(19) Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 11 2020 000 997 B4** 2024.01.11

(12) # Patentschrift

(21) Deutsches Aktenzeichen: **11 2020 000 997.1**
(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/JP2020/015392**
(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2020/217934**
(86) PCT-Anmeldetag: **03.04.2020**
(87) PCT-Veröffentlichungstag: **29.10.2020**
(43) Veröffentlichungstag der PCT Anmeldung in deutscher Übersetzung: **11.11.2021**
(45) Veröffentlichungstag der Patenterteilung: **11.01.2024**

(51) Int Cl.: ***F04B 49/06*** (2006.01)

Innerhalb von neun Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(30) Unionspriorität:
2019-084139 25.04.2019 JP

(73) Patentinhaber:
Murata Manufacturing Co., Ltd., Nagaokakyo-shi, Kyoto, JP

(74) Vertreter:
Lorenz Seidler Gossel Rechtsanwälte Patentanwälte Partnerschaft mbB, 80538 München, DE

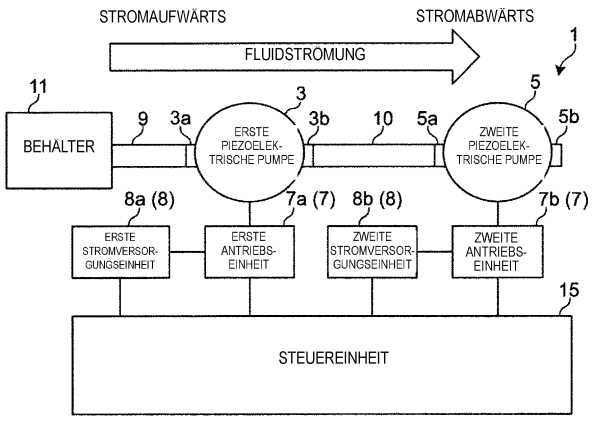
(72) Erfinder:
Okaguchi, Kenjiro, Nagaokakyo-shi, Kyoto, JP

(56) Ermittelter Stand der Technik:

DE	**100 45 118**	**A1**
DE	**196 53 636**	**A1**
DE	**10 2013 200 353**	**A1**
DE	**603 15 307**	**T2**
DE	**697 13 459**	**T2**
WO	**2019/ 202 831**	**A1**
WO	**2022/ 209 481**	**A1**
JP	**2004- 169 706**	**A**

(54) Bezeichnung: **Pumpvorrichtung mit einer ersten und zweiten piezoelektrischen Pumpe mit unterschiedlichen Eingangsleistungen**

(57) Hauptanspruch: Pumpvorrichtung (1), welche aufweist:
eine erste piezoelektrische Pumpe (3);
eine zweite piezoelektrische Pumpe (5), die mit der ersten piezoelektrischen Pumpe (3) auf einer stromabwärts gelegenen Seite der ersten piezoelektrischen Pumpe (3) in Reihe geschaltet ist;
eine Antriebseinheit (7), die dazu konfiguriert ist, sowohl die erste piezoelektrische Pumpe (3) als auch die zweite piezoelektrische Pumpe (5) mit Eingangswechselstrom zu versorgen;
eine Steuereinheit (15), die dazu konfiguriert ist, die Eingangsleistung sowohl der ersten piezoelektrischen Pumpe (3) als auch der zweiten piezoelektrischen Pumpe (5) zu regeln; und
eine Stromversorgungseinheit (8), die dazu konfiguriert ist, die Antriebseinheit (7) mit Strom zu versorgen,
wobei die Steuereinheit (15) die Eingangsleistung der zweiten piezoelektrischen Pumpe (5) so einstellt, dass sie größer ist als die Eingangsleistung der ersten piezoelektrischen Pumpe (3).



Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf eine Pumpvorrichtung, und insbesondere auf eine Pumpvorrichtung, die eine piezoelektrische Pumpe aufweist.

Stand der Technik

[0002] Eine bestehende Pumpvorrichtung, die eine piezoelektrische Pumpe aufweist, wird als eine Ansaugvorrichtung oder eine Druckbeaufschlagungsvorrichtung für ein Fluid verwendet. Die piezoelektrische Pumpe wird durch Schwingung eines Piezoelements angetrieben.

[0003] WO 2019/ 202 831 A1 betrifft eine Pumpvorrichtung mit einer ersten piezoelektrischen Pumpe und einer zweiten piezoelektrischen Pumpe, die mit der ersten piezoelektrischen Pumpe auf einer stromaufwärts gelegenen Seite der ersten piezoelektrischen Pumpe in Reihe geschaltet ist. Eine Antriebseinheit, die eine Wechselstrom-Eingangsleistung an die erste piezoelektrische Pumpe und an die zweite piezoelektrische Pumpe liefert, und eine Steuereinheit, die ein Verteilungsverhältnis der Eingangsleistung von der Antriebseinheit an die erste piezoelektrische Pumpe und an die zweite piezoelektrische Pumpe einstellt, wobei das Verhältnis zwischen der Eingangsleistung zu der zweiten piezoelektrischen Pumpe und der Eingangsleistung zu der ersten piezoelektrischen Pumpe in einem Bereich zwischen 1 und 1,57 liegt, sind ebenfalls beschrieben.

[0004] Die Patentschrift WO 2022/ 209 481 A1 offenbart auch eine Pumpvorrichtung mit einer ersten piezoelektrischen Pumpe und einer zweiten piezoelektrischen Pumpe, die in Reihe geschaltet sind. Eine Steuereinheit stellt mindestens einen der Ausgänge der ersten piezoelektrischen Pumpe und der zweiten piezoelektrischen Pumpe auf der Grundlage der Differenz zwischen dem von einem Stromsensor erfassten Strom der ersten piezoelektrischen Pumpe und dem von dem Stromsensor erfassten Strom der zweiten piezoelektrischen Pumpe ein.

[0005] Eine Pumpeneinheit mit einer ersten und einer zweiten Pumpe mit jeweils konstanter Kapazität wird in Patentschrift DE 603 15 307 T2 beschrieben, wobei eine erste Abflussleitung mit der ersten Pumpe und eine zweite Abflussleitung mit der zweiten Pumpe verbunden ist. Mithilfe eines Schaltventils kann in Abhängigkeit von einem Signal eines Drucksensors, der den Druck in der zweiten Abflussleitung misst, zwischen einer Betriebsart, in der die beiden Pumpen voneinander getrennt sind, um die erste Pumpe zu entlasten und einer Betriebsart, in der die beiden Pumpen miteinander verbunden sind, umgeschaltet werden.

[0006] Beispielsweise ist eine in Patentschrift JP 2004- 169706 A beschriebene Pumpvorrichtung eine Pumpvorrichtung, bei der mehrere piezoelektrische Pumpen in Reihe geschaltet sind. Die Pumpvorrichtung steuert jede piezoelektrische Pumpe durch Anlegen einer Phasendifferenz auf Eingangsleistung benachbarter piezoelektrischer Pumpen unter den mehreren piezoelektrischen Pumpen an. Somit ist die Pulsation von Druck im Fall des Verbindens mehrerer piezoelektrischer Pumpen in Reihe entspannt.

[0007] Die in der Pumpvorrichtung aus Patentschrift JP 2004- 169706 A verwendete piezoelektrische Pumpe hat einen Aufbau, bei dem ein Piezoelement mit einer Metallplatte verbunden ist, und liefert Wechselstrom an das Piezoelement und die Metallplatte, um eine Biegeverformung in einem Unimorphmodus zu bewirken, wodurch Luft befördert wird.

[0008] Die Patentschrift DE 697 13 459 T2 offenbart eine Steuerung eines piezoelektrischen Vibrationselements, welches beispielsweise für eine Teilezuführeinrichtung verwendet wird, wobei durch Strom- und Spannungsmessungen bei schwacher und starker Vibration der Vibrationsstrom berechnet wird. Abhängig von der Differenz zwischen dem berechneten und dem voreingestellten Wert, wird die Ansteuerspannung des piezoelektrischen Vibrationselements erhöht oder verringert.

[0009] Patentschrift DE 10 2013 200 353 A1 beschreibt eine Ansteuerung eines piezoelektrischen Materials. Dabei wird ein erster Strom in einem ersten Strompfad, der das piezoelektrische Material umfasst, und ein zweiter Strom in einem zweiten Strompfad, der einen Kondensator umfasst, überwacht. Basierend auf dem zweiten Strom kann der erste Strom durch Einstellen einer ersten Referenzspannung eingestellt werden.

[0010] Eine weitere Pumpenanordnung wird in Patentschrift DE 196 53 636 A1 beschrieben, wobei die Betriebsart einer ersten Pumpe und einer zweiten Pumpe, die parallel zueinander zwischen einem Zulauf und einem Ablauf angeordnet sind, durch entsprechende Ansteuerung der Pumpen geändert werden kann. Dabei wird zwischen einer Betriebsart, bei der die erste Pumpe in Serie mit der zweiten Pumpe geschaltet ist, und einer Betriebsart, bei der die erste Pumpe parallel zur zweiten Pumpe geschaltet ist, unterschieden.

[0011] Ein hydraulisches System mit einer Hauptpumpe und einer Vordruckpumpe ist aus der Patentschrift DE 100 45 118 A1 bekannt, wobei die Vordruckpumpe und vorzugsweise auch die Hauptpumpe jeweils eine Verstellvorrichtung zum Verstellen des Fördervolumens aufweisen, die jeweils einzeln oder gemeinsam steuerbar sind.

[0012] Bei der Verwendung der piezoelektrischen Pumpen, die in Reihe geschaltet sind, unterscheidet sich ein Druckunterschied zwischen einer Saugöffnung und einer Austrittsöffnung jeder piezoelektrischen Pumpe zwischen den piezoelektrischen Pumpen. Infolgedessen tritt ein Unterschied der Amplitude zwischen den Piezoelementen der jeweiligen piezoelektrischen Pumpen auf und der Wirkungsgrad der gesamten Pumpvorrichtung nimmt ab.

[0013] Dementsprechend ist es eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, die oben beschriebenen Probleme zu lösen und eine Pumpvorrichtung bereitzustellen, bei der der Wirkungsgrad von in Reihe geschalteten piezoelektrischen Pumpen verbessert ist.

[0014] Zum Erzielen der obigen Aufgabe weist eine Pumpvorrichtung gemäß der vorliegenden Erfindung Folgendes auf:

eine erste piezoelektrische Pumpe;

eine zweite piezoelektrische Pumpe, die mit der ersten piezoelektrischen Pumpe auf einer stromabwärts gelegenen Seite der ersten piezoelektrischen Pumpe in Reihe geschaltet ist;

eine Antriebseinheit, die dazu konfiguriert ist, sowohl die erste piezoelektrische Pumpe als auch die zweite piezoelektrische Pumpe mit Eingangswechselstrom zu versorgen; und

eine Steuereinheit, die dazu konfiguriert ist, die Eingangsleistung sowohl der ersten piezoelektrischen Pumpe als auch der zweiten piezoelektrischen Pumpe zu regeln; und

eine Stromversorgungseinheit, die dazu konfiguriert ist, die Antriebseinheit mit Strom zu versorgen,

wobei die Steuereinheit die Eingangsleistung der zweiten piezoelektrischen Pumpe so einstellt, dass sie größer ist als die Eingangsleistung der ersten piezoelektrischen Pumpe.

[0015] Gemäß einer Pumpvorrichtung der vorliegenden Erfindung kann der Wirkungsgrad von in Reihe geschalteten piezoelektrischen Pumpen verbessert werden.

[**Fig.** 1] **Fig.** 1 ist ein Graph, der die Druck-Durchflussgeschwindigkeit-Kennlinien einer piezoelektrischen Pumpe darstellt.

[**Fig.** 2] **Fig.** 2 ist ein Graph, der eine Beziehung zwischen einem Ansteuerungsstrom der piezoelektrischen Pumpe und einer Amplitude eines Piezoelements darstellt.

[**Fig.** 3] **Fig.** 3 ist ein Graph, der eine Beziehung zwischen einer Ansteuerungsspannung der piezoelektrischen Pumpe und der Amplitude des Piezoelements darstellt.

[**Fig.** 4] **Fig.** 4 ist ein Diagramm, das eine schematische Konfiguration einer Pumpvorrichtung gemäß Ausführungsform 1 veranschaulicht.

[**Fig.** 5] **Fig.** 5 ist ein Schaltplan einer Antriebseinheit, einer Spannungserfassungseinheit und einer Stromversorgungseinheit gemäß Ausführungsform 1.

[**Fig.** 6] **Fig.** 6 ist ein Diagramm, das ein Beispiel einer Stromwertmessung veranschaulicht.

[**Fig.** 7] **Fig.** 7 ist ein Graph, der Stromverteilung darstellt.

[**Fig.** 8] **Fig.** 8 ist ein Graph, der eine Beziehung zwischen einem Enddruck und Zeit in Ausführungsform 1 darstellt.

[**Fig.** 9] **Fig.** 9 ist ein Graph, der eine Beziehung zwischen einem Enddruck und Zeit in einem Vergleichsbeispiel darstellt.

[**Fig.** 10] **Fig.** 10 ist ein Graph, der eine Stromausbeute darstellt.

[**Fig.** 11] **Fig.** 11 ist ein Schaltplan einer Antriebseinheit, einer Spannungserfassungseinheit und einer Stromversorgungseinheit gemäß Ausführungsform 2.

[**Fig.** 12] **Fig.** 12 ist ein Diagramm, das eine Änderung eines Tastverhältnis einer Antriebsspannung in Ausführungsform 3 veranschaulicht.

[**Fig.** 13] **Fig.** 13 ist ein Diagramm, das eine schematische Konfiguration einer Pumpvorrichtung gemäß Ausführungsform 4 veranschaulicht.

[**Fig.** 14] **Fig.** 14 ist ein Schaltplan, der eine Selbsterregungsschaltung einer Antriebseinheit gemäß Ausführungsform 4 veranschaulicht.

[**Fig.** 15] **Fig.** 15 ist ein Schaltplan einer Strombegrenzungseinheit gemäß Ausführungsform 4.

[0016] Eine Pumpvorrichtung gemäß einem Aspekt der vorliegenden Erfindung weist Folgendes auf: eine erste piezoelektrische Pumpe, eine zweite piezoelektrische Pumpe, die mit der ersten piezoelektrischen Pumpe auf einer stromabwärts gelegenen Seite der ersten piezoelektrischen Pumpe in Reihe geschaltet ist, eine Antriebseinheit, die dazu konfiguriert ist, sowohl die erste piezoelektrische Pumpe als auch die zweite piezoelektrische Pumpe mit Eingangswechselstrom zu versorgen, eine Steuereinheit, die dazu konfiguriert ist, die Eingangsleistung sowohl der ersten piezoelektrischen Pumpe als auch der zweiten piezoelektrischen Pumpe zu regeln, und eine Stromversorgungseinheit, die dazu konfiguriert ist, die Antriebseinheit mit Strom zu ver-

sorgen, wobei die Steuereinheit die Eingangsleistung der zweiten piezoelektrischen Pumpe so einstellt, dass sie größer ist als die Eingangsleistung der ersten piezoelektrischen Pumpe.

