

Sławomir MICHALAK, Edward RACZYŃSKI, Andrzej SZELMANOWSKI

INSTYTUT TECHNICZNY WOJSK LOTNICZYCH – WARSZAWA

Metoda wahadła torsyjnego w badaniach czujników prędkości kątowej statku powietrznego

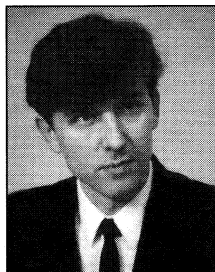
Dr inż. Sławomir MICHALAK

– jest kierownikiem pracowni systemów automatycznego sterowania lotem w Instytucie Technicznym Wojsk Lotniczych. Ukończył Instytut Inżynierów Lotnictwa Cywilnego w Rydze (1984), doktoryzował się w Instytucie Technicznym Wojsk Lotniczych (1998). Specjalizuje się w automatyce lotniczej, a w szczególności zajmuje się diagnostyką systemów automatycznego sterowania lotem statków powietrznych.



Mgr inż. Andrzej SZELMANOWSKI

– jest absolwentem Wojskowej Akademii Technicznej (1988), a od 1992 pracownikiem naukowo-badawczym w Instytucie Technicznym Wojsk Lotniczych. Zajmuje się projektowaniem, budową i badaniami stanowisk wolnoobrotowych oraz badaniami systemów automatycznego sterowania lotem, systemów nawigacji inercyjnej i orientacji przestrzennej.



Mgr inż. Edward RACZYŃSKI

– jest absolwentem Politechniki Warszawskiej (1971), a od 1993 pracownikiem technicznym w Instytucie Technicznym Wojsk Lotniczych. Zajmuje się projektowaniem i badaniami pokładowych rejestratorów parametrów lotu, budową i badaniami stanowisk wolnoobrotowych oraz badaniami systemów nawigacji inercyjnej i orientacji przestrzennej.



Streszczenie

W referacie omówiono wymagania i metody badań lotniczych czujników prędkości kątowej oraz ich ograniczenia. Jako jedno z rozwiązań problemu ich wzorcowania zaproponowano metodę wahadła torsyjnego. Opisano zbudowane w ITWL stanowisko SWT-1 oraz uzyskiwane przebiegi prędkości kątowej. Dla wykazania skuteczności metody przedstawiono przykładowe wyniki badań i wzorcowania czujników I-1426 firmy SFIM.

Abstract

Requirements and methods of testing as well as operating limitations of angular - rate sensors are presented in the paper. The method of torsion pendulum has been proposed as one of the solution of their scaling. Stand SWT-1 designed in ITWL and obtained values of angular velocity are described. The results of testing and scaling of sensors I-1426 (SFIM) have been represented for proving of this method's efficiency.

Wstęp

Czujniki prędkości kątowej statku powietrznego wykorzystywane są m.in. w systemach nawigacji inercyjnej, systemach automatycznego sterowania lotem oraz jako elementy pomiarowe w systemach do badań statków powietrznych w locie [1]. Z analizy czujników wykorzystywanych w tych systemach można stwierdzić, że dla systemów INS (ang. inertial navigation system) ich błąd nie przekracza $0.001^\circ/h$, zaś dla systemów AHRS (ang. attitude and heading reference system) - odpowiednio $0.1^\circ/h$.

Przykładem współczesnych czujników prędkości kątowej, wykorzystujących zaawansowaną technologię, są wnękowe „żyroskopy” laserowe RLG (ang. ring laser gyro), wykorzystywane np. w systemie nawigacji inercyjnej INS TOTEM firmy Sextant Avionique, oraz „żyroskopy” światłowodowe FOG (ang. fiber optic gyro), zabudowane np. w systemie odniesienia kursu i pionu AHRS LCR-92 firmy Litef.

Dla zapewnienia pomiarów parametrów ruchu obiektu (np. parametrów lotu statku powietrznego), współczesne czujniki i tory

pomiarowe charakteryzują się pasmem przenoszenia o górnej częstotliwości od ok. 100 Hz (żyroskopy mechaniczne), do ok. 1 MHz („żyroskopy” optyczne). Do badań klasycznych (kardanowych) żyroskopów mechanicznych, o czułości rzędu $0.1^\circ/s$, wykorzystywane są specjalne stanowiska wolnoobrotowe, wytwarzające ustalone wartości prędkości kątowej.

Jednak rozwój techniczny czujników prędkości kątowej (żyroskopy strojone dynamicznie i „żyroskopy” optoelektroniczne), a zwłaszcza zwiększenie ich czułości do prędkości obrotu Ziemi i mniejszych spowodowało, że eksploatowane dotychczas stanowiska nie zapewniają właściwych ich badań z uwagi na wysoki poziom zaburzeń wytwarzanej w nich prędkości kątowej dla wartości poniżej $1^\circ/s$ [2].

