mehr als 200 mV entspricht, führt dazu, daß das Signal 25 am invertierenden Eingang des Komparators 26 einen niedrigeren Wert annimmt

als das Signal 21 an dem nicht-invertierenden Eingang des Komparators 26. Wenn dies passiert, wechselt der Ausgang 27 des Komparators 26 in den Zustand "HIGH" und das Monoflop 28 wird getriggert, was an dessen Ausgang 29 einen positiven Impuls mit einer Dauer von 100 ms erzeugt. Dieser Impuls, der immer erzeugt wird, wenn eine Überflutung des Zerstäubers beginnt, wird verwendet, um eine Befreiung aus diesem Überflutungszustand einzuleiten.

Fig. 2 zeigt die in Fig. 1 gezeigte grundsätzliche Überflutungsdetektorschaltung in Kombination mit einem Blockschaltbild einer bevorzugten Anregungsschaltung und mit einer zusätzlichen Schaltungseinrichtung, die einen überfluteten Zerstäuber von überschüssiger Flüssigkeit freimacht und zu einem stabilen Betrieb bei Resonanz zurückführt.

Die in Fig. 2 der Frequenzabfalldetektorschaltung hinzugefügte Schaltungsanordnung umfaßt einen Schalter 30, welcher dem Entladungswiderstand 20-4 parallel geschaltet ist und vom Ausgangssignal des Monoflop 28 gesteuert wird, eine Spannungsklemmschaltung 32, die zwischen den Ausgang 23 der Offset-Addierschaltung 22 und Masse geschaltet ist, und eine zweite monostabile Kippschaltung in Form eines zweiten Monoflop 34, das zur Steuerung einer externen Flüssigkeitspumpe verwendet wird. Das zweite Monoflop 34 wird von dem Ausgangsimpuls des ersten Monoflop 28 getriggert. Es ist ein wiederholt triggerbares Monoflop, das einen Ausgangsimpuls von etwa 10 s erzeugt.

Der Schalter 30 ist in Fig. 2 schematisch als mechanischer Schalter dargestellt. Er kann jedoch die Form eines Halbleiterschalters, beispielsweise eines Schalttransistors, haben. Die Spannungsklemmschaltung 32 wirkt ähnlich wie eine Zener-Diode mit einer Zener-Spannung von 6,0 Volt. Sie verhindert, daß das Ausgangssignal der Offset-Addierschaltung 22 über 6,0 Volt hinaus ansteigt.

Bei der in Fig. 2 dargestellten Ausführungsform wird eine etwas modifizierte Version des in Fig. 1 der US-PS 5,113,116 gezeigten Ultraschallgenerators verwendet. Die Modifikation besteht einmal in der Weglassung eines Schwellenwertverstärkers 11 in Fig. 1 der US-PS 5,113,116 und in der Hinzufügung eines Schalters 33 zu dem in Fig. 1 der US-PS 5,113,116 gezeigten Ultraschallgenerator.

Hinsichtlich des Aufbaus und der Funktionsweise des Ultraschallgenerators mit der einen spannungsgesteuerten Oszillator (VCO) 1 aufweisenden Anregungsschaltung und einer einen Ultraschallwandler 5 aufweisenden Wandlerschaltung wird auf Fig. 1 der US-PS 5,113,116 und die zugehörigen Beschreibungsteile verwiesen. Aus diesem Grund sind in der vorliegenden Fig. 2 für die einzelnen Komponenten des Ultraschallgenerators die gleichen Bezugszeichen wie in der genannten US-PS

verwendet worden.

Im Zusammenhang mit vorliegender Erfindung sei hier die Arbeitsweise des Ultraschallgenerators nur kurz erläutert wie folgt:

Einem Ultraschallwandler 5 zur Erzeugung von Ultraschallschwingungen wird über einen Übertrager 4 elektrische Anregungsenergie von der Anregungsschaltung zugeführt. Die Anregungsschaltung umfaßt den spannungsgesteuerten Oszillator 1, dessen Ausgangssignal über einen Leistungsverstärker 3 der Primärseite des Übertragers 4 zugeführt wird. Die am Ausgang 2 des VCO 1 entstehende Oszillatorspannung wird über einen Phasenschieber 17, der eine Phasenschiebung von -90° bewirkt, einem ersten Eingang 18 eines Phasenkomparators 13 zugeführt. Dessen zweitem Eingang 10 wird über ein Tiefpaßfilter 9 mit linearem Phasengang eine Spannung zugeführt, die über einem Stromfühlwiderstand 7 entsteht und dem durch den Wandler 5 fließenden Strom entspricht. Im Phasenkomparator 13 werden somit die Phase der von der Anregungsschaltung abgegebenen Treibspannung und die Phase des durch den Wandler 5 fließenden Wandlerstroms miteinander verglichen. Ein der Phasenabweichung entsprechendes Signal entsteht am Ausgang 14 des Phasenkomparators 13 und wird durch ein integrierendes Schleifenfilter 15 mit hoher Verstärkung einem Eingang 16 des VCO 1 zugeführt. Wenn man davon ausgeht, daß die Frequenz des VCO 1 der Resonanzfrequenz des Wandlers 5 nachgeführt wird, entspricht die VCO-Steuerspannung der jeweiligen momentanen Schwingfrequenz des Wandlers 5.

