

RZECZPOSPOLITA  
POLSKA



Urząd Patentowy  
Rzeczypospolitej Polskiej

(12) **OPIS PATENTOWY**

(19) **PL**

(11) **233608**

(13) **B1**

(21) Numer zgłoszenia: **424053**

(22) Data zgłoszenia: **27.12.2017**

(51) Int.Cl.

**G09B 23/08 (2006.01)**

**G09B 23/10 (2006.01)**

**G04B 45/00 (2006.01)**

**G12B 1/00 (2006.01)**

(54)

**Wahadła sprzężone**

(43) Zgłoszenie ogłoszono:

**01.07.2019 BUP 14/19**

(45) O udzieleniu patentu ogłoszono:

**29.11.2019 WUP 11/19**

(73) Uprawniony z patentu:

**UNIWERSYTET ŁÓDZKI, Łódź, PL**

(72) Twórca(y) wynalazku:

**STANISŁAW BEDNAREK, Łódź, PL**

(74) Pełnomocnik:

**recz. pat. Wojciech Zajączkowski**

**PL 233608 B1**

## Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku są wahadła sprzężone, mające zastosowanie w laboratoriach fizycznych do badania drgań chaotycznych o charakterze deterministycznym, w których występują dudnienia.

Znane wahadła sprzężone zostały opisane w instrukcji laboratoryjnej, napisanej w 2007 r. przez Mirosława Bylickiego dla Pracowni Fizycznej w Uniwersytecie Mikołaja Kopernika w Toruniu i dostępnej pod adresem [www.fizyka.umk.pl/~mirekb/ipf\\_zad\\_16pdf](http://www.fizyka.umk.pl/~mirekb/ipf_zad_16pdf). Wahadła te zawierają podwójną, poziomą belkę, na której oparte są dwa jednakowe wahadła fizyczne o momencie bezwładności  $I$ . Każde z wahań składa się z pryzmatycznej poziomej osi opartej na belce i połączonej z pionowym prętem, do którego w dolnej części przymocowany jest ciężarek o masie  $m$ . Pręty połączone są ze sobą za pomocą przymocowanej do nich spiralnej sprężyny o liniowej zależności wydłużenia od naprężenia. Punkty przymocowania sprężyny i ciężarków do prętów mogą być zmieniane. Kiedy wahadła nie są odchyłone od położenia równowagi, wtedy sprężyna nie jest naprężona. Zasada działania wahań sprzężonych polega na tym, że po odchyleniu jednego z nich od pionu wykonuje ono drgania, które za pośrednictwem sprężyny są przenoszone na drugie wahadło, przy czym amplituda drgań pierwszego wahadła maleje, a drugiego wzrasta. Po pewnym czasie zachodzi przekazywanie energii w odwrotnym kierunku. W wyniku tego amplitudy drgań obu wahań ulegają regularnym zmianom i zachodzą dudnienia. Bardzo podobnie zbudowane i tak samo działające wahadła sprzężone znane są z instrukcji napisanej przez Ryszarda Kosteckiego dla Pracowni Fizycznej Uniwersytetu Warszawskiego. Instrukcja ta jest dostępna pod adresem [www.fuw.edu.pl/wo/lstf/tl\\_files2012/wahadlo.pdf](http://www.fuw.edu.pl/wo/lstf/tl_files2012/wahadlo.pdf).

Istota rozwiązania według wynalazku polega na tym, że wahadła sprzężone zawierają podstawę z przymocowanymi do niej w pobliżu przeciwległych brzegów pionowymi słupkami, których wierzchołki połączone są ze sobą poziomą belką, przy czym podstawa, słupki i belka wykonane są z materiału nieferromagnetycznego, korzystnie z tekstolitu. Do podstawy przymocowane są poziomo dwie pary pierścieniowych cewek o takich samych wymiarach oraz takiej samej liczbie zwojów i w każdej parze znajduje się górna cewka napędowa oraz dolna cewka sygnałowa, przy czym obie cewki każdej pary umieszczone są współosiowo. Cewka sygnałowa z pierwszej pary cewek połączona jest z wejściem pierwszego wzmacniacza operacyjnego, a cewka napędowa drugiej pary cewek przyłączona do wyjścia tego wzmacniacza. Z kolei cewka sygnałowa z drugiej pary cewek połączona jest z wejściem drugiego wzmacniacza operacyjnego, a cewka napędowa pierwszej pary cewek przyłączona jest do wyjścia tego wzmacniacza. Ponadto do belki przymocowane są górne końce dwóch nierozciągliwych nici i na dolnych końcach tych nici przymocowane są magnesy trwałe w kształcie walca, o jednakowych rozmiarach znacznie mniejszych, niż rozmiary cewek, wykonane korzystnie ze spieku żelaza, neodymu i boru, znajdujące się nad środkami każdej pary cewek.

Podstawową zaletą wahań sprzężonych jest umożliwienie badania parametrów drgań chaotycznych o charakterze deterministycznym, w których pojawiają się dudnienia. Dodatkowymi zaletami tych wahań są prosta konstrukcja i niezawodność działania.

Wahadła sprzężone pokazane są w przykładzie wykonania na rysunku, przedstawiającym ich widok perspektywiczny oraz sposób połączenia cewek i wzmacniaczy.

