

RZECZPOSPOLITA
POLSKA



Urząd Patentowy
Rzeczypospolitej Polskiej

(12) **OPIS PATENTOWY**

(19) **PL**

(11) **241413**

(13) **B1**

(21) Numer zgłoszenia: **433559**

(22) Data zgłoszenia: **16.04.2020**

(51) Int.Cl.

F16F 15/18 (2006.01)

F16F 15/131 (2006.01)

(54)

Dwukierunkowy aktywny tłumik drgań skrętnych

(43) Zgłoszenie ogłoszono:

18.10.2021 BUP 29/21

(45) O udzieleniu patentu ogłoszono:

26.09.2022 WUP 39/22

(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
TOMASZ SZMIDT, Warszawa, PL**

(74) Pełnomocnik:

rzecz. pat. Anna Grzelak

PL 241413 B1

Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest dwukierunkowy aktywny tłumik drgań skrętnych.

Ze stanu techniki znane są tłumiki o różnej budowie. Przykładowo Tonoli i współautorzy w pracy zatytułowanej „Electromechanical Dampers for Vibration Control of Structures and Rotors” przedstawili analizy teoretyczne i eksperymentalne czterech różnych typów urządzeń tłumiących w ruchu obrotowym bazujących na indukcji prądów wirowych w jego elementach. Omawiane urządzenia charakteryzowały się zastosowaniem aktywnego z zamkniętą i otwartą pętlą sterowania oraz półaktywnego sterowania w rozpatrywanych rozwiązaniach. Przeprowadzone analizy wskazały, że impedancja mechaniczna tych prezentowanych układów mechanicznych jest funkcją ograniczoną przez pasmo pola magnetycznego, na które ma wpływ biegun obwodu elektrycznego wywołującego to pole. Ograniczenie tego pasma wykorzystane zostało w tych układach do izolacji drgań, których celem było zmniejszenie wibracji przy podstawowej częstotliwości rezonansowej każdego z rozpatrywanych układów mechanicznych (Tonoli A., Amati N., Silvagni M. (2010). Electromechanical Dampers for Vibration Control of Structures and Rotors. 10.5772/10040).

Znane rozwiązania dotyczące tłumików drgań skrętnych z reguły bazują na elementach pasywnych, na przykład pierścieniach nałożonych na wał poprzez elastomerową przekładkę. Podejście takie pozwala zredukować drgania dla określonego zakresu roboczej prędkości obrotowej. Z kolei z dokumentów PL198064 B1 oraz PL225634 B1 znane są tłumiki drgań skrętnych wykorzystujące ciecz magnetoreologiczną.

Natomiast dokument PL/EP 3180542 ujawnia amortyzator magnetyczny dla absorberów drgań, który stosowany jest do eliminowania i redukcji wibracji w maszynach i urządzeniach, w szczególności w turbinach wiatrowych, gdzie tłumienie odbywa się przy wykorzystaniu generowanych magnetycznie prądów wirowych. W szczególności, ujawnione urządzenie dotyczy amortyzatorów wiropływowych, które są umieszczone w sposób obrotowo-symetryczny w stosunku do osi wzdłużnej i składają się z jednego lub więcej pierścieniowych magnesów ułożonych w stos, lub pierścieniowych układów magnetycznych z odpowiednio ustawionymi magnesami stałymi, lub elektromagnesami, które są rozmieszczone, tworząc kształt pierścienia wokół rzeczonyj osi wzdłużnej. Wynalazek ten dotyczy ponadto wahadłowych absorberów drgań.

Z opisu patentowego US8707822 B2 znany jest tłumik drgań skrętnych, który składa się ze stałej obudowy zamontowanej na wałku, obudowy ruchomej względem obudowy stałej, cewek elektromagnetycznych i stałych elementów wytwarzających pole magnetyczne.

Z dokumentu CN102535671 (A) znany jest dwukierunkowy tłumik drgań skrętnych charakteryzujący się tym, że zawiera stalowy wydrążony cylinder osłonięty co najmniej warstwami wewnętrzną i zewnętrzną oraz warstwę tłumiącą wlaną do wnęki pomiędzy stalowymi pustymi cylindrami każdej warstwy. Przy czym, górny i dolny koniec każdej warstwy stalowego wydrążonego cylindra jest odpowiednio przymocowany do wzajemnie obracających się płyt łożyskowych za pomocą śrub. Przy czym, warstwę tłumiącą stanowi materiał metalowy (np. ołów lub inny materiał o wysokim tłumieniu).

Natomiast z opisu P.433289 znany jest aktywny tłumik drgań skrętnych w ruchu obrotowym zawierające dwa dyski, wał, pierścienie ślizgowe, łożysko, co najmniej jeden aktuator elektromagnetyczny, bezkontaktowy czujnik zbliżeniowy oraz moduł sterowania. Ujawniony tłumik charakteryzuje się tym, że bezkontaktowe aktulatory elektromagnetyczne są umieszczone radialnie wokół pierwszego dysku sztywno połączonego z wałem i są sztywno zamocowane do osadzonego na łożysku drugiego dysku, który za pośrednictwem wspomnianego łożyska osadzony jest obrotowo na wale. Do wału na sztywno przytwierdzony jest pierwszy dysk, w którym znajduje się co najmniej jeden znacznik. Przy czym pierwszy i drugi dysk zamontowane są na wale współosiowo, tworząc szczelinę umiejscowioną między rdzeniem, co najmniej jednego aktuatora elektromagnetycznego a dyskiem.

