

Czujnik odchylenia od pionu

[0001] Przedmiotem wynalazku jest czujnik odchylenia od pionu a ściślej czujnik odchylenia od pionu z akcelerometrem elektromechanicznym MEMS.

5 [0002] Jednym z typowych zastosowań akcelerometrów elektromechanicznych MEMS są pomiary odchylenia od pionu. Akcelerometry wykonane w technologii mikrosystemów elektromechanicznych (ang. MEMS – MicroElectroMechanical Systems) cechuje wiele zalet, m.in. niska cena, ale także wiele wad. W
10 przypadku, gdy pomiary odchylenia od pionu mają być realizowane z możliwie dużą dokładnością, pojawiają się problemy wynikające z następujących wad akcelerometrów MEMS: bliżej nieznaną orientacją osi czułości akcelerometru, dryfy termiczne sygnału wyjściowego, dryfy czasowe sygnału wyjściowego, błędy kalibracji akcelerometru,
15 starzenie się struktury krzemowej.

[0003] Jednym ze sposobów eliminacji lub kompensacji tych błędów jest kalibracja czujnika z wykorzystaniem stanowiska badawczego lub autokalibracja, pozwalające na dokładne wyznaczenie parametrów użytkowych czujnika w danych warunkach pracy.

20 [0004] Przy realizacji procesu autokalibracji korzystne jest zastosowanie odpowiedniej obudowy akcelerometru, najlepiej o sześciennym kształcie, co zostało zaproponowane w artykule: Stančin S., Tomažič S.: Time- and Computation-Efficient Calibration of MEMS 3D Accelerometers and Gyroscopes. Sensors, vol. 14, s. 14885-14915,
25 2014 (<http://www.mdpi.com/1424-8220/14/8/14885>).

[0005] Czujnik odchylenia od pionu zawierający obudowę oraz akcelerometr elektromechaniczny umieszczony na płytce drukowanej, zgodnie z wynalazkiem cechuje się tym, że obudowa ma zasadniczo prostopadłościenny kształt z komorą otwartą w przynajmniej jednej
30 ścianie, w której to komorze, w zespole justerskim, w jego części wspierającej jest zamocowany akcelerometr elektromechaniczny na płytce drukowanej. Zespół justerski jest przymocowany do obudowy za pomocą wkrętu przechodzącego przez część montażową zespołu justerskiego a jego orientację względem obudowy ustalają pierwszy
35 wkręt regulacyjny, równoległy do niego drugi wkręt regulacyjny oraz zorientowany prostopadle do nich trzeci wkręt regulacyjny. Pomiedzy częścią montażową zespołu justerskiego a częścią wspierającą ten zespół justerski jest zaopatrzony w rowek częściowo otaczający część montażową, oraz w wyżłobienie współpracujące z pierwszym wkrętem

regulacyjnym. Dzięki temu, że część montażowa jest częściowo otoczona rowkiem oddzielającym ją od części wspierającej akcelerometr elektromechaniczny możliwe jest sprężyste odkształcenie zespołu justerskiego tak, że części te mogą się
5 względem siebie odwracalnie przemieszczać. Możliwość wymuszenia takiego przemieszczenia zapewniają wkręty regulacyjne. Akcelerometr elektromechaniczny może stanowić mikrosystem elektromechaniczny MEMS.

[0006] Korzystnie obudowa jest wykonana ze stali nierdzewnej, która
10 umożliwia uzyskanie wystarczająco precyzyjnej i trwałej prostopadłości ścian.

[0007] Obudowa zawiera nacięcie otwierające komorę na dodatkową ścianę. Przez nacięcie to można wyprowadzić z obudowy kabel przesyłania danych z czujnika elektromechanicznego. Alternatywnie
15 czujnik można wyposażyć bezprzewodowy moduł komunikacyjny połączony z akcelerometrem i przystosowany do przesyłania jego wskazań do zewnętrznej jednostki obliczeniowej.

[0008] Korzystnie obudowa jest wyposażona w czujnik bąbelkowy, co ułatwia wstępne ustawienie czujnika na stole do kalibracji.

[0009] Wyżłobienie korzystnie ma profil głębokości w kształcie
20 zbliżonym do litery „U” co ułatwia współpracę z wkrętem regulacyjnym.

[0010] Zespół justerski jest wykonany z materiału zawierającego materiał wybrany z grupy obejmującej stop aluminium, brąz berylowy,
25 mosiądz i stal. Materiały te zapewniają dobrą sprężystość i odporność na wielokrotne odkształcenia mechaniczne. Szczególnie korzystny jest brąz berylowy.

[0011] Przedmiot wynalazku został ukazany w przykładzie wykonania na rysunku, na którym Fig. 1 przedstawia czujnik według przykładu
30 wykonania wynalazku, natomiast Fig. 2 przedstawia zespół justerski przeznaczony do zastosowania w tym przykładzie wykonania wynalazku z zaznaczonymi wkrętami regulacyjnymi, w widoku z dołu.

[0012] Przykład wykonania czujnika odchylenia od pionu ukazany na Fig. 1 zawierający obudowę 0. Ma ona zasadniczo prostopadłościenny
35 kształt. Błędy prostopadłości ścian nie przekraczają $0,1^\circ$ co uzyskano dzięki wykonaniu obudowy ze stali nierdzewnej. Obudowa jest wyposażona w komorę otwartą na trzy ściany. W jednym z otwarć jest umieszczony czujnik bąbelkowy 7. Taka struktura obudowy ułatwia umieszczenie w niej akcelerometru. Czujnik bąbelkowy umożliwia

wstępne wypoziomowanie czujnika na platformie kalibracyjnej a następnie przeprowadzenie autokalibracji.

