

Міністерство освіти і науки України

Харківський національний університет радіоелектроніки

Кафедра комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та робототехніки

**VIII Міжнародна Конференція
ВИРОБНИЦТВО
&
МЕХАТРОННІ СИСТЕМИ 2024**



**VIII International Conference
MANUFACTURING
&
MECHATRONIC SYSTEMS 2024**

M&MS

2024

VII International Conference

25-26 October

Kharkiv

M&MS 2024, 25-26 October, Kharkiv, Ukraine

УДК: 005:004.896:62-65:338.3

Виробництво & Мехатронні Системи 2024: матеріали VIII-ої Міжнародної конференції, Харків, 25-26 жовтня 2024 р.: тези доповідей / [редкол. І.Ш. Невлюдов (відповідальний редактор)].-Харків: [електронний друк], 2024. – 135 с.

У збірник включені тези доповідей, які присвячені сучасним тенденціям розвитку технологій та засобів виробництва та мехатронних систем, передовому досвіду та впровадженню їх в галузях систем промислової автоматизації та керування виробництвом; системній інженерії; CAD/CAM/CAE системах; мехатроніці (електро-механічних системах, електронних інструментах систем керування, механічних CAD системах); робототехніці та засобах інтелектуалізації; MEMS (сучасних матеріалів та технологіях виготовлення MEMS) та компонентах і технологіях автоматизації видобутку, переробки та транспортування нафти та газу.

Редакційна колегія: І.Ш. Невлюдов, В.В. Євсєєв.

Manufacturing & Mechatronic Systems 2024: Proceedings of VIII st International Conference, Kharkiv, October 25-26, 2024: Theses of Reports / [Ed. I.Sh. Nevlyudov (chief editor).] .- Kharkiv .: [electronic version], 2024. - 135 p.

The collection includes the theses of reports on modern trends in the development of technologies and means of production and mechatronic systems, top experience and implementation of them in fields of: industrial automation and production management systems; systems engineering; CAD/CAM/CAE systems; mechatronics (electrical and mechanical systems, electronic control tools, mechanical CAD systems); robotics and intellectual tools; MEMS (modern materials and manufacturing technologies MEMS) and components and technologies for the automation of oil, gas and oil extraction, processing and transportation.

Editorial board: Igor.Sh. Nevlyudov, Vladyslav.V. Yevsieiev

© Кафедра комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та робототехніки (КІТАР), ХНУРЕ, 2024

Міністерство освіти і науки України (МОНУ)
Харківський національний університет радіоелектроніки (ХНУРЕ)
Варшавський університет сільського господарства (WULS - SGGW)
Азербайджанський державний університет нафти і промисловості
Національний університет «Львівська політехніка»
Festo Didactic Україна
Jabil Circuit Ukraine Limited
ТОВ «Науково-виробниче підприємство «УКРІНТЕХ»»
Факультет автоматики і комп'ютеризованих технологій (АКТ)
Кафедра комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та робототехніки (КІТАР),
Державне підприємство «Харківський науково-дослідний інститут технології
машинобудування»
Державне підприємство «Південний державний проектно-конструкторський та
науково-дослідний інститут авіаційної промисловості»

МАТЕРІАЛИ

VIII-ої Міжнародної Конференції

ВИРОБНИЦТВО & МЕХАТРОННІ СИСТЕМИ 2024

(25-26 жовтня 2024)

Харків, Україна

Андрій Слюсар, Софія Хрустальова

Методи та алгоритми локалізації RFID-міток: сучасні підходи та перспективи 87

Василь Туз, Володимир Чумаков, Олександр Філіпенко, Оксана Сичова

Дослідження дисперсійних характеристик мікроструктурованого оптичного волокна в умовах деформації 92

Тимур Лихо, Світлана Максимова

Основні етапи розроблення наземного мобільного робота 96

Vladyslav Yevsieiv

Using the Dempster-Shafer Theory in Data Fusion Solutions for Collaborative Robotic Manipulators within Industry 5.0 99

Vladyslav Yevsieiv, Nataliia Demska

A Model of Using Computer Vision to Monitor the Environment of a Collaborative Manipulator Robot 102

Віталій Тетеря, Світлана Максимова

Розробка системи ідентифікації, розпізнавання та трекінгу для колаборативного робота 105

