

(19)



URZĄD
PATENTOWY
RZECZYPOSPOLITEJ
POLSKIEJ

(10) **PL 243261 B1**

(12)

Opis patentowy

(21) Numer zgłoszenia: **437533**

(22) Data zgłoszenia: **2021.04.09**

(43) Data publikacji o zgłoszeniu: **2022.10.10 BUP 41/2022**

(45) Data publikacji o udzieleniu patentu: **2023.07.24 WUP 30/2023**

(51) MKP:

F16F 15/02 (2006.01)

F16F 15/027 (2006.01)

F16F 1/02 (2006.01)

F16F 9/53 (2006.01)

F16F 13/30 (2006.01)

(73) Uprawniony z patentu:

**INSTYTUT PODSTAWOWYCH PROBLEMÓW
TECHNIKI POLSKIEJ AKADEMII NAUK,
Warszawa, PL**

(72) Twórca(-y) wynalazku:

**ROBERT KONOWROCKI, Otwock, PL
DOMINIK PISARSKI, Warszawa, PL**

(74) Pełnomocnik:

Mariusz Kondrat, Warszawa, PL

(54) Tytuł:

Wieloczołonowy adaptacyjny stabilizator drgań mechanicznych

PL 243261 B1

Opis wynalazku

DZIEDZINA TECHNIKI

Przedmiotem wynalazku jest wieloczłonowy adaptacyjny stabilizator drgań mechanicznych o zwartej konstrukcji zawierającej ułożone teleskopowo względem siebie co najmniej trzy człony stabilizatora oraz obudowę. Dodatkowo w skład stabilizatora wchodzi łączniki sprężyste, czujniki przemieszczeń, tłumiki sterowane półaktywnie oraz jednostka sterująca, gdzie zaimplementowany jest algorytm sterowania, który przy wykorzystaniu wieloczłonowej konstrukcji stabilizatora, gwarantuje wysoką skuteczność rozpraszania energii, oferując przy tym szeroki zakres kształtowania charakterystyk dynamicznych.

STAN TECHNIKI

Do poprawnej eksploatacji konstrukcji, maszyn i urządzeń często wymagane jest tłumienie drgań wywołanych przez ich pracę lub czynniki zewnętrzne. Stan techniki obejmuje rozwiązania konstrukcyjne stabilizatorów drgań mechanicznych oraz sposobów tłumienia drgań mechanicznych przy wykorzystaniu tłumików, amortyzatorów oraz stabilizatorów. Wśród tych rozwiązań wyróżnić możemy konstrukcje pasywne, półaktywne i aktywne.

Z opisu polskiego zgłoszenia patentowego PL329416 znany jest amortyzator z możliwością sterowania siłą oddziaływania, złożony z cylindra oraz współpracującego z nim tłoka dzielącego przestrzeń wewnątrz cylindra na dwie komory, przy czym obydwie komory cylindra połączone są przewodami z pojemnikiem kompensacyjnym, a ponadto w przewodach zainstalowane są zawory sterowane przy użyciu obwodu elektrycznego realizującego pętlę sterowania, na który składa się model odwracania fazy pracy amortyzatora pozwalający na określenie wartości prądu elektrycznego sterowania zaworami, przy czym układ sterowania umożliwia dostosowanie w trakcie posuwu roboczego tłoka nacisku stanowiącego sygnał odniesienia do pętli sprzężenia zwrotnego i sterowanie wartością siły wywołującej posuw powrotny tłoka.

Z opisu polskiego patentu PL214845 znany jest pneumatyczny absorber do rozpraszania energii drgań mechanicznych, w którego dwukomorowym siłowniku zainstalowane są dwa czujniki ciśnienia, z których jeden jest podłączony do komory podtłokowej, a drugi do komory nadtłokowej. W tłoczysku siłownika zamocowany jest czujnik siły kontaktowej oraz czujnik przyspieszenia. Cylinder siłownika wyposażony jest w czujnik służący do wyznaczania prędkości poruszania się obiektu tłumionego. Czujniki ciśnienia, przyspieszenia, czujnik siły kontaktowej i prędkości połączone są z wejściami bloku sterującego, natomiast wyjście bloku sterującego połączone jest ze sterownikiem zaworu elektrycznego. Zawór ten jest przyłączony z jednej strony do komory podtłokowej, a z drugiej strony do komory nadtłokowej, umożliwiając przepływ gazu między nimi. Sposób rozpraszania energii drgań obiektu przy użyciu tego absorbera pneumatycznego oparty jest o sterowanie przepływem gazu przy użyciu zaworu elektrycznego z jednoczesnym kontrolowaniem siły działającej na obiekt tłumiony.

Z opisu polskiego patentu PL227058 znany jest tłumik drgań wywołanych udarem zawierający ciecz magneto-reologiczną, który posiada trzpień przejmujący energię uderzenia, umieszczony przesuwnie w ramie i wyposażony w tuleję o śrubowej powierzchni zewnętrznej z gwintem niesamohamownym. Na tuleję nakręcony jest pierwszy pierścień o walcowej powierzchni zewnętrznej, umieszczony obrotowo w drugim pierścieniu, posiadającym śrubową powierzchnię zewnętrzną o linii śrubowej przeciwnej do linii śrubowej tulei. Z drugim pierścieniem współpracuje poprzez połączenie gwintowe trzeci pierścień o śrubowej powierzchni wewnętrznej, wyposażony dodatkowo w ruchomo osadzone ciężarki, które zwiększają moment bezwładności wirującej masy.

Z opisu polskiego patentu PL226532 znane jest urządzenie do tłumienia drgań, wyposażone w korpus, do którego przymocowany jest jeden koniec elementu sprężystego. Drugi koniec tego elementu obciążony jest elementem bezwładnościowym w postaci płyty, z którym złączony jest jeden koniec listwy zębatej, zamocowanej w tulejach prowadzących osadzonych w korpusie, i za- zębającej się z kołem zębatym osadzonym na wale łożyskowym w tym korpusie. Urządzenie to wyposażone jest w przekładnię bezstopniową z układem sterującym do zmiany jej przełożenia, z którą jest złączony koniec wału. Na wale osadzone jest koło zębate oraz koło zamachowe osadzone na jednym końcu, również łożyskowego w korpusie urządzenia, oraz wału, którego drugi koniec jest złączony z przekładnią bezstopniową.

Z opisu polskiego patentu PL229926 znany jest amortyzator śrubowy, który służy do łagodzenia uderzeń i drgań. Amortyzator posiada jeden lub dwa wirniki łożyskowane osiowo w jednej, lub dwóch

komorach obudowy. Każdy z wirników wyposażony jest w centralny otwór z gwintem niesamohamownym, w który wkręcona jest śruba z kołnierzem. Przestrzeń, w której umieszczone są wirniki, jest wypełniona materiałem sytkim lub cieczą.

