

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6711225号
(P6711225)

(45) 発行日 令和2年6月17日(2020.6.17)

(24) 登録日 令和2年6月1日(2020.6.1)

(51) Int.Cl.		F I			
B06B	1/06	(2006.01)	B06B	1/06	A
A61M	11/00	(2006.01)	A61M	11/00	300A
B05B	17/06	(2006.01)	B05B	17/06	
B06B	1/02	(2006.01)	B06B	1/02	K

請求項の数 5 (全 13 頁)

(21) 出願番号	特願2016-188717 (P2016-188717)	(73) 特許権者	503246015 オムロンヘルスケア株式会社 京都府向日市寺戸町九ノ坪53番地
(22) 出願日	平成28年9月27日(2016.9.27)	(74) 代理人	100101454 弁理士 山田 卓二
(65) 公開番号	特開2018-50821 (P2018-50821A)	(74) 代理人	100081422 弁理士 田中 光雄
(43) 公開日	平成30年4月5日(2018.4.5)	(74) 代理人	100122286 弁理士 仲倉 幸典
審査請求日	令和1年8月6日(2019.8.6)	(72) 発明者	前田 真郎 京都府向日市寺戸町九ノ坪53番地 オムロンヘルスケア株式会社内
		(72) 発明者	東郷 秀孝 京都府向日市寺戸町九ノ坪53番地 オムロンヘルスケア株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 超音波振動子駆動装置およびメッシュ式ネブライザ

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

圧電素子を含み固有の共振周波数をもつ超音波振動子に対して、駆動電圧を印加して駆動する超音波振動子駆動装置であって、

上記駆動電圧の元になる矩形波状の交番電圧を、上記超音波振動子の共振周波数を含む周波数範囲で周波数可変に発生する駆動電圧発生部と、

上記駆動電圧発生部から上記超音波振動子への配線経路に介挿され、誘導性リアクタンス素子と容量性リアクタンス素子とによって、上記駆動電圧発生部が発生した矩形波状の交番電圧を正弦波状の交番電圧に変換する変換回路とを備え、この正弦波状の交番電圧が上記駆動電圧として上記超音波振動子に印加され、

上記駆動電圧発生部から上記変換回路へ流れる第1の電流を検出する第1の電流検出部と、

上記変換回路から上記超音波振動子へ流れる第2の電流を検出する第2の電流検出部と、

上記第1の電流と上記第2の電流との間の差が極小値に近づくように、上記駆動電圧発生部に対して上記矩形波状の交番電圧の周波数を変更させる制御を行う周波数制御部とを備えたことを特徴とする超音波振動子駆動装置。

【請求項2】

請求項1に記載の超音波振動子駆動装置において、

上記第1の電流と上記第2の電流との間の差は、上記第1の電流のピーク・ツー・ピー

ク値と上記第2の電流のピーク・ツー・ピーク値との間の差、上記第1の電流の振幅と上記第2の電流の振幅との間の差、または、上記第1の電流の実効値と上記第2の電流の実効値との間の差であることを特徴とする超音波振動子駆動装置。

【請求項3】

請求項1または2に記載の超音波振動子駆動装置において、

上記超音波振動子の共振周波数を含む周波数範囲で上記変換回路が示すインピーダンスは、上記超音波振動子のインピーダンスの最小値に実質的に一致するように設定されていることを特徴とする超音波振動子駆動装置。

【請求項4】

請求項1から3までのいずれか一つに記載の超音波振動子駆動装置において、

上記超音波振動子は、上記圧電素子とこの圧電素子の振動を伝えるホーンとが一体に組み合わされて構成されたホーン振動子であることを特徴とする超音波振動子駆動装置。

【請求項5】

請求項4に記載の超音波振動子駆動装置と、

上記ホーン振動子の振動面に対向して配置された平板状またはシート状のメッシュ部とを備え、

上記振動面と上記メッシュ部との間に供給された液体を、上記メッシュ部を通して霧化して噴霧することを特徴とするメッシュ式ネブライザ。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

この発明は超音波振動子駆動装置に関し、より詳しくは、固有の共振周波数をもつ超音波振動子に対して、駆動電圧（交番電圧）を印加して駆動する超音波振動子駆動装置に関する。また、この発明は、そのような超音波振動子駆動装置を備えたメッシュ式ネブライザに関する。

【背景技術】

【0002】

従来、この種の超音波振動子駆動装置としては、例えば特許文献1（特開2003-038646号公報）に、超音波振動子としての圧電素子に正弦波または矩形波の駆動電圧を印加して、この圧電素子の超音波振動によって薬液を霧化して噴霧するものが開示されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献1】特開2003-038646号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

ところで、上記超音波振動子が、例えばメッシュ式ネブライザを構成するのに広く用いられているような、圧電素子とこの圧電素子の振動を伝えるホーンとが一体に組み合わされたタイプのもの（適宜「ホーン振動子」と呼ぶ。）である場合、図8から分かるように、Q値（共振の鋭さ）が非常に高い。このため、図9に例示するように、或るホーン振動子（固有の共振周波数を f_r とする。 f_r の単位はkHzとする。）について、駆動電圧の周波数の実用的な範囲は、 $(f_r - 0.8 \text{ kHz})$ から f_r までの範囲 f に限られている。なお、図8、図9では、横軸が駆動電圧の周波数を表し、縦軸がホーン振動子のインピーダンス（実線で示す）と位相（破線で示す）を表している。

【0005】

さらに、ホーン振動子の共振周波数 f_r には、 $\pm 1.5 \text{ kHz}$ 程度の製造ばらつきがあることが知られている。図10は、製造ばらつきにより共振周波数が異なる3つのサンプルNo. 1～3について、矩形波からなる駆動電圧の周波数を変化させたときの単位時間

