

(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
13. Dezember 2007 (13.12.2007)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2007/140749 A2

(51) Internationale Patentklassifikation:
H01L 41/113 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE2007/000974

(22) Internationales Anmeldedatum:
31. Mai 2007 (31.05.2007)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2006 025 963.7 2. Juni 2006 (02.06.2006) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): EPCOS AG [DE/DE]; St.-Martin-Str. 53, 81669 München (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): REICHMANN, Klaus

[AT/AT]; Autaler Str. 17/1, A-8042 Graz (AT). **KAR-TASHEV, Igor** [UA/AT]; Glashüttenstr. 16, A-8530 Deutschlandsberg (AT). **ATHENSTAEDT, Wolfgang** [AT/AT]; Rauchleitenstr. 46 a, A-8010 Graz (AT).

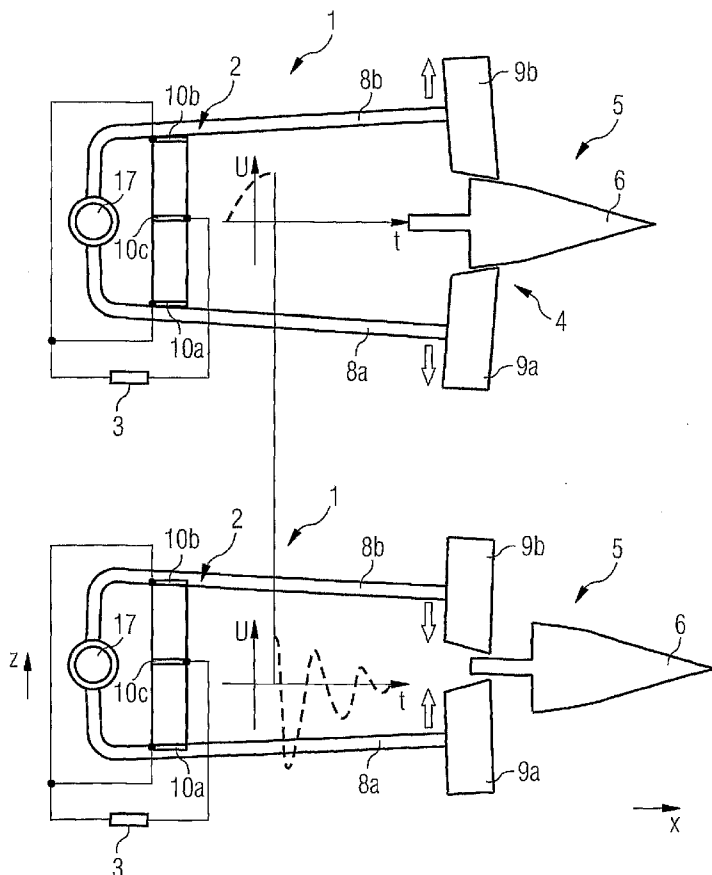
(74) Anwalt: **EPPING HERMANN FISCHER PATENTANWALTSGESELLSCHAFT MBH**; Ridlerstr. 55, München 80339 (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, 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, 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: PIEZOELECTRIC GENERATOR

(54) Bezeichnung: PIEZOELEKTRISCHER GENERATOR



(57) Abstract: A piezoelectric generator having a piezo-element (2) and a mechanical transducer (5) is specified, which comprises an oscillating apparatus and an activator (6) for transmitting a mechanical force to this apparatus. The oscillating apparatus is intended to produce a compression stress on the piezo-element (2).

(57) Zusammenfassung: Es wird ein Piezogenerator mit einem Piezoelement (2) und einem mechanischen Wandler (5) angegeben, der eine Schwingvorrichtung und einen Aktivator (6) zur Übertragung einer mechanischen Kraft auf diese Vorrichtung umfasst. Die Schwingvorrichtung ist zur Erzeugung einer Druckspannung am Piezoelement (2) vorgesehen.

WO 2007/140749 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, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MT, NL, 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

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

Beschreibung

Piezoelektrischer Generator

Ein Piezogenerator ist z. B. aus der Druckschrift US 5,751,091 bekannt. Dieser Generator wird in einer Uhr eingesetzt. Ein weiterer Piezogenerator ist aus der Druckschrift JP 11-146663 A bekannt.

Eine zu lösende Aufgabe ist es, einen hocheffizienten Piezogenerator anzugeben, der sich durch eine hohe mechanische Stabilität auszeichnet.

Es wird ein Piezogenerator mit einem Piezoelement und einer Schwingvorrichtung angegeben, die schwingfähige Schwingelemente aufweist, zwischen denen das Piezoelement eingeklemmt ist. Die Schwingelemente sind gegeneinander schwingbar.

Der Piezogenerator ist zur Transformation der mechanischen Energie in die elektrische Energie geeignet. Der Piezogenerator kann z. B. zur Spannungsversorgung in einem tragbaren elektrischen Gerät realisiert sein. Die mechanische Energie kann durch Körper- oder Luftbewegungen erzeugt werden.

Die Schwingvorrichtung ist vorzugsweise zur Vorspannung des Piezoelements vorgesehen. Mit einem vorgespannten Piezoelement gelingt es, eine besonders hohe Leistungsdichte des Generators zu erzielen. Die Schwingvorrichtung ist vorzugsweise zur Erzeugung einer Druckspannung am Piezoelement vorgesehen. Das Piezoelement kann durch die Druckspannung entlang einer Längsrichtung zusammengedrückt werden. Mittels der Druckspannung kann aber auch eine Scherdeformation des Piezoelements herbeigeführt werden.

Bei den Schwingungen der Schwingelemente wird die Deformation des in der Schwingvorrichtung eingeklemmten Piezoelements bewirkt. Mittels des Piezoelements geht die mechanische Energie der Schwingvorrichtung in die elektrische Energie über.

Zur Übertragung einer mechanischen Kraft auf die Schwingvorrichtung kann ein Aktivator vorgesehen sein. Der Aktivator ist ein Kraftübertragungselement zur Anregung von Schwingungen der Schwingvorrichtung. Diese Anregung ist in einer bevorzugten Variante durch eine Anregungsfrequenz charakterisiert.

Die Schwingvorrichtung und der Aktivator sind Bestandteile eines mechanischen Wandlers, in dem die Wandlung zwischen verschiedenen Formen beziehungsweise die Übertragung der mechanischen Energie erfolgt.

Die Schwingvorrichtung und das Piezoelement bilden zusammen ein Resonanzsystem, das durch eine Eigenfrequenz charakterisiert ist. Dies kann seine Grundfrequenz oder eine höhere harmonische Oberschwingung der Grundfrequenz sein. Es ist vorteilhaft, die Anregungsfrequenz gleich der Eigenfrequenz dieses Resonanzsystems zu wählen.

Die Schwingvorrichtung ist zu mechanischen Schwingungen mit einer Schwingfrequenz anregbar, welche die Frequenz des elektrischen Signals vorgibt. Im Gegensatz zu einem Mikrofon, das eine relativ große Bandbreite aufweist, erfolgt die Anregung der Schwingvorrichtung vorzugsweise mit einer Frequenz, welche annähernd gleich der Resonanzfrequenz des Resonanzsystems ist, oder mit einer davon abweichenden, aber konstanten Anregungsfrequenz.

Die Schwingvorrichtung kann nach einer Anregungsphase, in der die Schwingelemente von ihrer Ruhelage ausgelenkt werden, frei schwingen. Die Schwingvorrichtung weist in einer bevorzugten Variante mechanisch an die Schwingelemente gekoppelte Energiespeicherelemente auf. Die in den Energiespeicherelementen gespeicherte Energie wird nach der vorgesehenen maximalen Auslenkung in freie Schwingungen der Schwingvorrichtung umgesetzt.

Unabhängig davon kann der mechanische Wandler ein von den Schwingelementen mechanisch entkoppeltes zweites Energiereservoir umfassen, das zur Anregung der Schwingelemente vorgesehen ist. Diese Energie kann den Schwingelementen unmittelbar oder mithilfe des Aktivators zugeführt werden. Die in diesem Reservoir gespeicherte Energie kann in freie oder - bei Verwendung des Aktivators - erzwungene Schwingungen der Schwingvorrichtung umgesetzt werden.

Das zweite Energiereservoir kann so ausgebildet sein, dass es zur Speicherung einer mechanischen Energie, insbesondere der Energie von unkorrelierten mechanischen Einwirkungen geeignet ist. Mögliche mechanische Einwirkungen sind in der Regel unkorrelierte Vibrationen des Trägers, an dem die Schwingvorrichtung befestigt ist. Auch die Energie von Luftdruck (z. B. bei Atem und akustischen Signalen der Umgebung) kann im Energiereservoir akkumuliert werden. Der Aktivator entnimmt Energie dem Energiereservoir und überträgt sie an die Schwingvorrichtung. Die Energie des Energiereservoirs kann z. B. zum Antrieb einer nachstehend erläuterten Transportvorrichtung verwendet werden, an die der Aktivator gekoppelt ist. Das Kraftübertragungselement (Aktivator) und die Schwingvorrichtung können bezüglich der Eigenfrequenz des Resonanzsystems synchronisiert sein.

Die Schwingfrequenz der Schwingvorrichtung kann in einer Variante mit der Frequenz der Anregung übereinstimmen, die vorzugsweise an die Eigenfrequenz der Schwingvorrichtung angepasst ist. In einem Anregungszyklus können z. B. ein bis drei oder auch mehr Schwingzyklen der Schwingvorrichtung enthalten sein. Die Anregung mit einer Anregungsfrequenz, die von der Eigenfrequenz der Schwingvorrichtung unterschiedlich ist, ist auch möglich.

Die Schwingelemente weisen jeweils vorzugsweise ein befestigtes Ende und ein frei schwingbares Ende auf. Jedes Schwingelement kann z. B. eine streifenförmige Biegefeder sein. Die Schwingelemente können beispielsweise die Schenkel eines U-Stücks bilden, das in einem Fixierbereich (Haltepunkt) an einem Träger befestigt ist. Der Fixierbereich ist im Bereich des Verbindungsstücks des U-Stücks angeordnet, der bei der Schwingung der Stimmgabel die geringste Schwingungsamplitude aufweist.

Die Schwingvorrichtung hat in einer bevorzugten Variante die Form einer Stimmgabel, die neben dem U-Stück einen Befestigungsvorsprung aufweist, der an einem Träger befestigbar ist. Der Befestigungsvorsprung ist an einen Bereich des Verbindungsstücks des U-Stücks gekoppelt, der bei der Schwingung der Stimmgabel die geringste Schwingungsamplitude aufweist.

Die Schwingelemente können aber auch langgestreckte Streifen sein, die an beiden Enden am Träger befestigt sind. Die Mitte von diesen Elementen schwingt mit maximaler Amplitude wie das freie Ende eines Schwingelements, das nur an einem Ende befestigt ist.

Die Erschütterungen (Vibrationen) des Trägers können die Schwingvorrichtung zum Schwingen bringen. Die Schwingvorrichtung kann aber auch durch einen Gasdruck (z. B. Luftdruck) zum Schwingen gebracht werden. Dies kann in beiden Fällen mit oder ohne einen Aktivator zustande kommen.