Dokładne określenie parametrów tych czujników jest sprawą istotną, gdyż ich niedokładności, takie jak błąd określenia współczynnika skali, szum pomiarowy, ujęcie wskazań w czasie (tzw. dryft), czy błędy dynamiczne powodują z kolei niedokładności określania pozycji statku powietrznego oraz błędy pomiaru prędkości kątowych statku powietrznego mają wpływ na niewłaściwy przebieg procesów regulacji w układach automatycznego sterowania [3].

Badania przy wymuszeniu zakłóconą prędkością kątową praktycznie uniemożliwiają dokładne określenie tych błędów. Wydaje się jednak, że zbudowane w ITWL unikalne wychyłowe stanowisko wolnoobrotowe [4], bazujące na wahadle torsyjnym, może zapewnić wymaganą dokładność badań. Stanowisko to jest obecnie wykorzystywane do badań żyroskopów mechanicznych i optycznych czujników prędkości kątowej.

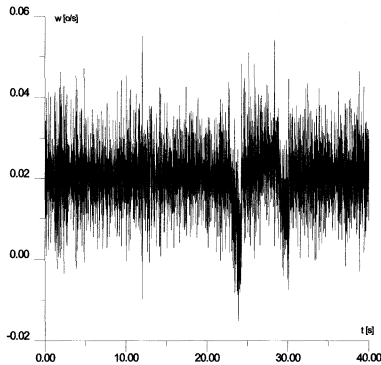
Dotychczasowe metody badań czujników i ich ograniczenia

Jednym z decydujących wymagań stawianych współczesnym czujnikom prędkości kątowej wykorzystywanym na pokładzie statku powietrznego jest odpowiednia czułość i stabilność współczynnika skali. Wśród dotychczasowych metod badań tych czujników najczęściej stosowana jest metoda wymuszeń ustalonych, choć - w zależności od możliwości metrologicznych laboratorium - wykorzystywane są także inne metody, jak np. metoda polegająca na porównywaniu sygnałów czujnika badanego i czujnika wzorcowego, przy zadanym ręcznym wymuszeniu kątowym.

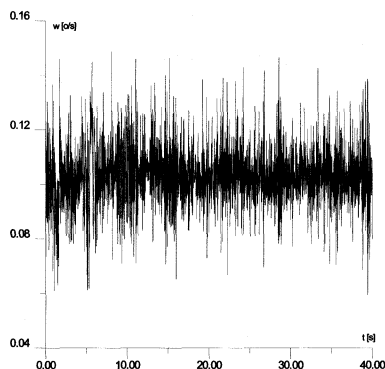
Jak przewidują dotychczas wykorzystywane metodyki, do wzorcowania czujników prędkości kątowej wykorzystywana jest metoda wymuszeń ustalonych, polegająca na wytwarzaniu ustalonej prędkości kątowej (wymuszenia) w osi pomiarowej czujnika i obserwa-

cji sygnału wyjściowego, jako odpowiedzi na zadane wymuszenie. Przypisanie wartości odpowiedzi do wartości wymuszenia wiąże się z wyznaczeniem współczynnika skali. W czasie eksploatacji czujnika, umożliwia on obliczanie wartości prędkości kątowej obiektu z zabudowanym czujnikiem na podstawie informacji o sygnale wyjściowym (np. napięciu).

W metodzie wymuszeń ustalonych wykorzystywane są stanowiska wolnoobrotowe, jak np. eksploatowane w lotnictwie SZ RP stanowiska typu UPG-48, UPG-56. Jednak, jak wykazały badania [5] (rys. 1 i 2), zmierzone przebiegi chwilowej prędkości kątowej, wytwarzanej w tych stanowiskach charakteryzuje wysoki poziom zakłóceń. Jest on na tyle duży, że praktycznie uniemożliwia badania i wzorcowanie czujników w zakresie prędkości poniżej 1°/s.



Rys. 1. UPG-56 - przebieg 0.02 [°/s]



Rys. 2. UPG-56 - przebieg 0.1 [°/s]

Wysoki poziom wahań spowodowany jest niedokładnościami wykonawczymi i montażowymi elementami obrotowych stanowiska. Ich zmniejszenie ograniczone jest barierą technologiczną, której przekroczenie wiąże się z dużymi nakładami sił i środków. Dostępna dokładność wykonawcza elementów w eksploatowanych stanowiskach oceniana jest na 0.001 mm, co nie zapewnia wg [5] uzyskania w nich płynnego ruchu wolnoobrotowego. Dodatkowym źródłem zakłóceń są zjawiska dynamiczne, zachodzące w czasie obracania się poszczególnych elementów kinematycznych stanowiska. Są to zjawiska z reguły takie, jak nieliniowe zmiany sztywności zazębienia, luzy międzyzębów, czy tarcie suche w łożyskach. Tak więc, jak dotąd, brak jest odpowiedniej jakości stanowisk wolnoobrotowych, wytwarzających ustalone prędkości kątowe, umożliwiającą wzorcowanie współczesnych czujników prędkości kątowej w ich dolnych zakresach pomiarowych.