[0017] Selbst wenn ein Pumpendruck der zweiten piezoelektrischen Pumpe auf einer stromabwärts gelegenen Seite höher wird als ein Pumpendruck der ersten piezoelektrischen Pumpe auf einer stromaufwärts gelegenen Seite, da die Eingangsleistung der zweiten piezoelektrischen Pumpe größer ist als die Eingangsleistung der ersten piezoelektrischen Pumpe, ist es gemäß dieser Konfiguration möglich, zu verhindern, dass eine Amplitude eines Piezoelements der zweiten piezoelektrischen Pumpe abnimmt. Infolgedessen, da die Amplituden der Piezoelemente der ersten piezoelektrischen Pumpe und der zweiten piezoelektrischen Pumpe nahe nebeneinander liegen, ist es möglich, den gesamten Wirkungsgrad der in Reihe geschalteten piezoelektrischen Pumpen zu verbessern.

[0018] Darüber hinaus kann die Antriebseinheit eine erste Antriebseinheit, die die erste piezoelektrische Pumpe mit Eingangswechselstrom versorgt, und eine zweite Antriebseinheit, die die zweite piezoelektrische Pumpe mit Eingangswechselstrom versorgt, aufweisen und kann die Steuereinheit von der Stromversorgungseinheit zur zweiten Antriebseinheit gelieferte Leistung so einstellen, dass sie größer ist als von der Stromversorgungseinheit zur ersten Antriebseinheit gelieferte Leistung. Da die Antriebseinheit für die piezoelektrische Pumpe getrennt bereitgestellt wird, kann die piezoelektrische Pumpe mit dieser Konfiguration mit hoher Genauigkeit angetrieben werden. Des Weiteren, indem die an die zweite Antriebseinheit gelieferte Leistung größer ist als die an die erste Antriebseinheit gelieferte Leistung, wird es leichter, die Eingangsleistung der zweiten piezoelektrischen Pumpe zu vergrößern.

[0019] Darüber hinaus können eine erste Stromerfassungseinheit, die einen durch die erste Antriebseinheit fließenden Strom erfasst, und eine zweite Stromerfassungseinheit, die einen durch die zweite Antriebseinheit fließenden Strom erfasst, enthalten sein und kann die Steuereinheit der zweiten piezoelektrischen Pumpe zugeführte Eingangsleistung durch die zweite Antriebseinheit derart regeln, dass ein durch die zweite Stromerfassungseinheit erfasster Stromwert einem durch die erste Stromerfassungseinheit erfassten Stromwert angenähert wird. Indem der Wert des durch die zweite Antriebseinheit fließenden Stroms an den Wert des durch die erste Antriebseinheit fließenden Stroms angenähert wird, kann die Amplitude der zweiten piezoelektrischen Pumpe an die Amplitude der ersten piezoelektrischen Pumpe angenähert werden, selbst in einem Hochdruckbereich, und somit ist es möglich, den Wirkungsgrad weiter zu verbessern.

[0020] Darüber hinaus kann die Steuereinheit ein Tastverhältnis einer Ansteuerungsspannung der zweiten piezoelektrischen Pumpe regeln. Somit kann ein Ansteuerungsstrom der zweiten piezoelektrischen Pumpe leicht gesteuert bzw. geregelt werden.

[0021] Darüber hinaus kann die Steuereinheit Ansteuerungsfrequenzen der ersten piezoelektrischen Pumpe und der zweiten piezoelektrischen Pumpe regeln. Somit kann der Wirkungsgrad weiter verbessert werden.

[0022] Darüber hinaus kann ein Stromverhältnis zwischen einem durch die erste piezoelektrische Pumpe fließenden Strom und einem durch die zweite piezoelektrische Pumpe fließenden Strom in einem Bereich von mindestens 0,8 und höchstens 1,2 liegen. Da der durch die erste piezoelektrische Pumpe fließende Strom und der durch die zweite piezoelektrische Pumpe fließende Strom innerhalb eines Bereichs von Werten liegen, die nahe beieinander liegen, können die Amplituden der ersten piezoelektrischen Pumpe und der zweiten piezoelektrischen Pumpe einander angenähert werden und kann der Wirkungsgrad erhöht werden.

[0023] Darüber hinaus kann ein Stromverhältnis zwischen einem durch die erste Antriebseinheit fließenden Strom und einem durch die zweite Antriebseinheit fließenden Strom in einem Bereich von mindestens 0,8 und höchstens 1,2 liegen. Da der durch die erste Antriebseinheit fließende Strom und der durch die zweite Antriebseinheit fließende Strom innerhalb eines Bereichs von Werten liegen, die nahe beieinander liegen, können die Amplituden der ersten piezoelektrischen Pumpe und der zweiten piezoelektrischen Pumpe einander angenähert werden und kann der Wirkungsgrad erhöht werden.

[0024] Darüber hinaus kann ein Behälter, der mit einer Saugöffnung der ersten piezoelektrischen Pumpe oder einer Austrittsöffnung der zweiten piezoelektrischen Pumpe verbunden ist, enthalten sein.

[0025] Es ist zu beachten, dass jede der nachfolgend beschriebenen Ausführungsformen ein bestimmtes Beispiel der vorliegenden Erfindung darstellt und die vorliegende Erfindung nicht auf diese Konfiguration beschränkt ist. Darüber hinaus sind Zahlenwerte, Formen, Konfigurationen, Schritte, Reihenfolgen von Schritten und dergleichen, die in den folgenden Ausführungsformen ausdrücklich dargestellt werden, lediglich Beispiele und schränken die vorliegende Erfindung nicht ein. Unter den Bestandteilen in den folgenden Ausführungsformen werden Bestandteile, die in einem unabhängigen Patentan-

spruch nicht beschrieben werden, der den übergeordneten Begriff angibt, als beliebige Bestandteile beschrieben. Darüber hinaus sind in allen Ausführungsformen die Konfigurationen in den jeweiligen modifizierten Beispielen gleich und die in den jeweiligen modifizierten Beispielen beschriebenen Konfigurationen können miteinander kombiniert werden.

[0026] Zunächst wird das Problem der vorliegenden Erfindung ausführlicher beschrieben. Wie in **Fig.** 1 dargestellt, hat die in der Pumpvorrichtung verwendete piezoelektrische Pumpe eine Kennlinie, bei der eine Durchflussgeschwindigkeit Q abnimmt, während ein Gegendruck P zunimmt. Das liegt daran, dass die Amplitude des Piezoelements der piezoelektrischen Pumpe umso kleiner ist, je höher der Druck ist. Um die Durchflussgeschwindigkeit Q im Hochdruckbereich zu steigern, ist es daher denkbar, den durch das Piezoelement der piezoelektrischen Pumpe fließenden Strom steigern.

[0027] Wie in **Fig.** 2 dargestellt, besteht eine hohe Korrelation zwischen dem Ansteuerungsstrom der piezoelektrischen Pumpe und der Amplitude der Schwingung des Piezoelements. Wenn der Ansteuerungsstrom steigt, steigt auch die Amplitude des Piezoelements. Wenn ein Ansteuerungsstromwert I1 jedoch durch das Piezoelement fließt, besteht ein oberer Grenzwert A1 der Amplitude, bei dem das Piezoelement beschädigt wird, es treten beispielsweise Risse im Piezoelement auf. Daher ist es erforderlich, die piezoelektrische Pumpe in einem Zustand zu verwenden, in dem die Amplitude des Piezoelements höchstens dem oberen Grenzwert A1 entspricht.

[0028] In dem Fall, in dem zwei piezoelektrische Pumpen Pu und Pw mit der gleichen Pumpenleistung in Reihe geschaltet sind, wenn jede der Pumpen angetrieben wird und der Druck steigt, wie in **Fig.** 3 dargestellt, ist die Amplitude des Piezoelements der piezoelektrischen Pumpe Pw, die auf der stromabwärts gelegenen Seite angeordnet ist, im Vergleich zur piezoelektrischen Pumpe Pu, die auf der stromaufwärts gelegenen Seite angeordnet ist, gering. Wenn der obere Grenzwert durch die Ansteuerungsspannung der piezoelektrischen Pumpe bestimmt wird, ist die Amplitude des Piezoelements der piezoelektrischen Pumpe Pw auf der stromabwärts gelegenen Seite gering und es dauert lange, bis der Zieldruck erreicht wird. Daher werden Ausführungsformen der Erfindung der vorliegenden Anmeldung zum Lösen derartiger Probleme der Reihe nach beschrieben.

(Ausführungsform 1)

[0029] Im Folgenden wird eine Pumpvorrichtung gemäß Ausführungsform 1 der vorliegenden Erfindung beschrieben. **Fig.** 4 ist eine schematische Konfiguration der Pumpvorrichtung 1 gemäß Ausführungsform 1.

[0030] Die in **Fig.** 4 veranschaulichte Pumpvorrichtung 1 weist eine erste piezoelektrische Pumpe 3, eine zweite piezoelektrische Pumpe 5, eine Antriebseinheit 7, eine Stromversorgungseinheit 8 und eine Steuereinheit 15 auf. Die Pumpvorrichtung 1 aus Ausführungsform 1 wird beispielsweise als eine Absaugpumpvorrichtung dargestellt.

[0031] Die erste piezoelektrische Pumpe 3 und die zweite piezoelektrische Pumpe 5 sind Pumpen, die miteinander in Reihe geschaltet sind. Die erste piezoelektrische Pumpe 3 ist auf einer stromaufwärts gelegenen Seite angeordnet und die zweite piezoelektrische Pumpe 5 ist auf einer stromabwärts gelegenen Seite angeordnet.

[0032] Sowohl die erste piezoelektrische Pumpe 3 als auch die zweite piezoelektrische Pumpe 5 in Ausführungsform 1 ist eine piezoelektrische Pumpe, die ein Piezoelement verwendet (kann als ein „Mikrogebläse“, eine „Mikropumpe“ oder dergleichen bezeichnet werden). Insbesondere ist ein Aufbau, bei dem ein Piezoelement (nicht veranschaulicht) mit einer Metallplatte (nicht veranschaulicht) verbunden ist, bereitgestellt und werden das Piezoelement und die Metallplatte mit Wechselstrom versorgt, um dadurch eine Biegeverformung in einem Unimorphmodus zu bewirken, um ein Fluid zu befördern. Das Fluid schließt ein Gas und eine Flüssigkeit ein.

[0033] In Ausführungsform 1 können piezoelektrische Pumpen mit der gleichen Spezifikation als die erste piezoelektrische Pumpe 3 und die zweite piezoelektrische Pumpe 5 verwendet werden. Die erste piezoelektrische Pumpe 3 und die zweite piezoelektrische Pumpe 5 mit der gleichen Spezifikation haben die gleichen Parameter, wie etwa eine Nennleistung (das heißt eine Durchflussgeschwindigkeit pro Zeiteinheit) und eine Größe.

[0034] Die Antriebseinheit 7 ist beispielsweise eine Ansteuerungsschaltung, die die erste piezoelektrische Pumpe 3 und die zweite piezoelektrische Pumpe 5 mit Wechselstrom ansteuert. Die Antriebseinheit 7 versorgt die erste piezoelektrische Pumpe 3 und die zweite piezoelektrische Pumpe 5 mit Wechselstrom. In Ausführungsform 1 weist die Antriebseinheit 7 eine erste Antriebseinheit 7a, die die erste piezoelektrische Pumpe 3 mit Wechselstrom versorgt, und eine zweite Antriebseinheit 7b, die die zweite piezoelektrische Pumpe 5 mit Wechselstrom versorgt, auf. Wenn sowohl die erste Antriebseinheit 7a als auch die zweite Antriebseinheit 7b gemeint sind, werden diese in der folgenden Beschreibung einfach als die Antriebseinheit 7 bezeichnet.

[0035] Die Stromversorgungseinheit 8 ist beispielsweise eine Stromversorgungsschaltung, die die Antriebseinheit 7 mit Strom versorgt. Die Stromversorgungseinheit 8 weist eine erste Stromversorgungseinheit 8a, die die erste Antriebseinheit 7a mit Gleichstrom versorgt, und eine zweite Stromversorgungseinheit 8b, die die zweite Antriebseinheit 7b mit Gleichstrom versorgt, auf.

[0036] Eine Steuereinheit 15 ist mit der Antriebseinheit 7 verbunden. Die Steuereinheit 15 steuert bzw. regelt Leistung, Spannung, Strom, Ansteuerungsfrequenzen und Ähnliches, die sowohl von der ersten Antriebseinheit 7a als auch von der zweiten Antriebseinheit 7b sowohl an die erste piezoelektrische Pumpe 3 als auch an die zweite piezoelektrische Pumpe 5 ausgegeben werden. Daher wird ein Eingangsstrom sowohl der ersten piezoelektrischen Pumpe 3 als auch der zweiten piezoelektrischen Pumpe 5 durch die Steuereinheit 15 gesteuert bzw. geregelt. Darüber hinaus steuert bzw. regelt die Steuereinheit 15 eine Ausgangsspannung von der Stromversorgungseinheit 8 an die Antriebseinheit 7. Die Steuereinheit 15 wird beispielsweise von einem Rechengerät, wie etwa einer Mikrocontrollereinheit (micro controller unit - MCU) und einem Prozessor, konfiguriert. Es ist zu beachten, dass die Steuereinheit auch ein Speichergerät, wie etwa einen Speicher und ein SDD, aufweisen kann. Ein Behälter 11 ist ein Zielobjekt, in das ein Fluid durch die erste piezoelektrische Pumpe 3 und die zweite piezoelektrische Pumpe 5 der Pumpvorrichtung 1 gesaugt wird. Beispiele einer Ansaugvorrichtung, einschließlich des Behälters 11 und der Pumpvorrichtung 1, schließen beispielsweise eine Milchpumpe, einen Nasensauger, eine Mundpflegevorrichtung, eine Entwässerungsvorrichtung und Ähnliches ein, jedoch kann jede beliebige andere Ansaugvorrichtung verwendet werden. Der Behälter 11 und die erste piezoelektrische Pumpe 3 sind mit einem dazwischen angeordneten Rohr 9 miteinander verbunden und die erste piezoelektrische Pumpe 3 und die zweite piezoelektrische Pumpe 5 sind mit einem dazwischen angeordneten Rohr 10 miteinander verbunden.

