

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
27. November 2008 (27.11.2008)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2008/141908 A2

(51) Internationale Patentklassifikation:

H02N 2/14 (2006.01) *H01L 41/09* (2006.01)
H01L 41/04 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2008/055431

(22) Internationales Anmeldedatum:
2. Mai 2008 (02.05.2008)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2007 023 546.3 21. Mai 2007 (21.05.2007) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT [DE/DE];
Wittelsbacherplatz 2, 80333 München (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): GOTTLIB, Bernhard [DE/DE]; Elfenstr. 16, 81739 München (DE).
KAPPEL, Andreas [DE/DE]; Zugspitzstr. 7, 85649

Brunthal (DE). **ROLDAN GOMEZ, Juan Manuel** [ES/ES]; C/San Rafael 7, E-18100 Armilla (Granada) (ES). **SCHWEBEL, Tim** [DE/DE]; Lindwurmstr. 100, 80337 München (DE). **WALLENHAUER, Carsten** [DE/DE]; Goetheplatz 11, 01987 Schwarzheide (DE).

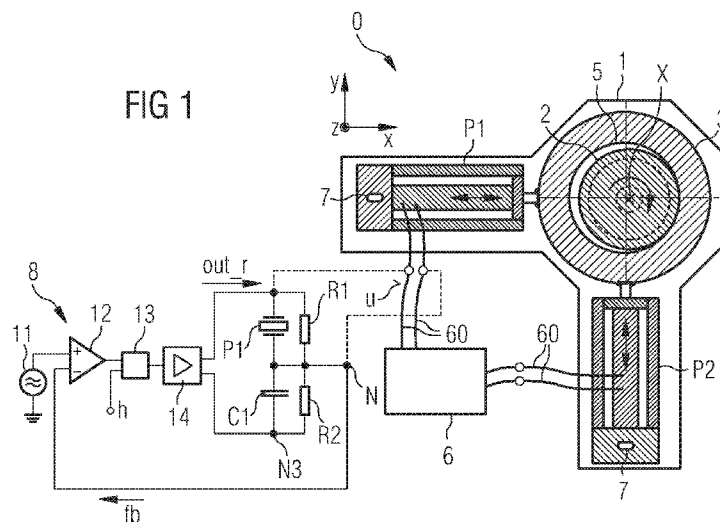
(74) Gemeinsamer Vertreter: SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT; Postfach 22 16 34, 80506 München (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: CIRCUIT FOR CONTROLLING AT LEAST ONE SOLID STATE ACTUATOR OF A SOLID STATE ACTUATOR DRIVE DEVICE

(54) Bezeichnung: SCHALTUNG ZUM REGELN ZUMINDEST EINES FESTKÖRPERAKTORS EINER FESTKÖRPERAKTOR-ANTRIEBSVORRICHTUNG



(57) Abstract: The invention relates to a circuit for controlling at least one solid-state actuator (P1) of a solid-state drive device comprising, in a control loop, the at least one solid state actuator (P1), an amplifier arrangement (12, 14*) for applying a control signal (out_r) to the at least one solid-state actuator (P1), a capacitive voltage divider having the at least one solid-state actuator (P1) and a capacitive component connected in series, and a resistive voltage divider having at least one first and one second resistor (R1, R2) connected in series, a common circuit node (N) being connected between the at least one solid-state actuator (P1) and the capacitive component and between the first and the second of the resistors (R1, R2) and electrically interconnecting them, and the common circuit node (N) providing a feedback signal (fb) as the control variable for the amplifier arrangement (12, 14*).

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2008/141908 A2



(84) **Bestimmungsstaaten** (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF,

BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts

(57) **Zusammenfassung:** Die Erfindung bezieht sich auf eine Schaltung zum Regeln zumindest eines Festkörperaktors (P1) einer Festkörperaktor-Antriebsvorrichtung mit in einer Regelschleife dem zumindest einen Festkörperaktor (P1), einer Verstärkeranordnung (12, 14*) zum Anlegen eines Ansteuersignals (out_r) an den zumindest einen Festkörperaktor (P1), einem kapazitiven Spannungsteiler, der in Reihe geschaltet den zumindest einen Festkörperaktor (P1) und eine kapazitive Komponente aufweist, und einem resistiven Spannungsteiler, der in Reihe geschaltet zumindest einen ersten und einen zweiten Widerstände (R1, R2) aufweist, wobei ein gemeinsamer Schaltungspunkt (N) sowohl zwischen den zumindest einen Festkörperaktor (P1) und die kapazitive Komponente als auch zwischen den ersten und den zweiten der Widerstände (R1, R2) geschaltet ist und diese elektrisch miteinander verbindet und wobei der gemeinsame Schaltungspunkt (N) ein Rückführungssignal (fb) als Regelgröße für die Verstärkeranordnung (12, 14*) bereitstellt.

Beschreibung

Schaltung zum Regeln zumindest eines Festkörperaktors einer Festkörperaktor-Antriebsvorrichtung

5

Die Erfindung bezieht sich auf eine Schaltung zum Regeln zumindest eines Festkörperaktors einer Festkörperaktor-Antriebsvorrichtung mit den oberbegrifflichen Merkmalen gemäß Patentanspruch 1.

10

Aus DE 199 52 946 A1 ist ein piezoelektrischer Antrieb bekannt, der auch als Piezoringmotor bezeichnet wird. Dieser bildet eine Form einer Festkörperaktor-Antriebsvorrichtung aus und besteht aus einem Gehäuse, welches weitere Komponenten aufnimmt. In dem Gehäuse ist mittels einer Lageranordnung eine Welle gelagert, wobei sich eine Wellenachse der Welle in axialer Richtung aus dem Gehäuse heraus erstreckt. Zum Versetzen der Welle um die Wellenachse in eine Wellenrotation dient eine Antriebsvorrichtung. Die Antriebsvorrichtung besteht im Wesentlichen aus vorzugsweise zwei oder mehr Festkörperaktoren und einem Antriebskörper, welcher über die Festkörperaktoren mechanisch steif mit einer Innenwandung des Gehäuses verbunden ist. Die Festkörperaktoren sind derart angeordnet, dass sie den Antriebskörper relativ zu dem Gehäuse in eine Translationsbewegung in einer Ebene senkrecht zur axialen Richtung versetzen. Der Antriebskörper weist eine Öffnung als Durchgangsöffnung auf. Durch die Öffnung führt die Welle hindurch, wobei der Außendurchmesser der Welle etwas geringer als der Innendurchmesser der Öffnung ist. Der Antriebskörper wird durch die Festkörperaktoren so verstellt, dass eine Wellen-Außenwandung mit einer Antriebskörper-Innenwandung so in Reib- und Formschluss steht, dass durch die Bewegung des Antriebskörpers die Welle in die Wellenrotation versetzt wird. Hinsichtlich der Ansteuerung sind der erste und der zweite der Festkörperaktoren in ihrer Wirkrichtung senkrecht zueinander in der Ebene senkrecht zur Rotationsachse der Welle angeordnet.

Zum Ansteuern der Festkörperaktoren dient eine Steuereinrichtung, welche über Leiter die einzelnen Festkörperaktoren mit Spannungen bzw. Ladungen ansteuert. Entsprechend der Spannungen bzw. Ladungen dehnen sich die Festkörperaktoren entsprechend aus bzw. ziehen sich gegebenenfalls zusammen. Festkörperaktor

Ein solcher Piezoringmotor zeichnet sich unter anderem durch ein hohes Drehmoment, eine hohe Stellgenauigkeit, eine flache Bauform und inhärente Sensoreigenschaften aus. Die Kombination dieser positiven Eigenschaften ist unter Stellantrieben einzigartig. Bisher war es jedoch nur unzureichend möglich, die Stellgenauigkeit aus der Kombination der piezoelektrischen Festkörperaktoren und der Kinematik voll nutzbar zu machen.

