

УДК 629.735.05:004(045)

О.А. Сущенко, канд. техн. наук

ОСОБЛИВОСТІ МОДЕЛЮВАННЯ НАВІГАЦІЙНОГО ВИМІРЮВАЧА НА ОСНОВІ ГІРОСКОПА З ДИНАМІЧНИМ НАСТРОЮВАННЯМ

НАУ, кафедра систем управління, e-mail: fsu@nau.edu.ua

Проаналізовано особливості моделювання навігаційного вимірювача на основі гіроскопа з динамічним настроюванням. Описано можливості його використання в різних режимах роботи навігаційної системи. Наведено результати досліджень точності приладу в режимі вимірювання кутової швидкості.

Вступ

Одним із напрямів розвитку сучасної навігації, характерних для розвинутих країн світу, є створення складних навігаційних приладів, які за своїми функціональними можливостями наближаються до інерціальних навігаційних систем. Передумовою успішного розвитку такого напрямку є:

- поява високоточних і малогабаритних вимірювачів навігаційної інформації;
- прогрес обчислювальної техніки, тобто значне збільшення швидкодії та обсягів запам'ятовуваних пристроїв;
- значний прогрес засобів обслуговуючої електроніки.

Високоточні малогабаритні вимірювачі дозволяють доповнювати, наприклад, прилад визначення курсу рухомого об'єкта акселерометрами та наряду із можливостями корекції й відповідно до збільшення точності цього приладу отримувати інформацію про швидкість і пройдений шлях після виконання подвійного інтегрування. Збільшення швидкодії та обсягів запам'ятовуваних пристроїв дозволяють реалізовувати досить складні алгоритми обчислення навігаційної інформації та застосовувати різні способи підвищення її точності алгоритмічними засобами. І, нарешті, нова обслуговуюча електроніка забезпечує складний процес з'єднання високоточних навігаційних датчиків із сучасними обчислювальними засобами. Наразі одним з підходів забезпечення найвищої точності є використання платформних систем вимірювання навігаційних параметрів.

Щодо вибору датчиків, то до найбільш поширених вимірювачів навігаційної інформації належать прилади, які будуються на основі гіроскопу з динамічним настроюванням. Використовуючи триступеневі гіроскопи такого типу, можна побудувати прилад вимірювання курсу рухомого об'єкта і гіровертикаль. Така система навігаційних датчиків, доповнена акселерометрами, повністю забезпечує потреби навігаційного приладу, який за своїми можливостями наближається до інерціальної навігаційної системи.

До суттєвих переваг приладів, що будуються на основі гіроскопів із динамічним настроюванням, належать малі маса та габарити, стабільність характеристик, відносно низька вартість.

При цьому існує ще одна важлива додаткова перевага, яка пов'язана з тією обставиною, що сучасні складні навігаційні прилади працюють у різних режимах роботи відповідно до поточного етапу розв'язання навігаційної задачі. Так, для вже згаданого приладу визначення курсу платформного типу до складу таких режимів входять режим приведення до меридіану, тобто розвороту на попередній розрахунковий кут курсу та безпосередньо режим визначення курсу рухомого об'єкта.

Розрахунковий кут курсу може бути визначений на підставі вимірювання кутових швидкостей обертання Землі. А важливою особливістю гіроскопа з динамічним настроюванням є можливість створення на його основі вимірювача кутової швидкості за умови використання зворотного зв'язку.

Отже, гіроскоп, що розглядається, може працювати як вільний гіроскоп і як вимірювач кутової швидкості, а його використання дозволяє задовольнити інформаційні потреби різних режимів роботи навігаційного приладу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Багато робіт присвячено особливостям використання та моделювання вимірювальних приладів на основі гіроскопа з динамічним настроюванням [1–3]. Але створення моделей таких приладів із використанням засобів Simulink і аналіз поведінки та точнісних властивостей вимірювача кутової швидкості на основі гіроскопа з динамічним настроюванням ще не знайшли свого повного відображення в науковій літературі.

