

Dokładność kinematyczna miniaturowych sprzęgieł

Sergiusz Łuczak
Wiesław Czerwiec
Wiesław Mościcki *

W analizie niedokładności precyzyjnych układów napędowych często pomija się błędy powodowane przez zastosowane w nich sprzęgła. Autorzy, podając przykładowe dane z pomiarów niedokładności przekazywania przemieszczenia kąтового przez sprzęgła, zwracają uwagę na konieczność uwzględnienia ich wpływu w obliczeniach niedokładności układów służących do przenoszenia ruchu obrotowego.

Sprzęgła to podstawowe elementy łączące zespoły funkcjonalne urządzeń w jeden łańcuch kinematyczny przenoszący moment obrotowy. W mechanizmach pozycjonujących ich rola jest szczególnie istotna. Dokładność pozycjonowania całego mechanizmu jest bowiem uzależniona nie tylko od dokładności zespołów funkcjonalnych, ale także od wierności przenoszenia kąta obrotu z elementu wyjściowego jednego zespołu na wejściowy kolejnego. Dokładność ta zależy zaś od właściwości kinematycznych sprzęgła. Warto zauważyć, że wiele różnych zespołów funkcjonalnych (np. inkrementalne przetworniki położenia kąтового) cechuje się dokładnością w istotny sposób przewyższającą dokładność wielu rodzajów miniaturowych sprzęgieł.

Informacje spotykane w literaturze przedstawiają zbyt wyidealizowany model sprzęgieł. Modele te pochodzą sprzed wielu lat, zaś obecnie, gdy możliwości pomiarowe oraz obliczeniowe są zdecydowanie większe, należałoby zweryfikować ich przydatność, a przede wszystkim prawdziwość. A zatem oszacowanie dokładności pozycjonowania mechanizmu na etapie jego projektowania wymaga danych, z katalogów firmowych lub z własnych badań, o odchyłkach kinematycznych istotnych zespołów i elementów w łańcuchu kinematycznym mechanizmu. W odniesieniu do sprzęgieł jest to informacja o tym, jak dużą odchyłkę kąta obrotu członu biernego może spowodować sprzęgło, a także czy i jaki jest wpływ kierunku prędkości kątowej i obciążenia na wartość tej odchyłki.

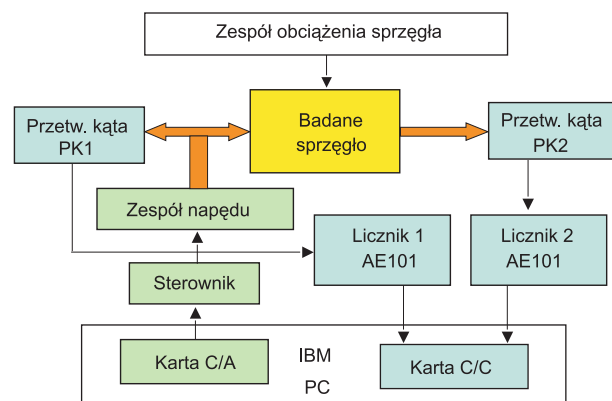
Odchylenie kinematyczne sprzęgła jest rozumiane jako różnica pomiędzy kątem obrotu wałka biernego, który jest napędzany przez połączenie z wałkiem czynnym za pomocą badanego sprzęgła, a kątem obrotu zadanym na wałku czynnym. Określone jest ono jako wielkość kątowa mierzona w funkcji kąta obrotu wałka czynnego. Maksymalne odchylenie kinematyczne to odchyłka kinematyczna badanego sprzęgła.

Dokładność kinematyczna sprzęgieł może być określona na podstawie porównania ich odchyłek kinematycznych przy ruchu jednokierunkowym oraz luzu martwego przy ruchu nawrotnym. W obu przypadkach pomiar powinien być realizowany przy stałym obciążeniu i niewielkiej prędkości obrotowej (poniżej 0,5 obr/min), co eliminuje wpływ zjawisk dynamicznych.