Opis teoretyczny metody wahań torsijskiego

W zakresie prędkości do 15°/h w procesie wzorcowania czujników można wykorzystywać składową prędkości obrotu Ziemi, po-

przez odpowiednie ustawienie kątownego czujnika na stole przechylnym. Natomiast powyżej tej prędkości istnieje, jak wykazano w [5], „luka metrologiczna” sięgająca praktycznie do 1°/s.

Jako rozwiązanie problemu wzorcowania współczesnych czujników prędkości kątowej (w tym żyroskopów strojonych dynamicznie oraz laserowych i światłowodowych czujników prędkości kątowej) zaproponowano metodę wahań torsijskiego [4], wytwarzającego prędkość kątową o przebiegu harmonicznym wg $\omega(t) = \omega_0 \sin(2\pi ft)$, gdzie ω_0 oznacza amplitudę, zaś f - częstotliwość zmian wytwarzanej prędkości kątowej.

Metoda wahań torsijskiego polega na badaniu (a w tym wzorcowaniu) czujników prędkości kątowej w warunkach wymuszeń dynamicznych, w oparciu np. o zbudowane w ITWL obrotowe stanowisko wychyłowe, oznaczone jako SWT-1.

Sygnał wyjściowy z badanego czujnika, charakteryzujący wartość mierzonej prędkości kątowej harmonicznie zmiennej można przedstawić w postaci:

$$u(t) = F[\omega(t)] = F[\omega_0 \sin(2\pi ft)] \quad (1)$$

gdzie:

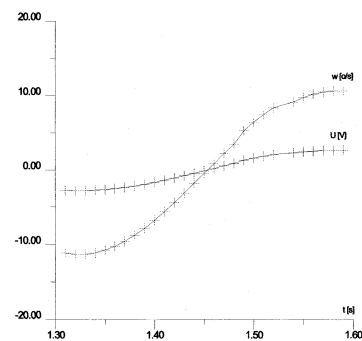
$u(t)$ – chwilowa wartość sygnału wyjściowego z badanego czujnika w chwili czasu t ;

$\omega(t)$ – chwilowa prędkość kątowa platformy obrotowej stanowiska w chwili czasu t ;

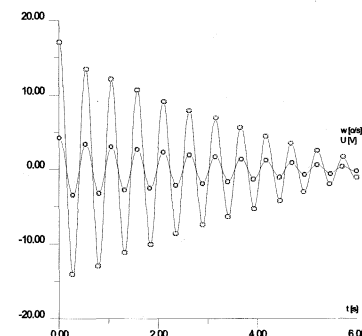
$F[\omega(t)]$ – funkcja określająca zależność między wymuszeniem a odpowiedzią czujnika.

Następnie, wykorzystując metodę „jednego półokresu” lub metodę „kolejnych ekstremów” przy określaniu bieżącej wartości prędkości kątowej, można otrzymać charakterystykę, określającą zależność pomiędzy wymuszeniem a odpowiedzią czujnika.

Metoda „jednego półokresu” (rys.3.) polega na określeniu punktów pomiarowych poprzez skorelowanie (synchronizację czasową) wartości prędkości kątowej wytwarzanej w stanowisku oraz wartości sygnału wyjściowego z czujnika (np. napięcia) w tych samych chwilach czasu, w ciągu jednego półokresu zmiany prędkości kątowej. Wartości prędkości kątowej mogą być określone z zależności teoretycznych w ruchu harmonicznym, lub też przy wykorzystaniu wzorcowego czujnika prędkości kątowej.



Rys. 3. Metoda „jednego półokresu”



Rys. 4. Metoda „kolejnych ekstremów”

Z kolei w metodzie „kolejnych ekstremów” (rys.4.) punkty pomiarowe określane są przez wykonanie serii pomiarów amplitudy prędkości i sygnału wyjściowego z czujnika w kolejnych wychyleniach platformy obrotowej stanowiska.