Eine analoge Leistungsendstufe zur Ansteuerung der Festkörperaktoren bietet eine ausgezeichnete Signalqualität ist jedoch nur spannungsgeregelt stabil zu betreiben. Spannungsgeregelte Festkörperaktoren wiesen eine starke Nichtlinearität zwischen Ansteuersignal und Auslenkung, eine Hysterese und Nachlaufen auf. Eine reine Ladungsregelung hingegen ist durch das integrale Verhalten bezüglich des Festkörperaktorstromes instabil. Ein ständiger Leckstrom oder durch Temperaturänderung generierte Ladung können den Festkörperaktor in einen unzulässigen Betriebsspannungsbereich verschieben.

Daher ist es notwendig eine Spannungsregelung übergeordnet zur Ladungsregelung anzuwenden. Ein solcher Aufbau ist regelungstechnisch sehr komplex.

Allgemein bekannt sind ladungsgeregelte Ansteuerungen von piezoelektrischen Festkörperaktoren durch Schaltnetzteilendstufen unter z.B. der Bezeichnung Buck-Boost, Sepic oder Fly-Back. Von Nachteil ist die diskontinuierliche Ansteuerung der Festkörperaktoren, die zu erhöhter Schallabstrahlung und Ungenauigkeiten in der Auslenkung des Festkörperaktors führt. Eine analoge oder hybride Ansteuerung bietet sehr gute Sig-

nalqualitäten, ist aber zumeist spannungsgeregelt ausgeführt. Bei Spannungsregelung kommt ein stark nichtlineares Verhalten der Festkörperaktorauslenkung bzgl. des Ansteuersignals zum Tragen. Eine Ladungsregelung ist daher auch für einen analo-
5 gen Piezotreiber wünschenswert. Der Aufbau eines analogen Reglers bezüglich der Ladung führt jedoch zu einer Drift, da nicht nur der Ansteuerstrom integriert wird, sondern auch der Leckstrom. Die Regelung ist daher ohne aufwendige Kompensation der Fehlerströme nicht stabil. Insbesondere bei Festkörper-
10 aktoren, die an den Grenzen der Spannungsbelastbarkeit betrieben werden, kann es zu Überspannungen und zur Zerstörung der Festkörperaktoren kommen.

Die Aufgabe der Erfindung besteht darin, eine Schaltung zum
15 Regeln zumindest eines Festkörperaktors einer Festkörperaktor-Antriebsvorrichtung vorzuschlagen, welche das Problem der instabilen Ladungsregelung bei einer analogen oder hybriden Treiberstufe für insbesondere piezoelektrische Festkörperaktoren verringert oder löst.

20 Diese Aufgabe wird gelöst durch eine Schaltung zum Regeln zumindest eines Festkörperaktors einer Festkörperaktor-Antriebsvorrichtung mit den oberbegrifflichen Merkmalen gemäß Patentanspruch 1. Vorteilhafte Ausgestaltungen sind Gegenstand abhängiger Ansprüche.

Bevorzugt wird somit eine Schaltung, insbesondere Regelungsschaltung zum Regeln zumindest eines Festkörperaktors einer Festkörperaktor-Antriebsvorrichtung mit in einer Regelschleife dem zumindest einen Festkörperaktor, einer Verstärkeranordnung zum Anlegen eines Ansteuersignals an den zumindest einen Festkörperaktor, einem kapazitiven Spannungsteiler, der in Reihe geschaltet den zumindest einen Festkörperaktor und eine kapazitive Komponente aufweist, und einem resistiven
30 Spannungsteiler, der in Reihe geschaltet zumindest einen ersten und einen zweiten Widerstände aufweist, wobei ein gemeinsamer Schaltungspunkt sowohl zwischen den zumindest einen Festkörperaktor und die kapazitive Komponente als auch zwi-

schen den ersten und den zweiten der Widerstände geschaltet ist und diese elektrisch miteinander verbindet und wobei der gemeinsame Schaltungspunkt ein Rückführungssignal als Regelgröße für die Verstärkeranordnung bereitstellt.

5

Am Festkörperaktor ist bevorzugt durch die Beschaltung aus dem ersten und dem zweiten Widerstand und der kapazitiven Komponente eine Rückkoppelschaltung aufgebaut, welche ein Tiefpassverhalten für eine Rückwirkung einer Festkörperaktor-Spannung und ein Hochpassverhalten für eine Rückkopplung der Festkörperaktor-Ladung bewirkt. D.h. der Gleichanteil des Piezosteuersignales wird spannungsrückgekoppelt und der Wechselanteil des Piezosteuersignales wird ladungsrückgekoppelt.

15 Bevorzugt sind der Festkörperaktor, der erste Widerstand, der zweite Widerstand und die kapazitive Komponente als eine kombinierte ladungs- und spannungsrückgekoppelte Regelung derart geschaltet, dass eine Spannungsrückkopplung für die Regelung eines Gleichanteils des Ansteuersignals für den Festkörperaktor und eine Ladungsrückkopplung für die Regelung eines Wechselanteils des Ansteuersignals für den Festkörperaktor geschaltet ist.

Zumindest ein Teil der Komponenten aus dem ersten Widerstand, dem zweiten Widerstand und der kapazitiven Komponente ist bevorzugt hinsichtlich deren Widerstands- bzw. Kapazitätswerte veränderbar einstellbar zum Einstellen der Regelparameter der Schaltung. Bevorzugt sind dabei die Widerstands- bzw. Kapazitätswerte veränderbar einstellbar zum voneinander unabhängigen Einstellen der Regelparameter der Schaltung.

Ein Sample- und Hold-Glied kann vorteilhaft in die Verstärkeranordnung geschaltet sein zum Halten eines am Festkörperaktor aktuellen Spannungswerts, wenn der Betrieb des Festkörperaktors gestoppt wird, und zum Anlegen des gehaltenen Spannungswerts an die Regelschleife beim Anfahren des Festkörperaktors durch Einschalten der Rückkopplung. Dadurch

35

wird das sinusförmige Ansteuersignal beim letzten Phasenwert gestartet.

5 Eine solche Schaltung kann als Bestandteil einer analogen oder hybriden Treiberstufe zum Ansteuern des zumindest einen Festkörperaktors geschaltet sein.

10 Eigenständig vorteilhaft ist insbesondere eine Festkörperaktor-Antriebsvorrichtung mit zumindest einer derartig aufgebauten Schaltung. Besonders bevorzugt wird dabei der Einsatz als eine solche Festkörperaktor-Antriebsvorrichtung mit einem Antriebskörper, einer Öffnung in dem Antriebskörper, einer in die Öffnung zumindest hineinführenden Welle und zumindest einem ersten und einem zweiten Festkörperaktor zum Antreiben
15 des Antriebskörpers zu einer die Welle in Rotation versetzenden translatorischen Bewegung, wobei die Festkörperaktoren über eine gemeinsame oder über jeweils eine eigene solche Regelungs-Schaltung ansteuerbar geschaltet sind.

20 Bevorzugt sind der Festkörperaktor als piezoelektrischer Festkörperaktor ausgebildet und/oder die kapazitive Komponente durch einen Kondensator ausgebildet.

25 Ein Aufbau mit einer solchen Schaltung, insbesondere Regelungs-Schaltung erlaubt eine kombiniert ladungs- und spannungsgeregelte Ansteuerung des Festkörperaktors durch einen einfachen Aufbau. Außerdem lassen sich die Regelparameter unabhängig voneinander beeinflussen.