10

20

30

40

50

当たりの噴霧量の変化を示している。駆動電圧の周波数が、サンプルNo. 1では共振周波数 $f_{r1} = 178.85 \text{ kHz}$ 、サンプルNo. 2では共振周波数 $f_{r2} = 179.15 \text{ kHz}$ 、サンプルNo. 3では共振周波数 $f_{r3} = 179.40 \text{ kHz}$ を、それぞれ高々 0.03 kHz 程度上回ると、単位時間当たりの噴霧量が約半分に低下している。

【0006】

このため、例えば駆動用IC（集積回路）が出力した矩形波状の交番電圧をそのまま駆動電圧としてホーン振動子に印加すると、駆動電圧の周波数がホーン振動子の共振周波数から外れて、ホーン振動子の駆動効率が低下することがある。

【0007】

これに対して、駆動用ICが発生した矩形波状の交番電圧（駆動電圧の元になる）を、誘導性リアクタンス素子（L）と容量性リアクタンス素子（C）とを含む変換回路を介して正弦波状の交番電圧に変換した状態でホーン振動子に印加すると、駆動電圧の周波数がホーン振動子の共振周波数を少し外れたとしても、駆動効率の低下を抑制でき、単位時間当たりの噴霧量の減少を抑制できる。しかしながら、単に駆動用ICとホーン振動子との間に変換回路を介挿すると、上記変換回路を介して接地（GND）へリーク電流が流れて、消費電流が増大するという問題がある。

【0008】

そこで、この発明の課題は、固有の共振周波数をもつ超音波振動子に対して変換回路を介して正弦波状の交番電圧を駆動電圧として印加する超音波振動子駆動装置であって、接地へのリーク電流を抑制できるものを提供することにある。また、この発明の課題は、そのような超音波振動子駆動装置を備えたメッシュ式ネブライザを提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0009】

上記課題を解決するため、この発明の超音波振動子駆動装置は、
 圧電素子を含み固有の共振周波数をもつ超音波振動子に対して、駆動電圧を印加して駆動する超音波振動子駆動装置であって、
 上記駆動電圧の元になる矩形波状の交番電圧を、上記超音波振動子の共振周波数を含む周波数範囲で周波数可変に発生する駆動電圧発生部と、
 上記駆動電圧発生部から上記超音波振動子への配線経路に介挿され、誘導性リアクタンス素子と容量性リアクタンス素子とによって、上記駆動電圧発生部が発生した矩形波状の交番電圧を正弦波状の交番電圧に変換する変換回路とを備え、この正弦波状の交番電圧が上記駆動電圧として上記超音波振動子に印加され、
 上記駆動電圧発生部から上記変換回路へ流れる第1の電流を検出する第1の電流検出部と、
 上記変換回路から上記超音波振動子へ流れる第2の電流を検出する第2の電流検出部と、
 上記第1の電流と上記第2の電流との間の差が極小値に近づくように、上記駆動電圧発生部に対して上記矩形波状の交番電圧の周波数を変更させる制御を行う周波数制御部とを備えたことを特徴とする。

【0010】

ここで、「矩形波状」とは、厳密な矩形波だけでなく、上記超音波振動子に対する駆動電圧としての用途において実質的に矩形波と見なせるような、角をもつ波形を含む。また、「正弦波状」とは、厳密な正弦波だけでなく、上記超音波振動子に対する駆動電圧としての用途において実質的に正弦波と見なせるような、滑らかに変化する波形を含む。

【0011】

この発明の超音波振動子駆動装置では、駆動電圧発生部が、上記駆動電圧の元になる矩形波状の交番電圧を、上記超音波振動子の共振周波数を含む周波数範囲で周波数可変に発生する。上記駆動電圧発生部から上記超音波振動子へ向かう配線経路に介挿された変換回路が、誘導性リアクタンス素子と容量性リアクタンス素子とによって、上記駆動電圧発生部が発生した矩形波状の交番電圧を正弦波状の交番電圧に変換する。この正弦波状の交番

10

20

30

40

50

電圧が上記駆動電圧として上記超音波振動子に印加される。したがって、上記駆動電圧の周波数が上記超音波振動子の共振周波数を少し外れたとしても、駆動効率の低下を抑制できる。しかも、この超音波振動子駆動装置では、第1の電流検出部が、上記駆動電圧発生部から上記変換回路へ流れる第1の電流を検出すると共に、第2の電流検出部が、上記変換回路から上記超音波振動子へ流れる第2の電流を検出する。周波数制御部は、上記第1の電流と上記第2の電流との間の差が極小値に近づくように、上記駆動電圧発生部に対して上記矩形波状の交番電圧の周波数を変更させる制御を行う。上記制御によって上記第1の電流と上記第2の電流との間の差が極小値近傍になったとき、上記変換回路のインピーダンスと上記超音波振動子のインピーダンスとが整合する。したがって、上記第1の電流と上記第2の電流との差、すなわち、上記変換回路を介した接地へのリーク電流が抑制される。この結果、消費電流の増大を抑制できる。

10

【0012】

一実施形態の超音波振動子駆動装置では、上記第1の電流と上記第2の電流との間の差は、上記第1の電流のピーク・ツー・ピーク値と上記第2の電流のピーク・ツー・ピーク値との間の差、上記第1の電流の振幅と上記第2の電流の振幅との間の差、または、上記第1の電流の実効値と上記第2の電流の実効値との間の差であることを特徴とする。

【0013】

この一実施形態の超音波振動子駆動装置では、上記第1、第2の電流の位相にかかわらず、上記第1の電流と上記第2の電流との間の差を簡単に求めることができる。

【0014】

一実施形態の超音波振動子駆動装置では、上記超音波振動子の共振周波数を含む周波数範囲で上記変換回路が示すインピーダンスは、上記超音波振動子のインピーダンスの最小値に実質的に一致するように設定されていることを特徴とする。

20

【0015】

ここで、超音波振動子のインピーダンスの最小値に「実質的に一致」するとは、丁度一致する場合に加えて、インピーダンス整合の観点から、最小値に実質的に一致していると見なせる範囲（例えば、上記最小値から、上記最小値の1.5倍までの範囲）を含む。