Stanowisko badawcze

Podstawowymi elementami stanowiska badawczego (rys. 1) są inkrementalne przetworniki położenia kąтового IDW 2/16384 współpracujące z elektronicznym licznikiem AE 101 firmy Jenoptik Carl Zeiss JENA. W drugiej wersji stanowiska jeden z przetworników zastąpiono podzielnicą optyczną tej samej firmy.

Badane sprzęgło jest osadzone bezpośrednio na wałkach przetworników położenia kąтового PK1 i PK2. Zespół napędowy to przekładnia ślimakowa napędzana ręcznie lub silnikiem elektrycznym prądu stałego. Na wałku biernym jest osadzony zespół zadawania obciążenia i jednoczesnego kasowania luzu zarówno w badanym sprzęgle, jak i w przekładni ślimakowej. Przetwornik PK1 wraz z układem napędu, podobnie jak przetwornik PK2 z układem zadawania obciążenia, są osadzone na płycie podstawy poprzez zespoły regulacji położenia odpowiednio wałka czyn-



Rys. 1. Schemat budowy stanowiska do badania dokładności kinematycznej miniaturowych sprzęgieł

* dr inż. S. Łuczak, dr inż. W. Czerwiec i dr inż. W. Mościcki są adiunktami w Instytucie Mikromechaniki i Fotoniki na Wydziale Mechatroniki Politechniki Warszawskiej

nego (PK1) i wałka biernego (PK2). Oba zespoły regulacji (nie pokazane na schemacie) służą do justowania stanowiska, czyli do ustawienia wałka czynnego równoległe i współosiowo z wałkiem biernym. Tymi samymi mechanizmami zadaje się także niewspółosiowość i przekoszenie wałków w trakcie pomiarów niedokładności sprzęgieł.

W systemie sterowania pracą stanowiska i automatycznej akwizycji wyników pomiarów, zbudowanym na bazie komputera IBM PC, zastosowano dwie karty kontrolno-pomiarowe: cyfrową C/C współpracującą z licznikami L1 i L2 oraz cyfrowo-analogową C/A do kontroli pracy zespołu napędowego za pośrednictwem specjalizowanego sterownika. Osadzenie badanego sprzęgła na wałkach przetworników sprawia, że dokładność pomiaru odchylenia kinematycznego tego sprzęgła wynika jedynie z dokładności pomiaru kątów obrotu wałka czynnego i biernego. Układ akwizycji nie wnosi błędów, gdyż impuls sterujący podawany z zewnątrz, inicjując procedurę zapamiętania i zapisania wyników pomiarów, powoduje jednocześnie zablokowanie wskazań liczników związanych z przetwornikami PK1 i PK2. Niedokładność pomiaru odchylenia kinematycznego sprzęgieł, wynikająca z odchyłek pomiaru odpowiednich kątów obrotu, wynosi $\Delta F' = \pm 2''$ (sekundy kątowe).

Stanowisko badawcze umożliwia realizację następujących czynności:

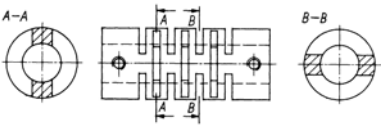
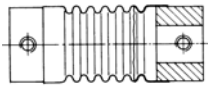
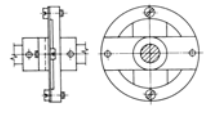
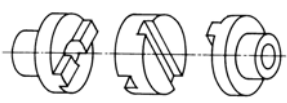
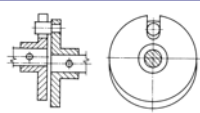
- zadawanie dowolnego położenia kąowego badanego sprzęgła w obrębie kąta pełnego z dokładnością $1''$ (lub $3''$ w drugiej wersji stanowiska)
- pomiar położenia kąowego drugiego końca badanego sprzęgła z dokładnością $1''$
- zadawanie mimośrodowości wałków podzielnicy i przetwornika z dokładnością $0,01$ mm w zakresie $0,5$ mm (lub $14,5$ mm w drugiej wersji stanowiska)
- zadawanie przekoszenia wałków podzielnicy i przetwornika z dokładnością $0,5'$ w zakresie $0,5^\circ$ (lub $6'$ w zakresie $3,2^\circ$ w drugiej wersji stanowiska)
- zadawanie obciążenia sprzęgła momentem obrotowym.

