

АНАЛІЗ ЛАЗЕРНИХ ТА ВОЛОКОННО-ОПТИЧНИХ ГІРОСКОПІВ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У роботі проведено аналіз лазерних кільцевих та волоконно-оптичних гіроскопів. Виділено основні відмінності між ними та порівняно основні характеристики сучасних зразків оптичних гіроскопів.

Ключові слова: гіроскоп, інерційна вимірювальна система, кільцевий лазерний гіроскоп, волоконно-оптичний гіроскоп.

Abstract

The paper examines the principle of operation of ring laser gyroscopes and fiber optic gyroscopes. The main differences between them are highlighted and the main characteristics of gyroscopes in current production are compared.

Keywords: gyroscope, inertial measurement system, ring laser gyroscope, fiber optic gyroscope.

Вступ

Інерціальні навігаційні системи є одними з найважливіших систем для вимірювань положень різних об'єктів (літаки, дрони, ракети, гелікоптери, човни та ін.). Раніше такі системи містили в собі механічні роторні гіроскопи для виміру кутової швидкості об'єкта та його нахилу відносно інерційної системи відліку. Із розвитком оптичних та мікроелектромеханічних технологій ринок заповнили кільцеві лазерні (КЛГ), волоконно-оптичні (ВОГ) та MEMS-гіроскопи (найменші та найдешевші). Основними перевагами оптичних гіроскопів над механічними є висока точність, низький дрейф нуля та підвищений час життя пристрою через відсутність механічного тертя [1].

Результати дослідження

Обидва класи оптичних гіроскопів (ВОГ та КЛГ) працюють за ефектом Саньяка, проте обрахунок кутової швидкості відбувається по-різному. КЛГ з'єднує два зустрічних лазерних пучка всередині замкнутого кільцевого резонатора (заввичай трикутної або квадратної форми). На детекторі реєструється інтерференційна картина, зміщення якої пропорційне кутовій швидкості обертання приладу. Вимірюючи зсув інтерференційних смуг, можна точно визначити швидкість і напрямок обертання гіроскопа [2]. Водночас при дуже повільному обертанні пучки «синхронізуються» і різниця фаз зникає. Для усунення цього ефекту прилад має постійно вібрувати (dither). Лазерні гіроскопи є високоточними та надійними (завдяки відсутності рухомих частин) і сьогодні широко застосовуються в авіації та космічній техніці, водночас вони залишаються найбільш дорогими і складними пристроями. ВОГ також реєструє різницю фаз Саньяка зустрічних оптичних сигналів $\Delta\phi$, з якої визначається кутова швидкість об'єкта [3]:

$$\Delta\phi = \frac{4\pi LR\omega}{\lambda c}, \quad (1)$$

де L – довжина волокна, R – радіус котушки волокна, ω – кутова швидкість, λ – довжина хвилі лазера.

В роботі порівнюються сучасні зразки ВОГ та КЛГ від різних виробників, що прагнуть високих характеристик своїх пристроїв.

ВОГ є більш компактними та можуть бути більш точними приладами, ніж КЛГ. Їх використання більш відноситься до повітряної техніки, де маса та габарити є ключовими обмежувачами. Проте умови, при яких ВОГ коректно працюють не є широкими. Різкі перепади температур, підвищене іонізуюче випромінювання можуть змінити фізичні властивості оптоволокна та згенерувати неприпустимі похибки вимірювань [3], [4].

КЛГ не мають таких типів чутливості, але їхні дзеркала також можуть отримати пошкодження від іонізуючого випромінювання [5].

Характеристики сучасних зразків гіроскопів від виробників HoneyWell, Kearfott, KVH, Exail, GranStal, Emcore наведено у таблиці 1.

Таблиця 1. Характеристики сучасних оптичних гіроскопів

Марка гіроскопу	Тип гіроскопу	Діапазон вимірювань	Дрейф	Температурна стійкість
GS-SFA-311A	ВОГ	-/+ 300°/сек	0.05°/годину×1σ	-20°C - +50°C
UmiX 40-5DU	ВОГ	-/+ 490°/сек	0.01°/годину×1σ	-32°C - +71°C
DSP 1760	ВОГ	-/+ 490°/сек	0.05°/годину×1σ	-40°C - +75°C
EG-1300	ВОГ	-/+ 300°/сек	0.1°/годину×1σ	-40°C - +70°C
HG1700 IMU	КЛГ	-/+ 358 до -/+ 1620(°/сек)*	від 1°/годину×1σ до 5°/годину×1σ*	-54°C - +85°C
GG1308	КЛГ	-/+ 1000°/сек	1°/годину×1σ	-53°C - +82°C
Kearfott IMU 52	КЛГ	від -/+ 1000 до -/+ 2000 (°/сек)*	від 0.5°/годину×1σ до 0.1°/годину×1σ*	-40°C - +71°C

*Залежно від конфігурації

Із таблиці видно, що ВОГ мають дрейф на декілька ступенів нижче, а ніж КЛГ. Хоч останні переважають ВОГ у діапазоні вимірювань та температурній стійкості (яка не включає в себе стійкість до перепадів температури).

Висновки

ВОГ та КЛГ наразі є незамінними приладами для інерційного вимірювання нахилу об'єктів. Кожен має свої недоліки та переваги, які чітко виділяють умови при яких ці прилади повинні експлуатуватись. Аналіз технологій і характеристик оптичних гіроскопів різних класів дозволяє зробити обґрунтований вибір залежно від сфери застосування приладу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Lawrence A. Modern Inertial Technology: Navigation, Guidance, and Control / A. Lawrence. – New York : Springer, 1998. – 268 p.
2. Lefèvre H. C. The Fiber-Optic Gyroscope / H. C. Lefèvre. – Boston : Artech House, 2014. – 416 p.
3. Stanislav Tuzhanskyi, Andrii Sakhno. Fiber Optic Gyroscope Based on the Registration of Spatial Interference Pattern. Frontiers in Optics: The 99th OSE Annual Meeting and Exhibit/Laser Science XXXI (FiO) – 17-22 October 2015
4. Di Virgilio A. D. V. Analysis of ring laser gyroscopes including laser dynamics / A. D. V. Di Virgilio, N. Beverini, G. Carelli, D. Ciampini, F. Fuso, E. Maccioni // Eur. Phys. J. C. – 2019. – Vol. 79, № 573. – 8 p.
5. Kumar M. S. Variation of a Resonant Frequency Due to Static Structural Loads on a Ring Laser Gyroscope with Mechanical Ring Dither / M. S. Kumar, J. Anjaneyulu, C. N. Reddy // International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET). – 2017. – Vol. 04, № 04. – P. 3159-3162

Любасюк Руслан Олегович – студент групи КОІС-226 факультету інформаційних електронних систем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, E-mail: lubasukruslan@gmail.com

Тужанський Станіслав Євгенович – к.т.н, доцент кафедри біомедичної інженерії та оптико-електронних систем, Вінницький національний технічний університет, E-mail slavat@vntu.edu.ua.

Liubasiuk Ruslan Olegovich – student of the Faculty of Information and Electronic Systems KOIS-22b group, Vinnitsa National Technical University, Vinnitsia, E-mail: lubasukruslan@gmail.com

Tuzhanskyi Stanislav Yevhenovych – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Biomedical Engineering and Optoelectronic Systems, Vinnitsia National Technical University, E-mail: slavat@vntu.edu.ua.