【0016】

この一実施形態の超音波振動子駆動装置では、上記超音波振動子の共振周波数を含む周波数範囲で上記変換回路が示すインピーダンスは、上記超音波振動子のインピーダンスの最小値に実質的に一致するように設定されている。ここで、上述のように、上記周波数制御部による上記制御によって上記第1の電流と上記第2の電流との間の差が極小値近傍になったとき、上記変換回路のインピーダンスと上記超音波振動子のインピーダンスとが整合する。したがって、そのとき、上記矩形波状の交番電圧の周波数が上記超音波振動子の共振周波数（上記超音波振動子のインピーダンスの最小値を与える周波数）に略一致する。この結果、上記超音波振動子の駆動効率が高まる。

30

【0017】

一実施形態の超音波振動子駆動装置では、上記超音波振動子は、上記圧電素子とこの圧電素子の振動を伝えるホーンとが一体に組み合わされて構成されたホーン振動子であることを特徴とする。

40

【0018】

この一実施形態の超音波振動子駆動装置では、上記超音波振動子は、上記圧電素子とこの圧電素子の振動を伝えるホーンとが一体に組み合わされて構成されたホーン振動子である。したがって、上記駆動電圧の周波数が上記超音波振動子の共振周波数を少し外れたとしても、駆動効率の低下を抑制できる、という本発明による利益が大きい。

【0019】

別の局面では、この発明のメッシュ式ネブライザは、

上記発明の超音波振動子駆動装置であって、上記超音波振動子が、上記圧電素子とこの圧電素子の振動を伝えるホーンとが一体に組み合わされて構成されたホーン振動子であるものと、

50

上記ホーン振動子の振動面に対向して配置された平板状またはシート状のメッシュ部とを備え、

上記振動面と上記メッシュ部との間に供給された液体を、上記メッシュ部を通して霧化して噴霧することを特徴とする。

【0020】

本明細書で、「平板状またはシート状のメッシュ部」とは、平板またはシートを貫通する複数の貫通孔を有し、これらの貫通孔を通過させて液体を霧化するための要素を意味する。なお、シートはフィルムを含む。

【0021】

この発明のメッシュ式ネブライザによれば、上記液体を効率良く霧化して噴霧でき、また、消費電流の増大を抑制できる。

【発明の効果】

【0022】

以上より明らかなように、この発明の超音波振動子駆動装置は、固有の共振周波数をもつ超音波振動子に対して変換回路を介して正弦波状の交番電圧を駆動電圧として印加する超音波振動子駆動装置であって、接地へのリーク電流を抑制できる。また、この発明のメッシュ式ネブライザによれば、液体を効率良く霧化して噴霧でき、また、消費電流の増大を抑制できる。

【図面の簡単な説明】

【0023】

【図1】この発明の一実施形態の超音波振動子駆動装置の、駆動電圧発生部から超音波振動子としてのホーン振動子への配線経路に変換回路が介挿された回路構成を示す図である。

【図2】上記超音波振動子駆動装置を搭載したメッシュ式ネブライザの霧化部の構成を示す図である。

【図3】上記超音波振動子駆動装置を構成する制御部による制御の概略フローを示す図である。

【図4】上記制御部による周波数制御のフローを示す図である。

【図5】図5(A)、図5(C)は、上記駆動電圧発生部が発生する矩形波状の交番電圧の周波数を順次上昇させたときの、上記駆動電圧発生部から上記変換回路へ流れる第1の電流の変化を示す図である。図5(B)、図5(D)は、それぞれ図5(A)、図5(C)に対応して、上記駆動電圧発生部が発生する矩形波状の交番電圧の周波数を順次上昇させたときの、上記変換回路から上記ホーン振動子へ流れる第2の電流の変化を示す図である。

【図6】図6(A)、図6(C)は、上記駆動電圧発生部が発生する矩形波状の交番電圧の周波数を順次上昇させたときの、上記駆動電圧発生部から上記変換回路へ流れる第1の電流の変化を示す図である。図6(B)、図6(D)は、それぞれ図6(A)、図6(C)に対応して、上記駆動電圧発生部が発生する矩形波状の交番電圧の周波数を順次上昇させたときの、上記変換回路から上記ホーン振動子へ流れる第2の電流の変化を示す図である。

【図7】図7(A)は、上記駆動電圧発生部が発生する矩形波状の交番電圧の周波数をさらに上昇させたときの、上記駆動電圧発生部から上記変換回路へ流れる第1の電流の変化を示す図である。図7(B)は、図7(A)に対応して、上記駆動電圧発生部が発生する矩形波状の交番電圧の周波数をさらに上昇させたときの、上記変換回路から上記ホーン振動子へ流れる第2の電流の変化を示す図である。

【図8】駆動電圧の周波数の変化に伴う、ホーン振動子のインピーダンス(実線で示す)と位相(破線で示す)の変化を示す図である。

【図9】或るホーン振動子(共振周波数を f_r とする。)について、駆動電圧の周波数の実用的な範囲を示す図である。

【図10】製造ばらつきにより共振周波数が異なる3つのホーン振動子サンプルについて

10

20

30

40

50

、駆動電圧の周波数を変化させたときの単位時間当たりの噴霧量の変化を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0024】

以下、この発明の実施の形態を、図面を参照しながら詳細に説明する。

【0025】

図2は、この発明の一実施形態の超音波振動子駆動装置を搭載したメッシュ式ネブライザ(全体を符号1で表す。)の霧化部の構成を示している。このメッシュ式ネブライザ1は、上部に開口18を有する本体10と、この本体10内に内蔵された超音波振動子としてのホーン振動子40を備えている。本体10の外面には、図示しない電源スイッチが設けられている。