30 Die Schaltung, insbesondere Regelungs-Schaltung löst auf überraschend einfache Art und Weise das Problem der instabilen Ladungsregelung bei einer analogen oder hybriden Treiberstufe für insbesondere piezoelektrische Festkörperaktoren. Direkt am Festkörperaktor wird durch eine Beschaltung aus Widerständen und Kondensatoren eine Rückkoppelschaltung aufgebaut,
35 die ein Tiefpassverhalten für die Rückwirkung der Piezospannung und ein Hochpassverhalten für die Rückkopplung der Piezoladung aufweist. D.h. der Gleichanteil des Piezosteuer-

signales wird spannungsrückgekoppelt und der Wechselanteil des Piezosteuersignales wird ladungsrückgekoppelt. Insbesondere ist somit hervorzuheben eine Verschaltung von Widerständen und Kondensatoren am piezoelektrischen Festkörperaktor zum Zwecke einer kombinierten ladungs- und spannungsrückgekoppelten Regelung, wobei die Spannungsrückkopplung für die Regelung des Gleichanteils des Piezo- bzw. Festkörperaktor-Ansteuersignales und die Ladungsrückkopplung für Regelung des Wechselanteils des Piezosteuersignales verantwortlich ist.

10

Diese Art der Signalverarbeitung ist besonders für den piezoelektrischen Ringmotor geeignet, da dieser mit einem offsetverschobenen Sinussignal angesteuert wird. Weniger geeignet ist diese Art der Rückkopplung nur während des Überganges von einer Bewegung zum Stillstand des Ringmotors. Für diesen Zustandsbereich ist ein Sample- und Hold-Glied in die Signalkette eingefügt, welches den aktuellen Spannungswert am Festkörperaktor „einfriert“ wenn der Antrieb bzw. Ringmotor gestoppt wird. Somit wird des Weiteren beim Übergang von Bewegung zum Stillstand des Motors die Rückkopplung über ein in die Signalkette eingefügtes Sample- und Holdglied unterbrochen (Hold) und der letzte Spannungswert am piezoelektrischen Festkörperaktor gehalten. Das sinusförmige Ansteuersignal wird bei der entsprechenden Phase gestoppt. Zum Anfahren wird die Regelschleife durch Einschalten der Rückkopplung (Sample) aktiviert und das sinusförmige Ansteuersignal beim letzten Phasenwert gestartet.

20
25

Neben Festkörperaktoren in insbesondere mehrschichtiger PMA-Bauweise als piezoelektrische Aktoren sind auch Ausführungen mit andersartigen kapazitiv wirksamen Festkörperaktoren einsetzbar.

30

Vorteile der derart kombinierten analogen Spannungs- und Ladungsregelung bestehen in einer entfallenden Driftproblematik, einem sehr einfachen Aufbau und einer sehr hohen Signalqualität. Einsatzfelder sind insbesondere hoch genaue Antrie-

35

be für die Robotik, z. B. für eine Mensch-Maschine-Interaktion, für die Automobiltechnik, z. B. für eine Klappenverstellung mit integrierten Luftmassensensor, oder für die Luft- und Raumfahrttechnik, z. B. für einen intelligenten Steuerklappenantrieb für einen Abgasstrahl.

Ein Ausführungsbeispiel wird nachfolgend anhand der Zeichnung näher erläutert. Es zeigen:

- 10 Fig. 1 eine Festkörperaktor-Antriebsvorrichtung mit einer bevorzugten Regelungs-Schaltung zum Regeln eines Festkörperaktors in einer solchen Festkörperaktor-Antriebsvorrichtung;
- 15 Fig. 1A vergrößert dargestellt die Regelungs-Schaltung aus Fig. 1;
- Fig. 2 eine Simulationsschaltung zum Veranschaulichen von Signalverläufen;
- 20 Fig. 3 ein Einschwingverhalten bei Spannungsrückkopplung entsprechend einer bekannten Ausführungsform;
- Fig. 4 ein Einschwingverhalten bei reiner Ladungsrückkopplung entsprechend einer bekannten Ausführungsform;
- 25 und
- Fig. 5 ein Simulationsergebnis zum Veranschaulichen von Signalverläufen entsprechend der bevorzugten Ausführungsform.
- 30

Fig. 1 zeigt eine Festkörperaktor-Antriebsvorrichtung 0 mit einer Regelungs-Schaltung 8 zum Regeln eines Festkörperaktors P1 in einer solchen Festkörperaktor-Antriebsvorrichtung 0. Zweckmäßigerweise ist auch für weitere Festkörperaktoren P2 einer solchen Festkörperaktor-Antriebsvorrichtung 0 jeweils eine entsprechende Regelungs-Schaltung oder eine gemeinsame kombinierte Regelungs-Schaltung angeordnet.

Wie dies aus Fig. 1 ersichtlich ist, besteht die beispielhafte Festkörperaktor-Antriebsvorrichtung 0 aus einer Vielzahl von Einzelkomponenten, wobei die dargestellten Komponenten um
5 weitere Komponenten ergänzbar sind bzw. gegen gleich wirkende Komponenten anderer Bauart austauschbar sind. Die Festkörperaktor-Antriebsvorrichtung 0 weist ein Gehäuse 1 auf, welches die weiteren Komponenten aufnimmt.

10 In dem Gehäuse 1 ist mittels einer Lageranordnung eine Welle 2 gelagert, wobei sich eine Wellenachse X der Welle 2 in axialer Richtung z aus dem Gehäuse 1 heraus erstreckt. Zum Versetzen der Welle 2 in eine Wellenrotation um die Wellenachse X herum dient eine Antriebsvorrichtung. Die Antriebsvorrichtung
15 besteht im Wesentlichen aus vorzugsweise den zwei oder mehr Festkörperaktoren P1, P2 und einem Antriebskörper 3. Der Antriebskörper 3 ist über die Festkörperaktoren P1, P2 mechanisch, insbesondere mechanisch steif mit einer Wandung des Gehäuses 1 verbunden. Insbesondere sind die Festkörperaktoren
20 P1, P2 über Lagerelemente 7 am Gehäuse befestigt. Die Festkörperaktoren P1, P2 sind dabei derart angeordnet, dass sie den Antriebskörper 3 relativ zu dem Gehäuse 1 in eine Translationsbewegung in einer Ebene x, y senkrecht zur axialen Richtung z versetzen. Die Translationsbewegung versetzt den
25 Antriebskörper 3 dabei in eine Hin- und Herbewegung, vorteilhafterweise eine kreisförmige Bewegung. Der Antriebskörper 3 weist eine Öffnung 5 auf, welche insbesondere als Durchgangsöffnung ausgebildet ist. Durch die Öffnung 5 des Antriebskörpers 3 führt die Welle 2 hindurch, wobei der Außendurchmesser der Welle 2 geringer als der Innendurchmesser der Öffnung 5
30 des Antriebskörpers 3 ist. Der Antriebskörper 3 wird durch die Festkörperaktoren P1, P2 derart verstellt, dass eine Wellen-Außenwandung vorzugsweise durchgehend mit einer Antriebskörper-Innenwandung in Reib- und Formschluss steht, so dass
35 durch die Bewegung des Antriebskörpers 3 die Welle 2 in die Wellenrotation versetzt wird.

Hinsichtlich der Ansteuerung sind der erste und der zweite der Festkörperaktoren P1, P2 in ihrer Wirkrichtung senkrecht zueinander in der Ebene x, y senkrecht zur Rotationsachse der Welle 2 angeordnet.

5

Zum Ansteuern der Festkörperaktoren P1, P2 dient zumindest eine Steuereinrichtung 6, welche über Leiter 60 die einzelnen Festkörperaktoren P1, P2 mit Spannungen bzw. Ladungen ansteuert. Vorzugsweise ist für jeden der Festkörperaktoren eine eigene derartige Steuereinrichtung bereitgestellt. Entsprechend der Spannungen bzw. Ladungen dehnen sich die Festkörperaktoren P1, P2 entsprechend aus bzw. ziehen sich gegebenenfalls zusammen.

