

(19)



URZĄD
PATENTOWY
RZECZYPOSPOLITEJ
POLSKIEJ

(10) **PL 243955 B1**

(12)

Opis patentowy

(21) Numer zgłoszenia: **439261**

(22) Data zgłoszenia: **2021.10.19**

(43) Data publikacji o zgłoszeniu: **2023.04.24 BUP 17/2023**

(45) Data publikacji o udzieleniu patentu: **2023.11.06 WUP 45/2023**

(51) MKP:

F16F 9/53 (2006.01)

(73) Uprawniony z patentu:

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

(72) Twórca(-y) wynalazku:

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

(74) Pełnomocnik:

rzecz. pat. Mariusz Kondrat, Warszawa, PL

(54) Tytuł:

Inteligentny sterowany tłumik drgań mechanicznych o konstrukcji modułowej

PL 243955 B1

Opis wynalazku

DZIEDZINA TECHNIK

Przedmiotem patentu jest inteligentny sterowany tłumik drgań mechanicznych, który – dzięki połączeniu unikalnej modułowej konstrukcji oraz adaptacyjnego rozproszonego systemu sterowania – cechuje bardzo wysoka skuteczność rozpraszania energii drgań konstrukcji przyłączonej mechanicznie do niego, oferując przy tym szeroki zakres kształtowania charakterystyk dynamicznych. W związku powyższym przedmiot wynalazku kwalifikuje się do Inżynierii Mechanicznej wg klasyfikacji OECD.

STAN TECHNIKI

Stan techniki obejmuje wiele typów stabilizatorów, tłumików, absorberów oraz amortyzatorów rotacyjnych, działających w trybie pasywnym lub aktywnym. Tłumienie drgań skrętnych związane jest z rozpraszaniem energii mechanicznej obiektów oscylujących w ruchu obrotowym. Znakomitym źródłem wiedzy na temat konstrukcji i sposobu działania urządzeń przeznaczonych do tłumienia drgań skrętnych są artykuły naukowe oraz bazy patentowe.

Znany jest z chińskiego zgłoszenia patentowego CN105179576A magnetoreologiczny obrotowy tłumik drgań typu przegubowego składający się z wału obrotowego, pokrywy przedniej, pokrywy tylnej, sprężyny piórowej, cewki elektromagnetycznej, rury nawojowej i ruchomego dysku, przy czym pokrywa przednia i pokrywa tylna są umieszczone obrotowo na wale obrotowym i połączone na stałe. Połączone szczelnie pokrywy tworzą przestrzeń, która wypełniana jest cieczą magnetoreologiczną. Rozwiązanie to zawiera również element sprężyny przytwierdzony jednym końcem do korpusu obudowy a drugim do osi ruchomego dysku. Według rozwiązania posiada również półautomatyczny sterownik.

Znany jest z chińskiego zgłoszenia wzoru użytkowego CN206347061U magnetoreologiczny obrotowy tłumik drgań posiadający dwie szczelnie połączone ze sobą pokrywy tworzące korpus, wewnątrz których umieszczona jest obrotowa tarcza, a pozostała przestrzeń wypełniona jest cieczą magnetoreologiczną. W skład elementów tworzących urządzenie wchodzi również pierścień miedziany odsunięty od tarczy tłumiącej, a na zewnątrz korpusu, znajduje się cewka wzbudzająca.

Znany jest z amerykańskiego zgłoszenia patentowego US2018298976A1 tłumik obrotowy składający się z wału, obudowy, źródła pola magnetycznego, płynu magnetoreologicznego będącego płynem roboczym umieszczanym w komorze, w której znajduje się tłok obrotowy posiadający równomiernie umieszczone wypustki wzdłuż swojego konturu. Wszystkie elementy tworzące urządzenie umieszczone są osiowo względem wału, na którym umieszczony jest tłok obrotowy. Źródłem pola magnetycznego jest zwojnica znajdująca się poza komorą zawierającą ciecz magnetoreologiczną.

Znany jest z chińskiego zgłoszenia patentowego CN105626754 obrotowy, magnetoreologiczny tłumik drgań, który posiada źródło pola magnetycznego w kształcie litery S. Urządzenie składa się z obudowy, wewnątrz której znajduje się wiele komór wypełnionych płynem magnetoreologicznym, wewnątrz których umieszczonych jest wiele tarcz przymocowanych osiowo do wału głównego, które umieszczone są w obszarach występowania płynu magnetoreologicznego. Źródło pola magnetycznego rozmieszczone jest w taki sposób, by jego oddziaływanie sięgało komór rozmieszczonych wzdłuż wału głównego.

Znany jest z chińskiego zgłoszenia patentowego CN104896000A tłumik drgań skrętnych posiadające wirnik w kształcie wielu powierzchni stykających się z płynem magnetoreologicznym. Tłumik charakteryzuje się tym, że zawiera korpus cylindra wyposażony w co najmniej jedną wnękę i pręt ruchomy przechodzący przez wnękę o określonej pojemności, przy czym pręt ruchomy obraca się wokół własnej osi i jest szczelnie dopasowany do cylindra. Urządzenie posiada jednostkę regulacji tłumienia umieszczoną we wnękę, przy czym jednostka regulacji tłumienia zawiera popychacz umieszczony w odpowiedniej wnękę i przymocowany do ruchomego pręta, cewkę wzbudzającą do oraz elementy robocze umieszczone na wewnętrznej ścianie wnęki. Wnękę tę wypełniona jest płynem magnetoreologicznym, a cewka wzbudzająca nawinięta jest wokół popychacza.

Znany jest z amerykańskiego zgłoszenia patentowego US8193670 zintegrowany, modułowy akuator magnetoreologiczny zawierający tłumik drgań skrętnych i przetwornik elektromagnetyczny ruchu obrotowego. Urządzenia te zabudowane są na jednym wale i zamknięte we wspólnej obudowie. Tłumik magnetoreologiczny jest umiejscowiony wewnątrz obudowy cewki generatora lub równolegle do tej cewki. Możliwe jest aktywne działanie układu przez zasilanie przetwornika prądem elektrycznym i wtedy

działa on jak silnik elektryczny. Opcjonalnie prądem sterującym można zasilać cewkę tłumika magneto-reologicznego, co pozwala zmieniać opór ruchu tłumika przy jednoczesnym obrocie cewki przetwornika względem magnesów trwałych umieszczonych w nieruchomej obudowie urządzenia, umożliwiając działanie przetwornika elektromagnetycznego jako generatora prądu.

Znany jest z amerykańskiego zgłoszenia patentowego US8707822 B2 tłumik drgań skrętnych, który składa się ze stałej obudowy zamontowanej na wałku, obudowy ruchomej względem obudowy stałej, cewek elektromagnetycznych oraz stałych elementów wytwarzających pole magnetyczne. Wynalazek ten pozwala wytworzyć przejściowy przeciwny ruch obudowy względem ruchu wibrującego wałka wejściowego, o tej samej częstotliwości, przeciwnym kierunku i tej samej amplitudzie. Działanie to pozwala wyeliminować drgania skrętne o danej częstotliwości w układzie mechanicznym, do którego został zamontowany tłumik.

Znany jest z amerykańskiego zgłoszenia patentowego US20090159382 tłumik obrotowy, na który składają się; obudowa, stojan i dysk. Stojan i dysk służą do rozpraszania energii ruchu obrotowego. Dysk tłumika zlokalizowany jest w przestrzeni wypełnionej lepkością sprężystym płynem lub cieczą magneto-reologiczną. Łopatki dysku ustawione są równomiernie oraz promieniowo do jego osi tworząc ze stojanem i obudową robocze komory. W ścianach komór wyżłobione są kanały o kształtach, które pozwalają na przepływ cieczy roboczej między komorami. Ponadto tłumik zawiera stożkowe łożysko zbudowane z elastomeru i umiejscowione pomiędzy stojanem i dyskiem. Łożysko to pełni funkcję uszczelnienia dynamicznego oraz prowadnicy. Obudowa wyposażona jest w system monitorowania ciśnienia, który określa aktualną charakterystykę tłumienia podczas pracy.

Znany jest z amerykańskiego zgłoszenia patentowego US5946866A modułowy amortyzator rozpraszający energię ruchu liniowego, który wykorzystuje co najmniej jeden moduł tłumiący, składający się z naprzemiennych warstw materiału tłumiącego drgania oraz elementów sztywnych (na przykład metalowych płyt). Modułowy amortyzator może być utworzony z indywidualnych modułów tłumiących poprzez mocowanie poszczególnych modułów tłumiących do elementów konstrukcyjnych tego tłumika. Zewnętrzne sztywne elementy modułu mogą być opcjonalnie przedłużone, umożliwiając łatwiejsze przykręcanie, spawanie lub mocowanie elementu tłumiącego modułu do elementów konstrukcyjnych modułowego amortyzatora rozpraszającego energię. Zaletą amortyzatora, modułowego jest łatwość testowania zdolności rozpraszania energii i wytrzymałości wiązania dla każdego modułu tłumiącego posiadającego dwa zewnętrzne sztywne człony, bez potrzeby budowy całego kompletnego modułu.

Znany jest z amerykańskiego zgłoszenia patentowego US7464800B2 amortyzator do tłumienia drgań skrętnych obracającego się wału. Urządzenie zapewnia samoczynne tłumienie harmonicznym drgań w szerokim zakresie prędkości kątowej wałów. Budowa amortyzatora oparta jest o następujące elementy: co najmniej jeden pasywny element tłumiący, jeden sterujący element tłumiący, piastę, sprężyny wspornikowe oraz ruchome masy. Piastra połączona jest z pierścieniem za pośrednictwem sprężyn wspornikowych. Sprężyny wspornikowe połączone z pierścieniem pozostają swobodne na bliższym piasty. Masy zamontowane są przesuwne na elementach piasty i połączone do niej za pomocą sprężyn. Masy mogą poruszać się swobodnie w kierunku prostopadłym do promienia piasty.