Der Aktivator stellt z. B. ein bewegliches Teil dar, das bei seiner Bewegung zur Veränderung des Abstands zwischen den Schwingelementen geeignet ist. Unter der Einwirkung einer äußeren mechanischen Kraft berührt der Aktivator die Schwingelemente im Bereich ihrer freien Enden, wobei diese Schwingelemente auseinander gedrückt werden. Der Aktivator vollführt in einer bevorzugten Variante im Wesentlichen periodische Bewegungen, so dass die Anregung der Schwingvorrichtung periodisch erfolgt. Die Bewegung des Aktivators kann eine Translation oder eine Rotation sein. Bei jedem Durchgang des Aktivators zwischen den Schwingelementen wird in den Energiespeicherelementen die Energie übertragen, die nach dem Durchgang des Aktivators an das Piezoelement übertragen wird.

Der Aktivator ist vorzugsweise keilförmig, d. h. er weist einen sich verjüngenden Querschnitt auf. Der Aktivator und/oder die Schwingelemente können in einer vorteilhaften Variante zumindest in ihrem Kontaktbereich eine verschleißfeste Schicht aufweisen, d. h. eine Schicht aus einem gegenüber dem Grundmaterial des jeweiligen Elements verschleißfesten Material. Diese Schicht kann z. B. Ir, W, Ti oder beliebige Materialien enthalten, die die Reibungsverluste an den Kontaktflächen zwischen Aktivator und Schwingelement minimieren.

Der mechanische Wandler kann eine Transportvorrichtung umfassen, die zum Transport des Aktivators vorgesehen ist. Die Transportvorrichtung ist bezüglich der Schwingvorrichtung so

platziert, dass der Aktivator zwischen den Schwingelementen, vorzugsweise durch die Mitte des als Kontaktbereich vorgesehenen Bereichs durchlaufen kann.

Die Transportvorrichtung kann in einer Variante ein Transportband umfassen, das mittels Transportrollen in Bewegung gesetzt wird. Die Transportrollen sind vorzugsweise an ein vorstehend erwähntes Energiereservoir gekoppelt. Die Transportvorrichtung kann alternativ eine Drehvorrichtung in Form einer Scheibe, eines Rads oder eines Rings umfassen, die bzw. der um eine Drehachse drehbar ist und an dem der Aktivator befestigt ist, der bei der Drehung des Rades das Auseinanderdrücken der Schwingelemente bewirkt. Die Drehachse ist vorzugsweise quer zur Längsrichtung der Schwingelemente ausgerichtet.

Das Piezoelement weist Elektroden und mindestens eine piezoelektrische Schicht auf, die zwischen den Elektroden angeordnet ist. Die Elektroden können z. B. Außenelektroden sein, die auf der Oberfläche eines Grundkörpers des Piezoelements angeordnet sind. Zwischen den Außenelektroden ist eine Piezoschicht angeordnet. Bei der Deformation dieser Piezoschicht entsteht eine elektrische Ladung an den Elektroden.

Die Elektroden können aber auch Innenelektroden sein, die jeweils zwischen zwei Piezoschichten angeordnet sind. Vorzugsweise sind mehrere Innenelektroden vorhanden, die abwechselnd an eine erste und eine zweite Außenelektrode angeschlossen sind. In diesem Fall stellt das Piezoelement ein Vielschicht-Bauelement dar.

Für piezoelektrische Schichten sind insbesondere Piezomaterialien mit hohen Werten des Piezomoduls - z. B. des Piezomo-

duls d_{31} , d_{33} , d_{15} - geeignet. Damit kann ein besonders hoher Wirkungsgrad erzielt werden. Als Piezomaterial ist Keramik mit piezoelektrischen Eigenschaften sehr gut geeignet.

Die Polarisationsrichtung der piezoelektrischen Schicht ist vorzugsweise quer zu den Hauptflächen der Schwingelemente gerichtet. Die Polarisationsrichtung der piezoelektrischen Schichten ist in einer Variante quer zu den Innenelektroden oder Außenelektroden des Piezoelements gerichtet. Die Elektroden, insbesondere Außenelektroden des Piezoelements können auch jeweils im Wesentlichen parallel zur Polarisationsrichtung der mindestens einen piezoelektrischen Schicht ausgerichtet sein.

Die Schwingelemente können vorzugsweise im Bereich ihrer freischwingbaren Enden jeweils ein Energiespeicherelement aufweisen. Als Energiespeicherelemente sind Gewichte geeignet. Die Gewichte sind nicht nur zur Energiespeicherung, sondern auch zur Einstellung der Schwingfrequenz, insbesondere der Eigenfrequenz der Schwingvorrichtung geeignet. Bei ausreichend großen Gewichten kann beispielsweise die Länge der Schenkel der Schwingvorrichtung besonders klein gewählt werden, was im Sinne der Miniaturisierung des Piezogenerators ist.

Die zueinander gewandten Seiten der Gewichte sind vorzugsweise derart angeschrägt, dass der Abstand zwischen den Gewichten mit der Entfernung von der Ausgangslage des Aktivators abnimmt. Im Ruhezustand ist der Mindestabstand zwischen den Gewichten kleiner als die breiteste Stelle des vorzugsweise keilförmigen Aktivators. Die Gewichte werden unter Einwirkung der äußeren mechanischen Kraft durch den Aktivator berührt und bezüglich ihrer Ruhelage ausgelenkt, wobei die Gewichte entsprechend ihrer Auslenkung die Energie speichern.

Für jeweiliges Schwingelement ist vorzugsweise ein Begrenzungselement zur Begrenzung der Schwingungsamplitude dieses Schwingelements vorgesehen.

Der Piezogenerator wird nun anhand von schematischen und nicht maßstabgetreuen Figuren erläutert. Es zeigen schematisch:

Figur 1 einen prinzipiellen Aufbau eines Piezogenerators;

Figur 2 im Querschnitt den Piezogenerator mit einer Schwingvorrichtung und vorgespanntem Piezoelement, wobei Schwingelemente der Schwingvorrichtung durch einen Aktivator auseinander gedrückt sind (oben) und frei schwingen (unten);

Figur 2A den Aufbau des in Figuren 2 und 5 gezeigten Piezoelements;

Figur 3 im Längsquerschnitt ein Piezoelement mit piezoelektrischen Schichten, deren Polarisationsrichtung senkrecht zu den Innenelektroden des Piezoelements gerichtet ist;

Figur 4 im Querschnitt ein Piezoelement mit einer piezoelektrischen Schicht, deren Polarisationsrichtung parallel zu den Elektroden des Piezoelements gerichtet ist;

Figur 5 im Querschnitt einen Piezogenerator, bei dem im mechanischen Wandler Stopper zur Begrenzung der Schwingungsamplitude von Schwingelementen vorgesehen sind;

Figur 5A eine Variante des in Fig. 5 vorgestellten Piezogenerators, bei dem das Verbindungsstück der Schwingvorrichtung

das jeweilige Schwingungselement in zwei Schwingarme unterteilt;

Figur 6 im Querschnitt eine Schwingvorrichtung, bei der der Aktivator sich quer zu der Längsrichtung der Schwingelemente bewegt;

Figur 7 Transportvorrichtung mit einem Laufband zur Versetzung des Aktivators entlang einer Linie;

Figuren 8A, 8B eine perspektivische Ansicht und die Draufsicht auf eine Variante der Transportvorrichtung gemäß Figur 7, bei der der Aktivator seitlich am Laufband angeordnet ist;

Figur 9 die Draufsicht auf eine weitere Variante der Transportvorrichtung gemäß Figur 7, bei der der Aktivator im Mittelbereich des Laufbands angeordnet ist;

Figur 10 die Draufsicht auf eine Transportvorrichtung, bei der mehrere Aktivatoren auf einer Drehvorrichtung in Form einer Scheibe montiert sind;

Figur 11 die Draufsicht auf eine Transportvorrichtung, bei der zwei Aktivatoren auf einer Drehvorrichtung in Form einer Speiche an beiden Enden der Speiche montiert sind;

Figur 12 die Draufsicht auf eine Transportvorrichtung, bei der vier Aktivatoren auf einer Drehvorrichtung in Form eines Drehkreuzes montiert sind;

Figur 13 die Draufsicht auf eine Transportvorrichtung, bei der vier Aktivatoren auf einer Drehvorrichtung in Form eines Laufrads montiert sind;

Figuren 14A, 14B und 14C ausschnittsweise den Querschnitt des Piezogenerators, bei dem der mechanische Wandler einen rotierbaren Ring mit einem darauf befestigten Aktivator umfasst, in verschiedenen Phasen der Ringrotation;

Figur 15 die Seitenansicht einer Transportvorrichtung in Form eines Zahnrads.

Die Figur 1 zeigt schematisch den Aufbau eines Piezogenerators 1. Der Generator umfasst ein Piezoelement 2 und einen mechanischen Wandler 5. Der mechanische Wandler 5 umfasst einen Aktivator 6 und eine Schwingvorrichtung 51. Der Aktivator 6 ist ein bewegliches Teil, das die Energie einer äußeren mechanischen Kraft 7 auf die Schwingvorrichtung 51 überträgt und somit diese Vorrichtung zum Schwingen bringt. Die Schwingvorrichtung 51 steht im mechanischen Kontakt mit dem Piezoelement 2, so dass bei der Schwingung der Schwingvorrichtung 51 die Übertragung der mechanischen Energie auf das Piezoelement 2 möglich ist.

Im mechanischen Wandler erfolgt die Wandlung der mechanischen Energie von einer Form in die andere. Beispielsweise wird die Energie der Translationsbewegung des Aktivators 6 in Schwingungen der Schwingvorrichtung 51 umgewandelt. Die Schwingvorrichtung 51 trägt bei der Schwingung eine wechselhafte Druckspannung 4 auf das Piezoelement 2 über. Das Piezoelement 2 ist elektrisch mit einer elektrischen Last 3 - Verbraucher - verbunden. Im Piezoelement 2 erfolgt die Transformation der mechanischen Energie in die elektrische, die der elektrischen Last 3 zugeführt wird. Bevorzugte Ausführungen des Piezoelements 2 sind in den Figuren 3 und 4 erläutert. Die Ausführung des Piezoelements ist jedoch auf diese Beispiele nicht be-

grenzt. Im Prinzip kann das Piezoelement einen beliebigen Aufbau aufweisen.

In Figur 2 ist eine beispielhafte Implementierung des piezoelektrischen Generators mit einer Schwingvorrichtung gezeigt, welche die Form einer Stimmgabel aufweist, also als ein U-Stück ausgebildet ist. Das U-Stück weist zwei Schenkel und ein Verbindungsstück auf, das die beiden Schenkel miteinander verbindet. Die Schenkel des U-Stücks sind Schwingelemente 8a, 8b, die die Flügel der Schwingvorrichtung darstellen. Die Schwingungen des zweiten Schwingelements 8b sind mit den Schwingungen des ersten Schwingelements 8a korreliert.

Das Verbindungsstück des U-Stücks weist einen Befestigungsbereich 17 auf, in dem die Schwingvorrichtung an einem nicht gezeigten Träger wie z. B. dem Gehäuse des Generators befestigt ist.

Das Piezoelement 2 ist im Ausgangszustand zwischen den Flügeln der Schwingvorrichtung in der Nähe des Verbindungsstücks eingeklemmt und dadurch vorgespannt. In einer Variante wird das Piezoelement 2 ausschließlich durch die Schenkel der Schwingvorrichtung gehalten. Möglich ist aber auch, dass die Flügel hauptsächlich zum periodischen Zusammendrücken des Piezoelements 2 dienen, wobei das Piezoelement zusätzlich von einer von der Schwingvorrichtung mechanisch entkoppelten Haltevorrichtung gestützt, gehalten oder getragen wird.