15 Außerdem können diese Leiter 60 oder zusätzliche Leiter dazu dienen, von den Festkörperaktoren P1, P2 in umgekehrter Richtung Signale, insbesondere Spannungen oder Ladungen, zu der Steuereinrichtung 6 zu übertragen. Dies ermöglicht die Ausnutzung der Doppelfunktionalität der Festkörperaktoren P1, P2, um diese nicht nur als Festkörperaktoren sondern auch als Sensoren einzusetzen. Auf die Festkörperaktoren P1, P2 einwirkende Kräfte verursachen in diesen eine Ladungsverschiebung bzw. Potenzialänderung.

25 Fig. 1 und Fig. 1A zeigen die besonders bevorzugte Steuer- und Regelungs-Schaltung 8, welche eigenständig oder als Bestandteil einer übergeordneten Steuereinrichtung 6 bereitgestellt sein kann. Erfindungswesentlich ist vorliegend jedoch nur der Regelungsteil der Steuer- und Regelungsschaltung 8. Das Steuer- bzw. Antriebssignal zum Bewirken der Antriebsbewegung des entsprechenden Festkörperaktors P1 kann unter Berücksichtigung des Regelanteils in ansonsten für sich bekannter Art und Weise im Steuerteil der Steuer- und Regelungsschaltung 8 erzeugt werden.

35

Die Steuer- und Regelungs-Schaltung 8 gemäß Fig. 1 besteht aus einem Signalgenerator 11, einem Regelverstärker 12, einem Sample- & Hold-Glied 13, einem Leistungsverstärker 14 und dem

piezoelektrischen Festkörperaktor P1 mit Rückkopplung zum Regelverstärker über einen Kondensator C1 als kapazitiv wirkendem Element sowie ein erster und ein zweiter Widerstand R1 bzw. R2 als Ohmschen Elementen.

5

Beispielhaft ist der Signalgenerator 11 dabei zwischen einen Erdanschluss oder sonstigen Masseanschluss und einen positiven Eingang des Regelverstärkers 12 geschaltet. Ein Ausgang des Regelverstärkers 12 ist an einen ersten Eingang des Sample- & Hold-Glieds 13 geschaltet. An dessen zweitem Eingang liegt ein Anschluss zum Anlegen eines Hold-Signals h an. Ein Ausgang des Sample- & Hold-Glieds 13 liegt an einem Eingang des Leistungsverstärkers 14 an. Bei einem Stoppen des Betriebs der Festkörperaktor-Antriebsvorrichtung bzw. des geregelten Festkörperaktors P1 wird ein aktueller Spannungswert h gehalten und später, beim erneuten Anfahren, als Regelgröße wieder angelegt. Der Leistungsverstärker 14 weist zwei Ausgänge auf. Der erste Ausgang stellt ein Ansteuersignal out_r bereit und liegt an einem ersten Anschluss des ersten Festkörperaktors P1 und an einem ersten Anschluss des ersten Widerstands R1 an. Der zweite Ausgang des Leistungsverstärkers 14 liegt an einem ersten Anschluss des Kondensators C1 und an einem ersten Anschluss des zweiten Widerstands R2 an. Die jeweils zweiten Anschlüsse des ersten Festkörperaktors P1, des Kondensators C1 und der beiden Widerstände R1, R2 sind an einen zweiten, negativ geschalteten Eingang des Regelverstärkers 12 zurückgeschaltet, um dem Regelverstärker 12 ein Rückführungssignal fb (engl. feedback) anzulegen.

Im Vergleich zu Fig. 1 zeigt Fig. 1A eine leicht modifizierte Ausführungsform. Während Fig. 1 einen differenziellen Leistungsverstärker 14* zeigt, ist bei der Schaltung gemäß Fig. 1A beispielhaft ein Leistungsverstärker 14 mit nur einem Ausgang dargestellt. Entsprechend sind der erste Anschluss des Kondensators C1 und des zweiten Widerstands R2 auf ein gemeinsames Basispotential, Masse bzw. den Erdanschluss gelegt.

Die Schaltung bestehend aus dem Festkörperaktor P1 und der Kondensator C1 bildet eine vereinfachte Schaltung, welche als Sawyer-Tower-Circuit für sich genommen bekannt ist. Durch diesen Messkreis wird der durch den entsprechenden Festkörperaktor P1 fließende Festkörperaktorstrom integriert und über den Kondensator C1 in eine proportionale Spannung gewandelt.

Wenn dem so ausgebildeten Messkreis ein erster Widerstand R1 parallel geschaltet ist, der wesentlich kleiner als ein parasitärer Innenwiderstand des Festkörperaktors P1 ist, führt dies zu einem Hochpass-Verhalten des Messkreises. Nur der Wechselanteil der Piezoloadung ist ungedämpft am Kondensator C1 messbar. Die Zeitkonstante der Schaltung ist:

$$\tau = (P1 \parallel C1) \cdot (R1 \parallel R2)$$

und die Grenzfrequenz ist damit

$$f_c = \frac{1}{2\pi[(P1 \parallel C1) \cdot (R1 \parallel R2)]}$$

Die beiden Widerstände R1 und R2 formen hingegen eine Messschaltung, in Form insbesondere eines Spannungsteilers, für die Spannung u am piezoelektrischen Festkörperaktor P1. Bezüglich des Gleichanteils des Ansteuersignales des Festkörperaktors P1 ist die Impedanz der angeschlossenen Sawyer-Tower-Circuit unendlich. Das heißt, in diesem Fall beeinflusst die Ladungsmessung nicht die Spannungsmessung. Die Schaltung weist ein Tiefpass-Verhalten auf. Die Grenzfrequenz ist identisch zu der der Ladungsmessschaltung.

Die Schaltung bestehend aus dem Festkörperaktor P1, dem Kondensator C1 und den Widerständen R1 und R2 koppelt eine Messspannung auf den Regelverstärker 12 zurück, der über das Sample- und Holdglied 13 den Leistungsverstärker 14 steuert. Durch diesen Aufbau wird eine frequenzabhängige Ladungsregelung dargestellt. Bei hohen Frequenzen des Vorgabesignals aus dem Generator, insbesondere Signalgenerator 11, wird der Festkörperaktor P1 ladungsgeregelt betrieben, bei niedrigen Frequenzen spannungsgeregelt betrieben. Eine Drift der

Festkörperaktorspannung wird dadurch reduziert, insbesondere wirksam verhindert. Eine Grenzfrequenz lässt sich einfach durch die Parameter der Bauteile der Steuer- und Regelungsschaltung 8, d.h. den Festkörperaktor P1, den Kondensator C1
5 und die Widerstände R1 und R2 einstellen.

Um beim Übergang von aktiver Ansteuerung, d.h. einer Bewegung des Motors bzw. der Festkörperaktor-Antriebsvorrichtung, zu Stillstand ein Einschwingen der Schaltung auf einen spannungsgeregelten quasistabilen Zustand zu verhindern, ist vorzugsweise das Sample- und Hold-Glied 13 in die gebildete Signalkette eingefügt. Damit ist es möglich, die Schaltung augenblicklich auf dem letzten Zustand „einzufrieren“. Durch diesen Aufbau wird eine Änderung der Festkörperaktorladung
10 beim Übergang von Ladungs- zu Spannungsregelung im Falle des Abschaltens der Festkörperaktor-Antriebsvorrichtung verhindert.