[0037] Die erste piezoelektrische Pumpe 3 hat eine Saugöffnung 3a zum Ansaugen eines Fluids und eine Austrittsöffnung 3b zum Ablassen eines Fluids. Die Saugöffnung 3a ist mit dem Rohr 9 verbunden und die Austrittsöffnung 3b ist mit dem Rohr 10 verbunden. Darüber hinaus hat die zweite piezoelektrische Pumpe 5 eine Saugöffnung 5a zum Ansaugen eines Fluids und eine Austrittsöffnung 5b zum Ablassen eines Fluids. Die Saugöffnung 5a ist mit dem Rohr 10 verbunden und die Austrittsöffnung 5b ist zur Umgebung hin geöffnet.

[0038] Die Pumpvorrichtung 1 saugt beispielsweise Luft von dem Behälter 11 an, wodurch ein Unterdruck im Behälter 11 erzeugt wird. Die Pumpvorrichtung 1 mit einer derartigen Konfiguration wirkt als eine sogenannte „Unterdruckpumpe“.

[0039] Gemäß der Konfiguration der oben beschriebenen Pumpvorrichtung 1 werden die erste piezoelektrische Pumpe 3 und die zweite piezoelektrische Pumpe 5 von der ersten Antriebseinheit 7a beziehungsweise der zweiten Antriebseinheit 7b mit Wechselstrom versorgt. Die erste piezoelektrische Pumpe 3 und die zweite piezoelektrische Pumpe 5 werden jeweils durch die Versorgung mit Wechselstrom angesteuert und das Piezoelement wird mit einer hohen Geschwindigkeit verbogen und verformt, wodurch Luft befördert wird.

[0040] Die erste piezoelektrische Pumpe 3 saugt Luft von dem Behälter 11 an. Die erste piezoelektrische Pumpe 3 führt die angesaugte Luft zur zweiten piezoelektrischen Pumpe 5 ab sowie verringert den Druck in der ersten piezoelektrischen Pumpe 3 weiter, um die Luft zur zweiten piezoelektrischen Pumpe 5 zu befördern. Die zweite piezoelektrische Pumpe 5 führt die angesaugte Luft von der Austrittsöffnung 5b in die Umgebung ab sowie verringert den Druck in der zweiten piezoelektrischen Pumpe 5 weiter, um die Luft von der Austrittsöffnung 5b in die Umgebung abzuführen.

[0041] Als Nächstes wird ein Beispiel eines Schaltkreises der Antriebseinheit 7 und der Stromversorgungseinheit 8 unter Bezugnahme auf **Fig.** 5 beschrieben. Die Antriebseinheit 7 ist beispielsweise eine H-Brückenschaltung. Die Antriebseinheit 7 weist vier FETs eines ersten FETs 61, eines zweiten FETs 62, eines dritten FETs 63 und eines vierten FETs 64 auf. Jeder der FETs wird durch ein Ansteuersignal von der Steuereinheit 15 zu dem ersten FET 61 zu dem vierten FET 64 schaltgetrieben und eine Wechselspannung mit einer vorgegebenen Frequenz wird an die erste und die zweite piezoelektrische Pumpe 3 und 5 angelegt.

[0042] Eine Eingangsspannung Vc wird von der Stromversorgungseinheit 8 auf Drains des ersten FETs 61 und des dritten FETs 63 angelegt. Eine Source des ersten FETs 61 ist mit einem Drain des zweiten FETs 62 und einer externen Anschlussklemme der piezoelektrischen Pumpe verbunden. Eine Source des dritten FETs 63 ist mit einem Drain des vierten FETs 64 und einer externen Verbindungsklemme der piezoelektrischen Pumpe verbunden. Eine Source des zweiten FETs 62 und eine Source des vierten FETs 64 sind mit einer Spannungserfassungsschaltung 13 verbunden. Die Spannungserfassungsschaltung 13 weist ein mit der piezoelektrischen Pumpe elektrisch verbundenes Impedanzelement auf. Als Impedanzelement wird beispielsweise ein Widerstand Rs verwendet.

[0043] Die von der Stromversorgungseinheit 8 gelieferte Eingangsgleichspannung Vc wird durch den ersten FET 61, die piezoelektrische Pumpe, den vierten FET 64 und den Widerstand Rs geteilt oder durch den dritten FET 63, die piezoelektrische Pumpe und den zweiten FET 62 geteilt. Hier ist der Spannungsabfall im ersten FET 61 zum vierten FET 64 vernachlässigbar gering. Daher wird eine Ausgangsspannung Vo durch Spannungsteilung zwischen der ersten und der zweiten piezoelektrischen Pumpe 3 und 5 und dem Widerstand Rs bestimmt.

[0044] Die Spannungserfassungsschaltung 13 ist beispielsweise der Widerstand Rs. Durch Erfassen einer Spannung am Widerstand Rs kann die Ausgangsspannung Vo einer Ansteuerungsschaltung 12 erfasst werden. Darüber hinaus kann die Steuereinheit 15 einen Wert eines durch die Ansteuerungsschaltung fließenden Stroms auf der Grundlage eines Spannungswerts, der durch die Spannungserfassungsschaltung 13 erfasst wird, berechnen. Wenn ein Ansteuerungsstrom Ic, der durch den Widerstand Rs fließt, Io ist, wird der Wirkungsgrad der ersten und der zweiten piezoelektrischen Pumpe 3 und 5 maximiert. Der Strom Io wird durch Io = Vo/Rs erhalten. Da der Widerstand Rs einen Schaltungsverlust verursacht, ist ein geringer Widerstand mit einem geringen Wert wie etwa 1 Ω wünschenswert. Der Unterschied zwischen der Eingangsspannung Vc und der Ausgangsspannung Vo ist eine an die piezoelektrischen Pumpen 3 und 5 angelegte Spannung (Ansteuerungsspannung). Da eine Endseite des Widerstands Rs mit einer E/A-Schnittstelle 66 der Steuereinheit 15 verbunden ist, wird die Ausgangsspannung Vo von der Steuereinheit 15 abgelesen. Eine Stromerfassungseinheit der Erfindung der vorliegenden Anmeldung schließt die Spannungserfassungsschaltung 13 und die Steuereinheit 15 ein. Darüber hinaus entspricht die Steuereinheit 15 auch der Steuereinheit der Erfindung der vorliegenden Anmeldung.

[0045] Die Steuereinheit 15 regelt die durch Senden eines Rückkopplungssignals an die Stromversorgungseinheit 8 gelieferte Spannung Vc gemäß der Ausgangsspannung Vo. In einem Fall, in dem die Pumpvorrichtung 1 eine Ansaugvorrichtung ist, senkt die Steuereinheit 15 die Spannung Vc, die der ersten Antriebseinheit 7a zugeführt wird, die die erste piezoelektrische Pumpe 3 auf der stromaufwärts gelegenen Seite antreibt, im Vergleich zur Spannung Vc, die der zweiten Antriebseinheit 7b zugeführt wird, die die zweite piezoelektrische Pumpe 5 auf der stromabwärts gelegenen Seite antreibt, verhältnismäßig.

[0046] Die Stromversorgungseinheit 8 weist eine Verstärkungssteuerschaltung 122, ein Schaltelement Q1, einen Induktor L, eine Diode D2 und einen Kondensator C2 auf. Wie in **Fig.** 5 veranschaulicht, verstärkt die Verstärkungssteuerschaltung 122 beispielsweise eine Eingangsstromversorgungsspannung Vb (beispielsweise Gleichspannung 1,5 V), die von einer Zelle eingegeben wird, indem die Steuerung auf dem Schaltelement Q1 geschaltet wird, auf der Grundlage einer Spannung Vu, die ein Steuersignal ist. Die Stromversorgungseinheit 8 gibt die verstärkte Gleichstromversorgungsspannung Vc (beispielsweise Gleichspannung 30 V) aus. Die von der Stromversorgungseinheit 8 ausgegebene Gleichstromversorgungsspannung Vc wird der Antriebseinheit 7 zugeführt.

[0047] Die Ausgangsspannung Vo kann ein konstanter Wert sein oder kann ein variabler Wert sein, der unter einem vorgegebenen oberen Grenzwert variiert. Darüber hinaus kann die Ausgangsspannung Vo während des Betriebs der piezoelektrischen Pumpen 3 und 5 umgeformt werden.

[0048] Als Nächstes, unter Bezugnahme auf **Fig.** 6, wird ein Verfahren zum Erhalten von Strom und Spannung der piezoelektrischen Pumpen 3 und 5 und der Antriebseinheit 7 beschrieben. Der Gleichstrom Ic, der in die Ansteuerungsschaltung der Antriebseinheit 7 geflossen ist, und eine Gleichspannung Pc, die an die Ansteuerungsschaltung der Antriebseinheit 7 angelegt wird, werden durch die folgenden Ausdrücke erhalten.

$$Ic = Vc/Rc \qquad \text{Ausdruck (1)}$$

$$Pc = Vc \times Ic \qquad \text{Ausdruck (2)}$$

[0049] Darüber hinaus wird ein Strom Id, der in die piezoelektrischen Pumpen 3 und 5 fließt, und eine Leistung Pd, die in die piezoelektrischen Pumpen 3 und 5 fließt, durch die folgenden Ausdrücke erhalten.

$$Id = Vd/Rd \qquad \text{Ausdruck (3)}$$

$$Pd = Vd \times Id \times \cos\theta \qquad \text{Ausdruck (4)}$$

[0050] Im Ausdruck (4) ist θ ein Phasenunterschied zwischen einer Eingangsspannung Vd und dem Eingangsstrom Id der piezoelektrischen Pumpen 3 und 5.

[0051] Der Strom zur Ansteuerungsschaltung, der erhalten werden soll, ist ein Augenblickswert oder ein Durchschnittswert. Darüber hinaus ist die Leistung der Ansteuerungsschaltung, der erhalten werden soll, auch ein Augenblickswert oder ein Durchschnittswert. Die Leistung der piezoelektrischen Pumpen 3 und 5 kann ein integraler Wert eines Schwingungszyklus des Piezoelements sein.

[0052] Als Nächstes wird der Bereich des Stromwerts, der erhalten werden soll, unter Bezugnahme auf **Fig.** 7 beschrieben. Selbst bei der Verwendung

der piezoelektrischen Pumpen 3 und 5, bei denen es sich um das gleiche Produkt handelt, tritt aufgrund individueller Unterschiede eine Schwankung im Stromwert auf, wenn die Piezoelemente die gleiche Amplitude haben. Beispielsweise, wenn ein optimaler Stromwert 100 beträgt, werden Stromwerte mit Werten von ±20 % als der gleiche Stromwert behandelt. Das heißt, die Stromwerte im Bereich von 80 bis 120 werden als der gleiche Stromwert behandelt. Das heißt, ein Stromverhältnis zwischen einem durch die erste piezoelektrische Pumpe 3 fließenden Strom und einem durch die zweite piezoelektrische Pumpe 5 fließenden Strom liegt in dem Bereich von mindestens 0,8 und höchstens 1,2. Darüber hinaus liegt ein Stromverhältnis zwischen einem durch die erste Antriebseinheit 7a fließenden Strom und einem durch die zweite Antriebseinheit 7b fließenden Strom in dem Bereich von mindestens 0,8 und höchstens 1,2.

[0053] Die Auswirkungen der Pumpvorrichtung 1 gemäß Ausführungsform 1 werden unter Bezugnahme auf **Fig.** 8 und **Fig.** 9 beschrieben. **Fig.** 8 ist ein Graph, der eine Beziehung zwischen einem Enddruck und Zeit in Ausführungsform 1 darstellt. **Fig.** 9 ist ein Graph, der eine Beziehung zwischen einem Enddruck und Zeit in einem Vergleichsbeispiel darstellt. Wie in **Fig.** 8 dargestellt, wird eine Eingangsleistung Vp2 der zweiten piezoelektrischen Pumpe 5 größer gestaltet als eine Eingangsleistung Vp1 der ersten piezoelektrischen Pumpe 3, während ein Unterdruck in dem Behälter 11 steigt, ist es möglich, die Verringerung der Amplitude des Piezoelements der zweiten piezoelektrischen Pumpe 5 zu verringern. Daher kann die Pumpenleistung der zweiten piezoelektrischen Pumpe 5 aufrechterhalten werden und sinkt beispielsweise der Druck in dem Behälter 11 um Pm zu einem Zeitpunkt t1.

[0054] Wie in **Fig.** 9 als ein Vergleichsbeispiel dargestellt, wenn die Eingangsleistung Vp1 der ersten piezoelektrischen Pumpe 3 größer gestaltet ist als die Eingangsleistung Vp2 der zweiten piezoelektrischen Pumpe 5, während der Unterdruck in dem Behälter 11 steigt, wird ein Ziel-Absenkdruck Pm beispielsweise zu einem Zeitpunkt t2 erreicht, selbst in einem Fall, in dem der Gesamtwert der Eingangsleistung an die erste piezoelektrische Pumpe 3 und die zweite piezoelektrische Pumpe 5 bis zu dem Zeitpunkt t1 gleich ist wie der in **Fig.** 8 und mehr Zeit erforderlich ist, um den Zieldruck zu erreichen. Gemäß Ausführungsform 1 kann daher der Zieldruck früher erreicht werden.

[0055] Des Weiteren, wie in **Fig.** 10 dargestellt, ist es durch Ansteuern der ersten piezoelektrischen Pumpe 3 und der zweiten piezoelektrischen Pumpe 5 mit dem optimalen Ansteuerungsstrom Io möglich, die Pumpvorrichtung 1 mit hohem Wirkungsgrad zu erzielen.

