

**Sposób wyznaczania miary bicia osiowego oraz sposób
eliminacji bicia osiowego**

[0001] Przedmiotem wynalazku jest sposób wyznaczania miary bicia osiowego wałka, oraz sposób eliminacji bicia osiowego wałka zwłaszcza do wałków pracujących poziomo z niewielką prędkością obrotową.

[0002] Typowo do pomiarów bicia wałków stosuje się czujniki zegarowe. Typowy sposób pomiaru bicia osiowego to zewnętrzny pomiar przemieszczenia końca wałka, w którym to sposobie czujnik zamocowany gdzieś na podstawie, dotyka końcówką pomiarową powierzchni wałka. Znane są też inne typy czujników, np. bezstykowe: indukcyjne, magnetyczne, optyczne - w tym szczególnie popularne - laserowe.

[0003] Z polskiego zgłoszenia patentowego nr P.425929 znany jest czujnik odchylenia od pionu z trójosiowym akcelerometrem MEMS wyposażony w prostopadłościenną obudowę przystosowaną do kalibrowania akcelerometru i mającą specjalny zespół służący do justowania zastosowanego akcelerometru.

[0004] Inną miarą bicia wałka jest odchyłka równoległości powierzchni obrotowych, która jest tożsama odchyłce równoległości w przestrzeni dwóch osi: osi fizycznego obrotu wałka a osi symetrii wałka. Odchyłkę tę wyraża kąt o dwóch jego składowych w dowolnie zorientowanych wzajemnie prostopadłych płaszczyznach, w przybliżeniu równoległych do osi obrotu wałka, np. płaszczyźnie pionowej i poziomej, a miarą wielkości odchyłki a zarazem miarą bicia jest wartość b tego kąta w płaszczyźnie zawartej pomiędzy tymi dwoma wzajemnie prostopadłymi płaszczyznami zawierającymi dwa jego kąty składowe.

[0005] Znane w stanie techniki sposoby wyznaczania bicia wymagają zastosowania niezależnych od wałka zewnętrznych układów pozwalających na analizę jego ruchu.

[0006] Celem wynalazku jest rozwiązanie problemu wyznaczania wiarygodnej i powtarzalnej miary bicia osiowego bez stosowania zewnętrznego względem wałka układu pomiarowego, a także zapewnienie skutecznego sposobu eliminacji bicia wałka.

[0007] Sposób wyznaczania miary bicia osiowego wałka obejmujący umieszczanie na tym wałku czujnika, a następnie wykonywanie pomiarów w miarę obracania się wałka, zgodnie z wynalazkiem cechuje się tym, że stosuje się czujnik zawierający jednoosiowy akcelerometr elektromechaniczny umieszczony na płytce drukowanej znajdującej się w dwuczęściowej obudowie obejmującej wałek i mającej zasadniczo prostopadłościenny kształt z komorą otwartą w jednej ścianie, w której to komorze, w zespole justerskim, regulowanym w prostopadłych dwóch osiach dwoma wkrętami znajduje się płytka drukowana. Jako miarę bicia wyznacza się kątową odchyłkę b równoległości w przestrzeni osi obrotu wałka i osi symetrii wałka obracając wałek i wykonując pomiar napięcia U_2 akcelerometru i wyznaczając odchyłkę według wzoru

$$b = \frac{1}{2} \left| \arcsin \left[\frac{2 \cdot U_{2_{\max}} - U_{1_{\max}} - U_{1_{\min}}}{U_{1_{\max}} - U_{1_{\min}}} \right] - \arcsin \left[\frac{2 \cdot U_{2_{\min}} - U_{1_{\max}} - U_{1_{\min}}}{U_{1_{\max}} - U_{1_{\min}}} \right] \right|$$

w którym $U_{2_{\min}}$ i $U_{2_{\max}}$ stanowią odpowiednio maksymalną i minimalną wartość pomiarową, zaś $U_{1_{\max}}$ i $U_{1_{\min}}$ oznaczają wartości sygnału wyjściowego akcelerometru wyznaczone w procesie kalibracji i odpowiadające jego idealnie pionowej orientacji – odpowiednio przy akcelerometrze zorientowanym pionowo w górę i pionowo w dół.

