

RZECZPOSPOLITA  
POLSKA



Urząd Patentowy  
Rzeczypospolitej Polskiej

(12) **OPIS PATENTOWY**

(19) **PL** (11) **241039**

(13) **B1**

(21) Numer zgłoszenia: **429108**

(51) Int.Cl.

**F16F 15/00 (2006.01)**

(22) Data zgłoszenia: **28.02.2019**

(54) **Sposób zmiany efektywnej sztywności konstrukcji z wykorzystaniem autonomicznych sprzęgnięć i inteligentna konstrukcja wspornikowa**

(43) Zgłoszenie ogłoszono:  
**07.09.2020 BUP 19/20**

(45) O udzieleniu patentu ogłoszono:  
**25.07.2022 WUP 30/22**

(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  
RAMI FARAJ, Warszawa, PL**

(74) Pełnomocnik:

**rzecz. pat. Anna Grzelak**

**PL 241039 B1**

## Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest sposób efektywnej zmiany sztywności konstrukcji z wykorzystaniem autonomicznych sprzęgnięć i inteligentna konstrukcja wspornikowa.

Zastosowanie proponowanego sposobu zmiany efektywnej sztywności konstrukcji wspornikowej pozwala na uzyskanie autonomicznych sprzęgnięć i rozprzęgnięć elementów nośnych konstrukcji wspornikowej z wykorzystaniem sił odśrodkowych działających na elementy sprzęgające, w taki sposób, aby konstrukcja realizowała samoczynnie półaktywną strategię dyssypacji energii drgań tejże konstrukcji i w efekcie ograniczała ryzyko swojego uszkodzenia lub zniszczenia.

Stan techniki obejmuje różnorodne sposoby zmiany efektywnej sztywności konstrukcji wspornikowej oraz wiele typów konstrukcji wspornikowych belek połączonych ze sobą w celu redukcji drgań wynikowej konstrukcji. Znakomitym źródłem wiedzy na temat inteligentnych konstrukcji wspornikowych są artykuły naukowe oraz bazy patentowe.

Przykładowo, w 1991 r. J. Onoda w artykule "Vibration Suppression by Variable-Stiffness Members", AIAA Journal, tom 29, nr 6, przedstawił przykładowe rozwiązanie techniczne umożliwiające zmianę sztywności konstrukcji poprzez wykorzystanie układu z siłownikiem piezoelektrycznym.

Innymi konstrukcjami o zmiennej efektywnej sztywności są belki przekładkowe z rdzeniem elastomerowym o sterowanych własnościach magneto-reologicznych. W literaturze naukowej można znaleźć wiele wyników badań eksperymentalnych i opracowań ujawniających techniczne rozwiązania, m.in. praca G. Hu, M. Guo, W. Li, H. Du i G. Alici, pt. "Experimental investigation of the vibration characteristics of a magnetorheological elastomer sandwich beam under non-homogeneous small magnetic fields" opublikowana w 2011 r. w Smart Materials and Structures, tom 20, nr 12.

W artykule zatytułowanym "Double-beam cantilever structure with embedded intelligent damping block: Dynamics and control", opublikowanym w 2017 r. przez T. Szmidta, D. Pisarskiego, C. Bajera i B. Dyniewicza w czasopiśmie Journal of Sound and Vibration, została omówiona belka wspornikowa z elastomerem magneto-reologicznym, gdzie sterowanie polem magnetycznym zapewnia skuteczną, półaktywną stabilizację układu.

W opisie wynalazku PL210382 B1 przedstawiono sposób i układ sterowania efektywną sztywnością i zdolnością do dyssypacji energii cienkościennej belki wielomodułowej oraz cienkościenną belkę wielomodułową. Rozwiązanie pozwala na sterowanie wytrzymałością elementów konstrukcji narażonych na przeciążenia, poprzez sterowanie ciśnieniem gazu doprowadzanego i odprowadzanego z komór poszczególnych modułów belek.