[0056] Wie oben beschrieben, weist die Pumpvorrichtung 1 Folgendes auf: die erste piezoelektrische Pumpe 3, die zweite piezoelektrische Pumpe 5, die mit der ersten piezoelektrischen Pumpe 3 auf der stromabwärts gelegenen Seite der ersten piezoelektrischen Pumpe 3 in Reihe geschaltet ist, die Antriebseinheit 7, die die erste piezoelektrische Pumpe 3 und die zweite piezoelektrische Pumpe 5 mit Eingangswechselstrom versorgt, die Steuereinheit 15, die die Eingangsleistung sowohl zu der ersten piezoelektrischen Pumpe 3 als auch zu der zweiten piezoelektrischen Pumpe 5 regelt, und die Stromversorgungseinheit 8, die die Antriebseinheit 7 mit Strom versorgt. Die Steuereinheit 15 stellt die Eingangsleistung der zweiten piezoelektrischen Pumpe 5 größer ein als die Eingangsleistung der ersten piezoelektrischen Pumpe 3. Selbst wenn die erste piezoelektrische Pumpe 3 und die zweite piezoelektrische Pumpe 5 angetrieben werden und ein Differenzdruck zwischen der Saugöffnung 5a und der Austrittsöffnung 5b der zweiten piezoelektrischen Pumpe 5 auf der stromabwärts gelegenen Seite größer wird als ein Differenzdruck zwischen der Saugöffnung 3a und der Austrittsöffnung 5b der ersten piezoelektrischen Pumpe 3, da die Eingangsleistung der zweiten piezoelektrischen Pumpe 5 größer ist als die Eingangsleistung der ersten piezoelektrischen Pumpe 3, kann die Amplitude des Piezoelements der zweiten piezoelektrischen Pumpe 5 lediglich mit dieser Konfiguration an die Amplitude des Piezoelements der ersten piezoelektrischen Pumpe 3 angenähert werden. Daher kann der Wirkungsgrad der in Reihe geschalteten piezoelektrischen Pumpen 3 und 5 verbessert werden.

(Ausführungsform 2)

[0057] Als Nächstes wird eine Pumpvorrichtung gemäß Ausführungsform 2 der vorliegenden Erfindung unter Bezugnahme auf **Fig.** 11 beschrieben. **Fig.** 11 ist eine Ansicht, die eine Antriebseinheit 7A einer Pumpvorrichtung 1A gemäß Ausführungsform 2 veranschaulicht.

[0058] Die Pumpvorrichtung 1 gemäß Ausführungsform 1 regelt den durch die piezoelektrische Pumpe fließenden Strom unter Verwendung der Steuereinheit 15. Da wiederum in der Pumpvorrichtung 1A gemäß Ausführungsform 2 eine Selbsterregungsschaltung 81 in der Antriebseinheit 7A bereitgestellt wird, bestimmt die Antriebseinheit 7A optimale Ansteuerungsfrequenzen der piezoelektrischen Pumpen 3 und 5.

[0059] Die Pumpvorrichtung 1A gemäß Ausführungsform 2 weist die gleichen Komponenten auf wie jene der Pumpvorrichtung 1 gemäß Ausführungsform 1. Daher ist die Konfiguration der Pumpvorrichtung 1A gemäß Ausführungsform 2 gleich wie die der Pumpvorrichtung 1 gemäß Ausführungsform

1, mit Ausnahme der nachfolgend beschriebenen Inhalte.

[0060] Die Antriebseinheit 7A weist die Selbsterregungsschaltung 81 und die Spannungserfassungsschaltung 13 auf. Die Selbsterregungsschaltung 81 weist eine erste Differenzverstärkerschaltung 81a, eine Umkehrverstärkerschaltung 81b, einen Strommessteil 81c, eine zweite Differenzverstärkerschaltung 81d, einen aktiven Bandfilter 81e und eine Zwischenpotentialerzeugungsschaltung 81f auf.

[0061] Ein Widerstand R11 des Strommessteils 81c ist mit dem Piezoelement der piezoelektrischen Pumpe in Reihe geschaltet. Beide Enden des Widerstands R11 sind mit Eingangsklemmen der zweiten Differenzverstärkerschaltung 81d verbunden. Die zweite Differenzverstärkerschaltung 81d verstärkt die Spannung am Widerstand R11, die durch den durch das Piezoelement fließenden Ansteuerungsstrom erzeugt wird, differenziell und gibt ein Spannungssignal aus.

[0062] Eine Ausgangsklemme der zweiten Differenzverstärkerschaltung 81d ist mit einer Eingangsklemme des aktiven Bandfilters 81e verbunden. Der aktive Bandfilter 81e verstärkt das Eingangsspannungssignal mit einer vorgegebenen Steigerung und gibt das verstärkte Signal aus. Ein Durchlassbereich eines Bandpassfilters im aktiven Bandfilter 81e ist so eingestellt, dass eine Resonanzfrequenz in einem vorgegebenen Schwingungsmodus des Piezoelements innerhalb des Durchlassbereichs liegt.

[0063] Eine Ausgangsklemme des aktiven Bandfilters 81e ist mit einer Eingangsklemme der ersten Differenzverstärkerschaltung 81a und mit einer Eingangsklemme der Umkehrverstärkerschaltung 81b verbunden. Eine Ausgangsklemme der ersten Differenzverstärkerschaltung 81a ist mit dem Widerstand R11 verbunden. Eine Ausgangsklemme der Umkehrverstärkerschaltung 81b ist mit dem Piezoelement verbunden.

[0064] Die erste Differenzverstärkerschaltung 81a erzeugt ein erstes Ansteuersignal auf der Grundlage der Gleichstromversorgungsspannung Vc, die von der Stromversorgungseinheit 8 ausgegeben wird. Ein Ausgangssignal der ersten Differenzverstärkerschaltung 81a ist eine Rechteckwelle mit einem Tastverhältnis von 50 %.

[0065] Die Umkehrverstärkerschaltung 81b erzeugt ein zweites Ansteuersignal auf der Grundlage der Gleichstromversorgungsspannung Vc, die von der Stromversorgungseinheit 8 ausgegeben wird. Ein Ausgangssignal der Umkehrverstärkerschaltung 81b ist eine Rechteckwelle mit einem Tastverhältnis von 50 %, deren Phase bezogen auf das Ausgangssignal der ersten Differenzverstärkerschaltung 81a umgekehrt ist.

[0066] Der Ausgang der ersten Differenzverstärkerschaltung 81a wird auf die obere Seite der piezoelektrischen Pumpen 3 und 5 eingegeben und der Ausgang der Umkehrverstärkerschaltung 81b wird auf die untere Seite der piezoelektrischen Pumpen 3 und 5 eingegeben, sodass Ströme mit entgegengesetzten Phasen in der oberen und der unteren Seite der piezoelektrischen Pumpen 3 und 5 fließen.

[0067] Zu Beginn des Ansteuerns der piezoelektrischen Pumpen 3 und 5 haben eine erste Antriebseinheit 7Aa auf der stromaufwärts gelegenen Seite und eine zweite Antriebseinheit 7Ab auf der stromabwärts gelegenen Seite die Ansteuerungsschaltungsspannung Vc gemeinsam. Nach dem Ansteuern wird die Ansteuerungsschaltungsspannung Vc der piezoelektrischen Pumpe 5 auf der stromabwärts gelegenen Seite verstärkt, bis der durch die piezoelektrische Pumpe 3 fließende Ansteuerungsstrom Ic auf der stromaufwärts gelegenen Seite erreicht ist. Das Verhältnis zwischen der Stromversorgungsschaltung und der Antriebseinheit 7 muss nicht 1 : 1 betragen. Es kann beispielsweise ein Dämpfungsglied verwendet werden.

[0068] Selbst wenn die erste piezoelektrische Pumpe 3 und die zweite piezoelektrische Pumpe 5 angesteuert werden und ein Pumpendruck der zweiten piezoelektrischen Pumpe 5 auf der stromabwärts gelegenen Seite größer wird als ein Pumpendruck der ersten piezoelektrischen Pumpe 3, da die Eingangsleistung der zweiten piezoelektrischen Pumpe 5 größer ist als die Eingangsleistung der ersten piezoelektrischen Pumpe 3, kann die Amplitude des Piezoelements der zweiten piezoelektrischen Pumpe 5 auch mit dieser Konfiguration der Pumpvorrichtung 1A gemäß Ausführungsform 2, wie in der Pumpvorrichtung 1 gemäß Ausführungsform 1, an die Amplitude des Piezoelements der ersten piezoelektrischen Pumpe 3 angenähert werden. Daher kann der Wirkungsgrad der in Reihe geschalteten piezoelektrischen Pumpen 3 und 5 verbessert werden.

(Ausführungsform 3)

[0069] Als Nächstes wird eine Pumpvorrichtung gemäß Ausführungsform 3 der vorliegenden Erfindung unter Bezugnahme auf **Fig.** 12 beschrieben. **Fig.** 12 ist ein Diagramm, das eine Steuerung der Pumpvorrichtung gemäß Ausführungsform 3 veranschaulicht. **Fig.** 12(a) veranschaulicht Spannungsregelung mit einem Tastverhältnis von 1. **Fig.** 12(b) veranschaulicht Spannungsregelung mit einem Tastverhältnis von < 1. **Fig.** 12(c) veranschaulicht Spannungsregelung mit einem Tastverhältnis von > 1.

[0070] Die Pumpvorrichtung 1 gemäß Ausführungsform 1 regelt den durch die piezoelektrische Pumpe fließenden Strom unter Verwendung der Steuereinheit 15. Dahingegen regelt die Steuereinheit 15 der Pumpvorrichtung 1 gemäß Ausführungsform 3 den Ansteuerungsstrom, der durch die erste piezoelektrische Pumpe 3 und die zweite piezoelektrische Pumpe 5 fließt, durch Regeln des Tastverhältnisses der Antriebsspannung der piezoelektrischen Pumpe.

[0071] Die Pumpvorrichtung 1 gemäß Ausführungsform 3 weist die gleichen Komponenten auf wie jene der Pumpvorrichtung 1 gemäß Ausführungsform 1. Daher ist die Konfiguration der Pumpvorrichtung 1 gemäß Ausführungsform 3 gleich wie die der Pumpvorrichtung 1 gemäß Ausführungsform 1, mit Ausnahme der nachfolgend beschriebenen Inhalte.

[0072] Zu Beginn des Ansteuerns der ersten piezoelektrischen Pumpe 3 und der zweiten piezoelektrischen Pumpe 5, wie in **Fig.** 12(b) oder **Fig.** 12(c) veranschaulicht, regelt die Steuereinheit 15 die Ansteuerungsspannung in einem Zustand des Tastverhältnisses von ≠ 1. Wie in **Fig.** 12(a) veranschaulicht, nähert sich das Tastverhältnis der Ansteuerungsspannung zum Ansteuern der zweiten piezoelektrischen Pumpe 5 1 an, während der Gegendruck höher wird. Somit kann der durch das Piezoelement der zweiten piezoelektrischen Pumpe 5 fließende Strom erhöht werden und kann die Verringerung der Amplitude verringert werden. Es ist zu beachten, dass die Steuereinheit 15 die Ansteuerungsspannung der zweiten piezoelektrischen Pumpe 5 durch Erhöhen der von der Stromversorgungseinheit 8 zur Antriebseinheit 7 gelieferten Leistung, wie in Ausführungsform 1, erhöhen kann, wenn das Tastverhältnis auf 1 geregelt wird. Darüber hinaus kann statt der Tastverhältnisregelung eine Frequenzregelung der Ansteuerungsspannung durchgeführt werden. Darüber hinaus kann eine Ansteuerungswellenform eine Trapezwelle oder eine Sinuswelle sein.

[0073] Gemäß Ausführungsform 3, da die Ansteuerungsspannung der zweiten piezoelektrischen Pumpe 5 genauer geregelt werden kann, kann der Wirkungsgrad der in Reihe geschalteten piezoelektrischen Pumpen 3 und 5 weiter verbessert werden.

(Ausführungsform 4)

[0074] Als Nächstes wird eine Pumpvorrichtung gemäß Ausführungsform 4 der vorliegenden Erfindung unter Bezugnahme auf **Fig.** 13 und **Fig.** 14 beschrieben. **Fig.** 13 ist ein Diagramm, das eine schematische Konfiguration einer Pumpvorrichtung 1B gemäß Ausführungsform 4 veranschaulicht. **Fig.** 14 ist ein Diagramm, das eine Selbsterregungsschaltung 91 einer Antriebseinheit 7B der Pumpvorrichtung 1B gemäß Ausführungsform 4 veranschaulicht.

[0075] In Ausführungsform 1 wird die Pumpvorrichtung 1 als eine Unterdruckpumpe verwendet, während der Behälter 11 mit der zweiten piezoelektrischen Pumpe 5 verbunden ist, die Pumpvorrichtung ist jedoch nicht auf einen derartigen Fall beschränkt. Beispielsweise kann anstelle des Behälters 11 ein Druckbeaufschlagungszielobjekt, wie etwa eine Manschette, mit der Austrittsöffnung 3b der ersten piezoelektrischen Pumpe 3 verbunden werden und die Pumpvorrichtung kann als eine Druckbeaufschlagungspumpe verwendet werden. Beispiele eines Druckhalters, der als die Druckbeaufschlagungspumpe verwendet wird, schließen einen pMDI, einen Sphygmomanometer, einen Zerstäuber und Ähnliches ein. Es ist zu beachten, dass die Pumpvorrichtung 1B gemäß Ausführungsform 4 als ein Zerstäuber beschrieben wird, bei dem es sich um eine Ansaugpumpvorrichtung handelt.

[0076] Die Pumpvorrichtung 1 gemäß Ausführungsform 1 regelt den durch die erste piezoelektrische Pumpe 3 und die zweite piezoelektrische Pumpe 5 fließenden Strom unter Verwendung der Steuereinheit 15. In einem Fall, in dem die Pumpvorrichtung 1 eine Druckbeaufschlagungsvorrichtung ist, kann die Steuereinheit 15 in Ausführungsform 1 die Spannung Vc, die der ersten Antriebseinheit 7a zugeführt wird, die die erste piezoelektrische Pumpe 3 auf der stromaufwärts gelegenen Seite ansteuert, steigern, um verhältnismäßig höher zu sein als die Spannung Vc, die der zweiten Antriebseinheit 7b zugeführt wird, die die zweite piezoelektrische Pumpe 5 auf der stromabwärts gelegenen Seite ansteuert. Da wiederum die Pumpvorrichtung 1B gemäß Ausführungsform 4 mit der Selbsterregungsschaltung 91 in der Antriebseinheit 7B bereitgestellt wird, bestimmt die Antriebseinheit 7B Ansteuerungsfrequenzen, die für jede der piezoelektrischen Pumpen 3 und 5 geeignet sind.

[0077] Die Pumpvorrichtung 1B gemäß Ausführungsform 4 weist die gleichen Komponenten auf wie jene der Pumpvorrichtung 1 gemäß Ausführungsform 1. Daher ist die Konfiguration der Pumpvorrichtung 1B gemäß Ausführungsform 4 gleich wie die der Pumpvorrichtung 1 gemäß Ausführungsform 1, mit Ausnahme der nachfolgend beschriebenen Inhalte.

[0078] Die Pumpvorrichtung 1B weist die erste piezoelektrische Pumpe 3, die zweite piezoelektrische Pumpe 5, die Antriebseinheit 7B, die Stromversorgungseinheit 8 und eine Strombegrenzungseinheit 17 auf.