Wie bereits erwähnt ist bei der Ausführungsform, die in der beiliegenden Fig. 2 dargestellt ist, der Schwellenwertverstärker 11 in Fig. 1 der genannten US-PS nicht enthalten. In der in der US-PS gezeigten Anregungsschaltung dient der Schwellenwertverstärker 11 dazu, das dem Phasenkomparator 13 von dem Tiefpaßfilter 9 gelieferte Eingangssignal 10 zu sperren, wenn der Strom durch den Wandler 5 sehr niedrig ist, weil der Ultraschallgenerator in dichter Nähe einer Parallelresonanz betrieben wird. Für den Zweck der vorliegenden Erfindung hat sich dies als unnötig und unerwünscht erwiesen, da die Situation einer vorübergehend offenen Schleife erzeugt wird, wenn die Frequenz des Ultraschallgenerators die Parallelresonanzfrequenz des Ultraschallwandlers 5 durchläuft. Die für die vorliegende Erfindung verwendete Generatorschaltung ist so konzipiert, daß sie auf die Serienresonanzfrequenz des Ultraschallwandlers 5 einrastet und daher natürlicherweise von der Parallelresonanzfrequenz weggezwungen wird. D. h., für alle Frequenzen unterhalb der Parallelresonanz rastet die vorliegende Schaltung auf die Serienresonanzfrequenz ein, und für alle Frequenzen

oberhalb der Parallelresonanz wird die vorliegende Schaltung an die obere Frequenzgrenze des VCO 1 gedrängt.

Wie bereits ebenfalls erwähnt, besteht die zweite Modifikation gegenüber Fig. 1 der genannten US-PS in der Hinzufügung des Schalters 33, über den der invertierende Eingang des Integrators 15-4, 15-5 und 15-6 des Schleifenfilters 15 mit einer Quelle positiver Spannung verbunden wird, die höher ist als die Spannung, die normalerweise an dem nicht-invertierenden Eingang des Schleifenfilters 15 anliegt. Auch dieser Schalter 33 ist der Einfachheit halber als mechanischer Schalter dargestellt, kann aber bevorzugtermaßen die Form eines Schalttransistors oder einer anderen Halbleiterschaltervorrichtung haben. Der Schalter 33 steht unter Steuerung des Ausgangs 29 des Monoflop 28 derart, daß für die Dauer eines 100 ms dauernden Ausgangsimpulses des Monoflop 28 der Schalter 33 geschlossen ist.

Der Zweck dieses Schaltungsmerkmals ist folgender: Wenn ein Überflutungszustand festgestellt wird, schließt der Ausgangsimpuls des Monoflop 28 den Schalter 33 vorübergehend, was dazu führt, daß das Ausgangssignal 16 des integrierenden Schleifenfilters 15, das die VCO-Steuerspannung bildet, auf dessen Minimalwert gesteuert wird. Die Impulsdauer 100 ms des vom Monoflop 28 erzeugten Impulses ist so gewählt, daß dem integrierenden Schleifenfilter 15 genügend Zeit gelassen wird, auf seine minimale Ausgangsspannung zu gelangen. Dies führt dazu, daß die Ausgangsfrequenz der Anregungsschaltung rasch auf die Minimalfrequenz des vorbestimmten Frequenzbereichs des VCO 1 zurückgesetzt wird, um die Anregungsschaltung für den Beginn einer neuen Suche nach der Resonanzfrequenz des Ultraschallwandlers 5 vorzubereiten.