Zgodnie z wynalazkiem sposób zmiany efektywnej sztywności konstrukcji wspornikowej polega na tym, że konstrukcję wspornikową wyposaża się w elementy robocze pozwalające na sprzęganie ze sobą elementów nośnych konstrukcji pod wpływem działania sił odśrodkowych pojawiających się podczas drgań konstrukcji, przy czym konstrukcję wspornikową wyposaża się dodatkowo w elementy sprężyste przeciwdziałające sile odśrodkowej działającej na elementy robocze, w wyniku czego sprzęganie lub rozprzęganie elementów nośnych konstrukcji będzie następować w przypadku, gdy prędkość liniowa elementów roboczych przekroczy wartość graniczną zależną od sztywności elementów sprężystych i ich wstępnego naciągu. Po czym, na podstawie rozwiązania zagadnienia dynamiki konstrukcji wyznacza się półaktywną strategię sprzęgania i rozprzęgania elementów nośnych konstrukcji, a następnie dobiera się naciąg wstępny elementów sprężystych tak, aby sprzęganie i rozprzęganie elementów nośnych konstrukcji następowało przy wyznaczonych wartościach prędkości wynikających z wyznaczonej półaktywnej strategii sterowania zapewniającej stabilizację konstrukcji wspornikowej.

Przedmiotem wynalazku jest także inteligentna konstrukcja wspornikowa. Wynalazek składa się z co najmniej dwóch elementów nośnych, pomiędzy którymi znajduje się co najmniej jeden element roboczy złożony z dwóch dźwigni dociążonych z jednej strony i zamocowanych względem wspólnej osi oraz gniazd przymocowanych bezpośrednio do wewnętrznych powierzchni elementów nośnych konstrukcji. Ponadto, do elementów nośnych konstrukcji wspornikowej zamocowane są z jednego końca elementy sprężyste, których drugi koniec połączony jest z dźwigniami elementów roboczych. Elementy sprężyste mocowane są w taki sposób, aby przeciwdziałały wypadkowej sile odśrodkowej działającej na dociążone dźwignie, w skutek ściskania lub rozciągania tych elementów.

Istotą wynalazku jest sposób zmiany efektywnej sztywności konstrukcji z wykorzystaniem autonomicznych sprzęgnięć charakteryzujący się tym, że co najmniej dwa elementy nośne belki wspornikowej wyposaża się w co najmniej jeden element roboczy zapewniający samoczynne sprzęganie oraz

rozprężanie elementów nośnych belki przy wykorzystaniu działania sił odśrodkowych związanych z ruchem wahadłowym belki, a następnie dobiera się sprzężenie wstępne lub naciąg wstępny elementów sprężystych, tak by sprzężenie lub rozprężanie elementów nośnych belki, realizowanych przez dźwignie i gniazda, następowało przy określonej prędkości liniowej elementów roboczych.

Korzystnie, w wyniku ruchu wahadłowego elementu roboczego pojawiają się siły odśrodkowe, które oddziałują na elementy dociążeni owe zlokalizowane na dźwigniach, co wywołuje ruch obrotowy dźwigni wokół osi, co skutkuje kontaktem dźwigni z gniazdami, co prowadzi do sprzęgnięcia elementów nośnych i zwiększenia sztywności belki wspornikowej; lub przy skrajnym wychyleniu elementów nośnych następuje usztywnienie belki wspornikowej, po czym pojawiająca się w wyniku ruchu wahadłowego elementu roboczego siła odśrodkowa działa na dociążone dźwignie powodując rozprężanie elementów nośnych; przy czym sprzężenie oraz rozprężanie elementów nośnych belki wspornikowej przez dźwignie regulowane jest przez elementy sprężyste, których naciąg wstępny dobrany jest tak, aby sprzężenie i rozprężanie było zgodne z półaktywną strategią sterowania wyznaczoną na podstawie rozwiązania zagadnienia stabilizacji konstrukcji.

Korzystnie, sprzężenie elementów nośnych następuje przy prędkości większej lub równej prędkości granicznej.

Korzystnie, rozprężanie elementów nośnych następuje przy prędkości większej lub równej prędkości granicznej.