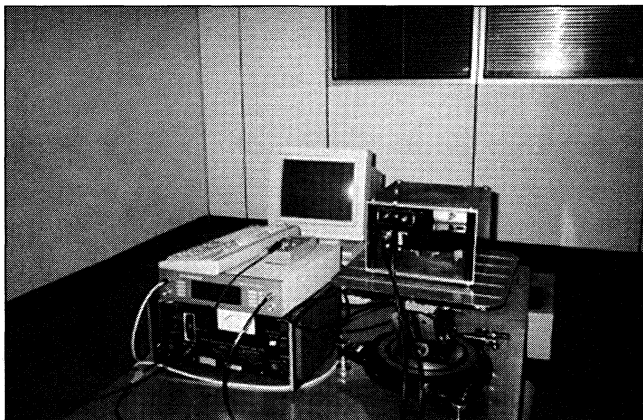
Dzięki zastosowaniu wymuszenia harmonicznego, metoda wahadła torsyjnego pozwala na badanie także stanów dynamicznych czujnika, czego nie umożliwia metoda wymuszeń ustalonych. Poprzez zmianę parametrów dynamicznych wahadła (okresu wahań), metoda ta pozwala również wyznaczać transmitancję czujnika, a w tym zmianę współczynnika wzmocnienia w zależności od częstotliwości wymuszenia. Informacja ta jest szczególnie istotna dla systemów automatycznego sterowania lotem statku powietrznego.

Stanowisko SWT-1 ITWL jako wahadło torsyjne

W celu realizacji przedstawionej wyżej metody, w ITWL zbudowano stanowisko SWT-1 (rys.5.), wykorzystujące wahadło torsyjne. Do jego badań, a w tym określenia parametrów wytwarzanego ruchu obrotowego do pomiaru bieżącej wartości wytwarzanej w stanowisku prędkości kątowej użyto światłowodowego czujnika GS-13P WAT (rys.6.).



Rys. 5. Widok stanowiska SWT-1



Rys. 6. Widok czujnika GS-13P

Stanowisko SWT-1 składa się z platformy obrotowej zawieszanej na drucie sprężynowym (zawieszce sprężystej), umożliwiającej otrzymanie momentu skrętnego, proporcjonalnego do kąta wychylenia platformy względem położenia równowagi statycznej (położenia spoczynkowego).

Zależność określającą wartość momentu skrętnego można przedstawić w postaci:

$$M_{spr} = K_{spr} \Delta\alpha \quad (2)$$

gdzie:

M_{spr} - moment skrętny (moment napędowy wahadła torsyjnego);
 K_{spr} - współczynnik sztywności skrętnej zawieszki sprężystej;
 $\Delta\alpha$ - kąt wychylenia platformy od położenia równowagi statycznej.

W celu zapewnienia właściwego ustawienia osiowego platformy obrotowej, jest ona osadzona w łożyskach tocznych o małym momencie oporowym i o stałym współczynniku tarcia. W zależności od zastosowanej zawieszki sprężystej możliwe jest uzyskanie od kilkudziesięciu do kilkuset wahań przy początkowym wychyleniu platformy obrotowej o kąt 180° . Jak wykazały badania [4], wartość współczynnika charakteryzującego tłumienie układu zawiera się w przedziale od 0.003 (dla platformy w konfiguracji podstawowej) do 0.03 (z dodatkowymi płytami oporowymi). Zmiana bezwładności platformy, sztywności drutu lub zwiększenie momentu oporowego powoduje zmianę okresu wahań platformy w zakresie od dziesiątych części Hz do kilkunastu Hz. Pozwala to na badania właściwości dynamicznych czujników, a w tym określenia pasma przenoszenia, opóźnienia i zależności współczynnika wzmocnienia od częstotliwości wymuszenia.

Przebieg wartości wytwarzanej w stanowisku SWT-1 prędkości kątowej można określić na drodze teoretycznej, na podstawie znajomości kąta wychylenia początkowego i okresu wahań platformy obrotowej. Zależności teoretyczne określające parametry wytwarzanego ruchu harmonicznego można przedstawić w postaci:

- wartość średnia prędkości kątowej w jednym półokresie:

$$\omega_{sr} = 0.637 \omega_{max} \quad (3)$$

gdzie: ω_{max} - wartość maksymalna wytwarzanej prędkości kątowej;

- wartość okresu wahań platformy obrotowej:

$$T = 2\pi (K/J)^{0.5} = 4\pi / \omega_{sr} \quad (4)$$

gdzie: K - sztywność zawieszki; J - moment bezwładności platformy obrotowej;

- wartość dopuszczalnego kąta skręcenia zawieszki:

$$\alpha_{max} = \tau_{max} 2L / G D \quad (5)$$

gdzie:

τ_{max} - dopuszczalne naprężenie skrętne zawieszki; L , D - odpowiednio długość i średnica zawieszki; G - współczynnik sprężystości poprzecznej zawieszki.

Na skutek występujących momentów oporowych (łożyskowania i aerodynamicznych) rzeczywisty przebieg zarówno wytwarzanej prędkości kątowej, jak i prędkości kątowej platformy obrotowej jest tłumiony i może być określony następującą zależnością:

- wartość chwilowa drogi kątowej:

$$\alpha(t) = \alpha_0 e^{-\delta t} \cos(2\pi f t) \quad (6)$$

gdzie:

α_0 - początkowy kąt wychylenia platformy od położenia spoczynkowego; f - częstotliwość wahań platformy; δ - współczynnik tłumienia.

