

С. С. Ткаченко

ОЦІНКА ПОХИБКИ ВИМІРЮВАЧА КУТА

У статті описано математичну модель похибки вимірювання кутів за допомогою вимірювача кута на основі кільцевого лазера. Проаналізовано вплив кутової швидкості обертання Землі на точність вимірювання кутів.

Ключові слова: вимірювач кута, кільцевий лазер

1. Вступ

В приладобудуванні, аерокосмічній галузі, машинобудуванні та в інших галузях науки і техніки велику увагу приділяють високоточному вимірюванню кутів. Сьогодні постійно підвищуються вимоги до точності та швидкодії вимірювання кутів, оскільки саме вони обмежують точність та швидкість вимірювань інших механічних величин.

2. Постановка проблеми

Високоточні вимірювання плоских кутів проводять за допомогою вимірювач кута з кільцевим лазером. Застосування у кутомірних приладах кільцевих лазерів дозволило автоматизувати та прискорити процес вимірювання кутів, підвищити точність та достовірність вимірювань. Оскільки одним з основних компонентів вимірювача кута є кільцевий лазер, до останнього висуваються високі вимоги по точності.

3. Основна частина

3.1. Аналіз літературних джерел по темі дослідження. Інформація про кутову швидкість кільцевого лазера (КЛ) закладена в різницю частот циркулюючих назустріч одне одному випромінювань. На оптичному виході КЛ ця інформація перетворюється в переміщення інтерференційних смуг або обертання площини поляризації сумішених в просторі випромінювань [1–2]. Оптична інформація перетворюється фотоприймачем в електричні сигнали. При цьому інформація закладена в фазу цих сигналів. Для перетворення таких сигналів в числову форму необхідно виконати операцію їх квантування за фазою. Така операція може проводитись різними засобами з урахуванням задач вимірювань і характеристик сигналу [3–5]. Аналіз досліджень та публікацій [1–5] показав, що кільцеві лазери чутливі до впливу кутової швидкості обертання Землі.

Кутимірні прилади на основі кільцевих лазерів (КЛ) відрізняються від інших засобів вимірювання кутів тим, що вони чутливі до кутової швидкості обертання Землі. За відомих умов вплив кутової швидкості обертання Землі $\bar{\omega}_3$ може призвести до зниження точності вимірювання кутів.

Однак складова похибки вимірювання через обертання Землі може бути зведена до мінімального значення [5–7]. Отже, потрібно отримати аналітичний вираз для обчислення впливу кутової швидкості обертання Землі на похибку вимірювання кутів вимірювача на основі КЛ. Також доцільно провести аналіз цього впливу, та знайти способи зменшення похибок вимірювання, зумовлених впливом кутової швидкості обертання Землі.

Метою даної роботи є розробка математичної моделі похибки вимірювання вимірювача кута на основі кільцевого лазера з аналітичною компенсацією впливу кутової швидкості обертання Землі.

3.2. Результати досліджень. На рис. 1 умовно зображено розташований на поверхні Землі КЛ 1, який обертається з кутовою швидкістю $\bar{\omega}$, суміщений з місцевою вертикаллю (вісь Oz). Вимірювальна вісь \bar{K} КЛ 1 при обертанні відхилена від вектора кутової швидкості $\bar{\omega}$ на кут α . Контрольована призма 2 жорстко зв'язана з КЛ 1. За допомогою фотоелектричного автоколіматора 3 реєструється у динамічному режимі відлікове положення граней призми 2 відносно оптичної осі автоколіматора 3.

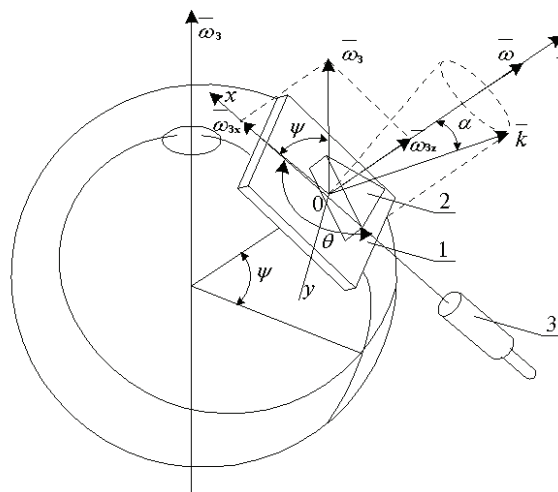


Рис. 1. Вимірювач кута на основі КЛ, розташований на поверхні Землі

На великій відстані від зони синхронізації, нехтуючи нелінійністю вихідної характеристики і дрейфом параметрів, в умовах впливу кутової

швидкості обертання Землі $\bar{\omega}_3$ різниця частот на виході КЛ, що обертається, буде дорівнювати:

$$f_{\text{вих}}(t) = k[\omega(t)\cos\alpha(t) + \omega_{3z}\cos\alpha(t) + \omega_{3x}\sin\alpha(t)\cos(\theta(t) + \theta)], \quad (1)$$

де ω_{3z} , ω_{3x} — вертикальна і горизонтальна проекції $\bar{\omega}_3$ відповідно, $\omega_{3z} = \omega_3 \sin\psi$; $\omega_{3x} = \omega_3 \cos\psi$; ψ — широта місця, де робляться вимірювання; θ , $\theta(t)$ — кути між горизонтальними проекціями вимірювальної осі КЛ і $\bar{\omega}_3$ початку і у процесі вимірювання відповідно.