Der Leistungsverstärker 14 erzeugt zusätzlich zu den Signalanteilen zur beschriebenen Regelung als weitere Signalkomponente das für sich bekannte Steuer- bzw. Antriebssignal zum Bewirken der Antriebsbewegung des entsprechenden Festkörperaktors P1. Prinzipiell könnte ein solches Steuer- bzw. Antriebssignal zum Bewirken der Antriebsbewegung aber auch in
20 einer eigenständigen Steuerschaltung, welche dann zu der Regelungsschaltung parallel geschaltet ist, erzeugt werden.

Fig. 2 zeigt eine Simulationsschaltung. Fig. 2 zeigt eine Simulationsschaltung, bei welcher ein Festkörperaktor P1 als
30 der erste Festkörperaktor P1 durch eine Vielzahl von Komponenten nachgebildet wird, so dass die weiteren Komponenten für einen Einsatz mit einem realistischen Festkörperaktor einer Festkörperaktor-Antriebsvorrichtung zum elektromechanischen Antreiben eines Körpers getestet werden können. An einem Ausgangsknoten out sind der erste Anschluss des ersten
35 Widerstands R1 sowie der Ausgangsanschluss des Leistungsverstärkers 14 angeschlossen. An einem zweiten Knoten bzw. einer Vielzahl untereinander kurzgeschlossener zweiter Knoten sind

der erste Kondensator C1 und eine erste Verbindung A angeschlossen. Eine zweite Verbindung B ist an den Knoten zwischen dem ersten und dem zweiten Widerstand R1, R2 geschaltet. Die beiden Verbindungen A, B sind als Messstrecken ausgestaltete Verbindungen zu dem entsprechenden Eingang des Regelverstärkers 12.

Der Festkörperaktor P1 wird im Einzelnen aus einer Vielzahl zueinander paralleler Schaltungsglieder zwischen den beiden Knoten ausgebildet. Im einzelnen sind dies beispielhaft ein achter Kondensator C8, ein achter Widerstand R8, eine Reihenschaltung aus einer ersten Diode D1 und einem zweiten Kondensator C2 und zwei weitere Reihenschaltungen, welche aus einer dritten Diode D3 und einem siebten Kondensator C7 bzw. einer zweiten Diode D2 und einem sechsten Kondensator C6 ausgebildet sind.

Zur Spannungsversorgung dienen beispielhaft vier Spannungsquellen V1 - V4, wobei das Eingangssignal in für den Regelverstärker 12 durch die vierte der Spannungsquellen V4 bereitgestellt wird. Dabei sind die negativen Eingänge der ersten, zweiten und vierten Spannungsquelle V1, V2, V4 sowie der positive Anschluss der dritten Spannungsquelle V3 auf Masse bzw. einen Erdanschluss geschaltet.

Der Regelverstärker 12 wird durch einen siebten Widerstand R7 als einem Eingangswiderstand sowie damit in Reihe geschaltet einem sechsten Widerstand R6 und einem vierten Kondensator C4 ausgebildet. Der weitere Anschluss des vierten Kondensators C4 bildet zugleich den Ausgang des Regelverstärkers 12. Außerdem weist der Regelverstärker 12 einen Operationsverstärker U1 auf, an dessen positivem Eingang das Rückführungssignal fb angelegt wird. An den negativen Eingang des Operationsverstärkers U1 ist ein zwischen den sechsten und den siebten Widerstand R6, R7 geschalteter Knoten angeschlossen. Ein Ausgang des Operationsverstärkers U1 liegt am Ausgang des Regelverstärkers 12 an und bildet zusammen mit dem vierten Kondensator C4 den Ausgang des Regelverstärkers 12. Zur Span-

nungsversorgung des Operationsverstärkers U1 dienen die zweite und die dritte Spannungsquelle V2, V3.

Der Leistungsverstärker 14 ist mit einem dritten Widerstand
5 R3 an den Ausgang des Regelverstärkers 12 angeschlossen. Ein
über den dritten Widerstand R3 angelegter Strom- oder Span-
nungswert ist an einen Basisanschluss eines zweiten Transis-
tors Q2 geschaltet. Dessen Emitter ist an Masse geschaltet.
Ein Kollektor des zweiten Transistors Q2 ist an einen Knoten
10 geschaltet, an welchem jeweilige Basisanschlüsse eines ersten
und eines dritten Transistors Q1 bzw. Q3 geschaltet sind. Au-
ßerdem sind ein vierter Widerstand R4 und parallel dazu ein
dritter Kondensator C3 zwischen diesen Knoten und einen posi-
tiven Spannungsanschluss der ersten Spannungsquelle V1 ge-
15 schaltet. Der positive Anschluss der ersten Spannungsquelle
V1 liegt außerdem am Kollektor des ersten Transistors C1 an.
Der Emitteranschluss des ersten Transistors Q1 und der Emit-
teranschluss des dritten Transistors Q3 sind miteinander ver-
schaltet und geben ein Ausgangssignal out_r an einen fünften
20 Widerstand R5 aus. Der weitere Anschluss des fünften Wider-
stands R5 ist an den ersten Knoten out des Festkörperaktors
P1 bzw. von dessen Nachbildungsschaltung geschaltet. Mit Kol-
lektor ist der dritte Transistor Q3 an den negativen An-
schluss der dritten Spannungsquelle V3 geschaltet.

25

Bei dieser beispielhaften Simulationsschaltung wird somit der
Regelverstärker 12 durch den sechsten Widerstand R6, den
siebten Widerstand R7, den vierten Kondensator C4 und den
Operationsverstärker U1 nachgebildet. Der Leistungsverstärker
30 14 besteht aus dem dritten, vierten und fünften Widerstand
R3, R4 bzw. R5, dem dritten Kondensator C3 und den drei Tran-
sistoren Q1 - Q3. Eine Festkörperaktor-Spannungsmessung wird
durch den ersten und den zweiten Widerstand R1, R2 darge-
stellt. Eine Ladungsmessung basiert auf dem ersten Kondensa-
35 tor C1. Bei dieser Simulationsschaltung ist der piezoelektri-
sche Festkörperaktor P1 komplex als nichtlineare Kapazität
nachgebildet. Über die Dioden D1 - D3 mit unterschiedlichen
Durchbruchspannungen werden dem achten Kondensator C8 als ei-

nem Festkörperaktor-Grundkapazitäts-Kondensator zur Bestimmung einer Festkörperaktor-Grundkapazität in Abhängigkeit von der Festkörperaktorspannung weitere Kapazitäten über den zweiten, sechsten und siebten Kondensator C2, C6 bzw. C7 parallel geschaltet.

Über den achten Widerstand R8 wird ein Leckstrom generiert. Ein realistischer Wert des achten Widerstands R8 würde bei den in der Schaltung angezeigten Dimensionierungen der verschiedenen Komponenten $10\text{ M}\Omega$ betragen. Der Wert ist vorliegend jedoch reduziert, um bei der Simulation ein deutlicheres Ergebnis zu erhalten, so dass die Drift künstlich erhöht wird. Eine Ladungsrückkopplung wird durch die erste Verbindung A gewährleistet und eine Spannungsrückkopplung wird durch die zweite Verbindung B gewährleistet, wobei die Kombination aus den beiden Verbindungen A und B zum Aufbau der Steuer- und Regelungs-Schaltung führt.

Mit dieser Simulationsschaltung wurden drei Simulationen zum Einschwingen der Schaltung bei allen Rückkopplungsvariationen durchgeführt.

In Fig. 3 ist das Einschwingverhalten bei Spannungsrückkopplung ohne die bevorzugte Ausführungsform dargestellt. Deutlich ist die unbeschränkte Drift der Ladung zu erkennen. In Fig. 4 ist das Einschwingverhalten bei reiner Ladungsrückkopplung ohne die bevorzugte Ausführungsform dargestellt. Auch hier kommt es zu unbegrenzter Drift der Festkörperaktorspannung, was durch Überspannung zur Zerstörung des Festkörperaktors führen kann.