Мета статті – розгляд особливостей моделювання вимірювачів навігаційної інформації на основі гіроскопа з динамічним настроюванням засобами Simulink. Створену модель застосовано для дослідження можливостей використання приладу на основі гіроскопа з динамічним настроюванням як вимірювача кутової швидкості.

Моделювання вимірювачів навігаційної інформації на основі гіроскопа з динамічним настроюванням

Математична модель вимірювача на основі гіроскопа з динамічним настроюванням з орієнтацією кінетичного моменту, що відповідає курсовому гіроскопу та забезпечує вимірювання курсу рухомого об'єкта, являє собою систему диференціальних рівнянь такого вигляду [4]:

$$J\ddot{\alpha} + d\dot{\alpha} + H\dot{\beta} + \frac{H}{T}\beta + c\alpha = -H_1\omega_x + M_x; \quad (1)$$

$$J\ddot{\beta} + d\dot{\beta} - H\dot{\alpha} - \frac{H}{T}\alpha + c\beta = H_1\omega_z - M_z; \quad (2)$$

$$H_1 = H(1-s); \quad s = 10^{-3},$$

де J – сума екваторіальних моментів ротора та карданової рамки гіроскопа; d – коефіцієнт демпфірування; H – кінетичний момент гіроскопа; T – стала часу гіроскопа; c – остаточна жорсткість карданового підвісу; ω_x, ω_z – проекції кутової швидкості платформи на її власні осі; M_x, M_z – моменти зовнішніх сил.

Диференціальні рівняння (1), (2) можуть бути безпосередньо реалізовані засобами системи Simulink. Вони також можуть бути подані у вигляді передавальних функцій. Для цього застосуємо до рівнянь (1), (2) перетворення Лапласа та після знехтування зовнішніми моментами отримаємо:

$$Jp^2\alpha + dp\alpha + Hp\beta + \frac{H}{T}\beta + c\alpha = -H_1\omega_x; \quad (3)$$

$$Jp^2\beta + dp\beta - Hp\alpha - \frac{H}{T}\alpha + c\beta = H_1\omega_z, \quad (4)$$

де p – оператор перетворення Лапласа.

Кожне з перетворених рівнянь (3), (4) може бути розв'язано відносно вихідної змінної:

$$\alpha = \frac{1}{Jp^2 + dp + c} \left[- \left(H + \frac{H}{T} \right) \beta - H_1\omega_x \right]; \quad (5)$$

$$\beta = \frac{1}{Jp^2 + dp + c} \left[\left(H + \frac{H}{T} \right) \alpha + H_1\omega_z \right]. \quad (6)$$

Виходячи з рівнянь (5), (6), легко скласти структурну схему передавальної функції приладу. Така схема відповідає засобам математичного моделювання Simulink і може бути легко відтворена за їх допомогою.

Результати моделювання показали, що для досягнення ефективного функціонування моделі доцільно поділити кожен з частин рівнянь (5)–(6) на p , остаточно отримаємо:

$$\alpha = \frac{p}{Jp^2 + dp + c} \left[-H\beta - \frac{H}{Tp}\beta - \frac{H_1}{p}\omega_x \right];$$

$$\beta = \frac{p}{Jp^2 + dp + c} \left[H\alpha + \frac{H}{Tp}\alpha + \frac{H_1}{p}\omega_z \right].$$

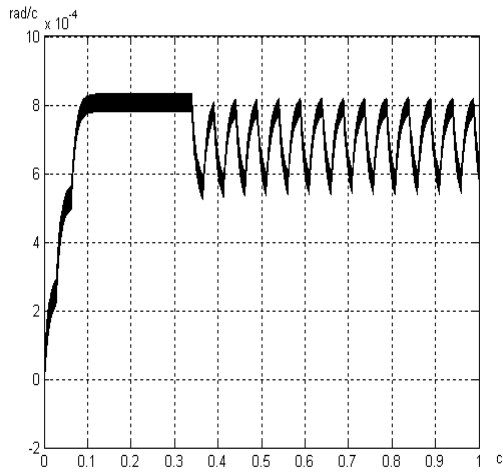
Модель, побудована за допомогою передавальних функцій, відрізняється вищою швидкістю, що особливо важливо для дослідження досить тривалих перехідних процесів вимірювачів на основі використання гіроскопа з динамічним настроюванням як вільного гіроскопа. Крім того, сам процес побудування моделі засобами Simulink є значно простішим саме у випадку застосування передавальних функцій.

