RZECZPOSPOLITA POLSKA

Urząd Patentowy Rzeczypospolitej Polskiej

(12) **OPIS PATENTOWY** (19) **PL** (11) **227816**

(13) **B1**

(21) Numer zgłoszenia: **407976**

(22) Data zgłoszenia: **23.04.2014**

(51) Int.Cl.
F16C 35/00 (2006.01)
F16C 39/00 (2006.01)

(54) **Obudowa łożyskowa**

(43) Zgłoszenie ogłoszono:
26.10.2015 BUP 22/15

(45) O udzieleniu patentu ogłoszono:
31.01.2018 WUP 01/18

(73) Uprawniony z patentu:
AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA IM. STANISŁAWA STASZICA W KRAKOWIE, Kraków, PL

(72) Twórca(y) wynalazku:
TADEUSZ UHL, Wieliczka, PL
MICHAŁ LUBIENIECKI, Kraków, PL

(74) Pełnomocnik:
rzecz. pat. Adam Pawłowski

PL 227816 B1

Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest obudowa łożyskowa, mająca zastosowanie w automatyce przemysłowej, a w szczególności w systemach tłumienia drgań i wibroizolacji maszyn precyzyjnych.

Znane są systemy tłumienia drgań wykorzystujące materiały piezoelektryczne, w których odpowiednio synchronizuje się drgania konstrukcji i elektrycznego obwodu rezonansowego. Systemy takie mogą być wykorzystywane do tłumienia drgań w węzłach łożyskowych.

W europejskim zgłoszeniu patentowym EP2339130 przedstawiono sposób tłumienia drgań i budowę obudowy łożyskowej służącej tłumieniu drgań. Podobne rozwiązanie zastosowano w patencie US2003118257 w odniesieniu do łożysk ślizgowych. W międzynarodowym zgłoszeniu patentowym WO2006015048 przedstawiono wykorzystanie materiałów piezoelektrycznych do wywoływania napięcia wstępnego w łożyskach stożkowych tworzących parę przeciwstawną. Wszystkie powyższe opisy dotyczą metod sterowania elementem piezoelektrycznym w sposób aktywny, czyli z wiążącym się z koniecznością dostarczenia energii elektrycznej.

Znane są rozwiązania pozyskiwania energii elektrycznej z łożysk, w szczególności z łożysk kulkowych.

Jednym ze znanych rozwiązań jest TE-POWERRING firmy Micropelt. W rozwiązaniu tym element dokonujący zamiany różnicy temperatury na użyteczną energię elektryczną połączony jest bezpośrednio z ruchomym (wewnętrznym) pierścieniem łożyska. Niedogodnością takiego sposobu generowania energii elektrycznej jest ograniczenie do zastosowań w węzłach łożyskowych nie pracujących w kąpieli olejowej lub łożysk suchych.

Znane jest rozwiązanie uniwersalne, służące do wytwarzania energii elektrycznej z dowolnej powierzchni płaskiej o temperaturze wyższej niż temperatura otoczenia, mogące mieć zastosowanie również do obudów łożysk. Zespół składa się z modułu termoelektrycznego, radiatora oraz elektroniki kondycjonującej energię elektryczną oraz zestawu czujników i modułu to bezprzewodowej transmisji wartości zmierzonych. Wadą takiego rozwiązania jest jego ograniczenie do zastosowania na powierzchniach płaskich oraz konieczność specjalnego przygotowania elementów maszyny lub jej obudowy przed jego zastosowaniem. Rozwiązanie jest słabo zintegrowane z obudową urządzenia, co wpływa na jego sprawność. Przykładowo, rozwiązanie tego typu zostało przedstawione w polskim zgłoszeniu patentowym nr PL395928.

Ponadto, znana jest z amerykańskiego opisu patentowego nr US3097027 obudowa łożyska tocznego, która posiada tulejowa obsadę nieruchomego, zewnętrznego pierścienia łożyska oraz pierścieniowy moduł termoelektryczny, ukształtowany i skierowany złączem gorącym i zimnym promieniowo lub poosiowo. Złącze gorące przejmuje ciepło tarcia łożyska z powierzchni walcowej lub czołowej pierścienia zewnętrznego. Złączem zimnym moduł termoelektryczny połączony jest z radiatorem. Wygenerowana w półprzewodnikowym module siłą elektromotoryczna Seebecka jest wprost proporcjonalna do różnicy temperatur na złączach. Zgromadzona energia wykorzystana jest do chłodzenia łożyska. W odróżnieniu od płaskich modułów termoelektrycznych moduły pierścieniowe są technologicznie i konstrukcyjnie bardziej złożone, dla każdego konkretnego zastosowania wymagają odrębnego projektu i wykonania.