Z opisu europejskiego patentu EP1618316 znane jest urządzenie tłumiące drgania zawierające osiowo symetryczny korpus z elastomeru, który od strony podstawy wyposażony jest w otwór przelotowy. Korpus zawiera integralnie połączoną konstrukcję osiowo-symetryczną w kształcie miseczki, która ma część podstawową, ściankę boczną i otwór obejmujący otwór przelotowy. Podstawa i ściana boczna przylegają odpowiednio do boku podstawy i obrzeża. Korpus elastomerowy ma rowek objęty ścianką boczną, który rozciąga się wzdłuż i blisko obrzeża i jest przystosowany do przyjmowania oddzielnie dostarczonego osiowo-symetrycznego elementu amortyzującego.

Znane jest z amerykańskiego zgłoszenia patentowego US4805478A urządzenie w postaci wielu cylindrów, które są rozmieszczone w konfiguracji teleskopowej, tworząc maszt. Wyposażone jest ono w moduły odkształcające te cylindry, zamontowane między nimi. Moduły te wyposażone są w kulki, które aktywnie odkształcają się podczas składania płaszcza masztu na zoptymalizowaną długość, aby zapewnić zwiększony zakres pochłaniania energii na danej jego długości.

Znany jest z amerykańskiego patentu US10139711B1 stabilizator składający się z urządzenia teleskopowego, rączki, części zaciskowej, układu sterowania mechanizmem napędu oraz trzech korbowodów. Urządzenie teleskopowe ma dwa końce odpowiednio połączone z rączką i pierwszy mechanizm napędowy służący do napędzania części zaciskowej, która realizuje ruch odchylający. Pierwszy korbowód wyposażony jest w dwa końce odpowiednio połączone z pierwszym mechanizmem napędowym i trzecim mechanizmem napędowym do napędzania części zaciskowej, w celu wykonania ruchu tocznego. Podobnie połączone są drugi i trzeci korbowód, gdzie drugi mechanizm napędowy połączony jest z częścią zaciskową przy użyciu drugiego pręta łączącego. Każdy z mechanizmów napędowych wyposażony jest w silnik oraz sterownik, które są połączone obwodem elektrycznym.

Z chińskiego zgłoszenia patentowego CN104948644A znany jest sterowany amortyzator teleskopowy zbudowany z wewnętrznego cylindra roboczego, środkowego cylindra magazynującego olej, zewnętrznej tulei cylindrowej, tłoka, tłoczyska, górnego i dolnego zaworu elektromagnetycznego, górnego i dolnego zaworu jednokierunkowego oraz sprężyny tłumiącej, przy czym tłok zamontowany jest w cylindrze roboczym. Tłoczysko tego amortyzatora porusza się w górę i w dół wraz z tłokiem. Górny i dolny zawór elektromagnetyczny umieszczone są odpowiednio na górnym i dolnym końcu cylindra roboczego, aby połączyć cylinder roboczy z cylindrem magazynującym olej. Górny i dolny zawór jednokierunkowy umieszczony jest odpowiednio między górnym i dolnym zaworem elektromagnetycznym a tłokiem. Rozpatrywany amortyzator, w zależności od warunków pracy, operuje w obszarze czterech stanów roboczych.

Z chińskiego zgłoszenia patentowego CN103443499A znane jest urządzenie o konstrukcji bezsprężynowej jako kombinowany amortyzator składający się z trzech rur: rury zewnętrznej, rury tłokowej (rura wewnętrzna) oraz rury stacjonarnej (tłumiącej), z pływającym tłokiem umieszczonym w wewnętrznej rurze tłoka, przy czym pływający tłok tworzy w niej dwie komory, dolną komorę cieczy i górną komorę gazową.

Znane ze stanu techniki urządzenia nie korzystają z zaawansowanych technik sterowania, które pozwoliłyby uzyskać wysoką skuteczność rozpraszania energii w przypadku różnego rodzaju wymuszeń oraz w szerokim zakresie częstotliwości. Ponadto znane ze stanu techniki urządzenia nie pozwalają na swobodną re-konfigurację ich konstrukcji poprzez dodawanie/odejmowanie kolejnych członów lub modułów, co przyczyniłoby się do szerokiego zakresu kształtowania charakterystyk dynamicznych. Proponowane rozwiązania nie umożliwiają również całkowitej eliminacji przecieków w urządzeniach, w których stosowane są czynniki robocze w postaci cieczy, gazu lub ich kombinacji. Należy zwrócić uwagę, że ma to istotny wpływ na niezawodność działania takich urządzeń.

UJAWNIE WYNAŁAZKU

Celem wynalazku jest opracowanie inteligentnego rozwiązania technicznego do efektywnej stabilizacji konstrukcji, maszyn i urządzeń poddanych działaniu drgań mechanicznych. Wynikiem proponowanego rozwiązania technicznego jest urządzenie, które dzięki swej konstrukcji i zaadoptowanej metodzie sterowania, pozwala uzyskać wysoką efektywność rozpraszania energii drgań mechanicznych, co znacząco przyczyni się do poprawienia warunków eksploatacji obiektów narażonych na wymuszenia dynamiczne.

Problem techniczny rozwiązywany zatem przez wynalazek polega na opracowaniu stabilizatora, który dzięki wielocłonowej zwartej konstrukcji – opartej o człon roboczy, człony pomocnicze połączone

sprężystymi łącznikami, współosiowo zorientowaną obudowę, półaktywne tłumiki drgań, czujniki przemieszczeń członów – oraz układ sterowania, pozwoli uzyskać wysoką skuteczność tłumienia drgań układu przyłączonego do członu roboczego stabilizatora. Rozpatrywany wieloczłonowy stabilizator drgań charakteryzuje zwarta konstrukcja zawierająca podstawę, przytwierdzoną do obudowy stabilizatora za pomocą śrub w kształcie tulei, względem której to obudowy za pośrednictwem systemów łożyskowych oraz wózków prowadzących współosiowo zorientowano człon roboczy, oraz człony pomocnicze, przy czym człony te połączone są między sobą szeregowo sprężystymi łącznikami oraz przyłączone są do podstawy przy użyciu kolejnych łączników sprężystych, oraz tłumików półaktywnych. Do podstawy stabilizatora przymocowane są również czujniki przemieszczenia wszystkich członów. Tłumiki półaktywne połączone są przy użyciu obwodu elektrycznego do jednostki sterującej, w której zaimplementowany jest algorytm sterowania, który – na podstawie informacji pozyskanych z czujników przemieszczeń – pozwala modyfikować wartości współczynników tłumienia poszczególnych tłumików, realizując efektywną eliminację drgań obiektów technicznych.

