

В подальших дослідженнях планується побудова системи керування рухом ЧЕ в азимуті, яка не піддається впливу вібраційних збурень, наприклад на основі H_∞ - критерію.

Ключові слова: гіротеодолит, спостережувач, вібраційна похибка.

УДК 681.518.22

ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДУ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ СТАТИЧНИХ І ДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК МІКРОМЕХАНІЧНИХ ДАТЧИКІВ

Заморський О.В.

Національний технічний університет України

“Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського”, Київ, Україна

E-mail: zax2020@ukr.net

Одновісні, двовісні і трьохвісні стенди з обертовою платформою є основним технологічним обладнанням при дослідженні, калібруванні і випробовуванні гіроскопів і акселерометрів та інерціальних систем навігації на їх основі. Точні чутливі елементи і системи випробовуються на прецизійних стендах достатньо високої вартості. Стандартні характеристики таких стендів: статичні параметри – стабільність кутової швидкості 0,001% в діапазоні $\pm 3000^\circ/\text{с}$ з дискретністю завдання швидкості 0,001 $^\circ/\text{с}$, похибка кутового позиціонування менше 15"; динамічний параметр – максимальне прискорення 40 $^\circ/\text{с}^2$ без навантаження на платформу; механічний параметр – биття менше 15". Такі характеристики забезпечує «бюджетна» одновісна обертова платформа серії AC1120S фірми Acutronic. Діаметр платформи AC1120S – 250 мм, навантаження – до 20 кг.

В вітчизняних учбових лабораторіях використовуються одновісні обертові платформи типу МПУ-1 і інші. Всі ці стенди є електромеханічними з розімкнутою схемою керування приводним двигуном і з механічною редукторною схемою передачі. В МПУ обертання приводного валу синхронного гістерезисного двигуна Г-31А (число обертів 3000 об/хв, крутний момент 1,275 мН·м) передається на вал платформи через муфту, черв'ячний редуктор (передатне відношення 150:1) і фрикційний варіатор (передатне відношення від 0,8:1 до 4000:1). Таким чином, забезпечується діапазон кутових швидкостей платформи від 0,03 $^\circ/\text{с}$ до 150 $^\circ/\text{с}$. Статичні характеристики платформи в діапазоні змінюються нерівномірно, похибки зростають при зменшенні частоти обертів – нестабільність кутової швидкості від 1% до 2%, різниця між кутовими швидкостями при реверсі від 1% до 1,5%, похибки встановлення кутової швидкості ручним способом по лімбу від 2% до 5%. Особливістю фрикційного варіатора МПУ є зростання інтенсивності зношення його елементів при малих обертах платформи. Завдання і визначення кутових позицій і динамічних параметрів платформи не забезпечуються. Визначення кутової позиції можливо

лише візуально по градусній шкалі. Діаметр платформи – 220 мм, розміри МПУ – 405×275×290 мм, навантаження – до 8 кг.

Ціль роботи – розрахунок і практична реалізація лабораторного стенду – компактного пристрою з одновісною обертовою платформою та відповідним електромеханічним, електротехнічним і апаратно-програмним (інформаційним) забезпеченням для дослідження і визначення статичних і динамічних характеристик мікромеханічних датчиків – гіроскопів і акселерометрів, як датчиків кутової швидкості систем орієнтації і стабілізації рухомих об’єктів.

Сучасний ринок пропонує широкий спектр мікромеханічних датчиків достатньо низької вартості, ціна модуля з трьохвісним мікромеханічним гіроскопом і з вихідним послідовним інтерфейсом може бути менше 10 USD. Основні стандартні статичні характеристики таких бюджетних мікромеханічних гіроскопів, які визначають необхідні статичні параметри обертової платформи – діапазон $\pm 2000^\circ/\text{с}$, роздільна здатність 14,375 LSB/($^\circ/\text{с}$), чутливість 0,07 $^\circ/\text{с}$ (трьохвісний гіроскоп ITG-3205 фірми InvenSense TDK Corporation). Інші стандартні значення, відповідно: $\pm 1000^\circ/\text{с}$, 32,8 LSB/($^\circ/\text{с}$), 0,03 $^\circ/\text{с}$; $\pm 500^\circ/\text{с}$, 64,5 LSB/($^\circ/\text{с}$), 0,015 $^\circ/\text{с}$; $\pm 250^\circ/\text{с}$, 131 LSB/($^\circ/\text{с}$), 0,008 $^\circ/\text{с}$ (гіроскоп ITG-1010).