[0013] Akcelerometr elektromechaniczny stanowi płytka drukowana z mikrosystemem elektromechanicznym MEMS. Płytką ta jest przymocowana do części 1a wspierającej zespołu justerskiego 1.

[0014] Zespół justerski 1 jest przymocowany do obudowy 0 za pomocą wkrętu 6 przechodzącego przez część montażową 1b zespołu justerskiego. Pomiedzy częścią montażową 1b zespołu justerskiego 1 a częścią 1a wspierającą płytkę 2. Zespół justerski 1 jest zaopatrzony w rowek 1c częściowo otaczający część montażową 1b. Dzięki temu część wspierająca 1a i część montażową 1b można względem siebie sprężysto przemieszczać. Tym samym gdy część montażowa 1b jest sztywno przytwierdzona do obudowy 0 za pomocą wkrętu 6, część 1a wspierająca płytkę 2 z akcelerometrem MEMS można swobodnie przemieszczać. Tym samym możliwa jest kalibracja czujnika poprzez zmianę orientacji części wspierającej 1a zespołu justerskiego 1 względem obudowy.

[0015] W niniejszym przykładzie wykonania zespół justerski wykonano z brązu berylowego ale dobre, choć nieznacznie gorsze efekty uzyskiwano również ze stopami aluminium, mosiądzem i stałą sprężynową.

[0016] Tę orientację części 1a wspierającej zespołu justerskiego 1 względem obudowy ustalają wkręty regulacyjne przechodzące przez ściany obudowy 0. Jak pokazano na Fig. 2 pierwszy wkręt regulacyjny 4 opiera się o zespół justerski 1 i współpracuje z wyżłobieniem (1d) mającym profil głębokości przypominający spłaszczoną literę „U”. Drugi wkręt regulacyjny 5 jest równoległy do pierwszego wkrętu regulacyjnego 4. Jest zlokalizowany z tej samej strony tego zespołu ale jest odsunięty dalej od części montażowej 1b. Trzeci wkręt regulacyjny 3, jest zorientowany do nich prostopadle. Taka konfiguracja zapewnia możliwość regulacji wokół trzech prostopadłych osi.

[0017] W przypadku zastosowania przewodowej transmisji danych pomiędzy akcelerometrem a zewnętrznym systemem komputerowym obudowę warto wyposażyć w dodatkowe nacięcie umożliwiające przekładanie przewodu na różne ściany w zależności od orientacji obudowy.

[0018] W alternatywnym przykładzie wykonania wewnątrz obudowy na płytce drukowanej oprócz akcelerometru MEMS zapewniono moduł

komunikacyjny zapewniający możliwość bezprzewodowej transmisji danych do zewnętrznych systemów.

[0019] Zbudowany czujnik odchylenia od pionu bazuje na wykorzystaniu trójosiowych lub dwuosiowych akcelerometrów MEMS do 5 dwuosiowego pomiaru odchylenia od pionu. Zaproponowana koncepcja polega na zbudowaniu taniego czujnika o dużej dokładności. Wysoka dokładność wskazań czujnika uzyskiwana jest dzięki zastosowaniu specjalnej obudowy umożliwiającej okresową szybką i bardzo prostą 10 kalibrację czujnika na żądanie użytkownika. Dzięki takiej autokalibracji w bieżącej chwili eliminowane są następujące błędy akcelerometrów MEMS: nieprostokątność osi czułości akcelerometru względem obudowy, dryfy termiczne sygnałów wyjściowych, dryfy 15 czasowe sygnałów wyjściowych, błędy kalibracji akcelerometru (wartość składowej stałej oraz współczynnika skalowania dla każdej osi czułości), efekty starzenia się obwodów elektronicznych czujnika.

[0020] Parametry metrologiczne czujnika:

- zakres pomiarowy: 2 x 360 stopni (pomiar kąta pochylenia oraz kąta przechylenia w pełnym zakresie)
- 20 - błąd pomiarowy ok. 0,2 stopnia,
- sygnały wyjściowe w postaci napięć analogowych zmiennych w zakresie ok. 1-3 V,
- wymiary obudowy: 40x48x48 mm,
- objętość obudowy: 93 cm sześciennie,
- 25 - wymiary płytki drukowanej z akcelerometrem MEMS: 22 x 27 x 3 mm,
- możliwość wypoziomowania platformy kalibracyjnej z dokładnością ok. 1 minuty katowej,
- zapewnienie powierzchni bazowych niezbędnych do precyzyjnego 30 zamontowania czujnika w urządzeniu docelowym,

[0021] Dodatkowo w obudowie zapewniono kilka gwintowanych otworów umożliwiających zamontowanie czujnika w urządzeniu docelowym.

[0022] Autokalibracja umożliwia zarówno kalibrację każdej z osi czułości akcelerometru jak i kompensację błędów prostokątności 35 każdej z osi czułości.

[0023] Justowanie umożliwia precyzyjne ustawienie akcelerometru względem obudowy, tzn. doprowadzenie do takiej orientacji osi czułości akcelerometru, że są one równoległe lub prostopadłe do odpowiednich ścian obudowy. Idealne ustawienie nie jest możliwe,

ponieważ osie czułości akcelerometru nie są idealnie prostopadłe względem samych siebie. W związku z tym, precyzyjnie można ustawić tylko jedną oś czułości, drugą tylko w jednej płaszczyźnie, a trzecią już w ogóle nie da się ustawić. Autokalibracja umożliwia 5 numeryczną korektę nieprostokątności każdej z osi a wstępne ustawienie zespołu justerskiego bardzo ją upraszcza.