Przed przystąpieniem do pomiaru dokładności kinematycznej sprzęgła przeprowadzano justowanie stanowiska badawczego, które polegało na ustawieniu współosiowo wałka czynnego i biernego, ponieważ na dokładność pomiaru odchylenia kinematycznego sprzęgła mają także wpływ odchyłki ustawienia osi wałków. Po kilkakrotnie wykonanej procedurze justowania początkową niewspółosiowość wałków można ustawić nie gorszą niż $\Delta e = 0,005$ mm.

Wyniki badań eksperymentalnych wybranych sprzęgieł

Do badań wybrano najczęściej stosowane w mechanice precyzyjnej rozwiązania konstrukcyjne miniaturowych sprzęgieł, a mianowicie: tulejowe z nacięciami, mieszkowe, membranowe, Oldhama (z wkładką mosiężną oraz polimerową), tarczowe [1]. Sprzęgła te są przedstawione w tabeli 1.

Tabela 1. Odchyłki kinematyczne miniaturowych sprzęgieł wyrażone w minutach kątowych

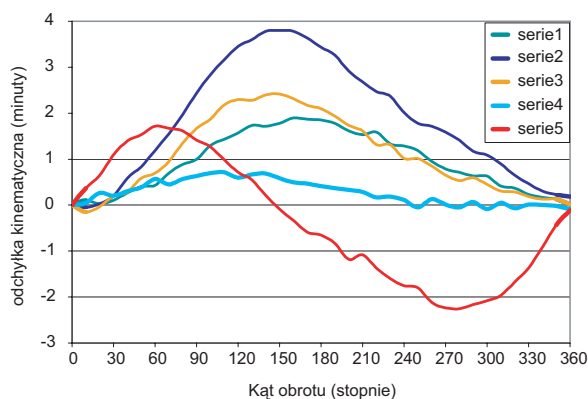
Rodzaj sprzęgła	Schemat [1]	Wymiary (d x l)	Ustawienie wałków			
			I	II	III	IV
Tulejowe z nacięciami		25x35	0,85'	1,82'	1,92'	0,84'
		14x44	1,90'	4,02'	2,57'	-
Mieszkowe		25x40	0,86'	3,21'	2,02'	0,55'
		22x34	0,37'	0,93'	-	-
		24x36	0,67'	2,27'	1,53'	-
Membranowe		90x40	3,51'	3,12'	2,85'	2,36'
Oldhama		25x30	5,85'	4,20'	6,76'	0,66'
		25x26	1,28'	2,10'	5,2'	0,87'
Tarczowe		25x20	-	186,4'	-	40,28'

Oznaczenia: d – średnica sprzęgła, l – długość sprzęgła, I – współosiowość wałków ($e < 0,005$ mm; $\alpha < 0,5^\circ$), II – mimośrodowość wałków ($e = 0,2$ mm), III – przekoszenie wałków ($\alpha = 0,5^\circ$), IV – obciążenie sprzęgła ($M = 0,1$ Nm)

Podczas realizacji badań doświadczalnych przeprowadzonych w ramach prac [2, 3] zbadano wpływ następujących czynników na przebieg odchylenia kinematycznego sprzęgieł:

- mimośrodowość łączonych wałków
- przekoszenie łączonych wałków
- obciążenie momentem obrotowym,
- interakcje pomiędzy mimośrodowością, przekoszeniem i obciążeniem
- zmiany kierunku obrotów sprzęgła (zjawisko histerezy w nawrocie)
- sposób zamocowania na łączonych wałkach (np. wprowadzenie sił osiowych obciążających sprzęgło)
- orientacja geometryczna względem błędów współosiowości łączonych wałków.

Przykładowy przebieg odchylenia kinematycznego (sporządzony dla sprzęgła tulejowego z nacięciami przy różnych warunkach pracy) przedstawiono na rys. 2.