Kolejnym przedmiotem wynalazku jest belka wspornikowa charakteryzująca się tym, że zawiera co najmniej dwa podatne elementy nośne, połączone są ze sobą przez co najmniej jeden element roboczy, znajdujący się pomiędzy elementami nośnymi i składający się z dwóch dźwigni wyposażonych w elementy dociążające i zamocowanych obrotowo na wspólnej osi, podpartej elementem wsporczym, oraz gniazd przymocowanych do powierzchni elementów nośnych, przy czym do każdej dźwigni przymocowany jest z jednego końca element sprężysty, którego drugi koniec zamocowany jest do elementów nośnych.

Korzystnie, elementy sprężyste przymocowane są do końców dźwigni przeciwstawnych do końców z umieszczonymi elementami dociążającymi.

Korzystnie, elementy sprężyste są przymocowane do końców dźwigni, na których umieszczone są elementy dociążające.

Przedmiot wynalazku opisano w przykładzie i dodatkowo objaśniono a rysunku, na którym Fig. 1 i Fig. 2 przedstawiają zasadę sprzężenia/rozprężania elementów nośnych konstrukcji w dwóch wariantach konfiguracji elementów roboczych przedstawionych szczegółowo, odpowiednio na Fig. 3 oraz Fig. 4. Efekt działania proponowanego sposobu zmiany efektywnej sztywności konstrukcji został przedstawiony na wykresie Fig. 5, prezentującym zanikające oscylacje wychylenia przykładowej konstrukcji wspornikowej.

Realizacja półaktywnej strategii sterowania poprzez autonomiczne sprzęgnięcia i rozprężnięcia elementów nośnych konstrukcji zależy od konfiguracji elementów roboczych (B), w które wyposaża się inteligentną konstrukcję wspornikową.

W przypadku Wariantu 1 (Fig. 1), sprzęgnięcia elementów nośnych konstrukcji wspornikowej następują, gdy prędkość liniowa elementów nośnych konstrukcji wspornikowej (A) przekroczy określoną wartość graniczną warunkującą sprzęgnięcie elementów nośnych. Wartość ta zależy od masy elementów (H) dociążających dźwignie (C) oraz sprzężenia wstępnego elementów sprężystych (F). Z tego też względu częścią opisanego powyżej sposobu jest dobór wstępnego sprzężenia elementu sprężystego (F). Dla prędkości liniowych mniejszych od prędkości granicznej (Etap I i II) dźwignie (C) nie sprzęgają elementów nośnych (A) konstrukcji wspornikowej. Przy prędkościach liniowych większych równych od wartości granicznej następuje oparcie dźwigni (C) w gniazdach (E), co jednocześnie zapewnia sprzęgnięcie elementów nośnych (A), Etap III i IV.

W przypadku Wariantu 2 (Fig. 2), konstrukcja wspornikowa usztywniana jest na I etapie, przy skrajnym wychyleniu elementów nośnych konstrukcji wspornikowej (A), w którym nie działają siły odśrodkowe na dźwignie (C), dociążone elementami (H), oraz częściowo na II etapie elementów nośnych (A), zaś etapy III i IV odpowiadają stanom rozprężnięcia elementów nośnych (A). Różnica w stosunku do wariantu 1 polega na tym, że siła odśrodkowa działająca na dociążone dźwignie (C) zapewnia nie sprzężenie, a rozprężanie elementów nośnych (A) konstrukcji wspornikowej, przy prędkości elementów roboczych (B) większej równej prędkości granicznej. Podobnie jak w poprzednim wariantcie wartość graniczna prędkości zależy od masy elementów dociążających (H), a także od naciągu wstępnego elementów sprężystych (F).

W przypadku obu opisanych powyżej wariantów inteligentnej konstrukcji wspornikowej naciąg wstępny elementów sprężystych (F) jest dobierany tak, aby sprzęganie i rozprzęganie elementów nośnych (A) było zgodne z półaktywną strategią sterowania wyznaczoną na podstawie rozwiązania zadania stabilizacji konstrukcji. Przykładową pół-aktywną strategią sterowania przedstawiono na Fig. 5 linią ciągłą z opisem „Pozycja dźwigni sprzęgającej”.