Die VCO-Steuerspannung der Anregungsschaltung wird der Zuführungsleitung bzw. dem Eingang 31 des Spitzenwertdetektors 20 und der Offset-Addierschaltung 22 zugeführt, wie bereits zuvor beschrieben worden ist. Da dann, wenn eine Überflutung des Zerstäubers festgestellt wird, die VCO-Steuerspannung (bei 16 und 31) in Vorbereitung für eine neue Suche nach der Resonanz auf ein Minimum gesteuert wird, muß der Speicherkondensator 20-3 des Spitzenwertdetektors 20 in diesem Fall rasch entladen werden, damit der Ausgang 21 des Spitzenwertdetektors 20 sich wieder an die VCO-Steuerspannung anpaßt, um es dem Ausgang 27 des Komparators 26 zu ermöglichen, vor einer neuen Resonanzsuche in einen Zustand "LOW" zurückzukehren. Dies wird durch den Schalter 30 erreicht, der durch das Ausgangssignal des Monoflop 28 aktiviert wird. Somit wird der Speicherkondensator 20-3 zur selben Zeit, zu welcher die VCO-Steuerspannung und damit die Frequenz des Zer-

stäubungsgenerators auf deren Minimalwert gesteuert werden, rasch entladen.

Wenn die Frequenz des Zerstäubungsgenerators oberhalb des Parallelresonanzpunktes des Ultraschallwandlers 5 liegt, bewirkt die PLL-Schaltung, wie bereits zuvor erwähnt, naturgemäß, daß der Ultraschallgenerator an die obere Frequenzgrenze gesteuert wird und dort permanent "geparkt" wird. Man muß nun davon ausgehen, daß der Ultraschallgenerator von Zeit zu Zeit in eine solche Situation gelangt, und er muß dazu in der Lage sein, sich daraus zu befreien. Einer solchen Befreiung dient die Spannungsklemmschaltung 32. Obwohl die maximale VCO-Steuerspannung, die der VCO 1 in der bestehenden Ausführungsform verarbeiten kann, 6,0 Volt beträgt, ist die Versorgungsspannung für den Integrator 15-6 des Schleifenfilters 15 etwas höher, um sicherzustellen, daß der Ausgang des Integrators 15-6 den vollen Bereich der VCO-Steuerspannung umfassen kann. Unter der zuvor beschriebenen Bedingung, in welcher der Zerstäubungsgenerator an seiner oberen Frequenzgrenze geparkt wird, wird das Ausgangssignal des Integrators 15-6 bzw. die VCO-Steuerspannung somit versuchen, zur oberen Grenze der Versorgungsspannung des Integrators 15-6 anzusteigen, die etwas höher als 6,0 Volt ist, wie bereits bemerkt wurde. Der Ausgang 21 des Spitzenwertdetektors 20 folgt diesem Anstieg. Das Ausgangssignal der Offset-Addierschaltung 22 wird jedoch durch die Wirkung der Spannungsklemmschaltung 32 auf eine maximale Spannung von 6,0 Volt begrenzt. Da der nicht-invertierende Eingang (21) des Komparators 26 nun positiver ist als dessen invertierender Eingang (25), reagiert der Komparator 26 nun, indem sein Ausgang 27 in einen Zustand "HIGH" übergeht. Dadurch wird das Monoflop 28 getriggert. Dies hat zur Folge, daß die Ausgangsfrequenz des Ultraschallgenerators auf den Minimalwert innerhalb seines Frequenzbereichs zurückgesetzt wird, genauso, als wenn eine Überflutung des Zerstäubers festgestellt worden wäre.

Es ist wichtig, daß während einer jeden Suche nach der Resonanzfrequenz des Zerstäubers der Brennstofffluß angehalten werden muß, da, wie bereits erwähnt, das Vorhandensein überschüssiger Flüssigkeit auf dem Zerstäuberhorn das Auffinden der Resonanz verhindert. Zu diesem Zweck wird das wiederholt triggerbare Monoflop 34 verwendet, das durch das Ausgangssignal des ersten Monoflop 28 triggerbar ist. Die Impulslänge des zweiten Monoflop 34 hängt von einer Anzahl von Faktoren ab. Eine Impulslänge von 10 Sekunden hat sich als optimal erwiesen. Der Zweck des zweiten Monoflop 34 ist es, einen Befehl über seinen Ausgang 35 an eine Brennstoffpumpensteuereinrichtung zu schicken, um die Pumpe während einer Resonanzsuche vorübergehend anzuhalten. Wenn ein Überflutungs-

zustand festgestellt worden ist und das erste Monoflop 28 einen Impuls mit einer Impulslänge von 100 ms erzeugt, um die Frequenz der Ultraschallgenerators auf den minimalen Wert rückzusetzen, wird auch das zweite Monoflop 34 getriggert, und das Ausgangssignal an dessen Ausgang 35 bewirkt, daß die Brennstoffpumpe für 10 s angehalten wird. Wenn innerhalb dieser Zeit während eines Resonanzsuchlaufs erneut eine Überflutung des Zerstäubers festgestellt wird, wird das Monoflop 34 nochmals getriggert und die bereits begonnene Zeitdauer von 10 s wird um weitere 10 s verlängert. Die Zeitdauer von 10 s gewährt dem System genügend Zeit, um sich nach einer erfolgreichen Resonanzsuche zu stabilisieren, bevor der Brennstofffluß wieder gestartet wird.