In Fig. 5 ist das Simulationsergebnis der bevorzugten Ausführungsform dargestellt. Nach einer Einschwingzeit von ca. 4 s wird ein stabiler Verlauf sowohl für die Piezoladung, als auch für die Piezospannung erreicht.

Patentansprüche

1. Schaltung zum Regeln zumindest eines Festkörperaktors (P1) einer Festkörperaktor-Antriebsvorrichtung mit in einer
5 Regelschleife
- dem zumindest einen Festkörperaktor (P1),
 - einer Verstärkeranordnung (12, 14; 12, 14*) zum Anlegen eines Ansteuersignals (out_r) an den zumindest einen Festkörperaktor (P1),
 - 10 - einem kapazitiven Spannungsteiler, der in Reihe geschaltet den zumindest einen Festkörperaktor (P1) und eine kapazitive Komponente aufweist, und
 - einem resistiven Spannungsteiler, der in Reihe geschaltet zumindest einen ersten und einen zweiten Widerstände (R1, R2)
 - 15 aufweist,
 - wobei ein gemeinsamer Schaltungspunkt (N) sowohl zwischen den zumindest einen Festkörperaktor (P1) und die kapazitive Komponente als auch zwischen den ersten und den zweiten der Widerstände (R1, R2) geschaltet ist und diese elektrisch miteinander verbindet und
 - 20 - wobei der gemeinsame Schaltungspunkt (N) ein Rückführungssignal (fb) als Regelgröße für die Verstärkeranordnung (12, 14; 12, 14*) bereitstellt.
- 25 2. Schaltung nach Anspruch 1, bei welcher am Festkörperaktor (P1) durch die Beschaltung aus dem ersten und dem zweiten Widerstand (R1, R2) und der kapazitiven Komponente eine Rückkoppelschaltung aufgebaut ist, welche ein Tiefpassverhalten für eine Rückwirkung einer Festkörperaktor-Spannung und ein
30 Hochpassverhalten für eine Rückkopplung der Festkörperaktor-Ladung bewirkt.
3. Schaltung nach Anspruch 1 oder 2, bei welcher der Festkörperaktor (P1), der erste Widerstand (R1), der zweite Widerstand (R2) und die kapazitive Komponente als eine kombinierte ladungs- und spannungsrückgekoppelte Regelung derart
35 geschaltet sind, dass eine Spannungsrückkopplung für die Regelung eines Gleichanteils des Ansteuersignals (out_r) für

den Festkörperaktor (P1) und eine Ladungsrückkopplung für die Regelung eines Wechselanteils des Ansteuersignals (out_r) für den Festkörperaktor (P1) geschaltet ist.

- 5 4. Schaltung nach einem vorstehenden Anspruch, bei welcher
zumindest ein Teil des ersten Widerstands (R1), des zweiten
Widerstands (R2) und der kapazitiven Komponente hinsichtlich
deren Widerstands- bzw. Kapazitätswerte veränderbar einstell-
bar sind zum Einstellen der Regelparameter der Schaltung.
- 10 5. Schaltung nach einem vorstehenden Anspruch 4, bei wel-
cher die Widerstands- bzw. Kapazitätswerte veränderbar ein-
stellbar sind zum voneinander unabhängigen Einstellen der Re-
gelparameter der Schaltung.
- 15 6. Schaltung nach einem vorstehenden Anspruch, bei welcher
ein Sample- und Hold-Glied (13) in die Verstärkeranordnung
(12, 14; 12, 14*) geschaltet ist zum Halten eines am Festkör-
peraktor (P1) aktuellen Spannungswerts (h), wenn der Betrieb
20 des Festkörperaktors (P1) gestoppt wird, und zum Anlegen des
gehaltenen Spannungswerts (h) an die Regelschleife beim An-
fahren des Festkörperaktors (P1) durch Einschalten der Rück-
kopplung.
- 25 7. Schaltung nach einem vorstehenden Anspruch als Bestand-
teil einer analogen oder hybriden Treiberstufe zum Ansteuern
des zumindest einen Festkörperaktors (P1).
8. Festkörperaktor-Antriebsvorrichtung mit zumindest einer
30 Schaltung nach einem vorstehenden Anspruch.
9. Festkörperaktor-Antriebsvorrichtung nach Anspruch 8 mit
- einem Antriebskörper (3),
- einer Öffnung (5) in dem Antriebskörper (3),
35 - einer in die Öffnung (5) zumindest hineinführenden Welle
(2) und
- zumindest einem ersten und einem zweiten Festkörperaktor
(P1, P2) zum Antreiben des Antriebskörpers (3) zu einer die

Welle (2) in Rotation versetzenden translatorischen Bewegung,
- wobei die Festkörperaktoren (P1, P2) über eine gemeinsame
oder über jeweils eine eigene solche Schaltung ansteuerbar
geschaltet sind.

5

10. Schaltung nach einem der Ansprüche 1 bis 8 oder Festkörperaktor-Antriebsvorrichtung nach Anspruch 9 oder 10, wobei der Festkörperaktor (P1) als piezoelektrischer Festkörperaktor ausgebildet ist.

10

11. Schaltung nach einem der Ansprüche 1 bis 8 oder 10 oder Festkörperaktor-Antriebsvorrichtung nach einem der Ansprüche 9 bis 12, wobei die kapazitive Komponente durch einen Kondensator (C1) ausgebildet ist.