Rys. 2. Odchylenie kinematyczne sprzęgła tulejowego z nacięciami: 1 – wałki współosiowe, 2 – wałki mimośrodowe ($e = 0,2 \text{ mm}$), 3 – wałki przekoszone ($\alpha = 0,5^\circ$), 4 – wałki mimośrodowe i przekoszone ($e = 0,2 \text{ mm}$; $\alpha = 0,5^\circ$), 5 – sprzęgło obrócone o 90° względem mimośrodu, wałki mimośrodowe ($e = 0,2 \text{ mm}$)

Na podstawie przebiegów odchylenia kinematycznego uzyskanych dla różnych sprzęgieł można sformułować następujące wnioski:

- wprowadzenie niewspółosiowości wałków (mimośrodowości lub przekoszenia) powoduje zwiększenie odchyłki kinematycznej sprzęgła
- istnieją interakcje pomiędzy mimośrodowością a przekoszeniem wałków. W zależności od rodzaju sprzęgła oraz ich wzajemnej orientacji geometrycznej można zaobserwować wzrost lub zmniejszenie odchyłki kinematycznej sprzęgła
- zjawisko histerezy nie ma zbyt dużego wpływu na zwiększenie odchyłki kinematycznej sprzęgła
- położenie katowe sprzęgła względem mimośrodu i przekoszenia wałków ma wpływ na przebieg odchylenia kinematycznego. Co prawda nie ma istotnego wpływu na wartość odchyłki kinematycznej, ale powoduje przesunięcie fazowe całego przebiegu.

Wartości odchyłek kinematycznych badanych sprzęgieł są zestawione w tabeli 1. Wartości maksymalnych odchyłek wszystkich sprzęgieł są zdecydowanie mniejsze od odchyłek dla sprzęgła tarczowego. Świadczy to o wpływie tych sprzęgieł na kompensowanie niewspółosiowości wałków. Wynika stąd, że sprzęgło tarczowe zupełnie nie nadaje się do dokładnego przenoszenia kąta obrotu, gdyż jak wiadomo nie ma ono żadnej możliwości kompensacji niewspółosiowości wałków.

W przypadku sprzęgła mieszkowego zaobserwowano bezpośrednio (algebraiczne) sumowanie wartości odchylenia kinematycznego pochodzącego od niewspółosiowości i od przekoszenia osi. Charakter przebiegu uzyskanego przez zsumowanie wykresów składowych był zgodny z wykresem otrzymanym z bezpośredniego pomiaru. Dla sprzęgła Oldhama w analogicznym przypadku zaobserwowano, że odchylenie kinematyczne przybierało większe wartości niżby to wynikało z bezpośredniego sumowania odchyłek składowych. Natomiast w badaniu sprzęgła tulejowego z nacięciami stwierdzono spadek wartości odchylenia kinematycznego przy takim samym ustawieniu osi łączonych wałków. We wszystkich przypadkach odchyłki położenia osi wałków były zadawane w jednej płaszczyźnie.

Możliwości zwiększenia dokładności kinematycznej sprzęgła

Przedstawione na rys. 2 wykresy odchylenia kinematycznego dla sprzęgła tulejowego z nacięciami przy różnych warunkach pracy sprzęgła, podobnie jak w przypadku pozostałych sprzęgieł (z wyjątkiem sprzęgła Oldhama), mają przebieg cyklicznie zmienny, przyjmujący na ogół ponownie te same wartości po pełnym obrocie wałka czynnego. W związku z tym istnieje możliwość przeprowadzenia procesu wzorcowania danego egzemplarza sprzęgła, dzięki czemu daje się wyznaczyć zmienność składowej systematycznej odchylenia kinematycznego. Należy jednak pamiętać o tym, że proces wzorcowania musi przebiegać w takich samych warunkach, jak praca sprzęgła w urządzeniu docelowym (te same wartości oraz orientacja geometryczna mimośrodowości i przekoszenia wałków). Poza tym, przy montażu sprzęgła w urządzeniu docelowym trzeba zadbać o to, by miało ono takie samo położenie katowe względem mimośrodu i przekoszenia wałków, a także by znana była jego orientacja względem wałka czynnego.