Die Flügel der Schwingvorrichtung stellen beispielsweise streifenförmige Biegefedern dar. Die Schwingvorrichtung umfasst außerdem Gewichte 9a, 9b, die am freien Ende des jeweiligen Schwingelements 8a, 8b montiert und zur Speicherung einer mechanischen Energie geeignet sind.

Die Schwingenelemente 8a, 8b können auch unabhängig voneinander am Träger befestigt sein. Ausschlaggebend ist es, dass ein Ende des Schwingenelements 8a und 8b frei schwingen kann. Die Ausführung der Schwingvorrichtung mit nur einem Schwingenelement, z. B. dem oberen Flügel 8a der Schwingvorrichtung ist auch denkbar, falls der untere Flügel durch eine nicht bewegliche Auflage ersetzt wird.

Die Gewichte 9a, 9b im Kontaktbereich und der Aktivator 6 weisen vorzugsweise schräge, zueinander gewandte Flächen auf, die an einer Stelle abrupt aufhören, welche beim Entgleiten des Aktivators aus dem Kontaktbereich als Letztes berührt wird. An dieser Stelle wird die maximale Auslenkung der Schwingenelemente 8a, 8b erzielt. Die schrägen Flächen schneiden sich jeweils vorzugsweise mit einer waagrecht ausgerichteten Fläche. Vorteilhafterweise wird in diesem Fall beim Passieren des Aktivators 6 durch den Kontaktbereich der Schwingvorrichtung unmittelbar nach dem Erreichen der maximalen Auslenkung der Schwingenelemente 8a, 8b ein abruptes Loslassen dieser Schwingenelemente bewirkt. Damit gelingt es, die mechanische Energie am effizientesten zu übertragen.

Der Aktivator 6 kann insbesondere in Form eines Keils ausgebildet sein. Die Keilform ist besonders vorteilhaft, da damit ein abruptes Loslassen der ausgelenkten Schwingenelemente möglich ist, wonach die Schwingenelemente frei schwingen können.

Der Querschnitt des Keils verbreitert sich zu dem Ende hin, das den Kontaktbereich als Letztes verlässt. Der Mindestabstand zwischen den Gewichten 9a, 9b ist kleiner als die breiteste Stelle des Aktivators 6. Der Aktivator 6 bewegt sich in der Figur 2 von links nach rechts zwischen den Gewichten 9a, 9b und gleitet dabei an den zu ihm gewandten Flächen dieser

Gewichte. Die den Aktivator berührenden Flächen der Gewichte werden als ein Kontaktbereich bezeichnet. Sobald die Querschnittsgröße des Aktivators den Mindestabstand zwischen den Gewichten 9a, 9b überschreitet, werden die Gewichte 9a, 9b auseinander gedrückt, was in der Figur 2 oben mit Pfeilen angedeutet ist.

Die Gewichte 9a, 9b sind auf den zueinander gewandten Seiten derart angeschrägt, dass das Gleiten des Keils zwischen diesen Gewichten erleichtert ist. Durch die Keilform des Aktivators 6 und die Anschrägung der Gewichte 9a, 9b gelingt es, die Schwingelemente 8a, 8b besonders effizient und ruckfrei auseinander zu drücken.

Die Gewichte 9a, 9b und der Aktivator 6 sind vorzugsweise aus einem abnutzungsfesten Material hergestellt oder zumindest in den Bereichen, die aneinander reiben, eine Schicht aus einem solchen Material aufweisen.

Der Aktivator 6 kann sich auch senkrecht zu der in Figur 2 gezeigten Querschnittsebene bewegen, wobei die Schräge der Gewichte vorzugsweise stets entlang der Bewegungsrichtung des Aktivators 6 verläuft.

Bei der durch die Bewegung des Aktivators hervorgerufene Auslenkung der Schwingelemente 8a, 8b wird in diesen eine Energie gespeichert. Sobald der Aktivator den Kontaktbereich der Schwingvorrichtung verlässt, fangen die Gewichte an, sich unter der Wirkung einer Rückstellkraft in eine Gegenrichtung zu bewegen. Die Bewegungsrichtung der Schwingelemente 8a, 8b unmittelbar nach dem Entgleiten des Aktivators aus dem Kontaktbereich ist in der Figur 2 unten mit Pfeilen angedeutet. Dabei wird die in den Gewichten 9a, 9b eingespeicherte Potenti-

alenergie in die kinetische Energie dieser Gewichte bzw. in die Schwingungsenergie der Schwingvorrichtung umgesetzt, da die Bewegung der Gewichte 9a, 9b das Oszillieren der Schwingelemente 8a, 8b bewirkt.

Während der Schwingdauer der Schwingelemente 8a, 8b erfährt Piezoelement 2 eine sich bezüglich der Zeit periodisch ändernde mechanische Druckspannung in Vertikalrichtung z , welche zur Kontraktion des Piezoelements führt. Die am Piezoelement 2 erzeugte Druckspannung wird in eine elektrische Energie folgendermaßen umgesetzt. An den Elektroden 10a, 10b, 10c des Piezoelements 2 tritt infolge des piezoelektrischen Effekts eine elektrische Ladung auf, die der elektrischen Last 3 zugeführt wird. Die stirnseitigen Elektroden 10a und 10b werden beide an eine erste und die mittlere Elektrode 10c des Piezoelements an eine zweite Elektrode der Last 3 angeschlossen, so dass die elektrische Ladung vom Piezoelement 2 abfließen kann.

Die Abhängigkeit der an der Last 3 gemessenen Wechselspannung U von der Zeit t ist in der Figur 2 schematisch gezeigt. Diese Spannung ist proportional zu der Amplitude der mechanischen Schwingungen der Schwingelemente 8a, 8b. Diese Amplitude verringert sich mit der Zeit, da die Schwingungen durch Reibungsverluste und Energieentkopplung gedämpft werden.

Die Stimmgabel, d. h. die Schwingvorrichtung 51, weist vorzugsweise eine Symmetrieachse auf, die entlang der Richtung x ausgerichtet ist. Die Schwingelemente 8a, 8b schwingen dann gegeneinander in Gegenphase, aber mit der gleichen Amplitude. Diese mechanische Synchronisation der Schwingelemente kann mit einem im wesentlichen gleichen Aufbau der Schwingelemente beziehungsweise mit einem symmetrischen Aufbau der Schwing-

vorrichtung bei der gleichen Auslenkung der beiden Schwingelemente in zueinander entgegen gesetzten Richtungen erzielt werden. Die gleiche Auslenkung kann durch einen vorzugsweise symmetrischen Aufbau des Aktivators 6 erzielt werden.

Der Bereich des Verbindungsstücks, der in der Nähe der Symmetrieachse der Schwingvorrichtung liegt, bleibt bei der Schwingung der Schwingelemente 8a, 8b im Wesentlichen unbeweglich. Der Befestigungsbereich 17 ist vorzugsweise in diesem Bereich des Verbindungsstücks angeordnet. Somit werden die Schwingungen der Schwingelemente 8a, 8b durch die Verbindung mit dem Träger nur geringfügig gedämpft.

Das Piezoelement 2 weist vorzugsweise eine Resonanzfrequenz auf, die im Wesentlichen mit der Schwingungsfrequenz der Schwingvorrichtung übereinstimmt.

Das in Figuren 2 und 5 schematisch gezeigte Piezoelement 2 ist in der Figur 2A erläutert. Eine weitere Ausführungsform des Piezoelements 2 ist in Figur 3 gezeigt.

Das in Figuren 2A und 3 gezeigte Piezoelement 2 stellt ein Mehrschicht-Bauelement bzw. einen Piezostack dar, d. h. einen Stapel von abwechselnd angeordneten piezoelektrischen Schichten 11 und Metallschichten. Jede Metallschicht ist zu einer Innenelektrode 12a, 12b oder 12c ausgebildet. Die Innenelektroden einer Sorte sind leitend miteinander verbunden und von den Innenelektroden der anderen Sorten elektrisch isoliert. Die ersten Innenelektroden 12a sind an eine erste Außenelektrode 10a, die zweiten Innenelektrode 12b an eine zweite Außenelektrode 10b und die dritten Innenelektroden 12c an eine dritte Außenelektrode 10c angeschlossen. Die Außenelektroden

10a, 10b, 10c sind an der Oberfläche des Piezoelements 2 angeordnet.

Im unteren Teil des in Figur 2A gezeigten Piezoelements 2 sind die ersten und die dritten Innenelektroden 12a, 12c abwechselnd angeordnet. Im oberen Teil dieses Piezoelements sind die zweiten und die dritten Innenelektroden 12b, 12c abwechselnd angeordnet.

Die Außenelektroden 10a und 10b sind in Figur 2A vorzugsweise beide an Masse angeschlossen. Die elektrische Verbindung zwischen diesen Außenelektroden kann z. B. mittels des U-Stücks aus einem leitfähigen Material zustande kommen.

In der in Figur 2A gezeigten Variante ist der Befestigungsbereich 17 als eine Zunge ausgebildet, die vom U-Stück abzweigt und sich entlang der Symmetrieachse des U-Stücks erstreckt. Diese Zunge ist mit einer Öffnung 17a zur Aufnahme eines Befestigungselements wie z. B. einer Schraube versehen.

An die Außenelektroden 10a, 10b ist jeweils ein Anschlussdraht 15a, 15b angeschlossen (Fig. 3), wobei er vorzugsweise angelötet ist. Die Außenelektroden 10a, 10b sind in den Figuren 3 und 4 senkrecht zu den Hauptflächen der Schwingenelemente 8a, 8b und in der Variante gemäß Figuren 2, 2A teilweise parallel dazu ausgerichtet.

Der Polarisationsvektor P von jeder Piezoschicht 11 ist vorzugsweise senkrecht zu den Hauptflächen der Schwingenelemente 8a, 8b ausgerichtet. Die Polarisationsvektoren P sind in der in Fig. 3 gezeigten Variante senkrecht zu den Elektrodenflächen - in dieser Variante zu den Flächen der Innenelektroden

12 - sowie senkrecht zu den Hauptflächen der Schwingelemente 8a, 8b ausgerichtet.

Vorzugsweise ist der Ausgangswiderstand des Piezoelements 2 an den Eingangswiderstand der elektrischen Last 3 angepasst. Dies ist für eine optimale Übertragung der im Piezoelement erzeugten elektrischen Energie von Vorteil, so dass ein besonders großer Wert des Wirkungsgrads des Piezogenerators erzielt werden kann. Eine vorgegebene Impedanz des Piezoelements 2 sowie seine Ausgangsspannung kann durch eine geeignet gewählte Gesamtdicke des Piezostacks, d. h. durch die Anzahl und die Dicke der Piezoschichten 11 eingestellt werden.

Die in der Figur 4 gezeigte Vorrichtung ist zur Erzeugung einer Scherdeformation des Piezoelements 2 geeignet. Dafür sind Kopplungselemente 14 vorgesehen, die zwischen den Schwingelementen 8a, 8b und dem Piezoelement 2 entlang einer Diagonale des Piezoelements 2 angeordnet sind. Die Kopplungselemente können im Prinzip entlang einer beliebigen Linie angeordnet sein, die in der Figur 4 schräg zu der Vertikalrichtung verläuft.