10

【0026】

ホーン振動子40は、上方の開口18に対向して水平に配された振動面43と、この振動面43から下方に離間した位置に配された圧電素子41と、圧電素子41と振動面43との間に配され、圧電素子41の振動を増幅するとともに振動面43へ伝達するホーン42とが、一体に組み合わされて構成されている。ホーン振動子40(正確には、圧電素子41)に対する駆動電圧は、後述する超音波振動子駆動装置60によって供給されるようになっている。このホーン振動子40は、図8、図9中に例示したような固有の共振周波数 f_r を有している。

【0027】

開口18と振動面43との間には、交換部材20が着脱可能に装着されて配置されている。この交換部材20は、振動面43に対向する平坦なシートとしてのフィルム21と、このフィルム21の周縁を支持する略円環状の底板部22とを含んでいる。フィルム21は、底板部22の上面に接着または溶着により取り付けられている。フィルム21のうち略中央の領域がメッシュ部21aを構成している。メッシュ部21aには、フィルム21を貫通する多数の微細な貫通孔(図示せず)が形成されている。底板部22は、位置決めのために、この例では振動面43の縁部43eに1箇所当接している。交換部材20は、振動面43に対して少し傾斜した状態で、ホーン振動子40とともに、本体10内の図示しない要素によって支持されている。なお、メッシュ部21aは、フィルム21に代えて、平板に多数の微細な貫通孔を形成して構成されていてもよい。

20

【0028】

このメッシュ式ネブライザ1の動作時には、ユーザが鉛直方向に対して本体10を少しだけ傾ける。これにより、本体10内の給液部17から、矢印Fで示すようにホーン振動子40の振動面43上へ向けて液体(この例では、薬液)が供給される。つまり、振動面43とメッシュ部21aとの間に薬液が供給される。そして、ユーザが電源スイッチをオンすると、ホーン振動子40の圧電素子41に駆動電圧が印加されて、ホーン42を介して振動面43が振動される。これにより、メッシュ部21a(より正確には、フィルム21を貫通する複数の貫通孔)を通して薬液が霧化され、開口18を通して噴霧される。

30

【0029】

図1は、メッシュ式ネブライザ1に搭載された超音波振動子駆動装置60のブロック構成を示している。

40

【0030】

この超音波振動子駆動装置60は、駆動電圧発生部62と、駆動電圧発生部62からホーン振動子40へ延びる配線経路としての一对の配線67,68と、これらの配線67,68に介挿された変換回路63とを含んでいる。また、この超音波振動子駆動装置60は、第1の電流検出部65と、第2の電流検出部66と、これらの第1の電流検出部65、第2の電流検出部66の出力に基づいて上述の駆動電圧発生部62を制御する制御部61とを含んでいる。

【0031】

駆動電圧発生部62は、例えば市販のファンクション・ジェネレータ用IC(集積回路)を含み、駆動電圧の元になる矩形波状の交番電圧 V_g を、ホーン振動子40の共振周波

50

数 f_r を含む周波数範囲で周波数可変に発生する。この例では、駆動電圧発生部 62 は、少なくとも $175 \text{ kHz} \sim 185 \text{ kHz}$ の範囲で 0.05 kHz ずつ周波数 f を可変できる機能を有するものとする。また、交番電圧 V_g のプラス電圧期間とマイナス電圧期間との比は、可変であるが、この例では 1 対 1 (デューティ 50%) であるものとする。この駆動電圧発生部 62 は、増幅部を含み、ホーン振動子 40 を駆動するのに十分な振幅をもつ交番電圧 V_g を出力する。

【0032】

変換回路 63 は、一方の配線 67 に介挿された誘導性リアクタンス素子としてのコイル L_1 と、その配線 67 のうちコイル L_1 よりもホーン振動子 40 側 (図 1 において右側を指す。以下、単に「右側」という。) の箇所 67c と接地 GND (図 1 中に印で示す。以下同様。) との間に接続された容量性リアクタンス素子としてのコンデンサ C_1 と、他方の配線 68 に介挿された誘導性リアクタンス素子としてのコイル L_2 と、その配線 68 のうちコイル L_2 よりも右側の箇所 68c と接地 GND との間に接続された容量性リアクタンス素子としてのコンデンサ C_2 とを含んでいる。この変換回路 63 は、例えば図 5 (A) 中に示すように、駆動電圧発生部 62 が発生した矩形波状の交番電圧 V_g を、正弦波状の交番電圧 V_a に変換する。この正弦波状の交番電圧 V_a が駆動電圧として図 1 中に示すホーン振動子 40 に印加される。したがって、駆動電圧の周波数 f がホーン振動子 40 の共振周波数 f_r を少し外れたとしても、駆動効率の低下を抑制できる。

【0033】

この例では、ホーン振動子 40 の共振周波数 f_r を含む $175 \text{ kHz} \sim 185 \text{ kHz}$ の周波数範囲で変換回路 63 が示すインピーダンスは、ホーン振動子 40 のインピーダンスの最小値 Z_{min} (この例では、約 100) に略一致するように設定されている。具体的には、 $L_1 = L_2 = 47 \mu\text{H}$ 、 $C_1 = C_2 = 4700 \text{ pF}$ に設定されている。これにより、周波数 $f = 179 \text{ kHz}$ 近傍で、 L_1 と C_1 との直列インピーダンス、 L_2 と C_2 との直列インピーダンスは、それぞれ約 136 になっている。