Po uwzględnieniu wyznaczonej w procesie wzorcowania składowej stałej odchylenia kinematycznego (aproxymując je np. wielomianem wyższego stopnia) można zrezygnować z określania dokładności kinematycznej sprzęgła na podstawie odchyłki kinematycznej, która jest w tym przypadku rozstępem. Za pomocą odpowiednich testów statystycznych należy wtedy dobrać najlepiej dopasowaną statystykę

matematyczną (najlepiej rozkład normalny) i określać błąd sprzęgła na przyjętym poziomie ufności (np. 0,95).

Warto tutaj podkreślić, że zwiększenie obciążenia sprzęgła w większości przypadków zmniejsza jego odchyłkę kinematyczną [2, 3]. Poza tym, jak wynika z przeprowadzonych przez autorów badań, odpowiednie złożenie geometryczne błędów współosiowości wałków, na których osadzono sprzęgło może spowodować mniejszą wartość odchyłki niż w przypadku występowania tylko jednego z nich. W związku z tym, w niektórych przypadkach może się okazać, że korzystnym będzie zwiększenie obciążenia sprzęgła (choćby przez odpowiedni sposób zamocowania) oraz celowe wprowadzenie dodatkowej niewspółosiowości wałków.

Podsumowanie

W artykule opisano badania doświadczalne, które miały na celu wyznaczenie odchyłek kinematycznych powszechnie stosowanych miniaturowych sprzęgieł. Wartości tych odchyłek są rzędu pojedynczych minut kątowych. Biorąc pod uwagę fakt, że dokładności przetworników pomiarowych kąta są często rzędu sekund kątowych, należy w takich przypadkach poszukiwać innych, bardziej precyzyjnych rodzajów sprzęgieł, np. bardziej rozbudowanych sprzęgieł podatnych ze sprężynami płaskimi.

Przedstawiono też czynniki, które mają istotny wpływ na odchyłkę kinematyczną sprzęgła. Dzięki uzyskanym wynikom jest możliwy poprawny dobór sprzęgła do danej aplikacji, w przypadku gdy najważniejszym kryterium jest dokładność kinematyczna sprzęgła. W najbliższej przyszłości planuje się kontynuowanie rozpoczętych badań, których celem będzie przetestowanie liczniejszych próbek różnego rodzaju sprzęgieł, a także bardziej szczegółowe poznanie wpływu czynników oddziałujących na ich dokładność kinematyczną.

Bibliografia

1. Praca zbiorowa pod kier. W. Oleksiuka, *Konstrukcja przyrządów i urządzeń precyzyjnych*, WNT, Wyd. I, Warszawa, 1997, s. 522-524.
2. *Optymalizacja dokładności kinematycznej systemów napędowych w urządzeniach mechatroniki*, Sprawozdanie z realizacji grantu KBN nr 7S10106507, Kierownik grantu Z. Mrugalski, Instytut Mikromechaniki i Fotoniki, Warszawa, 1996.
3. W. Mościcki, W. Czerwiec, *Badanie dokładności kinematycznej miniaturowych sprzęgieł*, III Konferencja Naukowo-Techniczna Mechatronika '97, Warszawa, 1997, PW, Prace naukowe. Konferencje, z. 14, WPW, s. 547-552. ■

Czy rozmyślania o bezpieczeństwie wystarczą?



-już nie...

Zapewniamy konsultację przy doborze systemu bezpieczeństwa odpowiedniego do Twoich potrzeb.



Contec Sp. z o.o. to niezależna firma handlowa specjalizująca się w automatyce przemysłowej, a dokładniej w znajdowaniu odpowiedniego produktu dla dowolnego procesu automatyki. Jesteśmy szczególnie skoncentrowani na osiągnięciu najwyższego na rynku poziomu świadczonych usług. Oznacza to, że staramy się znaleźć rozwiązanie dla każdego odbiorcy, który się z nami skontaktuje - nie tylko „rozwiązanie”, ale „możliwie najodpowiedniejsze rozwiązanie”. To dlatego nasi klienci oceniają nas jako swoich partnerów w automatyce. Na nas można polegać.

CONTEC®

Your Partner in Automation

ul. Lipowa 7, PL 62-052 Komorniki. Tel. +48 (0) 61 810 83 50
fax +48 (0) 61 810 84 45, e-mail: biuro@contec.net.pl www.contec.net.pl