In der Schwingungsphase, in der die Schenkel der Schwingvorrichtung aufeinander zulaufen, wird die rechte Seite des Piezoelements 2 mithilfe des oberen Kopplungselements 14 nach unten und seine linke Seite mithilfe des unteren Kopplungselements 14 nach oben gedrückt. Die Schwingelemente 8a, 8b üben in diesem Fall auf das Piezoelement 2 eine Scherkraft aus. Dabei entsteht eine Scherdeformation des Grundkörpers des Piezoelements. In diesem Fall ist der Polarisationsvektor P vorzugsweise entlang der Hauptrichtung der Scherdeformation ausgerichtet.

Während der Schwingung der Schwingvorrichtung wird in der Variante gemäß der Figur 4 eine sich periodisch ändernde Scherdeformation des Piezoelements 2 erzeugt, um die mechanische Energie in die elektrische umzuwandeln. Für diese Transformation spielt hier vorzugsweise der Piezomodul d_{33} eine Rolle.

In der in Fig. 4 vorgestellten Variante ist das Piezoelement als eine Piezoschicht 11 ausgebildet, die zwischen den Außenelektroden 10a, 10b angeordnet ist. Die Außenelektroden sind vorzugsweise an den Hauptflächen des Piezoelements 2 angeordnet. Der Polarisationsvektor P ist hier parallel zu den Flächen der Elektroden 10a, 10b und senkrecht zu den Hauptflächen der Schwingelemente 8a, 8b ausgerichtet.

Die Schwingungsamplitude der Schwingelemente 8a, 8b soll einen bestimmten Grenzwert vorzugsweise nicht überschreiten, bei dem der mechanische Wandler des Generators beschädigt werden kann. In Figur 5 ist ein Ausführungsbeispiel gezeigt, bei dem zur Begrenzung der Schwingungsamplitude des Schwingelementes 8a, 8b ein Stopper 13 vorgesehen ist. Für jedes Schwingelement 8a, 8b ist vorzugsweise ein eigener Stopper 13 vorgesehen. Die Stopper können den mechanischen Wandler vor Beschädigung in Extrembedingungen schützen, bei denen das den Piezogenerator umfassende Gerät einer starken mechanischen Einwirkung (Schlag) wie z. B. beim Fallen ausgesetzt wird.

Das Schwingelement 8a, 8b ist in Schwingungsrichtung zwischen den Teilen des Stoppers angeordnet. Somit ist die Schwingung des Schwingelementes beidseitig begrenzt. Die Teile des Stoppers sind derart am Träger montiert, dass sie bei den normalen Betriebsbedingungen die Bewegung der Schwingelemente 8a, 8b nicht beeinträchtigen. Der Abstand zwischen den beiden Teilen des Stoppers 13 ist also größer als die maximale zu-

lässige Schwingungsamplitude der Schwingelemente 8a, 8b gewählt. Sobald die äußere Kraft 7 einen vorgegebenen Grenzwert überschreitet, werden die Schwingelemente 8a, 8b am Stopper anschlagen, so dass ihre Amplitude den für die Zerstörung des Generators kritischen Wert nicht erreicht.

Die Merkmale der in den Figuren 2 bis 5 erläuterten Ausführungen sind ohne Einschränkung auf die nachstehend erläuterten Ausführungsbeispiele übertragbar.

In Figur 5A ist eine Variante des in Fig. 5 vorgestellten Piezogenerators, bei dem das Verbindungsstück 80 der Schwingvorrichtung das jeweilige Schwingungselement 8a, 8b in zwei Schwingarme 8a-1 und 8a-2 bzw. 8b-1 und 8b-2 unterteilt, gezeigt. Die Schwingarme 8a-2, 8b-2 sind kürzer ausgebildet als die mit den Gewichten 9a, 9b verbundenen Schwingarme 8a-1, 8b-1. Das Verbindungsstück 80 ist in diesem Fall zwischen dem Piezoelement 2 und den Gewichten 9a, 9b angeordnet.

Die Schwingarme 8a-1 und 8a-2 bilden eine erste Hebelvorrichtung. Die Schwingarme 8b-1 und 8b-2 bilden eine zweite Hebelvorrichtung. Die Hebelvorrichtungen sind in ihren im Wesentlichen unbeweglichen Bereichen durch das Verbindungsstück 80 miteinander verbunden und laufen synchron, aber in Gegenphase.

In den Figuren 6 bis 13 ist ausschnittsweise ein mechanischer Wandler gezeigt, bei dem - im Gegensatz zu der in der Figur 2 gezeigten Schwingvorrichtung - der hier nicht gezeigte Aktivator sich nicht entlang der Längsrichtung x der Schwingelemente 8a, 8b, sondern entlang einer anderen Lateralrichtung y, also quer dazu läuft. Die Gewichte 9a, 9b sind dabei der-

art angeschrägt, dass der Abstand zwischen ihnen in Richtung y kleiner wird.

Die Schwingfrequenz der Schwingvorrichtung 51 kann durch die Masse der Gewichte 9a, 9b, die Länge der Schwingelemente 8a, 8b und die Lage des Piezoelements 2 eingestellt werden. Die Schwingfrequenz ist vorzugsweise gleich der Resonanzfrequenz des Piezoelements 2.

Die Anregung der Schwingvorrichtung 51 durch den Aktivator 6 kann periodisch sein, wobei die Periode der Anregung vorzugsweise der Schwingungsperiode der Schwingvorrichtung 51 gleich oder ein ganzzahliges Vielfaches dieser Periode ist. Dabei ist im mechanischen Wandler für die Anregung eine Resonanzbedingung bezüglich der Schwingfrequenz der Schwingvorrichtung erfüllt. Die Periode der Anregung kann bei Bedarf dadurch verringert und somit die Anregungsfrequenz erhöht werden, dass anstelle nur eines Aktivators 6 wie z. B. in den Varianten gemäß den Figuren 7 und 10 bis 13 mehrere vorzugsweise gleichartige Aktivatoren 6, 6a, 6b, 6c verwendet werden, wobei die aufeinander folgenden Aktivatoren im gleichen Abstand voneinander auf einer Transportvorrichtung angeordnet sind. Die Transportvorrichtung kann wie in Fig. 7 bis 9 ein Transportband oder wie in Fig. 10 ff. eine Drehvorrichtung umfassen. Jeder Aktivator ist vorzugsweise symmetrisch bezüglich der Hauptebene der Transportvorrichtung ausgebildet.

In Figur 7 ist eine Transportvorrichtung vorgestellt, die den Aktivator 6 in Richtung y , d. h. von links nach rechts, linear versetzt. Die Transportvorrichtung umfasst ein Transportband 61, an dem der Aktivator 6 befestigt ist. An diesem Band ist außerdem ein weiterer Aktivator 6a befestigt.

Die Transportrollen 62a, 62b drehen sich jeweils im Uhrzeigersinn um eine Drehachse AA bzw. BB (vgl. Fig. 8B), die in der Figur 7 quer zur Zeichnungsebene verläuft, und bewirken damit die Bewegung des Transportbands 61 auch im Uhrzeigersinn. Verschiedene Bewegungsphasen des Aktivators 6 sind mit gestrichelten Linien angedeutet.

Die erste Realisierung der in der Figur 7 gezeigten Transportvorrichtung ist in verschiedenen Ansichten in den Figuren 8A und 8B gezeigt. Das Transportband 61 weist eine seitlich herausragende Zunge 63 auf, an der der keilförmige Aktivator 6 befestigt ist. Die Zunge 63 ragt in eine Richtung hinaus, die quer zur Bewegungsrichtung des Transportbands 61 bzw. Aktivators 6 verläuft.

Wenn der Aktivator den Kontaktbereich der Schwingvorrichtung passiert, wird die in Zusammenhang mit der Figur 2 bereits erläuterte Auslenkung der Gewichte 9a, 9b bewirkt.

In der Figur 9 ist der untere Teil des Transportbands 61 zwischen den Schwingelementen 8a, 8b angeordnet. Der Aktivator 6 ist hier - im Gegensatz zu der Variante gemäß Fig. 8A, 8B - im Mittelbereich des Transportbands 61 angeordnet. Damit der nach innen gewandte Teil des Aktivators 6 auch im Bereich der Transportrollen ungehindert durchlaufen kann, weisen die Transportrollen 62a, 62b jeweils einen Bereich 64 mit einem kleineren Querschnitt als seine für den Bandtransport vorgesehenen Bereiche auf. Die Laufbahn des Aktivators 6 geht zwischen den Gewichten 9a, 9b durch.

Der Aktivator kann wie in den Varianten gemäß den Figuren 10 ff. anstelle eines Laufbands an einer Drehvorrichtung montiert sein. An der Drehvorrichtung können mehrere Aktivatoren

montiert sein, womit die Anregungsfrequenz bei der gleich bleibenden Drehfrequenz der Drehvorrichtung gegenüber der Variante mit nur einem Aktivator erhöht werden kann. Die Anordnung der Drehvorrichtung und der Aktivatoren ist vorzugsweise bezogen auf ihren an der Drehachse liegenden Mittelpunkt punktsymmetrisch.

In Figur 10 ist die Drehvorrichtung als eine Scheibe 16c realisiert, die um eine Achse rotiert, welche senkrecht auf den Hauptebenen der Scheibe steht.

Die Drehvorrichtung kann mindestens einen Steg 16a, 16b aufweisen, der sich senkrecht zur Drehachse erstreckt und um die Drehachse drehbar ist. In Figur 11 ist die Drehvorrichtung als ein Steg 16a realisiert, durch dessen Mittelpunkt die Drehachse durchgeht, wobei an beiden Enden des Stegs 16a jeweils ein Aktivator befestigt ist.

Die Drehvorrichtung kann auch wie in Fig. 12 in Form eines Drehkreuzes realisiert sein. Dabei erstrecken sich mehrere Stege von der Drehachse entlang jeweils einer Radialrichtung nach außen hin. Die Stege bilden also eine vorzugsweise symmetrische Sternanordnung. Die Enden der Stege können durch eine Felge - den Ring 16 in Fig. 13 - miteinander verbunden sein, wobei die Drehvorrichtung die Form eines Laufrads aufweist.

In den Figuren 14A, 14B und 14C ist die Schwingvorrichtung gezeigt, die neben den Schwingelementen 8a, 8b in Form einer Biegefeder einen Ring 16 umfasst, der um eine Drehachse AA drehbar ist und an dem der vorzugsweise keilförmige Aktivator 6 befestigt ist. Die Drehachse AA verläuft quer zur Längsrichtung der Schwingelemente 8a, 8b außerhalb des Raumbereichs

reichs, in dem diese Schwingenelemente und die Gewichte 9a, 9b angeordnet sind. Der Aktivator 6 bewegt sich unter der Einwirkung einer äußeren Kraft im Kreis, in Fig. 14A entlang der gestrichelten Linie gegen den Uhrzeigersinn. Die Drehachse AA und der Durchmesser des Rings 16 ist vorzugsweise so gewählt, dass der Aktivator 6 im vorgegebenen Bereich der Drehphase des Rings 16 zwischen den Gewichten 9a, 9b gleiten kann.

Am Ring 16 sind vorzugsweise zwei im Wesentlichen gleiche Aktivatoren 6 und 6a vorgesehen. Bei der Drehung des Ringes gleitet der Aktivator 6 und 6a zwischen den Gewichten 9a, 9b, womit wie in den vorstehend erläuterten Beispielen das Auseinanderdrücken der Schwingenelemente 8a, 8b bewirkt wird. Dies ist in der Figur 14C unten gezeigt.

