

І.Ш. Невлюдов, Н.П. Демська, Є.А. Разумов-Фризюк, С.П. Новоселов

Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків

КОНТРОЛЬ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРИЧНИХ МІЖЗ'ЄДНАНЬ ГНУЧКИХ СТРУКТУР

Предметом статті є з'єднувач гнучких шлейфів для міжмодульних електричних з'єднань. **Метою** є представлення результатів експериментальних досліджень параметрів запропонованої конструкції з'єднувача гнучких комутаційних шлейфів при впливі динамічних навантажень, а також якості електричних з'єднань. **Завдання:** аналіз конструкційних особливостей основних типів з'єднувачів та причин виникнення відмов, експериментальне підтвердження теоретичних досліджень виконаних на попередніх етапах роботи та визначення експлуатаційних характеристик з'єднувача гнучких шлейфів для міжмодульних електричних з'єднань, проведення експерименту для отримання набору статистичних даних оцінки якості конструкції з'єднувача гнучких шлейфів. Використовуваними **методами** є: методи планування експерименту та обробки експериментальних даних. Отримані такі **результати**. Для поєднання двох шлейфів запропоновано нову конструкцію з'єднувача, яка дозволяє швидко та точно виконувати процес підмикання і гарантує якісне електричне з'єднання між контактами лінії зв'язку. В залежності від форми рисунку кришки можна досягти різних властивостей поєднання та якості з'єднання. Визначено вплив форми поверхні кришки з'єднувача на зусилля, що необхідне для механічного роз'єднання двох шлейфів в різні сторони. Визначено значення перехідного опору між контактами шлейфів. **Висновки.** Наукова новизна отриманих результатів полягає в наступному. Розроблений стенд для дослідження якості електричних міжз'єднань гнучких структур та методика проведення експериментальних досліджень дозволили експериментально довести якість запропонованої конструкції плоского з'єднувача гнучких шлейфів. Виходячи з отриманих результатів була визначена форма притискаючої кришки з'єднувача. Відповідно до результатів експерименту, кришка повинна мати шість або сім зубців. Встановлено, що максимальне зусилля, яке витримує з'єднувач, становить 1,3–1,4Н. Також показано, що перехідний опір в контактах з'єднувача становить максимум 0,2–0,3 Ом. Експеримент показав надійність та стабільність параметрів при прикладенні механічних впливів та збереження протягом всієї другої стадії роботи з'єднувача, поки шлейф не зривається та не починає “ковзати” відносно нерухомого елемента конструкції.

Ключові слова: плоский з'єднувач, гнучкі структури, шлейф, контакти, експеримент.

Вступ

Постановка проблеми. В сучасних умовах речі дуже швидко змінюються і збільшуються аж до медіа-інтерфейсів, при цьому розмір та форма самого об'єкту зменшується [1]. Із зростанням впливу цих об'єктів на всі сфери життя сучасного суспільства неминучим стає впровадження новітніх технологій [2]. І такою технологією визнано гнучку електроніку, що швидко розвивається як сфера досліджень, розробок, експериментального виробництва [3] та випробувань [4–5].

Перш за все, цей напрямок покликаний забезпечити значне зниження габаритно-масових характеристик електронних компонентів при істотному підвищенні їх функціональності, а також перехід від традиційних друкованих модулів до комутаційних структур на гнучких основах [6].

В даний час гнучкі комутаційні структури (ГКС), до яких належать гнучкі шлейфи FFC (flat flexible cables) або FPC (flat printed cables), знаходять все більше застосування в технології мікроеле-

ктромеханічних систем. Така популярність обумовлена, насамперед, необхідністю забезпечення міжз'єднань рухомих елементів. Крім означених переваг існує ряд інших, не менш важливих, у порівнянні з іншими способами міжз'єднань модулів: зниження габаритних розмірів і маси; динамічна гнучкість; можливість об'ємного компонування; можливість організації керованого хвильового опору лінії зв'язку; зниження часу, вартості та помилок складання; зниження опору охолоджувального потоку повітря; застосування технології “кристал-на-гнучкій платі” (Chip-on-Flex - COF); зниження спотворень сигналів [7].

При численних перевагах гнучких шлейфів, що відзначаються багатьма авторами [6; 9–12], а також розробниками, існує серйозна проблема забезпечення якісних показників модулів на їх основі, такі роботи можуть піддаватися великій кількості дестабілізуючих чинників на всіх етапах життєвого циклу.