- wartość chwilowa prędkości kątowej:

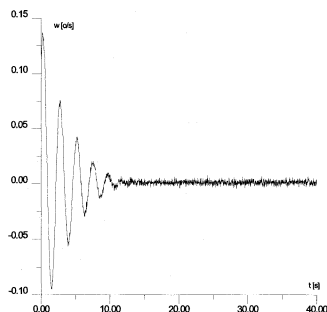
$$\omega(t) = \omega_0 e^{-\delta t} \sin(2\pi f t) = 2\pi f \delta a_0 e^{-\delta t} \sin(2\pi f t) \quad (7)$$

Dla przyjętych parametrów konstrukcyjnych otrzymano wartość maksymalną wytwarzanej prędkości kątowej rzędu $400^\circ/s$, przy dopuszczalnym kącie skręcenia zawieszki równym 180° . Jak wykazały badania, tłumienie układu jest na tyle małe, że zniekształcenie krzywej rzeczywistej wytwarzanej prędkości kątowej w stosunku do przebiegu harmonicznego w jednym półokresie nie

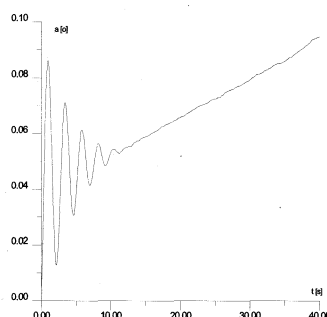
wpływa na dokładność pomiaru. Z przeprowadzonej analizy błędów pomiaru [4] wynika, że decydujący wpływ na dokładność pomiaru ma dokładność ustawienia badanego czujnika na platformie obrotowej (niesymetryczność). Dla założonych dopuszczalnych wartości niedokładności ustawienia czujnika (1°) błąd ten nie przekracza 0,01% wartości mierzonej.

Przebiegi wytwarzanej prędkości kątowej można otrzymać także przy wykorzystaniu wzorcowego czujnika prędkości kątowej. Poniżej zaprezentowano przebiegi otrzymane za pomocą światłowodowego czujnika GS-13P, zbudowanego w IFT WAT, wykorzystującego wzmacniacz Lock-in EG&G 7260 oraz komputer klasy IBM-PC [5]. Czujnik ten charakteryzuje się zakresem pomiarowym do $100^\circ/\text{s}$, czułością rzędu $1.5^\circ/\text{h}$ oraz pasmem przenoszenia do 100 Hz. Dryft czujnika dochodzi do $7.5^\circ/\text{h}$, jednak przy pomiarach krótkotrwałych (w czasie do 60 sekund) nie przekracza $0.1^\circ/\text{h}$, czyli czułości czujnika. Planowany zakup wzmacniacza Lock-in SR 811 pozwoli na zwiększenie zakresu pomiarowego do $400^\circ/\text{s}$, czułości do $0.1^\circ/\text{h}$ oraz rozszerzenie pasma przenoszenia do 10 kHz.

O jakości metrologicznej stanowiska SWT-1 może świadczyć fakt, że wytwarzana prędkość kątowa zachowuje swój harmoniczny charakter do wartości poniżej prędkości obrotu Ziemi. Zastosowanie wysokiej jakości łożysk oraz specjalnie wykonanego drutu sprężynowego pozwoliło na otrzymanie małej histerezy naprężeń mechanicznych. Dodatkowo wykorzystanie układu zawieszkowego umożliwiło wyeliminowanie sił promieniowych działających na łożyska. Jak pokazano - rys.7. i 8., dla małych wartości wytwarzanej prędkości kątowej oscylacje wchodzą w szum pomiarowy czujnika, który „widzi” prędkość obrotu Ziemi (co widać w postaci liniowo narastającego przebiegu drogi kątowej).



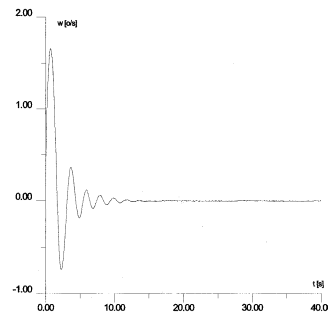
Rys. 7. SWT-1 – przebieg prędkości



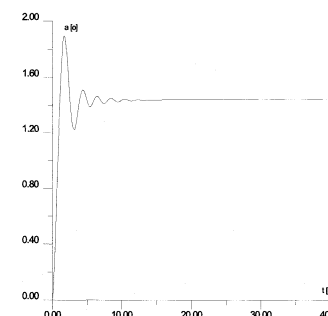
Rys. 8. SWT-1 – przebieg drogi kątowej

Zwiększenie progu kwantowania (zmniejszenie czułości czujnika) powoduje, że czujnik „nie widzi” obrotu Ziemi (rys.9. i rys.10.), stąd może być wykorzystywany jako czujnik wzorcowy do badań i wzorcowania czujników położenia kątowego.