Результати моделювання процесу вимірювання кутової швидкості приладом, побудованим на основі гіроскопа з динамічним настроюванням, подано на рис. 1–3. Сигнали вимірюваних малих кутових швидкостей зображено на рис. 1, 2.

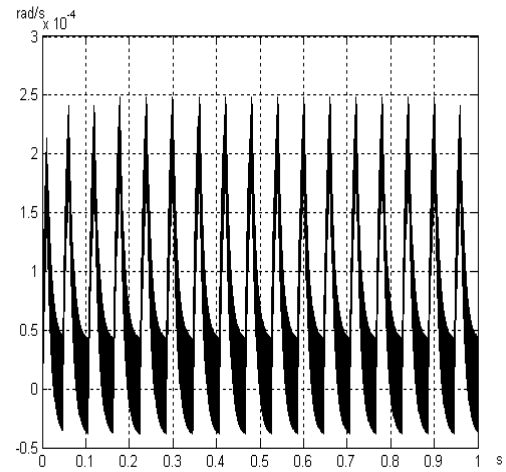
З метою можливості ефективного дослідження роботи вимірювача було застосовано осереднення модельованого сигналу в часі. На рис. 1 подано вихідні сигнали моделі вимірювача кутової швидкості після датчиків моментів, поділені на величину кінетичного моменту для відображення кутової швидкості, які відповідають вимірюванню швидкостей 0,0007 та 0,00007 рад/с. При цьому дискретність обробки сигналів становила 1 мс. На рис. 2 зображено ті самі осереднені сигнали. Рис. 3 ілюструє рівність інтегралів моментів, зумовлених вхідною швидкістю та струмом зворотного зв'язку. Ці моменти компенсують один одного, це, з одного боку, підтверджує працездатність моделі, а, з іншого, демонструє рівність середніх вхідної та вимірюваної кутових швидкостей.

Отже, отримані результати підтверджують можливість вимірювання приладом на основі гіроскопа із динамічним настроюванням малих кутових швидкостей та його використання для визначення розрахункового попереднього кута курсу. Характерною особливістю моделі вимірювача кутової швидкості на основі гіроскопа з динамічним настроюванням є використання зворотного зв'язку. При цьому модель безпосередньо гіроскопа з динамічним настроюванням доповнюється моделями сервісної електроніки, а саме, підсилювача, цифрового фільтра, аналого-цифрового перетворювача, широтно-імпульсного перетворювача та ін. Структурну схему такої моделі зображено на рис. 4.

Моделі сервісної електроніки позначені на ньому як окремі підсистеми.