Зокрема, від 30 до 50% відмов шлейфів викликають механічні дії: випадання шлейфів [7], корозія, механічне пошкодження шлейфів при навантаженні. І

з цього переліку основними залишаються відмови, пов'язані зі сполучними пристроями – роз'ємами [7].

Для з'ясування причин їх виникнення необхідно розібратися з конструкційними особливостями основних типів з'єднувачів. **Мета статті** – представлення результатів експериментальних досліджень параметрів запропонованої конструкції з'єднувача гнучких комутаційних шлейфів при впливі динамічних навантажень, а також результатів якості електричних з'єднань. Однак, незважаючи на велику кількість досліджень, присвячених вирішенню проблем створення ГКС, залишається протиріччя між необхідністю подальшого підвищення якості існуючих і перспективних варіантів реалізації ГКС за умови зменшення їх розмірів і підвищення щільності монтажу та водночас – обмеженістю відомих підходів до технологічного забезпечення якості таких структур.

Все це свідчить про те, що технологічне забезпечення якості ГКС у виробках електронної техніки, а також удосконалення методів оцінки та прогнозування їх якісних характеристик на етапах проектування, виробництва і експлуатації є актуальним завданням.

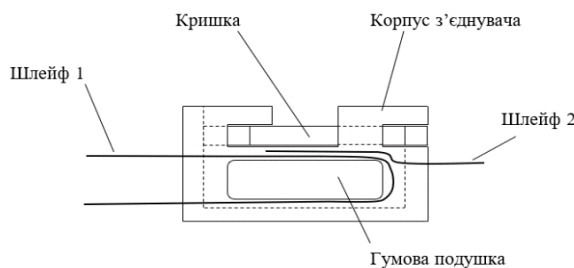


Рис. 1. Конструкція з'єднувача гнучких шлейфів

Верхня кришка може мати різну форму нижнього боку. В залежності від форми рисунку можна досягти різних властивостей поєднання та якості з'єднання.

Таким чином, до завдань експериментальних досліджень додається ще два пункти:

- визначення впливу форми поверхні верхньої кришки з'єднувача на зусилля, що необхідне для механічного роз'єднання двох шлейфів в різні сторони;

- визначення значення перехідного опору між контактами шлейфів. Для проведення експерименту було зібрано експериментальний стенд, схему якого наведено на рис. 3: вид збоку (рис. 3, а), та зверху (рис. 3, б). На рис. 3 введені такі позначення: 1 – гнучкий шлейф; 2 – кроковий двигун; 3 – датчик тиску; 4 – кріпильний куточок; 5 – нерухомий кріпильний профіль; 6 – основа макету; 7 – телескопічна напрямна; 8 – рухлива основа; 9 – гайка; 10 – кри-

Виклад основного матеріалу

Опис експериментального стенду

Мета проведення експерименту – експериментальне підтвердження теоретичних досліджень, виконаних на попередніх етапах роботи, та визначення експлуатаційних характеристик з'єднувача гнучких шлейфів для міжмодульних електричних з'єднань. Завданням проведення експерименту є отримання набору статистичних даних для оцінки якості конструкції з'єднувача гнучких шлейфів. Для проведення експерименту обрано гнучкий шлейф з 24-ма контактами та лініями зв'язку. Контакти розташовано в один ряд та с кроком 1,0 мм. Для поєднання двох шлейфів запропоновано нову конструкцію з'єднувача, яка дозволяє швидко та точно виконувати процес підмикання і гарантує якісне електричне з'єднання між контактами лінії зв'язку. На рис. 1 показана схема конструкції з'єднувача. Шлейф 2 притискається до шлейфу 1 за допомогою кришки. Гумова подушка здійснює необхідний тиск на внутрішню сторону петлі шлейфа 1, тим самим притискаючи його до контактів шлейфу.

На рис. 2 показана схема збирання з'єднувача.