Celowym byłoby opracowanie obudowy łożyskowej z autonomicznym systemem tłumienia drgań, w której drgania byłyby tłumione z wykorzystaniem układu opartego materiały piezoelektryczne, lecz nie wymagającego zewnętrznego zasilania.

Przedmiotem wynalazku jest obudowa łożyskowa z wbudowanym systemem tłumienia drgań, zawierająca część zasadniczą obudowy z wyfrezowanymi gniazdami, w których zamontowane są przeguby elastyczne z elementami piezoelektrycznymi łączące część zasadniczą obudowy z zewnętrznym pierścieniem łożyska, przy czym elementy piezoelektryczne są sterowane obwodem rezonansowym, charakteryzująca się tym, że do zewnętrznego pierścienia łożyska jest przymocowany moduł termoelektryczny, przy czym obwód rezonansowy zawiera półmostek H z tranzystorami kluczującymi emulujący indukcyjność L obwodu rezonansowego, które to tranzystory sterowane są sygnałem generowanym przez sterownik na podstawie filtrowanego przez filtr dolnoprzepustowy sygnału odzwierciedlającego prąd przepływający przez rezystor połączony szeregowo pomiędzy elementem piezoelektrycznym a półmostkiem H, przy czym sterownik i półmostek H są zasilane energią generowaną przez moduł termoelektryczny.

Korzystnie, obudowa jest obudową nieprzelotową, przy czym do zewnętrznej płaszczyzny zewnętrznego pierścienia łożyska jest przymocowana płyta montażowa, na której zamocowany jest mo-

duł termoelektryczny, którego płaszczyzna gorąca pg jest połączona spoiwem termoprzewodzącym z płytą montażową, a płaszczyzna zimna pz jest połączona spoiwem termoprzewodzącym z radiatorem.

Korzystnie, obudowa jest obudową przelotową, w której części zasadniczej wykonane jest gniazdo, w którym zamocowany jest moduł termoelektryczny.

Korzystnie, przeguby elastyczne z elementami piezoelektrycznymi są oddzielone od zewnętrznego pierścienia łożyska przekładkami termoizolacyjnymi.

Korzystnie, przeguby elastyczne z elementami piezoelektrycznymi są mocowane rozłącznie do obudowy.

Przedmiot wynalazku został przedstawiony w przykładach wykonania na rysunku, na którym:

Fig. 1 przedstawia w widoku rozstrzelonym pierwszy przykład wykonania obudowy łożyskowej nieprzelotowej z autonomicznym systemem tłumienia drgań,

Fig. 2 przedstawia drugi przykład wykonania obudowy łożyskowej przelotowej z autonomicznym systemem tłumienia drgań,

Fig. 3 przedstawia trzeci przykład wykonania obudowy łożyskowej z przegrodami termoizolacyjnymi,

Fig. 4 przedstawia czwarty przykład wykonania obudowy łożyskowej z wymiennymi przegubami,

Fig. 5 przedstawia schemat funkcjonalny układu autonomicznego systemu tłumienia drgań w obudowie łożyskowej.

Przedmiotem wynalazku jest obudowa łożyskowa, mająca zastosowanie zarówno do łożysk kulkowych, łożysk ślizgowych oraz innych, zdolna do zamiany energii strat cieplnych łożyska na energię elektryczną. Elementem generującym energię elektryczną jest moduł termoelektryczny.

W trakcie pracy węzła łożyskowego ciepło generowane w łożysku równomiernie nagrzewa obudowę łożyskową. W odniesieniu do opisanych powyżej znanych ze stanu techniki systemów tłumienia drgań, w rozwiązaniu według wynalazku wykorzystana jest tylko i wyłącznie energia strat cieplnych łożyska, a zatem energia, która jest tracona bezpowrotnie w przemianie nieodwracalnej i w innych obudowach stanowiłaby stratę (wynikającą ze sprawności systemu).