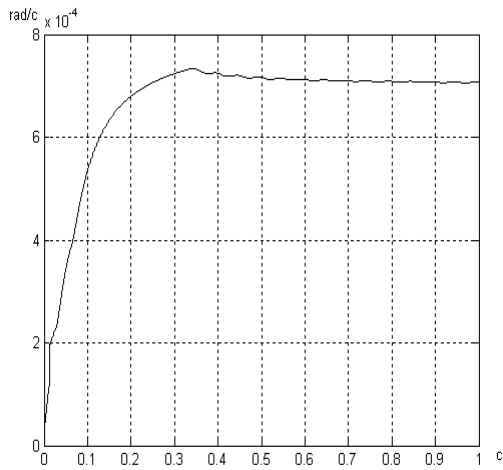


a

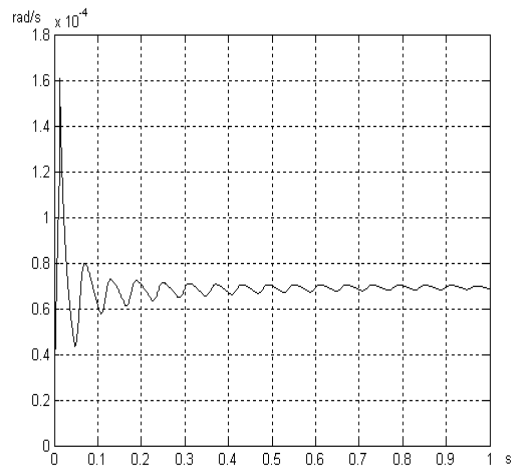


б

Рис. 1. Вихідний сигнал кутової швидкості 0,0007 (*a*) та 0,0007 (*б*) рад/с

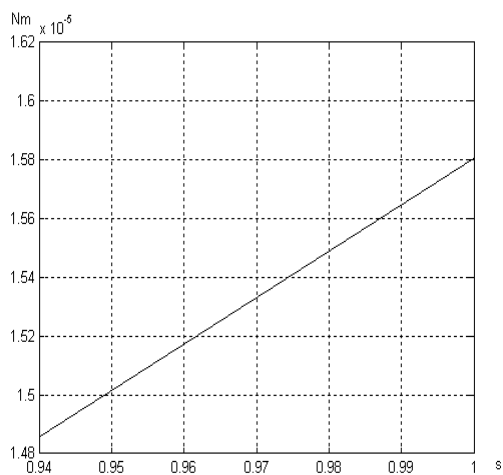


a

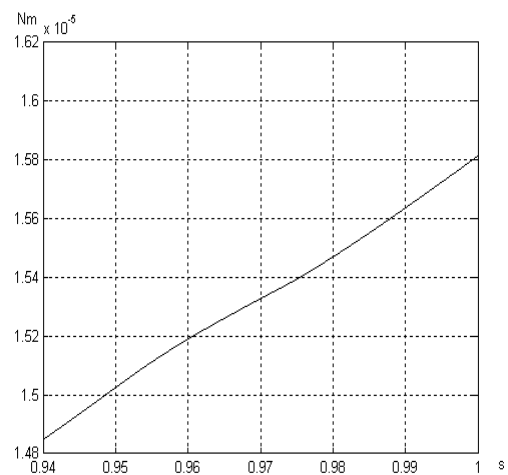


б

Рис. 2. Вихідний сигнал осередненої кутової швидкості 0,0007 (*a*) та 0,0007 (*б*) рад/с



a



б

Рис. 3. Момент, зумовлений дією вхідної кутової швидкості (*a*) та струму зворотного зв'язку (*б*)