In jedem Fall verläuft ein Abschnitt der Laufbahn jedes Aktivators 6, 6a, 6b, 6c zwischen den Schwingenelementen 8a, 8b.

In Figur 15 ist eine Drehvorrichtung in Form eines Zahnrads gezeigt. Das Zahnrad ist vorzugsweise symmetrisch bezüglich der Ebene EE ausgebildet, die quer zur Drehachse AA ausgerichtet ist und über den Mittelpunkt des Rads durchgeht. Die Aktivatoren 6, 6a, 6b, 6c sind entlang des Radumfangs angeordnet und stellen jeweils einen Vorsprung in einer Radialrichtung dar.

Bezugszeichenliste

- 1 Piezogenerator
- 2 Piezoelement
- 3 elektrische Last
- 4 Druckspannung
- 5 mechanischer Wandler
- 51 Schwingvorrichtung
- 6, 6a, 6b, 6c Aktivator
- 61 Transportband
- 62a, 62b Transportrollen
- 63 hervorstehende Zunge des Transportbands 61 zur Montage des Aktivators 6
- 64 Vertiefung der Transportrolle
- 7 äußere mechanische Kraft
- 8a, 8b Schwingelemente
- 9a, 9b Gewichte
- 10a, 10b, 10c Außenelektroden des Piezoelements 2
- 11 piezoelektrische Schicht
- 12 Innenelektroden
- 13 Stopper
- 14 Kopplungselement
- 15a, 15b Anschlussdraht
- 16 Ring
- 17 Befestigungsbereich
- AA Drehachse
- BB Drehachse
- U Spannung an der elektrischen Last
- t Zeit
- x erste Lateralrichtung, die mit der Längsrichtung der Schwingelemente 8a, 8b übereinstimmt
- y zweite Lateralrichtung
- z Vertikalrichtung

Patentansprüche

1. Piezogenerator

- mit einem Piezoelement (2),
- mit einer Schwingvorrichtung (51), die gegeneinander schwingbare Schwingelemente (8a, 8b) aufweist, zwischen denen das Piezoelement (2) eingeklemmt ist, das die mechanische Energie der Schwingvorrichtung in ein elektrisches Signal umsetzt.

2. Piezogenerator nach Anspruch 1,

wobei die Schwingvorrichtung (51) so ausgebildet ist, dass die Schwingelemente (8a, 8b) in Gegenphase, aber mit der betragsmäßig gleichen Amplitude schwingbar sind.

3. Piezogenerator nach Anspruch 1 oder 2,

wobei mindestens ein Aktivator (6) vorgesehen ist, der zur Übertragung einer mechanischen Kraft auf die Schwingvorrichtung (51) und zur Anregung von Schwingungen der Schwingvorrichtung (51) geeignet ist.

4. Piezogenerator nach Anspruch 3,

wobei die Schwingvorrichtung (51) und das Piezoelement (2) zusammen ein Resonanzsystem bilden, das durch den Aktivator (6) in Resonanz angeregt wird.

5. Piezogenerator nach Anspruch 3,

wobei die Schwingvorrichtung (51) mit einer Schwingfrequenz schwingbar ist, welche durch den Aktivator (6) vorgegeben ist, wobei die Schwingfrequenz von der Eigenfrequenz der Schwingvorrichtung (51) unterschiedlich ist.

6. Piezogenerator nach Anspruch 1, wobei die Schwingelemente (8a, 8b) die Schenkel eines U-Stücks bilden, das im Bereich seines Verbindungsstücks an einem Träger befestigt ist.
7. Piezogenerator nach einem der Ansprüche 1 bis 6, wobei die Schwingvorrichtung (51) an einem Träger befestigt ist, dessen Vibrationen die Schwingvorrichtung (51) zum Schwingen bringen.
8. Piezogenerator nach einem der Ansprüche 1 bis 6, wobei die Schwingvorrichtung (51) durch einen Luftdruck zum Schwingen gebracht wird.
9. Piezogenerator nach einem der Ansprüche 3 bis 8, wobei der Aktivator (6) ein bewegliches Teil ist, das zur Veränderung des Abstands zwischen den Schwingelementen (8a, 8b) geeignet ist.
10. Piezogenerator nach einem der Ansprüche 3 bis 6, wobei der Aktivator (6) keilförmig ist.
11. Piezogenerator nach einem der Ansprüche 3 bis 10, mit einer Transportvorrichtung, an der der Aktivator (6) befestigt ist.
12. Piezogenerator nach Anspruch 11, wobei die Transportvorrichtung um eine Drehachse (AA) drehbar ist und wobei der Aktivator (6) in den dafür vorgesehenen Drehphasen das Auseinanderdrücken der Schwingelemente (8a, 8b) bewirkt.

13. Piezogenerator nach Anspruch 11,
wobei die Transportvorrichtung ein Transportband (61) umfasst, an dem der Aktivator (6) befestigt ist.
14. Piezogenerator nach einem der Ansprüche 1 bis 13,
wobei das Piezoelement (2) Elektroden (12, 10a, 10b) und mindestens eine piezoelektrische Schicht (11) aufweist, die zwischen den Elektroden (12, 10a, 10b) angeordnet ist.
15. Piezogenerator nach Anspruch 14,
- wobei die bevorzugte Polarisationsrichtung der piezoelektrischen Schicht (11) quer zu den Hauptflächen der Schwingelemente (8a, 8b) gerichtet ist,
- wobei die bevorzugte Polarisationsrichtung der piezoelektrischen Schichten quer zu den Elektroden (12, 10a, 10b) des Piezoelements (2) gerichtet ist.
16. Piezogenerator nach Anspruch 14,
- wobei die bevorzugte Polarisationsrichtung der piezoelektrischen Schicht (11) quer zu den Hauptflächen der Schwingelemente (8a, 8b) gerichtet ist,
- wobei die Elektroden (10a, 10b) des Piezoelements jeweils im Wesentlichen parallel zur bevorzugten Polarisationsrichtung der mindestens einen piezoelektrischen Schicht (11) ausgerichtet sind.
17. Piezogenerator nach Anspruch 16,
wobei zwischen dem Piezoelement (2) und den Schwingelementen (8a, 8b) Kopplungselemente (14) angeordnet sind, die bei der Schwingung der Schwingvorrichtung (51) zur Erzeugung einer Scherdeformation des Grundkörpers des Piezoelements (2) vorgesehen sind.

18. Piezogenerator nach einem der Ansprüche 3 bis 17, wobei der Aktivator (6) unter Einwirkung der äußeren mechanischen Kraft die Schwingelemente (8a, 8b) im Bereich ihrer freien Enden berührt.

19. Piezogenerator nach Anspruch 18, wobei die Schwingelemente (8a, 8b) im Bereich ihrer freischwingbaren Enden jeweils ein Gewicht (9a, 9b) aufweisen, das durch den Aktivator (6) berührt wird.

20. Piezogenerator nach einem der Ansprüche 3 bis 19, wobei zumindest ein Element, ausgewählt aus dem Aktivator (6) und den Schwingelementen (8a, 8b), zumindest im Kontaktbereich des Aktivators (6) und der Schwingelemente (8a, 8b) eine verschleißfeste Schicht aufweist.

21. Piezogenerator nach Anspruch 19 oder 20, wobei die zueinander gewandten Seiten der Gewichte (9a, 9b) derart angeschrägt sind, dass der Abstand zwischen den Gewichten (9a, 9b) mit der Entfernung von der Ausgangslage des Aktivators (6) abnimmt.

22. Piezogenerator nach Anspruch 21, wobei im Ruhezustand der Mindestabstand zwischen den Gewichten (9a, 9b) kleiner ist als die breiteste Stelle des Aktivators (6).

23. Piezogenerator nach einem der Ansprüche 1 bis 22, wobei für jeweiliges Schwingelement (8a, 8b) ein Begrenzungselement (13) zur Begrenzung der Schwingungsamplitude dieses Schwingelements (8a, 8b) vorgesehen ist.

24. Piezogenerator nach einem der Ansprüche 1 bis 23, - wobei beide Schwingelemente an einem gemeinsamen Befestigungspunkt befestigt sind.

25. Piezogenerator nach einem der Ansprüche 1 bis 24,
- wobei die Schwingelemente im Befestigungsbereich eine Krümmung aufweisen.