[0008] Sposób eliminacji bicia osiowego obrotowego wałka, w którym zmienia się orientację kątową wałka w przynajmniej jednej płaszczyźnie zawierającej oś obrotu wałka, zgodnie z

wynalazkiem cechuje się tym, że docelową orientację kątową wałka ustawia się na podstawie odczytu napięcia U_2 połączonego z wałkiem czujnika zawierającego jednoosiowy akcelerometr elektromechaniczny umieszczony na płytce drukowanej znajdującej się w dwuczęściowej obudowie obejmującej wałek i mającej zasadniczo prostopadłościenny kształt z komorą otwartą w jednej ścianie, w której to komorze, w zespole justerskim, regulowanym w dwóch osiach dwoma wkrętami, znajduje się płytka drukowana. Zgodnie ze sposobem wykonując pomiar napięcia U_2 akcelerometru obraca się wałek najpierw do pierwszego a następnie do drugiego skrajnego położenia w tej płaszczyźnie po czym wykonuje się regulację do uzyskania wartości napięcia U_2 odpowiadającej średniej napięć uzyskanych w pierwszym i w drugim skrajnym położeniu.

[0009] Przedmiot wynalazku został ukazany w przykładzie wykonania na rysunku, na którym Fig. 1 przedstawia czujnik według przykładu wykonania wynalazku, Fig. 2 przedstawia zespół justerski w widoku z dołu, natomiast Fig. 3 przedstawia przykładowe uzyskane miary bicia osiowego.

[0010] Przykład wykonania czujnika bicia osiowego ukazany na Fig. 1 zawiera dwuczęściową obudowę 2a i 2b. Części 2a i 2b są ze sobą połączone za pomocą wkrętów 10. Obudowa ma zasadniczo prostopadłościenny kształt. Błędy prostopadłości ścian nie przekraczają 0,1 stopnia co uzyskano dzięki wykonaniu obudowy ze stali nierdzewnej. Obudowa jest wyposażona w komorę otwartą na jedną ścianę. Taka struktura obudowy ułatwia umieszczenie w niej akcelerometru. Prostopadłościenny kształt obudowy umożliwia ustawienie jej na platformie kalibracyjnej, a następnie przeprowadzenie kalibracji akcelerometru. Obudowa składa się z dwóch rozłącznych części 2a i 2b. W każdej z nich wykonany jest rowek pryzmowy, służący do wygodnego i precyzyjnego

zamocowania jej na wałku 1, którego bicie osiowe chcemy wyznaczyć.

5 [0011] Zbudowany czujnik bicia osiowego bazuje na wykorzystaniu jednoosiowego akcelerometru MEMS do wyznaczenia miary bicia osiowego w płaszczyźnie prostopadłej do osi obrotu wałka 1.

10 [0012] Akcelerometr elektromechaniczny stanowi płytka drukowana z mikrosystemem elektromechanicznym MEMS 4. Płytkę ta jest przymocowana do części 3a wspierającej zespołu justerskiego 3 za pomocą czterech wkrętów 8 zabezpieczonych nakrętkami 9.

15 [0013] Zespół justerski 3 jest przymocowany do górnej części obudowy 2a za pomocą dwóch wkrętów 5, przechodzących przez część montażową 3b zespołu justerskiego 3. Pomiędzy częścią montażową 3b zespołu justerskiego 3, a częścią 3a wspierającą
20 płytke 4 zespół justerski 3 jest zaopatrzony w rowek 3c częściowo otaczający część montażową 3b. Dzięki temu część wspierającą 3a i część montażową 3b można względem siebie sprężysto przemieszczać. Tym samym, gdy część montażowa 3b jest sztywno przytwierdzona do górnej części obudowy 2a za pomocą wkrętów 5, część 3a wspierającą płytke 4 z akcelerometrem MEMS można swobodnie przemieszczać. Tym samym
25 możliwe jest justowanie czujnika poprzez zmianę orientacji katowej części wspierającej 3a zespołu justerskiego 3 względem górnej części obudowy 2a.