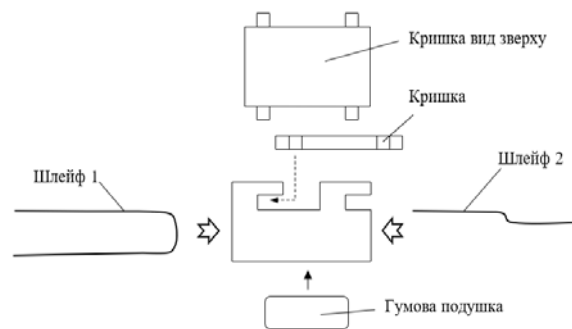


Рис. 2. Схема збирання з'єднувача

пильні гвинти; 11 – черв'ячна гвинтова передача; 12 – стійкі кріплення крокового двигуна; 13 – муфта; 14 – роз'ємне з'єднання; 15 – рухливий кріпильний профіль з гайкою; 16 – притискна пластина. Як видно з рис. 3, гнучкий шлейф правим краєм закріплений на жорсткій нерухомій основі за допомогою притискної пластини. Другий (лівий) край шлейфу закріплений в роз'ємному з'єднувачі на рухливій частині механізму натягнення. Кріплення шлейфу в роз'ємі виконується за рахунок його притискної конструкції. Кроковий електродвигун створює натягнення шлейфу за допомогою гвинтової передачі, зміщуючи рухливу пластину. Датчик тиску механічно пов'язаний з системою регулювання натягнення гнучкого шлейфу. Зміна опору, а, отже, і зміна сили, з якою натягається гнучкий шлейф, фіксується блоком збору даних. Також на блок збору даних поступають дані про перехідний опір, який знімається за допомогою чотирьох зондів.

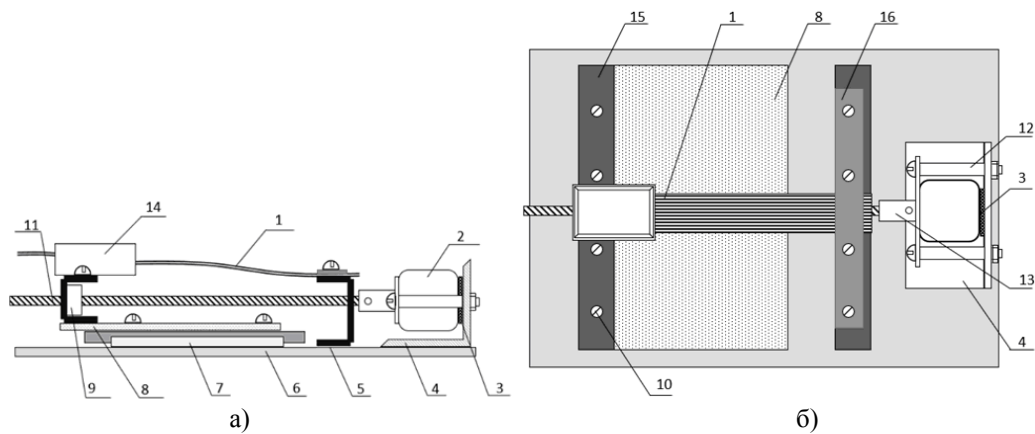


Рис. 3. Схема експериментального стану

Таким чином, блок збору даних, проаналізувавши отриману інформацію, проводить внутрішній розрахунок сили натягнення і передає її на вимірю-

вальну станцію, виконану на базі ПК. На рис. 4 показана структурна схема електричної частини випробувального стану.

