

СЕКЦІЯ 4
ПРИЛАДИ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦІЇ

УДК 621.317

ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ З НАПРЯМКУ «АВІАЦІЙНА ГРАВІМЕТРИЧНА СИСТЕМА ТА ГРАВІМЕТРИ»

Безвесільна О. М.

Національний технічний університет України

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

E-mail: o.bezvesilna@gmail.com

Розроблено і апробовано нову (патент на винахід) уточнену математичну модель авіаційної гравіметричної системи (АГС), алгоритми, пакет комп'ютерних програм, рішення рівняння руху АГС за допомогою ЕОМ для різних маршрутів літального апарату (ЛА) [1].

Підтверджено теоретично і експериментально доцільність використання в АГС гірогравіметра (ГГ):

- розроблено алгоритми, програми по дослідженню ГГ за допомогою ЕОМ у різних динамічних режимах;
- створено лабораторний комплекс для автоматизованих досліджень ГГ АГС на ЕОМ;
- отримано графіки, таблиці і номограми по аналізу точності ГГ.

Створено методики і розроблено алгоритми оцінювання стану стійкої і нестійкої рівноваги ГГ на основі методу найменших квадратів і фільтра Калмана. Запропоновано уточнені алгоритми оцінювання [2].

Розроблено методику проведення авіаційних гравіметричних вимірювань для різних маршрутів руху ЛА.

На основі розроблених теорії і принципів побудови АГС з прецизійним ГГ з цифровою обробкою інформації, вирішено проблему підвищення точності (у 2 рази) і швидкодії АГС (більше ніж у 10 разів), порівняно із відомими [3].

Ключові слова: гіроскоп, гравіметр, авіаційна гравіметрична система.

Література

- [1] О. М. Безвесільна, *Вимірювання прискорень. Підручник (з грифом МОНУ)*. Київ, Україна: Либідь, 2002.
- [2] О. М. Безвесільна, *Авіаційні гравіметричні системи та гравіметри*. Житомир, Україна: ЖДТУ, 2007.
- [3] О. М. Безвесільна, *Оцінка стану гірогравіметра авіаційної гравіметричної системи з цифровою обробкою інформації*. Київ, Україна: КПІ ім. Ігоря Сікорського, ДП НВЦ «Пріоритети», 2020.

УДК 621.317

НОВІ ТИПИ ГРАВИМЕТРІВ АВІАЦІЙНОЇ ГРАВИМЕТРИЧНОЇ СИСТЕМИ

Безвесільна О. М.

Національний технічний університет України

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

E-mail: o.bezvesilna@gmail.com

Науковцями кафедри приладобудування створено та досліджено нові типи гравіметрів АГС: п'єзоелектричного, вібраційного, динамічно -настроюваного, ємнісного МЕМС, гірскопічного (одноканальних та двоканальних). Здобуто наступні результати:

- обґрунтовано доцільність використання нових п'єзоелектричного, струнного, двоканального ємнісного МЕМС гравіметрів автоматизованої АГС більшої точності (0,5 мГал) від відомих гравіметрів (2 – 8 мГал);
- розроблено нові двоканальні п'єзоелектричний, струнний, ємнісний МЕМС гравіметр, в яких точність підвищується за рахунок використання двох каналів;
- уперше проведено експериментальні наукові дослідження впливу найбільш небезпечних резонансних режимів роботи нових гравіметрів п'єзоелектричного, струнного, ємнісного МЕМС: $\omega = \omega_0$, $\omega = 2\omega_0$, $\omega = 3\omega_0$, $\omega = \omega_0/2$, $\omega = \omega_0/3$ у тому числі на створеному лабораторному стенді. Встановлено, що резонанс виникає тільки при $\omega = \omega_0 = 0,1$ рад/с, однак, при збільшенні коефіцієнта демпфування до 0,705 резонанс зникає;
- зазначені результати дозволяють підвищити точність вимірювання g у 2 рази (0,5 мГал) порівняно з відомими авіаційними гравіметрами (2 – 8) мГал [1].

Результати роботи впроваджено у навчальному процесі на кафедрі приладобудування КПІ ім. Ігоря Сікорського при проведенні лекційних, лабораторних та практичних занять із навчальних дисциплін «Перетворювачі фізичних величин» та «Наукові дослідження», а також – у дослідження по тематиці ПАТ «НВО «Київський завод автоматики».

Ключові слова: гіроскоп, гравіметр, авіаційна гравіметрична система.

Література.

- [1] О. М. Безвесільна, *Прецизійний приладовий навігаційний комплекс та його чутливі елементи*. Київ, Україна: КПІ ім. Ігоря Сікорського, ДП НВЦ «Пріоритети», 2019.