[0079] Die Stromversorgungseinheit 8 aus Ausführungsform 4 ist eine Stromversorgungsschaltung,

die die Strombegrenzungseinheit 17 mit Strom versorgt. Die Strombegrenzungseinheit 17 wird mit Strom von der Stromversorgungseinheit 8 versorgt und begrenzt den der Antriebseinheit 7B zugeführten Strom. Die Strombegrenzungseinheit 17 weist eine erste Strombegrenzungseinheit 17a, die den einer ersten Antriebseinheit 7Ba zugeführten Strom begrenzt, und eine zweite Strombegrenzungseinheit 17b, die den einer zweiten Antriebseinheit 7Bb zugeführten Strom begrenzt, auf. Die erste Stromversorgungseinheit 8a versorgt die erste Strombegrenzungseinheit 17a mit Strom und die zweite Stromversorgungseinheit 8b versorgt die zweite Strombegrenzungseinheit 17b mit Strom.

[0080] Die Austrittsöffnung 5b der zweiten piezoelektrischen Pumpe 5 steht über ein Rohr 33 mit einem Tank 31 für chemische Flüssigkeit in Verbindung. Ein Endabschnitt auf der stromaufwärts gelegenen Seite eines Rohrs 9B, der mit der Saugöffnung 3a der ersten piezoelektrischen Pumpe 3 verbunden ist, ist zur Umgebung hin offen. Luft wird von einem offenen Ende des Rohrs 9B zur ersten piezoelektrischen Pumpe 3 angesaugt und über das Rohr 10 weiter in die zweite piezoelektrische Pumpe 5 gesaugt. Die Austrittsöffnung 5b der zweiten piezoelektrischen Pumpe 5 und eine Düse 35 sind mit dem dazwischen angeordneten Rohr 33 miteinander verbunden. Die aus der Austrittsöffnung 5b der zweiten piezoelektrischen Pumpe 5 ausgetretene Luft wird mit einer chemischen Flüssigkeit in dem Tank 31 für chemische Flüssigkeit vermischt und die Druckluft, die die chemische Flüssigkeit enthält, wird aus der Düse 35 in die Umgebung abgeführt.

[0081] Die Antriebseinheit 7B weist die Selbsterregungsschaltung 91 auf. Die Selbsterregungsschaltung 91 weist eine erste Differenzverstärkerschaltung 91a, eine zweite Differenzverstärkerschaltung 91b, einen Strommessteil 91c, eine dritte Differenzverstärkerschaltung 91d, einen aktiven Bandfilter 91e, die Zwischenpotentialerzeugungsschaltung 81f und eine H-Brückenschaltung 91g auf.

[0082] Ein Widerstand R29 des Strommessteils 91c ist mit den Piezoelementen der ersten piezoelektrischen Pumpe 3 und der zweiten piezoelektrischen Pumpe 5 in Reihe geschaltet. Beide Enden des Widerstands R29 sind mit Eingangsklemmen der dritten Differenzverstärkerschaltung 91d verbunden. Die dritte Differenzverstärkerschaltung 91d verstärkt die Spannung am Widerstand R29, die durch den durch das Piezoelement fließenden Ansteuerungsstrom erzeugt wird, differenziell und gibt ein Spannungssignal aus.

[0083] Eine Ausgangsklemme der dritten Differenzverstärkerschaltung 91d ist mit einer Eingangsklemme des aktiven Bandfilters 91e verbunden. Der aktive Bandfilter 91e verstärkt das Eingangsspannungssignal mit einer vorgegebenen Steigerung und gibt das verstärkte Signal aus. Ein Durchlassbereich eines Bandpassfilters im aktiven Bandfilter 91e ist so eingestellt, dass eine Resonanzfrequenz eines vorgegebenen Schwingungsmodi des Piezoelements innerhalb des Durchlassbereichs liegt, um die Frequenz der piezoelektrischen Pumpe weiter zu stabilisieren.

[0084] Eine Ausgangsklemme des aktiven Bandfilters 91e ist mit einer Eingangsklemme der ersten Differenzverstärkerschaltung 91a und mit einer Eingangsklemme der zweiten Differenzverstärkerschaltung 91b verbunden. Die zweite Differenzverstärkerschaltung 91b ist eine Umkehrverstärkerschaltung. Eine Ausgangsklemme der ersten Differenzverstärkerschaltung 91a ist mit einem Eingangskanal Fin der H-Brückenschaltung 91g verbunden. Eine Ausgangsklemme der zweiten Differenzverstärkerschaltung 91b ist mit einem Eingangskanal Rin der H-Brückenschaltung 91g verbunden.

[0085] Die erste Differenzverstärkerschaltung 91a erzeugt ein erstes Ansteuersignal auf der Grundlage der Gleichstromversorgungsspannung Vc, die über die Strombegrenzungseinheit 17 von der Stromversorgungseinheit 8 ausgegeben wird. Ein Ausgangssignal der ersten Differenzverstärkerschaltung 91a ist eine Rechteckwelle mit einem Tastverhältnis von 50 %.

[0086] Die zweite Differenzverstärkerschaltung 91b erzeugt ein zweites Ansteuersignal auf der Grundlage der Gleichstromversorgungsspannung Vc, die über die Strombegrenzungseinheit 17 von der Stromversorgungseinheit 8 ausgegeben wird. Ein Ausgangssignal der zweiten Differenzverstärkerschaltung 91b ist eine Rechteckwelle mit einem Tastverhältnis von 50 %, deren Phase bezogen auf das Ausgangssignal der ersten Differenzverstärkerschaltung 91a umgekehrt ist.

[0087] Die H-Brückenschaltung 91g ist ein IC-Chip, der die gleiche Funktion hat wie die H-Brückenschaltung der Antriebseinheit 7 aus Ausführungsform 1. Obwohl nicht veranschaulicht, weist die H-Brückenschaltung 91g den ersten FET 61 bis zu dem vierten FET 64 darin auf. Der Ausgang der ersten Differenzverstärkerschaltung 91a und der Ausgang der zweiten Differenzverstärkerschaltung 91b dienen als Ansteuersignale an den ersten FET 61 bis zu dem vierten FET 64 der H-Brückenschaltung 91g. Der erste FET 61 bis zu dem vierten FET 64 sind durch diese Ansteuersignale jeweils schaltgetrieben und der Ausgang der H-Brückenschaltung 91g wird sowohl an die obere Seite als auch die untere Seite der piezoelektrischen Pumpen 3 und 5 auf die gleiche Weise wie in Ausführungsform 1 eingegeben, sodass Ströme mit entgegengesetzten Phasen in

der oberen Seite und der unteren Seite der piezoelektrischen Pumpen 3 und 5 fließen.

[0088] Es ist zu beachten, dass der Durchlassbereich des Bandpassfilters im aktiven Bandfilter 91e derart sein kann, dass die Resonanzfrequenz in dem vorgegebenen Schwingungsmodus des Piezoelements außerhalb des Durchlassbereichs liegt. Darüber hinaus können die Ausgangssignale der ersten Differenzverstärkerschaltung 91a und der zweiten Differenzverstärkerschaltung 91b Rechteckwellen mit einem Tastverhältnis außer 50 % sein, um das Tastverhältnis der piezoelektrischen Pumpe zu variieren.

[0089] Die Konfiguration der Strombegrenzungseinheit 17 wird unter Bezugnahme auf **Fig.** 15 beschrieben. **Fig.** 15 ist ein Schaltplan einer Strombegrenzungseinheit gemäß Ausführungsform 4. Die Strombegrenzungseinheit 17 ist so eingestellt, dass sie bei oder unter der oberen Grenze des Ansteuerungsstromwerts I1, der durch die piezoelektrische Pumpe fließt, betrieben wird. Die Ausgangsspannung der Stromversorgungseinheit 8 ist auf eine Spannung eingestellt, bei der die piezoelektrische Pumpe ausreichend betrieben wird, selbst wenn sich die äußere und innere Umgebung, wie etwa die Temperatur der piezoelektrischen Pumpe und der Pumpendruck, verändern. Infolgedessen wird die piezoelektrische Pumpe geregelt, um mit einem konstanten Ansteuerungsstromwert betrieben zu werden. Im Folgenden wird eine ausführliche Beschreibung gegeben.

[0090] Eine Spannung Vg wird durch die Selbsterregungsschaltung 91 der Antriebseinheit 7B und Spannungsteilung der Strombegrenzungseinheit 17 bestimmt. Die Spannung Vg arbeitet linear bezogen auf die Ansteuerungsschaltungsspannung Vc und den Ansteuerungsstrom Ic, wenn die Spannung Vg einer Spannung, die durch einen Widerstand R32 und einen Transistor Q12 bestimmt wird, entspricht oder geringer als diese ist. Wenn der Ansteuerungsstrom Ic steigt und der durch den Widerstand R32 fließende Strom steigt, wird die Spannung am Widerstand R32 auf EIN zwischen einer Basis und einem Emitter des Transistors Q12 umgekehrt.

[0091] Beispielsweise, wenn die Spannung gleich oder größer als 0,6 V wird, nimmt eine Basisspannung eines Transistors Q11 ab und der Transistor Q11 wird vorübergehend ausgeschaltet. Infolgedessen wird der Ansteuerungsstrom Ic null, jedoch nähert sich zu diesem Zeitpunkt die Basisspannung des Transistors Q11 der Ansteuerungsschaltungsspannung Vc an, sodass der Transistor Q11 eingeschaltet wird und der Ansteuerungsstrom Ic erneut fließt. Indem diese Vorgänge wiederholt werden, arbeitet der Ansteuerungsstrom Ic linear bis zur Nähe des Stroms Io, der durch den Transistor Q12 und den Widerstand R32 bestimmt wird, arbeitet jedoch als eine Strombegrenzungsschaltung, bei der kein Strom gleich oder größer als Io fließt. Es ist zu beachten, dass die Transistoren Q11 und Q12 der Strombegrenzungseinheit 17 bipolare Transistoren oder FETs sein können.

[0092] Zu Beginn des Ansteuerns der piezoelektrischen Pumpen 3 und 5 haben die erste Antriebseinheit 7Ba auf der stromaufwärts gelegenen Seite und die zweite Antriebseinheit 7Bb auf der stromabwärts gelegenen Seite die Ansteuerungsschaltungsspannung Vc gemeinsam. Nach dem Ansteuern wird die Ansteuerungsschaltungsspannung Vc der piezoelektrischen Pumpe 5 auf der stromabwärts gelegenen Seite erhöht, bis der durch die piezoelektrische Pumpe 3 fließende Ansteuerungsstrom Ic auf der stromaufwärts gelegenen Seite erreicht ist. Das Verhältnis zwischen der Stromversorgungseinheit 8 und der Antriebseinheit 7B muss nicht 1 : 1 betragen. Es kann beispielsweise ein Dämpfungsglied verwendet werden.

[0093] Selbst wenn die erste piezoelektrische Pumpe 3 und die zweite piezoelektrische Pumpe 5 angesteuert werden und der Pumpendruck der zweiten piezoelektrischen Pumpe 5 auf der stromabwärts gelegenen Seite höher wird als der Pumpendruck der ersten piezoelektrischen Pumpe 3, da die Eingangsleistung der zweiten piezoelektrischen Pumpe 5 größer ist als die Eingangsleistung der ersten piezoelektrischen Pumpe 3, kann die Amplitude des Piezoelements der zweiten piezoelektrischen Pumpe 5 auch mit dieser Konfiguration der Pumpvorrichtung 1B gemäß Ausführungsform 4, ähnlich der Pumpvorrichtung 1 gemäß Ausführungsform 1, an die Amplitude des Piezoelements der ersten piezoelektrischen Pumpe 3 angenähert werden. Daher kann der Wirkungsgrad der in Reihe geschalteten piezoelektrischen Pumpen 3 und 5 verbessert werden.

[0094] In der oben beschriebenen Ausführungsform wurde der Fall beschrieben, in dem zwei piezoelektrische Pumpen der ersten piezoelektrischen Pumpe 3 und der zweiten piezoelektrischen Pumpe 5 bereitgestellt werden, jedoch können auch drei oder mehr piezoelektrische Pumpen bereitgestellt werden. In diesem Fall, wenn die Eingangsleistung beliebiger benachbarter piezoelektrischer Pumpe unter den mehreren piezoelektrischen Pumpen eingestellt ist, auf der stromabwärts gelegenen Seite größer zu sein als auf der stromaufwärts gelegenen Seite, kann die gleiche Wirkung erzielt werden. In diesem Fall ist es nicht notwendig, die Eingangsleistung aller benachbarten piezoelektrischen Pumpen auf diese Weise einzustellen, und wenn die Eingangsleistung von wenigstens zwei benachbarten piezoelektrischen Pumpen wie oben beschrieben eingestellt ist, kann die gleiche Wirkung erzielt werden.

[0095] Darüber hinaus wurde in der oben beschriebenen Ausführungsform der Fall beschrieben, in dem die gemeinsame Steuereinheit 15 der ersten Antriebseinheit 7a und der zweiten Antriebseinheit 7b zugeordnet ist. Die Steuereinheit 15 kann allerdings auch sowohl für die erste Antriebseinheit 7a als auch die zweite Antriebseinheit 7b getrennt bereitgestellt werden.

[0096] Darüber hinaus kann in jeder der oben beschriebenen Ausführungsformen die Ansteuerungsspannung einen geeigneten Spannungsunterschied haben, selbst zu Beginn des Ansteuerns gemäß der Schwankung oder dem Zustand der piezoelektrischen Pumpe.

[0097] Die vorliegende Erfindung ist für eine Pumpvorrichtung unter Verwendung eines Piezoelements nutzbar.