Znana jest z niemieckiego zgłoszenia patentowego DE102008059236 A1 metoda tłumienia drgań skrętnych stosowana w układach napędowych pojazdów mechanicznych i tłumik. Metoda zastosowana w tym tłumiku polega na przymocowaniu koła zamachowego tego tłumika do wału korbowego silnika spalinowego i sprzężeniu tego koła z dodatkowym elementem o danym momencie bezwładności znajdującym się wewnątrz tego koła zamachowego za pomocą podatnego układu sprzęgającego. Układ sprzęgający dodatkową bezwładność składa się z ramienia dźwigni, po której porusza się promieniowo względem koła zamachowego dodatkowy element masowy zamocowany do układu sprzęgającego. Układ ten reguluje pozycję promieniową tego elementu masowego w zależności od zmiany prędkości obrotowej koła zamachowego. Układ sprzęgający zawiera co najmniej jedną śrubową sprężynę linową, której koniec zaciskowy może przemieszczać się promieniowo względem koła zamachowego i zamocowany jest do prowadzenia dodatkowego elementu masowego, a drugi koniec tej sprężyny zamocowany jest do koła zamachowego. Moment bezwładności elementów tłumika dobiera się indywidualnie względem rodzaju i momentu napędowego generowanego przez układ korbowy silnika spalinowego.

Znany jest z chińskiego zgłoszenia patentowego CN208089860U adaptacyjny amortyzator drgań skrętnych, który wykorzystuje zmienną sztywność własną. Amortyzator wyposażony jest w górny i dolny mechanizm regulacji sztywności, cylindryczną wnękę oraz układ sprężyn śrubowych zamocowanych przy pomocy zaczepu kulowego. Gdy amortyzator znajduje się pod obciążeniem skrętnym wówczas

układ sprężyn śrubowych połączony z górnym gwintowanym toczyskiem za pomocą płyty skrętnej, generuje poślizg poprzez ściśnięcie w cylindrycznej wnęce. Adaptacja sztywności dokonywana jest w tym przypadku ręcznie przez operatora.

Znany jest z chińskiego zgłoszenia patentowego CN103429928B modułowy, elastyczny amortyzator składający się z cylindrycznej struktury wewnętrznej z osią centralną. Względem tej struktury współosiowo usytuowana jest cylindryczna powierzchnia zewnętrzna, wokół której umieszczona jest ramka z cylindryczną powierzchnią wewnętrzną tworzącą obudowę. Między tą wewnętrzną konstrukcją a obudową umieszczony jest modułowy łącznik z kołnierzem wewnętrznym, połączonym dyskiem oraz kołnierzem zewnętrznym. Wewnętrzna konstrukcja i kołnierz zewnętrzny połączone są z obudową tak, że wewnętrzna konstrukcja podpira obudowę oraz umożliwia jej swobodne krążenie po jej orbicie, skręcając się w płaszczyźnie osi normalnych podczas tego ruchu. W innych przykładach wykonania amortyzatora wewnętrzna konstrukcja może zginać się promieniowo.

Znane ze stanu techniki urządzenia tłumiące stosuje się do eliminacji drgań skrętnych i linowych. Urządzenia te cechują zwykle charakterystyki dopasowane do danego zastosowania. Nawet wskazana powyżej w jednym z opisów patentu ręczna adaptacja parametrów, nie pozwala na wydajną i automatyczną redukcję drgań będących skutkiem szkodliwego oddziaływania, w szczególności, gdy zakres tego oddziaływania ulega zmianie, wywołanej przez zjawiska przejściowe, towarzyszące eksploatacji danego obiektu mechanicznego, do którego taki ręcznie regulowany tłumik jest podłączony. Ponadto z uwagi na brak w pełni adaptacyjnego i autonomicznego charakteru sterowania dyssypacją energii drgań wyżej wymienionych urządzeń, ich zakres stosowalności jest w dużym stopniu ograniczony. Ograniczenie stosowalności rozpatrywanych urządzeń dotyczy również znanych ze stanu techniki tłumików sterowanych, gdzie ich konstrukcja ograniczona zwykle do jednego stopnia swobody nie pozwala na wydajne kształtowanie charakterystyk dynamicznych.

UJAWNIE NIE WYNA LAZKU

Celem niniejszego wynalazku jest opracowanie nowego innowacyjnego urządzenia, pozwalającego na skuteczne tłumienie drgań skrętnych i linowych oraz poszerzanie zakresu stosowalności takiego urządzenia w wyniku łatwej rozbudowy jego konstrukcji poprzez dołączanie do niego kolejnych, zunifikowanych modułów. Rezultatem proponowanego rozwiązania technicznego jest inteligentny sterowany tłumik drgań mechanicznych o budowie modułowej, który pozwala w szerokim zakresie kształtować charakterystyki dynamiczne podczas rozpraszania energii drgań obiektu przyłączonego do niego w ruchu obrotowym i liniowym.

Problem techniczny rozwiązywany przez wynalazek można podzielić na dwa zagadnienia. Pierwsze zagadnienie polega na opracowaniu tłumika, który dzięki unikalnej konstrukcji oraz rozproszonemu systemowi sterowania pozwoli uzyskać wysoką skuteczność tłumienia szkodliwych drgań maszyn i urządzeń. Drugie zagadnienie dotyczy szybkiej i łatwej rekonfiguracji konstrukcji tłumika do dowolnej liczby jego modułów bez konieczności ingerencji w system sterowania, co poszerza zakres jego stosowalności oraz funkcjonalności.

Istotą wynalazku jest urządzenie do tłumienia drgań mechanicznych o konstrukcji modułowej, charakteryzujące się z co najmniej jednym modulem roboczym lub jednym modulem roboczym i co najmniej jednym modulem pomocniczym, połączonych sprężystym łącznikiem między modułowym i śrubami. Budowa modułu roboczego zawiera dwa korpusy tworzące po ich połączeniu za pośrednictwem śrub obudowę, w której wnętrzu znajdują się: komora z aktywną cieczą, ruchomy dysk, cewka, pierścień izolacyjny, przewodzące pierścienie, uszczelki, które to elementy zorientowane są współosiowo względem obudowy. Ponadto we wnętrzu obudowy modułu roboczego znajduje się czujnik przemieszczenia ruchomego dysku. Na zewnątrz obudowy modułu przymocowany jest do niej mechanicznie sterownik oraz zamocowana jest sprężyna spiralna przytwierdzona swoimi końcami do osi ruchomego dysku i do obudowy modułu.

Korzystnie urządzenie według wynalazku charakteryzuje się tym, że konstrukcja modułu roboczego oraz modułów pomocniczych jest w pełni zunifikowana i jednorodna.

Korzystnie urządzenie według wynalazku charakteryzuje się tym, że ruchomy dysk jest ustawiony współosiowo względem obudowy za pośrednictwem własnej osi oraz dwóch łożysk umieszczonych w centralnych otworach gniazd łożyskowych obydwu korpusów.

Korzystnie urządzenie według wynalazku charakteryzuje się tym, że z każdej z bocznych stron cewki znajdują się wykonane z materiału magnetycznie miękkiego przewodzące pierścienie umieszczone w rowkach obu korpusów obudowy. Natomiast pod cewką, między przewodzącymi pierścieniami

zlokalizowany jest wykonany z materiału nieferromagnetycznego pierścień izolacyjny, którego zewnętrzna średnica jest równa wewnętrznej średnicy tej cewki. Przyjęta geometria tych dwóch elementów pozwala na ich wzajemne pozycjonowanie poprzez kontakt powierzchni pierścienia izolacyjnego i cewki.

Korzystnie urządzenie według wynalazku charakteryzuje się tym, że uszczelki komory umieszczone są w rowkach w obu korpusach obudowy od jej wewnętrznej strony oraz mają kontakt z powierzchniami bocznymi ruchomego dysku.

Korzystnie urządzenie według wynalazku charakteryzuje się tym, że w komorze powstałej po połączeniu obu korpusów obudowy znajduje się aktywna ciecz oraz fragment ruchomego dysku.

Korzystnie urządzenie według wynalazku charakteryzuje się tym, że ruchomy dysk ma na swojej powierzchni bocznej co najmniej jeden otwór, służący do wyznaczania jego pozycji i prędkości kątowej.

Korzystnie urządzenie według wynalazku charakteryzuje się tym, że zawiera w swoim wnętrzu co najmniej jeden czujnik przemieszczenia zamocowany w otworze mocującym jednego korpusu. Lokalizacja tego otworu pozycjonuje czujnik przemieszczenia ruchomego dysku tak, aby umieszczony był, jak najbliżej powierzchni bocznej tego dysku. Poza tym otwór ten wykonany jest w takim miejscu, aby czujnik znajdował się na pozycji równej promieniowi okręgu, na którym znajduje się co najmniej jeden otwór w ruchomym dysku. Co najmniej jeden otwór w ruchomym dysku służy do wyznaczania jego pozycji i prędkości kątowej podczas oscylacji wywołanych drganiami.

Korzystnie urządzenie według wynalazku charakteryzuje się tym, że wewnętrzny koniec spiralnej sprężyny przymocowany jest do otworu mocującego osi ruchomego dysku, natomiast zewnętrzny koniec spiralnej sprężyny zamocowany jest do otworu mocującego zlokalizowanego na zewnętrznej powierzchni korpusu obudowy modułu.

Korzystnie urządzenie według wynalazku charakteryzuje się tym, że w korpusie znajduje się co najmniej jeden otwór gwintowany, w którym znajduje się śruba uszczelniająca.

Korzystnie urządzenie według wynalazku charakteryzuje się tym, że sterownik zawierający zaimplementowany w swoim wnętrzu algorytm sterowania prądem cewki, połączony jest elektrycznie z nią oraz połączony jest także do czujnika przemieszczenia. Sterownik ten ma także dwukierunkowe kanały komunikacyjne, które są połączone ze sterownikami sąsiednich modułów w konfiguracji wielomodułowej.

Korzystnie urządzenie według wynalazku charakteryzuje się tym, że czujnik przemieszczenia stanowi zbliżeniowy czujnik indukcyjny.

Korzystnie urządzenie według wynalazku charakteryzuje się tym, że czujnik przemieszczenia stanowi czujnik fotooptyczny.

Korzystnie urządzenie według wynalazku charakteryzuje się tym, że czujnik przemieszczenia stanowi laserowy czujnik dystansu.

Korzystnie urządzenie według wynalazku charakteryzuje się tym, że aktywną ciecz stanowi ciecz magnetorologiczna.

Korzystnie urządzenie według wynalazku charakteryzuje się tym, że aktywną ciecz stanowi ciecz ferromagnetyczna.