【0034】

第 1 の電流検出部 65 は、上述の配線 68 のうち駆動電圧発生部 62 とコイル L_2 との間に介挿された電流検出用の抵抗素子 R_2 と、この抵抗素子 R_2 に降下した電圧を増幅する演算増幅器 (オペレーショナル・アンプリファイア) U_1 とを含んでいる。その配線 68 のうち抵抗素子 R_2 の駆動電圧発生部 62 側 (図 1 において左側を指す。以下、単に「左側」という。) の箇所 68a と接地 GND との間に、分圧用の抵抗素子 R_5 、 R_6 が直列に接続されている。これらの抵抗素子 R_5 、 R_6 の間の接続点の電位が演算増幅器 U_1 の非反転入力端子 (+) に入力される。また、その配線 68 のうち抵抗素子 R_2 の右側の箇所 68b と接地 GND との間に、分圧用の抵抗素子 R_7 、 R_8 が直列に接続されている。これらの抵抗素子 R_7 、 R_8 の間の接続点の電位が演算増幅器 U_1 の反転入力端子 (-) に入力される。演算増幅器 U_1 の出力端子 (OUT) と反転入力端子 (-) との間には、帰還用の抵抗素子 R_9 が接続されている。この構成により、第 1 の電流検出部 65 は、駆動電圧発生部 62 から抵抗素子 R_2 を通して変換回路 63 へ流れる第 1 の電流 i_1 を検出する。第 1 の電流検出部 65 の出力 i_{1a} は、制御部 61 に入力される。

【0035】

同様に、第 2 の電流検出部 66 は、上述の配線 68 のうちコイル L_2 とホーン振動子 40 との間に介挿された電流検出用の抵抗素子 R_4 と、この抵抗素子 R_4 に降下した電圧を増幅する演算増幅器 U_2 とを含んでいる。その配線 68 のうち抵抗素子 R_4 の左側の箇所 68d と接地 GND との間に、分圧用の抵抗素子 R_{10} 、 R_{11} が直列に接続されている。これらの抵抗素子 R_{10} 、 R_{11} の間の接続点の電位が演算増幅器 U_2 の非反転入力端子 (+) に入力される。また、その配線 68 のうち抵抗素子 R_4 の右側の箇所 68e と接地 GND との間に、分圧用の抵抗素子 R_{12} 、 R_{13} が直列に接続されている。これらの抵抗素子 R_{12} 、 R_{13} の間の接続点の電位が演算増幅器 U_2 の反転入力端子 (-) に入力される。演算増幅器 U_2 の出力端子 (OUT) と反転入力端子 (-) との間には、帰還用の抵抗素子 R_{14} が接続されている。この構成により、第 2 の電流検出部 66 は、変換

10

20

30

40

50

回路 6 3 からホーン振動子 4 0 へ流れる第 2 の電流 i_2 を検出する。第 2 の電流検出部 6 6 の出力 $i_2 a$ は、制御部 6 1 に入力される。

【 0 0 3 6 】

この例では、 $R_2 = R_4 = 100\text{ m}$ 、 $R_5 = R_6 = R_7 = R_8 = R_9 = R_{10} = R_{11} = R_{12} = R_{13} = R_{14} = 100\text{ k}$ にそれぞれ設定されている。

【 0 0 3 7 】

なお、配線 6 7、6 8 間のインピーダンスのバランスをとるために、配線 6 7 のうち駆動電圧発生部 6 2 とコイル L_1 との間には抵抗素子 R_1 が介挿されている。また、配線 6 7 のうちコイル L_1 とホーン振動子 4 0 との間には抵抗素子 R_3 が介挿されている。この例では、 R_1 、 R_3 の値は R_2 、 R_4 に等しく、 $R_1 = R_3 = 100\text{ m}$ に設定されている。

10

【 0 0 3 8 】

制御部 6 1 は、CPU (Central Processing Unit ; 中央演算処理装置) を含み、周波数制御部として働いて、第 1 の電流検出部 6 5 の出力 $i_1 a$ と第 2 の電流検出部 6 6 の出力 $i_2 a$ とに基づいて、制御信号 $Cnt_1 f$ によって駆動電圧発生部 6 2 の動作を制御する。そのほか、制御部 6 1 は、メッシュ式ネブライザ 1 の動作全体を制御する。

【 0 0 3 9 】

図 3 に示すように、メッシュ式ネブライザ 1 の電源スイッチがオンされると、制御部 6 1 が周波数制御部として働いて、次に述べるような周波数制御の処理を行う (図 3 のステップ S_{11})。ユーザが電源スイッチをオンしてから一定期間 (例えば 10 分間) が経過したとき、または、ユーザが電源スイッチをオフしたとき、制御部 6 1 は処理を終了する (図 3 のステップ S_{12})。

20

【 0 0 4 0 】

制御部 6 1 による周波数制御の処理は、図 4 に示すフローに従って行われる。

【 0 0 4 1 】

すなわち、図 4 のステップ S_{21} に示すように、制御部 6 1 は、まず、駆動電圧発生部 6 2 が発生する矩形波状の交番電圧 V_g の周波数 f を、予め定められたスタート周波数 f_0 に設定する。このスタート周波数 f_0 は、例えば、個々のホーン振動子 4 0 毎に予め定められていても良いし、または、共振周波数の製造ばらつきを考慮して、ホーン振動子 4 0 のロット毎に例えば共振周波数の代表値 (平均値) に一致するように予め定められていても良い。

30

【 0 0 4 2 】

次に、図 4 のステップ S_{22} に示すように、制御部 6 1 は、第 1 の電流検出部 6 5 の出力 $i_1 a$ に基づいて、駆動電圧発生部 6 2 から変換回路 6 3 へ流れる第 1 の電流 i_1 を検出するとともに、第 2 の電流検出部 6 6 の出力 $i_2 a$ に基づいて、変換回路 6 3 からホーン振動子 4 0 へ流れる第 2 の電流 i_2 を検出する。この例では、例えば図 5 (A) 中に示すように、第 1 の電流 i_1 のピーク・ツー・ピーク値 i_{1p-p} を検出するとともに、図 5 (B) 中に示すように、第 2 の電流 i_2 のピーク・ツー・ピーク値 i_{2p-p} を検出する。