Celem wynalazku było opracowanie nowego urządzenia pozwalającego uzyskać względnie najwyższe tłumienie drgań skrętnych w ruchu obrotowym.

Istotą wynalazku jest dwukierunkowy aktywny tłumik drgań skrętnych w ruchu obrotowym zawierający wiele dysków, wał, łożyska, co najmniej dwa aktulatory elektromagnetyczne, znacznik, bezkontaktowy czujnik zbliżeniowy, jednostkę pomiarowo-sterującą oraz napęd, charakteryzujący się tym, że zawiera dwa połączone ze sobą dyski, które są zamocowane sztywno do wału i wokół których radialnie rozmieszczone są co najmniej dwa aktulatory elektromagnetyczne, z których co najmniej jeden aktuator elektromagnetyczny jest umieszczony radialnie wokół pierwszego dysku i jest sztywno zamocowany do trzeciego dysku osadzonego obrotowo na wale za pośrednictwem pierwszego łożyska i napędzanego

pierwszym silnikiem, a co najmniej jeden aktuator elektromagnetyczny jest umieszczony radialnie wokół drugiego dysku i jest sztywno zamocowany do czwartego dysku osadzonego obrotowo na wale za pośrednictwem drugiego łożyska i napędzanego drugim silnikiem. Przy czym pierwszy dysk i trzeci dysk oraz drugi dysk i czwarty dysk zamontowane są na wale współosiowo, tworząc szczelinę umiejscowioną między rdzeniem odpowiednio co najmniej jednego aktuatora elektromagnetycznego a pierwszym dyskiem oraz co najmniej jednego aktuatora elektromagnetycznego a drugim dyskiem. Natomiast na wale jest zamocowany piąty dysk, na którym znajduje się co najmniej jeden znacznik.

Korzystnie przekrój poprzeczny rdzeni aktuatorów elektromagnetycznych w płaszczyźnie zawierającej oś wału ma kształt litery C.

Korzystnie co najmniej jeden aktuator magnetyczny jest zamontowany odpowiednio do trzeciego dysku lub do czwartego dysku za pomocą mechanicznego połączenia rozłącznego.

Korzystnie bezkontaktowy czujnik zbliżeniowy jest podłączony do jednostki pomiarowo-sterującej, która jest podłączona do modułu zasilania, a wspomniany moduł zasilania podłączony jest do cewki każdego aktuatora elektromagnetycznego.

Korzystnie czujnik zbliżeniowy zamontowany jest niezależnie na tym samym promieniu, na którym zlokalizowany jest znacznik na piątym dysku.

Korzystnie do trzeciego dysku zamocowane są co najmniej dwa aktuator elektromagnetyczne rozmieszczone radialnie wokół pierwszego dysku w równych odstępach względem siebie.

Korzystnie do czwartego dysku zamocowane są co najmniej dwa aktuator elektromagnetyczne rozmieszczone radialnie wokół drugiego dysku w równych odstępach względem siebie.

Korzystnie dwa dyski są ze sobą połączone za pomocą co najmniej jednego łącznika.

Korzystnie konstrukcja trzeciego dysku i/lub czwartego dysku jest ażurowa.

W tłumiku drgań skrętnych według wynalazku siła tłumiąca generowana jest dwukierunkowo. Oznacza to, że proces redukowania drgań zachodzi podczas pełnego ich cyklu – zarówno podczas tej połowy cyklu, kiedy prędkość wirowania wału rośnie powyżej wartości nominalnej, jak i podczas jej spadku poniżej wartości nominalnej. Siła tłumiąca powstaje na skutek oddziaływania aktywnych, bezkontaktowych aktuatorów elektromagnetycznych na zespolone z wałem wirujące dwa dyski, w wyniku indukowania się w nim prądów wirowych.

Wynalazek dostarcza następujące korzyści:

- niskie opory tarcia oraz niewielka bezwładność, które wynikają z osadzenia na wale dwóch dysków podpierających aktuatorów poprzez łożyska o niskim współczynniku tarcia oraz niskiej masy pozostałych dwóch dysków – sztywno zespolonych z wałem;
- urządzenie według wynalazku działa w sposób adaptacyjny, umożliwiając efektywne tłumienie drgań o dowolnym charakterze – od prostych drgań harmonicznym, poprzez okresowe, aż po drgania chaotyczne;
- urządzenie według wynalazku ma charakter aktywny;
- dzięki wykorzystaniu dwóch dysków wirujących z różnymi prędkościami, tłumik według wynalazku może działać dwukierunkowo, tj. zarówno podczas tej fazy cyklu drgań, kiedy prędkość obrotowa wału maleje, jak i wówczas kiedy ona rośnie.