Wahadła sprzężone zawierają podstawę 1 z przymocowanymi do niej w pobliżu przeciwległych brzegów pionowymi słupkami 2, 3, których wierzchołki połączone są ze sobą poziomą belką 4, przy czym podstawa 1, słupki 2, 3 i belka 4 wykonane są z materiału nieferromagnetycznego, korzystnie z tekstolitu. Do podstawy 1 przymocowane są poziomo dwie pary pierścieniowych cewek 5, 6 oraz 7, 8 o takich samych wymiarach oraz takiej samej liczbie zwojów, i w każdej parze znajduje się górna cewka napędowa 5, albo 7 oraz dolna cewka sygnałowa 6, albo 8, przy czym obie cewki każdej pary umieszczone są współosiowo. Cewka sygnałowa 6 z pierwszej pary cewek połączona jest z wejściem pierwszego wzmacniacza operacyjnego 9, a cewka napędowa 7 drugiej pary cewek przyłączona do wyjścia tego wzmacniacza. Z kolei cewka sygnałowa 8 z drugiej pary cewek połączona jest z wejściem drugiego wzmacniacza operacyjnego 10, a cewka napędowa 5 pierwszej pary cewek przyłączona jest do wyjścia tego wzmacniacza. Ponadto do belki 4 przymocowane są górne końce dwóch nierozciągliwych nici 11, 12 i na dolnych końcach tych nici przymocowane są magnesy trwałe w kształcie walca 13, 14, o jednakowych rozmiarach znacznie mniejszych, niż rozmiary cewek, wykonane korzystnie ze spieku żelaza, neodymu i boru, znajdujące się nad środkami każdej pary cewek 5, 6 oraz 7, 8.

Zasada działania wahań sprzężonych polega na tym, że po odchyleniu od pionu jednego z magnesów trwałych, np. 13, magnes ten indukuje w cewce sygnałowej 6 napięcie elektryczne, które jest wzmacniane przez wzmacniacz operacyjny 9 i zasila cewkę napędową 7. Cewka ta wytwarza

zmienne pole magnetyczne, oddziałujące na magnes trwały 14 i powodujące wprawienie w ruch tego magnesu. Poruszający się magnes 14 też indukuje w cewce sygnałowej 8 napięcie elektryczne, które jest wzmacniane przez wzmacniacz operacyjny 10 i zasila cewkę napędową 5. W ten sposób dochodzi do wzajemnego przekazywania energii drgań między wahadłami złożonymi z magnesów 13, 14 zawieszonych na niciach 11, 12. Ponieważ pole magnetyczne wytwarzane przez cewki 5, 6, 7, 8 jest niejednorodne, to indukowane napięcia zależą w sposób nieliniowy od położenia magnesów 13, 14 i pojawiają się dudnienia chaotyczne o charakterze deterministycznym. Parametry tych drgań można łatwo zmieniać przez zmianę współczynników wzmocnienia wzmacniaczy operacyjnych 9, 10 i zmianę długości nici 11, 12. Zasada działania wahadeł sprzężonych po odchyleniu drugiego z magnesów trwałych 14 jest analogiczna, jak opisana poprzednio. Małe rozmiary magnesów trwałych 13, 14 powodują, że wytwarzane przez nie pole magnetyczne nie zmniejsza niejednorodności pola magnetycznego, wytwarzanego przez cewki napędowe 5, 7, co warunkuje nieliniowość oddziaływania i chaotyczny charakter drgań.

### Zastrzeżenia patentowe

1. Wahadła sprzężone zawierające podstawę z przymocowanymi do niej w pobliżu przeciwnych brzegów pionowymi słupkami, których wierzchołki połączone są ze sobą poziomą belką, przy czym podstawa, słupki i belka wykonane są z materiału nieferromagnetycznego, korzystnie z tekstolitu, **znamiennie tym**, że do podstawy (1) przymocowane są poziomo dwie pary pierścieniowych cewek (5), (6) oraz (7), (8) o takich samych wymiarach oraz takiej samej liczbie zwojów i w każdej parze znajduje się górna cewka napędowa (5) albo (7) oraz dolna cewka sygnałowa (6) albo (8), przy czym obie cewki każdej pary umieszczone są współosiowo, natomiast cewka sygnałowa (6) z pierwszej pary cewek połączona jest z wejściem pierwszego wzmacniacza operacyjnego (9), a cewka napędowa (7) drugiej pary cewek przyłączona do wyjścia tego wzmacniacza, a ponadto cewka sygnałowa (8) z drugiej pary cewek połączona jest z wejściem drugiego wzmacniacza operacyjnego (10), a cewka napędowa (5) pierwszej pary cewek przyłączona jest do wyjścia tego wzmacniacza, a oprócz tego do belki (4) przymocowane są górne końce dwóch nierozciągliwych nici (11), (12) i na dolnych końcach tych nici przymocowane są magnesy trwałe w kształcie walca (13), (14), o jednakowych rozmiarach znacznie mniejszych, niż rozmiary cewek, znajdujące się nad środkami każdej pary cewek (5), (6) oraz (7), (8).
2. Wahadła sprzężone według zastrz. 1, **znamiennie tym**, że magnesy trwałe w kształcie walca (13), (14) wykonane są korzystnie ze spieku żelaza, neodymu i boru.

## Rysunek