Na rysunkach (Fig. 3 i Fig. 4) wyszczególniono elementy składowe konstrukcji inteligentnej konstrukcji wspornikowej w dwóch wariantach. Zmiana efektywnej sztywności konstrukcji wspornikowej uzyskiwana jest w wyniku samoczynnego sprzęgania i rozprzęgania jej elementów nośnych (A) przy użyciu elementów roboczych (B). Proces sprzęgnięcia lub rozprzęgnięcia elementów nośnych (A) odbywa się za pośrednictwem dwóch niezależnych dźwigni (C). Elementy te zamocowane są obrotowo na wspólnej osi (D), którą sztywno utwierdzono do elementów nośnych konstrukcji wspornikowej (A) przez podparcie (G). Wzrost sztywności konstrukcji wspornikowej (A) uzyskiwany jest w skutek kontaktu dźwigni (C) z gniazdami (E) będącego rezultatem ruchu wahadłowego elementu roboczego (B), który to wywołuje ruch obrotowy dźwigni (C) pod wpływem pojawiających się sił odśrodkowych działających na elementy dociążające (H) zlokalizowane na dźwigniach (C). Lokalizacja elementów dociążających (H) na dźwigniach (C) uzależniona jest od rozpatrywanego wariantu inteligentnej konstrukcji wspornikowej (Fig. 3 i Fig. 4). Siły odśrodkowe działające na elementy dociążające (H) zaznaczono wektorami na Fig. 1 i Fig. 2. Na tych rysunkach liczbami greckimi oznaczono poszczególne etapy odchylenia elementów nośnych konstrukcji wspornikowej (A), a długość zamieszczonych na tych schematach wektorów przedstawia chwilową amplitudę sił odśrodkowych, wynikających z liniowej prędkości przemieszczania się członu roboczego (B). Siłom odśrodkowym przeciwdziałają elementy sprężyste (F), które pełnią rolę elementów pozycjonujących położenie dźwigni (C) względem gniazd (E). W zależności od rozpatrywanego wariantu inteligentnej konstrukcji wspornikowej, elementy sprężyste (F) regulują sprzęganie lub rozprzęganie elementów nośnych konstrukcji wspornikowej (A) poprzez dźwignie (C).

W wyniku przeprowadzonych badań, potwierdzono korzystny wpływ proponowanego sposobu zmiany efektywnej sztywności konstrukcji wspornikowej na dyssypację energii konstrukcji wspornikowej poddanej dynamicznemu wymuszeniu. Na Fig. 5 zademonstrowano przykładowe trajektorie oscylacji konstrukcji przy zastosowaniu opisywanego sposobu efektywnej zmiany sztywności (konstrukcji wspornikowej zamocowanej z aktywnym sprzęgiem). Trajektorja przełączająca (aktywność członu roboczy (B)) przedstawia pozycję kątową dźwigni (C), gdzie 0 oraz 1 oznacza odpowiednio pozycję rozprzęgniętą oraz sprzęgniętą (Fig. 3 i Fig. 4). Na wykresach (Fig. 5), dla porównania, zaprezentowano oscylacje konstrukcji w przypadku pasywnym, tj. gdy elementy nośne konstrukcji (A) są stale sprzęgnięte przy użyciu dźwigni (C).