Liste der Bezugszeichen

1	PUMPVORRICHTUNG
3	ERSTE PIEZOELEKTRISCHE PUMPE
3a	SAUGÖFFNUNG
3b	AUSTRITTSÖFFNUNG
5	ZWEITE PIEZOELEKTRISCHE PUMPE
5a	SAUGÖFFNUNG
5b	AUSTRITTSÖFFNUNG
7, 7A	ANTRIEBSEINHEIT
7a	ERSTE ANTRIEBSEINHEIT
7b	ZWEITE ANTRIEBSEINHEIT
8	STROMVERSORGUNGSEINHEIT
8a	ERSTE STROMVERSORGUNGS-EINHEIT
8b	ZWEITE STROMVERSORGUNGS-EINHEIT
9	ROHR
10	ROHR
11	BEHÄLTER
13	SPANNUNGSERFASSUNGS-SCHALTUNG
15	STEUEREINHEIT
17	STROMBEGRENZUNGSEINHEIT
17a	ERSTE STROMBEGRENZUNGS-EINHEIT
17b	ZWEITE STROMBEGRENZUNGS-EINHEIT
31	TANK FÜR CHEMISCHE FLÜSSIG-KEIT
33	ROHR
35	DÜSE
81	SELBSTERREGUNGSSCHALTUNG
91	SELBSTERREGUNGSSCHALTUNG

Patentansprüche

1. Pumpvorrichtung (1), welche aufweist:
eine erste piezoelektrische Pumpe (3);
eine zweite piezoelektrische Pumpe (5), die mit der ersten piezoelektrischen Pumpe (3) auf einer stromabwärts gelegenen Seite der ersten piezoelektrischen Pumpe (3) in Reihe geschaltet ist;
eine Antriebseinheit (7), die dazu konfiguriert ist, sowohl die erste piezoelektrische Pumpe (3) als auch die zweite piezoelektrische Pumpe (5) mit Eingangswechselstrom zu versorgen;
eine Steuereinheit (15), die dazu konfiguriert ist, die Eingangsleistung sowohl der ersten piezoelektrischen Pumpe (3) als auch der zweiten piezoelektrischen Pumpe (5) zu regeln; und
eine Stromversorgungseinheit (8), die dazu konfiguriert ist, die Antriebseinheit (7) mit Strom zu versorgen,
wobei die Steuereinheit (15) die Eingangsleistung der zweiten piezoelektrischen Pumpe (5) so einstellt, dass sie größer ist als die Eingangsleistung der ersten piezoelektrischen Pumpe (3).

2. Pumpvorrichtung (1) nach Anspruch 1,
wobei die Antriebseinheit (7) eine erste Antriebseinheit (7a), die die erste piezoelektrische Pumpe (3) mit Eingangswechselstrom versorgt, und eine zweite Antriebseinheit (7b), die die zweite piezoelektrische Pumpe (5) mit Eingangswechselstrom versorgt, aufweist und
die Steuereinheit (15) die von der Stromversorgungseinheit (8) zur zweiten Antriebseinheit (7b) gelieferte Leistung so einstellt, dass sie größer ist als die von der Stromversorgungseinheit (8) zur ersten Antriebseinheit (7a) gelieferte Leistung.

3. Pumpvorrichtung (1) nach Anspruch 2,
wobei eine erste Stromerfassungseinheit, die einen durch die erste Antriebseinheit (7a) fließenden Strom erfasst; und
eine zweite Stromerfassungseinheit, die einen durch die zweite Antriebseinheit (7b) fließenden Strom erfasst, enthalten sind, und
die Steuereinheit (15) der zweiten piezoelektrischen Pumpe (5) zugeführte Eingangsleistung regelt, so dass ein durch die zweite Stromerfassungseinheit erfasster Stromwert einem durch die erste Stromerfassungseinheit erfassten Stromwert angenähert wird.

4. Pumpvorrichtung (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei die Steuereinheit (15) ein Tastverhältnis einer Ansteuerungsspannung der zweiten piezoelektrischen Pumpe (5) regelt.

5. Pumpvorrichtung (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei die Steuereinheit (15) Ansteuerungsfrequenzen der ersten piezoelektrischen Pumpe (3) und der zweiten piezoelektrischen Pumpe (5) regelt.

6. Pumpvorrichtung (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei ein Stromverhältnis zwischen einem durch die erste piezoelektrische Pumpe (3) fließenden Strom und einem durch die zweite piezoelektrische Pumpe (5) fließenden Strom in einem Bereich von mindestens 0,8 und höchstens 1,2 liegt.

7. Pumpvorrichtung (1) nach Anspruch 2, wobei ein Stromverhältnis zwischen einem durch die erste Antriebseinheit (7a) fließenden Strom und einem durch die zweite Antriebseinheit (7b) fließenden Strom in einem Bereich von mindestens 0,8 und höchstens 1,2 liegt.

8. Pumpvorrichtung (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei ein Behälter (11), der mit einer Saugöffnung (3a) der ersten piezoelektrischen Pumpe (3) oder einer Austrittsöffnung (5b) der zweiten piezoelektrischen Pumpe (5) verbunden ist, enthalten ist.

Es folgen 11 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

FIG. 1

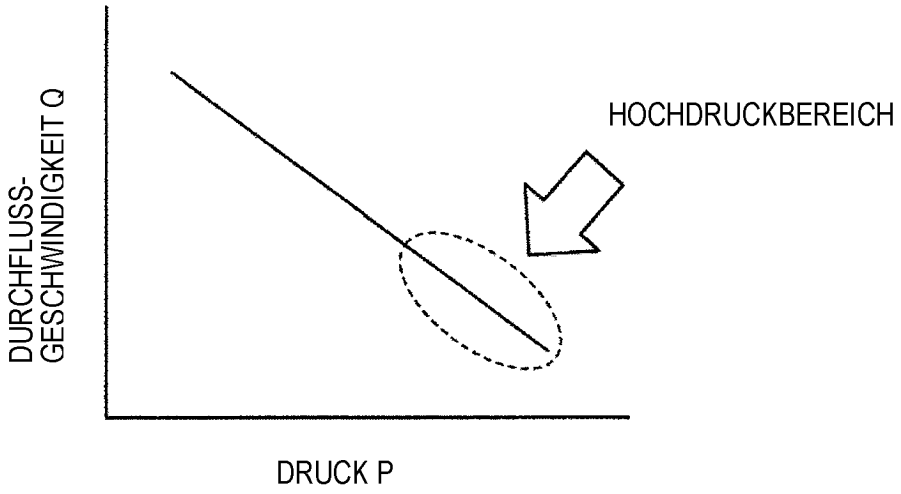


FIG. 2

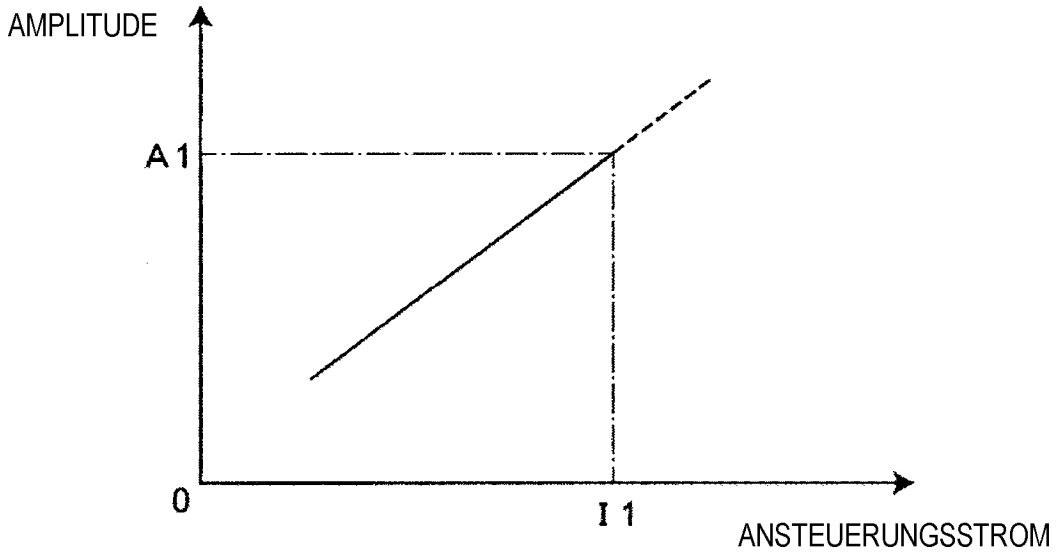


FIG. 3

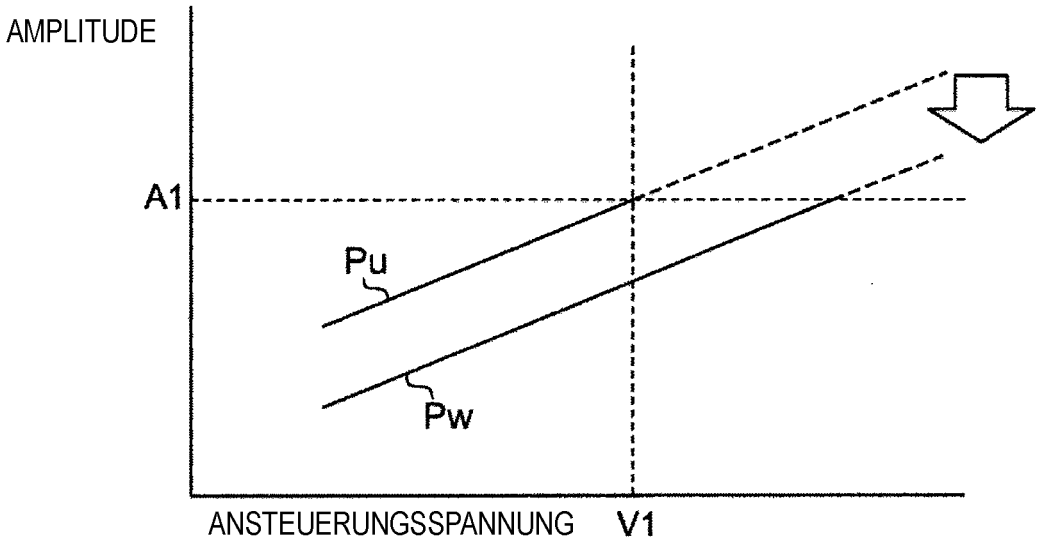

AMPLITUDE
A1
Pu
Pw
ANSTEUERUNGSSPANNUNG
V1

FIG. 4

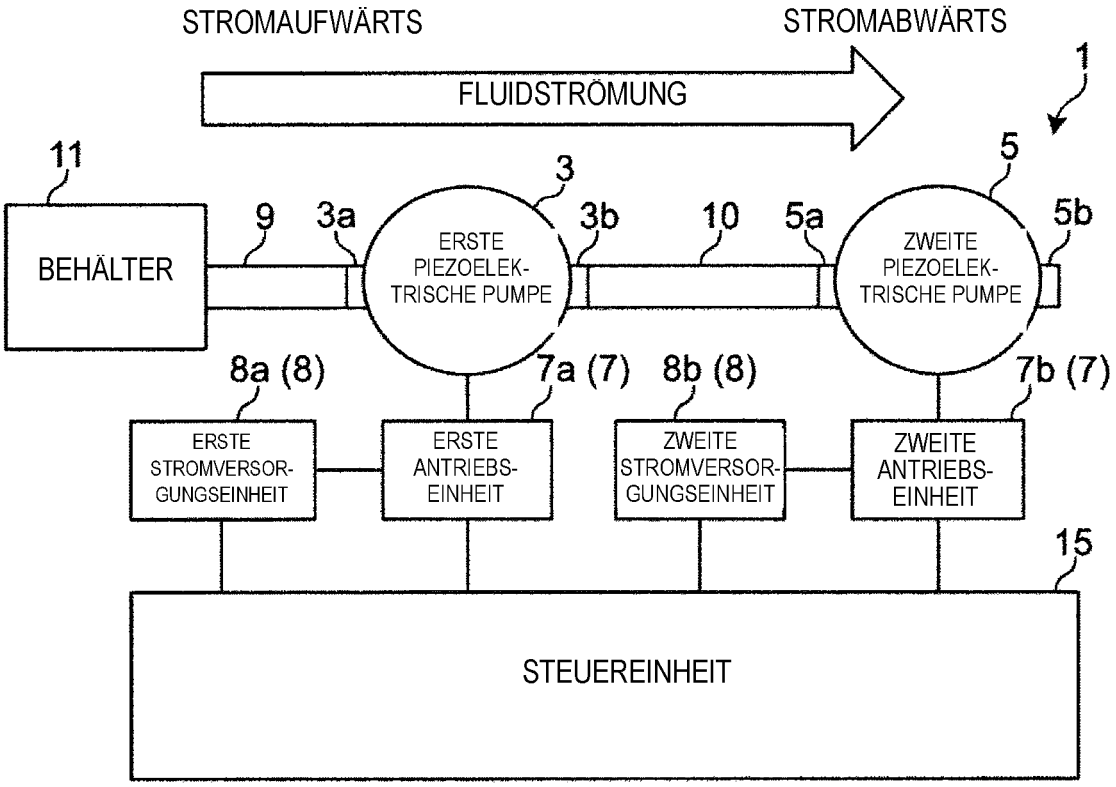

STROMAUFWÄRTS
STROMABWÄRTS
FLUIDSTRÖMUNG
1
11
BEHÄLTER
9
3a
3
ERSTE PIEZOELEK-TRISCHE PUMPE
3b
10
5a
5
ZWEITE PIEZOELEK-TRISCHE PUMPE
5b
8a (8)
7a (7)
8b (8)
7b (7)
ERSTE STROMVERSOR-GUNGSEINHEIT
ERSTE ANTRIEBS-EINHEIT
ZWEITE STROMVERSOR-GUNGSEINHEIT
ZWEITE ANTRIEBS-EINHEIT
15
STEUEREINHEIT