Den vorausgehenden Ausführungen ist entnehmenbar, daß die Überflutungsdetektorschaltung zuverlässig das Einsetzen einer Überflutung des Ultraschallzerstäubers feststellen kann, daß sie die Ultraschallgeneratorfrequenz auf die untere Frequenzgrenze rücksetzen kann, um dem Ultraschallgenerator den Beginn einer neuen Resonanzsuche zu ermöglichen, und sie kann diesen Zustand einer Brennstoffpumpensteuereinrichtung signalisieren, so daß der Pumpenbetrieb vorübergehend eingestellt werden kann. Und sollte die Resonanzsuche ohne Erfolg und der Ultraschallgenerator auf die obere Frequenzgrenze gezwungen sein, kann die Überflutungsdetektorschaltung auch dies feststellen und die Generatorfrequenz auf die untere Frequenzgrenze rücksetzen, um eine weitere Resonanzsuche zu beginnen.

Es wird nun die Arbeitsweise dieses Systems erläutert anhand von Fig. 3, welche die Ultraschallgeneratorfrequenz als eine Funktion der Zeit darstellt, beginnend mit einem System in normalem Resonanzbetrieb, das überflutet wird und sich dann von dem Überflutungszustand erholt.

Abschnitt A der in Fig. 3 dargestellten Kurve zeigt, daß der Ultraschallzerstäuber überflutet wird. Abschnitt B zeigt den Generator, wie er nach einer Resonanz sucht, jedoch keinerlei Resonanzpunkt finden kann. Abschnitte C und D sind ähnlich dem Abschnitt B, wobei jedoch vorübergehend eine stark gedämpfte Resonanz gefunden wird, da der Brennstofffluß abnimmt. Abschnitt E zeigt, wie der Ultraschallgenerator vorübergehend bei einer Frequenz anhält, die niedriger ist als die normale Resonanzfrequenz, und zwar aufgrund der Belastung mit Brennstoff, wobei der Ultraschallzerstäuber jedoch weiterhin mit Brennstoff überflutet ist und das System auf die Minimalfrequenz zurückgeht. Abschnitt F zeigt wieder, daß eine Resonanz gefunden worden ist, jetzt jedoch in einem Zustand, in dem der Brennstofffluß nahezu vollständig angehalten worden ist, und das System ist dazu in der Lage, den Ultraschallzerstäuber von über-

schüssigem Brennstoff freizumachen und zum Normalbetrieb zurückzukehren.

Betrachtet man nun Fig. 3 mehr im Detail, beginnt die dort gezeigte Kurve mit einem Zustand, in welchen ein Ultraschallgenerator seinen Ultraschallzerstäuber bei Resonanz 50 treibt und eine normale Zerstäubung stattfindet. Am Punkt 51 beginnt eine Überflutung und die Abnahme der Resonanzfrequenz ist als abwärts gerichteter schräger Kurventeil 52 gezeigt. Die Resonanzfrequenz nimmt rasch genügend soweit ab, daß die VCO-Steuerspannung bei Punkt 53 um 200 mV abgenommen hat, was das Monoflop 28 triggert und dazu führt, daß der Ultraschallgenerator bei 54 auf seine Minimalfrequenz gezwungen wird, was sicherstellt, daß jeglicher überschüssiger Brennstoff, der am Zerstäuberhorn gehalten wird, abfällt, wie dies zuvor erläutert worden ist. An diesem Punkt wird auch das Monoflop 34 getriggert und sendet ein Signal zur Brennstoffpumpensteuereinrichtung, welches den Brennstoffzufluß abschaltet. Nach der Zeitdauer von 100 ms des Ausgangsimpulses des Monoflop 28 wird der bis dahin bei 55 auf seiner Minimalfrequenz gehaltene VCO 1 freigegeben und kann mit einer Suche nach einem Resonanzpunkt beginnen. Die Frequenz des Ultraschallgenerators steigt bei 56 linear an, und zwar unter der Steuerung der PLL-Schaltung des Ultraschallgenerators. Es wird keine einen Frequenzdurchlauf steuernde Schaltung oder Wobbel-Schaltung verwendet oder benötigt. Aufgrund der Tatsache, daß der Brennstofffluß noch relativ hoch ist, da sich der Brennstoffimpulsdämpfer entlädt, fließt noch viel Brennstoff über das Zerstäuberhorn, als daß irgendeine Resonanz detektiert werden könnte. Dieser Zustand führt auch zu einer Phasenbeziehung zwischen der Zerstäuberspannung und dem Zerstäuberstrom, die bewirkt, daß der Phasenkomparator 13 der Anregungsschaltung die VCO-Steuerspannung auf einen höheren Wert treibt und die Frequenz daraufhin linear mit einer Anstiegsgeschwindigkeit ansteigt, die lediglich durch die Schleifenzeitkonstante gesteuert wird, die primär durch den Widerstandswert des Widerstandes 15-3 und den Kapazitätswert des Kondensators 15-5 bestimmt wird. Wenn die vorbestimmte maximale Frequenz des VCO-Frequenzbereichs bei 57 erreicht wird, triggert die Spannungsklemmschaltung 32 den Komparator 26 in eine Änderung seines Ausgangssignals, was wiederum das Monoflop 28 triggert, dessen Ausgangssignal wiederum den Zerstäubergenerator auf die Minimalfrequenz rückt, um eine weitere Resonanzsuche zu starten.