Wieloczłonowy stabilizator drgań mechanicznych w ruchu prostoliniowym zawierający podstawę, obudowę, człony ruchome, łożyska, czujniki przemieszczeń, łączniki sprężyste oraz jednostkę sterującą charakteryzuje się tym, że do jego podstawy o kształcie koła za pomocą elementów łączących przytwierdzona jest obudowa stabilizatora w kształcie tulei, względem której współosiowo zorientowane są człon roboczy oraz co najmniej dwa człony pomocnicze tworzące strukturę teleskopową, przy czym względna orientacja wszystkich członów wymuszona jest co najmniej trzema systemami łożyskowania przypadającymi na każdy człon pomocniczy i obudowę stabilizatora zamontowanymi w ich części górnej oraz przez wózki prowadzące zamocowane do każdego członu w ich części dolnej, przy czym w tej dolnej części pomiędzy członem roboczym oraz pierwszym członem pomocniczym, jak również między pierwszym członem pomocniczym, a drugim członem pomocniczym, znajdują się sprężyste łączniki, a także wszystkie człony połączone są z podstawą łącznikami sprężystymi oraz półaktywnymi tłumikami, za pośrednictwem elementu wsporczego, do którego to elementu wsporczego przymocowane są czujniki przemieszczenia; przy czym czujniki przemieszczenia oraz półaktywne tłumiki podłączone są przewodami zasilająco-sterującymi do jednostki sterującej.

Korzystnie, każdy system łożyskowania zawiera jedno łożysko.

Korzystnie, co najmniej trzy systemy łożyskowania zamocowane są równomiernie, z względną orientacją równą 120° , w górnej części członów pomocniczych i obudowy stabilizatora.

Korzystnie, wózki prowadzące przytwierdzone do członów w ich części dolnej zawierają po trzy łożyska każdy, które to łożyska są rozłożone równomiernie, z względną orientacją równą 120° .

Korzystnie, w obudowie stabilizatora oraz w członach pomocniczych od ich strony wewnętrznej, odpowiednio w każdym z nich, wyżłobione są co najmniej trzy rowki prowadzące rozłożone równomiernie, z względną orientacją równą 120° .

Korzystnie, bieżnie zewnątrz łożysk wózków prowadzących ułożone są w rowkach prowadzących w sposób, że ukierunkowują prostoliniowy ruch względny: członu roboczego względem członu pomocniczego, pierwszego członu pomocniczego względem członu pomocniczego oraz drugiego członu pomocniczego względem obudowy stabilizatora.

Korzystnie, przytwierdzony do podstawy element wsporczy stanowi wydrążony wałek, w którego kanałach poprowadzone są przewody zasilająco-sterujące łączące tłumiki oraz czujniki przemieszczeń z jednostką sterującą.

Korzystnie, sprężyste łączniki są w postaci sprężyn śrubowych.

Korzystnie, półaktywne tłumiki są w postaci sterowanych tłumików magneto-reologicznych.

Korzystnie, półaktywne tłumiki są w postaci sterowanych tłumików elektro-reologicznych.

Korzystnie, czujniki przemieszczenia są w postaci bezkontaktowych elektromagnetycznych czujników dystansu.

Korzystnie, czujniki przemieszczenia są w postaci kontaktowych indukcyjnych czujników dystansu.

ZALETY WYNAŁAZKU

Zastosowanie w urządzeniu według wynalazku tłumików półaktywnych, umieszczonych między członami a podstawą, pozwoliło wyeliminować problemy z uszczelnianiem i wyciekami czynnika roboczego w postaci cieczy, gazu. Zaproponowana konstrukcja członowa, przy niewielkich modyfikacjach – wymiana podstawy i obudowy stabilizatora oraz dodanie kolejnych członów pomocniczych – pozwala podwyższyć skuteczność, funkcjonalność i zakres stosowalności stabilizatora. Zastosowany algorytm sterowania umożliwia skuteczne pochłanianie energii drgań obiektu przyłączonego do stabilizatora.

Konstrukcja wielocłonowego stabilizatora drgań mechanicznych według wynalazku bazuje na kołowej podstawie połączonej rozłącznie śrubami z obudową stabilizatora, wewnątrz której zlokalizowano człon roboczy oraz co najmniej dwa człony pomocnicze. Wszystkie człony zorientowane są względem siebie oraz względem obudowy stabilizatora współosiowo, tworząc strukturę teleskopową. Orientację taką zapewniają im wózki prowadzące oraz systemy łożyskowania. Współosiowość członu roboczego względem pierwszego członu roboczego zapewnia wózek prowadzący zawierający system potrójnego łożyskowania. Analogicznie, współosiowość pierwszego członu pomocniczego względem drugiego członu pomocniczego oraz drugiego członu pomocniczego względem obudowy stabilizatora realizowana jest poprzez wózki prowadzące z systemem potrójnego łożyskowania. Poza wózkami prowadzącymi współosiowość członów względem obudowy stabilizatora uzyskana jest przy użyciu systemów łożyskujących zlokalizowanych w górnej części członów pomocniczych oraz obudowy stabilizatora, w liczbie trzech sztuk na dowolny z wymienionych elementów. Każdy wózek prowadzący ma trzy łożyska, których względny rozstaw kątowy jest jednakowy i wynosi 120° . Taki układ łożyskowania wózków prowadzących oraz potrójne rowki prowadzące, wykonane na wewnętrznych powierzchniach obudowy stabilizatora i członów pomocniczych ukierunkowuje przemieszczanie się każdego członu wzdłużnie względem obudowy stabilizatora, jak również względem siebie. Między członem roboczym i pierwszym członem pomocniczym oraz między pierwszym członem pomocniczym a drugim członem roboczym zamocowane są sprężyste łączniki. Dodatkowo każdy człon stabilizatora połączony jest niezależnie z obudową dodatkowymi łącznikami sprężystymi oraz półaktywnymi tłumikami poprzez element wsporczy zamocowany do podstawy. Na elemencie wsporczym zamocowane są również czujniki dokonujące pomiaru przemieszczenia każdego z członów stabilizatora. Wydrążone kanały wewnątrz elementu wsporczego pozwalają poprowadzić przewody sygnałowe i zasilające z czujników przemieszczenia oraz tłumików do jednostki sterującej stabilizatorem.

Działanie stabilizatora według wynalazku oparte jest o następującą ideę. Zasadniczym członem stabilizatora jest człon roboczy, który przyłączony do układu zewnętrznego poddany jest działaniu drgań mechanicznych. Człon roboczy połączony jest z pierwszym członem pomocniczym przy użyciu sprężystego łącznika. Sprężysty łącznik umożliwia transmisję porcji energii przyjętej przez człon roboczy do pierwszego członu pomocniczego. W identyczny sposób realizowane jest przekazanie energii z pierwszego członu pomocniczego do drugiego członu pomocniczego poprzez sprężysty łącznik. Działanie odpowiedniej strategii sterowania tłumikami półaktywnymi poszczególnych członów stabilizatora zapewnia:

- a) skuteczną transmisję energii z członu roboczego do pierwszego, drugiego członu pomocniczego;
- b) wydajną dyssypację energii w członie roboczym oraz w członach pomocniczych;
- c) ograniczony dopływ energii z członów pomocniczych do członu roboczego.