FIG. 5

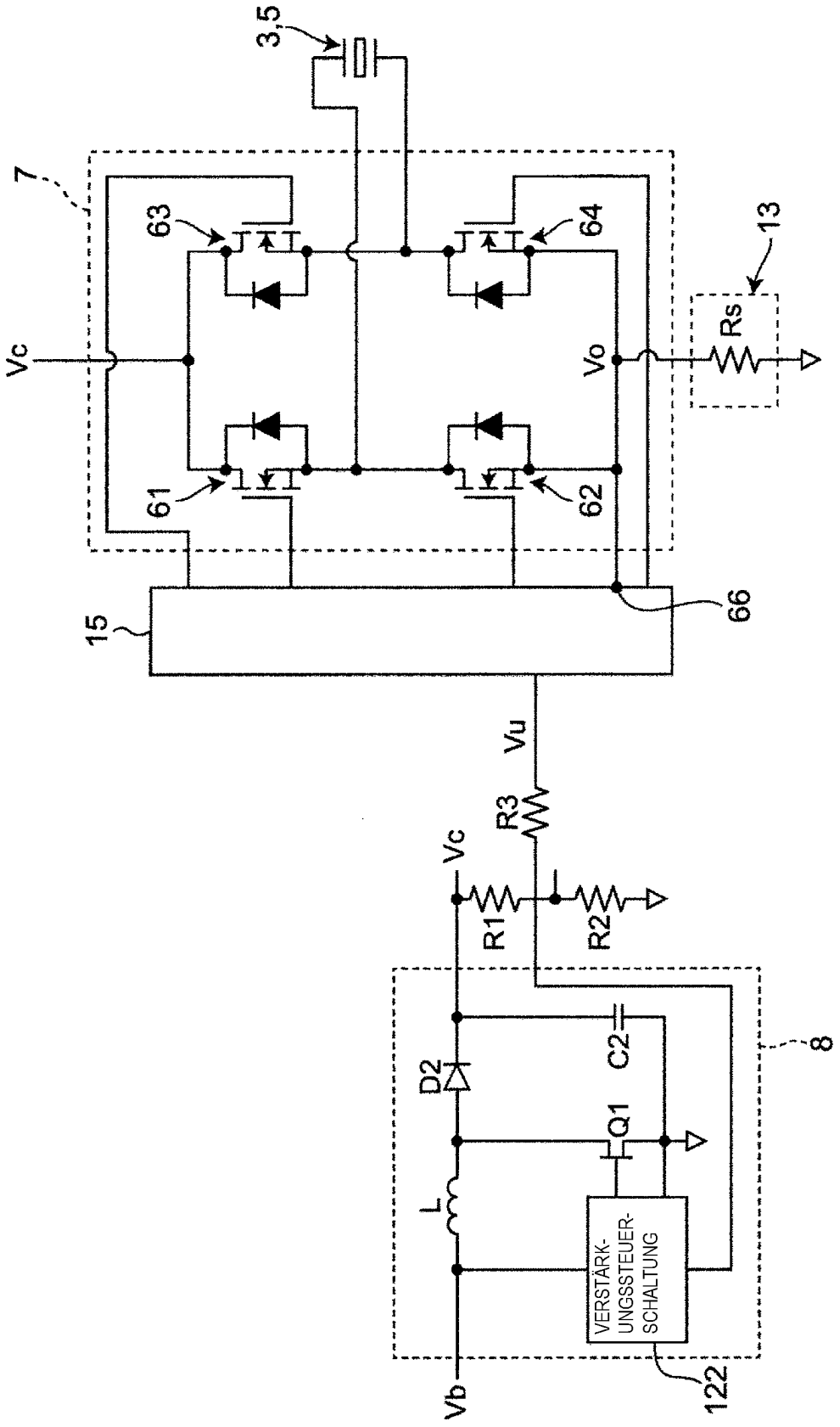

3,5
7
63
64
13
Rs
Vc
Vo
61
62
15
66
Vu
R3
Vc
R1
R2
8
C2
D2
Q1
L
VERSTÄRK-
UNGSSTEUER-
SCHALTUNG
Vb
122

FIG. 6

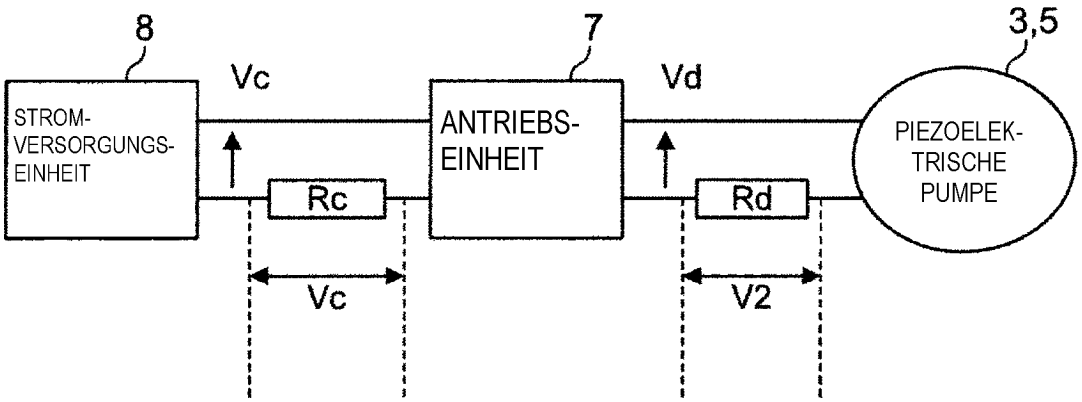

8
7
3,5
Vc
Vd
STROM-
VERSORGUNGS-
EINHEIT
ANTRIEBS-
EINHEIT
PIEZOELEK-
TRISCHE
PUMPE
Rc
Rd
Vc
V2

FIG. 7

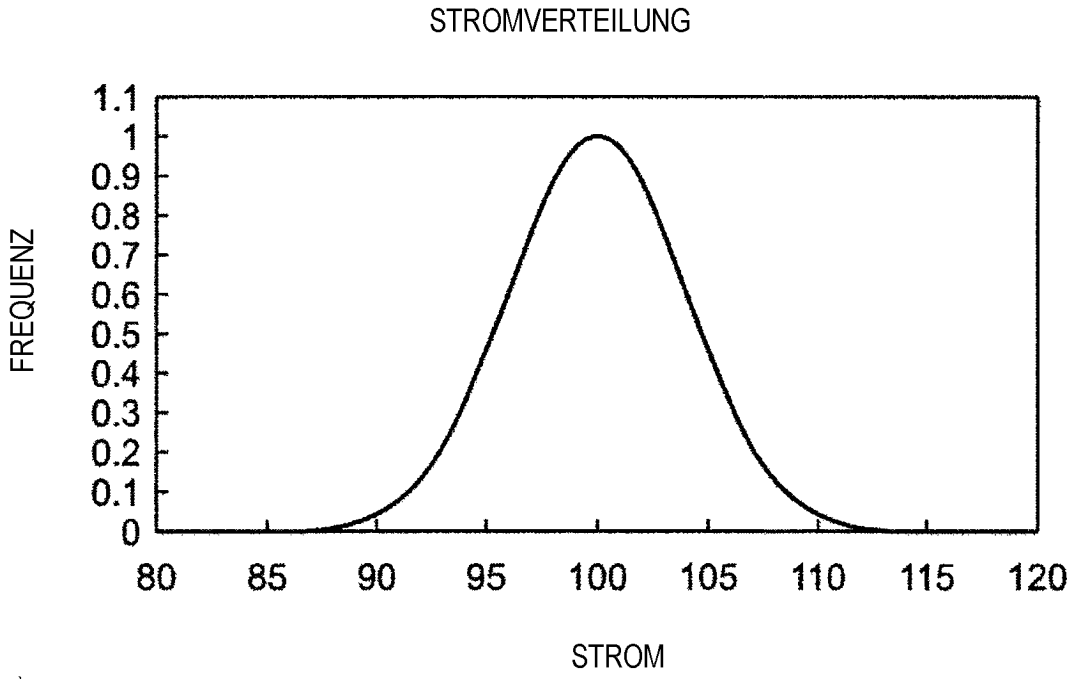

STROMVERTEILUNG
FREQUENZ
1.1
1
0.9
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0
80
85
90
95
100
105
110
115
120
STROM

