

УДК 62-589

Ю.О. ЛЕБЕДЕНКО, А.А. ОМЕЛЬЧУК, О.О. САФЬЯНИК
Херсонський національний технічний університет**ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНА ПІДСИСТЕМА БАГАТОПРИВІДНОЇ
КАРКАСНОЇ УСТАНОВКИ З МЕХАНІЗМАМИ ПАРАЛЕЛЬНОЇ СТРУКТУРИ**

У статті розглядається розробка інформаційно-вимірювальної підсистеми як складової частини комп'ютеризованої системи управління багатопривідної каркасної установки. Система повинна відслідковувати параметри руху елементів конструкції установки, зокрема її робочого органу (фрези, екструдера тощо), стежити за зміною струму живлення електродвигунів установки, оперативно інформувати про перевантаження обладнання.

Ключові слова: каркасна установка, вимірювальна підсистема, датчики, акселерометр, віброметр.

Ю.А. ЛЕБЕДЕНКО, А.А. ОМЕЛЬЧУК, А.О. САФЬЯНИК
Херсонский национальный технический университет**ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ ПОДСИСТЕМА МНОГОПРИВОДНОЙ КАРКАСНОЙ
УСТАНОВКИ С МЕХАНИЗМАМИ ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ**

В статье рассматривается разработка информационно-измерительной подсистемы как составной части компьютеризированной системы управления многоприводной каркасной установки. Система должна отслеживать параметры движения элементов конструкции установки, в частности ее рабочего органа (фрезы, экструдера и т.д.), следить за изменением тока питания электродвигателей установки, оперативно информировать о перегрузке оборудования.

Ключевые слова: каркасная установка, измерительная подсистема, датчики, акселерометр, виброметр.

YU.O. LEBEDENKO, A.A. OMELCHUK, O.O. SAFYANIK
Kherson national technical university**INFORMATION-MEASURING SUB-SYSTEM OF MULTIPLE-DRIVER FRAME INSTALLATION
WITH MECHANISMS OF THE PARALLEL STRUCTURE**

The article deals with the development of the information-measuring subsystem as an integral part of the computerized control system of the multi-drive frame installation. The system should monitor the parameters of the movement of the elements of the design of the installation, in particular its working body (cutters, extruder, etc.), monitor the change in the supply current of the electric motors of the installation, promptly inform about the overload of the equipment.

Key words: frame installation, measuring subsystem, sensors, accelerometer, vibration sensor.

Постановка проблеми

Сучасні складні системи різноманітної природи представляють собою комплекс різних підсистем, що виконують певні технологічні функції і пов'язані між собою процесами інтенсивної динамічної взаємодії та обміну енергією, речовиною та інформацією. Зазначені системи є нелінійними, багатовимірними і багатозв'язними, в них протікають складні перехідні процеси і виникають критичні і хаотичні режими.

При розробці систем управління сучасним промисловим обладнанням доцільним є впровадження в них інформаційно-вимірювальних систем. Не є виключенням і багатопривідні каркасні установки, які потребують застосування замкнених систем керування, що повинні відслідковувати прискорення та положення робочого органу і навантаження на нього, вібрації, стан кінцевих вимикачів та коригувати траєкторію руху з урахуванням цих факторів [1].

Аналіз публікацій за темою дослідження

Для визначення, виявлення та контролю прискорень та вібрацій в механізмах використовують різні типи акселерометрів. З їх допомогою вимірюються напрямок і величина віброприскорення та інші параметри.

Як правило у промисловості і системах безпеки використовуються вібродатчики, у яких є механічний контакт. Найчастіше використовується три базові види вібраційних датчиків:

1. Вібродатчик, який обладнаний тонкою пружною пластиною з металу. На ній прикріплюється інерційна вага. Пружність пластини може регулюватися.

2. Вібродатчик, у якого є пружина і рухлива інерційна вага, тобто вантаж невеликого розміру прикріплюється до одного кінця пружинки і розміщується в циліндричному електричному контакті, який виглядає як металеве кільце або ж пласка шайба, або стрижень. Коли відбувається удар по будь-якій з поверхонь, до яких прикріплюються датчики, вантаж вдаряється в циліндричний контакт і електричне коло замикається. Прикладом реалізації такого принципу є датчику Vibration switch module KY-002 (рис. 1).