Zu dem Zeitpunkt 58, bei welchem die nächste Resonanzsuche beginnt, hat der Brennstofffluß etwas abgenommen. Anfangs steigt die Frequenz des Zerstäubergenerators im Bereich 59 linear an wie zuvor, hält dann aber bei 60 vorübergehend an,

da eine stark gedämpfte Resonanzfrequenz gefunden wird, die viel niedriger liegt als die normale Resonanzfrequenz. Die PLL-Schaltung des Ultraschallgenerators kann nicht auf diesen instabilen Punkt einrasten und wird im Bereich 61 bald wieder aufwärts zu höheren Frequenzen getrieben, bis bei 62 der Punkt maximaler Frequenz erreicht und der Ultraschallgenerator wieder auf minimale Frequenz rückgesetzt wird. Bei 63 wird der VCO 1 wiederum freigegeben und es beginnt mit ansteigenden Frequenzen eine weitere Resonanzsuche. Während dieses Suchlaufs, bei dem wiederum weniger Brennstoff fließt, hält das System bei einem Resonanzpunkt 64 etwas höherer Frequenz aber noch starker Lastdämpfung an, kann jedoch wieder nicht einrasten und wird in Richtung zunehmender Frequenz getrieben, bis der Generator im Punkt 66 erneut rückgesetzt wird. Bei jedem Rücksetzen der Generatorfrequenz bei 57, 62 und 66 wird das Monoflop 34 erneut getriggert und somit die Dauer der Brennstoffpumpenabschaltzeit verlängert.

Bei 67 beginnt eine weitere Resonanzsuche. Inzwischen hat der Brennstofffluß soweit abgenommen, daß der Generator bei 68 einrasten kann, obwohl der Zerstäuber noch teilweise überflutet ist und die Resonanzfrequenz noch niedriger ist als normal. Da der Zerstäuber noch übermäßig gedämpft ist, wird die volle Schwingungsamplitude nicht erreicht und es findet keine Zerstäubung statt. Daher beginnt sich bei 69 nochmals Brennstoff an der Oberfläche des Zerstäuberhorns zu sammeln, das in Folge von Stehwellen in der Flüssigkeit festgehalten wird, bis die zuvor bei 68 ermittelte VCO-Steuerspannung bei 70 um 200 mV abgenommen hat, was ein Triggern des Monoflop 28 bewirkt. Und dies führt wieder zum Rücksetzen der Generatorfrequenz und zur Verlängerung der Abschaltzeit der Brennstoffpumpe.

Bei 71 beginnt nun die letzte Resonanzsuche. Da nun der Impulsdämpfer nahezu leer ist, wird der Brennstofffluß nahezu angehalten und wird bei 72 ein Resonanzpunkt gefunden, der nur wenig durch überschüssigen Brennstoff gedämpft ist und nur ein wenig unterhalb der natürlichen Resonanzfrequenz des Zerstäubers im nicht überfluteten Zustand liegt. Kurz nach einem Punkt 73 ist der Zerstäuber nun dazu in der Lage, die geringe Menge der übriggebliebenen Flüssigkeit abzuschütteln, und der unbelastete Resonanzpunkt wird dann bei 74 erreicht. Das System befindet sich nun im Bereich 75 wieder in normaler Resonanz und 10 s nach dem letzten Rücksetzen bei 70 geht der Ausgangsimpuls des Monoflop 34 zu Ende. Dies ermöglicht es der Brennstoffpumpensteuereinrichtung, die Brennstoffpumpe zu starten, und die Zerstäubung beginnt nun wieder.