Następstwem a), b) oraz c) jest efektywna stabilizacja członu roboczego oraz skuteczna dyssypacja energii w całym układzie stabilizatora. W przypadku większej liczby członów stabilizatora zasada jego działania pozostaje niezmienną.

Strategia sterowania tłumikami półaktywnymi realizowana jest na podstawie przełączającego prawa sterowania zaproponowanego w pracy G. Leitmann, *Semiactive Control for Vibration Attenuation*, *Journal of Intelligent Material Systems and Structures*, 5(6):841–846, 1994, które w niniejszym wynalazku realizowane jest z udziałem pętli sprzężenia zwrotnego, w której korzysta się z informacji o pozycji i prędkości członów stabilizatora pozyskanych dzięki czujnikom przemieszczenia zastosowanym w wielocłonowym stabilizatorze drgań mechanicznych według wynalazku. Informacja o pozycji pochodzi bezpośrednio z pomiarów czujnika przemieszczenia. Informacja o prędkości pozyskiwana jest przy użyciu pomiarów czujnika przemieszczenia oraz zaimplementowanej w jednostce sterującej procedury różniczkowania sygnału. Odpowiedni dobór parametrów w algorytmie sterowania umożliwia kształtowanie charakterystyk dynamicznych członu roboczego. Skuteczność działania wielocłonowego stabilizatora potwierdzono przy użyciu symulacji komputerowych w przypadku różnych wariantów jego konstrukcji i sterowania.

Wielocłonowy stabilizator drgań mechanicznych może być stosowany jako tłumik we wszelkich urządzeniach technicznych poddanych drganiom w celu amortyzacji lub stabilizacji ich pozycji.

KRÓTKI OPIS FIGUR RYSUNKU

Dla lepszego zrozumienia wynalazku został on zilustrowany w nieograniczających przykładach wykonania oraz na załączonych figurach rysunku, na których:

Fig. 1 – przedstawia rysunki techniczne wielocłonowego stabilizatora drgań mechanicznych

A – z boku, **A'** – w przekroju A-A; **B** – z góry, **B'** – w przekroju B-B, **C** – z boku, **C'** – w przekroju C-C.

Fig. 2 – przedstawia widok powiększonej górnej części wielocłonowego stabilizatora drgań mechanicznych **A** – z boku, **B** – w przekroju poprzecznym.

Fig. 3 – przedstawia widok powiększonej dolnej części wielocłonowego stabilizatora drgań mechanicznych **A** – z boku, **B** – w przekroju.

Fig. 4 – przedstawia różne widoki (A-B) obudowy wielocłonowego stabilizatora drgań mechanicznych z zaznaczonymi rowkami prowadzącymi wózek oraz jej przekrój poprzeczny (C).

Fig. 5 – przedstawia widoki: **A** – pierwszego członu pomocniczego z zaznaczonymi rowkami prowadzącymi wózek członu roboczego, **B** – drugiego członu pomocniczego z zaznaczonymi rowkami prowadzącymi wózek pierwszego członu pomocniczego.

Fig. 6 – przedstawia wykres ilustrujący odpowiedź dynamiczną stabilizatora w przypadku rozpatrywanych wariantów – wyniki otrzymane z badań numerycznych przedstawiające amplitudę przemieszczenia członu roboczego w funkcji czasu.

Fig. 7 – przedstawia widok elementu wsporczoego wraz z wózkami prowadzącymi, łożyskowaniem, umiejscowieniem tłumików, czujników oraz połączeń sprężynowych.

SPOSOBY WYKONANIA WYNAŁAZKU

Poniższe przykłady ilustrują wynalazek, nie ograniczając go w żaden sposób.

PRZYKŁADY

Przykład 1. Wielocłonowy stabilizator drgań mechanicznych

A. Wielocłonowy stabilizator drgań mechanicznych oparty na trzech członach

Przykład wykonania został przedstawiony w na fig. 1–3. Konstrukcja wielocłonowego stabilizatora drgań mechanicznych składa się z trzech ruchomych członów 1, 2, 3 umieszczonych w obudowie zewnętrznej 4 przytwierdzonej śrubami 29 do kołowej podstawy 5, do której połączony jest drążony element wsporczy 6. Człon roboczy 1 i człony pomocnicze 2, 3 są zorientowane względem siebie i względem zewnętrznej obudowy stabilizatora 4 współosiowo tworząc strukturę teleskopową.

Orientację współosiową zapewniają im wózki prowadzące 7, 8, 9 oraz systemy łożyskowania 10, 11, 12. Współosiowość członu roboczego 1 względem członu pomocniczego 2 zapewnia zestaw składający się z wózka prowadzącego 7 oraz trzech systemów łożyskowania 10. Analogicznie, współosiowość pierwszego członu pomocniczego 2 względem drugiego członu pomocniczego 3 realizowana jest dzięki układowi składającemu się z wózka 8 oraz trzech systemów łożyskowania 11, z kolei współosiowość drugiego członu pomocniczego 3 względem obudowy stabilizatora 4 zachowana jest wykorzystując układ składający się z wózka prowadzącego 9 oraz trzech systemów łożyskowania 12. Systemy łożyskujące 10, 11, 12 zlokalizowane są odpowiednio w górnej części członów pomocniczych 2, 3 i obudowy stabilizatora 4. Łożyska 10a, 11a, 12a systemów łożyskujących 10, 11, 12 orientują współosiowo człony 1, 2, 3 stabilizatora. Wózki prowadzące 7, 8, 9 zlokalizowane wewnątrz stabilizatora wyposażone są w łożyska 7a, 8a, 9a przypadające po trzy sztuki na jeden wózek. Łożyska 7a, 8a, 9a umożliwiają przemieszczanie się wózków prowadzącym 7, 8, 9 wzdłuż obudowy stabilizatora 4 oraz względem poszczególnych członów 1, 2, 3. Ukierunkowany ruch wzdłużny wózków realizowany jest poprzez toczenie się łożysk wózków prowadzących 7, 8, 9 w: rowkach prowadzących 13 zlokalizowanych na wewnętrznej powierzchni obudowy stabilizatora 4, rowkach prowadzących 17 na wewnętrznej powierzchni pierwszego członu pomocniczego 2 oraz rowkach prowadzących 28 na wewnętrznej powierzchni drugiego członu pomocniczego 3. Między członem roboczym 1 i pierwszym członem pomocniczym 2 oraz między pierwszym członem pomocniczym 2 a drugim członem pomocniczym 3 znajdują się sprężyste łączniki 14 i 15, korzystnie w postaci sprężyn śrubowych. Dodatkowo każdy człon 1, 2, 3 poprzez element wsporczy 6 połączony jest niezależnie z obudową 4, odpowiednio łącznikami sprężystymi 16, 18, 19, korzystnie w postaci sprężyn śrubowych oraz sterowanymi reologicznymi tłumikami półaktywnymi 20, 21, 22. Na elemencie wsporczym zamocowane są również czujniki elektromagnetyczne 25, 26, 27 do pomiaru przemieszczenia członów 1, 2, 3 względem podstawy 5. Kanały wydrążone wewnątrz elementu wsporczoego 6 pozwalają poprowadzić przewody sygnałowo-zasilające 23 z czujników przemieszczenia 25, 26, 27 i z reologicznych tłumików półaktywnych 20, 21, 22, do jednostki sterującej 24. Obudowa 4 przytwierdzona jest do podstawy 5 za pomocą elementu łączącego 30, korzystnie śrubami. Na fig. 4 przedstawiona jest obudowa, która posiada wyżłobione od strony wewnętrznej rowki prowadzące 13. Podobnie każdy z członów pomocniczych 2, 3 od strony wewnętrznej wyposażony jest w wyżłobione rowki prowadzące 17 i 28, co zilustrowane zostało na fig. 5.