W rozwiązaniu według wynalazku pozyskana energia elektryczna jest wykorzystana do zasilenia obwodu elektrycznego emulującego obecność elementu indukcyjnego w obwodzie bocznikującym element piezoelektryczny i tworzący z pozostałymi elementami układu obwód rezonansowy. Przykładowo, ten emulowany element indukcyjny wraz z elementami rezystancyjnymi w układzie oraz pojemnością elementu piezoelektrycznego może tworzyć obwód rezonansowy RLC. Możliwe są również inne wykonania, w których emulowany element indukcyjny wchodzi w skład innego obwodu rezonansowego, przykładowo obwodu wielomodalnego, do tłumienia drgań w wielu częstotliwościach jednocześnie. W opisany sposób dochodzi do stworzenia układu typu „shunt damping", działającego autonomicznie, bez konieczności posiadania zewnętrznego źródła energii, jak przedstawiono na Fig. 5.

Takie rozwiązanie pozwala na wyeliminowanie podstawowej wady pasywnych systemów tłumienia drgań wykorzystujących elementy piezoelektryczne, w których stosuje się cewki indukcyjne o dużych wymiarach i dużej masie.

Fig. 1 przedstawia w widoku rozstrzelonym pierwszy przykład wykonania obudowy łożyskowej nieprzelotowej z autonomicznym systemem tłumienia drgań. Obudowa składa się z części zasadniczej 10 z wyfrezowanymi gniazdami 11 pod przeguby elastyczne z elementami piezoelektrycznymi 12, które umożliwiają rozprzęgnięcie sił działających na zewnętrzny pierścień łożyska 13 (przykładowo, dwurzędowego kulkowego łożyska tocznego) w dwóch prostopadłych płaszczyznach. W zewnętrznym pierścieniu łożyska 13 znajdują się otwory montażowe 14, które służą do zamocowania do niego, za pomocą śrub, płyty montażowej 15 z otworami montażowymi 16. Do płyty montażowej 16 dołączony jest płaski moduł termoelektryczny 18. Płyta montażowa 16 stanowi płaszczyznę gorącą pg modułu termoelektrycznego 18. Do przeciwległej strony modułu termoelektrycznego 18 przyłączony jest radiator 19, który stanowi płaszczyznę zimną pz modułu termoelektrycznego 18. Moduł termoelektryczny 18 jest połączony z płytą montażową 16 i radiatorem 19 za pomocą spoiwa termoprzewodzącego. Spoiwo termoprzewodzące łączy również płytę montażową 15 z płaszczyzną zewnętrznego pierścienia łożyska 13, tak aby ciepło skutecznie przepływało do płyty montażowej 15. Moduł termoelektryczny 18 jest połączony przewodami przewodzącymi wygenerowany prąd elektryczny z systemem zasilającym elementy piezoelektryczne 12 zgodnie ze schematem połączeniowym przedstawionym na Fig. 5.

Fig. 2 przedstawia drugi przykład wykonania obudowy łożyskowej przelotowej z autonomicznym systemem tłumienia drgań. Obudowa składa się z części zasadniczej 20 z wyfrezowanymi gniazdami 21 pod przeguby elastyczne z elementami piezoelektrycznymi 22, które umożliwiają rozprzęgnięcie sił

działających na zewnętrzny pierścień łożyska 23 (przykładowo, dwurzędowego kulkowego łożyska tocznego) w dwóch prostopadłych płaszczyznach. W części zasadniczej 20 obudowy znajduje się wyfrezowane gniazdo 24, które służy do zamontowania w nim modułu termoelektrycznego 28.

Fig. 3 przedstawia trzeci przykład wykonania obudowy łożyskowej z przegrodami termoizolacyjnymi. Rozwiązanie to ma zastosowanie zarówno do obudowy łożyskowej nieprzelotowej jak przedstawiono na Fig. 1, jak też do obudowy łożyskowej przelotowej jak przedstawiono na Fig. 2. Pomiędzy zewnętrznym pierścieniem łożyska 33 a mocowaniem przegubów elastycznych z elementami piezoelektrycznymi 32 znajdują się przegrody termoizolacyjne 35 wykonane z materiału, którego przewodnictwo cieplne jest większe od materiału obudowy. Przegrody termoizolacyjne 35 pozwalają na ukształtowanie przepływu ciepła w taki sposób, aby maksymalizować ilość energii pozyskanej przez moduł termoelektryczny poprzez zminimalizowanie odpływu ciepła do elementów zewnętrznych. Przegrody termoizolacyjne 35 ograniczają powierzchnie swobodnej konwekcji części obudowy łożyska będącej w bezpośrednim kontakcie z elementem łożyskującym. Tym samym, zwiększeniu ulega strumień ciepła przepływający przez moduł termoelektryczny. Dodatkowo przegrody termoizolacyjne zmniejszają pojemność cieplną tej części obudowy, w której zamocowany jest element generujący, dzięki temu użyteczna energia elektryczna dostępna jest w krótszym okresie czasu od momentu uruchomienia maszyny.