Vladyslav Yevsieiv, Svetlana Starikova

Using the Triangulation Method to Measure the Distance to Objects in the Working Area of a Collaborative Manipulator Robot 107

I.V. Жарікова, Д.О. Нікітін

Дослідження механічних параметрів гнучких комутаційних структур для мобільних роботизованих платформ 110

Svetlana Starikova, Illya Karpenko

Development of a Structural Control Scheme for a Small-sized Mobile Robot for Investigating Damaged Buildings 114

Максим Вжесневський

Інтелектуальне керування автономними транспортними шатлами для внутрішньо-складських логістичних систем 117

Дослідження механічних параметрів гнучких комутаційних структур для мобільних роботизованих платформ

І. В. Жарікова, Д. О. Нікітін

Кафедра КІТАР, Харківський національний університет радіоелектроніки, УКРАЇНА,
Харків, пр. Науки, 14, email: iryna.zharikova@nure.ua

Анотація: У роботі розглянуто фактори, які впливають на фізико-технологічні параметри гнучких комутаційних структур у складі мобільних роботизованих платформ цивільного та військового призначення. Проаналізовано особливості механічних впливів на такі структури. Зокрема наведено результати експериментального дослідження стійкості поліімідних гнучких комутаційних структур до багаторазових динамічних вигинів.

Ключові слова: гнучкі комутаційні структури, роботизована платформа, поліімід, механічні навантаження.

I. ВСТУП

Важливим напрямком сучасної електроніки є розвиток гнучких комутаційних структур (ГКС) [1]. Їх застосування в робототехніці відкриває перспективи для створення мобільних платформ з підвищеною маневреністю та функціональністю за рахунок мініятуризації та адаптивності компонентів [2-9]. Питанням використання таких гнучких компонентів у різних технічних засобах присвячено багато досліджень вітчизняних і закордонних авторів [10-14].

Актуальним є дослідження механічних параметрів таких структур, впливу зовнішніх навантажень на цілісність, довговічність як самих діелектричних підкладок, комутаційної системи, так і місць з'єднання з конекторами [15-16].

II. ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ

У ході досліджень [17], виконуваних на кафедрі КІТАР ХНУРЕ, авторами було запропоновано модернізувати універсальну мобільну роботизовану платформу (РП), призначену для виконання як цивільних, так і військових завдань, із використанням гнучких і гнучко-жорстких комутаційних структур на поліімідній основі.

Електричні між'єднання у рухомих частинах РП виконуватимуться за допомогою таких структур для зменшення їх габаритно-масових характеристик і забезпечення стабільності зв'язків між з'єднуваними модулями РП навіть за умови впливу на РП дестабілізуючих зовнішніх чинників, наприклад, вібрацій і ударів під час руху РП.

На рис.1 наведено загальний вигляд мобільної роботизованої платформи, де пропонується використати гнучко-жорсткі між'єднання, на рис. 2 – збільшене зображення ділянки прокладання гнучкого шлейфа від апаратного забезпечення до рухомої частини РП.

Метою проведення досліджень було вивчення фізико-технологічних параметрів поліімідних гнучких і гнучко-жорстких комутаційних структур та їх експериментальне дослідження з урахуванням можливих дестабілізуючих впливів на них під час експлуатації у складі мобільних РП.

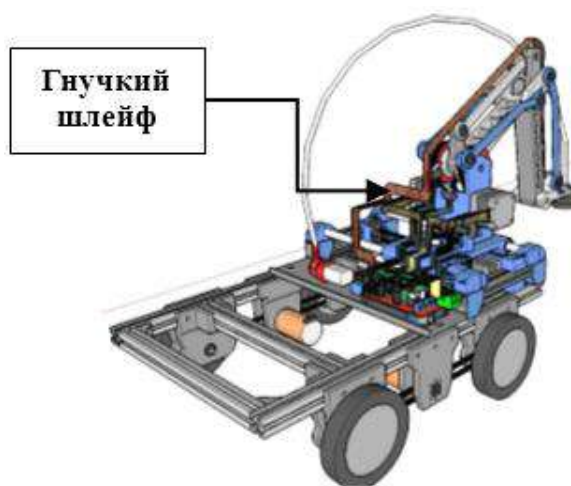


Рис.1. Загальний вид мобільної роботизованої платформи з гнучко-жорсткими між'єднаннями [17]