Jak wykazano w badaniach [4, 5], zbudowane stanowisko SWT-1 może wytwarzać prędkości kątowe harmonicznie zmienne w zakresie od 0 do $400^\circ/\text{s}$, co wypełnia „lukę metrologiczną”, stąd może ono być wykorzystywane do badań i wzorcowania współczesnych



Rys. 9. SWT-1 – przebieg prędkości



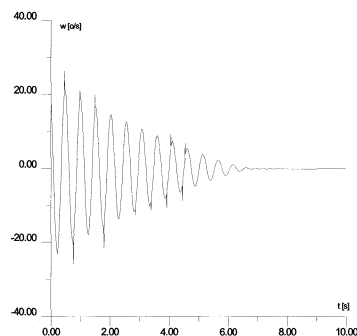
Rys. 10. SWT-1 – przebieg drogi kątowej

czujników prędkości kątowej o czułości rzędu prędkości obrotu Ziemi.

Badania czujników prędkości kątowej typu I-1426 SFIM

Dla wykazania skuteczności metody przedstawiono wyniki badań oraz wzorcowania czujników I-1426 firmy SFIM o czułości rzędu $0.1^\circ/\text{s}$ [6]. Pomiar wykonano przy wykorzystaniu toru pomiarowego bazującego na wzmacniaczu MSP2-02 oraz komputerze klasy IBM-PC. Przyjęta częstotliwość próbkowania sygnału napięciowego z czujnika wynosiła 100 Hz.

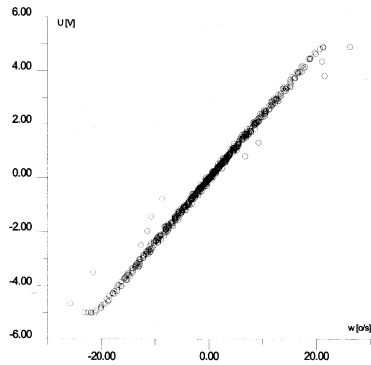
Przykładowe przebiegi odpowiedzi i wykresy wzorcowania badanych czujników przedstawiono na rys. 11 i rys. 12.



Rys. 11. I-1426 – przebieg odpowiedzi

Jak widać, sygnał napięciowy z czujnika (rys.11.) zawiera zakłócenia ujawniające się tylko w stanach dynamicznych, przy zmieniającym się w czasie wymuszeniu. Identyfikacja tych zakłóceń pozwala określić ich przyczyny, w tym przypadku zużycie potencjometru układu pomiarowego.

Określenie zależności $u(t_k) = F[\omega(t_k)]$ dla poszczególnych punktów pomiarowych pozwala otrzymać charakterystykę statyczną czujnika (rys. 12), z której można w prosty sposób wyznaczyć czułość, zakres pomiarowy, strefę nieczułości i przesunięcie zera



Rys. 12. I-1426 – charakterystyka statyczna

czujnika. Naniesienie na charakterystykę statyczną dopuszczalnych wartości błędów pomiaru dla badanego czujnika, pozwala szybko ocenić jego zdolność pod względem spełniania wymagań technicznych deklarowanych przez producenta.

Stawisko SWT-1 umożliwia także sprawdzenie stopnia wpływu tzw. szkodliwych (zakłócających) prędkości i przyspieszeń kątowych, występujących w czasie pomiaru w osiach poprzecznych do osi pomiarowej czujnika („osiach zakłóceń”, wg [7]). Jak wykazano, wpływ tych prędkości lub przyspieszeń kątowych wywołuje błędy wskazań czujnika, które wynikają z zasady działania żyroskopu w zawieszaniu Kardana. Do określenia tych wpływów przeprowadzono dodatkowe badania, wykorzystując stół przechyłny zabudowany na wahadle torsyjnym SWT-1. Przy ustawieniu osi pomiarowej czujnika pod zadaniem kątem (oznaczonym jako γ) względem osi obrotu platformy, otrzymuje się następujące zależności opisujące poszczególne składowe:

- wartość prędkości w osi pomiarowej czujnika:

$$\omega_c(t) = \omega_0(t) \cos(\gamma) \quad (8)$$

- wartość prędkości w osi zakłóceń:

$$\omega_w(t) = \omega_0(t) \sin(\gamma) \quad (9)$$

albo

- wartość przyspieszenia w osi zakłóceń:

$$\omega_e(t) = 2\pi f \omega_0(t) \sin(\gamma) \quad (10)$$

gdzie: $\omega_0(t)$ - chwilowa prędkość kątowa wytwarzana w stanowisku.