Fig. 4 przedstawia drugi przykład wykonania obudowy łożyskowej z wymiennymi (to znaczy mocowanymi do obudowy 40 rozłącznie) przegubami z elementami piezoelektrycznymi 42, zaopatrzonymi w otwory montażowe 48 na wkręty, którymi mocowane są one do otworów 49 w części zasadniczej (korpusie) obudowy 40.

W przedstawionych powyżej przykładach wykonania przedstawiono pojedynczy moduł termoelektryczny. Nie wyczerpują one jednak możliwości wykorzystania istoty wynalazku w rozwiązaniach z większą ilością modułów termoelektrycznych, połączonych szeregowo, równolegle lub szeregowo-równolegle.

Fig. 5 przedstawia schemat funkcjonalny układu autonomicznego systemu tłumienia drgań w obudowie łożyskowej. Element piezoelektryczny 51 (taki jak element 12, 22, 32, 42 przedstawiony na Fig. 1–3), jest połączony za pośrednictwem rezystora 52 do półmostka H zawierającego dwa sterowane tranzystory kluczujące. Półmostek H emuluje indukcyjność L w obwodzie RLC obejmującym element piezoelektryczny. Przetwornik 55 mierzy napięcie na rezystorze 52 i zamienia je na sygnał odzwierciedlający prąd przepływający przez rezystor, który jest filtrowany filtrem dolnoprzepustowym 56. Filtr dolnoprzepustowy 56 wycina z sygnału niechciane składowe, przykładowo zakłócenia (szpilki) generowane przez tranzystory kluczujące w półmostku H 53. Przykładowo, filtr dolnoprzepustowy 56 może mieć częstotliwość graniczną 300 Hz lub 500 Hz. Przefiltrowany sygnał z filtra dolnoprzepustowego podawany jest do sterownika adaptacyjnego 57, który generuje sygnał sterujący dla regulatora prądu 58 (przykładowo regulatora proporcjonalno całkującego), który generuje prąd zależny od wartości sygnału sterownika. Sygnał z regulatora 58, którego wyjścia nie mają dużej obciążalności prądowej, jest wzmacniany przez wzmacniacz sygnału 54, którego wyjście połączone jest z półmostkiem H i steruje momentami załączania tranzystorów kluczujących. Układ działa w ten sposób, że znając pojemność C elementu piezoelektrycznego 51 i rezystancję układu RLC (na którą składa się rezystancja rezystora 52 oraz pozostałych elementów układu) dostosowuje się parametry kluczowania półmostka H, tak aby emulowana przez niego indukcyjność L była odpowiednia, to znaczy spełniająca założenia wzoru:

$$\boldsymbol{i = \frac{1}{L}\int [v(\tau) - Ri(\tau)]d\tau}$$

$$\boldsymbol{L = \frac{1}{\omega^2 C^S}}$$

w którym poszczególne oznaczenia określają:

L – wartość emulowanej indukcyjności,
$v(\tau)$ – wartość napięcia na elektrodach elementu piezoelektrycznego,
R – rezystancja w obwodzie rezonansowym RLC,
$i(\tau)$ – prąd mierzony na rezystorze pomiarowym,
ω – częstotliwość drgań układu elektrycznego,
C^S – pojemność elementu piezoelektrycznego przy stałym odkształceniu.