FIG 1

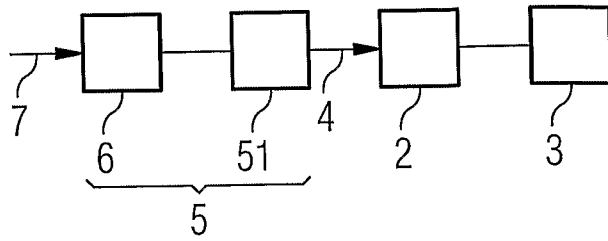


FIG 2

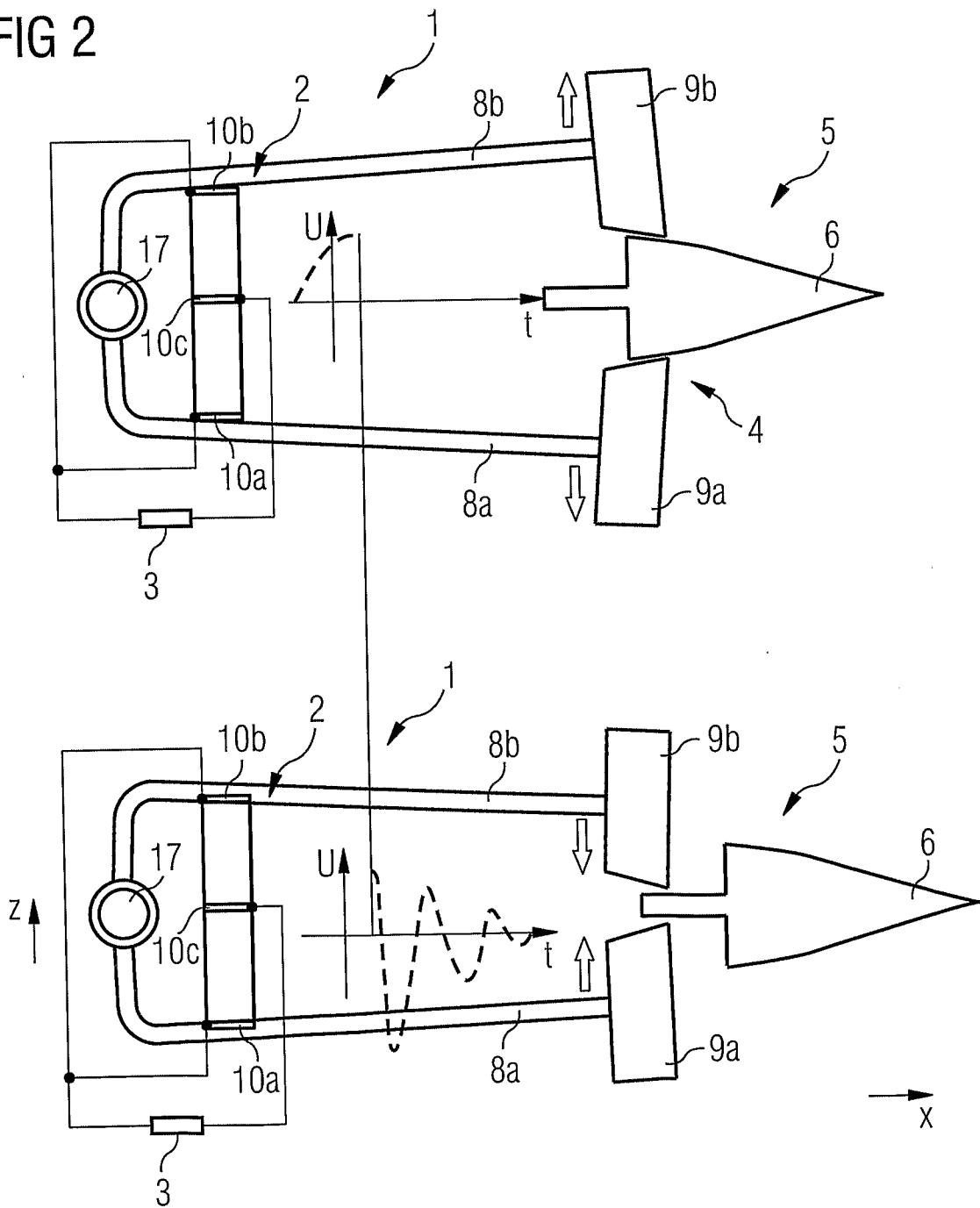


FIG 2A

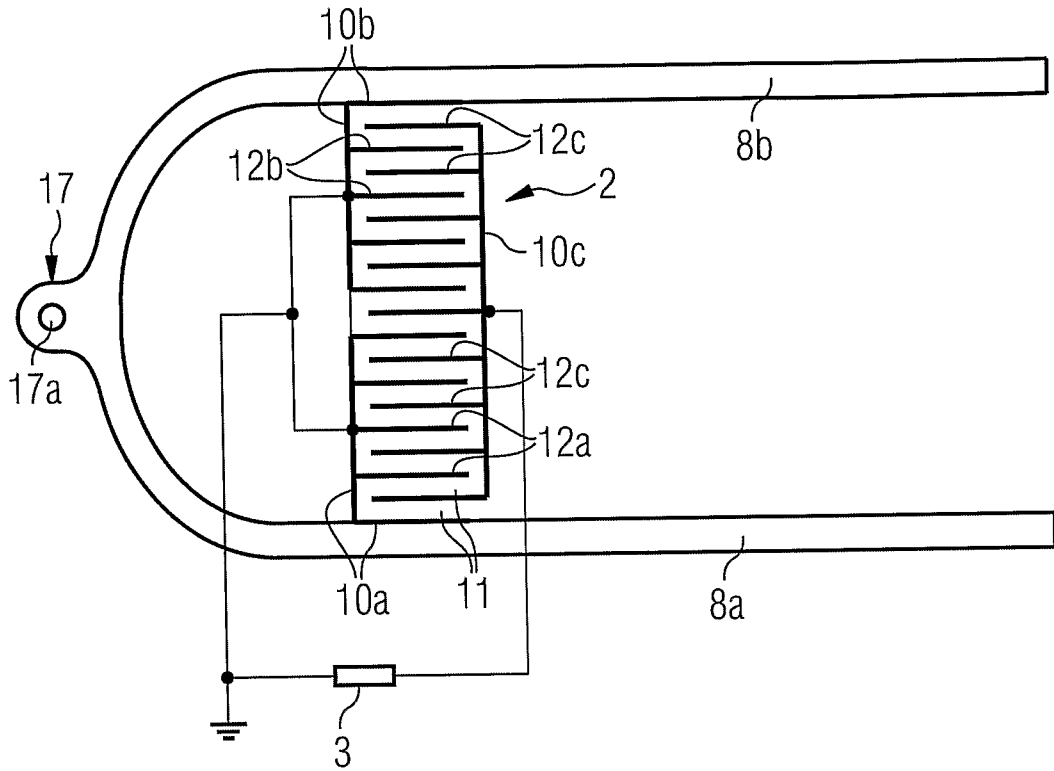


FIG 3

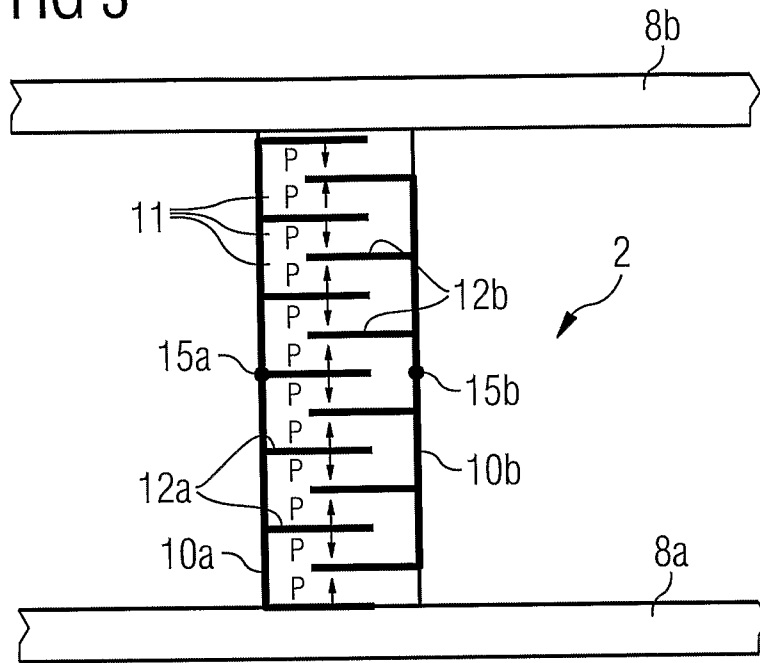


FIG 4

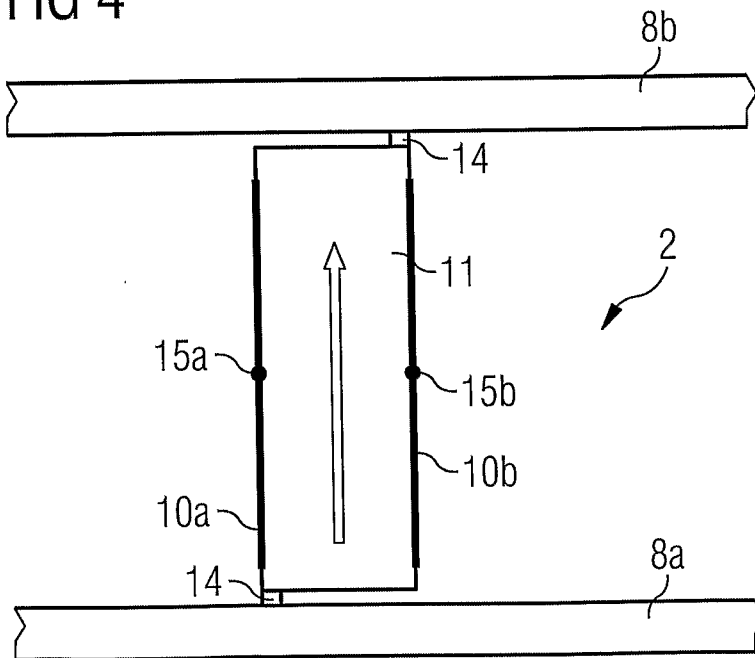


FIG 5

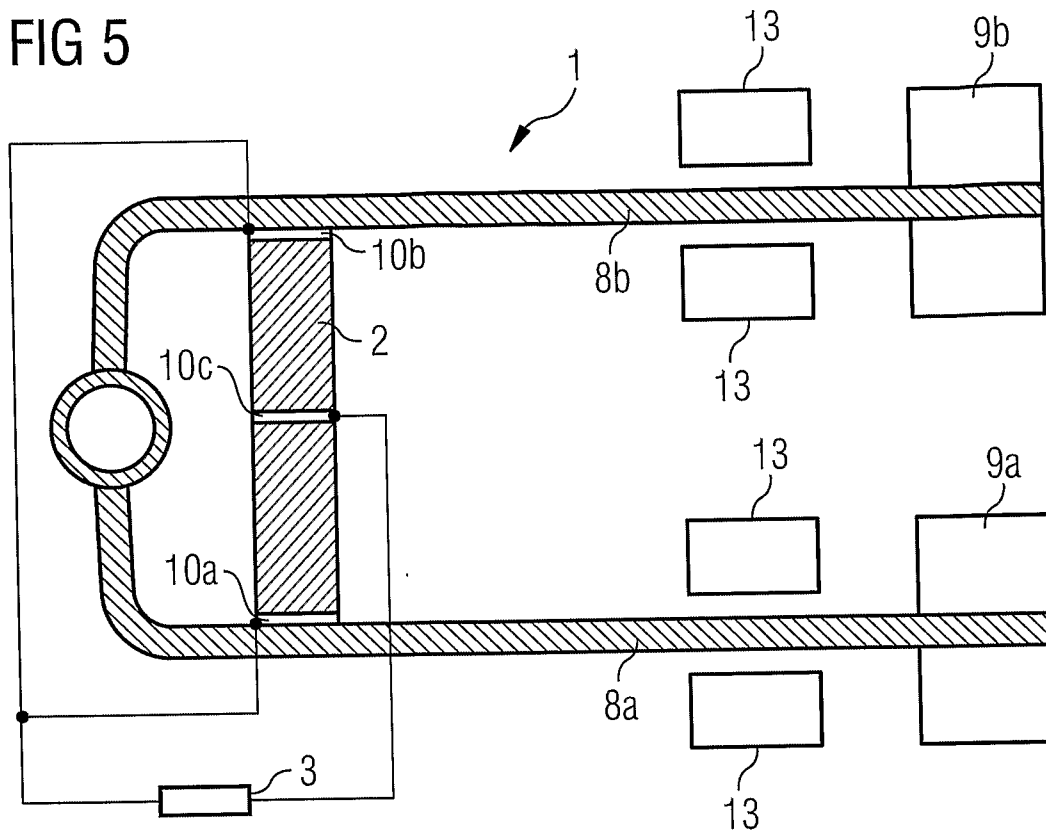