FIG 1

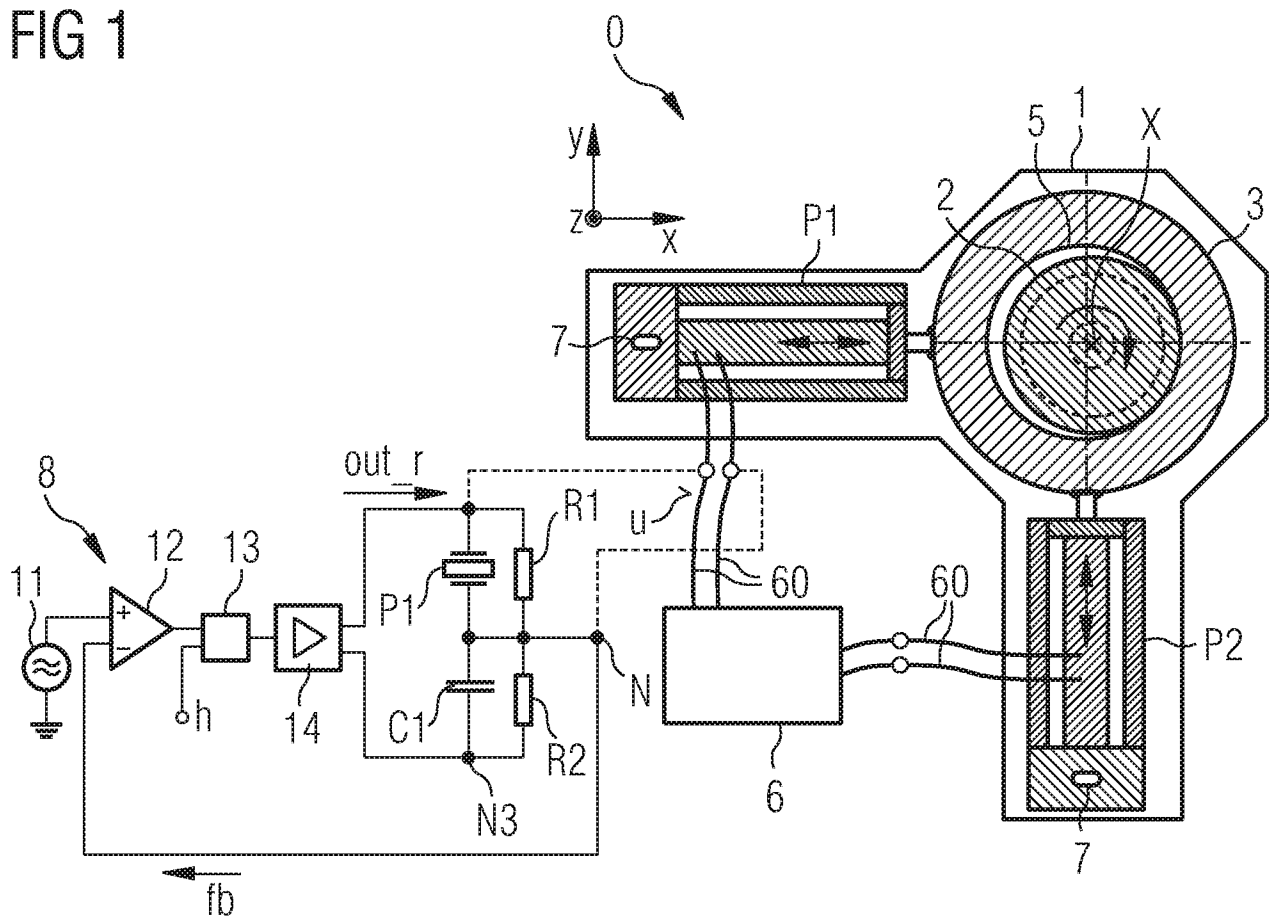
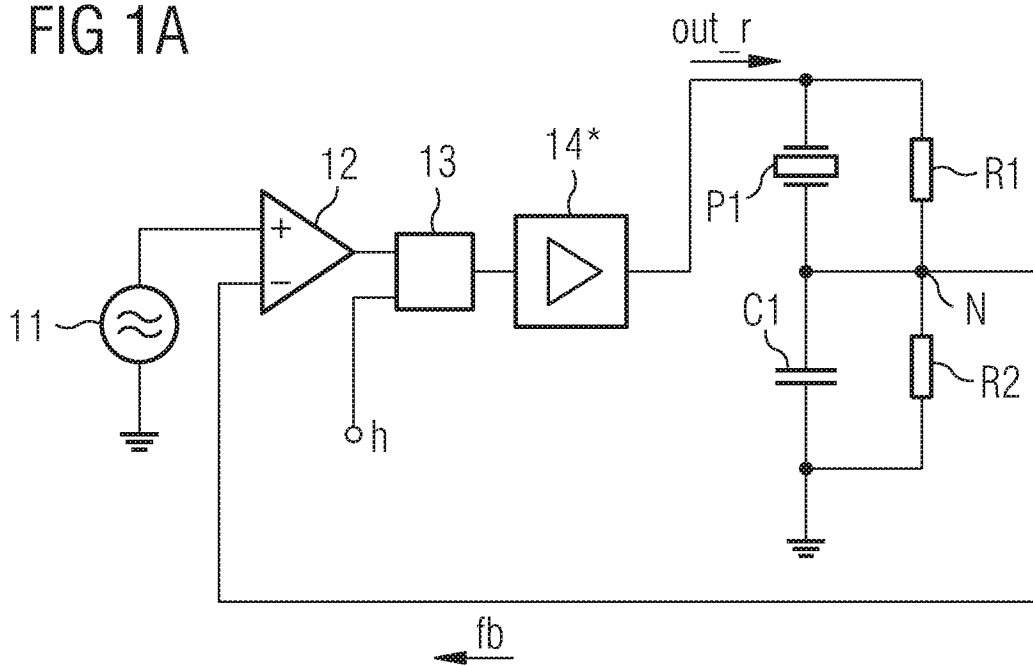


FIG 1A



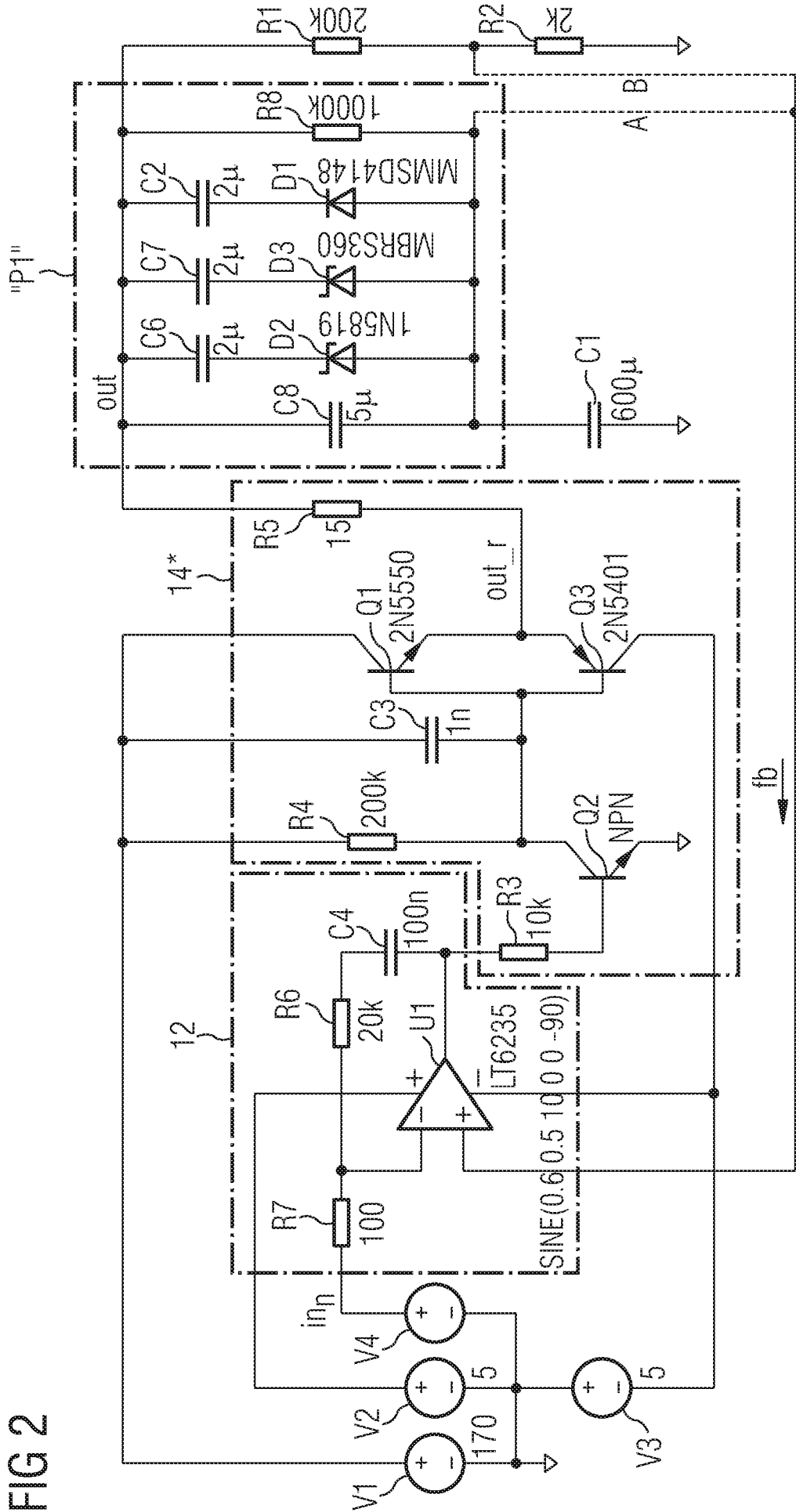
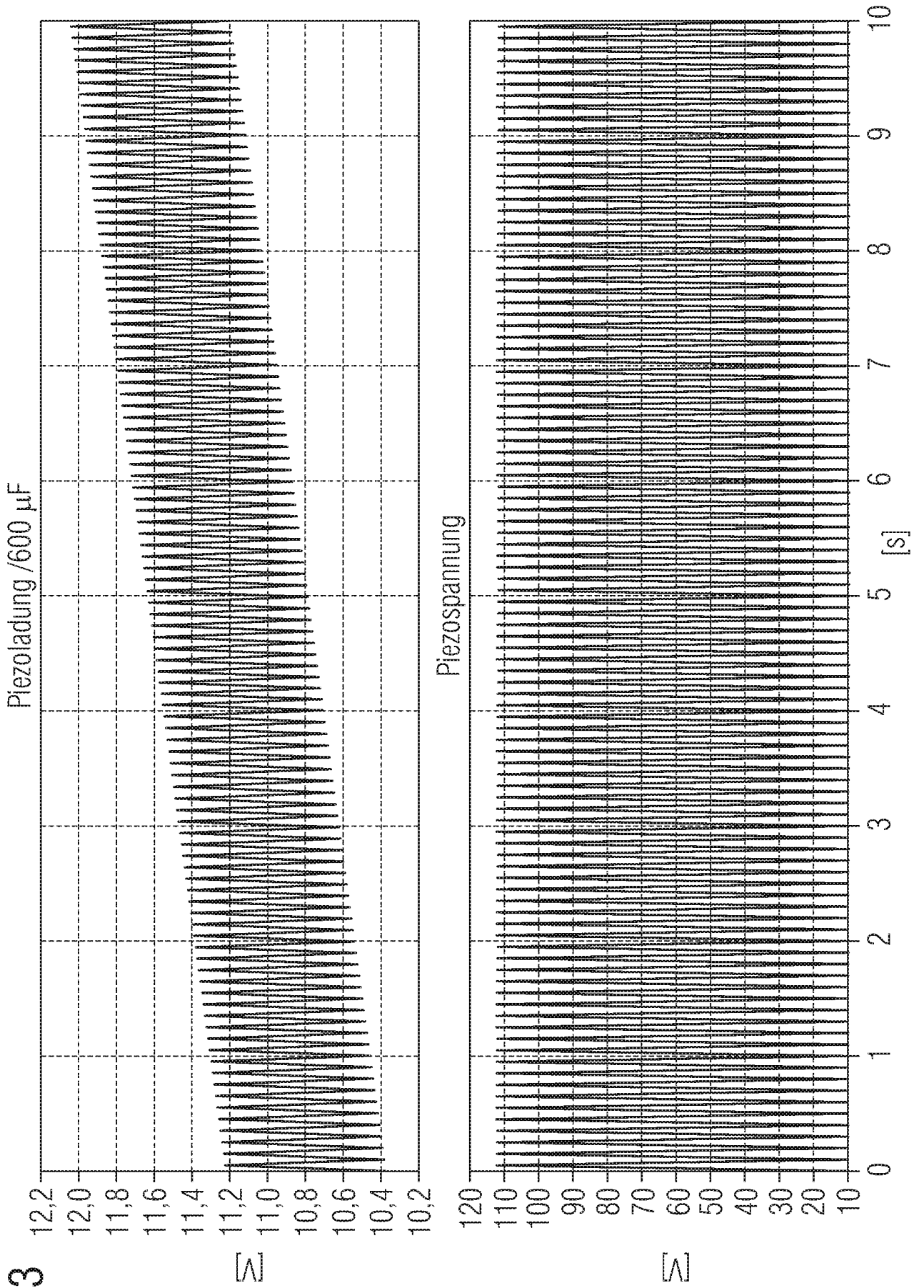