## Zastrzeżenia patentowe

1. Sposób zmiany efektywnej sztywności konstrukcji z wykorzystaniem autonomicznych sprzęgnięć, **znamienny tym**, że co najmniej dwa elementy nośne (A) belki wspornikowej wyposaża się w co najmniej jeden element roboczy (B) zapewniający samoczynne sprzęganie oraz rozprzęganie elementów nośnych belki przy wykorzystaniu działania sił odśrodkowych związanych z ruchem wahadłowym belki, a następnie dobiera się sprzężenie wstępne lub naciąg wstępny elementów sprężystych (F), tak by sprzęganie lub rozprzęganie elementów nośnych belki, realizowanych przez dźwignie (C) i gniazda (E), następowało przy określonej prędkości liniowej elementów roboczych (B).
2. Sposób według zastrz. 1, **znamienny tym**, że w wyniku ruchu wahadłowego elementu roboczego (B) pojawiają się siły odśrodkowe, które oddziałują na elementy dociążeni owe (H) zlokalizowane na dźwigniach (C), co wywołuje ruch obrotowy dźwigni (C) wokół osi (D), co skutkuje kontaktem dźwigni (C) z gniazdami (E), co prowadzi do sprzęgnięcia elementów nośnych (A) i zwiększenia sztywności belki wspornikowej (A); lub przy skrajnym wychyleniu elementów nośnych (A) następuje usztywnienie belki wspornikowej, po czym pojawiająca się w wyniku ruchu wahadłowego elementu roboczego (B) siła odśrodkowa działa na dociążone dźwignie (C) powodując rozprzęganie elementów nośnych (A); przy czym sprzęganie oraz rozprzęganie elementów nośnych (A) belki wspornikowej przez dźwignie (C) regulowane jest

- przez elementy sprężyste (F), których naciąg wstępny dobrany jest tak, aby sprzężenie i rozprężenie było zgodne z półaktywną strategią sterowania wyznaczoną na podstawie rozwiązania zagadnienia stabilizacji konstrukcji.
3. Sposób według zastrz. 1, **znamienny tym**, że sprzężenie elementów nośnych (A) następuje przy prędkości większej lub równej prędkości granicznej.
  4. Sposób według zastrz. 1, **znamienny tym**, że rozprężenie elementów nośnych (A) następuje przy prędkości większej lub równej prędkości granicznej.
  5. Belka wspornikowa, **znamienna tym**, że zawiera co najmniej dwa podatne elementy nośne (A), połączone są ze sobą przez co najmniej jeden element roboczy (B), znajdujący się pomiędzy elementami nośnymi (A) i składający się z dwóch dźwigni (C) wyposażonych w elementy dociążające (H) i zamocowanych obrotowo na wspólnej osi (D), podpartej elementem wsporczym (G), oraz gniazd (E) przymocowanych do powierzchni elementów nośnych (A), przy czym do każdej dźwigni (C) przymocowany jest z jednego końca element sprężysty (F), którego drugi koniec zamocowany jest do elementów nośnych (A).
  6. Belka wspornikowa według zastrz. 5, **znamienna tym**, że elementy sprężyste (F) przymocowane są do końców dźwigni (C) przeciwstawnych do końców z umieszczonymi elementami dociążającymi (H).
  7. Belka wspornikowa według zastrz. 5, **znamienna tym**, że elementy sprężyste (F) są przymocowane do końców dźwigni (C), na których umieszczone są elementy dociążające (H).