Модуль сприймає механічні дії на прилад в якому він закріплений, тобто реагує на удари, вібрацію, струс. Використовується в охоронних системах і в рухомій робототехніці для реєстрації зіткнення з перешкодою.

Усередині циліндричного корпусу знаходиться пружина, в центрі якої металевий стрижень. При достатньому зусиллі (ударі) пружина торкається стрижня. Один контакт датчика пружина, а другий, відповідно, стрижень.

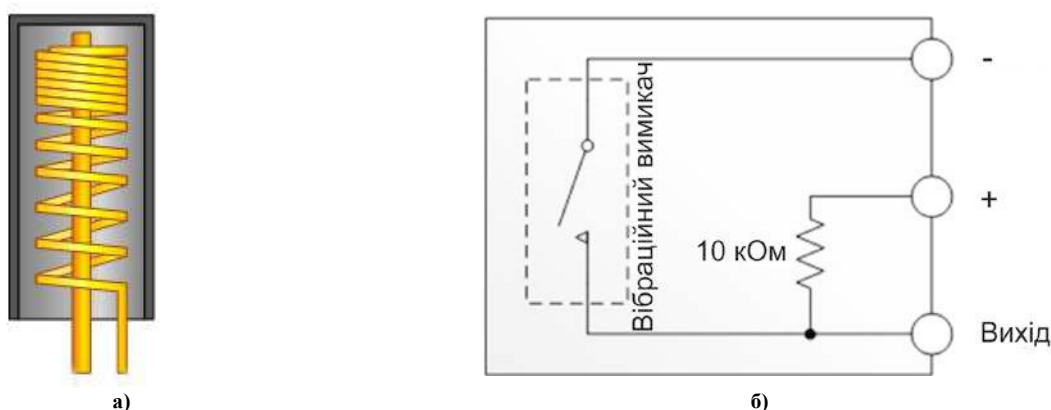


Рис. 1. Конструкція датчика Vibration switch module KY-002:
а) – внутрішній устрій; б) – принципова схема

3. Значно рідше використовується і третій вид вібродатчиків - датчики вібрації з кульками. Електричний контакт в них замикається при стані спокою. Кульки досить вільно перебувають на позиціях контактів. При ударі кульки відштовхуються від контактів, тому викликається тимчасовий розрив електричного кола.

В теперішній час набувають широкого поширення акселерометри, виконані за технологією MEMS (MEMS - мікроелектромеханічні системи). Вони мають високі робочі характеристики в поєднанні з малим енергоспоживанням, мініатюрністю і низькою ціною. Один зі світових лідерів у виробництві MEMS - акселерометрів є компанія Analog Devices [2].

Найчастіше використовуються ємнісні однокристалні інтегральні акселерометри, тобто побудовані на базі єдиної мікросхеми. Такі пристрої можуть бути підключені безпосередньо до процесора або контролера. Крім того, в зв'язку з розвитком автоматизованих систем числового програмного керування верстатів, акселерометри використовуються для контролю стану різального інструменту, що дозволяє в онлайн-режимі проводити корекцію законів керування та, відповідно, контролювати точність обробки виробу.

Плівкові п'єзоелектричні датчики прискорення виконуються на основі багат шарової п'єзоелектричної полімерної плівки. Багат шарова плівка закріплена на підкладці з оксиду алюмінію, і до неї присаднана інерційна маса з порошкового металу. При зміні швидкості руху датчика в результаті дії інерційних сил відбувається деформація плівки. Завдяки п'єзо ефекту виникає різниця потенціалів на межах шарів плівки, що залежить від прискорення. Чутливий елемент датчика має надзвичайно високий вихідний опір, тому на підкладці датчика є також польовий транзистор з малим струмом затвора, який представляє собою підсилювач напруги. Це дозволяє вимірювати змінні прискорення з порівняно низькою частотою. Недоліками датчиків цього типу є погана повторюваність характеристик в серійному виробництві, висока чутливість до зміни температури і тиску. Крім того, вони не можуть контролювати постійні прискорення і гравітаційні сили.