Korzystnie urządzenie według wynalazku charakteryzuje się tym, że sprężysty łącznik między modułowy stanowi tarcza łącznika i na stałe przymocowana do niej tuleja, w której znajduje się wpust oraz spiralna sprężyna sprężystego łącznika, której zewnętrzny koniec połączony jest z otworem tarczy łącznika sprężystego.

Korzystnie urządzenie według wynalazku charakteryzuje się tym, że w konfiguracji wielomodułowej śruby przez otwory i tuleje dystansowe łączą sąsiadujące moduły, przy czym osie tych modułów połączone są za pośrednictwem sprężystych łączników między modułowych poprzez klin i wpust wykonany na jednym końcu osi ruchomego dysku danego modułu oraz za pomocą spiralnej sprężyny sprężystego łącznika, której zewnętrzny koniec sprężyny połączony jest z otworem tarczy sprężystego łącznika, jednocześnie wewnętrzny koniec spiralnej sprężyny sprężystego łącznika połączony jest z czołowym otworem osi ruchomego dysku sąsiedniego modułu.

Inteligentny sterowany tłumik może pracować jako pojedynczy moduł ($N=1$) oraz jako konstrukcja wielomodułowa ($N>1$). W przypadku pracy rozpatrywanego urządzenia jako pojedynczego modułu ($N=1$) drganiowe oddziaływanie zewnętrzne z tłumionej maszyny lub tłumionego urządzenia przenosi na oś dysku w formie oscylacyjnego momentu skręcającego M_f . Zjawisko to wywołuje rotacje ruchomego dysku zlokalizowanego wewnątrz modułu. W czasie oscylacji tego dysku czujnik przemieszczenia kąтового rejestruje parametry ruchu dysku i przekazuje je na bieżąco do sterownika. W sterowniku w wyniku działania algorytmu bazującego na opisanej poniżej strategii rozproszonego sterowania generowany

jest sygnał elektryczny, przesyłany do cewki, zlokalizowanej przy komorze zawierającej aktywną ciecz. Cewka, w wyniku przepływu przez jej zwoje prądu elektrycznego, wywołuje pole magnetyczne, zgodnie z prawem indukcji Faradaya. Powstały w tym polu strumień magnetyczny, za pośrednictwem dwóch przewodzących pierścieni, ukierunkowany jest tak, aby zamknąć własny obwód magnetyczny przez komorę zawierającą aktywną ciecz. W wyniku odpowiedniej zmiany natężenia prądu przepływającego przez cewkę, wartość pola magnetycznego generowanego w niej wpływa na lepkość dynamiczną aktywnej cieczy, co w rezultacie pozwala na wytworzenie pożądanego momentu oporowego, hamującego ruchomy dysk znajdujący się w tej komorze. Taki odpowiednio przyhamowywany dysk skutecznie eliminuje drgania maszyny lub urządzenia przyłączonego do inteligentnego sterowanego tłumika.

W przypadku pracy tłumika jako konstrukcji wielomodułowej ($N > 1$), oddziaływanie zewnętrzne w formie oscylacyjnego momentu skręcającego M_f przenoszone jest na oś dysku modułu roboczego. Z tej osi za pośrednictwem sprężystych łączników międzymodułowych oddziaływanie to przekazywane jest na osie ruchomych dysków kolejnych modułów pomocniczych podłączony szeregowo. Algorytm sterowania zaimplementowany w sterownikach modułów przetwarza dane pomiarowe (prędkości kątowne własnego ruchomego dysku i dysków sąsiednich modułów) oraz wyznacza wartości prądu przesyłanego do cewki zamontowanej w jego module, co generuje pożądaný moment oporowy oddziałujący na ruchomy dysk tego modułu. Procedura sterowania jest identyczna w każdym ze sterowników modułów składających się na inteligentny sterowany tłumik.

ZALETY WYNAŁAZKU

Inteligentny sterowany tłumik o konstrukcji modułowej pozwala na skuteczną eliminację drgań skrętnych i liniowych, w szczególności może służyć do zabezpieczania obiektów mechanicznych narażonych na działanie szkodliwych drgań przejściowych. Wśród potencjalnych zastosowań tłumika można wyróżnić konstrukcje pojazdów, maszyn i robotów narażonych na drgania przejściowe, w szczególności: półaktywne zawieszenia pojazdów, fotele pasażerów pojazdów lub maszyn roboczych, efekторы robotów realizujących procesy związane z ruchem obrotowym i liniowym.

Istotną cechą rozpatrywanego tłumika jest jego adaptacyjność realizowana dzięki możliwości rekonfiguracji konstrukcji tłumika do dowolnej liczby modułów, co wynika z zastosowania rozproszonego systemu sterowania oraz w pełni modułowej budowy. Jak wykazano w badaniach numerycznych (Przykład 3), rekonfiguracja tłumika pozwala na kształtowanie charakterystyk dynamicznych, a co za tym idzie – pracę w układach poddanych wymuszeniom o zmiennym charakterze oraz poszarzenie zakresu jego stosowalności.

Działanie strategii sterowania zaimplementowanej w formie algorytmu w zintegrowanych sterownikach poszczególnych modułów inteligentnego sterowanego tłumika zapewnia skuteczną transmisję energii z modułu roboczego do pierwszego, drugiego i N -tego modułu pomocniczego.

Poza tym działanie strategii sterowania zaimplementowanej w formie algorytmu w zintegrowanych sterownikach poszczególnych modułów inteligentnego sterowanego tłumika zapewnia wydajną dyssypację energii w module roboczym oraz w modułach pomocniczych.

Działanie strategii sterowania zaimplementowanej w formie algorytmu w zintegrowanych sterownikach poszczególnych modułów inteligentnego sterowanego tłumika zapewnia ograniczony dopływ energii z modułów pomocniczych do modułu roboczego, a tym samym do tłumionego układu zewnętrznego.

Poza tym rozproszone procedury obliczeniowe zawarte w algorytmie sterowania pozwalają na rozbudowę systemu do dowolnej liczby modułów bez ingerencji w system sterowania.

Dodatkową zaletą inteligentnego sterowanego tłumika jest możliwość rozszerzenia jego funkcjonalności poprzez zamontowanie na osi modułu roboczego ramienia oraz podłączonego do niego przegubu, uzyskując aplikację inteligentnego sterowanego tłumika również do tłumienia drgań w ruchu liniowym (Fig. 8 i Fig. 9).

Wyżej wymienione cechy i zalety działania inteligentnego sterowanego tłumika pozwalają efektywnie tłumić drgania i umożliwiają skuteczną stabilizację drgań konstrukcji przyłączonej do niego.

PRZYKŁAD WYKONANIA INTELIGENTNEGO STEROWANEGO TŁUMIKA

KRÓTKI OPIS FIGUR RYSUNKU

W celu lepszej prezentacji przedmiotu wynalazku został on opisany w nieograniczających przykładach wykonania. Dodatkowo przedstawiono wyniki symulacji numerycznych potwierdzających skuteczności jego działania. Konstrukcje przykładów wykonania wynalazku zilustrowano i objaśniono na załączonych figurach rysunku, na których:

Fig. 1 – przedstawia w przekroju A-A pojedynczy moduł inteligentnego sterowanego tłumika mechanicznych drgań skrętnych,

Fig. 2 – przedstawia elementy składowe pojedynczego modułu inteligentnego sterowanego tłumika mechanicznych drgań skrętnych,

Fig. 3 – przedstawia widoki: A – ruchomego dysku modułu inteligentnego sterowanego tłumika drgań mechanicznych i jego osi, B – lokalizacji czujnika prędkości obrotowej ruchomego dysku,

Fig. 4 – przedstawia schematyczne linie strumienia magnetycznego generowanego przez cewkę pojedynczego modułu inteligentnego sterowanego tłumika drgań mechanicznych,

Fig. 5 – przedstawia widoki inteligentnego sterowanego tłumika mechanicznych drgań skrętnych; A trzymodułowy wariant konfiguracji tłumika, B – pięciomodułowy wariant konfiguracji tłumika,

Fig. 6 – przedstawia elementy składowe trzy modułowej konfiguracji inteligentnego sterowanego tłumika mechanicznych drgań skrętnych wraz ze sprężystymi łącznikami międzymodułowymi oraz tulejami dystansowymi,

Fig. 7 – przedstawia sprężysty łącznik między moduły inteligentnego sterowanego tłumika drgań mechanicznych: A – przekroje A-A i B-B łącznika międzymodułowego, B – elementy składowe tego łącznika,

Fig. 8 – przedstawia widoki inteligentnego sterowanego tłumika drgań liniowych drgań mechanicznych w dwóch wariantach konfiguracji; A – trzymodułowy wariant konfiguracji, B – pięciomodułowy wariant konfiguracji,

Fig. 9 – przedstawia elementy składowe trzymodułowej konfiguracji inteligentnego sterowanego tłumika liniowych drgań mechanicznych wraz ze sprężystymi łącznikami międzymodułowymi oraz płytą scalającą te moduły,

Fig. 10 – przedstawia nacięcie mocujące w obudowie inteligentnego sterowanego modułu tłumika drgań mechanicznych stosowany w ruchu liniowym,

Fig. 11 – przedstawia schematy fizycznych modeli jednomodułowego ($N=1$) i trzy modułowego inteligentnego sterowanego tłumika drgań ($N=3$) wykorzystanych do badań numerycznych,

Fig. 12 – wykres ilustrujący dynamiczną odpowiedź ruchomego dysku modułu roboczego inteligentnego sterowanego tłumika drgań w przypadku różnych wariantów konstrukcyjnych ($N=1$ oraz $N=3$) – wyniki otrzymane z badań numerycznych przedstawiające amplitudę pozycji kątowej w funkcji czasu,

Fig. 13 – wykres ilustrujący dynamiczną odpowiedź ruchomego dysku modułu roboczego inteligentnego sterowanego tłumika drgań w przypadku różnych wariantów konstrukcyjnych ($N=3$ oraz $N=5$) – wyniki otrzymane z badań numerycznych przedstawiające amplitudę pozycji kątowej w funkcji czasu.

Na rysunkach przedstawiono dwie główne struktury inteligentnego sterowanego tłumika drgań mechanicznych o konstrukcji modułowej, w zależności od rodzaju wymuszenia zewnętrznego przyłożonego do tłumika, odpowiednio ruchu obrotowego lub liniowego. Dodatkowo zaprezentowano trzy konfiguracje moduowości rozwiązania w przypadku zastosowania tłumika do ruchu obrotowego i liniowego.