УДК 535.5:621.38

НЕТРАДИЦІЙНЕ ЗАСТОСУВАННЯ ЧЕРВ'ЯЧНОЇ ПЕРЕДАЧІ У МЕХАНІЧНИХ ПРИВОДАХ

¹⁾Неводовський П. В., ²⁾Гераймчук М. Д., ¹⁾Неводовський В. П., ¹⁾Відьмаченко А. П.

¹⁾Головна астрономічна обсерваторія НАН України, Київ, Україна,

²⁾Національний технічний університет України

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

E-mail: nevod@mao.kiev.ua, geraimchuk@kpi.ua, vida@mao.kiev.ua

Робота відноситься до галузі загального машинобудування, приладобудування, а саме до розділу черв'ячної передачі, і може використовуватися у приводах технологічних, транспортних, приладобудівних машин широкого призначення.

Відомі черв'ячні передачі містять черв'як та черв'ячне колесо, кінематично зв'язані між собою. Такі передачі є компактними та мають велике передаточне відношення [1, с. 310, Рис. 391]. Завдяки таким своїм перевагам ці передачі знайшли широке використання у різних галузях техніки.

До недоліків черв'ячної передачі слід віднести складну і дорогу технологію виготовлення вінця, а саме: зубців черв'ячних коліс. Для усунення цього недоліку складне і дороге у виготовленні черв'ячне колесо замінюють на колесо з косими зубами [2, с. 196, Рис. 12.1, а].

Ми пропонуємо піти далі, і замінити складне і дороге у виготовленні черв'ячне колесо на зубчате колесо з прямими зуб'ями, а вісь обертів черв'яка розвернути на кут, який відповідає куту нахилу лінії витка черв'яка до його вісі. Внаслідок таких змін черв'ячна пара зберігає свої розрахункові параметри, а виготовлення вінця колеса суттєво спрощується і відповідно здешевлюється.

Використання запропонованої конструкції черв'ячної передачі в приводах машин і механізмів дозволяє: розширити асортимент черв'ячних передач; підвищити довговічність роботи черв'ячної передачі; підвищити продуктивність машин за рахунок скорочення простоїв, зумовлених необхідністю ремонту або заміни деталей черв'ячної передачі. Ця ідея була підтверджена отриманням авторського свідоцтва [3], та подачею заявки на отримання патенту.

Більш детальну інформацію щодо розробки та застосування такої черв'ячної передачі викладено у доповіді.

Ключові слова: черв'ячна передача, вінець та зубці черв'ячного колеса.

Література.

[1] В. А. Добровольский. Детали машин. Киев: ГОС. ИЗДАТ. ТЕХ. ЛИТ. УССР, 1954.

[2] Ю. Д. Первицкий. Расчет и конструирование точных механизмов. Ленинград, СССР: Машиностроение, 1976.

[3] Авторське свідоцтво № 100945 від 27.11.2020 р.

УДК 621.382.3

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ РОЗСІЮВАННЯ НОСІЇВ ЗАРЯДУ У НІТРИДАХ ІНДІЮ І ГАЛІЮ

Саурова Т. А., Ємельянов М. Г.

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, Україна

E-mail: saurowa-ee@iit.kpi.ua, temelianov-ee23@iit.kpi.ua

На сучасному етапі розвитку твердотільної електроніки в фокусі дослідників, технологів, розробників знаходяться багатоконпонентні напівпровідники. У числі перспективних трикомпонентних матеріалів для створення електронних та оптоелектронних приладів і пристроїв знаходиться нітрид індію галію InGaN. Дослідники властивостей матеріалів розглядають InGaN як сплав бінарних напівпровідникових сполук; нітриду індію InN і нітриду галію GaN.

Дослідження процесів розсіювання носіїв заряду в бінарних нітридах є основою визначення кінетичних властивостей електронів у трикомпонентному нітриді InGaN. Для нітридів індію і галію проведено дослідження основних механізмів розсіювання (домішкового і фононного), що визначають електричні властивості матеріалу. На основі аналітичної моделі, запропонованої в [1, 2], визначені температурні залежності зворотних часів релаксації імпульсу при розсіюванні на нейтральних атомах домішки, на іонах домішки, а також для оптичного, акустичного і междолинного розсіювання. Результати моделювання, що проведені при концентрації домішки 10^{23} м^{-3} показали, що обом матеріалам характерно значний вклад розсіювання на нейтральних атомах домішки при температурах нижче 200 К. Найбільше значення сумарного зворотного часу релаксації імпульсу, що склало для нітриду індію $1,3 \cdot 10^{13} \text{ с}^{-1}$, для нітриду галію $4,25 \cdot 10^{13} \text{ с}^{-1}$, спостерігається при температурі 80К і 50К, відповідно. Для зазначеної величини при 300К отримано аналогічне співвідношення; для InN ($7 \cdot 10^{12} \text{ с}^{-1}$) майже в 3 рази менше, ніж для GaN. Чисельний експеримент проведено при вихідних параметрах моделювання, що відповідають експериментальним даним [3]. Аналіз отриманих результатів дослідження типових механізмів розсіювання показав, що у всьому діапазоні температур значення сумарного зворотного часу релаксації імпульсу для InN у декілька разів менше в порівнянні з GaN.