Przykładowo, wartość parametru R może zostać określona na podstawie wzoru:

$$R_{OPT} = \frac{1}{\sqrt{2}\omega_o C^S K_{33}}$$

$$\boldsymbol{K_{33}} = \sqrt{\frac{\boldsymbol{\omega_o^2 - \omega_n^2}}{\boldsymbol{\omega_n^2}}}$$

w którym poszczególne oznaczenia określają:

R_{PZT} – rezystancja elementu piezoelektrycznego,

C^S – pojemność elementu piezoelektrycznego,

ω_o – częstotliwość drgań mechanicznych przy rozwartych elektrodach elementu piezoelektrycznego,

ω_n – częstotliwość drgań mechanicznych przy zwartych elektrodach elementu piezoelektrycznego,

Elementy 55–58 mogą być zrealizowane jako układ FPGA 59. Układ FPGA 59, sterownik mostka 54 (wzmacniacz) i półmostek FI 53 są zasilane za pomocą energii wygenerowanej przez moduł termoelektryczny 18.

Zastrzeżenia patentowe

1. Obudowa łożyskowa z wbudowanym systemem tłumienia drgań, zawierająca część zasadniczą (10) obudowy z wyfrezowanymi gniazdami (11), w których zamontowane są przeguby elastyczne z elementami piezoelektrycznymi (12, 22, 32, 42, 51) łączące część zasadniczą (10) obudowy z zewnętrznym pierścieniem łożyska (13), przy czym elementy piezoelektryczne są sterowane obwodem rezonansowym, **znamienna tym**, że do zewnętrznego pierścienia łożyska (13, 23) jest przymocowany moduł termoelektryczny (18, 28), przy czym obwód rezonansowy zawiera półmostek H (53) z tranzystorami kluczującymi emulujący indukcyjność L obwodu rezonansowego, które to tranzystory sterowane są sygnałem generowanym przez sterownik (57) na podstawie filtrowanego przez filtr dolnoprzepustowy (56) sygnału odzwierciedlającego prąd przepływający przez rezystor (52) połączony szeregowo pomiędzy elementem piezoelektrycznym (12, 22, 32, 42, 51) a półmostkiem H (53), przy czym sterownik (57) i półmostek H (53) są zasilane energią generowaną przez moduł termoelektryczny (18, 28).
2. Obudowa łożyskowa według zastrz. 1, **znamienna tym**, że jest obudową nieprzelotową (10), przy czym do zewnętrznej płaszczyzny zewnętrznego pierścienia łożyska (13) jest przymocowana płyta montażowa (15), na której zamocowany jest moduł termoelektryczny (18), którego płaszczyzna gorąca pg jest połączona spoiwem termoprzewodzącym z płytą montażową (15), a płaszczyzna zimna pz jest połączona spoiwem termoprzewodzącym z radiatorem (19).
3. Obudowa łożyskowa według zastrz. 1, **znamienna tym**, że jest obudową przelotową (20), w której części zasadniczej (20) wykonane jest gniazdo (24), w którym zamocowany jest moduł termoelektryczny.
4. Obudowa łożyskowa według zastrz. 1, **znamienna tym**, że przeguby elastyczne z elementami piezoelektrycznymi (32) są oddzielone od zewnętrznego pierścienia łożyska (33) przekładkami termoizolacyjnymi (35).
5. Obudowa łożyskowa według zastrz. 1, **znamienna tym**, że przeguby elastyczne z elementami piezoelektrycznymi (42) są mocowane rozłącznie do obudowy (40).