Wynalazek przedstawiono w przykładach i na Rysunku, na którym fig. 1 schematycznie przedstawia widok przestrzenny od strony dysków tłumika według wynalazku zamontowanego w maszynie wirnikowej; fig. 2 schematycznie przedstawia widok przestrzenny od strony wału tłumika według wynalazku zamontowanego w maszynie wirnikowej; fig. 3 przedstawia tłumik według wynalazku w widoku czołowym od strony dysków; fig. 4 przedstawia przekrój tłumika według wynalazku i maszyny wirnikowej wzdłuż osi wału (przekrój A-A); fig. 5 przedstawia fragment przekroju tłumika według wynalazku ukierunkowany na przedstawienie rozmieszczenia aktuatorów elektromagnetycznych; fig. 6 przedstawia wykres drgań skrętnych wału oraz sygnałów sterujących aktuatorami tłumika według wynalazku w funkcji czasu; fig. 7 przedstawia tłumik według wynalazku zamontowany na maszynie wirnikowej w wariacie z dwoma aktuatorami, z czego jeden aktuator jest zamontowany do trzeciego dysku a drugi do czwartego dysku; fig. 8 przedstawia tłumik według wynalazku zamontowany na maszynie wirnikowej w wariacie z czterema aktuatorami, z których dwa aktuatorów są przymocowane do trzeciego dysku a pozostałe dwa są przymocowane do czwartego dysku.

Przykład 1

W tym nieograniczającym przykładzie wykonania konstrukcję dwukierunkowego aktywnego tłumika według wynalazku zamontowanego na maszynie wirnikowej przedstawiono poglądowo na fig. 1–2 oraz w widoku z przodu na fig. 3. Natomiast urządzenie według wynalazku może być stosowane w każdym układzie

mechanicznym przeniesienia napędu w ruchu obrotowym, w którym następuje zaburzenie obciążenia (np. napęd elektryczny: wentylatorów, pojazdów szynowych, samochodów elektrycznych, samolotów elektrycznych; napęd spalinowy: silniki lotnicze, samochody itp.).

Konstrukcja tłumika obejmuje dyski 1a, 1b, 5a, 5b oraz 10, wał 2, łożyska 7a i 7b, aktuatory elektromagnetyczne 3a i 3b (składające się z rdzenia 4 i cewki 13), znacznik 9, bezkontaktowy czujnik zbliżeniowy 14, jednostkę pomiarowo-sterującą 11 oraz napęd w postaci dwóch silników 8a i 8b.

Przy czym, urządzenie charakteryzuje się tym, że zawiera dwa dyski 1a i 1b wykonane z materiału nieferromagnetycznego o wysokiej przewodności elektrycznej i niskim ciężarze właściwym, połączone ze sobą i zamocowane sztywno do wału 2, którego drgania mają być redukowane. Dzięki zastosowanemu łączeniu dyski 1a i 1b nie przemieszczają się względem swoich pozycji obrotowo wokół osi wału 2. Przy czym, w tym przykładzie wykonania dyski 1a i 1b są ze sobą połączone za pomocą dwóch łączników 16 (fig. 4).

W tym przykładzie wykonania łączniki 16 są wykonane z aluminium, ale można też zastosować inne materiały, takie jak stal, włókno węglowe.

W tym nieograniczającym przykładzie wykonania jako materiał nieferromagnetyczny o wysokiej przewodności elektrycznej i niskim ciężarze właściwym zastosowano aluminium. Niemniej jednak można stosować inne materiały np. magnez. Parametry przykładowych materiałów nieferromagnetycznych przedstawiono poniżej w tabeli 1.

T a b e l a 1. Parametry materiałów nieferromagnetycznych

Materiał	Parametry		
	Przewodność elektryczna	Gęstość	Przewodność / Gęstość
	$\sigma = [1/\Omega \cdot m] \times 10^6$	$\rho = [kg/m^3]$	$\sigma/\rho = [m^2/kg \cdot \Omega] \times 10^3$
Metale niemagnesowalne			
Aluminium	37,0	2700	13,7
Magnez	21,7	1740	12,5

Wokół dysków 1a i 1b umieszczone są radialnie w równych odstępach od siebie aktuatory 3a i 3b, będące elektromagnesami o ferromagnetycznych rdzeniach 4 wygiętych w kształcie litery C i generujących strumienie magnetyczne skierowane wzdłuż osi wału (prostopadle do dysków 1a i 1b). W tym nieograniczającym przykładzie wykonania urządzenie według wynalazku występuje w wariacie z dwunastoma aktuatorami 3a oraz dwunastoma aktuatorami 3b.

Przy czym, aktuatory elektromagnetyczne 3a są umieszczone radialnie w równych odstępach względem siebie wokół pierwszego dysku 1a i są sztywno zamocowane do trzeciego dysku 5a (fig. 1) napędzanego pierwszym silnikiem 8a i osadzonego obrotowo na wale 2 za pośrednictwem pierwszego łożyska 7a. W tym przykładzie wykonania aktuatory 3a są zamocowane do dysku 5a rozłącznie za pomocą śrub 15. Natomiast aktuatory elektromagnetyczne 3b są umieszczone radialnie wokół drugiego dysku 1b w równych odstępach względem siebie i są sztywno zamocowane do czwartego dysku 5b napędzanego drugim silnikiem 8b i osadzonego obrotowo na wale 2 za pośrednictwem drugiego łożyska 7b (fig. 1). W tym przykładzie wykonania aktuatory 3b są zamocowane do dysku 5b rozłącznie za pomocą śrub 15 (fig. 5).