Ключові слова: нітрид індію, нітрид галію, розсіювання.

Література.

- [1] В. О. Москалюк, *Фізика електронних процесів. Динамічні процеси*, Київ: Політехніка, 2004.
- [2] Т. Saurova, D. Kuzmenko, “Research of impulse properties of indium phosphide”, *Вісник НТУУ “КПІ”, Серія приладобудування*, Вип. 54(2), с. 49-52, 2017.
DOI: [10.20535/1970.54\(2\).2017.119530](https://doi.org/10.20535/1970.54(2).2017.119530)
- [3] Ioffe Physico-Technical Institute, "New Semiconductor Materials. Characteristics and Properties", [Online]. Available: <http://www.ioffe.ru/SVA/NSM/Semicond/>

УДК 621.382.3

ДОСЛІДЖЕННЯ ДРЕЙФОВОЇ РУХЛИВОСТІ НОСІЇВ ЗАРЯДУ У НІТРИДАХ ІНДІЮ І ГАЛІЮ

Саурова Т. А., Ємельянов М. Г.

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, Україна

E-mail: saurowa-ee@lil.kpi.ua, temelianov-ee23@lil.kpi.ua

Дрейфова рухливість є однією з характеристик, що описує кінетичні властивості носіїв заряду. Зазначена характеристика визначається законом дисперсії і структурою енергетичних зон, розрахункове співвідношення:

$$\mu(T) = \frac{e\tau_p(T)}{m_c^*},$$

де e – заряд електрона, τ_p – результуючий часу релаксації імпульсу, m_c^* – омічна ефективна маса. Величина τ_p визначається часом релаксації імпульсу $\tau_{pi}(T)$ домішкового та фононного механізмів розсіювання носіїв заряду

$$1/\tau_p(T) = \sum_i 1/\tau_{pi}(T).$$

На основі результатів моделювання температурної залежності зворотних часів релаксації імпульсу для типових механізмів розсіювання, що визначають електричні властивості матеріалів, розрахована температурна залежність дрейфової рухливості електронів у нітридах індію і галію. В основу чисельного експерименту покладено метод релаксаційних рівнянь [1, 2].

Для нітридів індію і галію (InN, GaN) розрахована температурна залежність дрейфової рухливості електронів для широкого діапазону концентрації домішки. Проведено аналіз, порівняння та верифікація результатів чисельного моделювання.

Отримані результати дозволять провести чисельне моделювання температурної залежності дрейфової рухливості електронів у трикомпонентному твердому розчині InGaN, який є сплавом досліджених бінарних нітридів (InN, GaN).

Ключові слова: нітрид індію, нітрид галію, дрейфова рухливість.

Література

- [1] В. О. Москалюк, *Фізика електронних процесів. Динамічні процеси*. Київ: Політехніка, 2004.
- [2] T. Saurova and D. Kuzmenko, “Research of the AlGaAs impulse properties”, 2018 *IEEE 38th International Conference on Electronics and Nanotechnology (ELNANO-2018)*, pp. 92–95, April 2018.

УДК 621.317

ВИСТАВКА ГРАВИМЕТРІВ АГС

Безвесільна О. М., Котляр С. С.

Національний технічний університет України

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

E-mail: o.bezvesilna@gmail.com, s.tkachenko@kpi.ua

Встановлено, що помилки виставки трьох ортогональних акселерометрів обумовлені, в основному, двома причинами: нестабільністю параметрів самих приладів (зсувами нуля акселерометрів, відхиленнями коефіцієнта передачі акселерометра від одиниці, помилкою кутового положення осі чутливості, тобто кутом між рискою та віссю чутливості); рухом об'єкта, на якому встановлена система акселерометрів, в результаті чого наявні прискорення будуть призводити до відхилення осей чутливості приладів від напрямку вертикалі [1].