【 0 0 4 3 】

次に、図 4 のステップ S_{23} に示すように、制御部 6 1 は、第 1 の電流 i_1 と第 2 の電流 i_2 との間の差、この例では第 1 の電流 i_1 のピーク・ツー・ピーク値 i_{1p-p} と第 2 の電流 i_2 のピーク・ツー・ピーク値 i_{2p-p} との間の差 ($i_{1p-p} - i_{2p-p}$) が極小値近傍にあるか否かを判断する。ここで、極小値近傍にあるか否かは、差 ($i_{1p-p} - i_{2p-p}$) が予め定められた閾値以下であるか否かに応じて判断してもよい。

40

【 0 0 4 4 】

ここで、差 ($i_{1p-p} - i_{2p-p}$) が極小値近傍にあれば (図 4 のステップ S_{23} で YES)、制御部 6 1 は、駆動電圧発生部 6 2 に対して矩形波状の交番電圧 V_g の周波数 f を維持させる制御を行う。そして、ステップ $S_{22} \sim S_{24}$ の処理を繰り返す。

【 0 0 4 5 】

50

一方、差 ($i_{1p-p} - i_{2p-p}$) が極小値近傍になれば (図4のステップS23でNO)、制御部61は、差 ($i_{1p-p} - i_{2p-p}$) が極小値近傍に近づくように、駆動電圧発生部62に対して矩形波状の交番電圧 V_g の周波数 f を高く又は低く変更させる制御を行う (図4のステップS25)。そして、制御部61は、差 ($i_{1p-p} - i_{2p-p}$) が極小値近傍にくるまで、ステップS22 ~ S23、S25の処理を繰り返す。

【0046】

このようにした場合、上述の制御によって i_{1p-p} と i_{2p-p} との間の差 ($i_{1p-p} - i_{2p-p}$) が極小値近傍になったとき、変換回路63のインピーダンスとホーン振動子40のインピーダンスとが整合する。したがって、第1の電流 i_1 と第2の電流 i_2 との間の差、すなわち、変換回路63を介した接地GNDへのリーク電流が抑制される。この結果、消費電流の増大を抑制できる。

10

【0047】

検証のために、図5(A)、図5(C)、図6(A)、図6(C)、図7(A)は、或るホーン振動子40について、駆動電圧発生部62が発生する矩形波状の交番電圧 V_g の周波数 f を、 $f = 178.85 \text{ kHz}$ から 0.1 kHz ずつ順次上昇させたときの、駆動電圧発生部62から変換回路63へ流れる第1の電流 i_1 の変化を示している。これらの図中には、第1の電流 i_1 のピーク・ツー・ピーク値 i_{1p-p} が図示されている。また、図5(B)、図5(D)、図6(B)、図6(D)、図7(B)は、それぞれ図5(A)、図5(C)、図6(A)、図6(C)、図7(A)に対応して、駆動電圧発生部62が発生する矩形波状の交番電圧 V_g の周波数 f を、 $f = 178.85 \text{ kHz}$ から 0.1 kHz ずつ順次上昇させたときの、変換回路63からホーン振動子40へ流れる第2の電流 i_2 の変化を示している。これらの図中には、第2の電流 i_2 のピーク・ツー・ピーク値 i_{2p-p} が図示されている。さらに、これらの図中には、駆動電圧発生部62が発生した矩形波状の交番電圧 V_g 、変換回路63による変換後の正弦波状の交番電圧 V_a が、理解の容易のためにゼロレベルをシフトして図示されている。

20

【0048】

これらの図中の第1の電流 i_1 のピーク・ツー・ピーク値 i_{1p-p} 、第2の電流 i_2 のピーク・ツー・ピーク値 i_{2p-p} を読み取ると、それぞれ次の表1の左から第2欄、第3欄に記載の通りであった。また、これらの i_{1p-p} と i_{2p-p} との間の差 ($i_{1p-p} - i_{2p-p}$) を算出すると、表1の最右欄に記載の通りであった。なお、 i_{1p-p} 、 i_{2p-p} の読み取り、差 ($i_{1p-p} - i_{2p-p}$) の算出は、共通の単位 (CPUがデジタル処理に用いる任意単位) で行われた。この結果では、矩形波状の交番電圧 V_g の周波数 f が、 $f = 178.85 \text{ kHz}$ から 0.1 kHz ずつ順次上昇するにつれて、差 ($i_{1p-p} - i_{2p-p}$) は、109、80、24、56、68というように変化している。すなわち、周波数 $f = 179.05 \text{ kHz}$ で、差 ($i_{1p-p} - i_{2p-p}$) が24となり、極小値またはその近傍になっている。

30

(表1)

周波数 f	i_{1p-p}	i_{2p-p}	差 ($i_{1p-p} - i_{2p-p}$)
178.85 kHz	302	193	109
178.95 kHz	257	177	80
179.05 kHz	181	157	24 (極小値近傍)
179.15 kHz	193	137	56
179.25 kHz	185	117	68

40

【0049】

したがって、このホーン振動子40の場合、制御部61は、上述の周波数制御によって、駆動電圧発生部62が矩形波状の交番電圧 V_g の周波数 f を、 $f = 179.05 \text{ kHz}$ に制御 (維持) することになる。この結果、変換回路63を介した接地GNDへのリーク電流を抑制して、消費電流の増大を抑制できる。

【0050】

50

また、既述のように、ホーン振動子40の共振周波数 f_r を含む175kHz~185kHzの周波数範囲で変換回路63が示すインピーダンスは、ホーン振動子40のインピーダンスの最小値 Z_{min} (この例では、約100)に略一致するように設定されている。ここで、上述の周波数制御によって i_{1p-p} と i_{2p-p} との間の差($i_{1p-p} - i_{2p-p}$)が極小値近傍になったとき、変換回路63のインピーダンスとホーン振動子40のインピーダンスとが整合する。したがって、そのとき、矩形波状の交番電圧 V_g の周波数 f がホーン振動子40の共振周波数 f_r (ホーン振動子40のインピーダンスの最小値 $Z_{min} = 100$ を与える周波数)に略一致する。この結果、ホーン振動子40の駆動効率が高まる。