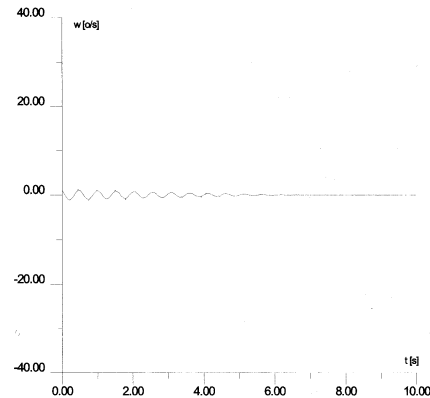
Jak widać, badanie czujnika przy zmianie kąta jego ustawienia (γ) umożliwia określenie wpływu prędkości kątowej (przyspieszenia kątowego), występujących w osiach prostopadłych do osi pomiarowej czujnika, dla różnych ich wartości, oraz - co ważne - przy różnej wartości prędkości kątowej w osi pomiarowej.

Przykładowe przebiegi opisanych zakłóceń przedstawiono na rys. 13 i rys. 14.

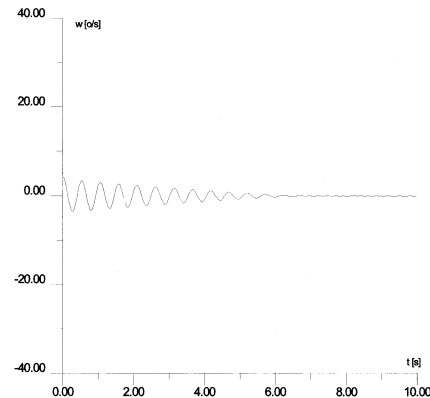
Dla czujnika I-1426 SFIM wpływ ten sięga odpowiednio: dla prędkości ok. 10%, zaś dla przyspieszeń ok. 20% wartości prędkości mierzonej.

Nieznanomość wpływu tych błędów powoduje, że przy interpretacji informacji otrzymanej w czasie np. badań statków powietrznych w locie, obliczona prędkość kątowa nie odpowiada wartościom rzeczywistym, a rozbieżności mogą sięgać nawet 30%. Praktyka wykazała, że błędy takie są nie do przyjęcia np. w procesie weryfikacji modeli dynamiki lotu SP.

Z kolei dla czujników optoelektronicznych („żyroskopów” wnekowych i światłowodowych) wpływami szkodliwymi są drgania liniowe wytwarzane przez obiekt, na którym zabudowano czujnik i przenoszone przez jego konstrukcję mechaniczną. Jak



Rys. 13. I-146 – wpływ prędkości



Rys. 14. I-1426 – wpływ przyspieszeń

wykazano w [5], drgania liniowe (wibracje) wytwarzane w czasie lotu statku powietrznego, a także w stanowiskach wolnoobrotowych, przeznaczonych do badań czujników prędkości kątowej, mogą powodować błędy pomiaru rzędu kilku $^{\circ}/h$, co przy czułości rzędu $0,001^{\circ}/h$ jest wartością znaczącą. Wykorzystanie wahadła torsyjnego pozwala na wyeliminowanie tego typu zakłóceń.

Podsumowanie

Rozwój techniczny nowoczesnych czujników prędkości kątowej wymaga zapewnienia odpowiedniego zaplecza metrologicznego. Dlatego też w ośrodkach naukowo-badawczych prowadzone są prace związane z konstrukcją i budową odpowiednich stanowisk pomiarowych, umożliwiających badania tych czujników. Przykładem mogą być podjęte próby budowy stanowiska wolnoobrotowego wykorzystującego zawieszenie i napęd magnetyczny (ZOiAL WAT) oraz napęd liniowy (ZTZF WAT). Na świecie prowadzone są prace nad stanowiskiem z napędem momentowym (Rumunia), ale rozwiązanie takie wymaga odpowiednio czułego wzorcowego czujnika prędkości kątowej oraz układu napędu i sprzężenia zwrotnego o trudnych do spełnienia parametrach procesów regulacji.

W najnowszych rozwiązaniach stosowane są zastępcze metody badań, które nie wykorzystują w ogóle stanowisk wolnoobrotowych (testowane są tylko części elektroniczne czujników), lub też metody uproszczone (np. metoda całkowa, bazująca na określeniu dokładności pomiaru zadanego ręcznie przemieszczenia kątowego jako całki z wytwarzanej prędkości w czasie obrotu).