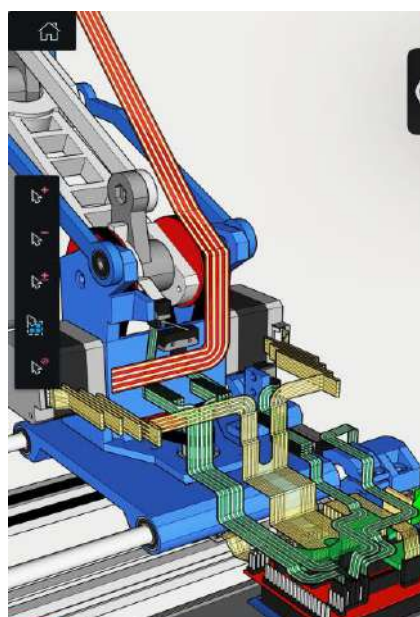


Рис.2. Ділянка прокладання гнучкого шлейфа від апаратного забезпечення до рухомої частини РП

III. ПАРАМЕТРИ МЕХАНІЧНИХ ВПЛИВІВ НА ГКС

Сукупність параметрів ГКС включає в себе конструктивні K , електричні E , механічні M , експлуатаційні O та технологічні T параметри [11, 16]:

$$F = \{K, E, M, O, T\}, \quad (1)$$

де K – конструктивні характеристики; E – електричні характеристики; M – механічні характеристики; O – експлуатаційні характеристики; T – технологічні характеристики.

Визначені основні характеристиками гнучких структур, які узагальнено записані в модель:

$$ГКС = \langle T, P_b, P_{ad}, P_{con}, P_r, K \rangle, \quad (2)$$

де T – тип ГКС; P_b – набір параметрів основного шару; P_{ad} – набір параметрів зв'язувального шару; P_{con} – набір параметрів провідникового шару; P_r – набір параметрів армуючих ділянок; K – набір конструктивних параметрів.

Типи гнучких структур можна представити наступним чином:

$$T = \begin{cases} t_1, [ГДП] \\ t_2, [ГДК], \\ t_3, [ГЖП] \end{cases} \quad (3)$$

де t_1 – гнучкі друковані плати; t_2 – гнучкі друковані кабелі; t_3 – гнучко-жорсткі друковані плати.

Набір параметрів шару підкладки можна представити як:

$$P_b = \langle M, T_g, \varepsilon, \Delta, E \rangle, \quad (4)$$

де M – базовий матеріал; T_g – температура склування; ε – відносна діелектрична проникність; Δ – товщина основного шару; E – модуль пружності.

Набір параметрів зв'язувального шару характеризується коефіцієнтом в'язкості та адгезивної здатності, а також товщиною шару:

$$P_{ad} = \langle k_v, k_a, \Delta_{ad} \rangle, \quad (5)$$

де k_v – коефіцієнт в'язкості; k_a – коефіцієнт адгезивної здатності; Δ_{ad} – товщина зв'язувального шару.

Набір параметрів провідникового шару можна представити як:

$$P_{con} = \langle M_{con}, \Delta_{con}, E_{con}, k \rangle, \quad (6)$$

де M_{con} – матеріал; Δ_{con} – товщина шару; E_{con} – модуль пружності; k – коефіцієнт втомних характеристик матеріалу.

Набір параметрів армуючих ділянок можна представити як:

$$P_r = \langle M_r, \varepsilon_r, \Delta_r, E_r \rangle, \quad (7)$$

де M_r – базовий матеріал; ε_r – відносна діелектрична проникність; Δ_r – товщина основного шару; E_r – модуль пружності.

Набір конструктивних параметрів може відрізнятися у кожному конкретному випадку, але має містити інформацію про габаритні розміри ГКС, кількість шарів, розміщення та конструктивне виконання елементів провідникового шару, а також параметри місць кріплення та технологічних отворів.

На ГКС у складі мобільної РП можуть впливати такі види механічних навантажень: розтягнення; перегини та перекручення; циклічні навантаження; механічне зношування під дією абразивного тертя.

Параметричну модель механічного впливу на розтягнення можна записати наступним чином:

$$D_{ts} = \langle v_{ts}, F_{ts}, \alpha \rangle, \quad (8)$$

де v_{ts} – швидкість впливу, мм/с; F_{ts} – сила впливу, кН; α – вісь відносно зразка.