Zasadniczym członem stabilizatora jest człon roboczy 1, który poddany jest działaniu energii drgań mechanicznej z konstrukcji przyłączonej do stabilizatora. Człon roboczy 1 połączony jest z drugim z członem pomocniczym 2 przy użyciu sprężystego łącznika 15, który umożliwia transmisję porcji energii

przyjętej przez człon roboczy 1 do członu pomocniczego 2. Analogicznie następuje przekazanie energii z członu pomocniczego 2 do członu pomocniczego 3 poprzez sprężysty łącznik 14. Wydajną kontrolę transmisji energii pomiędzy członami 1, 2, 3 uzyskuje się poprzez zastosowanie odpowiedniej strategii sterowania reologicznymi tłumikami półaktywnymi 20, 21, 22 łączącymi człony 1, 2, 3 z podstawą 5 stabilizatora.

B. Wielocłonowy stabilizator drgań mechanicznych wyposażony w czujniki indukcyjne

Wielocłonowy stabilizator drgań mechanicznych został wykonany na podstawie konstrukcji jak w Przykładzie 1A z tą różnicą, że w miejsce czujników elektromagnetycznych 25, 26, 27 zostały zastosowane czujniki indukcyjne.

C. Wielocłonowy stabilizator drgań mechanicznych oparty na działaniu półaktywnych tłumików elektro-reologicznych lub magneto-reologicznych

Wielocłonowy stabilizator drgań mechanicznych został wykonany na podstawie konstrukcji jak w **Przykładzie 1A** z tą różnicą, że zamiast tłumików reologicznych 20, 21, 22 zastosowane zostały półaktywne tłumiki elektro-reologiczne lub magneto-reologiczne.

D. Wielocłonowy stabilizator drgań mechanicznych oparty na czterech członach

Czterocłonowy stabilizator drgań mechanicznych został wykonany na podstawie konstrukcji jak w **Przykładzie 1A** z tą różnicą, że pomiędzy członem pomocniczym 3 a obudową stabilizatora 4 został umieszczony dodatkowy człon pomocniczy.

Przykład 2. Ocena skuteczności działania wielocłonowego stabilizator drgań mechanicznych

Skuteczność działania wielocłonowego stabilizatora drgań mechanicznych wykonanego zgodnie z **Przykładem 1** potwierdzono przy użyciu symulacji komputerowych, gdzie posłużono się modelem matematycznym stabilizatora złożonego z trzech członów, jak przedstawionego na **fig. 1–4**. Do symulacji założono, że pierwszy człon roboczy 1 zostaje poddany niezerowej prędkości początkowej, a na człony pomocnicze 2, 3 stabilizatora narzucono zerowe warunki początkowe. Symulacje przeprowadzone zostały w przypadku trzech wariantów.

Wariant 1 dotyczył przypadku działania wielocłonowego stabilizatora, w którym człon roboczy 1 stabilizatora został wyizolowany od członu pomocniczego 2 przez usunięcie łącznika sprężystego 15, a półaktywny tłumik 20 podłączony do członu roboczego 1 działał według założonej strategii sterowania;

Wariant 2 dotyczył działania wielocłonowego stabilizatora, gdzie półaktywne tłumiki 20, 21, 22 podłączone do członów 1, 2, 3 działały w sposób pasywny (bez sterowania) z maksymalną dopuszczalną wartością współczynnika tłumienia.

Wariant 3 dotyczył działania wielocłonowego stabilizatora, gdzie człony 1–3 były ze sobą sprzężone przez łączniki sprężyste 14–16 i 18–19, a tłumiki 20, 21, 22 działały według założonej strategii sterowania.

Rezultaty analizowanych symulacji przedstawione zostały na wykresie na **fig. 7**, gdzie zestawiono przebiegi czasowe wychylenia członu roboczego. Analizując wyniki badań Wariantu 2 oraz 3 działania wielocłonowego stabilizatora obserwujemy podobieństwo odpowiadających im krzywych do chwili osiągnięcia ekstremum wychylenia. Zjawisko to jest związane z jednoznacznym działaniem metody półaktywnej oraz pasywnej (bez sterowania) w początkowej fazie prowadzenia symulacji, gdzie w obydwu przypadkach półaktywne tłumiki 20–22 działają z maksymalną dopuszczalną wartością parametru tłumienia. Po osiągnięciu ekstremum, jednostka sterująca 24 przełącza wartości współczynnika tłumienia tłumików 20–22 pomiędzy skrajnymi wartościami dopuszczalnymi, co skutkuje wyraźną poprawą stabilizacji położenia członu roboczego 1 do punktu równowagi (Wariant 3). W przypadku Wariantu 1 obserwujemy wyraźne pogłębienie ekstremum wychylenia członu roboczego 1 oraz jego wolniejszy – w porównaniu do Wariantu 3 – powrót do punktu równowagi, co jest skutkiem wyizolowania członu roboczego 1.

WYKAZ OZNACZEŃ:

1. człon roboczy,
2. pierwszy człon pomocniczy,
3. drugi człon pomocniczy,
4. obudowa stabilizatora,
5. podstawa,
6. element wsporczy,
7. wózek prowadzący,
- 7a. łożysko,
8. wózek prowadzący,
- 8a. łożysko,
9. wózek prowadzący,
- 9a. łożysko,

10. system łożyskowania,
- 10a. łożysko,
11. system łożyskowania,
- 11a. łożysko,
12. system łożyskowania,
- 12a. łożysko,
13. rowki prowadzące w obudowie stabilizatora,
14. sprężysty łącznik,
15. sprężysty łącznik,
16. sprężysty łącznik,
17. rowki prowadzące w członie pomocniczym pierwszym,
18. sprężysty łącznik,
19. sprężysty łącznik,
20. sterowany tłumik półaktywny,
21. sterowany tłumik półaktywny,
22. sterowany tłumik półaktywny,
23. przewody sygnałowo-zasilające,
24. jednostka sterująca,
25. czujnik przemieszczenia,
26. czujnik przemieszczenia,
27. czujnik przemieszczenia,
28. rowki prowadzące w członie pomocniczym drugim,
29. element łączący np. śruba.
30. element łączący obudowę np. śruba.