Takie przytwierdzenie aktuatorów 3a, 3b uniemożliwia ich kontakt z wirującymi elementami tłumika, pozwalając na swobodny obrót dysków 1a i 1b w szczelinach 6 odpowiednio aktuatorów 3a i 3b. Powstanie szczelin 6 jest zapewnione przez odpowiednie zamontowanie dysków 1a, 1b, 5a i 5b na wale 2. Pierwszy dysk 1a i trzeci dysk 5a oraz drugi dysk 1b i czwarty dysk 5b zamontowane są na wale 2 współosiowo (fig. 4), tworząc szczelinę 6 umiejscowioną między rdzeniami 4 odpowiednio aktuatorów elektromagnetycznych 3a a pierwszym dyskiem 1a oraz aktuatorami elektromagnetycznymi 3b a drugim dyskiem 1b, co uszczegółowiono na fig. 5.

Dyski 5a i 5b osadzone są poprzez łożyska 7a i 7b na wale 2 i napędzane są przez dwa niezależne silniki elektryczne 8a i 8b, zamocowane sztywno do obudowy maszyny wirnikowej, której drgania skrętne są minimalizowane. Przy czym, w tym nieograniczającym przykładzie wykonania wspomniane

dyski 5a i 5b są wykonane z aluminium, ale mogą być wykonane z innego z materiału nieferromagnetycznego (np. magnez, tworzywa sztuczne: poliuretan, poliwęglan). W tym przykładzie wykonania dyski 5a i 5b mają konstrukcję ażurową 17 (fig. 3), której funkcją jest obniżenie ich masy i momentu bezwładności.

Dysk 5a obracany jest ze stałą prędkością większą niż maksymalna chwilowa prędkość obrotowa wału 2 występująca podczas drgań skrętnych. Dysk 5b obracany jest ze stałą prędkością mniejszą niż minimalna chwilowa prędkość obrotowa wału 2 występująca podczas drgań skrętnych.

Ponadto na wale 2 jest zamocowany piąty dysk 10, na którym znajduje się znacznik 9, który podczas obracania się dysku 10 wraz z wałem 2 aktywuje znajdujący się w jego pobliżu bezkontaktowy czujnik zbliżeniowy 14 (fig. 4). W tym nieograniczającym przykładzie wykonania dysk 10 jest wykonany z aluminium, ale do jego wykonania można zastosować inne materiały np. tworzywa sztuczne, takie jak poliuretan czy poliwęglan.

Sygnal z czujnika 14 przesyłany jest do jednostki pomiarowo-sterującej 11, która oblicza położenie kątowne oraz chwilową prędkość kątową wału. Specjalnie dobrana reguła sterowania zaimplementowana w jednostce pomiarowo-sterującej 11 bazująca na tych zmiennych stanu, w odpowiednich przedziałach czasowych włącza lub wyłącza moduł zasilania 12 podłączony do cewki 13 każdego aktuatora 3a i 3b. Odpowiednie sterowanie tymi aktuatorami 3a, 3b pozwala eliminować drgania skrętne wału 2 poprzez generowanie zmiennokierunkowej siły przeciwdziałającej drganiom podczas pełnego ich cyklu.

W tym przykładzie wykonania specjalnie dobrana reguła sterowana zaimplementowana w jednostce pomiarowo-sterującej 11 jest zintegrowanym algorytmem sterującym w zamkniętej pętli sprzężenia zwrotnego bazującym na bieżącej pozycji kątownego położenia i chwilowej prędkości kątownej dysku.

Tłumik drgań skrętnych według wynalazku wykorzystuje zjawisko indukcji elektromagnetycznej do generowania siły tłumiącej. Ruch przewodzącej płytki w polu magnetycznym prowadzi do indukowania prądów wirowych i powstawania siły hamującej ten ruch, co jest konsekwencją reguły Lenza. W urządzeniu wykorzystano dwa dyski 5a i 5b osadzone na wale w sposób obrotowy, które wirują z różnymi prędkościami. Do tych dysków 5a i 5b zamocowane są aktuatory elektromagnetyczne (elektromagnesy) 3a i 3b, w których szczelinach umieszczony jest kolejny dysk (odpowiednio 1a lub 1b) – sztywno osadzony na wale 2. Załączenie aktuatorów 3a zamocowanych na dysku 5a wirującym szybciej niż chwilowa prędkość obrotowa wału generuje siłę przyspieszającą ruch obrotowy wału, a załączenie aktuatorów 3b zamocowanych na dysku 5b, który wiruje wolniej niż chwilowa prędkość obrotowa wału generuje siłę hamującą ruch obrotowy wału. Włączanie i wyłączanie aktuatorów z obu obrotowych dysków w odpowiednich momentach pozwala prowadzić proces redukcji drgań skrętnych przez cały cykl drgań, tj. zarówno w fazie, kiedy prędkość obrotowa wału rośnie, jak i wtedy, gdy prędkość obrotowa wału maleje względem wartości nominalnej. Warunkiem na to jest utrzymywanie stałej prędkości wirowania jednego dysku powyżej maksymalnej prędkości obrotowej drgającego skrętnie wału (dysk 5a), a drugiego dysku (dysku 5b) – poniżej minimalnej chwilowej prędkości obrotowej tego wału. Sposób sterowania elektromagnesami zilustrowany jest na fig. 6, na której w funkcji czasu pokazano odchylenie kątowne aktualnego położenia wału w stosunku do położenia wynikającego z nominalnej prędkości obrotowej oraz sygnał sterujący elektromagnesami, gdzie numerem 3a oznaczono dowolny z elektromagnesów znajdujący się na dysku 5a wirującym szybciej od prędkości obrotowej wału, a numerem 3b – dowolny z elektromagnesów znajdujący się na dysku 5b wirującym wolniej od prędkości obrotowej wału.