В лабораторному стенді статичний діапазон кутових швидкостей обертової платформи забезпечується електромеханічною передачею з гнучкою структурною схемою. При цьому, для вибраної схеми передатне число є постійним, а статичні і динамічні характеристики платформи регулюються через якірне керування виконавчим двигуном постійного струму по замкнутій схемі. Стаціонарними елементами передачі є вихідний конічний вал платформи (половина кута конуса – 4,5°, момент тертя ковзання – до 4 мН м без мастила) і черв’ячний редуктор (число зубців колеса – 64, число заходів черв’яка – 2, передатне відношення – 32:1), які пов’язані між собою через вал черв’ячного колеса компенсаційною муфтою. Інші елементи передачі є взаємно замінними. Для цього на корпусі черв’ячного редуктора є посадкові місця для приводів, які забезпечують міжосьові відстані 9,6 мм і 12 мм між вихідним валом привода і вхідним валом черв’яка, що дає змогу реалізувати одноступеневу зубчасту передачу з передатними відношеннями 3:1 (модуль 0,2 мм, число зубців 12 і 36) або 2:1 (0,2 мм, 20 і 40) відповідно. Таким чином, можливе мінімальне передатне відношення від валу двигуна до валу обертової платформи – 64:1. Для реалізації приводу з високим передатним відношенням застосовуються стандартні редуктори типу РЦБ. При застосуванні редуктора РЦБ-і128 (передатне відношення 128:1) можливе максимальне передатне відношення 12288:1. Для регулювання статичних і динамічних характеристик обертової платформи використовується двигун постійного струму фірми Mabuchi Motor з якірним керуванням, тип якого вибирається з широкої лінійки в залежності від структурної схеми електромеханічної передачі так, щоб забезпечити максимальну ефективність двигуна.

Розміри лабораторного стенду: діаметр – 145 мм; висота – 150 мм. Діаметр обертової платформи – 100 мм. Параметри платформи (момент інерції біля $180 \cdot 10^{-6} \text{ кг м}^2$) мають найбільший вплив на динамічні властивості стенду. Для підвищення динамічних властивостей стенду можливе розміщення датчиків безпосередньо на площині (біля $7,5 \text{ см}^2$) кінцевого валу (момент інерції біля $20 \cdot 10^{-6} \text{ кг м}^2$) без використання платформи.

Ключові слова: мікромеханічні датчики, гіроскопи, акселерометри, обертова платформа, лабораторний стенд, електромеханічні засоби автоматики.

УДК 681.200

АНАЛІЗ ШВИДКОДІЇ АЛГОРИТМІВ БЕЗПЛАТФОРМЕННИХ ІНЕРЦІАЛЬНИХ СИСТЕМ ОРІЄНТАЦІЇ

Сапегін О.М., Яковенко В.А.

Національний технічний університет України

“Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського”, Київ, Україна

E-mail: sapegin_a@ukr.net

Безплатформенні інерціальні навігаційні системи (БІНС) є основою навігаційного забезпечення широкого призначення. БІНС є універсальним джерелом інформації про поточну орієнтацію і розташування рухомого об'єкта.

Для роботи БІНС необхідно створити математичний апарат, який дозволяє описати орієнтацію системи координат (СК), пов'язаної з об'єктом щодо опорної СК. В рамках БІНС цю задачу виконує підсистема, яку називають безплатформенною інерційною системою орієнтації (БІСО).

В ході своєї роботи БІСО розраховує кінематичні параметри орієнтації, пов'язаної СК. Це можуть бути кути орієнтації Ейлера-Крилова, матриця направляючих косинусів (рівняння Пуассона), кватерніон повороту, вектор орієнтації Ейлера кінцевого повороту. Алгоритми БІСО використовують в якості вхідних величин проекції абсолютної кутової швидкості пов'язаної СК, виміряні датчиками кутової швидкості БІНС. На основі проекцій кутової швидкості формуються кінематичні рівняння, які після інтегрування визначають поточну орієнтацію об'єкта відносно пов'язаної СК.

Використання рівняння Ейлера найбільш наочне і просте у використанні, проте воно вироджується при складних еволюціях об'єкту, тому у роботі досліджувалися кватерніонне рівняння орієнтації, як найбільш поширене та кінематичне рівняння Пуассона.

Кінематичні рівняння орієнтації, незалежно від обраних кінематичних параметрів, мають диференціальну форму. Вони формуються по дискретним сигналам, що надходять з датчиків кутової швидкості НС. Для знаходження поточної орієнтації об'єкта потрібно організувати процедуру їх чисельного