## Rysunki

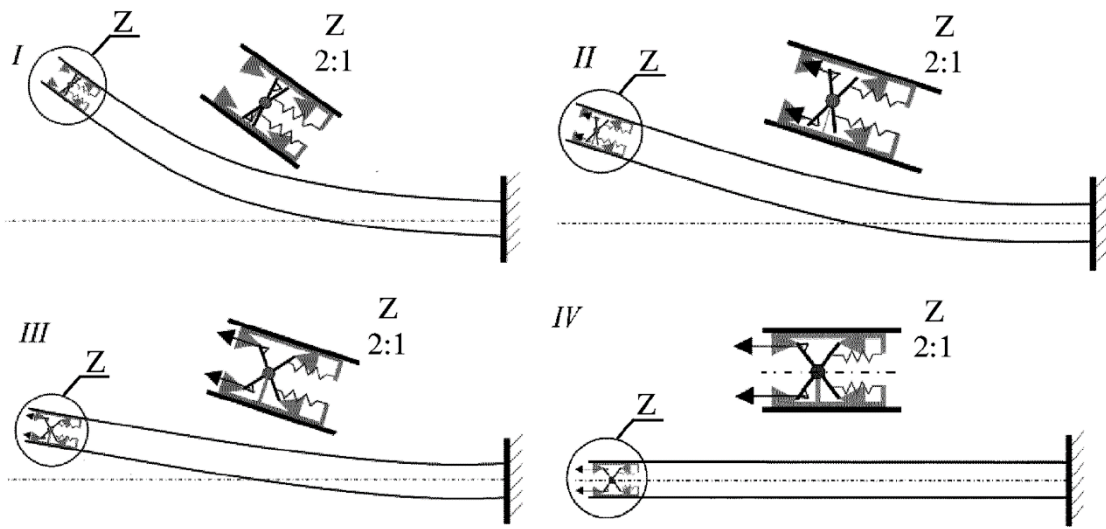


Fig. 1

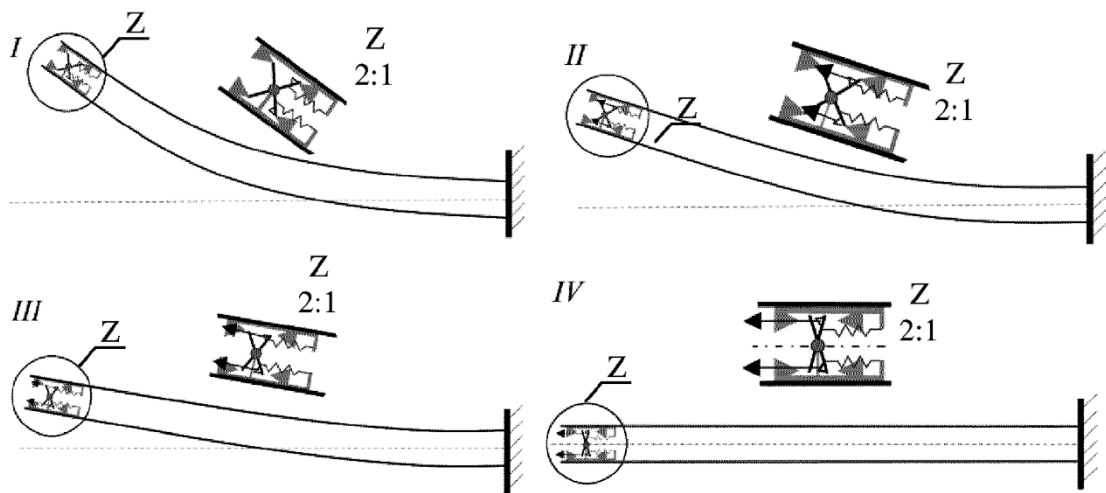


Fig. 2