Przykład 2

Tłumik jak w przykładzie 1, z tym że zawiera jeden aktuator 3a oraz jeden aktuator 3b, a dyski 5a i 5b są wykonane z magnezu (fig. 7). Natomiast na dysku 10 usytuowane są dwa znaczniki 9.

Przykład 3

Tłumik jak w przykładzie 1, z tym że zawiera dwa aktuatora 3a oraz dwa aktuatora 3b (fig. 8), natomiast dyski 1a i 1b są wykonane z magnezu oraz są połączone za pomocą jednego łącznika 16.

Wykaz oznaczeń

1a – pierwszy dysk

1b – drugi dysk

3a – aktuator elektromagnetyczny zamocowany do trzeciego dysku

3b – aktuator elektromagnetyczny zamocowany do czwartego dysku

4 – rdzeń aktuatora

- 5a – trzeci dysk
- 5b – czwarty dysk
- 6 – szczelina
- 7a – pierwsze łożysko
- 7b – drugie łożysko
- 8a – pierwszy silnik elektryczny
- 8b – drugi silnik elektryczny
- 9 – znacznik
- 10 – piąty dysk
- 11 – jednostka pomiarowo-sterująca
- 12 – moduł zasilania
- 13 – cewka
- 14 – czujnik zbliżeniowy
- 15 – śruby
- 16 – łącznik
- 17 – konstrukcja ażurowa.

Zastrzeżenia patentowe

1. Dwukierunkowy aktywny tłumik drgań skrętnych w ruchu obrotowym zawierający wiele dysków, wał, łożyska, co najmniej dwa aktuatory elektromagnetyczne, znacznik, bezkontaktowy czujnik zbliżeniowy, jednostkę pomiarowo-sterującą oraz napęd, **znamienny tym**, że zawiera dwa połączone ze sobą dyski (1a, 1b), które są zamocowane sztywno do wału (2) i wokół których radialnie rozmieszczone są co najmniej dwa aktuatory elektromagnetyczne (3a, 3b), z których co najmniej jeden aktuator elektromagnetyczny (3a) jest umieszczony radialnie wokół pierwszego dysku (1a) i jest sztywno zamocowany do trzeciego dysku (5a) osadzonego obrotowo na wale (2) za pośrednictwem pierwszego łożyska (7a) i napędzanego pierwszym silnikiem (8a), a co najmniej jeden aktuator elektromagnetyczny (3b) jest umieszczony radialnie wokół drugiego dysku (1b) i jest sztywno zamocowany do czwartego dysku (5b) osadzonego obrotowo na wale (2) za pośrednictwem drugiego łożyska (7b) i napędzanego drugim silnikiem (8b); przy czym pierwszy dysk (1a) i trzeci dysk (5a) oraz drugi dysk (1b) i czwarty dysk (5b) zamontowane są na wale (2) współosiowo, tworząc szczelinę (6) umiejscowioną między rdzeniem (4) odpowiednio co najmniej jednego aktuatora elektromagnetycznego (3a) a pierwszym dyskiem (1a) oraz co najmniej jednego aktuatora elektromagnetycznego (3b) a drugim dyskiem (1b); natomiast na wale (2) jest zamocowany piąty dysk (10), na którym znajduje się co najmniej jeden znacznik (9).
2. Tłumik według zastrz. 1, **znamienny tym**, że przekrój poprzeczny rdzeni (4) aktuatorów elektromagnetycznych (3a, 3b) w płaszczyźnie zawierającej oś wału (2) ma kształt litery C.
3. Tłumik według zastrz. 1 albo 2, **znamienny tym**, że co najmniej jeden aktuator magnetyczny (3a) lub (3b) jest zamontowany odpowiednio do trzeciego dysku (5a) lub do czwartego dysku (5b) za pomocą mechanicznego połączenia rozłącznego.
4. Tłumik według dowolnego z poprzednich zastrz. od 1 do 3, **znamienny tym**, że bezkontaktowy czujnik zbliżeniowy (14) jest podłączony do jednostki pomiarowo-sterującej (11), która jest podłączona do modułu zasilania (12), a wspomniany moduł zasilania (12) podłączony jest do cewki (13) każdego aktuatora elektromagnetycznego (3a, 3b).
5. Tłumik według dowolnego z poprzednich zastrz. od 1 do 4, **znamienny tym**, że czujnik zbliżeniowy (14) zamontowany jest niezależnie na tym samym promieniu, na którym zlokalizowany jest znacznik (9) na piątym dysku (10).
6. Tłumik według dowolnego z poprzednich zastrz. od 1 do 5, **znamienny tym**, że do trzeciego dysku (5a) zamocowane są co najmniej dwa aktuatory elektromagnetyczne (3a) rozmieszczone radialnie wokół pierwszego dysku (1a) w równych odstępach względem siebie.
7. Tłumik według dowolnego z poprzednich zastrz. od 1 do 5, **znamienny tym**, że do czwartego dysku (5b) zamocowane są co najmniej dwa aktuatory elektromagnetyczne (3b) rozmieszczone radialnie wokół drugiego dysku (1b) w równych odstępach względem siebie.