Fig. 3 zeigt eine typische Situation. In Abhängigkeit von vielen Faktoren, wie dem Wert der

Ausgangsenergie, dem Brennstofftyp, der Brennstoffviskosität, der Temperatur und der Durchflußrate können jedoch mehr oder weniger Versuche erforderlich sein, bevor der Generator wieder eine stabile Resonanz findet. Bis der Brennstofffluß soweit abgenommen hat, daß es für das System möglich ist, die Zerstäuberresonanz unter den obigen Bedingungen zu detektieren, stellen die mehrfachen Versuche des Auffindens der Resonanz einen Weg dar, um Zeit vergehen zu lassen und periodisch zu testen, ob schon wieder eine Resonanz detektiert werden kann. Wenn der Brennstofffluß genügend abgenommen hat, tritt das in Abschnitt F der Fig. 3 gezeigte Verhalten auf und die PLL-Schaltung des Ultraschallgenerators rastet automatisch auf die Zerstäuberresonanz ein.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Feststellen des Einsetzens einer Überflutung einer Zerstäuberoberfläche eines Ultraschallwandlers (5) aufweisenden Ultraschallzerstäubers mit zu zerstäubender Flüssigkeit, insbesondere flüssigem Brennstoff im Zusammenhang mit Heizgeräten, **dadurch gekennzeichnet**, daß die natürliche Resonanzfrequenz des schwingenden Ultraschallwandlers (5) auf Frequenzänderungen überwacht wird und daß ein Überflutungszustand meldendes Überflutungssignal dann erzeugt wird, wenn gegenüber einer zuvor festgestellten Resonanzfrequenz ein Abfall der Resonanzfrequenz festgestellt wird, dessen Abfallgeschwindigkeit einen vorbestimmten Mindestschwellenwert übersteigt. 20 25 30 35
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß ein der Resonanz des Ultraschallwandlers (5) entsprechendes Signal in einer Speicherfunktion aufweisenden Spitzenwertdetektor (20) gespeichert wird, dessen Speicherwert mit einer vorbestimmten langsamen Geschwindigkeit entladen wird, und der aktuelle Wert dieses Signals laufend mit dem gespeicherten Wert verglichen wird, und daß bei einem Abfall des aktuellen Signals gegenüber dem gespeicherten Signal um einen vorbestimmten Betrag das Überflutungssignal erzeugt wird. 40 45 50
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, daß beim Auftreten des Überflutungssignals eine den Ultraschallwandler (5) treibende Anregungsschaltung in einen Resonanzsuchlauf gesteuert wird. 55
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, daß beim Auftreten des Überflutungssignals die Flüssigkeitszufuhr zum Ultraschallzerstäuber (5) unterbrochen wird. 5
5. Ultraschallzerstäuber zur Zerstäubung von Flüssigkeiten, insbesondere flüssigen Brennstoffen im Zusammenhang mit Heizgeräten, mit einem Ultraschallwandler (5) aufweisenden Ultraschallzerstäuber mit einer Zerstäubungsoberfläche, der von einem Flüssigkeitsvorrat zu zerstäubende Flüssigkeit zugeführt wird, und mit einer elektrischen Anregungsschaltung (1, 4, 9, 13, 15, 17) zur Anregung des Ultraschallwandlers (5) mit einer natürlichen Resonanzfrequenz des Ultraschallwandlers (5), **gekennzeichnet durch** eine Frequenzabfalldetektorschaltung (20, 22, 26, 28), die ein der Ultraschallwandlerfrequenz entsprechendes Signal (16) auf einen Abfall der Ultraschallwandlerfrequenz überwacht und dann, wenn die Abfallgeschwindigkeit einen vorbestimmten Mindestschwellenwert übersteigt, ein Überflutungssignal signalisiert. 10 15 20 25 30 35
6. Ultraschallzerstäuber nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet**, daß eine auf das Überflutungssignal ansprechende erste Schaltungseinrichtung (28) die Anregungsschaltung (1, 4, 9, 13, 15, 17) beim Empfang des Überflutungssignals in einen Resonanzsuchlauf steuert. 40 45 50
7. Ultraschallzerstäuber nach Anspruch 5 oder 6, **dadurch gekennzeichnet**, daß eine auf das Überflutungssignal ansprechende zweite Schaltungseinrichtung (34) beim Auftreten des Überflutungssignals die Flüssigkeit zum Ultraschallzerstäuber pumpende Flüssigkeitspumpe in einen Abschaltzustand steuert. 55
8. Ultraschallzerstäuber nach einem der Ansprüche 5 bis 7, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Frequenzabfalldetektorschaltung (20, 22, 26, 28) eine Speicherfunktion aufweisende Spitzenwertdetektorschaltung (20), deren Speicherwert mit einer vorbestimmten langsamen Geschwindigkeit entladen wird, und eine Offset-Addierschaltung (22), denen je das der Ultraschallwandlerfrequenz entsprechende Signal (16) zugeführt wird, und eine das Ausgangssignal der Spitzenwertdetektorschaltung (20) mit dem Ausgangssignal der Offset-Addierschaltung (22) vergleichende Komparatorschaltung 60 65 70 75 80 85 90 95