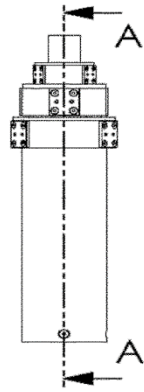
Zastrzeżenia patentowe

1. Wielocłonowy stabilizator drgań mechanicznych do tłumienia drgań w ruchu prostoliniowym zawierający podstawę, obudowę, człony ruchome, łożyska, czujniki przemieszczeń, łączniki sprężyste oraz jednostkę sterującą, **znamienny tym**, że do jego podstawy (5) o kształcie koła za pomocą elementów łączących (30) przytwierdzona jest obudowa stabilizatora (4) w kształcie tulei, względem której współosiowo zorientowane są człony robocze (1) oraz co najmniej dwa człony pomocnicze (2, 3) tworzące strukturę teleskopową, przy czym względna orientacja wszystkich członów (1, 2, 3) wymuszona jest co najmniej trzema systemami łożyskowania (10, 11, 12) przypadającymi na każdy człon pomocniczy (2, 3) i obudowę stabilizatora (4) zamontowanymi w ich części górnej oraz przez wózki prowadzące (7, 8, 9) zamocowane do każdego członu (1, 2, 3) w ich części dolnej, przy czym w tej dolnej części pomiędzy członem roboczym (1) oraz pierwszym członem pomocniczym (2), jak również między pierwszym członem pomocniczym (2) a drugim członem pomocniczym (3), znajdują się sprężyste łączniki (14, 15), a także wszystkie człony (1, 2, 3) połączone są z podstawą (5) łącznikami sprężystymi (16, 18, 19) oraz półaktywnymi tłumikami (20, 21, 22), za pośrednictwem elementu wsporczego (6), do którego to elementu wsporczego (6) przymocowane są czujniki przemieszczenia (25, 26, 27); przy czym czujniki przemieszczenia (25, 26, 27) oraz półaktywne tłumiki (20, 21, 22) podłączone są przewodami zasilająco-sterującymi (23) z jednostką sterującą (24).
2. Wielocłonowy stabilizator drgań mechanicznych według zastrz. 1, **znamienny tym**, że każdy system łożyskowania (10, 11, 12) zawiera jedno łożysko (10a, 11a, 12a).
3. Wielocłonowy stabilizator drgań mechanicznych według zastrz. 1 oraz 2, **znamienny tym**, że co najmniej trzy systemy łożyskowania (10, 11, 12) zamocowane są równomiernie, z względną orientacją równą 120° , w górnej części członów pomocniczych (2, 3) i obudowy stabilizatora (4).
4. Wielocłonowy stabilizator drgań mechanicznych według zastrz. 1–3, **znamienny tym**, że wózki prowadzące (7, 8, 9) przytwierdzone do członów (1, 2, 3) w ich części dolnej zawierają po trzy łożyska (7a, 8a, 9a) każdy, które to łożyska (7a, 8a, 9a) są rozłożone równomiernie, z względną orientacją równą 120° .

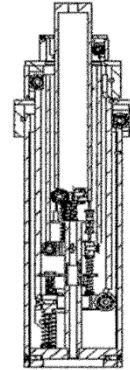
5. Wieloczołonowy stabilizator drgań mechanicznych według zastrz. 1–4, **znamienny tym**, że w obudowie stabilizatora (4) oraz w członach pomocniczych (2, 3) od ich strony wewnętrznej, odpowiednio w każdym z nich, wyżłobione są co najmniej trzy rowki prowadzące (13, 17, 28) rozłożone równomiernie, z względną orientacją równą 120° .
6. Wieloczołonowy stabilizator drgań mechanicznych według zastrz. 1–5, **znamienny tym**, że bieżnie zewnętrzne łożysk (7a, 8a, 9a) wózków prowadzących (7, 8, 9) ułożone są w rowkach prowadzących (13, 17, 28) w sposób, że ukierunkowują prostoliniowy ruch względny: członu roboczego (1) względem członu pomocniczego (2), pierwszego członu pomocniczego (2) względem członu pomocniczego (3), oraz drugiego członu pomocniczego (3) względem obudowy stabilizatora (4).
7. Wieloczołonowy stabilizator drgań mechanicznych według zastrz. 1–6, **znamienny tym**, że przytwierdzony do podstawy (5) element wsporczy (6) stanowi wydrążony wałek, w którego kanałach poprowadzone są przewody zasilająco-sterujące (23) łączące tłumiki (20, 21, 22) oraz czujniki przemieszczeń (25, 26, 27) z jednostką sterującą (24).
8. Wieloczołonowy stabilizator drgań mechanicznych według zastrz. 1–7, **znamienny tym**, że sprężyste łączniki (14, 15, 16, 18, 19) są w postaci sprężyn śrubowych.
9. Wieloczołonowy stabilizator drgań mechanicznych według zastrz. 1–8, **znamienny tym**, że półaktywne tłumiki (20, 21, 22) są w postaci sterowanych tłumików magneto-reologicznych.
10. Wieloczołonowy stabilizator drgań mechanicznych według zastrz. 1–8, **znamienny tym**, że półaktywne tłumiki (20, 21, 22) są w postaci sterowanych tłumików elektro-reologicznych.
11. Wieloczołonowy stabilizator drgań mechanicznych według zastrz. 1–10, **znamienny tym**, że czujniki przemieszczenia (25, 26, 27) są w postaci bezkontaktowych elektromagnetycznych czujników dystansu.
12. Wieloczołonowy stabilizator drgań mechanicznych według zastrz. 1–10, **znamienny tym**, że czujniki przemieszczenia (25, 26, 27) są w postaci kontaktowych indukcyjnych czujników dystansu.

Rysunki

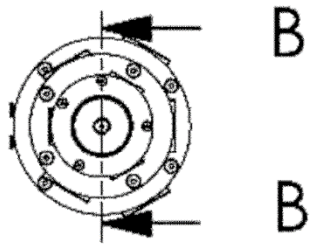
A



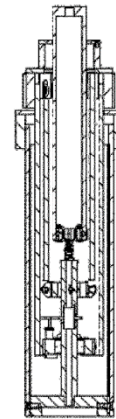
A'



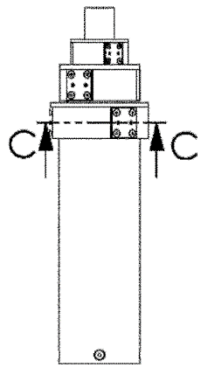
B



B'



C



C'