Отримано вирази складових питомої сили, що вимірюються трьома ортогональними акселерометрами. Ці вирази у спрощеному вигляді можна представити матрицею:

$$\vec{f} = \begin{pmatrix} \theta & + D_1 \\ -\vartheta g & + D_2 \\ g & + D \end{pmatrix},$$
$$D_1 = -(\dot{r}\dot{\varphi}_c + r\ddot{\varphi}_c)\cos\chi + (\ddot{r} - r\dot{\varphi}_c^2)\sin\chi - 2r\omega_3\dot{\lambda}\cos\varphi_c\sin\varphi - r\dot{\lambda}\cos\varphi_c\sin\varphi;$$
$$D_2 = 2r\dot{\varphi}_c\omega_3\dot{\lambda}\sin\varphi_c + 2r\dot{\varphi}_c\dot{\lambda}\sin\varphi_c - 2\dot{r}\omega_3\dot{\lambda}\cos\varphi_c - 2\dot{r}\dot{\lambda}\cos\varphi_c - r\ddot{\lambda}\cos\varphi_c;$$
$$D = (2\dot{r}\dot{\varphi}_c + r\ddot{\varphi}_c)\sin\chi + (\ddot{r} - r\dot{\varphi}_c^2)\cos\chi - 2r\omega_3\dot{\lambda}\cos\varphi_c\cos\varphi - r\dot{\lambda}\cos\varphi_c\cos\varphi$$

де θ , ϑ – кути між нормальними до еліпсоїда та геоїда в меридіональному перетині і в площині перетину, перпендикулярного площині меридіану;

D_1 , D_2 , D_3 - вирази прискорень питомої сили у проєкціях f_x , f_y , f_z відповідно, вплив яких потрібно компенсувати при виставці акселерометрів.

Встановлено, що при точній виставці акселерометрів повинні виконуватися рівності

$$f_x \approx \theta g; f_y \approx -\vartheta g; f_z \approx g \text{ або } D_1 = 0; D_2 = 0; D = 0.$$

Задача виставки осей чутливості трьох акселерометрів у взаємоперпендикулярних напрямках зводиться до того, що необхідно з потрібним ступенем точності виміряти параметри руху об'єкта, що входять у вирази D , D_1 , D_2 (швидкість, широта, довгота та ін.), потім обчислити (наприклад, у БЦОМ) аналітичні вирази D , D_1 , D_2 і подати їх з оберненими знаками на вихід акселерометрів. У такий спосіб виконується компенсація перешкод-прискорень, викликаних відхилення осей чутливостей акселерометрів від заданих напрямків [1].

Ключові слова: виставка, вісь чутливості, питома сила.

Література

- [1] О. М. Безвесільна, В. Г. Цірук, С. П. Маляров, *Попередня прецизійна виставка навігаційних чутливих елементів приладового комплексу стабілізатора озброєння легкої броньованої техніки: монографія*. Житомир, Україна: ЖДТУ, 2015.

УДК 681

ОЦІНКА ВІБРАЦІЙНОЇ ПОХИБКИ ПРИ КООРДИНАТНИХ ВИМІРЮВАННЯХ

Литвиненко П. Л., Нечай С. О.

Національний технічний університет України

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

E-mail: pavel.l.litvinenko@gmail.com, prilad@ukr.net

Мехатронні пристрої та системи набувають останнім часом все більшого поширення у різних галузях науки і техніки. При відносно невеликій вартості вони дозволяють виконувати складні і точні рухи, мають високу надійність, довговічність, покращені масогабаритні характеристики. Завдяки спрощенню кінематичних вузлів мають високі динамічні характеристики.

Такі властивості мехатронних пристроїв привели до широкого використання їх при створенні автоматизованих контрольно-вимірювальних пристроїв та систем зокрема вузлів та систем координатно-вимірювальної техніки.

Поява новітніх інтелектуальних датчиків, високомоментних вентильних двигунів особливо лінійних, інтелектуальних силових перетворювачів на базі напівпроїдникових приладів нового покоління, а також контролерів руху на базі блоків FPGA (Field Programmable Gate Arrays) дозволило створити високошвидкісні та високоточні модулі руху, які придатні для координатних вимірювань. При цьому широке використання набули механізми паралельної кінематики, зокрема шестиосьові механізми. На відміну від класичних механізмів з послідовною кінематикою вони мають менші габарити, велику жорсткість конструкції і з'єднувальні кабелі не заважають рухомим вузлам. При цьому поступальні пари конструктивно досить прості.

Недоліками можна вважати складність керування рухами вихідної ланки, а також недостатня дослідженість динаміки таких механізмів. Точність їх рухів та динамічні характеристики значною мірою залежать від якості виконання напрямних, шарнірів та підшипників. Особливо це проявляється при швидкісному скануванні та проведенні вимірювань методом слідування за поверхнею, які вимагають високої швидкості переміщень рухомих вузлів.

Задача розрахунку динамічних параметрів ускладнюється тим, що вона тісно зв'язана з вирішенням як прямої, так і зворотної задачі кінематики паралельного механізму, що є само по собі досить складною задачею.

