

УДК 681.2.088

Д.О. Феоклістов, студент гр. ПГ-01мп
КПІ ім. Ігоря Сікорського

МЕТОДИ КОМПЕНСАЦІЇ ТЕМПЕРАТУРНИХ ДРЕЙФІВ МІКРОМЕХАНІЧНИХ ГІРОСКОПІВ

Анотація: Мікромеханічні гіроскопи які за принципом дії є вібраційними гіроскопами, мають високу чутливість до дії температури. Це в свою чергу призводить до необхідності компенсувати похибки викликані температурою. В роботі охарактеризовано вплив температури на похибки ММГ. Проводиться аналіз методів боротьби з температурним дрейфом.

Ключові слова: мікромеханічний гіроскоп, температурний дрейф, алгоритмічна компенсація.

ВСТУП

В останні роки мікромеханічні гіроскопи (ММГ) стали широко застосовуватися в різних областях техніки. Таку популярність вони отримали завдяки своїм малим габаритам та масі, низькій вартості та малому споживанню енергії. Дуже часто ММГ використовується в якості датчика кутової швидкості в складі інерційного вимірювального пристрою (ІВП).

В інерційно вимірювальному пристрої реалізовано три канали перетворення кутової швидкості, що дозволяють виконувати вимірювання проекції її на взаємно перпендикулярних осях приладної системи координат, що зв'язана з корпусом блока. ІВП частіше за все представляють з себе моноблочний корпус, в якому встановлюється три ММГ, в кожному з яких знаходяться мікромеханічні чутливі елементи перетворення кутової швидкості. До складу ІВП також входять плати джерела живлення, інтерфейсу та мікроконтролера.

Програмований мікроконтролер дозволяє корегувати показники ММГ з врахуванням вирахованих систематичних похибок в режимі реального часу. В пам'яті мікроконтролера зберігаються алгоритми обробки та калібрувальні дані, які можуть бути багаторазово скореговані та перезаписані в процесі калібрування виробу.

ВИЗНАЧЕННЯ ТА ОСОБЛИВОСТІ ТЕМПЕРАТУРНОГО ДРЕЙФУ

Зміщення нуля гіроскопа – це відмінність його показників від нульового значення при відсутності дії на нього кутових швидкостей. Дрейф нуля за якийсь відрізок часу визначається як різниця максимуму та мінімуму зміщення нуля (вирахованого по низькочастотній складовій сигналу) на цьому відрізку.

В загальному випадку зміщення нуля має дві складові – початкове зміщення нуля та дрейф нуля. Зі сторони фізики причиною дрейфу нуля є зміна розмірів кремнієвих елементів та тиску всередині капсули через зміну температури. Ці фактори зумовлюють зміну власної частоти гіроскопів та, як наслідок, їх вихідних даних [1, 2]. Зміна температури залежить від впливу зовнішньої температури та внутрішнього нагріву датчика через близьке його розташування до термовідвідних компонентів. Останній указаний фактор особливо добре проявляється в пристроях які мають невеликі розміри, через обмежені можливості розміщення датчиків та організації відведення теплової енергії. Варто відмітити, що похибка має систематичну та випадкову складову. Алгоритмічно можливо компенсувати лише систематичну складову, в такому

випадку випадкова складова буде визначати значення похибки.

АНАЛІЗ МЕТОДІВ КОМПЕНСАЦІЇ ТЕМПЕРАТУРНИХ ДРЕЙФІВ ММГ

При наявності в реальному часі інформації про температуру пристрою, для компенсації температурного дрейфу можна використовувати методи алгоритмічної компенсації температурного дрейфу. Вони дозволяють коректувати вихідний сигнал ММГ ґрунтуючись на показниках температури. При наявності високої кореляції вихідних сигналів ММГ та датчика температури систематична складова дрейфу нуля може бути зменшена на один або більше порядків.

В роботі [3] показано, що за рахунок алгоритмічної компенсації величину середньоквадратичного відхилення зміщення нуля вихідного сигналу ММГ можна знизити до $0,76 \text{ }^{\circ}\text{Г}$ в діапазоні температур від -30 до $+80 \text{ }^{\circ}\text{С}$. Крім того компенсація дозволяє зменшити нестабільність зміщення нуля до $0,35 \text{ }^{\circ}\text{Г}$, виключаючи дрейф, викликаний температурою, тим самим збільшивши довгострокову стабільність вихідного сигналу.