Позначивши час початку і кінця повороту на вимірюваний кут t_1 і t_ϕ відповідно, з урахуванням виразу (1) похибку вимірювання кутів, зумовлену обертанням Землі, з урахуванням принципу калібрування, можна представити у вигляді виразу 2:

$$\Delta\phi_3 = 2\pi \frac{\int_{t_1}^{t_\phi} [\omega(t)\cos\alpha(t) + \omega_{3z}\cos\alpha(t) + \omega_{3E}\sin\alpha(t)\cos(\theta_1(t) + \theta_1)] dt}{\int_{t_1}^{t_{2\pi}} [\omega(t)\cos\alpha(t) + \omega_{3z}\cos\alpha(t) + \omega_{3E}\sin\alpha(t)\cos(\theta_2(t) + \theta_2)] dt} - \phi. \quad (2)$$

Математична модель похибки вимірювання кутів за допомогою вимірювача кута на основі КЛ представлена наступним виразом 3:

$$\Delta\phi = 2\pi \frac{\int_{t_1}^{t_\phi} [K(t)\omega_{\text{КЛ}}(t)\cos\alpha(t) + \frac{K_{-1}(t)}{\omega_{\text{КЛ}}(t)\cos\alpha(t)}] dt}{\int_{t_1}^{t_{2\pi}} [K(t)\omega_{\text{КЛ}}(t)\cos\alpha(t) + \frac{K_{-1}(t)}{\omega_{\text{КЛ}}(t)\cos\alpha(t)}] dt} - \Delta\phi_3 - \phi, \quad (3)$$

де t_1 , t_ϕ , $t_{2\pi}$ — зафіксовані автоколіматором моменти початку вимірювання, повороту на вимірювальний кут ϕ і кут 2π відповідно; $K(t)$ — масштабний коефіцієнт КЛ; $\omega_{\text{КЛ}}$ — кутова швидкість, діюча на КЛ; $\alpha(t)$ — кут між віссю обертання обертового пристрою і віссю чутливості КЛ; $K_{-1}(t)$ — нелінійність вихідної характеристики КЛ; $\Delta\phi_3$ — похибка від впливу кутової швидкості обертання Землі; ϕ — дійсне значення вимірюваного кута.

Висновки

Проведено аналіз впливу кутової швидкості обертання Землі на похибку вимірювання кутів за допомогою вимірювача кутів, що враховано в математичній моделі.

Література

1. Безвесільна О. М. Інформаційно-комп'ютерні системи та технології. Наукові дослідження в галузі вимірювання механічних величин [Текст] / О. М. Безвесільна, Ю. О. Подчашинський. — Житомир: ЖДТУ, 2007. — 320 с.
2. Безвесільна О. М. Методи оптимізації цільової функції та ідентифікації характеристик прецизійних навігаційних систем [Текст]: монографія / О. М. Безвесільна, Ю. В. Киричук, Ю. О. Подчашинський. — Житомир: ЖДТУ, 2010. — 201 с.
3. Безвесільна О. М. Автоматизований прецизійний пристрій для вимірювання кутів [Текст] / Безвесільна О. М. — Житомир, ЖДТУ. — 2010. — 258 с.
4. Пат. 52133 Україна, МПК G01B 9/10, G01C 9/10. Гоніометр / Тулупов Д. Г., Безвесільна О. М., заявник і власник Нац. тех. ун-т Укр. «КПІ». — № 2002021618; заявл. 27.02.2002; опуб. 16.12.2002.
5. Пат. 53171 Україна, МПК G01B 11/30. Спосіб вимірювання кутів за допомогою гоніометра / Янчук О. М., Старцев С. М., Безвесільна О. М., Зайцев Ю. І., заявник і власник Нац. тех. ун-т Укр. «КПІ». — № 2002032422; заявл. 27.03.2002; опуб. 15.01.2003.
6. Пат. 44131 Україна, МПК (2009) G01B 11/26. Система високоточного вимірювання кута з відеозйомкою / Безвесільна О. М., Ткаченко С. С.; заявник і власник Нац. тех. ун-т Укр. «КПІ». — № u200901845; заявл. 02.03.09; опуб. 25.09.09, Бюл. № 18.
7. Безвесільна О. М. Аналіз похибки вимірювання кутів з використанням методу калібрування [Текст] / О. М. Безвесільна, Ю. В. Киричук, С. С. Ткаченко // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. — Харків, 2008. — № 6/5(36). — С. 17–21.

ОЦЕНКА ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРИТЕЛЯ УГЛА

С. С. Ткаченко

В статье описана математическая модель погрешности измерения углов с помощью измерителя угла на основе кольцевого лазера. Проанализировано влияние угловой скорости вращения Земли на точность измерения углов.

Ключевые слова: измеритель угла, кольцевой лазер.

Светлана Сергеевна Ткаченко, кандидат технических наук, ассистент кафедры приборостроения Национального технического университета Украины «КПИ», тел.: 236-09-26, e-mail: tkachenkoss@ukr.net.

ESTIMATION OF ERROR OF CORNER MEASURING DEVICE

S. Tkachenko

In the article the mathematical model of error of measuring of corner is described by the corner measuring device on the basis of circular laser. Influence of angular of rotation of Earth is analysed on exactness of measuring of corner.

Keywords: corner measuring device, circular laser.

Svetlana Tkachenko, Ph. D., the assistant of chair of instrument making of National technical university of Ukraine «KPI», tel.: 236-09-26, e-mail: tkachenkoss@ukr.net.