У процесі роботи внаслідок відносного переміщення елементів системи виникає вільна (власна) вібрація механізму, частота якої пов'язана, зокрема із технологічними похибками елементів конструкції. За допомогою математичного

моделювання на стадії проектування, враховуючи характер інструментальних похибок, відносні швидкості переміщення елементів та навантаження на вузли, оцінюються відповідні показники точності, надійності та динамічні характеристики.

Ключові слова: механізми паралельної кінематики, динаміка руху, точність.

УДК 53.08:620.178.5

ХАРАКТЕРИСТИКА ДЕСТАБІЛІЗУЮЧИХ ФАКТОРІВ АВТОМАТИЗОВАНОГО ОБЛАДНАННЯ ЗА ВІБРАЦІЯМИ

Квасніков В. П., Стахова А. П.

Національний авіаційний університет, Київ, Україна,

E-mail: kvp@nau.edu.ua, sap@nau.edu.ua

Системи неперервного моніторингу застосовуються для запису та оцінки необхідних параметрів шуму та вібрацій на відповідність нормативним вимогам. За своїми перевагами системи безперервного моніторингу володіють великим недоліком - високою ціною. Дешевше контролювати параметри шуму і вібрації віброаналізатором за який-небудь проміжок часу.

За допомогою вібродіагностики можна контролювати обладнання, діагностувати несправності, прогнозувати подальший розвиток несправностей устаткування. Перевагою вібродіагностики є контроль параметрів поточного стану машинного обладнання в процесі експлуатації без його демонтажу. В роботі визначенні можливі несправності для автоматизованого машинного обладнання, в ролі якого виступає навчальний стенд для подальшого складання вібродіагностичної карти. Це необхідно для виявлення і визначення дефектів на ранній стадії його появи.

У процесі дослідження проведено аналіз ознак дефектів обладнання, які визначає вібродіагностика. На підставі проведеного аналізу можна зробити наступні висновки:

1. В результаті аналізу неврівноваженості ротора з'ясувалося, що її основним діагностичним ознакою є висока амплітуда на зворотному частоті.
2. Аналіз дефектів ременя показав, що через схожість ознак дефектів ременя з ознаками дефектів підшипників необхідно відокремлювати складові вібрації підшипників від вібрацій ременя.
3. Аналіз несправностей підшипників показав, що необхідно вимірювати спектр обвідної, стежити за піками на частотах внутрішнього і зовнішнього кілець.
4. Аналіз дефектів електромагнітної системи електродвигуна показав, що для визначення дефектів необхідно використовувати додаткові ознаки, як зростання температури на корпусі двигуна, падіння амплітуди на частоті обертання при відключенні живлення, і зростання низькочастотної вібрації.

Вивчення типових дефектів вібраційного стенду, що визначаються вібродіагностикою дозволяють уточнити діагностичні признаки несправностей для подальшої побудови вібраційної карти. Що, в свою чергу, дозволить виявляти дефекти автоматизованого обладнання на ранніх стадіях їх розвитку, але при цьому дозволить зменшити затрати на їх виявлення.

Ключові слова: вібрація, вібродіагностика, вібродіагностична карта, вібраційний стенд, математичне моделювання.

УДК 621.317

ДИНАМІЧНО-НАСТРОЮВАНІ ГРАВІМЕТРИ АГС

Безвесільна О. М., Нечай С. О., Котляр С. С.

Національний технічний університет України

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

E-mail: o.bezvesilna@gmail.com, prilad@ukr.net, s.tkachenko@kpi.ua

Оскільки останнім часом досягнуто високого рівня нових розробок гравіметрів АГС, зокрема в КПІ ім. Ігоря Сікорського науковцями у лабораторії вимірювальних перетворювачів приладобудівного факультету, то у подальшому викладемо інформацію про найновіші розробки цих типів гравіметрів. Одним із найбільш точних вимірювань g є динамічно-настроюваний гравіметр, вихідний сигнал якого:

$$M_g = mg \cos \alpha,$$

де m - маса ротора, l - зсув центра мас ротора щодо осі підвісу, α - кут відхилення ротора.

Кут відхилення ротора α установиться при рівності моменту сили ваги M_g моменту сил пружності торсіонів

$$M_T = C_x \alpha.$$

де C_x - жорсткість торсіонів на кручіння, і відцентровому моменту

$$M_u = I \dot{\gamma}^2 \sin \alpha,$$

де I - момент інерції ротора.

$$C_x \alpha + I \dot{\gamma}^2 \alpha = -m l g,$$

звідки

$$\alpha = -\frac{ml}{C + I \dot{\gamma}^2} g = -\frac{ml}{k} g.$$

Крім найпростішої схеми динамічно-настроюваного гравіметра, яка представлена на рис. 1, розроблено декілька інших схем з більшою кількістю елементів (кілець, пружних підвісів тощо). Кожна із схем має свої особливості в роботі, які необхідно враховувати і можна використовувати як переваги.

