

УДК 531.383:528.526.6

ВИКОРИСТАННЯ ГІРОСКОПІВ: ФІЗИЧНІ ПРИНЦИПИ ОРІЄНТАЦІЇ У ПРОСТОРИ

Гетьман Д.П.

e-mail: daniil.hetman@nure.ua

Науковий керівник – к.т.н., доц. Орел Р.П.

Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. Фізики
м. Харків, Україна

The role of gyroscopes as fundamental sensors for spatial orientation and motion tracking has been explored. The historical evolution of these devices is reviewed, from the prototypes of Foucault's gyroscope to modern MEMS technologies. The physical principles of gyroscopic effects, including precession and the Coriolis force, are analysed. Special attention is paid to the application of gyroscopes in tank cannons stabilization systems and mobile electronics. The design of vibratory MEMS sensors based on piezoelectric effects is described. The relationship between gyroscopes and accelerometers is highlighted as a key factor for high-precision navigation in drones and robotics.

Сучасні системи навігації, робототехніки та мобільної електроніки неможливо уявити без використання гіроскопів – ключових сенсорів, призначених для високоточного визначення орієнтації та параметрів руху об'єктів у просторі. Особливої актуальності в умовах стрімкого технологічного прогресу набувають мікроелектромеханічні системи (МЕМС), які завдяки своїй екстремальній компактності, високій роздільній здатності та можливості безперешкодної інтеграції з іншими сенсорними модулями забезпечують стабільну та надійну роботу складних механізмів навіть у критичних умовах інтенсивного руху.

Для розуміння принципів роботи сучасних гіроскопів доцільно розглянути їх історичний прототип. Класичний гіроскоп – це симетричне масивне тіло, що швидко обертається (маховик). Термін «гіроскоп» уперше використав французький фізик і математик Леон Фуко. Коли таке тіло швидко обертається, проявляється так званий гіроскопічний ефект. Він полягає в тому, що якщо на вісь обертання діє зовнішня сила, то вісь, замість того щоб повертатися в напрямку дії цієї сили, починає повертатися в перпендикулярному напрямку. При цьому, якщо кутова швидкість обертання дуже велика, кутова швидкість прецесії стає дуже малою. Саме ця властивість дає можливість використовувати гіроскопи для стабілізації певних напрямків у просторі [1].

Розглянемо практичне застосування гіроскопів на прикладах стабілізації гармати танка та у сучасних мобільних пристроях для визначення положення їх у просторі. Під час руху танк постійно зазнає коливань через нерівності ґрунту. Теж саме відбувається під час розгону, гальмування та поворотів. Унаслідок цих коливань гармата зміщується

разом із корпусом танка, що значно знижує точність стрільби. Саме тому в танках використовують системи стабілізації гармати, головним елементом яких є гіроскоп, який виконує роль високоточного датчика орієнтації. За його допомогою визначаються коливання корпусу танка, та відповідна інформація передається до системи керування. На основі цих даних система автоматично змінює положення гармати. Завдяки цьому танк може вести ефективний вогонь навіть під час руху пересіченою місцевістю [2]. У старіших системах стабілізації гармат танків використовували механічні гіроскопи з маховиком, проте з розвитком технологій у сучасних танках застосовують лазерні або волоконно-оптичні гіроскопи, робота яких базуються на ефекті Саньяка [3]. В цих гіроскопах маховиків вже немає.

В мобільних пристроях, зокрема, в смартфонах, фото- і відеокамерах, в мультикоптерах тощо використовують інший тип гіроскопів – на основі МЕМС, які характеризуються дуже малими розмірами та високим ступенем інтеграції [4]. У таких гіроскопічних датчиках застосовують п'єзоелементи – кристалічні матеріали, що проявляють п'єзоелектричний ефект.

З фізичної точки зору конструкцію МЕМС-гіроскопа можна розглядати як двовимірну пружно-демпфовану систему. У ній мікромаса m підвішена на двох пружних елементах із жорсткостями k_1 та k_2 (рис. 1). Електронний привід на основі п'єзоелемента збуджує гармонічні коливання мікромаси m вздовж осі X , змушуючи її періодично рухатися вперед і назад. Якщо пристрій, наприклад смартфон, не обертається, мікромаса m коливається лише вздовж одного напрямку (осі X). Водночас вертикальна пружина k_2 забезпечує можливість переміщення мікромаси m у перпендикулярному напрямку вздовж осі Y [5].