- (26) aufweist, wobei die Offset-Addierschaltung dem ihr zugeführten Signal einen vorbestimmten Offset-Wert hinzuaddiert, und daß ein von dem Ausgang der Komparatorschaltung (26) abgeleitetes Überflutungssignal dann abgegeben wird, wenn das Ausgangssignal der Offset-Addierschaltung (22) um einen vorbestimmten Wert niedriger ist als das Ausgangssignal der Spitzenwertdetektorschaltung (20).
9. Ultraschallzerstäuber nach einem der Ansprüche 5 bis 8,
dadurch gekennzeichnet, daß mit dem Ausgang der Komparatorschaltung (26) eine erste monostabile Kippschaltung (28) mit einer vorbestimmten ersten Ausgangsimpulsdauer verbunden ist, an deren Ausgang (29) das Überflutungssignal abgegeben wird.
10. Ultraschallzerstäuber nach Anspruch 9,
dadurch gekennzeichnet, daß mit dem Ausgang der ersten monostabilen Kippschaltung (28) eine zweite wiederholt triggerbare monostabile Kippschaltung (34) mit einer vorbestimmten zweiten Ausgangsimpulsdauer verbunden ist, deren Ausgangssignal beim Auftreten des Überflutungssignals die Unterbrechung der Flüssigkeitszufuhr steuert.
11. Ultraschallzerstäuber nach Anspruch 9,
dadurch gekennzeichnet, daß die erste Ausgangsimpulsdauer etwa 100 ms beträgt.
12. Ultraschallzerstäuber nach Anspruch 10 oder 11,
dadurch gekennzeichnet, daß die zweite Ausgangsimpulsdauer ab dem Triggern bzw. im Fall des wiederholten Triggerns der zweiten monostabilen Kippschaltung (34) ab deren letztem Triggern etwa 10 s beträgt.
13. Ultraschallzerstäuber nach einem der Ansprüche 5 bis 12,
dadurch gekennzeichnet, daß die Offset-Addierschaltung (22) zu dem ihr zugeführten Eingangssignal einen positiven Spannungswert von etwa 200 mV hinzuaddiert.
14. Ultraschallzerstäuber nach einem der Ansprüche 5 bis 13,
dadurch gekennzeichnet, daß zwischen den Ausgang der Offset-Addierschaltung (22) und den damit verbundenen Eingang der Komparatorschaltung (26) ein Tiefpaßfilter (24) zum Wegfiltern von Rauschstörungen geschaltet ist.
15. Ultraschallzerstäuber nach einem der Ansprüche 5 bis 14,
dadurch gekennzeichnet, daß die Ausgangsspannung der Offset-Addierschaltung (22) mittels einer Klemmschaltung (32) auf einen vorbestimmten Klemmspannungswert begrenzt ist.
16. Ultraschallzerstäuber nach Anspruch 15,
dadurch gekennzeichnet, daß die Klemmschaltung (32) auf einen Klemmspannungswert begrenzt, der derart gewählt ist, daß der Komparator (26) bei denjenigen Spannungswerten, die seinen beiden Eingängen bei Steuerung der Anregungsschaltung (1, 4, 9, 13, 15, 17) an die obere Frequenzgrenze zugeführt werden, die Abgabe des Überflutungssignals bewirkt, was zur Rücksetzung der Anregungsschaltung (1, 4, 9, 13, 15, 17) an deren untere Frequenzgrenze führt.
17. Ultraschallzerstäuber nach einem der Ansprüche 5 bis 16,
dadurch gekennzeichnet, daß die Anregungsschaltung (1, 4, 9, 13, 15, 17) eine PLL-Schaltung (1, 13, 15) mit einem Phasenkomparator (13), einem spannungsgesteuerten Oszillator (1) und einem dazwischen geschalteten PLL-Tiefpaßfilter (15) aufweist, und daß ein dem spannungsgesteuerten Oszillator (1) von dem PLL-Tiefpaßfilter (15) zugeführtes Steuersignal (16) der Frequenzabfalldetektorschaltung (20, 22, 26, 28) als Eingangssignal (31) zugeführt wird.
18. Ultraschallzerstäuber nach Anspruch 17,
dadurch gekennzeichnet, daß das PLL-Tiefpaßfilter (15) mit einem ersten steuerbaren Schalter (33) verbunden ist, in dessen leitendem Zustand der spannungsgesteuerte Oszillator (1) auf seine niedrigste Frequenz gesteuert wird, daß die Frequenzabfalldetektorschaltung (20, 22, 26, 28) einen zweiten steuerbaren Schalter (30) aufweist, der im leitenden Zustand den in der Spitzenwertdetektorschaltung (20) gespeicherten Wert löscht, und daß beide Schalter (30, 33) durch einen das Überflutungssignal darstellenden Ausgangsimpuls der ersten monostabilen Kippschaltung (28) für dessen Dauer leitend geschaltet werden.