FIG 2

FIG 3



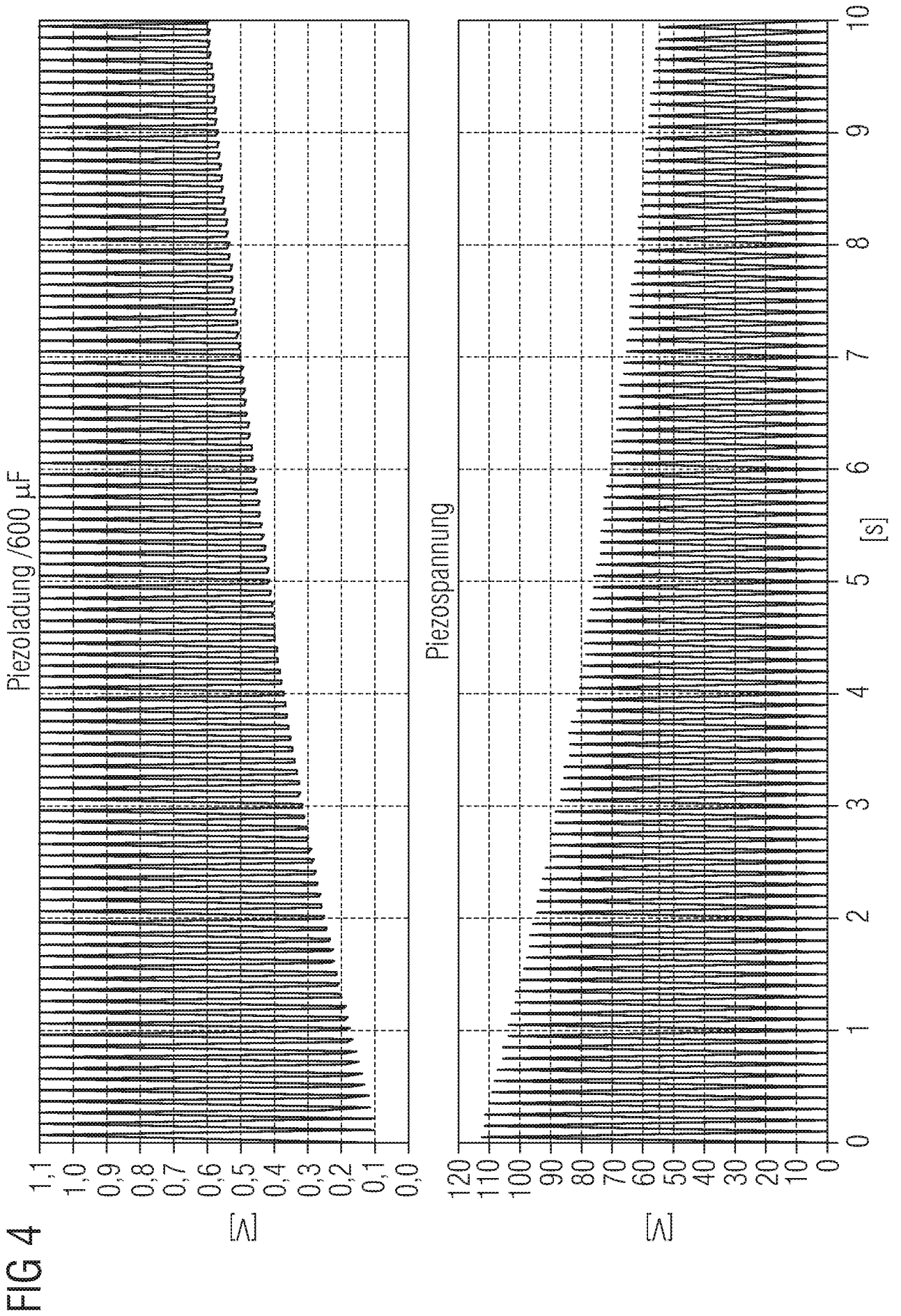


FIG 4

FIG 5