PRZYKŁADY

Przykład 1. Inteligentny sterowany tłumik drgań mechanicznych stosowany w ruchu obrotowym: przypadek $N=1$.

W jednym z korzystnych przykładów wykonania urządzenie według wynalazku zostało przedstawione na rysunkach Fig. 1–4.

Zasadniczym elementem Inteligentnego sterowanego tłumika drgań jest moduł roboczy, którego jeden koniec osi 5 jest przyłączony do układu zewnętrznego poddanego działaniu drgań mechanicznych w ruchu obrotowym. Podstawą konstrukcji modułu roboczego są dwa korpusy 1a i 1b tworzące po ich połączeniu obudowę zewnętrzną 1. We wnętrzu obudowy 1 znajduje się ruchomy dysk 2, który jest zorientowany współosiowo względem obudowy 1 za pośrednictwem własnej osi 5 oraz dwóch łożysk 3 umieszczonych w centralnych otworach gniazd łożyskowych 4a i 4b obydwu korpusów 1a i 1b. Współosiowo względem obudowy 1 w jej wnętrzu umieszczona jest także cewka 6, pod którą znajduje się pierścień izolacyjny 9 wykonany z materiału nieferromagnetycznego, którego zewnątrz średnica jest równa wewnętrznej średnicy cewki 6, przez co dwie powierzchnie tych elementów stykają się i aluminiowy pierścień izolacyjny 9, zlokalizowany jest współosiowo w stosunku do obudowy 1. Po każdej ze stron cewki znajdują się przewodzące pierścienie 7, wykonane z materiału ferromagnetycznego miękkiego umieszczone odpowiednio w rowku 8a korpusu 1a, oraz w rowku 8b korpusu 1b. Poprzez otwory 21 w korpusie 1a rozłączenie połączone śrubami 35 są korpusy 1a i 1b tworząc wewnątrz obudowy 1 komorę 10, w której to komorze znajduje się aktywna ciecz H oraz fragment ruchomego dysku 2. Szczelność komory 10 uzyskuje poprzez zastosowanie uszczelnień 12, które umieszczone są w rowkach 13

wykonanych w obu korpusach 1a i 1b obudowy 1 od wewnętrznej strony. Aktywna ciecz 11 jest dostarczona do komory 10 przez otwór gwintowany 14. Otwór ten po napełnieniu komory 10 jest zatkań przy użyciu śruby uszczelniającej 15. Do otworu mocującego 17 osi 5 ruchomego dysku 2 zamocowany jest wewnętrzny koniec sprężyny spiralnej 16, której zewnętrzny koniec przymocowany jest do otworu mocującego 18 zlokalizowanego na zewnętrznej powierzchni korpusu 1a obudowy 1. Sprężyna spiralna 16 wprowadza sztywność skrętną k_1' (Fig. 10A) między osią 5 ruchomego dysku 2 a obudową 1 inteligentnego sterowanego tłumika. We wnętrzu obudowy znajduje się czujnik przemieszczenia 19, zamocowany w otworze mocującym 20 korpusów 1a. Czujnik ten podłączony jest elektrycznie ze sterownikiem 22. Sterownik 22 zamocowany jest od zewnątrz do obudowy modułu 1 i podłączony jest elektrycznie do cewki 6. W tym nieograniczającym przykładzie wykonania na pierścieniu izolacyjny 9 zastosowano aluminium jako materiał nieferromagnetyczny o niskiej przewodności magnetycznej. Niemniej jednak można stosować inne materiały, np. miedź. Parametry przykładowych materiałów nieferromagnetycznych przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Parametry materiałów nieferromagnetycznych

Materiał	Parametry		
	Przenikalność magnetyczna	Gęstość	Indukcja nasycenia
	$\mu_r = [A/m]$	$\rho = [kg/m^3]$	$B_s = [T]$
Metale niemagnesowalne			
Aluminium	1,000020	2700	–
Miedź	0,99999	8960	–

W tym nieograniczającym przykładzie wykonania na przewodzące pierścienie 7 zastosowano permaloj jako materiał ferromagnetyczny miękki o dużej przenikalności magnetycznej, pozwalający uzyskać duże wartości indukcji magnetycznej przy użyciu niskiego prądu magnesowania. Niemniej jednak można stosować inne materiały, np. Supermalloy. Parametry przykładowych materiałów ferromagnetycznych miękkih przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 2. Parametry materiałów ferromagnetycznych miękkih

Materiał	Parametry		
	Przenikalność magnetyczna	Gęstość	Indukcja nasycenia
	$\mu_r = [A/m]$	$\rho = [kg/m^3]$	$B_s = [T]$
Metale magnesowalne			
Permaloj	25000	8600	0,8
Supermalloy	45000	8650	0,9

W tym nieograniczającym przykładzie wykonania jako ciecz aktywną 11 zastosowano ciecz magnetoreologiczną, której lepkość dynamiczna ulega zmianom pod wpływem zmiany pola magnetycznego przenikającego jej objętość. Niemniej jednak można stosować inne materiały inteligentne np. ciecze ferromagnetyczne. Parametry przykładowych inteligentnych cieczy przedstawiono w tabeli 3.

Tabela 3. Parametry inteligentnych cieczy

Ciecz	Parametry			
	Naprężenia ścinające	Wielkość cząstek	Lepkość plastyczna	Udział objętościowy cząstek
	τ_u [Pa]	a [μm]	μ_{pl} [Pas]	U [%]
Magnetoreologiczna	2940	1-10	0,04	20-50
Ferromagnetyczna	2500	5-15	0,05	<10

Działanie inteligentnego sterowanego tłumika jako pojedynczego modułu ($N=1$) realizowane jest poprzez wprowadzenie oddziaływania drganiowego z zewnętrznego obiektu mechanicznego na oś 5 ruchomego dysku 2 w formie oscylacyjnego momentu skręcającego M_f (Fig. 11A). Oddziaływanie to wywołuje rotacje ruchomego dysku 2. W czasie oscylacji ruchomego dysku 2 czujnik przemieszczenia 19 rejestruje parametry ruchu (przemieszczenie kątowe oraz prędkość kątową) ruchomego dysku 2 i przekazuje je na bieżąco do sterownika 22. W sterowniku, w wyniku działania zaimplementowanego w nim algorytmu sterowania, generowany jest sygnał elektryczny, przesyłany do cewki 6, zlokalizowanej przy komorze 10 zawierającej aktywną ciecz 11. Cewka 6, w wyniku przepływu przez jej zwoje prądu elektrycznego, wywołuje pole magnetyczne, zgodnie z prawem indukcji Faradaya (Fig. 4). Powstały w tym polu strumień magnetyczny, za pośrednictwem dwóch przewodzących pierścieni 7, ukierunkowany jest tak, aby zamknąć własny obwód magnetyczny przez komorę 10 zawierającą aktywną ciecz 11. W komorze tej oprócz aktywnej cieczy znajduje się zewnętrzny fragment ruchomego dysku 2. W wyniku wywołanej przez algorytm sterowania odpowiedniej zmiany natężenia prądu przepływającego przez cewkę 6 zmienia się lepkość dynamiczna aktywnej cieczy 11, co w rezultacie pozwala na generowanie pożądanego momentu hamującego, który skutecznie eliminuje drgania maszyny lub urządzenia przyłączonego do inteligentnego sterowanego tłumika.

Przykład 2. Inteligentny sterowany tłumik drgań mechanicznych o konstrukcji modułowej stosowany w ruchu obrotowym: przypadek $N>1$.

W jednym z korzystnych przykładów wykonania urządzenie o konstrukcji modułowej stosowane w ruchu obrotowym zostało przedstawione w na rysunkach Fig. 5–7.

Inteligentny sterowany tłumik według wynalazku uzyskuje modułową strukturę przez połączenie modułu roboczego i co najmniej jednego modułu pomocniczego. Budowa modułu roboczego opisana w przykładzie 1 oraz konstrukcja modułu pomocniczego jest w pełni zunifikowana i jednorodna. Połączenie osi 5 modułu roboczego i osi 5 modułów pomocniczych realizowane jest przez sprężyste łączniki międzymodułowe 33. Sprężysty łącznik między moduły 33 zbudowany jest z dwóch głównych elementów tarczy łącznika 24 oraz spiralnej sprężyny 25 o sztywności skrętnej T_c . Tarcza łącznika 24, oraz na stałe przymocowana do niej tuleja 26, w której znajduje się wpust 29, połączone są za pośrednictwem klina 31 z wpustem 29, wykonanym w osi 5 ruchomego dysku 2 sąsiadującego modułu. Sprężyna spiralna 25 zewnętrznym końcem 28 połączona jest z otworem 27 tarczy łącznika 24. Wewnętrzny koniec 30 sprężyny spiralnej 25 połączony jest z czołowym otworem 34 osi 5 ruchomego dysku sąsiedniego modułu. W wariantcie wielomodułowym tłumika poszczególne obudowy modułów połączone są również za pośrednictwem długich śrub mocujących 36, których długość jest uzależniona od liczby modułów, oraz otworów 38 łączących sąsiadujące obudowy, gdzie określony dystans między tymi modułami uzyskiwany jest przez tuleje dystansowe 37.

Zasada działania inteligentnego sterowanego tłumika w wariantcie pracy jako konstrukcji wielomodułowej ($N>1$) jest częściowo tożsama z zasadą prezentowaną w przykładzie 1. Oddziaływanie zewnętrzne w formie oscylacyjnego momentu skręcającego M_f (Fig. 11B) przenoszone jest na oś 5 ruchomego dysku 2 roboczego modułu, z której to osi 5 za pośrednictwem sprężystych łączników między modułów 33 o sztywności skrętnej k przekazywane jest na osie 5 ruchomych dysków 2 kolejnych szeregowo podłączonych modułów pomocniczych. W trakcie działania urządzenia, przemieszczenie

kątowe ruchomego dysku 2 danego modułu wyznaczane jest przez czujnik przemieszczenia 19 i przekazywany do sterownika 22 zintegrowanego z obudową 1 danego modułu. Sterownik 22 każdego z modułów wyposażony jest w kanały komunikacyjne 23 połączone ze sterownikami sąsiadujących modułów. Kanały te pozwalają na dwukierunkowe przesyłanie informacji o przemieszczeniu i prędkości kątowej ruchomego dysku 2 danego modułu oraz ruchomych dysków 2 sąsiadujących modułów. Algorytm sterowania zaimplementowany w każdym ze sterowników 22 przetwarza dane pomiarowe (przemieszczenie kątowe oraz prędkość kątową własnego dysku i dysków sąsiednich modułów) oraz wyznacza wartość sterowanego, prądowego sygnału zasilającego cewkę 6 zamontowaną w jego module. Cewka 6 wytwarza poprzez ciecz aktywną 11 pożądany, odpowiednio zmieniający się w czasie moment oporowy oddziałujący na ruchome dyski 2. Działanie tłumika wielomodułowego ($N > 1$) skutkuje efektywniejszą dyssypacją energii drgań niż w przypadku tłumika jako pojedynczego modułu roboczego ($N = 1$).