Датчик LDT0-028K (рис.2) являє собою гнучкий компонент, що містить 28 мкм п'єзоелектричну полімерну полівініліденфторидну плівку з надрукованими на ній трафаретним друком срібними електродами, яка при деформації (згинанні) буде призводити до появи різниці потенціалів. Як тільки напруга перевищить граничне значення, станеться замикання контакту, що призведе до виникнення аварійного сигналу.

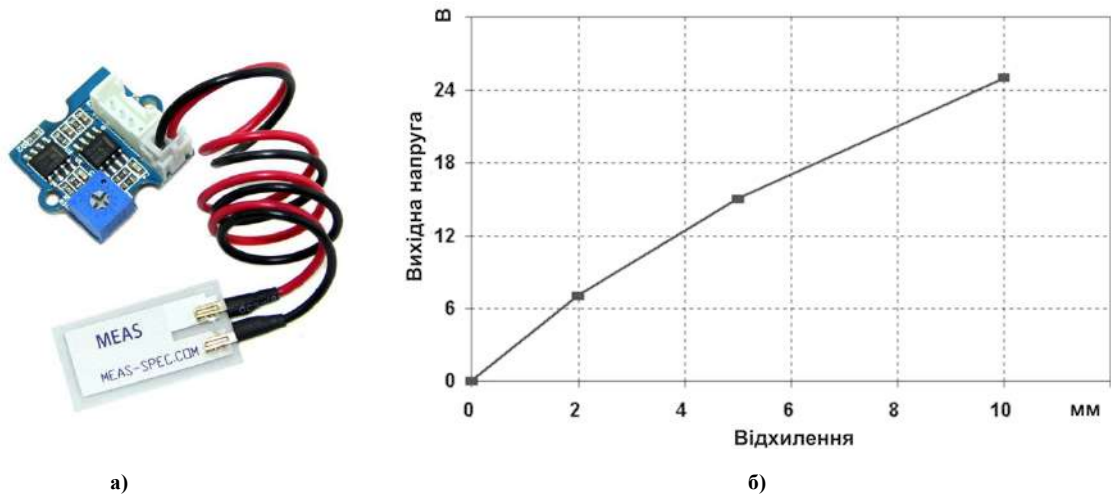


Рис.2. Плівкові п'єзоелектричні датчики прискорення: а) - датчик LDT0-028K; б) – графік залежності вихідного сигналу датчика від деформації (відхилення)

При вібрації в п'єзоелектричному шарі генерується напруга тим більше, чим сильніше вібрація. Напруга, що генерується, є достатньою, щоб переключити MOSFET або CMOS логіку безпосередньо. Таким чином, якщо зафіксувати контакти і залишити "висіти в повітрі" п'єзо-шар, при інерції або вібрації датчик може виступати як акселерометр або віброметр. Додаючи масу або змінюючи довжину вільної частини датчика можна регулювати чутливість. Багатоосьовий відгук можна отримати, розвантаживши центр датчика.

Шум, що міститься у вихідному сигналі акселерометра, визначає розподільну здатність пристрою, важливу при визначенні малих прискорень. Гранична розподільна здатність в основному визначається рівнем шуму вимірювання, який включає зовнішній фоновий шум і шум самого датчика. Рівень шуму безпосередньо пов'язаний з шириною смуги пропускання датчика. Зниження рівня шуму можливе завдяки зменшенню смуги пропускання шляхом включення ФНЧ на виході датчика.

Враховуючи, що на величину вихідної напруги впливає комплекс чинників (довжина контактів, місце розташування та ін.), акселерометри на основі плівкових датчиків потребують обов'язкового калібрування.

Певних недоліків позбавлені акселерометри, засновані на конденсаторному принципі (рис. 3, а).