Параметром механічного впливу на перегини та перекручення є радіус перегину.

Параметричну модель циклічних навантажень можна записати у вигляді:

$$D_{cl} = \langle f, A, K_{cl} \rangle, \quad (9)$$

де f – частота навантажень, Гц; A – амплітуда навантажень, мм; K_{cl} – набір параметрів, що характеризують механіку конкретного навантаження.

Розглянуті моделі покладено в основу проведення подальших експериментальних досліджень.

IV. ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ МЕХАНІЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ НА ГКС

Для проведення експериментального дослідження впливу механічних навантажень на гнучко-жорстку комутаційну структуру (ГЖКС) було обрано шлейф на основі поліімідної підкладки, який зображено на рис.3. На ньому встановлено: 1 – світлодіод; 2 – конектор зарядки; 3 – міні-USB з'єднувач.

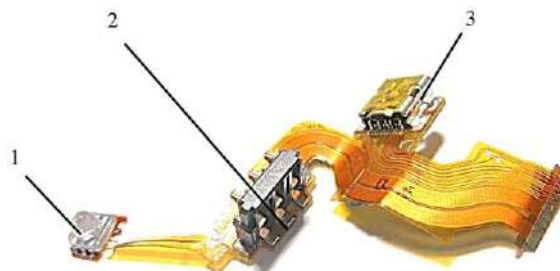


Рис.3. Досліджуваний зразок ГЖКС

Метою проведення експерименту є дослідження показників стійкості ГЖКС до багаторазових динамічних вигинів та їх впливу на електричні характеристики комутаційної системи в момент виникнення тріщин у друкованих провідниках.

Для проведення дослідження було зібрано макет, який дозволяє проводити динамічні вигини ГКС під заданим кутом та за допомогою інтерфейсу UART

передавати інформацію про кількість циклів деформації та зміну напруги у провідниках досліджуваного зразка до програмного забезпечення, у якому ці дані відображаються на графіку.

Рухомі частини макету приводяться в дію двигуном, який повертає закріплену ГКС з робочого стану до кута у 130° .

Як вхідний сигнал на ГЖКС через контактні площадки подавався струм 0,1 А. Вихідним параметром є падіння напруги, яке вимірюємо за допомогою чотирьохзондового методу.

Під показником стійкості до вигинів приймаємо кількість циклів згинання ГЖКС з робочого стану до кута у 130° , а в як електричну характеристику приймаємо зміну напруги.

У результаті експериментального дослідження було проведено 6592 циклів динамічних вигинів поліімідного шлейфа. Середня напруга на провідниках при цьому становила 68,841 мВ.

Експеримент завершився розривом шлейфа у місці кріплення світлодіода (рис.4). При цьому програма зафіксувала різке підвищення напруги до 3000 мВ.



Рис.4. Розрив шлейфа досліджуваного зразка після динамічних вигинів

У зв'язку з отриманими результатами можемо зробити висновок, що розрив відбувся у місці, яке не відповідає прогнозованим місцям імовірних деформацій, які попередньо було визначено за результатами моделювання. Також досліджуваний шлейф витримав малу кількість динамічних деформацій – менше 10000 циклів згинання гнучкої частини ГЖКС з робочого стану до кута у 45° .

V. ВИСНОВКИ

Наведені моделі параметрів ГКС і отримані результати експериментальних досліджень можуть бути використані під час оптимізації етапу проектування таких структур для використання їх у складі мобільних РП, зокрема для урахування можливих місць деформацій і руйнувань і складання більш детальних рекомендацій для виготовлення та експлуатації подібних виробів з урахуванням як особливостей конструкцій і застосовуваних матеріалів, так і численних зовнішніх впливів.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