Przykład 3. Inteligentny sterowany tłumik drgań mechanicznych o konstrukcji modułowej stosowany w ruchu liniowym.

Przykład wykonania inteligentnego sterowanego tłumika drgań mechanicznych o konstrukcji modułowej stosowany w ruchu liniowym został przedstawiony w na Fig. 8–9.

W trzecim korzystnym przykładzie wykonania urządzenie według wynalazku różni się od urządzenia według przykładu 2 tym, że obudowa 1 każdego modułu nie jest wyposażona w otwory 38 łączące sąsiadujące obudowy, ale ma nacięcie 46 w dolnej części obudowy 1, które to nacięcie mocujące 46 połączone jest z krawędzią mocującą 45 płyty scalającej 32. Ponadto moduł roboczy tłumika przytwierdzony jest do płyty scalającej 32 śrubami 42 poprowadzonymi przez otwory 43 i przykręconymi do otworów w obudowie modułu roboczego 44. Natomiast na osi 5 modułu roboczego zamontowano ramię 40, do którego podłączono przegub 41. Przegub 41 i ramię 40 pozwala na zamianę ruchu liniowego na ruch obrotowy oraz możliwość aplikacji inteligentnego sterowanego tłumika do redukcji drgań obiektów mechanicznych w ruchu liniowym.

Procedura działania inteligentnego tłumika o konstrukcji modułowej stosowanej w ruchu liniowym jest identyczna jak w przypadku ruchu obrotowego – przykład 2.

Skuteczność działania inteligentnego sterowanego tłumika drgań mechanicznych o konstrukcji modułowej wykonanego zgodnie z powyżej zaprezentowanymi przykładami potwierdzono przy użyciu symulacji komputerowych, gdzie posłużono się modelami matematycznymi odpowiadającymi trzem wariantom konstrukcji tłumika:

Wariant 1 – zakłada konstrukcję złożoną z modułu roboczego ($N = 1$) Fig. 11A.

Wariant 2 – zakłada konstrukcję złożoną z modułu roboczego oraz dwóch modułów pomocniczych ($N = 3$) Fig. 11B i Fig. 5A.

Wariant 3 – zakłada konstrukcję złożoną z modułu roboczego oraz czterech modułów pomocniczych ($N = 5$) Fig. 5B.

Do symulacji założono, że moduł roboczy inteligentnego sterowanego tłumika zostaje poddany niezerowej prędkości początkowej, a na wszystkie moduły pomocnicze narzucono zerowe warunki początkowe.

Wyniki analizowanych symulacji przedstawione zostały na wykresach na Fig. 12 oraz Fig. 13, gdzie zilustrowano przebiegi czasowe pozycji kątowej ruchomego dysku roboczego modułu, zestawiając odpowiednio Warianty 1 i 2 oraz Warianty 2 i 3. Analizując krzywą dotyczącą Wariantu 1, obserwujemy, zbliżony do typowego dla układu o jednym stopniu swobody, przebieg drgań tłumionych. Należy jednak wspomnieć, że z uwagi na zastosowanie sterowania, zbieżność trajektorii do zera (tj. położenia równowagi ruchomego dysku członu roboczego), w tym przypadku jest szybsza aniżeli przy założeniu strategii tłumienia pasywnego. Wariant 2 oraz 3 cechuje obecność wyższych harmonicznnych drgań, co jest związane z rozbudową konstrukcji odpowiednio do trzech oraz pięciu stopni swobody. Zestawienie trajektorii Wariantów 1 oraz 2 (Fig. 12) pokazuje, że zastosowanie większej liczby modułów skutkuje znaczącym obniżeniem wartości szczytowych wychyleń modułu roboczego, co w rezultacie gwarantuje wydajniejszą stabilizację drgań obiektu przyłączonego do tłumika. Obserwację tą potwierdza porównanie Wariantów 2 oraz 3 (Fig. 13), gdzie szybkość rozpraszania energii drgań jest zauważalnie wyższa w przypadku zastosowania większej liczby modułów tłumika.

Algorytm zaimplementowany w sterownikach modułów inteligentnego sterowanego tłumika opisanego w powyższych trzech korzystnych przykładach wykonania oparty jest na strategii rozproszonego sterowania tłumikami półaktywnymi. Sterowanie to realizowane jest na podstawie zmodyfikowanego algorytmu opracowanego przez autorów niniejszego wynalazku opublikowanego w pracy: Pisarski D.,

Konowrocki R., Jankowski Ł., Scalable distributed optimal control of vibrating modular structures, *Structural Control and Health Monitoring*, Vol, 27, No:4, pp. 1–21, 2020. Główną ideą prezentowanej metody sterowania jest zapewnienie jednorodności funkcjonalnej algorytmu decyzyjnego realizowanego przez sterowniki oraz pełnej skalowalności zastosowanych procedur optymalizacyjnych. Pozwala to na zaprojektowanie systemu sterowania zdolnego do pracy z konstrukcjami o dowolnej liczbie stopni swobody. Sterowanie opiera się na genetycznym podziale konstrukcji, który prowadzi do zdefiniowania zbioru sprzężonych ze sobą podukładów dynamicznych. Każdy z podukładów wyposażony jest w dedykowany indywidualny sterownik, który pobiera informacje o stanie danego podukładu i współpracuje z sąsiednimi sterownikami w celu wyznaczenia predykcji sił oddziaływania między sąsiednimi podukładami. Do opracowania algorytmu predykcyjnego posłużono się autoregresywnym liniowym modelem dynamicznym. Podejście to pozwoliło na sformułowanie zbioru liniowo-kwadratowych problemów sterowania optymalnego, które rozwiązywane są równoległe, wykorzystując procesory obliczeniowe indywidualnych sterowników. Z uwagi na zmienny charakter sił oddziaływania między sąsiednimi podukładami, model predykcyjny oraz rozwiązania optymalne aktualizowane są okresowo, a sterowanie realizowane jest zgodnie z metodą przesuwanego horyzontu (ang. receding horizon control). Ponieważ rozmiary poszczególnych podsystemów są stosunkowo niewielkie, aktualizację warunków brzegowych i rozwiązania problemów sterowania optymalnego przeprowadza się w czasie rzeczywistym. W oryginalnej wersji metoda dedykowana była do konstrukcji sterowanych aktywnie, tj. siłowo. W celu zastosowania metody do konstrukcji półaktywnej wykorzystano podejście tzw. obciętego sterowania optymalnego (ang. clipped-optimal control), gdzie rzeczywisty parametr sterowania – współczynnik tłumienia – wyznaczany jest z funkcji saturacji.

WYKAZ OZNACZEŃ:

1. obudowa,
 - 1a. korpus obudowy,
 - 1b. korpus obudowy,
2. ruchomy wirnik,
3. łożyska,
 - 4a. otwór gniazda łożyskowego korpusu 1a,
 - 4b. otwór gniazda łożyskowego korpusu 1b,
5. oś ruchomego wirnika 1,
6. cewka,
7. przewodzący pierścień,
 - 8a. rowek w korpusie 1a na pierścień przewodzący,
 - 8b. rowek w korpusie 1b na pierścień przewodzący,
9. pierścień izolacyjny,
10. komora,
11. aktywna ciecz,
12. uszczelki,
 - 13a. rowki w korpusie 1a i 1b na uszczelnienie,
14. otwór gwintowany,
15. śruba uszczelniająca,
16. spiralna sprężyna,
17. otworu mocującego osi 5 ruchomego wirnika 2,
18. otwór mocujący 18 w korpusie 1a,
19. czujnik przemieszczenia,
20. otwór mocowania czujnika zlokalizowany na wewnętrznej powierzchni korpusu 1a,
21. otwory 21 w korpusie 1a,
22. sterownik,
23. dwukierunkowe kanały komunikacyjne sterownika 22,
24. tarcza sprężystego łącznika międzymodułowego 33,
25. spiralna sprężyna sprężystego łącznika międzymodułowego 33,
26. tuleja sprężystego łącznika międzymodułowego 33,
27. otwór mocujący w tarczy 24,
28. zewnętrzny koniec spiralnej sprężyny 25,
29. wpust tulei 26,

30. wewnętrzny koniec spiralnej sprężyny 25,
31. klin wpustu 29,
32. płyta scalająca moduły tłumika,
33. sprężysty łącznik międzymodułowy,
34. czołowy otwór osi 5 mocujący sprężynę 25,
35. śruby,
36. długie śruby mocujące,
37. dystansowe tuleje,
38. otwór łączący obudowy 1 modułów,
39. otwory tarczy ruchomego wirnika,
40. ramie ruchu liniowego,
41. przegub ruchu liniowego,
42. śruby mocujące płyty scalającej,
43. otwory płyty scalającej,
44. otwory w obudowie modułu roboczego,
45. krawędź mocująca,
46. nacięcie mocujące.