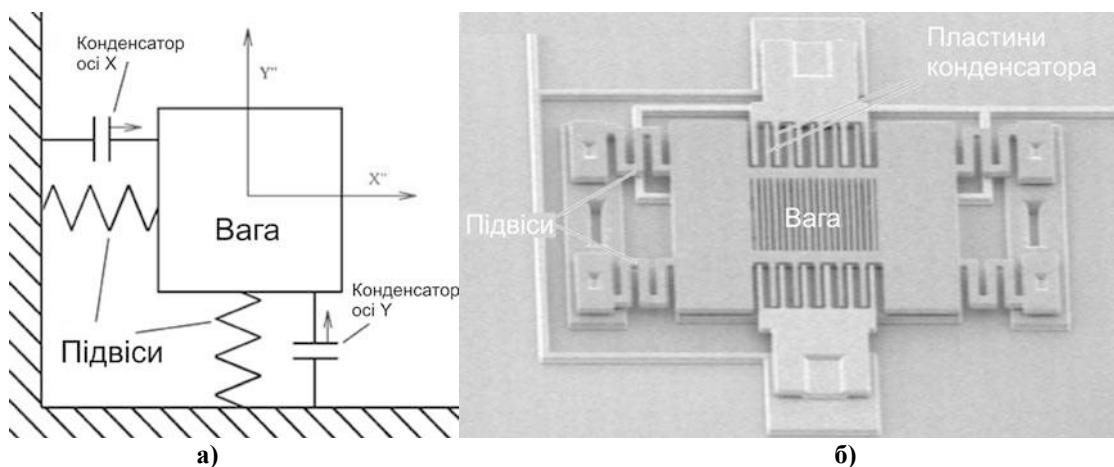


Рис. 3. Мікроелектромеханічні акселерометри: а) - принцип роботи конденсаторних акселерометрів; б) - MEMS-акселерометр розробки Sandia Labs

Рухома частина системи - класична вага на підвісах. При наявності прискорення вага зміщується відносно нерухомої частини датчика. Пластина конденсатора, яка прикріплена до ваги, зміщується щодо пластини на нерухомій частині. Ємність змінюється, при незмінному заряді змінюється напруга - цю зміну можна виміряти і розрахувати зміщення ваги (рис. 3, б). Звідки, знаючи його масу і параметри підвісу, легко знайти і потрібне прискорення. Датчики прискорення можна застосовувати і для визначення абсолютного кута нахилу. Наприклад, якщо датчик прискорення розташований так, що його вісь чутливості перпендикулярна поверхні землі, вихідний сигнал відповідає прискоренню вільного падіння. При зміні кута нахилу, вихідний сигнал зменшується пропорційно косинусу кута між віссю чутливості датчика і абсолютним вертикальним положенням.

Формулювання мети дослідження

Пропонується вдосконалення системи керування багатоприводної каркасної установки за рахунок розробки і включення у її склад інформаційно-вимірювальної підсистеми. Така підсистема має підвищити точність і швидкість позиціонування робочого органу установки під час програмно-керованої обробки виробів, забезпечити коректну і безпечну роботу електромеханічної системи у цілому, збільшити ресурс електродвигунів та механічних ланок установки.

Виклад основного матеріалу досліджень

Схема установки з шарнірно-стрижневими механізмами паралельної структури і її вигляд наведені на рис. 4.

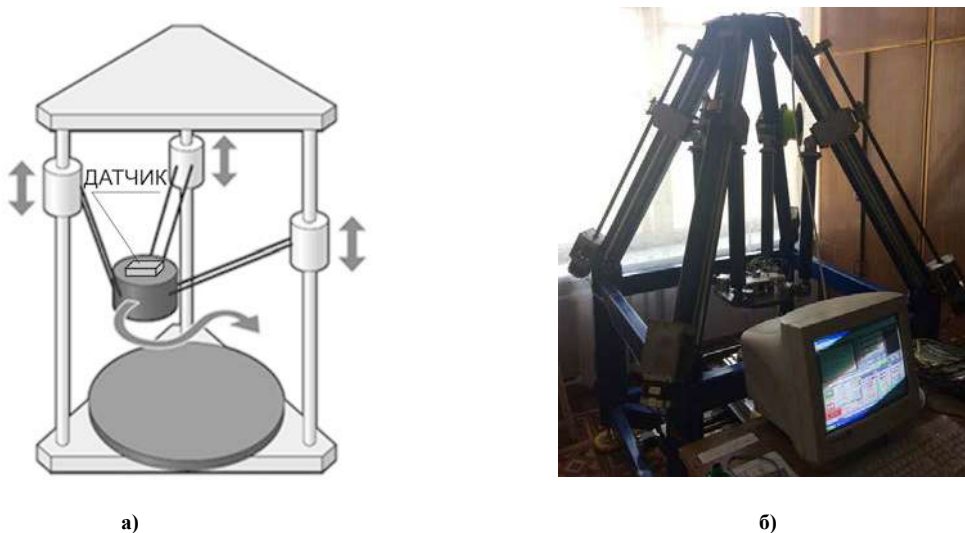


Рис. 4. Багатоприводна каркасна установка з механізмами паралельної структури: а) – схема установки; б) – зовнішній вигляд конструкції