8. Tłumik według dowolnego z poprzednich zastrz. od 1 do 6, **znamienny tym**, że dwa dyski (1a) oraz (1b) są ze sobą połączone za pomocą co najmniej jednego łącznika (16).
9. Tłumik według dowolnego z poprzednich zastrzeżeń od 1 do 7, **znamienny tym**, że konstrukcja trzeciego dysku (5a) i/lub czwartego dysku (5b) jest ażurowa (17).

Rysunki

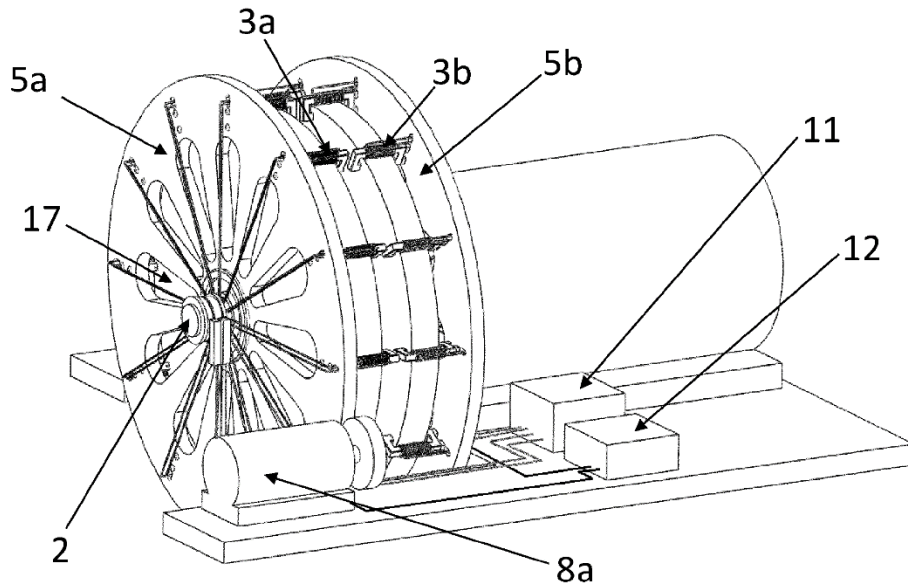


Fig. 1

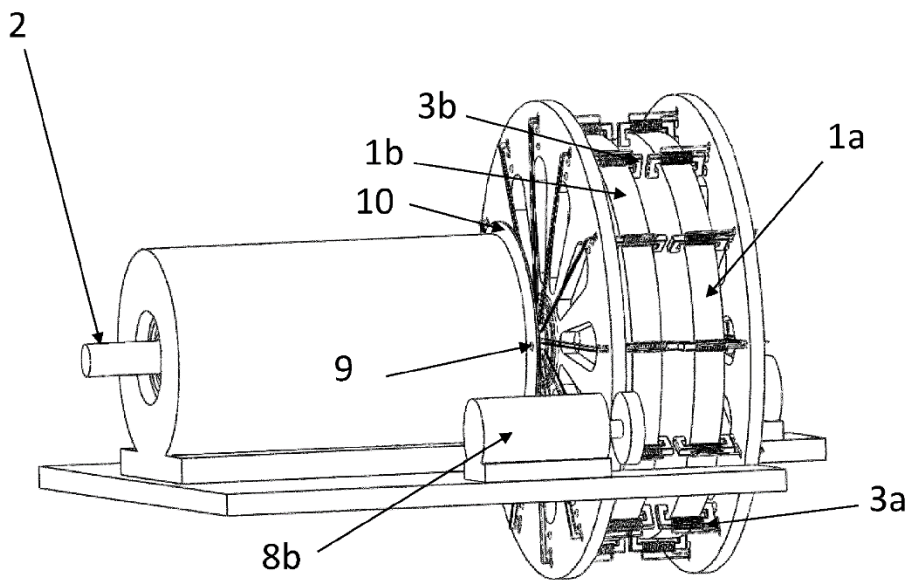


Fig. 2

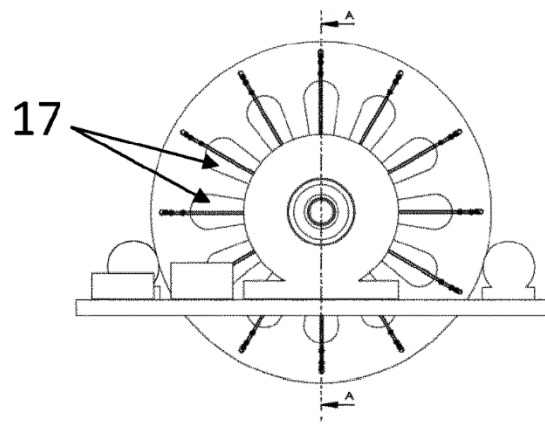


Fig. 3