[0014] W niniejszym przykładzie wykonania zespół justerski wykonano ze stopu aluminium, ale również dobre efekty uzyskiwano również przy wykorzystaniu brązu berylowego, mosiądzu lub stali sprężynowej.

30 [0015] Orientację części 3a wspierającej zespołu justerskiego 3 względem obudowy ustalają wkręty regulacyjne przechodzące przez ściany górnej części obudowy 2a. Jak pokazano na Fig. 2, pierwszy wkręt regulacyjny 6 opiera się

o bok zespołu justerskiego 3, natomiast drugi wkręt regulacyjny 7 jest zorientowany do niego prostopadle. Taka konfiguracja zapewnia możliwość regulacji orientacji katowej osi czułości akcelerometru wokół dwóch osi prostopadłych do osi wałka 1, którego bicie osiowe chcemy wyznaczyć.

[0016] Pomiary najłatwiej wykonywać bezprzewodowo za pomocą modułu komunikacyjnego zapewnionego na tej samej płytce drukowanej co akcelerometr, zapewniającego możliwość bezprzewodowej transmisji danych do zewnętrznych systemów.

[0017] Wysoką dokładność wskazań czujnika uzyskuje się dzięki zastosowaniu obudowy umożliwiającej okresową szybką i bardzo prostą kalibrację czujnika na żądanie użytkownika.

[0018] Taka kalibracja umożliwia chwilową eliminację następujących błędów analogowego akcelerometru MEMS: dryfy termiczne sygnału wyjściowego, dryfy czasowe sygnału wyjściowego, błędy wzorcowania akcelerometru (wartości składowej stałej oraz współczynnika skalowania), efekty starzenia się obwodów elektronicznych czujnika oraz akcelerometru.

[0019] Parametry metrologiczne czujnika:

- zakres pomiarowy: przykładowo do 10 stopni,
- błąd pomiarowy bicia osiowego ok. 0,2 stopnia,
- sygnały wyjściowe w postaci napięć analogowych zmiennych w zakresie ok. 1-3 V,
- wymiary obudowy: 53×48×34 mm,
- objętość obudowy: 68 cm sześciennie,
- wymiary płytki drukowanej z akcelerometrem MEMS: 22 x 27 x 3 mm,
- zapewnienie powierzchni bazowych w postaci rowków pryzmatycznych, niezbędnych do precyzyjnego zamontowania obudowy czujnika na wałku, którego bicie osiowe chcemy wyznaczyć.

[0020] Kalibracja akcelometru umożliwia wyznaczenie wartości jego podstawowych parametrów użytkowych: składowej stałej oraz współczynnika skalowania.

[0021] Justowanie umożliwia precyzyjne ustawienie akcelometru względem obudowy, tzn. doprowadzenie do takiej orientacji osi czułości akcelometru, że jest ona równoległa lub prostopadła do odpowiednich ścian obudowy.

[0022] Zasada wyznaczania miary bicia osiowego badanego wałka polega na zapisie zmienności wartości napięcia wyjściowego z akcelometru podczas obrotu wałka w zakresie kąta pełnego. Im większe jest bicie osiowe wałka, tym większa jest amplituda rejestrowanego napięcia wyjściowego z akcelometru, co zostało przedstawione na Fig. 3, gdzie "bicie osiowe 1" jest większe niż "bicie osiowe 2", a "bicie osiowe 2" jest większe niż "bicie osiowe 3".