Pomimo małej, jak wykazują analizy statystyczne, uszkodzalności czujników prędkości kątowej (zwłaszcza optoelektronicznych, w których nie występują elementy ruchome) prowadzone są także

prace, związane z opracowaniem nowych lub adaptacją istniejących metod identyfikacji przyczyn uszkodzeń tych czujników. Jak wykazano w [6], jedną z dogodnych metod jest analiza widmowa sygnału wyjściowego z czujnika, przy zadanym wymuszeniu harmonicznym. Umożliwia ona identyfikację przyczyn zakłóceń związanych np. z uszkodzeniem łożysk lub nieprawidłowego działania odśrodkowych regulatorów obrotów w mechanicznych czujnikach z zawieszeniem kardanowym, a także wpływów termicznych i szumów w czujnikach optoelektronicznych.

Literatura

- [1] E. KAYTON, A. FRIED:
„Elektroniczne układy nawigacji lotniczej”, WKiŁ, Warszawa, 1989.
- [2] S. MICHALAK:
„Założenia taktyczno-techniczne na stanowisko do sprawdzania czujników położenia kąowego i prędkości kątowej (żyroskopów sprężystych i laserowych)”, sprawozdanie ITWL, Warszawa, 1990.

- [3] S. MICHALAK, A. SZELMANOWSKI, E. RACZYŃSKI:
„Niedokładności systemów nawigacji inercyjnej przy określaniu pozycji statku powietrznego”, materiały konferencyjne II Konferencji Awioniki, Jawor, 09.1998, str. 368-374.
- [4] Z. KACZMARCZYK, S. MICHALAK, A. SZELMANOWSKI, D. SKOCZYLAŚ:
„Stanowisko do badań dynamicznych czujników prędkości kątowej”, sprawozdanie ITWL, Warszawa, 1992.
- [5] A. SZELMANOWSKI:
„Wykorzystanie optoelektroniki do badań przyczyn zakłóceń prędkości kątowej wytwarzanej w stanowiskach wolnoobrotowych”, sprawozdanie ITWL, Warszawa, 1997.
- [6] A. SZELMANOWSKI, Z. KACZMARCZYK:
„Badania i skalowanie czujników prędkości kątowej SFIM”, sprawozdanie ITWL, Warszawa, 1994.

Artykuł recenzowany

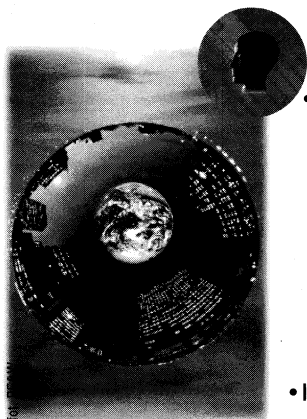
V MIĘDZYNARODOWA KONFERENCJA I WYSTAWA INTELIGENTNY BUDYNEK®

Wrocław
Teatr Polski
10-11 maja 2000

VI MIĘDZYNARODOWA KONFERENCJA INTELIGENTNY DOM

pod hasłem:

Inteligentny budynek standardem XXI wieku



Zakres tematyczny:

- Standard inteligentnego budynku • Proces inwestycyjny inteligentnego budynku
- Symbioza architektury i inteligentnych technologii • Zintegrowane systemy zarządzania budynkiem • Zintegrowane systemy bezpieczeństwa • Systemy elektroinstalacyjne • Nowoczesne systemy okablowania inteligentnego budynku oraz rozwiązania alternatywne • Technologie LonWorks, EIB, BACnet - możliwości współpracy i perspektywy rozwoju
- Inteligentne biuro - recepta na maksymalną efektywność pracy

dedykowana
inwestorom i inwestorom zastępczym

pod hasłem:

Maksymalizuj wygodę i bezpieczeństwo, minimalizuj koszty eksploatacji



Tematyka wiodąca:

- Etapy tworzenia inteligentnego domu
- Niskie koszty eksploatacji - decydującym kryterium wyboru technologii budowania
- Inteligentny dom - inwestycja, która nie traci na wartości • Możliwości finansowania inteligentnego budownictwa • Inteligentny dom sposobem na: maksymalizację wygody i bezpieczeństwa, minimalizację kosztów eksploatacji, ochronę środowiska • Integracja systemów automatyki domowej • Wykorzystanie alternatywnych źródeł energii
- Biuro w domu - możliwości inteligentnego domu w tworzeniu miejsca pracy
- Inteligentny dom, inteligentne osiedle, inteligentne miasto - ekspansja technologii XXI wieku • Inteligentne urządzenia AGD

dedykowana
architektom, projektantom oraz wykonawcom
budynków i domów mieszkalnych, developerom,
przedstawicielom rynku kapitałowego

patronat



Inteligentny Budynek Integracja Systemów Sp. z o.o.
ul. Wita Stwosza 28, 50-149 Wrocław
tel. (071) 341 93 27, 341 99 25+29 fax. (071) 341 99 30
<http://www.ib.pl> • e-mail: conference@ib.pl lub sib@ib.pl

patronat medialny