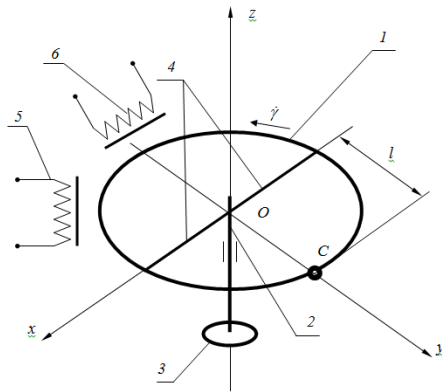


Рис. 1. Динамічно-настроюваний гравіметр АГС, де: 1 - масивний ротор на валу 2 привідного двигуна 3, 4 - пружний підвіс; 5 – датчик кута; 6 – датчик моменту

Ключові слова: гравіметр, авіаційна система.

УДК 621.382.2/3

COMPENSATION MEMS ACCELEROMETER

Vladislav Dubinets, Aleksandr Korniienko

National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine

E-mail: vidubinets@ukr.net, rank2505@gmail.com

Motion sensors, which include accelerometers of linear and angular accelerations, after integration their signals, make it possible to determine the location of an object in space. Inclinometers determine the inclination of an object by measuring the angle of inclination in relation to the vector of gravitational acceleration. Such well-known companies as STM, Freescale, Honeywell, Analog Devices, Motorola, Lucas NovaSensor and others are actively developing MEMS accelerometers whose turnover in 2021 is expected to be about 65 billion doll [1, 2].

MEMS accelerometers provide microminiature size, low power consumption, compensate for errors caused by noise, temperature drift, nonlinearity due to the implementation of various circuitry, design and technological solutions.

Low metrological characteristics, for example, for MEMS accelerometers from Analog Devices in the range of measured accelerations of $\pm 10g$, nonlinearity errors are from 0.2 to 0.5%; ± 2 to $0.3 \text{ mg} / ^\circ\text{C}$ by temperature coefficient of zero deviation; from $\pm 0.5\%$ to $\pm 0.3\%$ according to the sensitivity deviation. The main reason is related to the use of analog elements [3, 4].

There are practically no self-oscillating accelerometers among these devices. Recently, there have been works [5, 6] devoted to digital self-oscillating MEMS accelerometers with an electromagnetic power drive and the use of optical and electromagnetic components [7]. As a result, this approach allows one to obtain higher metrological characteristics, reduce nonlinearity and noise due to the system's operation in self-oscillating mode, provide self-regulation, reduce sensitivity to interference, expand the measurement range due to nonlinear feedback. Such accelerometers make it possible to measure both constant and variable accelerations,

and the presence of feedback allows them to be classified as compensation accelerometers with one measuring axis.

The main areas of application of digital self-oscillating microaccelerometers are:

- inertial navigation systems (aircraft rocketry, shipbuilding, drones, etc.);
- monitoring of building structures as vibration sensors, inclinometers and seismic sensors;
- in geodesy while drilling wells;
- medical equipment and systems - sensors of movement, pulse, respiration, etc.

Keywords: accelerometer, compensation, self-oscillating, sensitivity, zero deviation offset coefficient.

Література

- [1] Sensors for drons and robots market opportunities and technology revolution. Villeurbanne, France: Yole Developpment, 2016.
- [2] Status of the MEMS Industry 2017. Villeurbanne, France: Yole Developpment, 2017.
- [3] В. І. Дубінець, С. М. Гуменюк, “Індуктивно-ємнісний інтегральний датчик прискорення”, Патент на винахід № 97773. Опубл. 12.03.2012. Бюл. №5.
- [4] MEMS Inertial Sensors. Accelerometers. Analog Devices, 2017.
- [5] A. Bose, S. Puri, P. Bancrjee, *Modern Inertial Sensors and Systems*. Prentice Hall of India. Pvt. Ltd. 2008.
- [6] С. Р. Карпиков, А. И. Скалон, “Линейный микроакселерометр”, патент на изобретение. Рос. Федерация: RU 2629654 С1: МПК G 01P15/08, заявл.11.07.2016; опубл. 30.08.2017. Бюл. №25.
- [7] С. Р. Карпиков, “Режим автоколебаний в микромеханическом акселерометре как способ снижения шума”, на 111 Междунар. научно-практ. конф. Sensorica – 2015, СПб. Университет ИТМО, 2015, с. 32-34.

УДК 531.7

ЗАСТОСУВАННЯ ВЕЙВЛЕТ ПЕРЕТВОРЕННЯ В ВИМІРЮВАЛЬНИХ СИСТЕМАХ

Безвесільна О. М., Чепюк Л. О.