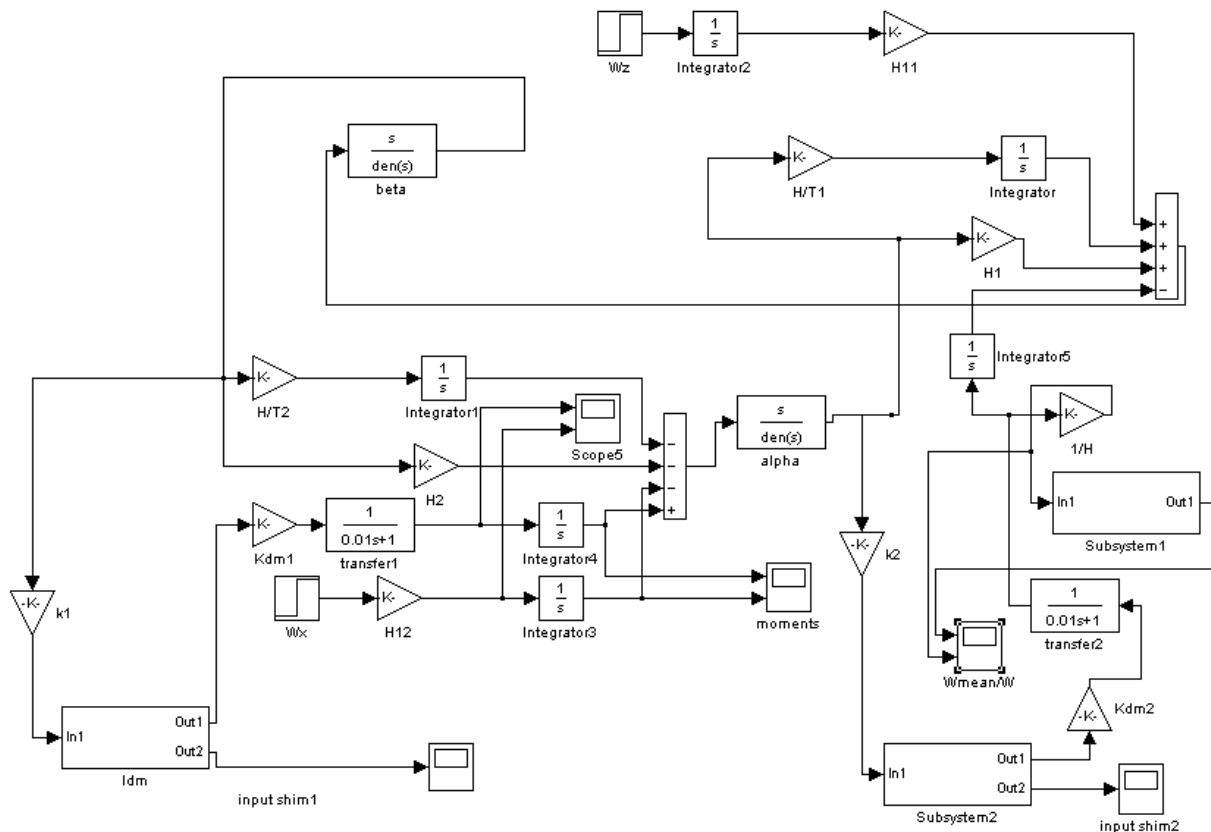


Рис. 4. Модель вимірювача кутової швидкості на основі гіроскопа з динамічним настроюванням

Висновок

Моделювання гіроскопа з динамічним настроюванням найбільш доцільно проводити на основі передавальних функцій із використанням засобів Simulink.

Застосування гіроскопа з динамічним настроюванням як датчика кутової швидкості навігаційного приладу дозволяє визначити попередній розрахунковий кут курсу.

Література

1. Нестеренко О.И., Аврутов В.В. Математическая модель малогабаритного корректируемого

гироскопа с динамически настраиваемым гироскопом // Вести КПИ. Приборостроение. – К.– 1995. – Вып. 24. – С. 24–33.

2. Збруцький О.В., Нестеренко О.И., Шевчук А.В. Математична модель однієї схеми курсокренопоказчика // Механіка гіроскопічних систем. – К. – 2001–2002. – Вип. 17–18. – С. 154–167.

3. Сущенко О.А. Особенности управления системой визначення курсу в режимі точного приведення до горизонту // Вісн. НАУ. – К.– 2004. – №4. – С. 29–32.

4. Павловский М.А. Теория гироскопов. – К.: Вища шк., 1986. – 304 с.

Стаття надійшла до редакції 12.09.05.

О.А. Сущенко

Особенности моделирования навигационного измерителя на основе динамически настраиваемого гироскопа
Проанализированы особенности моделирования навигационного измерителя на основе динамически настраиваемого гироскопа. Описаны возможности его использования в разных режимах работы навигационной системы. Приведены результаты исследования точности прибора в режиме измерения угловой скорости.

О.А. Sushchenko

Simulation peculiarities of the navigation information measuring devise based on dynamically tuned gyro
Simulation peculiarities of the navigation information measuring devise based on dynamically tuned gyro are analyzed. Possibilities of its use in different operating modes of the navigational systems are described. The device accuracy at the mode of the angle rate measurement is researched.