Zastrzeżenia patentowe

1. Inteligentny sterowany tłumik drgań mechanicznych o konstrukcji modułowej, w którym obudowa każdego modułu składa się z dwóch korpusów, ponadto tłumik zawiera komorę z aktywną cieczą, ruchomy dysk, pierścień izolacyjny, cewkę umieszczoną współosiowo wokół dysku, łożyska, sprężynę spiralną przytwierdzoną swoimi końcami do korpusu obudowy oraz osi dysku, **znamienny tym**, że składa się z co najmniej jednego modułu roboczego lub z jednego modułu roboczego i co najmniej jednego modułu pomocniczego, korzystnie połączonych wspólnie sprężystym łącznikiem międzymodułowym (33) oraz śrubami (36), gdzie budowa modułu roboczego, zawiera przewodzące pierścienie (7), zorientowane współosiowo względem obudowy (1), ponadto we wnętrzu obudowy (1) znajduje się czujnik przemieszczenia (19) i uszczelki (12), jak również na zewnątrz obudowy (1), przymocowany jest mechanicznie sterownik (22), natomiast moduł pomocniczy ma budowę jednakową z modulem roboczym.
2. Inteligentny sterowany tłumik drgań mechanicznych według zastrz. 1, **znamienny tym**, że ruchomy dysk (2) jest ustawiony współosiowo względem obudowy (1) za pośrednictwem własnej osi (5) oraz dwóch łożysk (3) umieszczonych w centralnych otworach gniazd łożyskowych (4a) i (4b) obydwu korpusów (1a) i (1b).
3. Inteligentny sterowany tłumik drgań mechanicznych według zastrz. 1–2, **znamienny tym**, że z każdej z bocznych stron cewki (6) znajdują się przewodzące pierścienie (7) wykonane z materiału magnetycznie miękkiego umieszczone odpowiednio w rowku (8a) korpusu (1a) oraz w rowku (8b) korpusu (1b), natomiast pod cewką (6), między przewodzącymi pierścieniami (7) zlokalizowany jest pierścień izolacyjny (9) z materiału nieferromagnetycznego, którego zewnątrz średnica jest równa wewnętrznej średnicy cewki (6), przez co powierzchnie pierścienia izolacyjnego (9) i cewki (6) się stykają, pozycjonując się wzajemnie.
4. Inteligentny sterowany tłumik drgań mechanicznych według zastrz. 1–3, **znamienny tym**, że uszczelki (12) komory (10) umieszczone są w rowkach (13) w obu korpusach (1a) i (1b) obudowy (1) od jej wewnętrznej strony oraz mają kontakt z powierzchniami bocznymi ruchomego dysku (2).
5. Inteligentny sterowany tłumik drgań mechanicznych według zastrz. 1–4, **znamienny tym**, że w komorze (10) znajduje się aktywna ciecz (11) oraz fragment ruchomego dysku (2).
6. Inteligentny sterowany tłumik drgań mechanicznych według zastrz. 1–5, **znamienny tym**, że ruchomy dysk (2) ma na swojej powierzchni bocznej co najmniej jeden otwór (39).
7. Inteligentny sterowany tłumik drgań mechanicznych według zastrz. 1–6, **znamienny tym**, że zawiera we wnętrzu co najmniej jeden czujnik przemieszczenia (19) zamocowany w otworze mocującym (20) korpusu (1a), który to otwór (20) pozycjonuje czujnik przemieszczenia (19) tak, aby zlokalizowany był, jak najbliżej powierzchni bocznej ruchomego dysku (2) na pozycji

- równej promieniowi okręgu, na którym znajduje się co najmniej jeden otwór (39) ruchomego dysku (2).
8. Inteligentny sterowany tłumik drgań mechanicznych według zastrz. 1–7, **znamienny tym**, że wewnętrzny koniec spiralnej sprężyny (16) przymocowany jest do otworu mocującego (17) osi (5) ruchomego dysku (2), natomiast zewnętrzny koniec spiralnej sprężyny (16) zamocowany jest do otworu mocującego (18) zlokalizowanego na zewnętrznej powierzchni korpusu (1a) obudowy (1).
 9. Inteligentny sterowany tłumik drgań mechanicznych według zastrz. 1–8, **znamienny tym**, że w korpusie (1b) znajduje się co najmniej jeden otwór gwintowany (14), w którym znajduje się śruba uszczelniająca (15).
 10. Inteligentny sterowany tłumik drgań mechanicznych według zastrz. 1–9, **znamienny tym**, że sterownik (22) połączony jest elektrycznie z cewką (6) i czujnikiem przemieszczenia (19) oraz ma dwukierunkowe kanały komunikacyjne (23), które są podłączone ze sterownikami sąsiednich modułów w konfiguracji wielomodułowej.
 11. Inteligentny sterowany tłumik drgań mechanicznych według zastrz. 1–10, **znamienny tym**, że czujnik przemieszczenia (19) stanowi zbliżeniowy czujniki indukcyjny.
 12. Inteligentny sterowany tłumik drgań mechanicznych według zastrz. 1–10, **znamienny tym**, że czujnik przemieszczenia (19) stanowi czujniki fotooptyczny.
 13. Inteligentny sterowany tłumik drgań mechanicznych według zastrz. 1–10, **znamienny tym**, że czujnik przemieszczenia (19) stanowi laserowy czujnik dystansu.
 14. Inteligentny sterowany tłumik drgań mechanicznych według zastrz. 1 i 5, **znamienny tym**, że aktywną ciecz (11) stanowi ciecz magnetorologiczna.
 15. Inteligentny sterowany tłumik drgań mechanicznych według zastrz. 1 i 5, **znamienny tym**, że aktywną ciecz (11) stanowi ciecz ferromagnetyczna.
 16. Inteligentny sterowany tłumik drgań mechanicznych według zastrz. 1, **znamienny tym**, że sprężysty łącznik między modułowy (33) stanowi tarcza łącznika (24) i na stałe przymocowana do niej tuleja (26), w której znajduje się wpust (29) oraz spiralna sprężyna (25) sprężystego łącznika, której zewnętrzny koniec (28) połączony jest z otworem (27) tarczy (24) łącznika sprężystego (24).
 17. Inteligentny sterowany tłumik drgań mechanicznych według zastrz. 1, **znamienny tym**, że w konfiguracji wielomodułowej śruby (36) przez otwory (38) i tuleje dystansowe (37) łączą sąsiadujące moduły, przy czym osie (5) tych modułów połączone są za pośrednictwem sprężystych łączników międzymodułowych (33) poprzez klin (31) i wpust (29) wykonany na jednym końcu osi (5) ruchomego dysku (2) danego modułu oraz za pomocą spiralnej sprężyny (25), której zewnętrzny koniec (28) połączony jest z otworem (27) tarczy (24) sprężystego łącznika (33), jednocześnie wewnętrzny koniec (30) spiralnej sprężyny (25) połączony jest z czołowym otworem (34) osi (5) ruchomego dysku (2) sąsiedniego modułu.