【0051】

したがって、このメッシュ式ネブライザ1によれば、液体を効率良く霧化して噴霧でき、また、消費電流の増大を抑制できる。

【0052】

なお、上の例では、第1の電流 i_1 と第2の電流 i_2 との間の差は、第1の電流 i_1 のピーク・ツー・ピーク値 i_{1p-p} と第2の電流 i_2 のピーク・ツー・ピーク値 i_{2p-p} との間の差($i_{1p-p} - i_{2p-p}$)であるものとした。しかしながら、これに限られるものではない。第1の電流 i_1 と第2の電流 i_2 との間の差は、第1の電流 i_1 の振幅と第2の電流 i_2 の振幅との間の差、または、第1の電流 i_1 の実効値と第2の電流 i_2 の実効値との間の差であるものとしてもよい。いずれの場合も、第1、第2の電流の位相にかかわらず、上記「差」を簡単に求めることができる。

【0053】

以上の実施形態は例示であり、この発明の範囲から離れることなく様々な変形が可能である。上述した複数の実施の形態は、それぞれ単独で成立し得るものであるが、実施の形態同士の組みあわせも可能である。また、異なる実施の形態の中の種々の特徴も、それぞれ単独で成立し得るものであるが、異なる実施の形態の中の特徴同士の組みあわせも可能である。

【符号の説明】

【0054】

- 1 メッシュ式ネブライザ
- 10 本体
- 20 交換部材
- 21a メッシュ部
- 40 ホーン振動子
- 41 圧電素子
- 42 ホーン
- 43 振動面
- 60 超音波振動子駆動装置
- 61 制御部
- 62 駆動電圧発生部
- 63 変換回路
- 65 第1の電流検出部
- 66 第2の電流検出部