FIG 5A

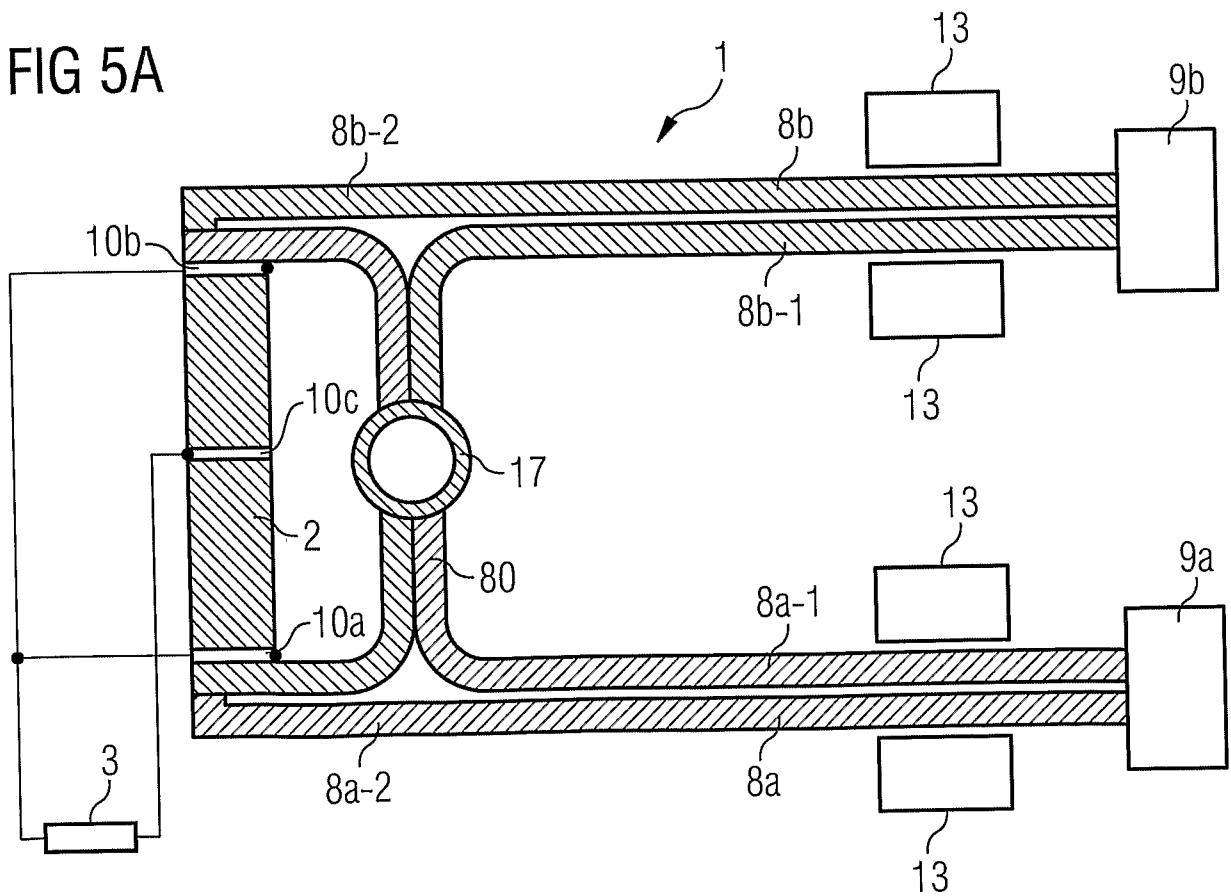


FIG 6

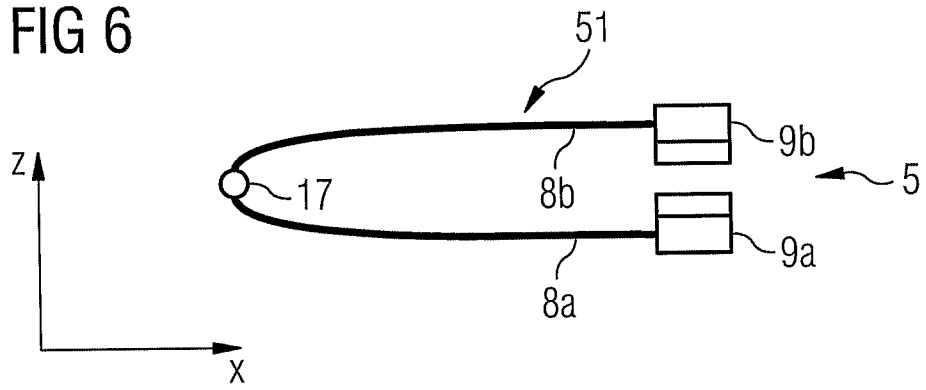


FIG 7

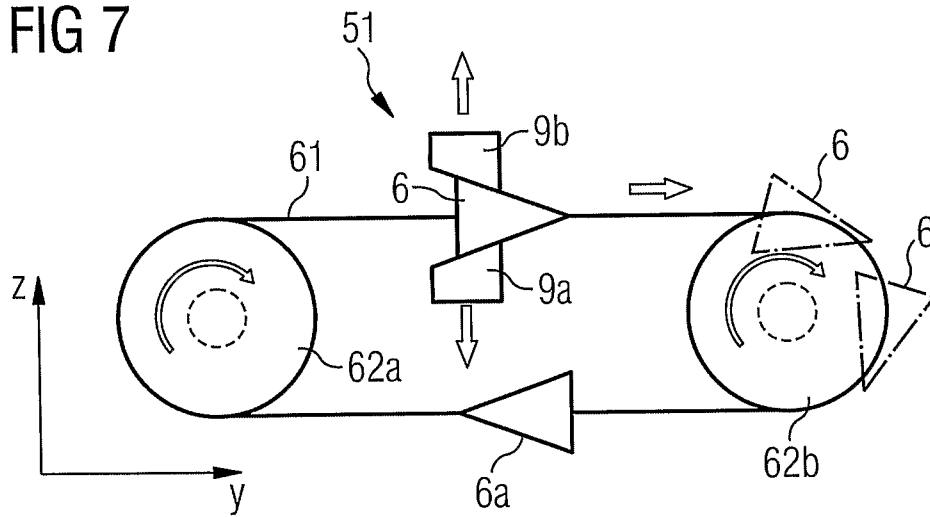


FIG 8A

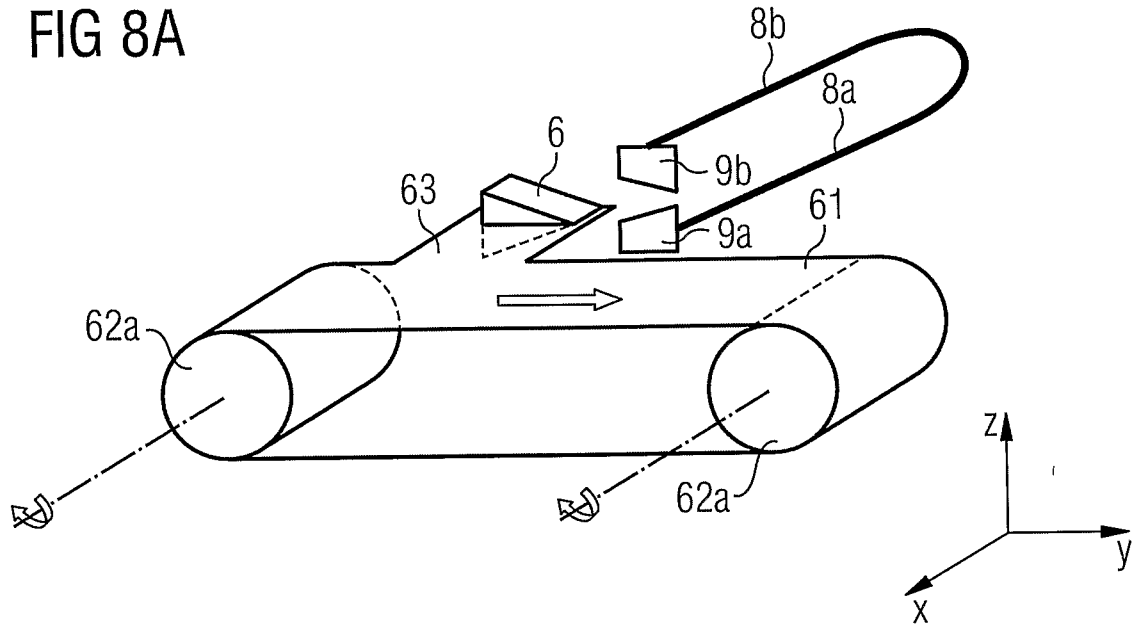


FIG 8B

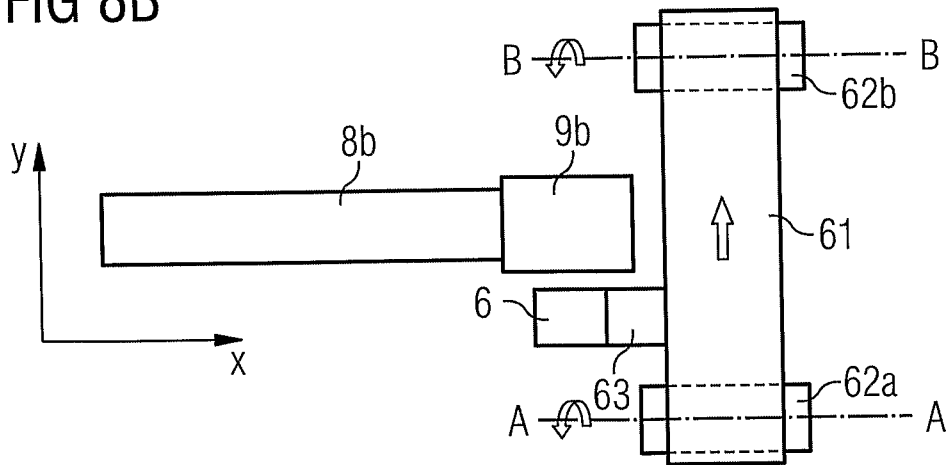


FIG 9