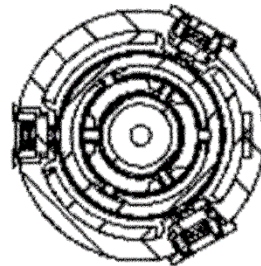


Fig. 1

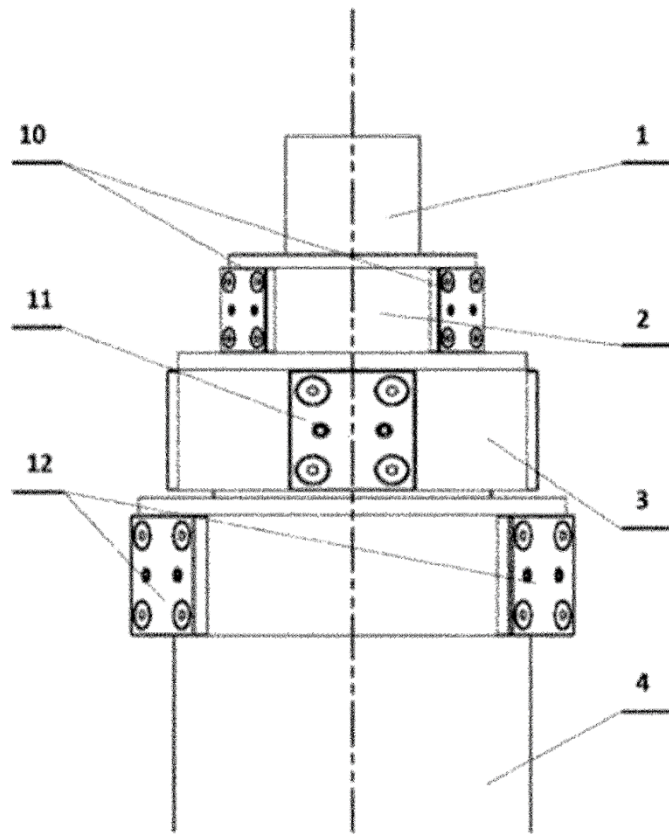


Fig. 2A

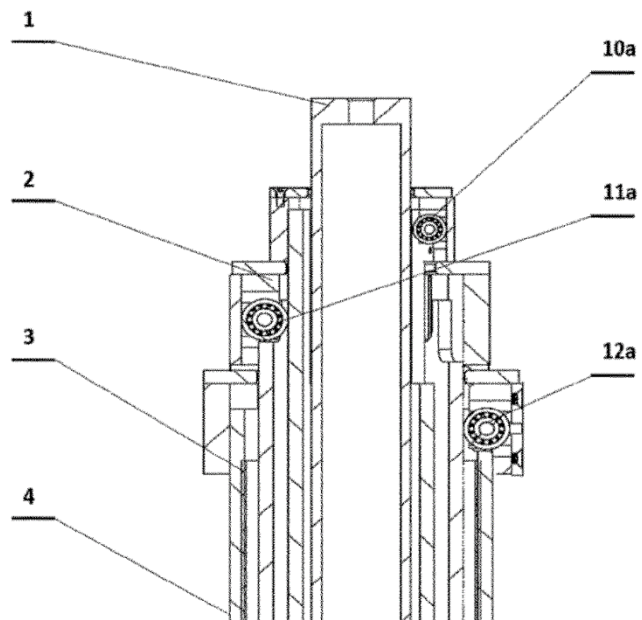


Fig. 2B

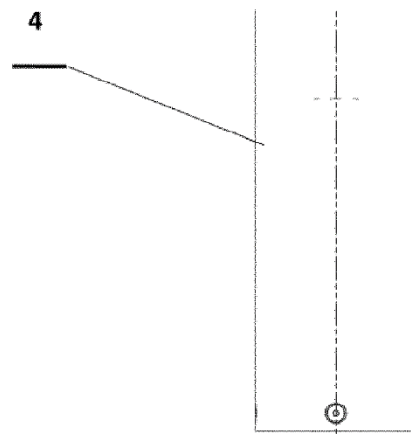


Fig. 3A

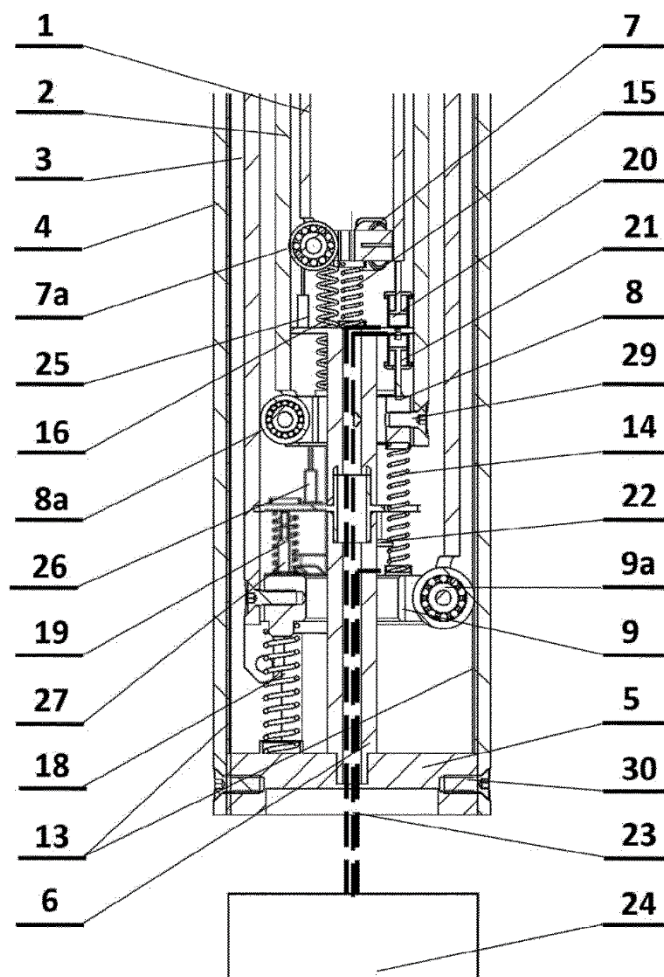