Rysunki

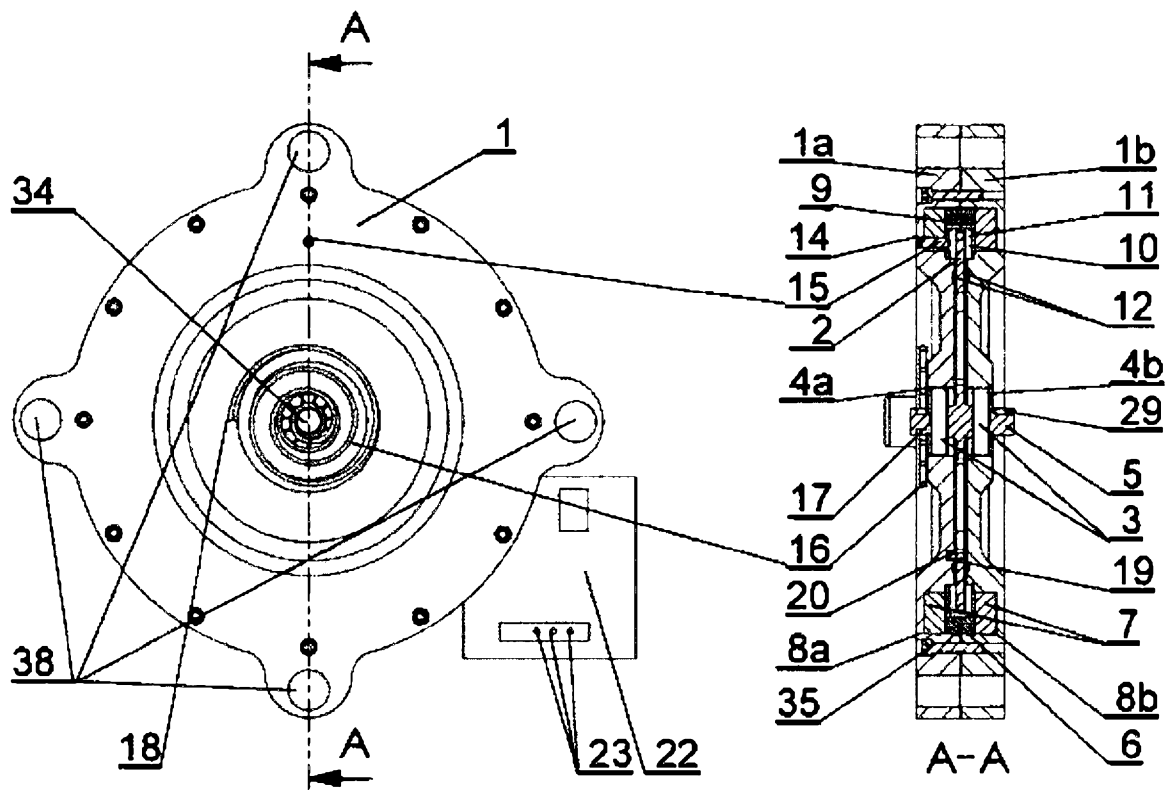


Fig. 1

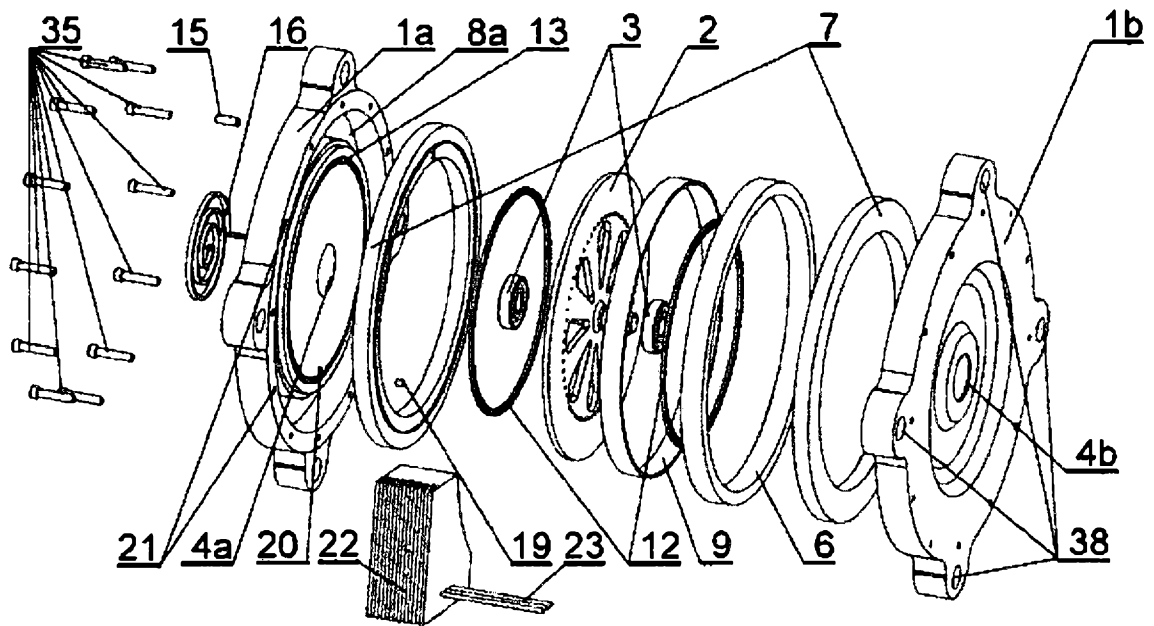


Fig. 2

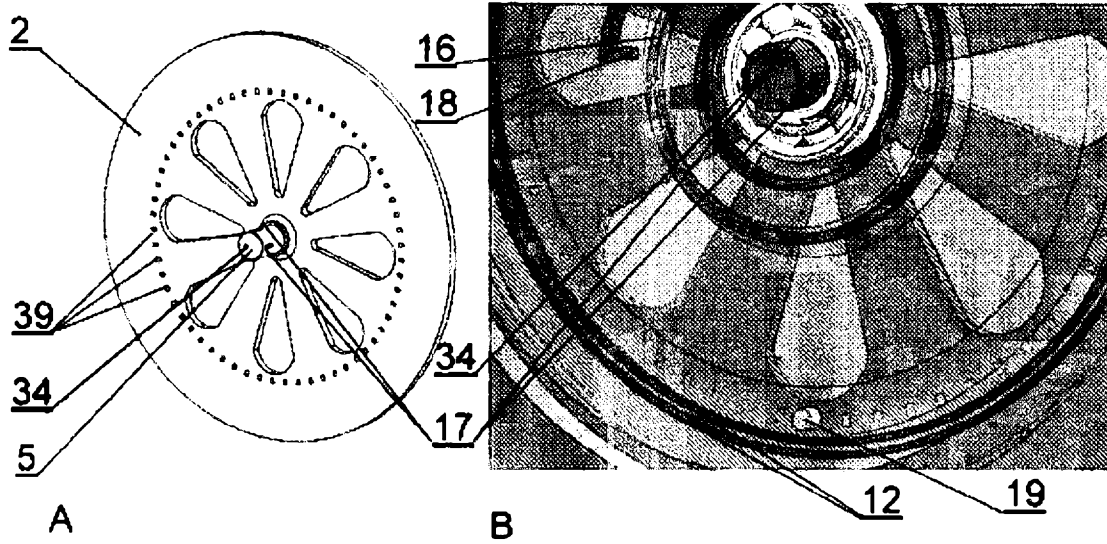
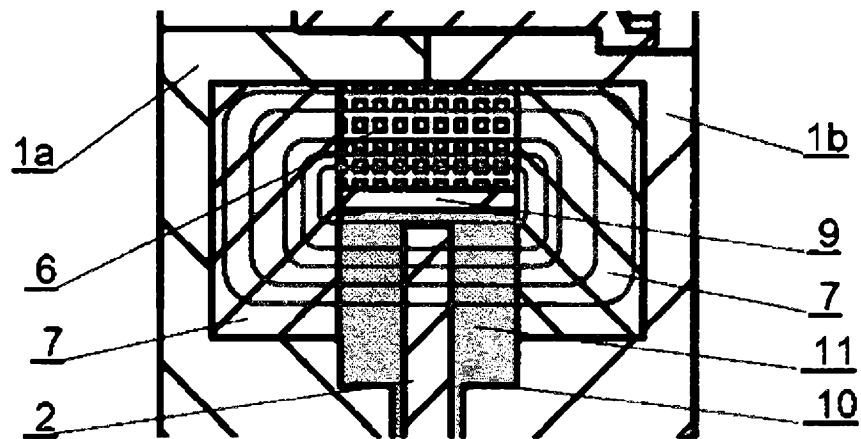
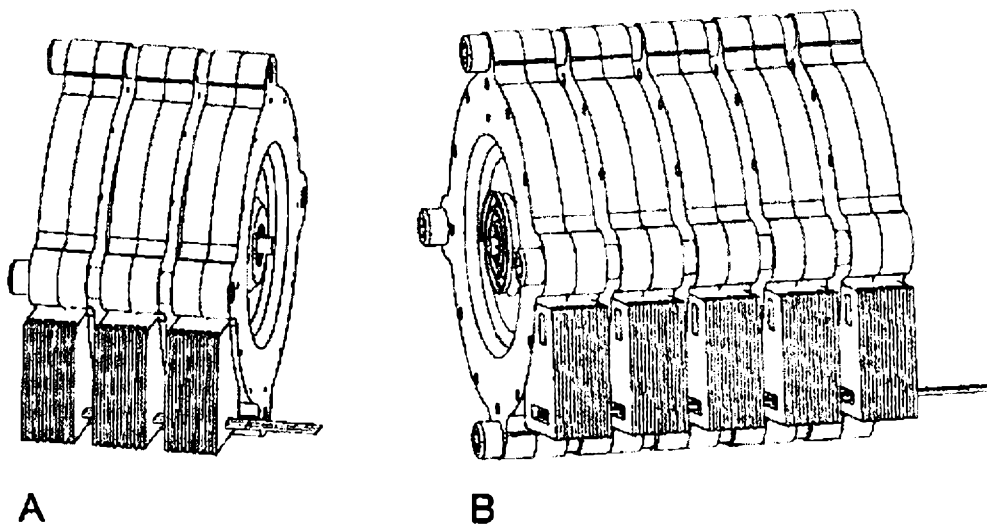