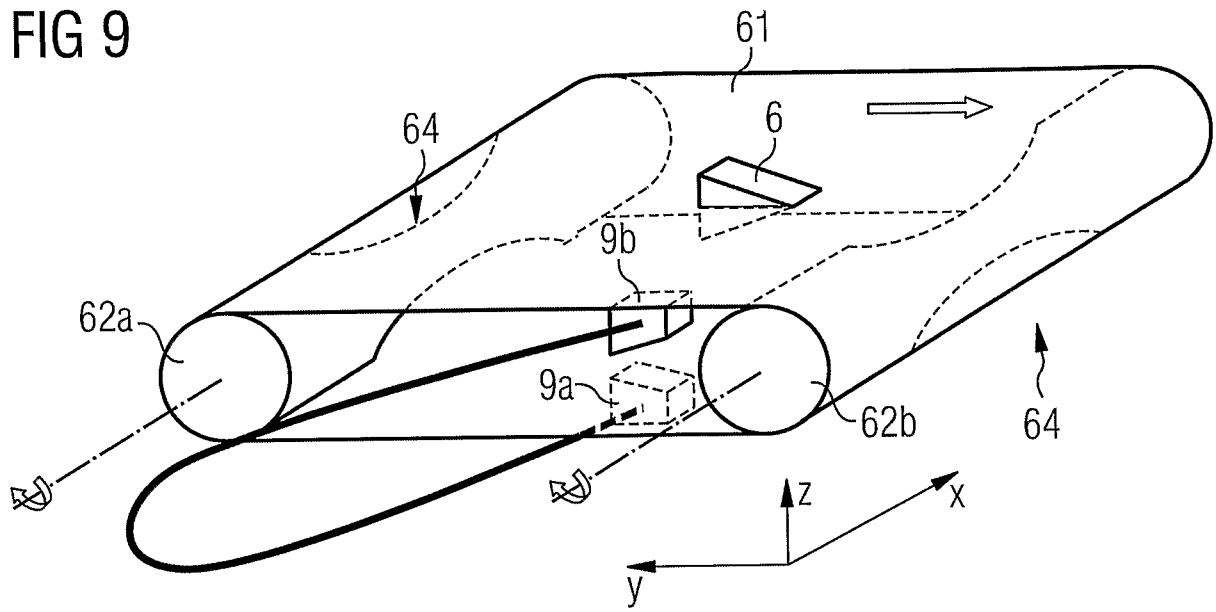


FIG 10

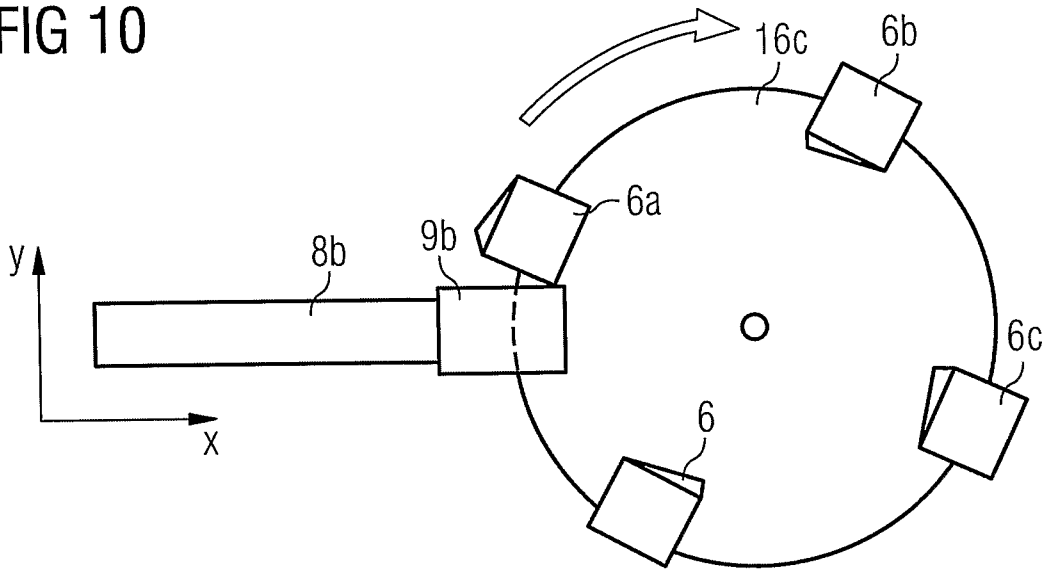


FIG 11

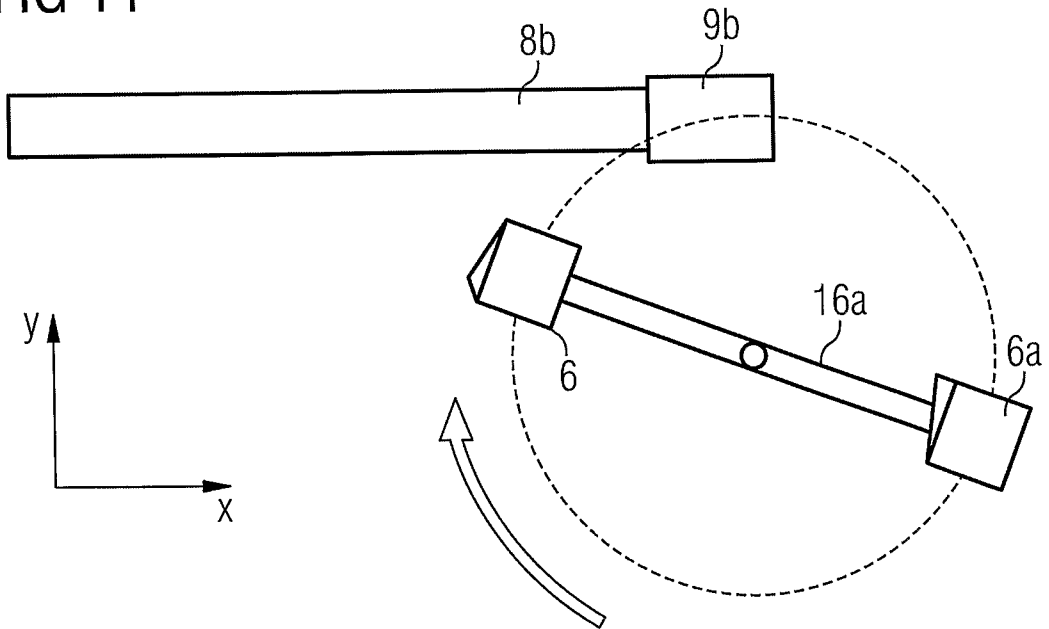


FIG 12

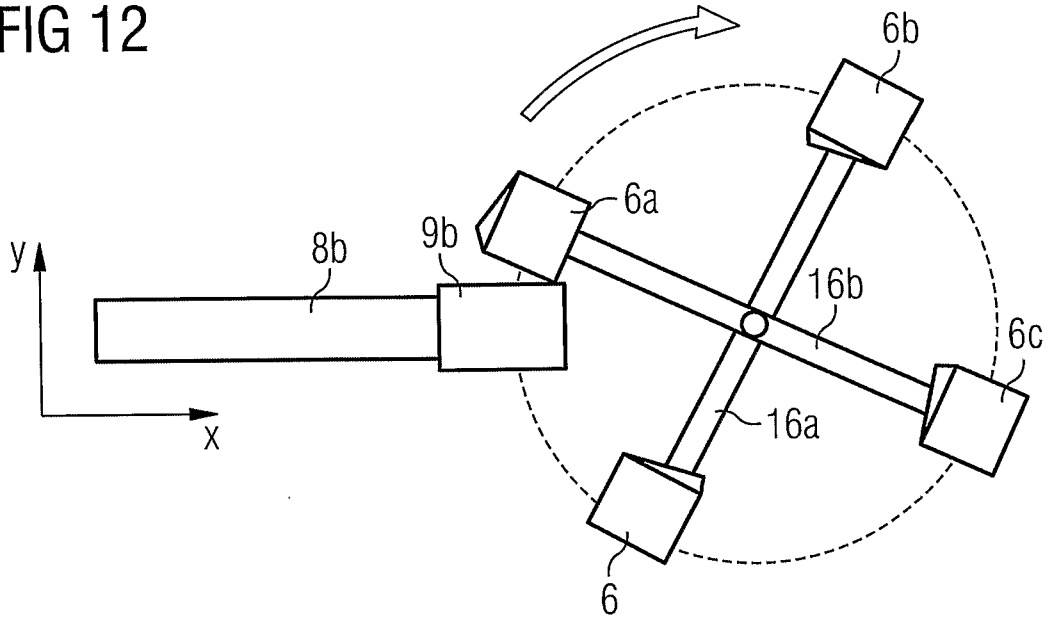


FIG 13

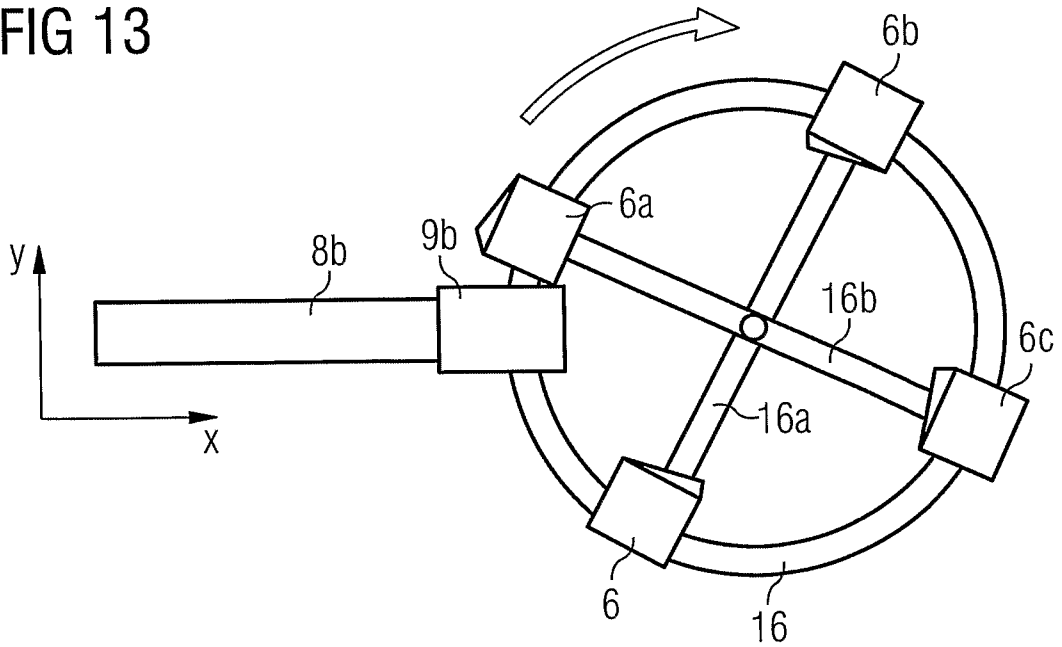


FIG 14A

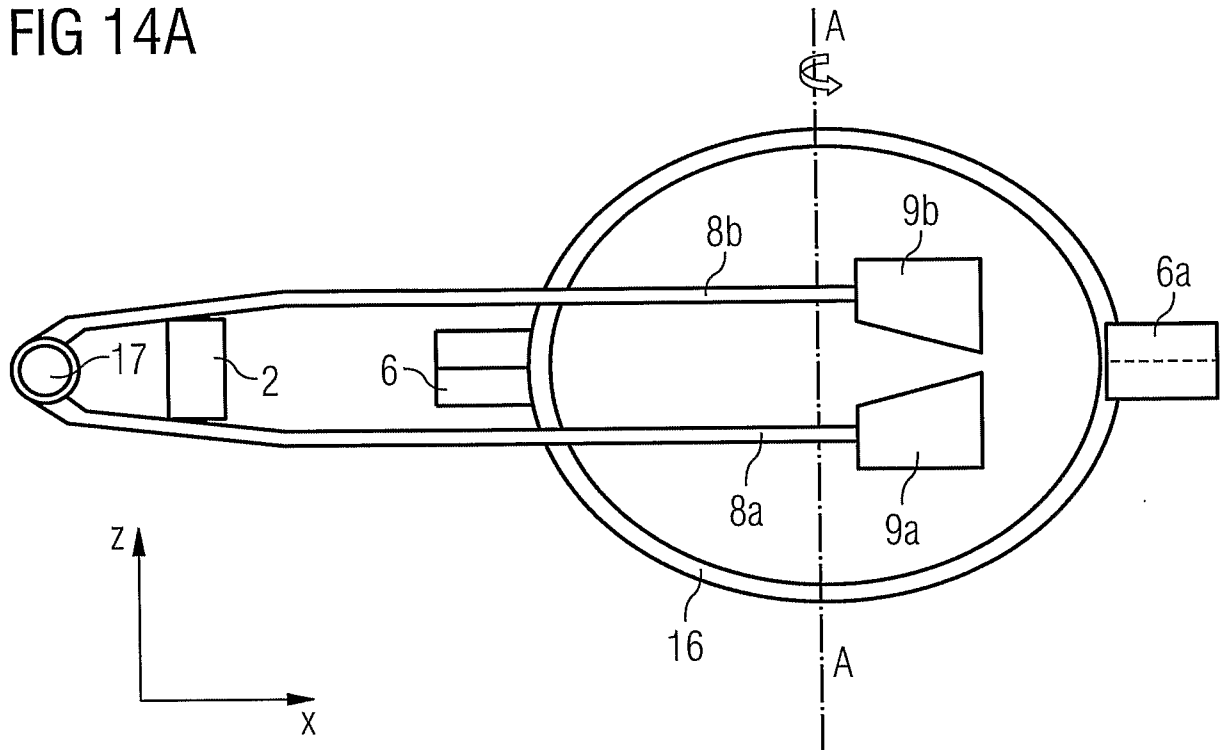


FIG 14B