Національний технічний університет України

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

E-mail: o.bezvesilna@gmail.com, traveller2762@gmail.com

Цифрова фільтрація зашумлених сигналів важлива при вирішенні широкого кола науково-технічних завдань. Традиційно, для очищення інформаційних повідомлень від перешкод застосовуються підходи, які використовують перетворення Фур'є. Застосування цифрових НЧ - фільтрів в вимірювальному каналі дозволяє знизити рівень адитивних шумів, присутніх в сигналі. Але, не дивлячись на те, що математичний апарат перетворення Фур'є є важливим і корисним інструментом практичних досліджень, він має ряд обмежень. Так, фільтри на основі перетворення Фур'є не дозволяють ефективно усувати ізольовані особливості сигналів. У зв'язку з тим, що це перетворення використовує нескінченно осцилюючі гармонійні функції, відомості про ізольовані особливості сигналу

містяться у всіх коефіцієнтах перетворення, і відповідні перешкоди дуже складно відфільтрувати. Ці проблеми частково вдається вирішити за рахунок застосування віконного перетворення Фур'є, що дозволяє обмежитися діапазоном, який відповідає обраному часовому вікні. Однак при розгляді широкосмугових процесів, фіксоване за часом вікно не забезпечує по справжньому локалізований аналіз сигналу, і коригування ізольованої особливості буде приводити до спотворень сигналу в деякій її околиці.

Класичний апарат перетворення Фур'є був розроблений для стаціонарних випадкових процесів, характеристики яких незмінні в часі. Якщо ж властивості процесу зазнають змін, це може привести до різних проблем в інтерпретації отриманих результатів, неоднозначності і т.п. Багато процесів в природі є не-стаціонарними, і при їх обробці слід враховувати існуючі обмеження класичного спектрального аналізу. При розгляді систем з мінливими параметрами замість гармонійних доцільно використовувати інші функції. Ці міркування з часом привели до формування теорії вейвлет - аналізу.

Застосування одновимірного дискретного вейвлет - перетворення (ДВП) є стандартним методом вейвлет - фільтрації сигналів, який до теперішнього часу детально вивчений і широко застосовується в багатьох областях науки і техніки. На практиці ДВП використовується в рамках алгоритмів багато масштабного аналізу, які передбачають швидке (пірамідальне) розкладання сигналу з використанням квадратурних дзеркальних фільтрів: високочастотного і низькочастотного.

Застосування НЧ - фільтра дозволяє проводити апроксимацію (згладжування) сигналу, а використання взаємопов'язаного з ним ВЧ - фільтра забезпечує можливість вивчати відхилення від даної апроксимації. Особливістю багато масштабного аналізу є та обставина, що апроксимація і подальше вивчення деталізації сигналу проводяться на різних рівнях дозволу, для чого розглядаються послідовні апроксимуючі простори, що є відмасштабованими і інваріантними щодо зсувів на цілі числа різновидами одного центрального функціонального простору.

Застосування ДВП для цифрової фільтрації сигналів є більш перспективним підходом у порівнянні з перетворенням Фур'є через можливість ефективного усунення локалізованих перешкод.

ДВП, зазвичай використовується в рамках багато масштабного аналізу, здійснює розкладання сигналу на складові, які відносяться до різних масштабів спостереження. Після переходу в простір вейвлет - коефіцієнтів проводиться коригування коефіцієнтів, що відносяться до малих масштабів, де найбільшою мірою позначається вплив шуму. Відповідне коригування має здійснюватися на різних рівнях дозволу, і подальше відновлення сигналу в ході зворотного ДВП дозволяє провести його очищення від фонового шуму.

Вейвлет - аналіз може застосовуватися як в системах аналізу даних, так і в вимірювальних цілях, які використовують цифровий підхід при обробці сигналів.

Завдяки високій швидкодії, ефективності алгоритмів і їх стійкості до дії перешкод, вейвлет - перетворення є потужним інструментом при використанні його в вимірювальних системах. Використання вейвлет - аналізу з застосуванням ортогональних базисів підходить для вирішення цілого кола завдань в області сучасних вимірювальних систем. Поведінка ряду вейвлет функцій спектрально схожа з деякими затухаючими періодичними коливаннями, таких як локальний сигнал виду загасаючий синус і ін.

Вейвлет - перетворення може надати розширену інформацію про результати вимірювань, отриманих в ході експерименту. Це досягається за рахунок фільтрації вихідних даних від випадкових перешкод, шумів, викидів, нелінійних спотворень в сигналі.