Rysunki

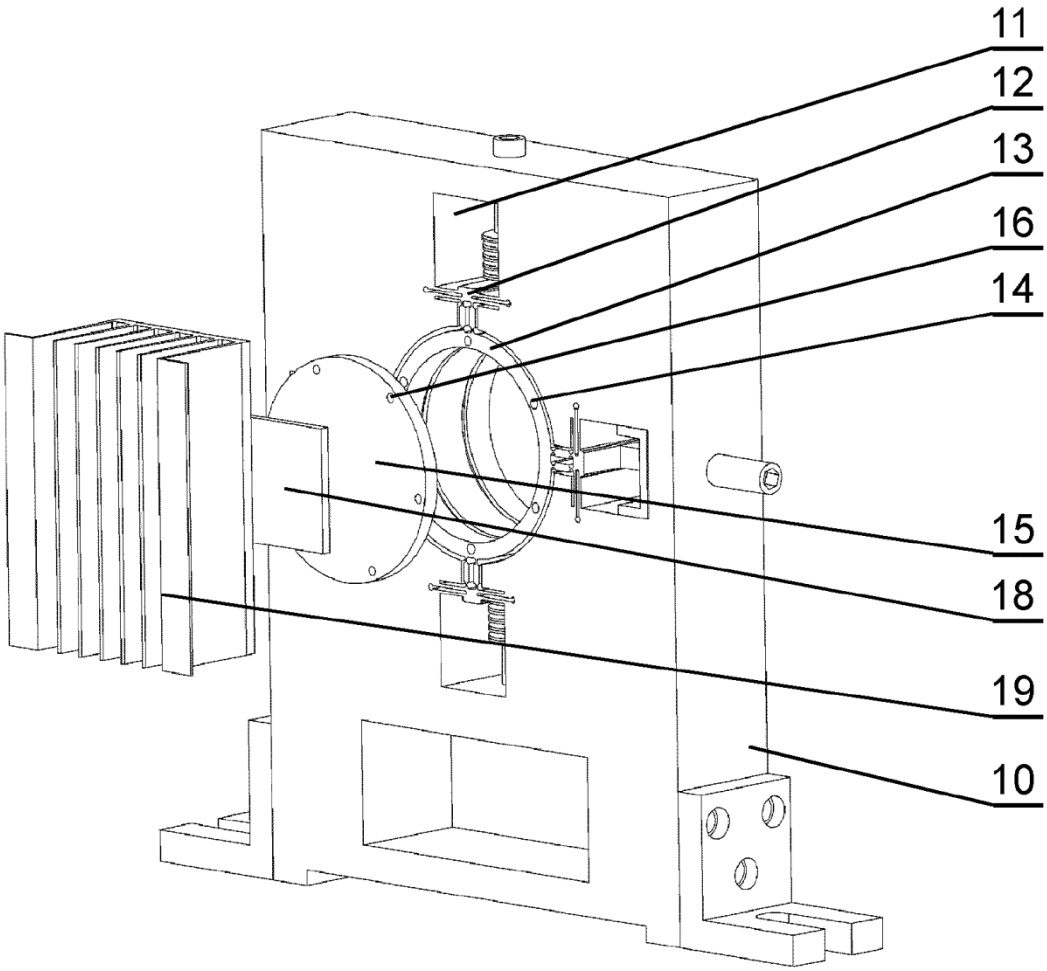

Fig. 1

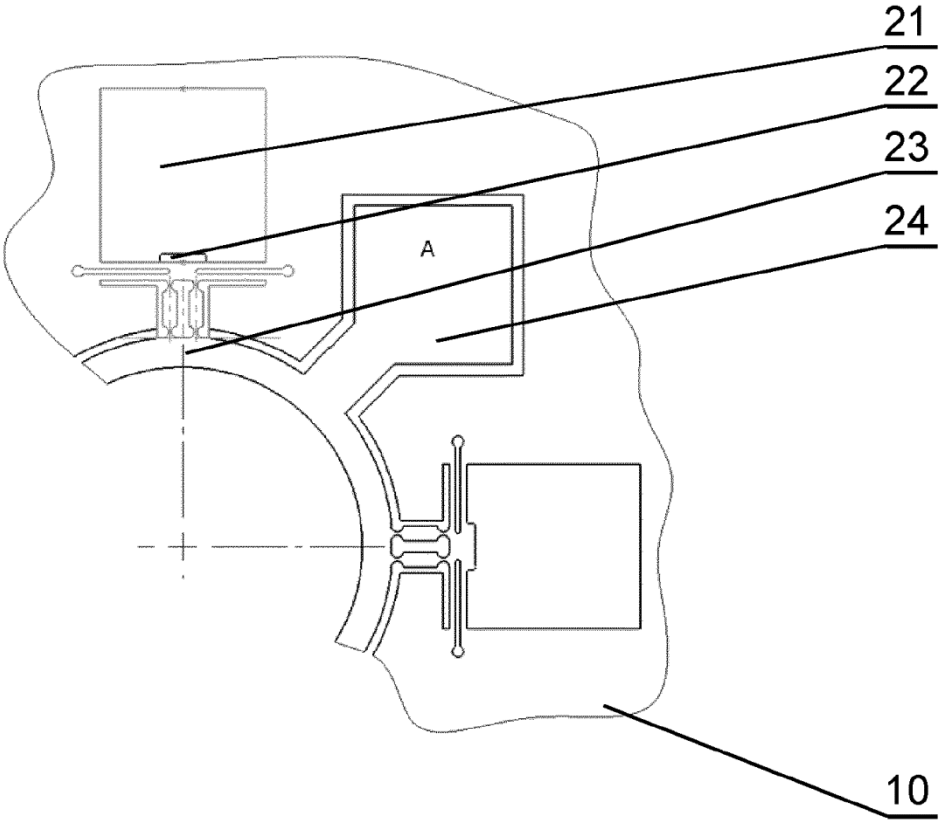

Fig. 2

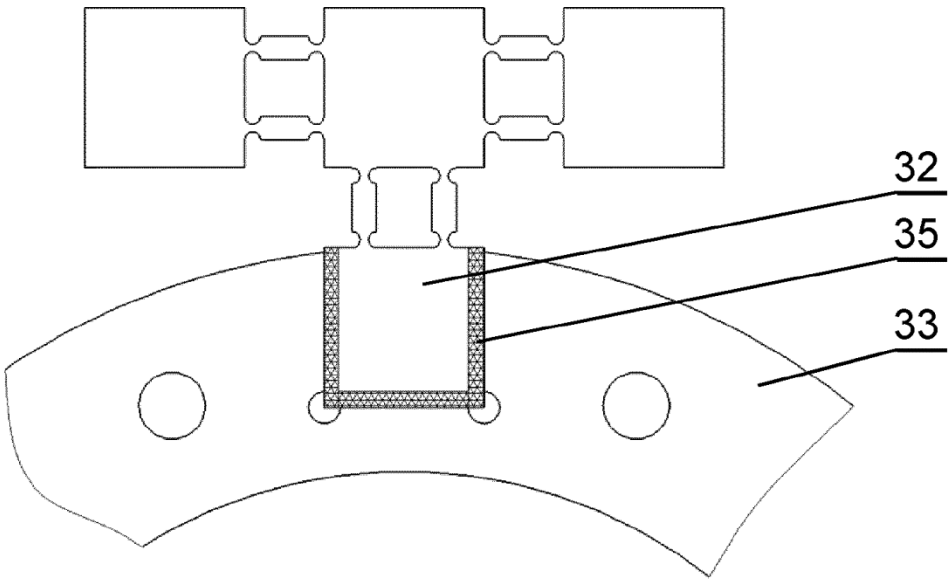