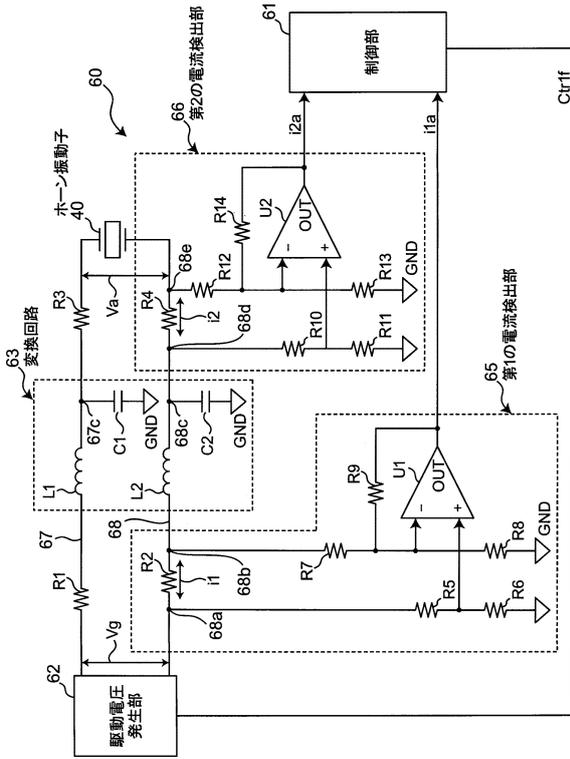
10

20

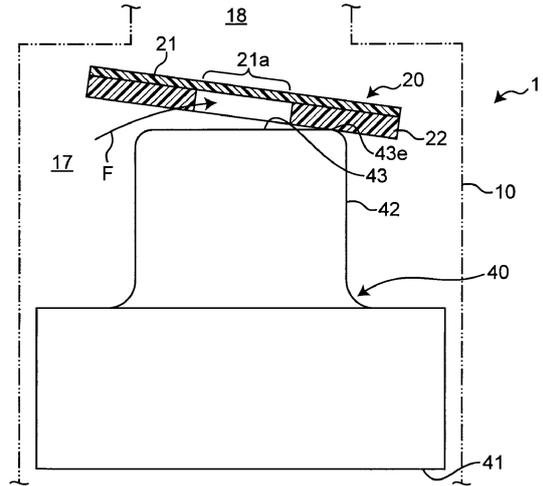
30

40

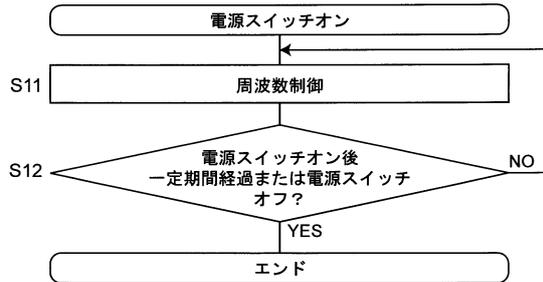
【図1】



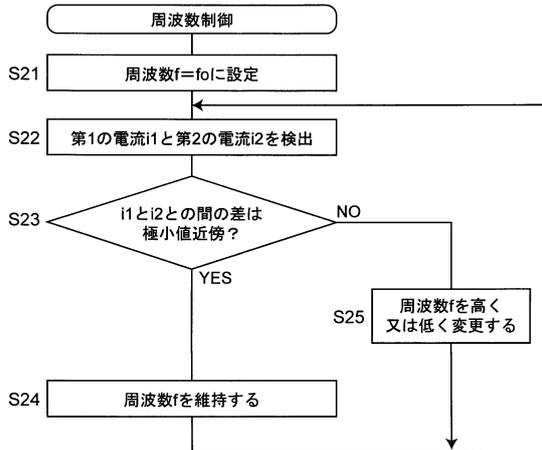
【図2】



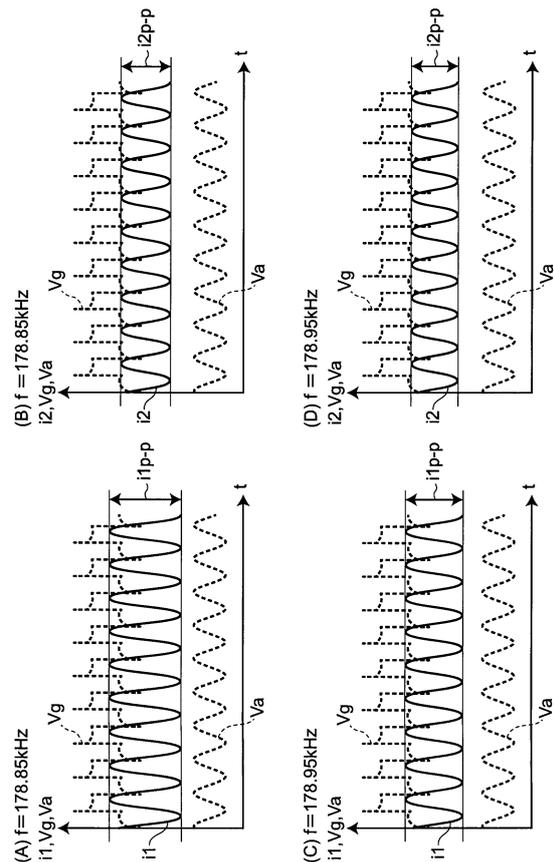
【図3】



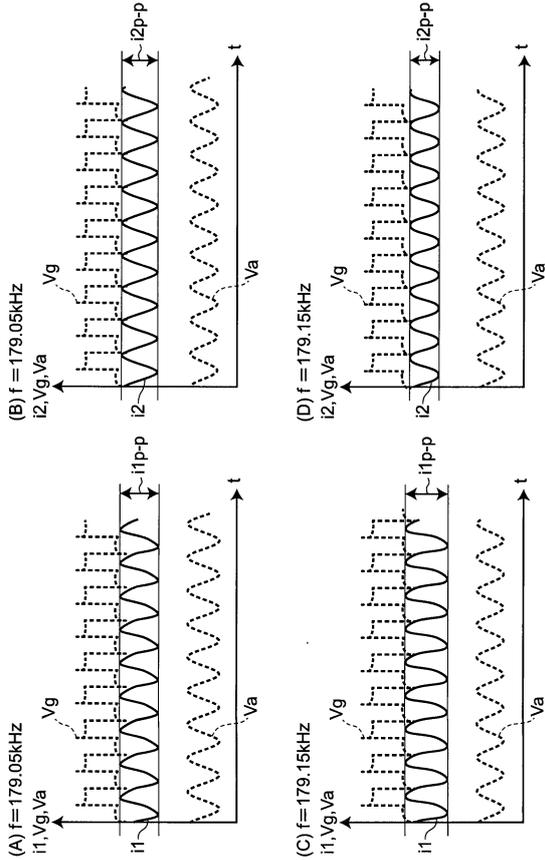
【図4】



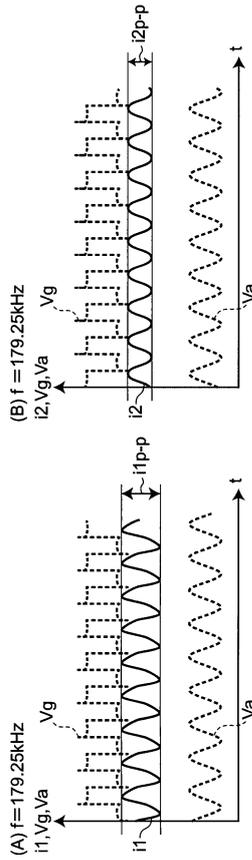
【図5】



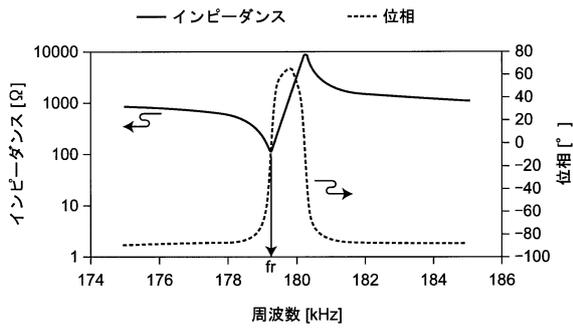
【 図 6 】



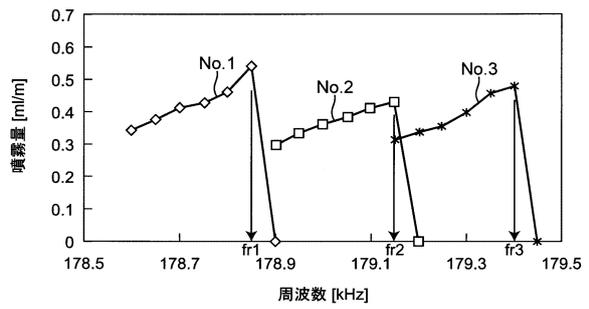
【 図 7 】



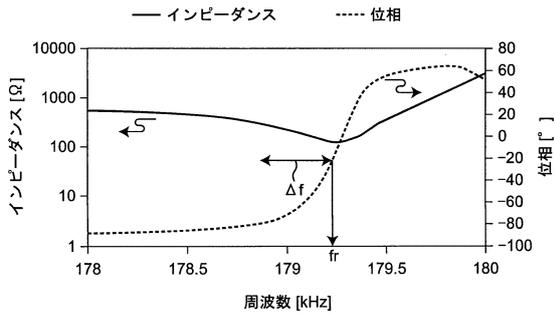
【 図 8 】



【 図 10 】



【 図 9 】



フロントページの続き

審査官 安池 一貴

(56)参考文献 国際公開第2005/080793(WO, A1)

特公昭57-018208(JP, B2)

特開平09-009652(JP, A)

特開2014-004211(JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

B06B 1/06

A61M 11/00

B05B 17/06

B06B 1/02