Дана установка складається з металевого каркаса, який обладнано шістьма кроковими електродвигунами, приводами, шарнірними механізмами і робочим органом [3], в якості якого використовується шпindel, маніпулятор, екструдер та ін. Переміщення робочого органу задається верхнім рівнем управління, який складається з персонального комп'ютера і керує кожним електродвигуном за допомогою окремого драйвера. Датчики, розміщені на приводах та елементах конструкції установки, разом складають інформаційно-вимірювальну підсистему, яка відстежує параметри роботи каркасної установки і відправляє дані на верхній рівень управління [1]. Структурна схема системи управління каркасною установкою приведена на рис. 5.

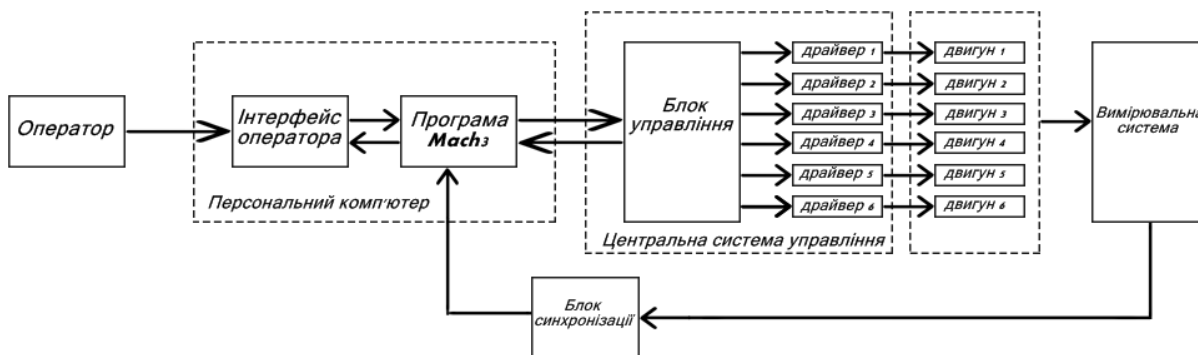


Рис. 5. Структурна схема системи управління каркасною установкою

Інформаційно-вимірювальна підсистема має у своєму складі датчики положення, струму, прискорення (руху) і датчики вібрації (рис. б). Такий набір сенсорів дозволяє надійно (за рахунок дублювання) фіксувати поточне положення робочого органу установки, відстежувати наявність перевантаження і перевіряти дотримання обмежень робочої зони установки.



Рис. 6. Структура інформаційно-вимірювальної підсистеми

В запропонованій інформаційно-вимірювальній системі використовуються датчики прискорення, засновані на конденсаторному принципі.

При впливі на рухомий елемент сенсора масою m сили $F=ma$ виникає зсув x , що є пропорційним прискоренню (рис. 3а):

$$x = \frac{ma}{\beta} = \frac{a}{\omega_0^2}, \quad (1)$$

де β – жорсткість підвісу, a – прискорення зміщення сенсора, ω_0 – власна частота коливань сенсора, яка визначає чутливість механічної частини системи.

Загальний рівень шумів акселерометрів складається з шумів механічної і електричної частини приладу. Через відносно невелику масу сенсора відчутний вклад в загальний рівень шумів вносить складова, яка зумовлена тепловими коливаннями сенсора. Середньоквадратичне значення шуму отримується з наступного виразу:

$$\frac{\beta A^2}{2} = \frac{\beta a^2}{\omega_0^4} = \frac{k \cdot T}{2}, \quad a^2 = \frac{\omega_0^2 \cdot k \cdot T}{2m}, \quad (2)$$

де k – постійна Больцмана, T – абсолютна температура, a – середньоквадратичне прискорення, A – амплітуда коливань.