Однією з переваг методів алгоритмічної компенсації є скорочення часу готовності пристрою до моменту включення живлення, крім того вказаний метод підходить для гіроскопів різної конструкції (RR, LL, з однією або декількома інерційними масами).

В методі використовується математична температурна модель вихідного сигналу гіроскопу, згідно якою в залежності від вимірної температури вираховуються правки, які далі враховуються при обрахунку справжніх значень абсолютної кутової швидкості.

Модель може ґрунтуватися на температурних залежностях окремих параметрів електронної та механічної частини гіроскопа. Через недосконалість технології виготовлення чутливого елемента (ЧЕ) температурні залежності насправді відрізняються від тих що використовуються в аналітичній моделі. Крім того залежності опорних напруг, здвигів фаз між сигналами, які формуються в електронній частині, можуть варіюватися від пристрою до пристрою. Це завдає значний вплив на загальну точність вказаної моделі.

Моделі можуть бути отримані експериментальним шляхом за допомогою спеціальної процедури температурного калібрування, при якому традиційно окремо встановлюються залежності систематичної складової похибки зміщення нуля від температури. В такому випадку моделі представляються в вигляді калібрувальної таблиці «температура – вихідний сигнал», або в вигляді функцій інтерполяції або апроксимації (частково-неперервної, експоненціальної або поліноміальної). Крім того для різних температурних режимів можуть бути використані свої окремі температурні моделі.

Не дивлячись на малі розміри пристрою, розподіл температури в ЧЕ насправді є нерівномірним. В такому випадку теплове розширення проходить неоднаково, що призводить до появи температурного гістерезису залежності зміщення нуля ММГ [4]. Розмір петлі гістерезису залежить від діапазону вимірювання температури, напрямку та швидкості її зміни. Методи

температурної компенсації, в яких не враховується температурний гістерезис, не дозволяють зменшити похибку зміщення нуля менше, ніж на половину ширини гістерезису.

Важливою вимогою до використання методу температурної компенсації є висока повторюваність і постійність в часі температурних залежностей зміщення нуля та масштабного коефіцієнта, для чого температурні залежності визначаються при однакових багаторазових діях. При не дотриманні цих вимог достовірність температурної моделі знижується, тому в деяких випадках її використання при компенсації стає недоцільною.

Відома також робота [5], в якій пропонується компенсувати вплив температури на вихідний сигнал двухмасового гіроскопа прямого типу перетворення не з допомогою інформаційної корекції безпосередньо вихідного сигналу ММГ, а шляхом підлаштування параметрів системи керування рухом інертної маси гіроскопа. Враховуючи, що масштабний коефіцієнт ММГ визначається амплітудою первинних коливань, то за рахунок їх зміни в залежності від температури і пропонується проводити його корекцію. В діапазоні температур від -40 до $+60$ °С температурний коефіцієнт масштабного коефіцієнта вдалося знизити в 2,7 рази.

ВИСНОВКИ

У статті розглянуто декілька методів боротьби з температурним дрейфом мікромеханічних гіроскопів. Описано дію температури на вихідний сигнал ММГ. Проводиться аналіз розглянутих методів боротьби з температурними похибками. Розглянуто можливість застосування сучасних методів вирішення задачі температурної компенсації параметрів ММГ.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Лысенко И. Е. Влияние температурных и технологических погрешностей на динамику трехосевого микромеханического гироскопа // Гироскопия и навигация. 2006. № 2. С. 6.
- [2] Вторушин С. Е., Аршинова А. А., Нестеренко Т. Г. Температурный дрейф собственных частот микромеханического гироскопа // Вестник науки Сибири. 2014. № 1. С. 3–5.
- [3] Johnson B. Tuning fork MEMS gyroscope for precision northfinding / Johnson B., Christ K., Endean D., Mohr B., Supino R., French H., Cabuz E. // DGON Inertial Sensors and Systems Symposium. – 2015. – С. 1-10.
- [4] Gulmammadov F. Analysis, modeling and compensation of bias drift in MEMS inertial sensors // 4th International Conference on Recent Advances in Space Technologies. – 2009. – С. 591-596.
- [5] Cao H. A novel temperature compensation method for a MEMS gyroscope oriented on a periphery circuit / Huiliang Cao, Hongsheng Li, Xia Sheng, Shourong Wang, Bo Yang, Libin Huang // International Journal of Advanced Robotic Systems. – 2013. – Т. 10. – С. 1-10.

Наук. керівник – к.т.н., доц. Мураховський С.А.