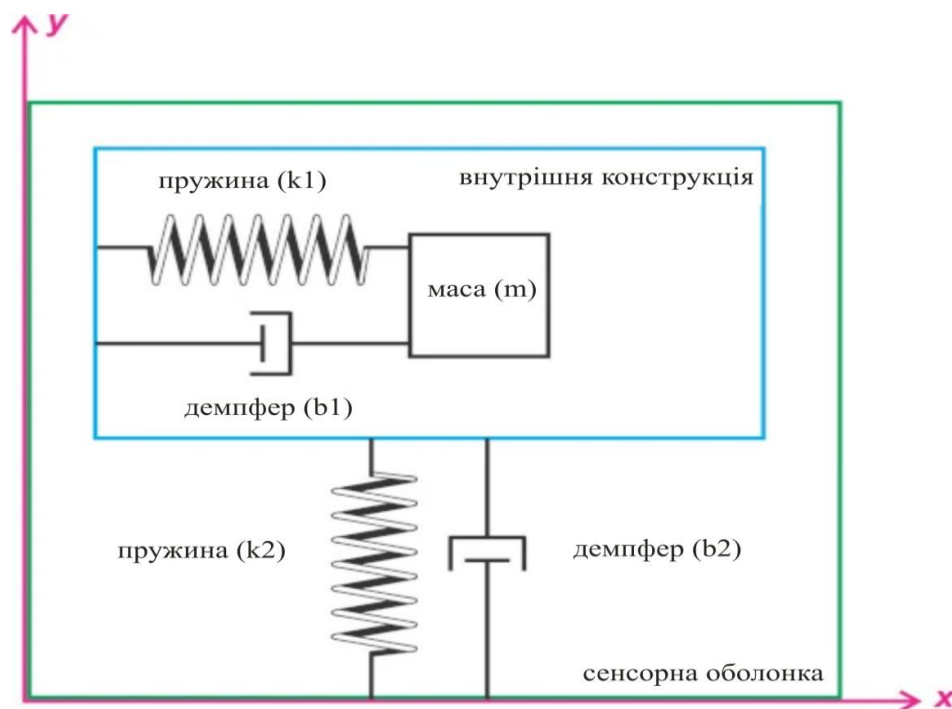


Рисунок 1 – Схема вібраційного гіроскопа.

Якщо пристрій обертається навколо осі Z , на мікромасу m починає діяти сила Коріоліса, яка відхиляє її в напрямку, перпендикулярному до початкових коливань. Амплітуда цього відхилення пропорційна кутовій швидкості обертання пристрою. Виникле зміщення фіксується сенсором на п'єзоелементі, після чого електронна система перетворює цей сигнал на числове значення кутової швидкості обертання.

У сучасних мобільних гаджетах, крім гіроскопа, також встановлюють акселерометр, який вимірює лінійні прискорення. Обидва прилади працюють спільно, забезпечуючи точне визначення положення та руху пристрою. Акселерометр вимірює лінійне прискорення – тобто рух по прямій (вгору/вниз, вперед/назад, вліво/вправо). Наприклад, визначає нахил телефону (поворот екрана), рахує кроки, визначає струшування, реагує на падіння. Гіроскоп вимірює кутову швидкість, тобто обертання у просторі, завдяки чому точніше визначає поворот телефону в просторі. Це використовується в іграх (керування нахилом), в системах віртуальної та доповненої реальності, цифрової та оптичної стабілізації зображення під час відеозйомки.

Перспективні напрямки подальших досліджень у галузі використання гіроскопів зосереджені на постійному підвищенні метрологічної точності приладів, мінімізації похибок, а також на ще глибшій інтеграції з акселерометрами та магнітометрами. Удосконалення МЕМС-технологій разом із впровадженням новітніх алгоритмів цифрової обробки сигналів відкриває шлях до створення ще більш надійних та мініатюрних систем навігації. Такі рішення стануть базовим фундаментом для розвитку автономних транспортних засобів, складних роботизованих платформ та інноваційних засобів персональної електроніки майбутнього.

Список використаних джерел

1. Gyroscope Technology and Applications: A Review in the Industrial Perspective // J. Passaro et al. Sensors. 2017. Vol. 17. Art. 2284.
2. Defense Stabilization Systems – Stabilized Platforms, Weapons, and Camera Stabilization // Overview by Summer James URL: <https://www.defenseadvancement.com/suppliers/stabilization-systems> (дата звернення 04.03.2026).
3. Fiber Optic Gyroscope Inertial Navigation Systems: The Future of Precision Navigation // LICOFF. URL: <https://www.liocrebif.com/info/fiber-optic-gyroscope-inertial-navigation-syst-103111533.html> (дата звернення 07.03.2026).
4. MEMS and MOEMS Gyroscopes: A Review // M. S. J. Hashmi et al. PhotonicSensor. 2023. Vol. 13. No.4. Art. 8143.
5. An introduction to MEMS vibratory gyroscopes // Allaboutcircuits. URL: <https://www.allaboutcircuits.com/technical-articles/introduction-to-mems-gyroscopes-vibratory-gyroscope> (дата звернення 08.03.2026).