FIG. 8

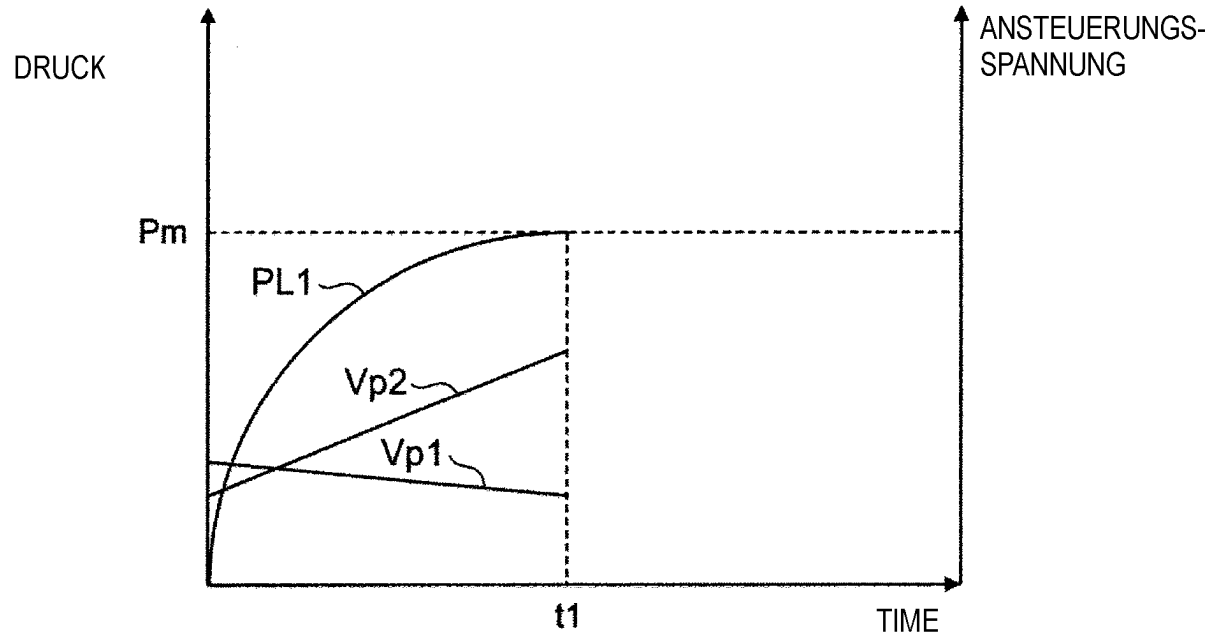

DRUCK
ANSTEUERUNGS-
SPANNUNG
Pm
PL1
Vp2
Vp1
t1
TIME

FIG. 9

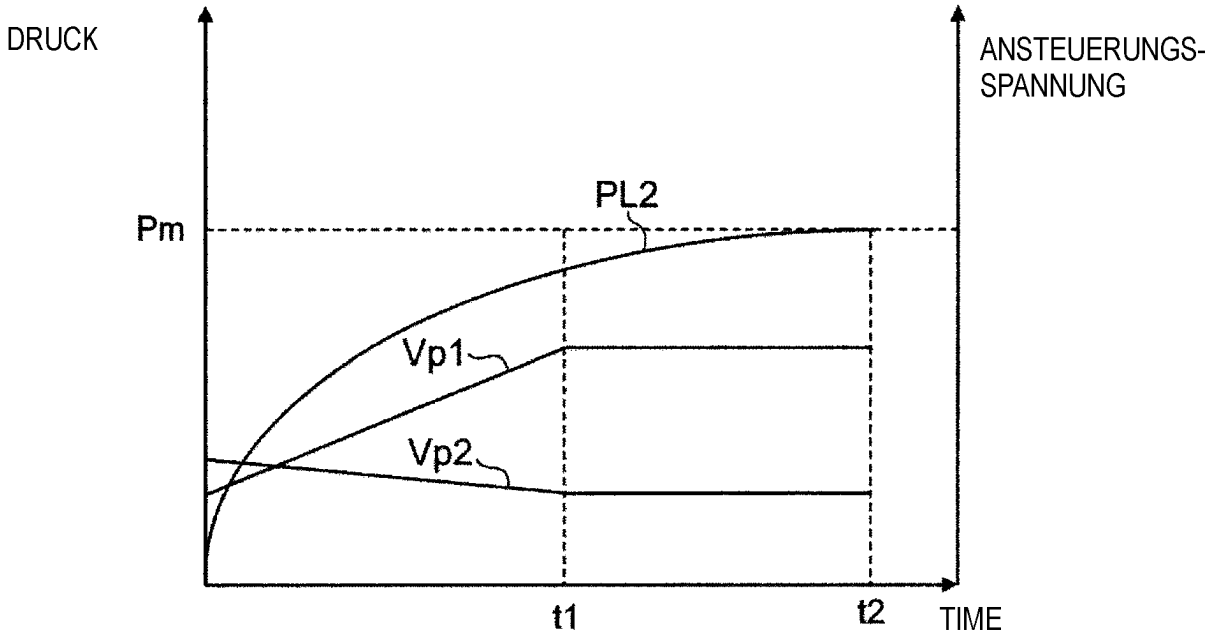

DRUCK
ANSTEUERUNGS-
SPANNUNG
PL2
Pm
Vp1
Vp2
t1
t2
TIME

FIG. 10

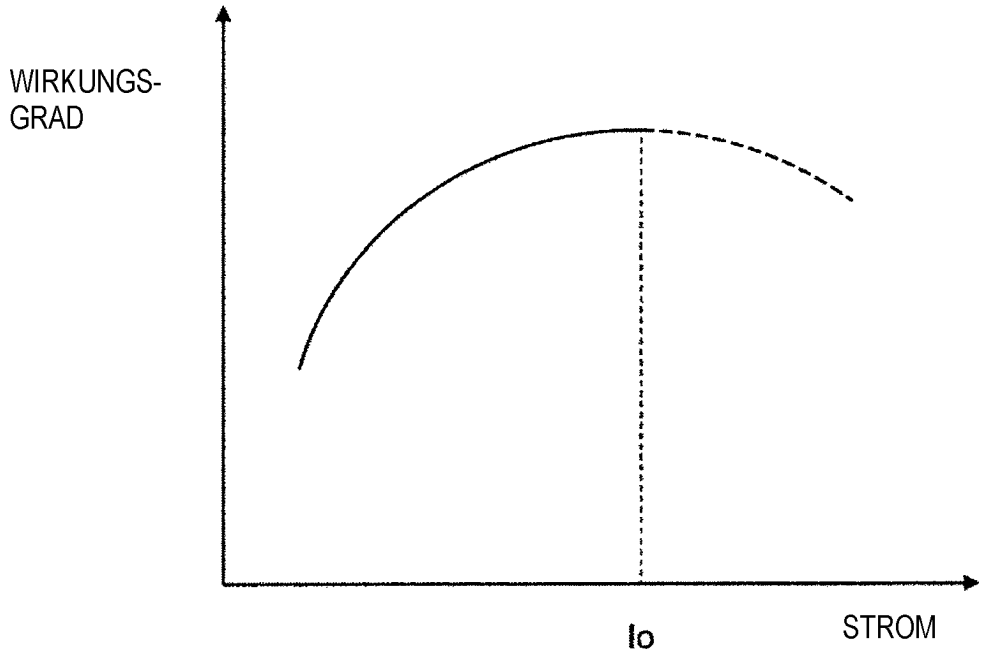


FIG. 11

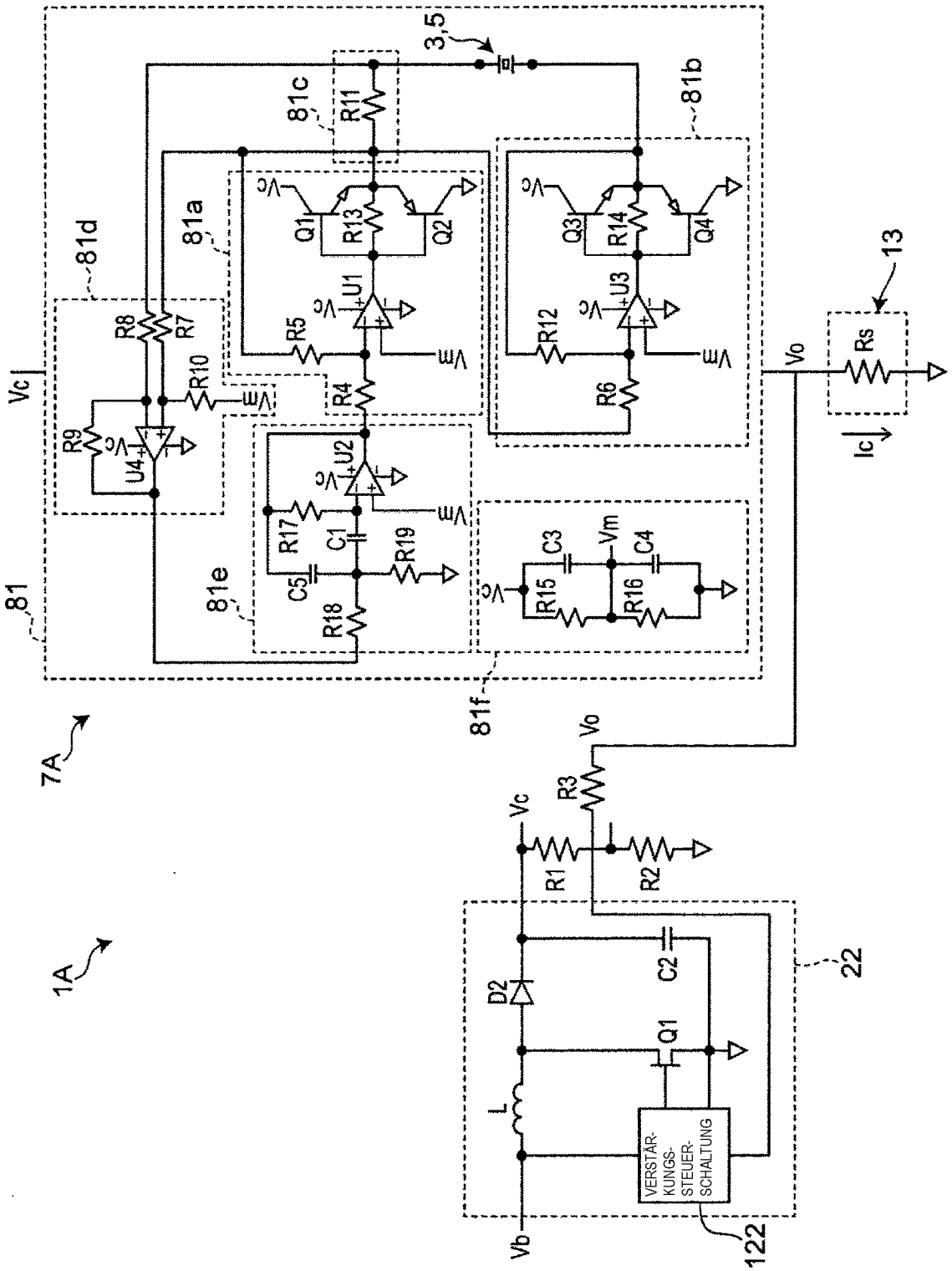

3,5
81c
R11
81b
81a
81d
Q1
R13
Q2
Q3
R14
Q4
U1
U3
R5
R12
R8
R7
R10
R4
R6
R9
U4
U2
R17
C1
R19
C5
R18
81e
C3
Vm
C4
R15
R16
81
81f
13
Rs
Vo
Ic
Vc
7A
1A
R3
R1
R2
22
D2
C2
Q1
L
VERSTÄR-
KUNGS-
STEUER-
SCHALTUNG
Vb
122

FIG. 12

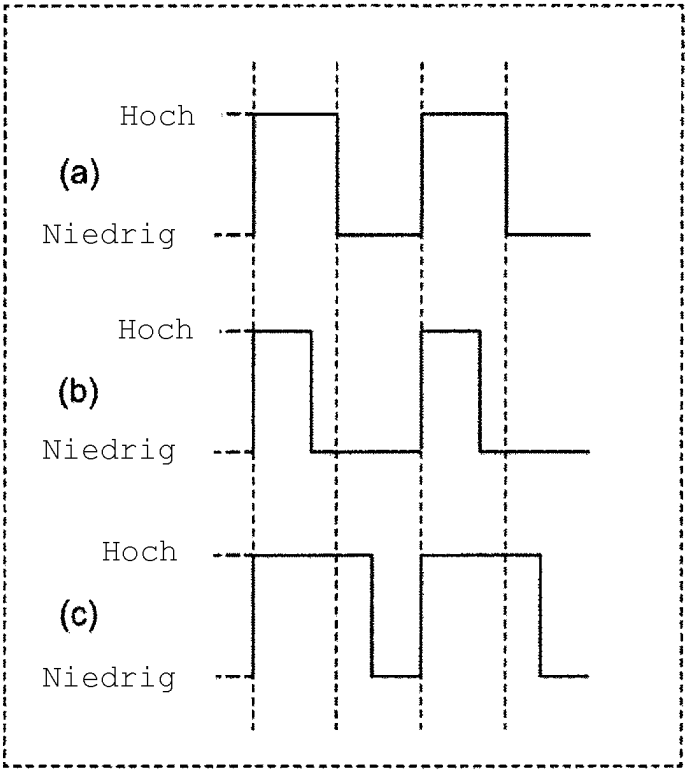


FIG. 13

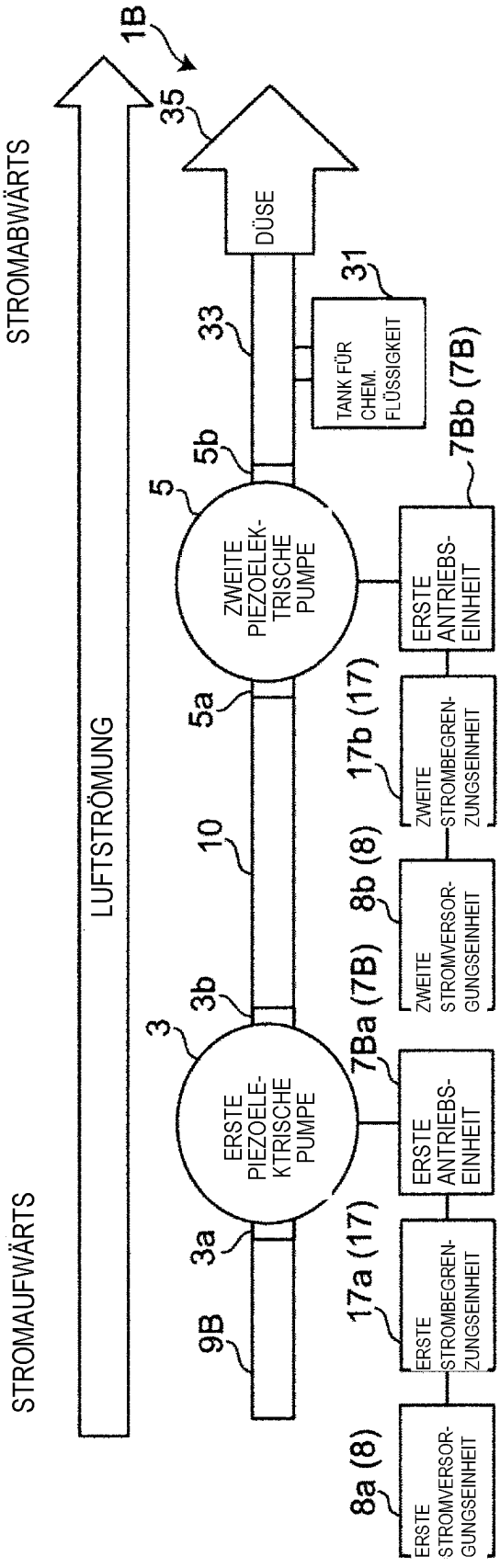

1B
35
DÜSE
31
TANK FÜR CHEM. FLÜSSIGKEIT
33
5b
5
ZWEITE PIEZOELEK-TRISCHE PUMPE
7Bb (7B)
ERSTE ANTRIEBS-EINHEIT
5a
17b (17)
ZWEITE STROMBEGREN-ZUNGSEINHEIT
10
8b (8)
ZWEITE STROMVERSOR-GUNGSEINHEIT
3b
3
ERSTE PIEZOELE-KTRISCHE PUMPE
7Ba (7B)
ERSTE ANTRIEBS-EINHEIT
3a
17a (17)
ERSTE STROMBEGREN-ZUNGSEINHEIT
9B
8a (8)
ERSTE STROMVERSOR-GUNGSEINHEIT
STROMABWÄRTS
LUFTSTRÖMUNG
STROMAUFWÄRTS

FIG. 14

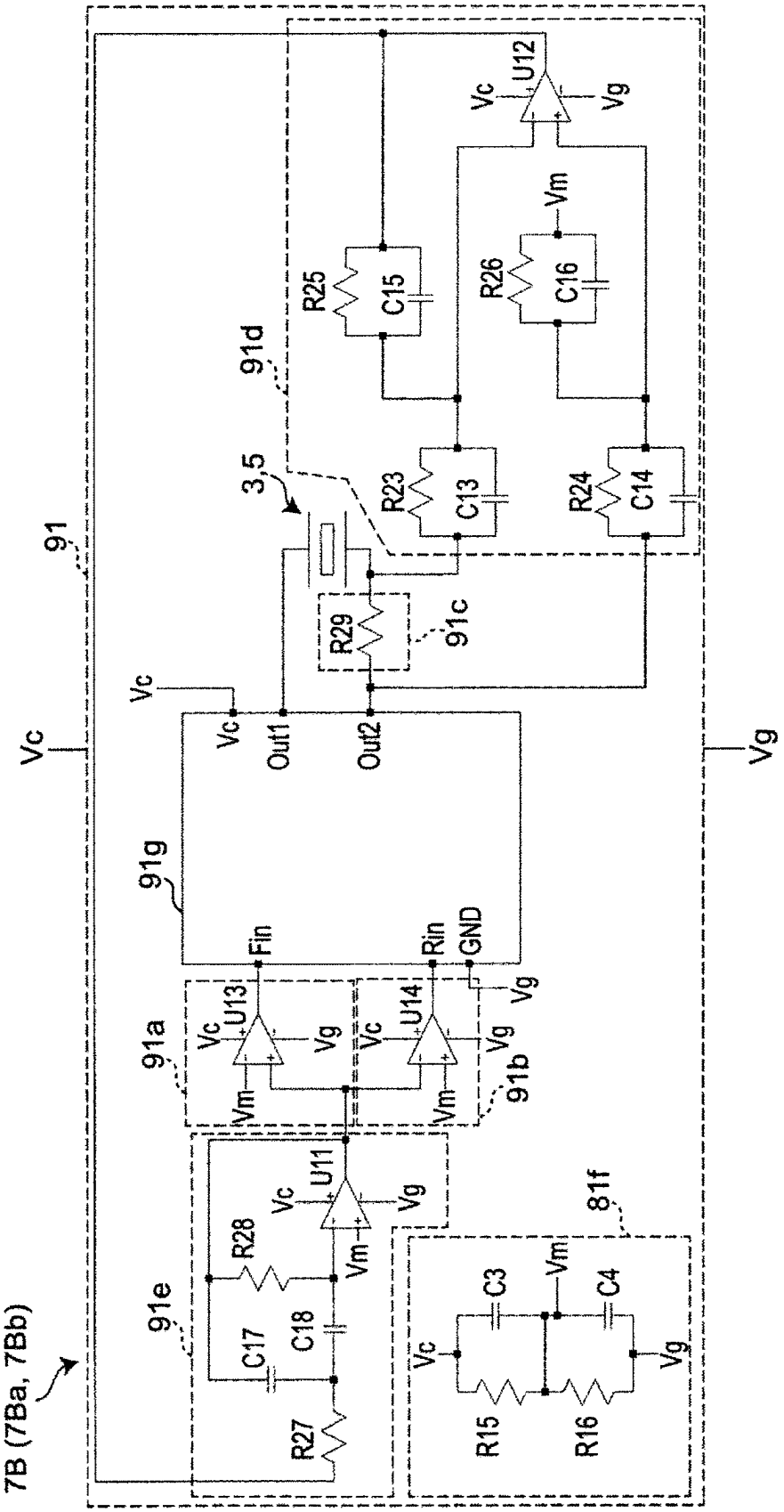
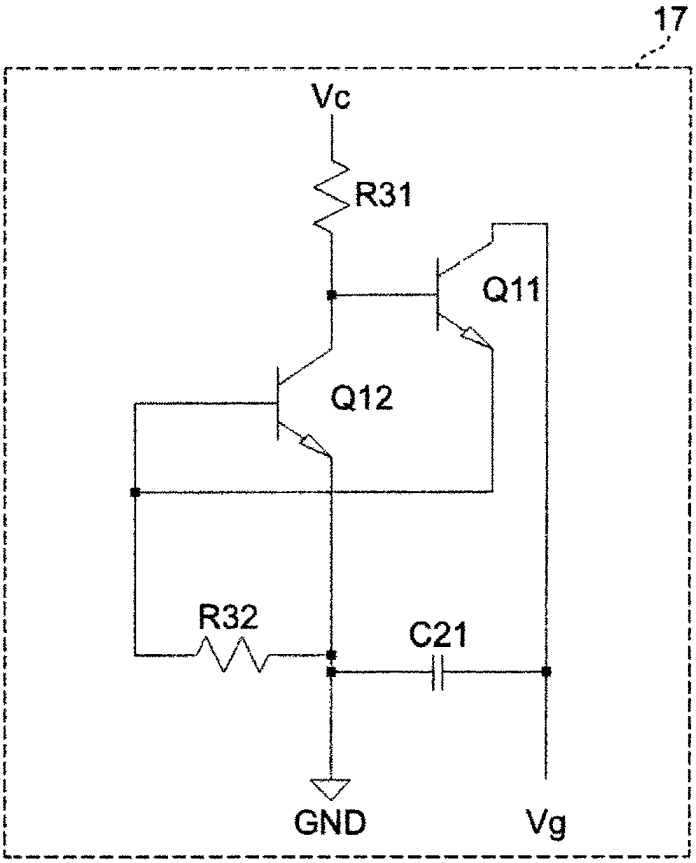

91
Vc
Vg
91d
3,5
R25
C15
R26
C16
R23
C13
R24
C14
U12
Vm
R29
91c
Out1
Out2
91g
Fin
Rin
GND
91a
91b
U13
U14
U11
91e
R28
C17
C18
R27
81f
C3
C4
R15
R16
7B (7Ba, 7Bb)

FIG. 15



 Das Dokument wurde durch die Firma Luminess hergestellt.