Fig. 3B

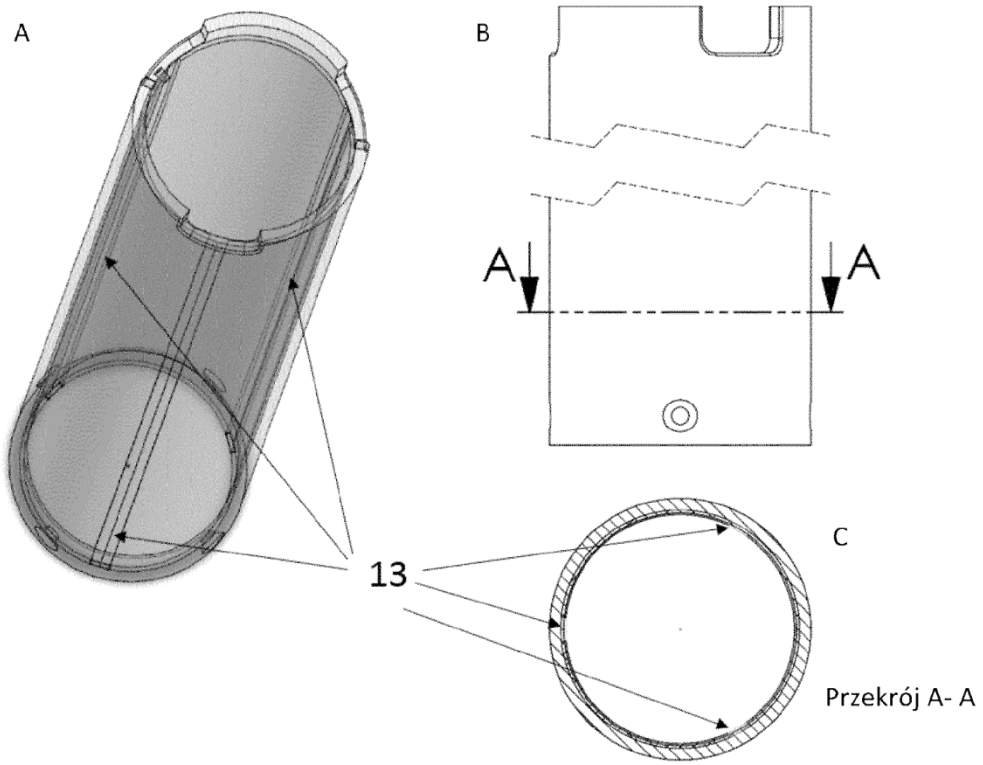


Fig. 4

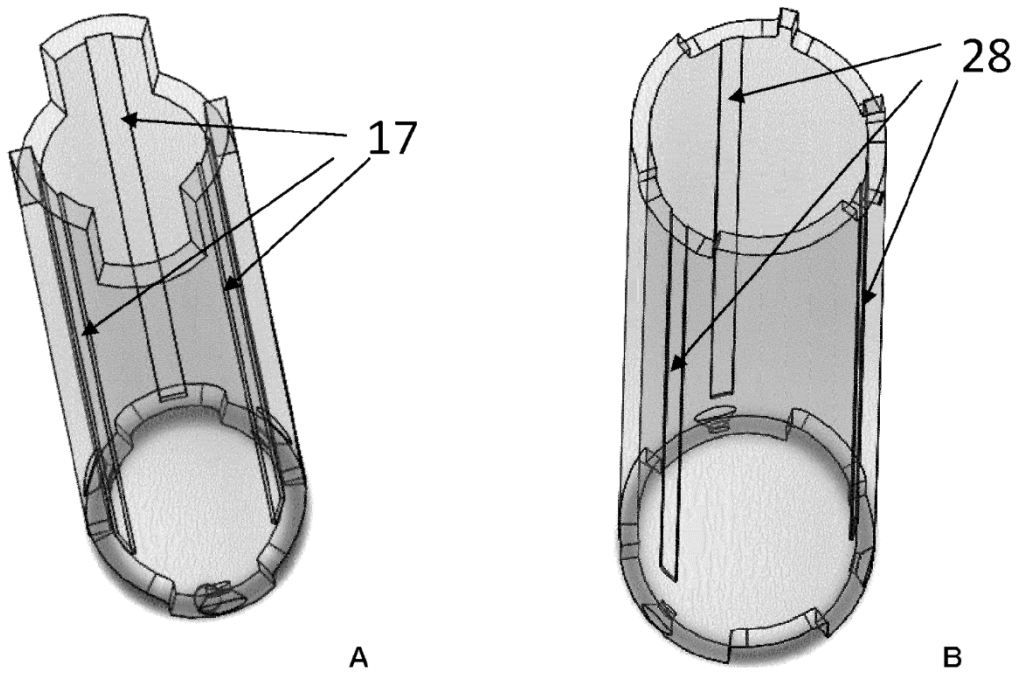


Fig. 5

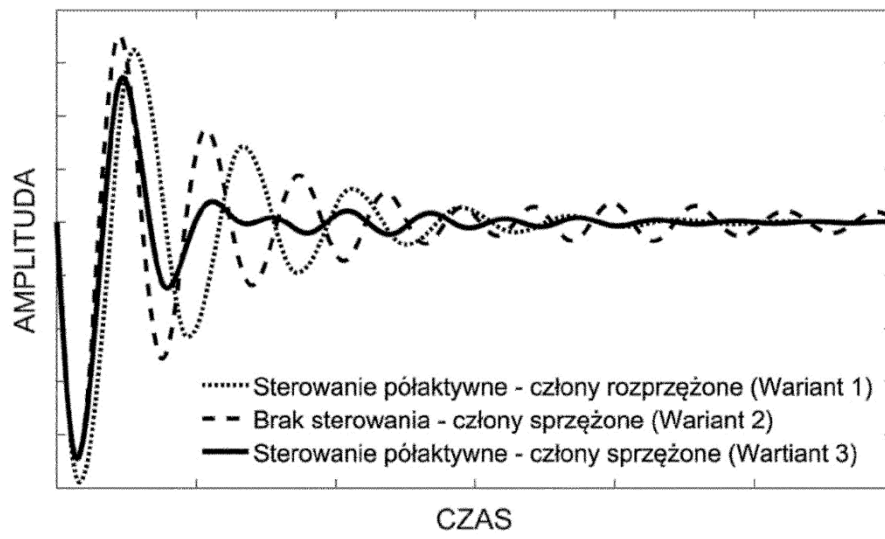


Fig. 6

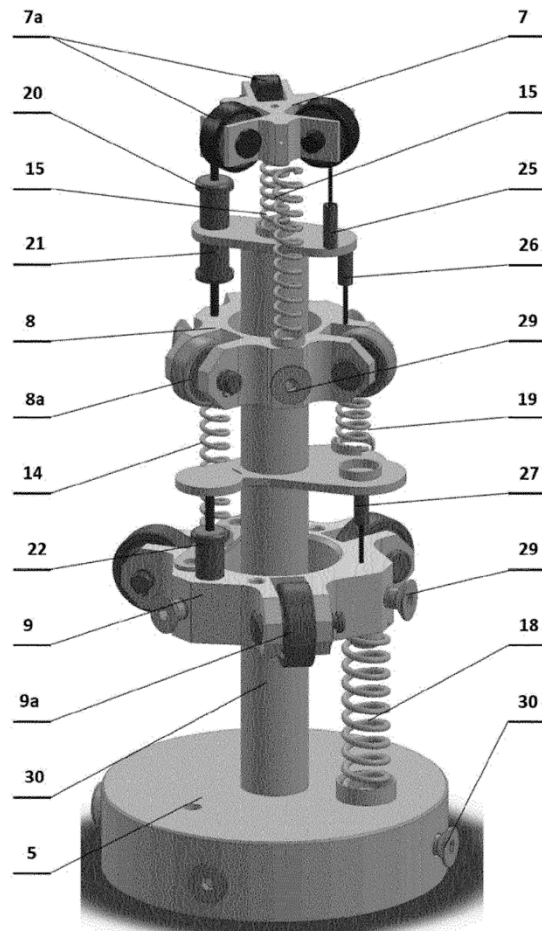


Fig. 7