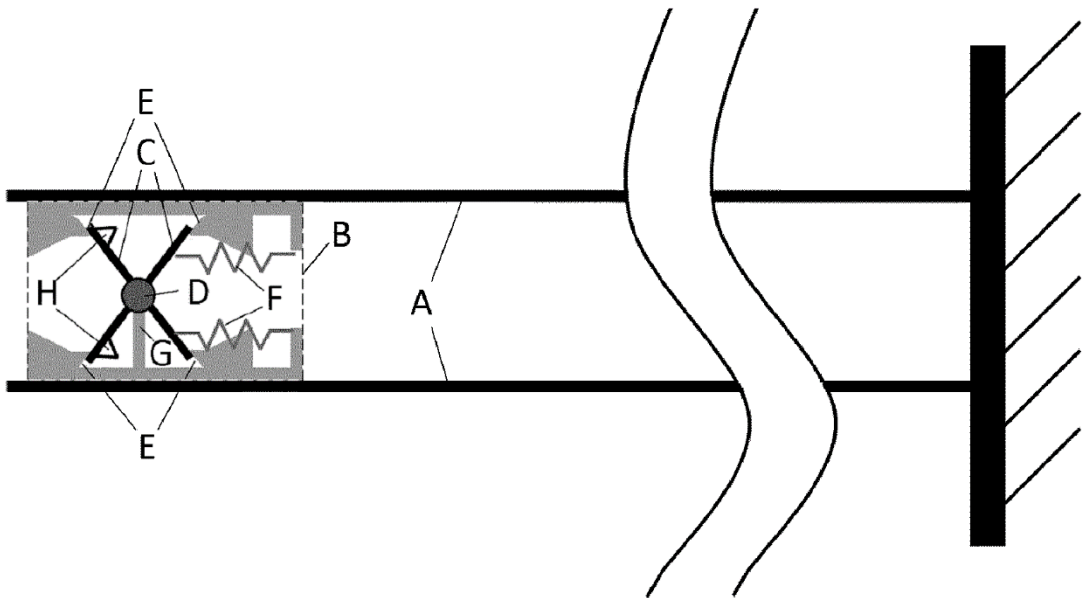


Fig. 3

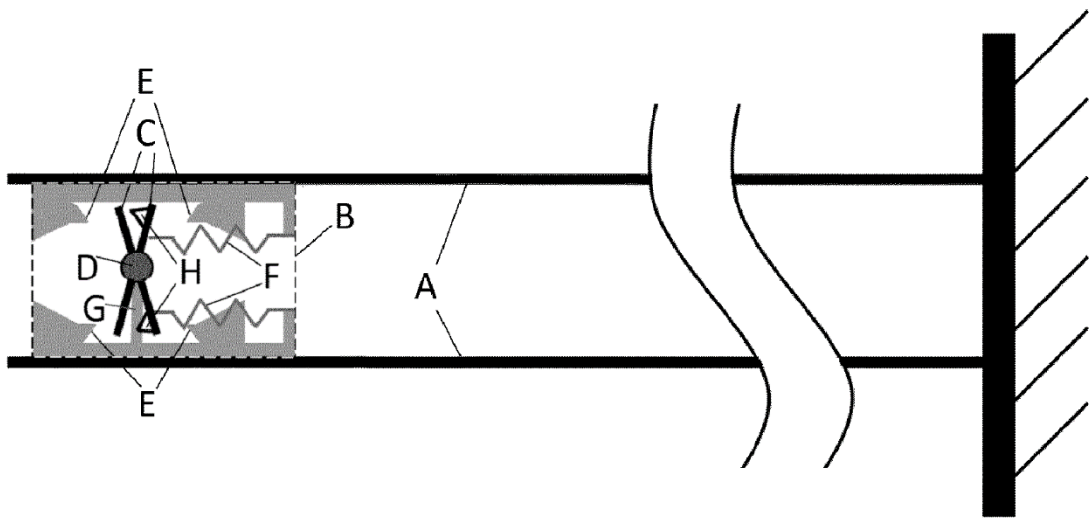


Fig. 4

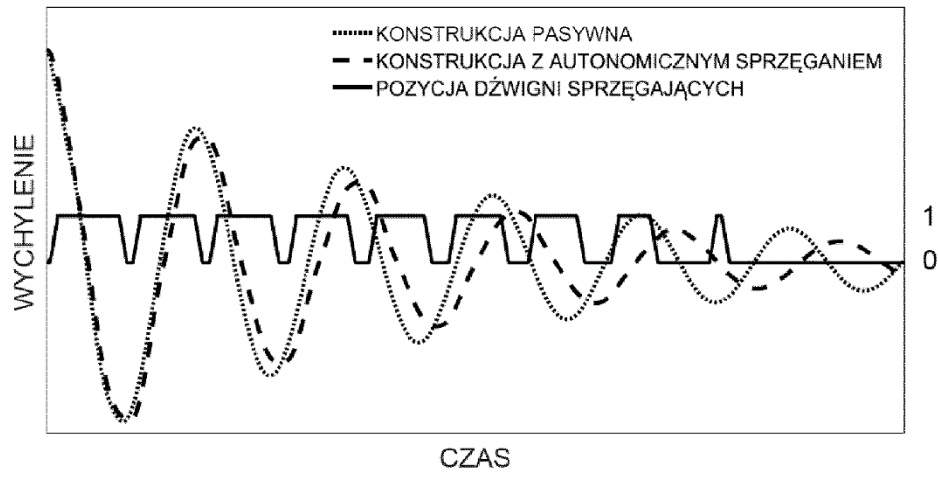


Fig. 5