Fig. 3

**Fig. 4****Fig. 5**

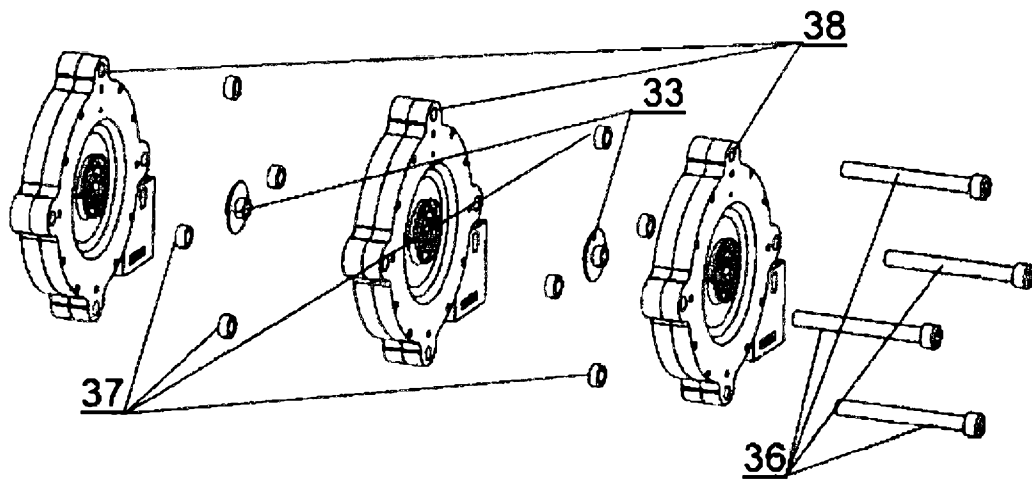


Fig. 6

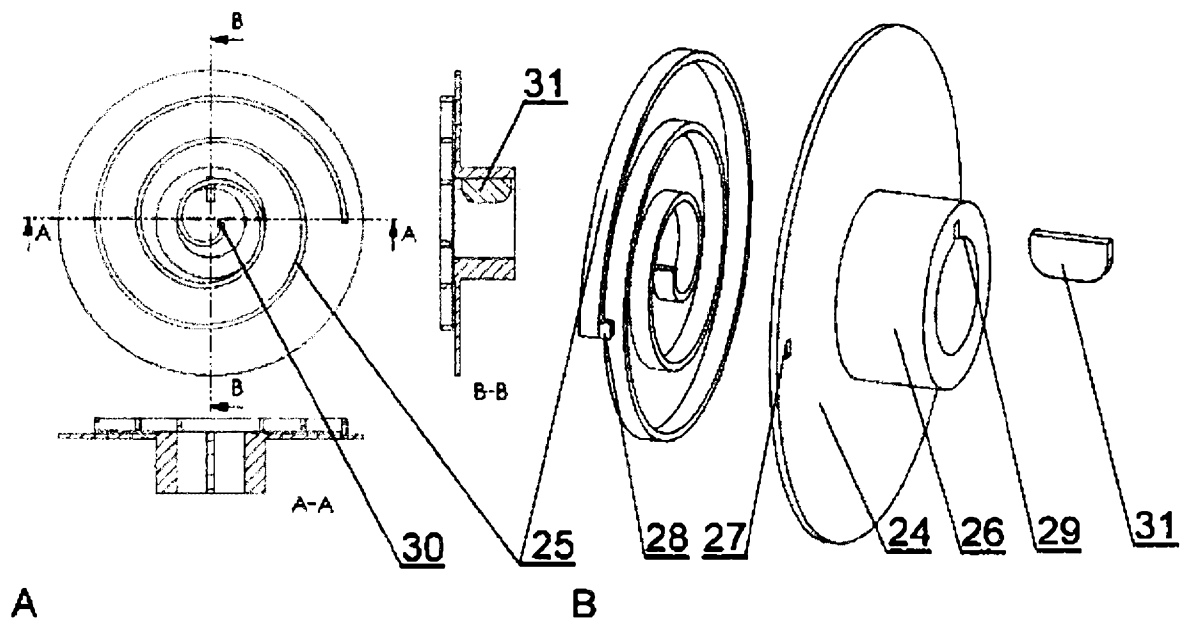


Fig. 7

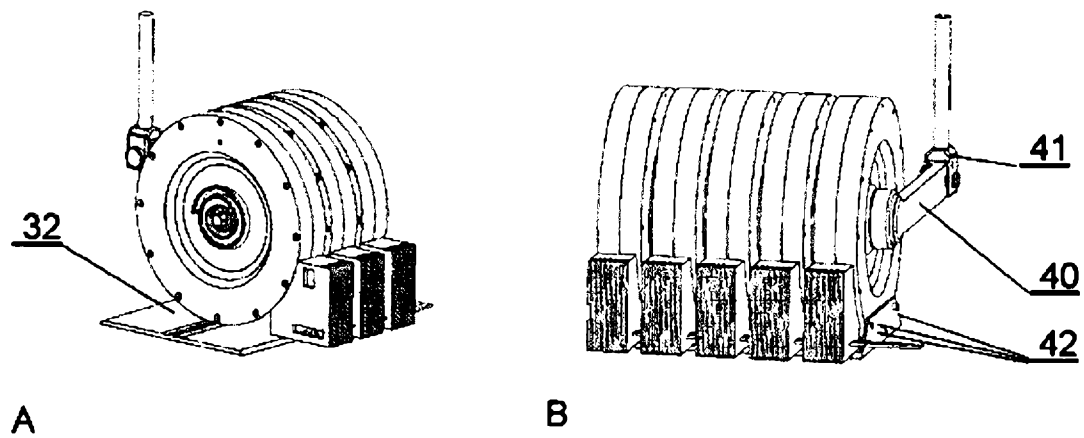


Fig. 8

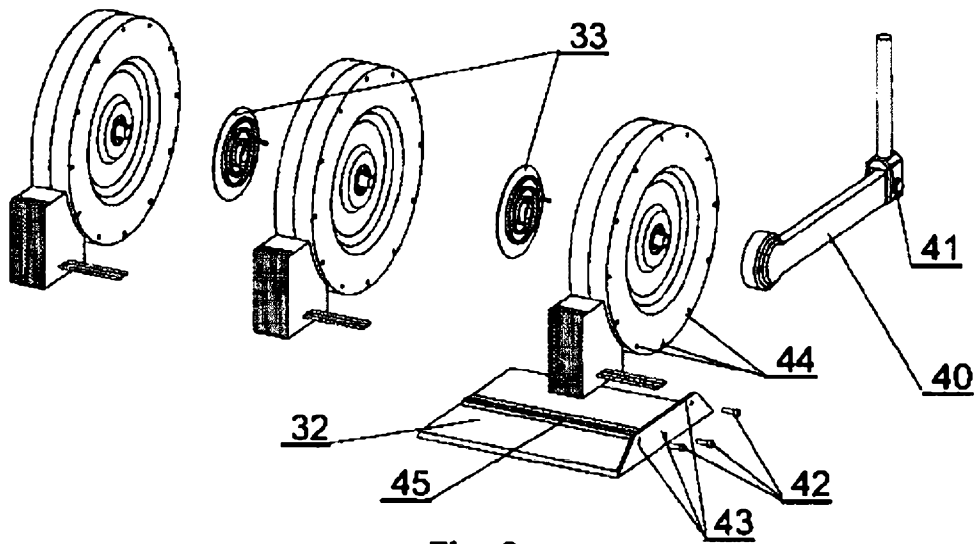


Fig. 9

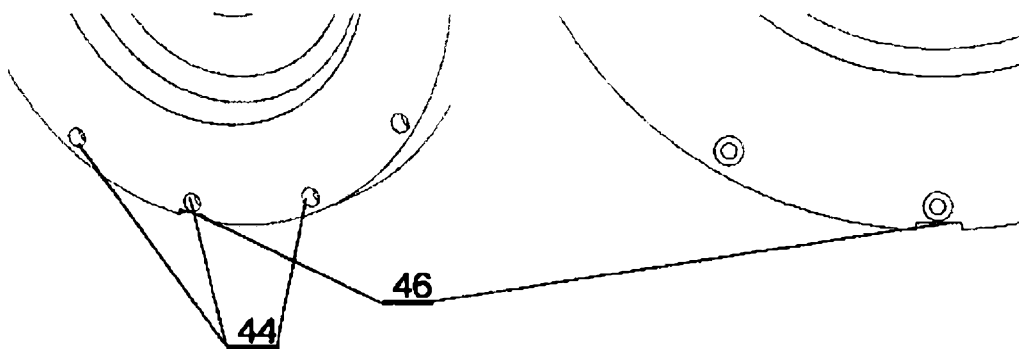


Fig. 10

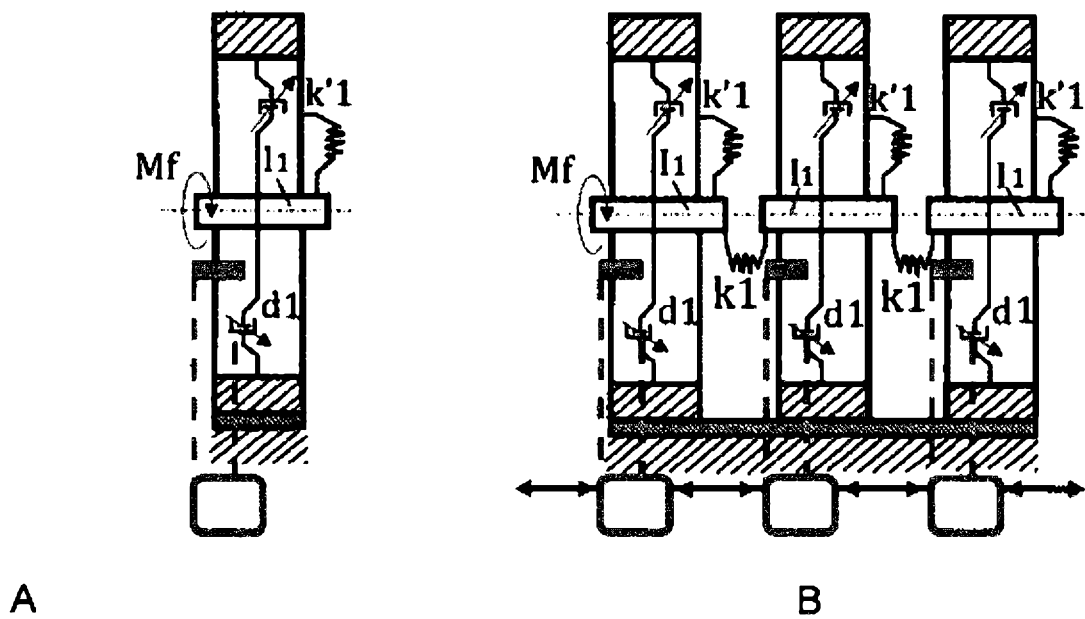


Fig. 11

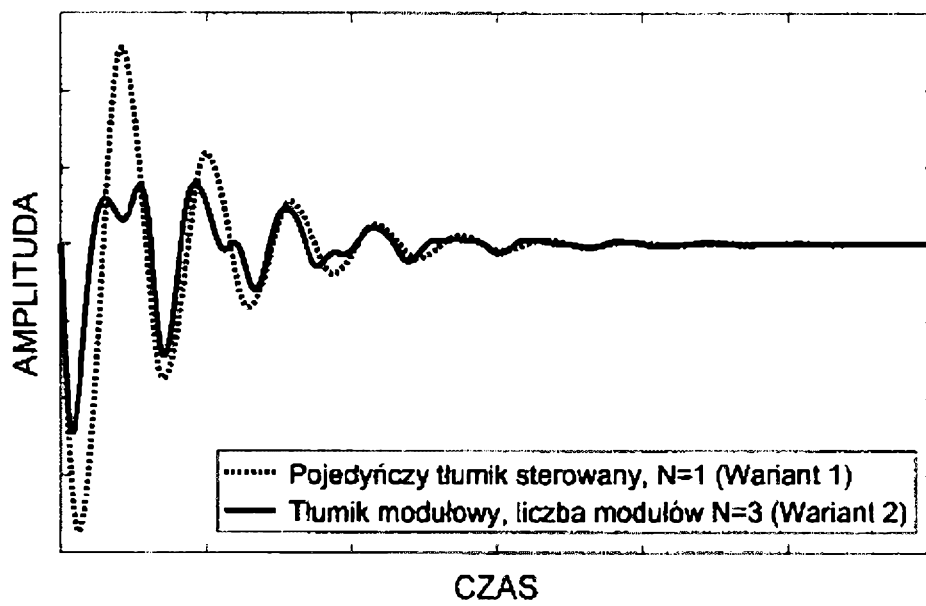
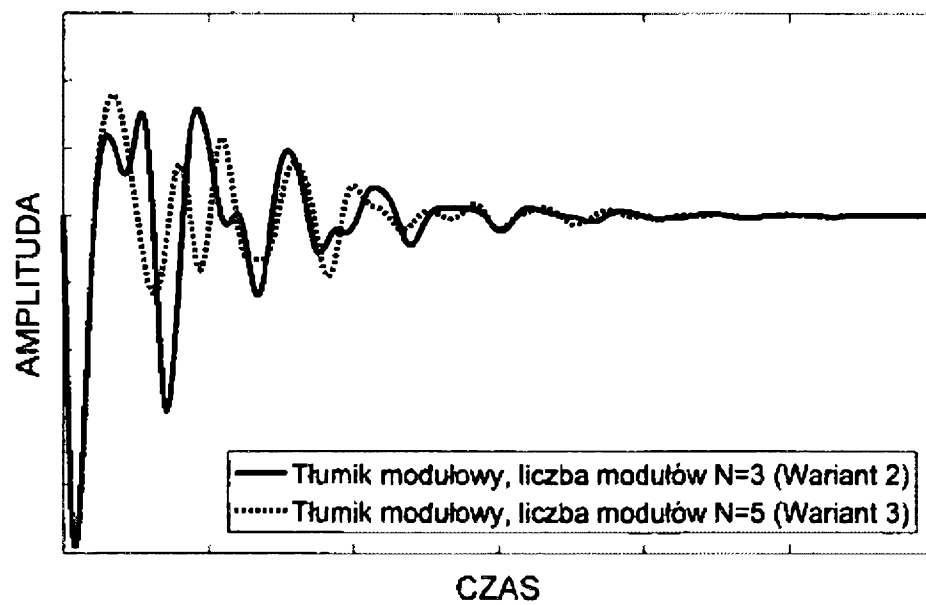


Fig. 12

**Fig. 13**