FIG. 1.

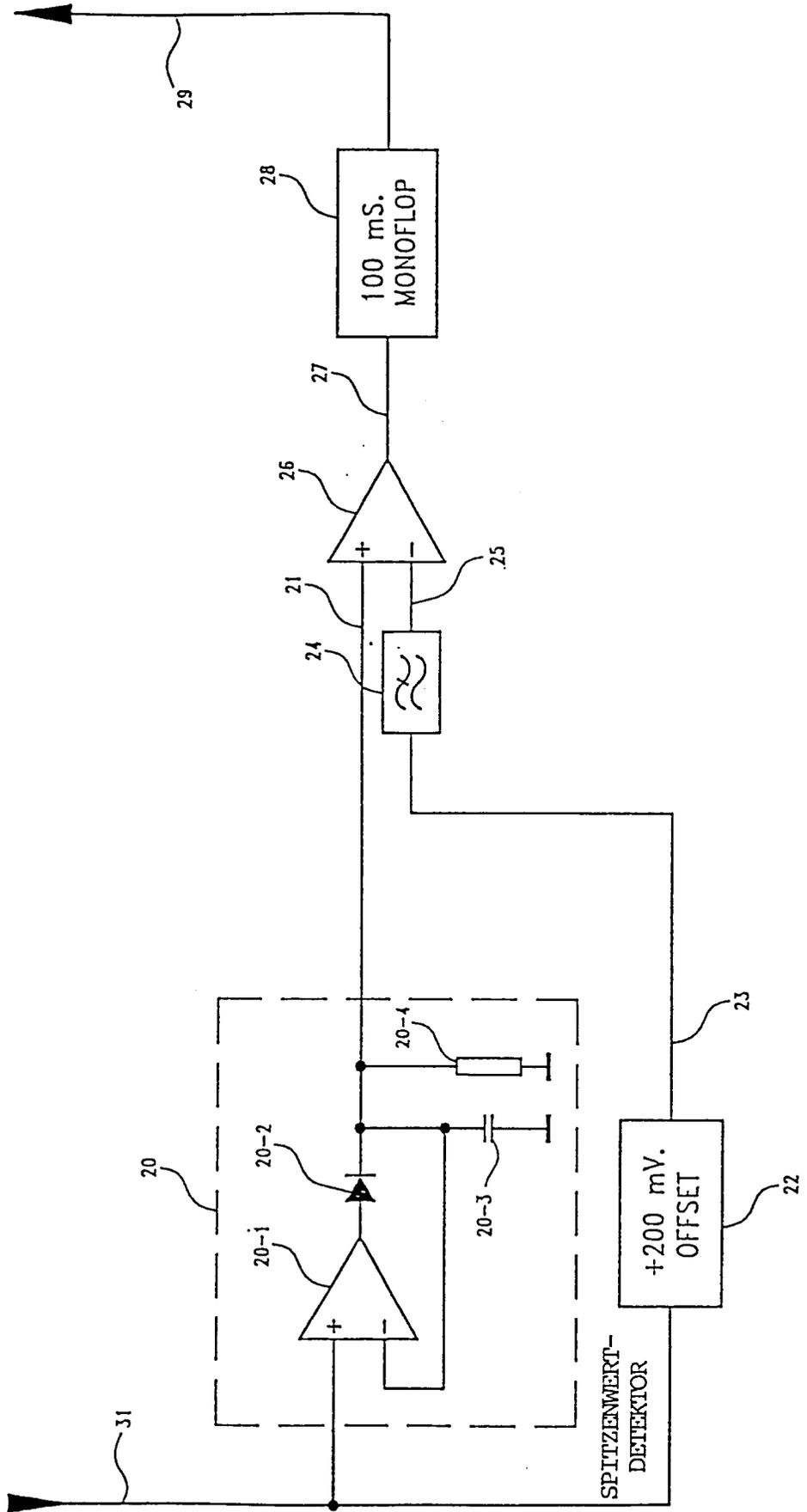


FIG. 3.