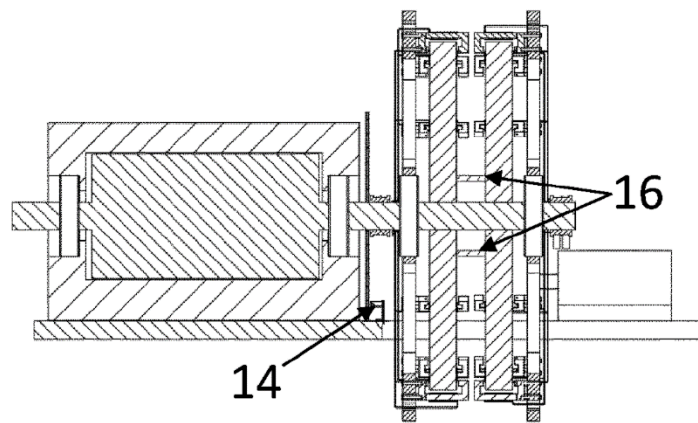


Fig. 4

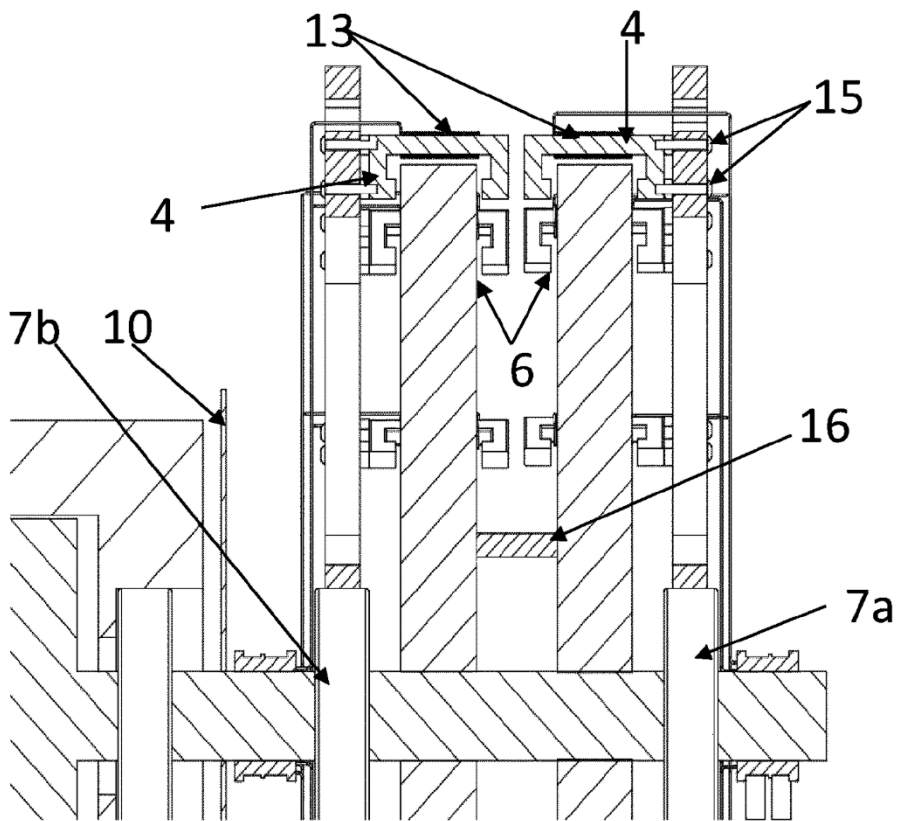


Fig. 5

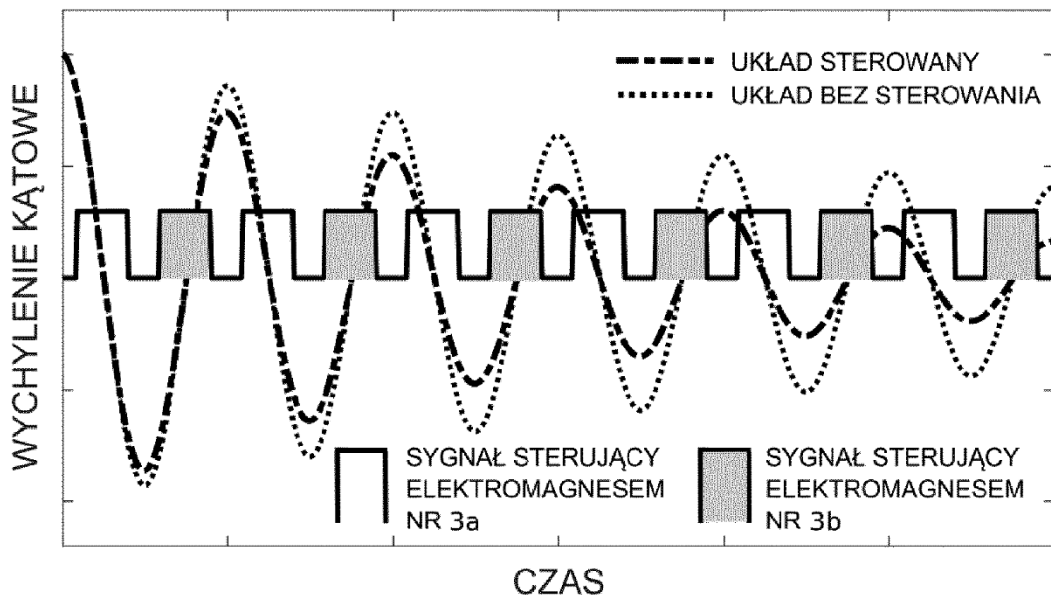


Fig. 6

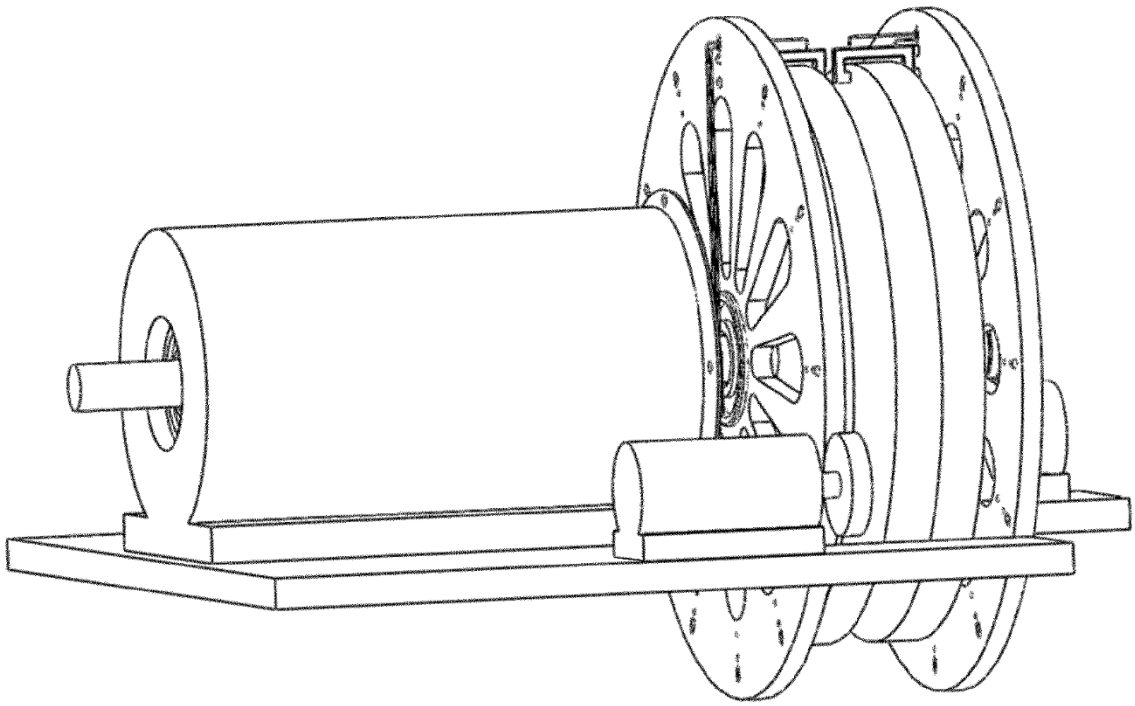


Fig. 7

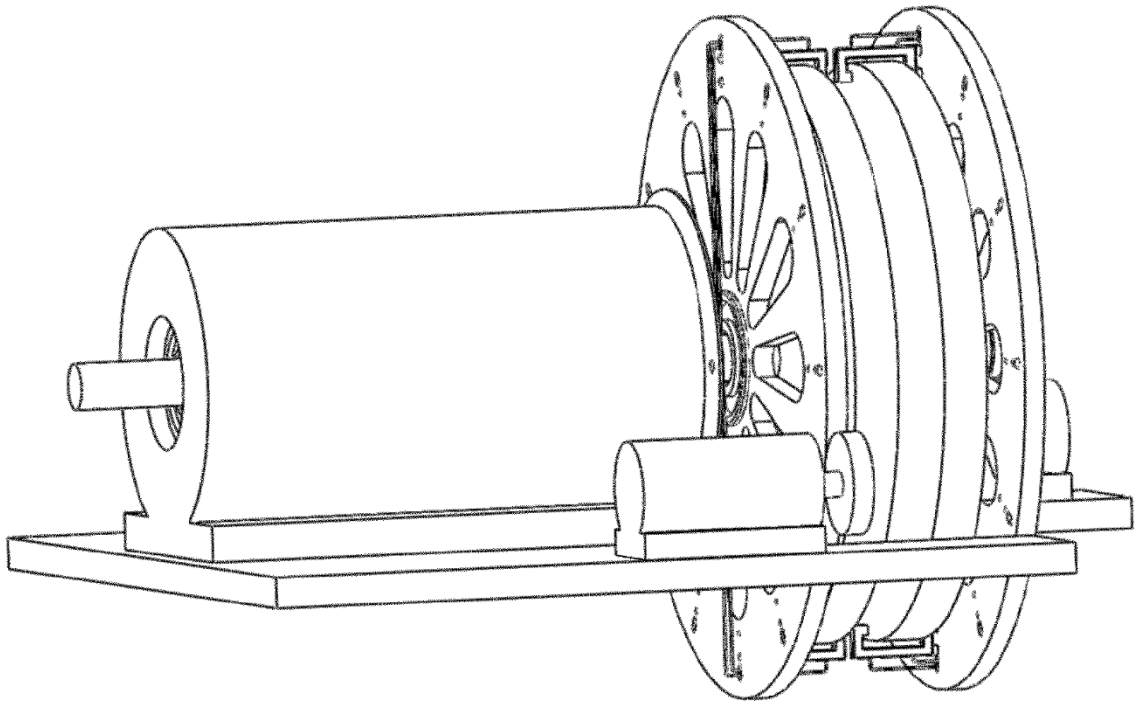


Fig. 8