- [1] Peter Macleod. A Review of Flexible Circuit Technology and its Applications [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.lboro.ac.uk/microsites/mechman/research/tpm-ktn/pdf/Technology_review/flexible-circuit-technology-and-its-applications.pdf.
- [2] Flexible Circuit Board for Intelligent Robots Fabrication [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.pcbjhy.com/rigid-flex-pcb/57434999.html>.
- [3] Ігор Невлюдов, Ірина Жарікова, Артем Бронніков, "Використання Гнучких Комутаційних Структур у Складі Апаратної Частини Мобільного Робота," 2023 International Conference on Innovative Solutions in Software Engineering (ICISSE), Vasyl Stefanyk Precarpathian National University, Ivano-Frankivsk, Ukraine, Nov. 29-30, 2023, pp. 41-44.
- [4] C. K. Harnett, "Flexible circuits with integrated switches for robotic shape sensing," SPIE Proceedings, vol. 9859, 2016.
- [5] C.-H. Chuang, M.-S. Wang, Y.-C. Yu, C.-L. Mu, K.-F. Lu and C.-T. Lin, "Flexible tactile sensor for the grasping control of robot fingers," 2013 International Conference on Advanced Robotics and Intelligent Systems, 2013, pp. 141-146.
- [6] M. Wehner, R. L. Truby, D. J. Fitzgerald, B. Mosadegh, G. M. Whitesides, J. A. Lewis, et al., "An integrated design and fabrication strategy for entirely soft autonomous robots", Nature, vol. 536, no. 7617, pp. 451-455, 2016.
- [7] Kazuto Asamura and Sumito Nagasawa. A micro hexapod robot for swarm applications assembled from a single FPC sheet // Japanese Journal of Applied Physics, Volume 60, 2021.
- [8] Erik Edqvist, Niklas Snis, Raimon Casanova Mohr, et al. Evaluation of building technology for mass producible millimetre-sized robots using flexible printed circuit boards // Journal of Micromechanics and Microengineering, Volume 19, Number 7, 2009.
- [9] Origami Robots with Flexible Circuit Sheets utilizing P-Flex® was awarded the "Best Demo Award" at ACM UbiComp 2018 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.elephantech.co.jp/en/press-release/20181016/>.
- [10] Овчаренко В. Е, Ефименко А. А., Токарева Е. В., Чалая Е. А. Перспективы использования гибких и гибкожестких конструкций в электронной технике // Технология приборостроения. – 2016. № 3. – С. 22-24.
- [11] Невлюдов І. Ш., Боцман І. В., Невлюдова В. В., Разумов-Фризюк Є. А. Технологічне забезпечення якості гнучких комутаційних структур. – Кривий Ріг: Криворізький коледж НАУ, 2018. – 260 с.
- [12] Невлюдов І. Ш., Палагин В. А., Жарікова І. В. Метод подключения электронных компонентов к автоматизированным измерительным комплексам // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2013. – 1(9). – С. 4-7.
- [13] Боцман І. В., Когдась М. Г., Невлюдова В. В. Класифікація струмопровідних між'єднань для сучасних електронних модулів // Технологія приборостроєння. – № 1, 2020. – С. 41-43.
- [14] Rigid Flex for Military Applications [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.printedcircuits.com/military/>.
- [15] Невлюдов І.Ш., Разумов-Фризюк Є.А., Демська Н.П., Гуріна Д.В. Аналіз впливу механічних напружень на можливість мініатюризації гнучких

- структур електронної техніки на прикладі ZIF з'єднувача // Проблеми тертя та зношування. – 2017, №3 (76) с. 74-80.
- [16] Жарикова, И. В. Системологический подход при исследовании параметров РЭС / И. В. Жарикова, В. В. Невлюдова // Технология приборостроения. – 2014. – № 2. – С. 40-43.
- [17] Zharikova, I., Nevliudov, I., Novoselov, S., Nikitin, D., & Allakhveranov, R. (2023). Simulation of flexible printed structures design for mobile robot platform. Journal of Natural Sciences and Technologies, 2(2). <https://doi.org/10.5281/zenodo.10362385>

Наукове видання

**Ігор НЕВЛЮДОВ,
Владислав ЄВСЄЄВ,**

**VIII Міжнародна Конференція
«Виробництво & Мехатронні Системи»**

(укр., англ., пол.. мовою)

Відповідальний редактор – Невлюдов І.Ш.

Харківський національний університет радіоелектроніки
Кафедра комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та робототехніки (КІТАР)
61166, Харків, проспект Науки, 14
корпус "А"
ауд. 162-1
тел. : +38 (057) 702-14-86
e-mail: m_ms@nure.ua

Підписано до друку 10.10.2024
Формат А4 (210x297мм). Папір 80г/м².
[електронний друк]