Виявлення локальних особливостей або виділення окремих ділянок в сигналі необхідно на етапі аналізу. Локальний сигнал може служити в якості такого об'єкта виявлення і подальшого вимірювання його параметрів.

Спільна робота в частотній і часовій області дозволяє істотно розширити можливості в області обробки даних. Вейвлети надають механізм обробки експериментальних даних для вирішення завдань, пов'язаних з шумозаглушенням, обробкою потоків інформації.

Використовуючи вейвлет - перетворення, стає можливим виділити, особливості сигналу, що є цікавими з точки зору вимірювача, і визначити їх основні параметри (амплітуда, тривалість і місце знаходження максимуму) і інші складові.

Ключові слова: цифрова фільтрація, перетворення Фур'є, вейвлет - перетворення.

УДК 531.7

ЦИФРОВА РЕЄСТРАЦІЯ ВИХІДНОГО СИГНАЛУ ВІБРАЦІЙНОГО ВИМІРНИКА ВЕРТИКАЛЬНОЇ ШВИДКОСТІ

Безвесільна О. М., Чепюк Л. О.

Національний технічний університет України

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

E-mail: o.bezvesilna@gmail.com, traveller2762@gmail.com

При виконанні авіаційних гравіметричних вимірювань необхідно враховувати вертикальну швидкість літального апарату. Для реєстрації в цифровій формі частоти сигналів вібраційного вимірника вертикальної швидкості (ВВШ) безперервно перетворюється в код «1-2-4-8» за допомогою цифрових частотомірів.

Частоту сигналу ВВШ до надходження на частотомір помножують на 4, щоб довести точність одиничного вимірювання до 1 см/с.

Виведення свідчень лічильників робиться з інтервалом часу Δt (через секунду) без перерви в рахунку імпульсів під час виведення інформації на запам'ятовуючий пристрій.

Реєстрація цифри свідчень ВВВШ для обчислення поправки

$$\begin{aligned} \overline{(\delta \cdot g_{\parallel})}_{t+\frac{\Theta+\tau}{2}}^{\Theta+\tau} &= \frac{1}{\Theta\tau} [(h_{t+\Theta+\tau} - h_{t+\Theta}) - (h_{t+\tau} - h_t)] = \\ &= \frac{10^3}{\Theta\tau} \left\{ \frac{T_H}{T_{TP}} \frac{C_h}{\eta} [(M_{t+\Theta+\tau} - M_{t+\Theta}) - (M_{t+\tau} - M_t)] + \frac{C_h \rho_0}{\rho} [(F_{t+\Theta+\tau} - F_{t+\Theta}) - (F_{t+\tau} - F_t)] \right\} \end{aligned}$$

кожні Δt виводиться величина

$$F'_i = \int_{t+(i-0.5)\Delta t}^{t+(i+0.5)\Delta t} F' dt, \text{ де } F' = m_f F,$$

m_f – коефіцієнт множення частоти F сигналу ВВВШ ($m_f=4$).

Враховуючи, що

$$(M'_{t+\tau} - M'_t) = \sum_{i=1}^{K-1} F'_i + \frac{1}{2} F'_K + \frac{1}{2} F'_0$$

одержуємо вираз для обчислення $\overline{\delta \cdot g_z}$ по зареєстрованим даним:

$$\begin{aligned} \overline{(\delta \cdot g_z)}_{t+\frac{n+K}{2}\Delta t}^{[(n+K)\Delta t]} &= \frac{1}{Kn} \frac{T_H}{T_{TP}} \frac{C_h}{\eta} \frac{10^3}{m_f} \left[\sum_{i=n+1}^{K+n-1} F'_i + \frac{1}{2} F'_{K+n} + \frac{1}{2} F'_n - \sum_{i=1}^{K-1} F'_i - \frac{1}{2} F'_K - \frac{1}{2} F'_0 \right] + \\ &+ \frac{C_h}{Kn} \frac{10^3 \rho_0}{m_f \rho} [(F'_{K+n} - F'_n) - (F'_K - F'_0)]. \end{aligned}$$

Якщо інтервал часу, тобто $k=n$, то

$$\overline{(\delta \cdot g_{\parallel})}_{t+n\Delta t}^{2n\Delta t} = \frac{1}{n^2} \frac{T_H}{T_{TP}} \frac{C_h}{\eta} \frac{10^3}{m_f} \left[\sum_{i=n+1}^{2n-1} F'_i + \frac{1}{2} F'_{2n} - \sum_{i=1}^{n-1} F'_i - \frac{1}{2} F'_0 \right] + \frac{10^3}{n^2} \frac{C_h \rho_0}{m_f \rho} [(F'_{2n} - 2F'_n + F'_0)].$$

Ключові слова: вертикальна швидкість, вібраційний вимірник вертикальної швидкості, гравіметрія.