В інтегральних акселерометрах конденсаторного типу, як правило, вбудована можливість самокалібровки і самотестування. Для цього у датчик вбудовано групи пластин, які подібні до тих, що використовуються безпосередньо для вимірювання. При виникненні постійної напруги U між відповідними пластинами сенсора, що розташовані на відстані d , виникає сила електростатичного тяжіння F , еквівалентна наявності певної зовнішньої сили чи прискорення:

$$F = \frac{-\partial W}{\partial d} = \frac{\varepsilon \cdot S \cdot U^2}{2d^2}, \quad (3)$$

де ε – абсолютна діелектрична проникність, S – площа перекриття пластин, W – енергія плоского конденсатора. Ідея самокалібрування полягає у тому, що при зміні температури вихідний сигнал прискорення і вихідний сигнал від пластин калібровки змінюються пропорційно, через те, що обидва вони однаково залежать від коефіцієнта пружності підвісів. При цьому вхідна напруга від температури майже не залежить. Існує також режим з безперервною калібрувкою, коли калібровочні імпульси періодично подаються протягом усього процесу вимірювань.

На рис. 7 наведені інтегральні датчики ADXL337 і ADXL377, що являють собою компактні, тонкі, малопотужні 3-х осьові акселерометри, з аналоговим вихідним сигналом.

Основна відмінність між цими акселерометрами – діапазон вимірювань. ADXL337 вимірює прискорення в діапазоні ± 3 g, а 377-й працює в діапазоні ± 200 g і може використовуватися для вимірювання більш різких змін рухів контрольованого об'єкта, та може використовуватися для оцінки вібрацій.

Сімейство ADXL – це базові MEMS-пристрої, в яких сенсор і електроніка реалізовані на єдиному кристалі. До вимірювальної системі акселерометр підключається за наведеною на рис. 8 схемою.



Рис. 7. Акселерометри, побудовані на базі інтегрованих схем: а) - ADXL377; б) - ADXL337

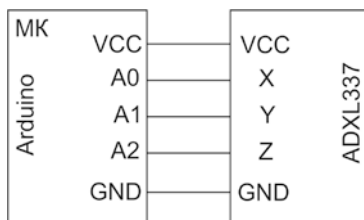


Рис. 8. Схема підключення акселерометрів до мікроконтролера інформаційно-вимірювальної системи

На основі розглянутих датчиків можна побудувати двоконтурну інформаційно-вимірювальну систему для аналізу стану багатоприводної каркасної установки, що містить канали грубого та точного вимірювання [4].

Висновки

Проведено аналітичний огляд підходів до побудови інформаційно-вимірювальної системи для контролю стану багатоприводної каркасної установки, моделей, що описують процес формування інформації та виконано їх порівняльну характеристику. Розглянуто особливості задач та функції інформаційно-вимірювальних систем складних електромеханічних систем, наведено аналіз основних характеристик засобів та методів, що потрібні для здійснення оцінки стану працюючого технологічного обладнання каркасного типу. Виконано аналіз підходів до попередньої обробки сигналів з датчиків, які здатні визначати інформативні параметри віброприскорень, що виникають в процесі функціонування електромеханічного обладнання.

Список використаної літератури

1. Ревенко С.В. Компьютеризированная система управления многоприводной каркасной установкой / С.В. Ревенко, А.В. Рудакова, А.А. Омельчук // Матеріали V Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених з автоматичного управління, присвяченої Дню космонавтики, 12 квітня 2017 р., м. Херсон, С. 216-218.
2. Тюрин А.Е. Вибродиагностика автоколебательных процессов в трибоконтакте фторопласт-сплавы / А.Е. Тюрин, Г.М. Исмаилов – Конструкции из композиционных материалов, 2013. - №2. - С.58–64.
3. Кеба П.В. Аналіз кінематики, точності та динаміки пірамідальної компоновки верстата з механізмами паралельної структури / П.В. Кеба, Д.О. Дмитрієв, Д.Д. Федорчук // Вісник Хмельницького національного університету, №2, 2016 (235). – С.161–166
4. Омельчук А.А. Информационно-измерительная подсистема мониторинга параметров и процессов спуска судна на воду / А.А. Омельчук, А.В. Рудакова // Збірник наукових праць НУК. – Миколаїв: НУК, 2013. – №4. – С. 11 – 16.