Fig. 3

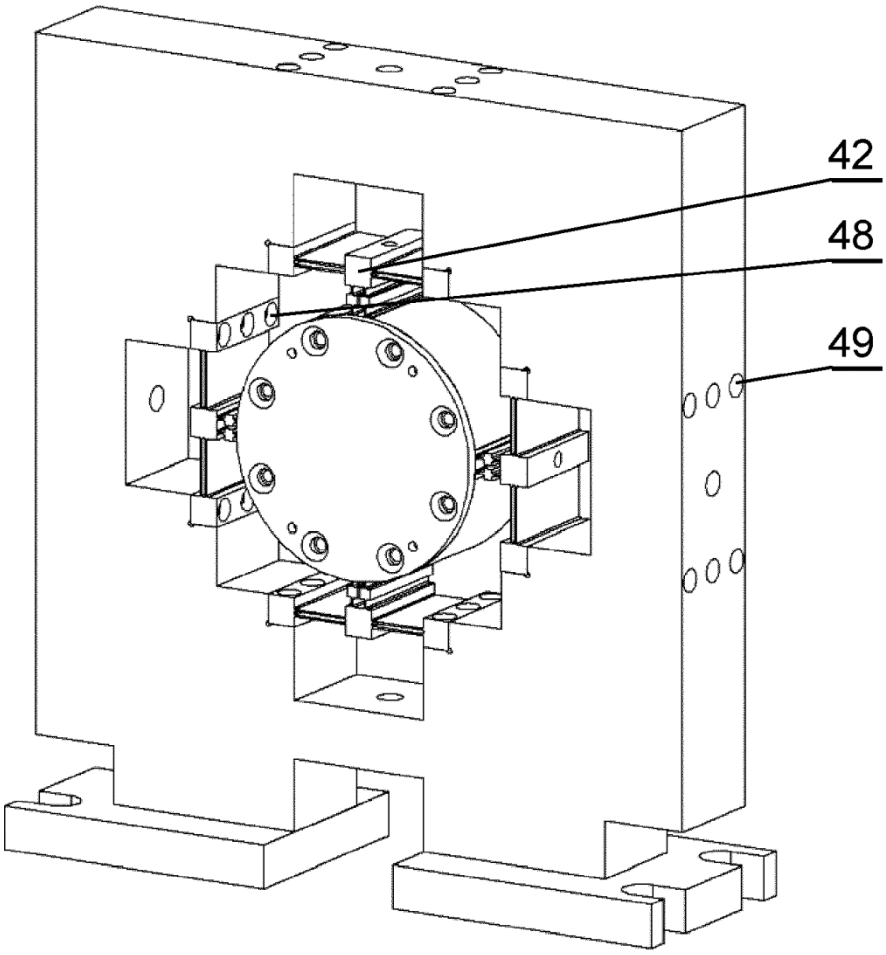

Fig. 4

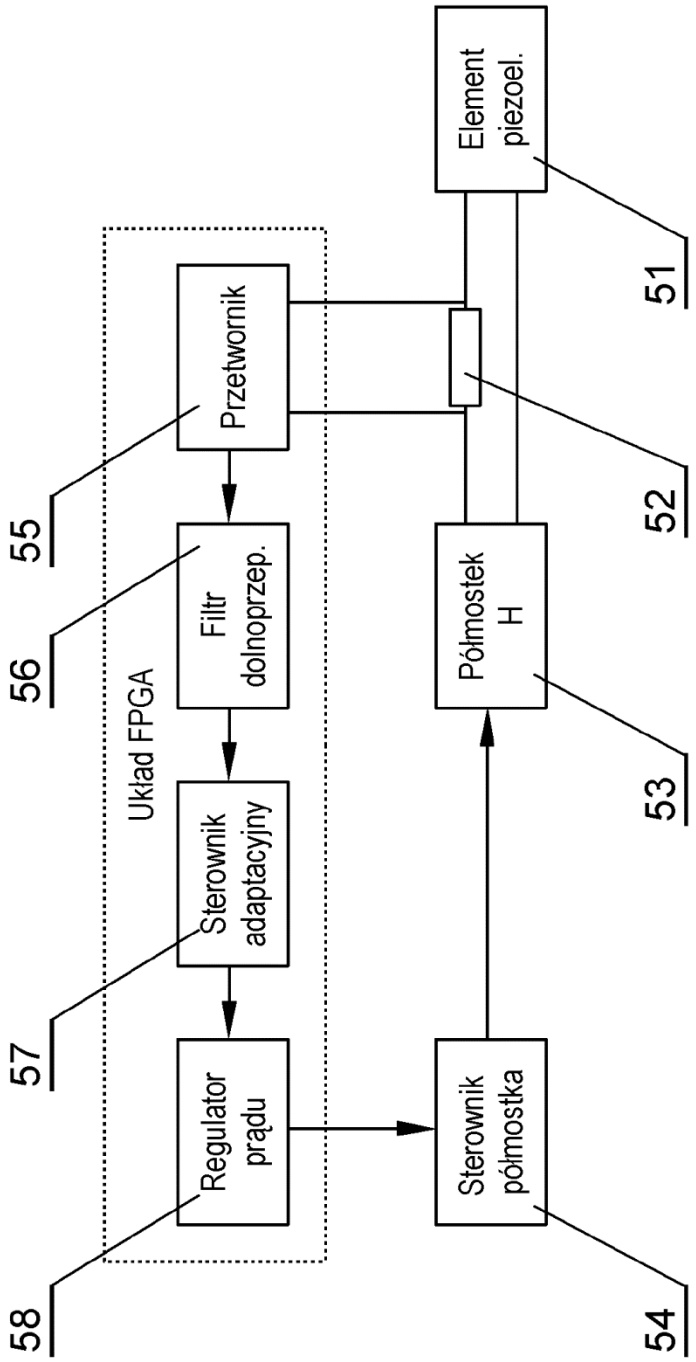
Element piezoel.
51
Przetwornik
52
55
Filtr dolnoprzep.
Półmostek H
56
Układ FPGA
53
Sterownik adaptacyjny
57
Regulator prądu
Sterownik półmostka
58
54

Fig. 5