[0023] Wartość kątową miary bicia osiowego wyznacza się na podstawie funkcji w postaci:

$$b = \frac{1}{2} \left| \arcsin \left[\frac{2 \cdot U2_{max} - U1_{max} - U1_{min}}{U1_{max} - U1_{min}} \right] - \arcsin \left[\frac{2 \cdot U2_{min} - U1_{max} - U1_{min}}{U1_{max} - U1_{min}} \right] \right|$$

gdzie:

$U1_{max}$ - napięcie wyjściowe akcelometru odpowiadające działaniu przyspieszenia grawitacyjnego +1g ($g=9,81 \text{ m/s}^2$), wyznaczone podczas kalibrowania akcelometru (przy wykorzystaniu prostopadłościenniej obudowy czujnika),

$U1_{min}$ - napięcie wyjściowe akcelometru odpowiadające działaniu przyspieszenia grawitacyjnego -1g ($g=9,81 \text{ m/s}^2$), wyznaczone podczas kalibrowania akcelometru (przy wykorzystaniu prostopadłościenniej obudowy czujnika),

$U2_{max}$ - napięcie wyjściowe akcelometru odpowiadające maksymalnej wartości zarejestrowanej podczas pomiaru bicia osiowego,

U_{2min} - napięcie wyjściowe akcelometru odpowiadające minimalnej wartości zarejestrowanej podczas pomiaru bicia osiowego,

[0024] Dodatkowo można wyznaczyć kąt pochylenia względem pionu samej osi obrotu wałka na podstawie funkcji cyklometrycznej w postaci:

$$p = \arcsin \left[\frac{U_{2max} + U_{2min} - U_{1max} - U_{1min}}{U_{1max} - U_{1min}} \right]$$

[0025] W przypadku wałka o regulowanym nachyleniu bicie osiowe badanego wałka eliminuje się poprzez zmianę orientacji katowej jego osi symetrii względem osi jego obrotu, na podstawie wskazań czujnika. Nie jest wymagane wtedy wielokrotne rejestrowanie napięcia wyjściowego akcelometru podczas obracania wałka o kąt pełny.

[0026] Dla eliminacji bicia w jednej płaszczyźnie wystarczy ustawić wałek w dwóch pozycjach katowych. Dla eliminacji bicia w dwóch płaszczyznach wystarczy ustawić wałek w czterech pozycjach katowych, oddalonych w przybliżeniu do kilku stopni o kąt prosty, przykładowo dwie pozycje w płaszczyźnie poziomej (prawo/lewo) oraz dwie pozycje w płaszczyźnie pionowej (górze/dół). W każdej z pozycji odczytuje się odpowiadające jej napięcie wyjściowe akcelometru - odpowiednio U_0 , U_{90} , U_{180} , U_{270} . Następnie w każdej z tych dwóch płaszczyzn, po ustawieniu odpowiedniego położenia katowego wałka, zmienia się orientację katową jego osi symetrii w taki sposób, że napięcie wyjściowe wskazywane przez akcelometr równe będzie wartości średniej napięć odpowiadających danym wcześniej dwóm przeciwległym położeniom wałka w tej płaszczyźnie (czyli: $(\frac{U_0 + U_{180}}{2})$ albo $(\frac{U_{90} + U_{270}}{2})$).

[0027] Ponieważ występowanie bicia osiowego obracającego się wałka jest bardzo szkodliwe, a często niebezpieczne,

zaproponowany sposób jego eliminacji można wykorzystać w wielu zastosowaniach technicznych, np. w obrabiarkach podczas obróbki elementów o symetrii obrotowej, zwłaszcza w przypadkach, kiedy wartość bicia osiowego może się zmieniać w wyniku zadziałania sił zewnętrznych (np. skrawających), co stwarza potencjalnie niebezpieczną sytuację. Wykorzystanie zaproponowanego sposobu wyznaczania miary bicia osiowego daje nie tylko możliwość określenia jej wartości w momencie pomiaru, ale także możliwość ciągłego jej monitorowania.

[0028] Sposób według wynalazku najlepiej sprawdza się przy wałkach pracujących poziomo z niewielką prędkością obrotową. Przy znacznych prędkościach obrotowych nawet niewielkie niewyważenie spowodowane przez dołączenie urządzenia ma negatywne konsekwencje. Do wykonania pomiaru powinna być możliwość wymuszenia wolnego ruchu obrotowego wałka. Ewentualnie, w przypadku konieczności pracy przy znacznych prędkościach obrotowych pomiar można przeprowadzić po wyważeniu statycznie i dynamicznie czujnika zamontowanego na monitorowanym wałku.