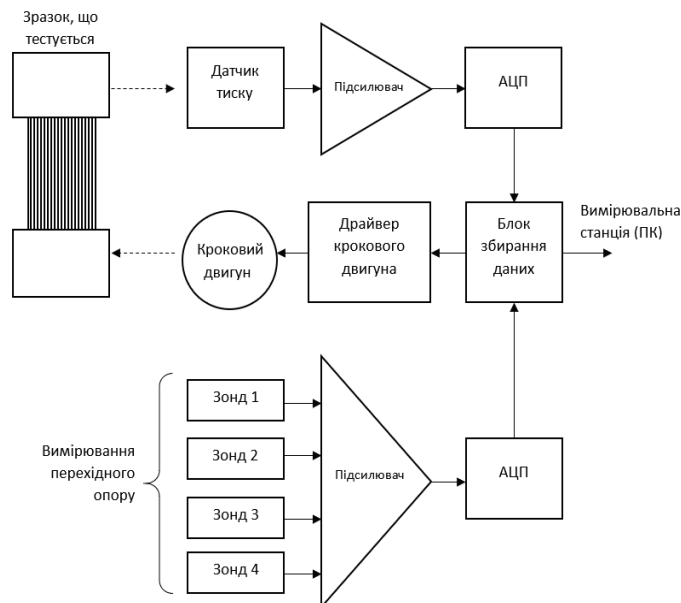


Рис. 4. Структурна схема електричної частини випробувального стану

Для виміру зусилля, що необхідне для руйнування з'єднання, використовується тензодатчик резистивного типу марки CZN - CP42. Діапазон спрацьовування датчика: 0,2 – 100 N. Габаритні розміри: 27×63.75×0.34 mm, робоча температура: - 40–75°C, 1mA. На рис. 5 показано зовнішній вигляд датчику CZN - CP42 та габаритні розміри та особливості конструкції датчику тиску. Конструктивно датчик тиску складається з підкладки 1, металізованих провідників 2, контактів 5, технологічного шару 3 та резистивного чутливого елементу 4. При натисканні на чутливий шар в залежності від прикладеного зусилля змінюється опір резистивного елементу. На рис. 6 показано графік зміни опору в залежності від тиску. Для вимірювання тиску та перетворення опору в реальне значення зусилля використовуються програмний код, фрагмент якого наведено нижче:

```
int fsrADC = analogRead(FSR_PIN);
// If the FSR has no pressure, the resistance
// will be
// near infinite. So the voltage should be
// near 0.
if (fsrADC != 0) // If the analog reading is
// non-zero {
// Use ADC reading to calculate voltage:
float fsrV = fsrADC * VCC / 1023.0;
// Use voltage and static resistor value to
// calculate FSR resistance:
float fsrR = R_DIV * (VCC / fsrV - 1.0);
Serial.println("Resistance: " + String(fsrR)
+ " ohms");
// Guesstimate force based on slopes in
// figure 3 of
// FSR datasheet:
float force;
```

```
float fsrG = 1.0 / fsrR; // Calculate
conductance
// Break parabolic curve down into two
linear slopes:
if (fsrR <= 600)
force = (fsrG - 0.00075) / 0.00000032639;
else
force = fsrG / 0.000000642857;
Serial.println("Force: " + String(force) + "
g");
Serial.println();
```

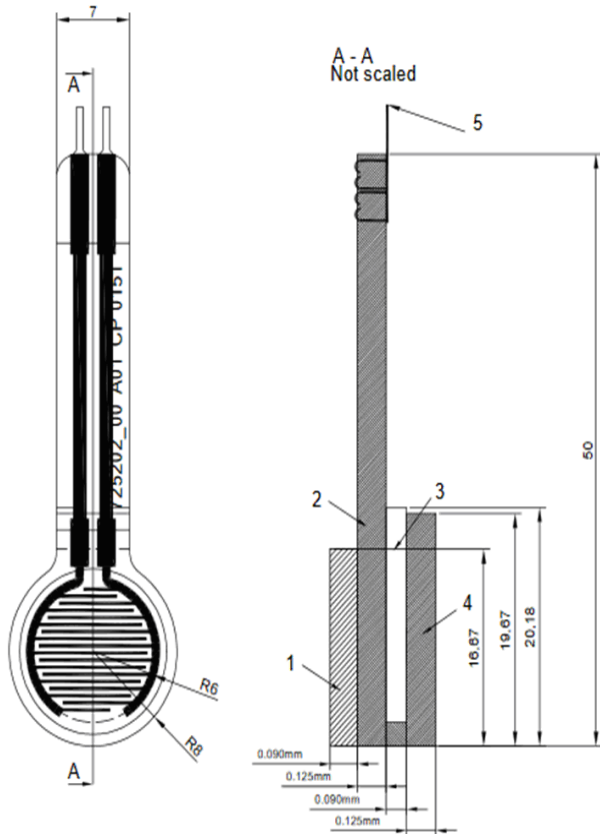


Рис. 5. Габаритні розміри та особливості конструкції датчику тиску



Рис. 7. Зовнішній вигляд дослідного стенду



Рис. 8. Розміщення з'єднувача гнучких шлейфів

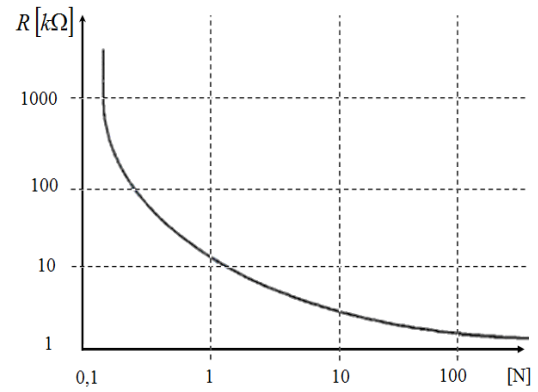


Рис. 6. Графік зміни опору в залежності від тиску

В результаті роботи даної підпрограми будемо отримувати статистичні дані, необхідні для виконання дослідження.

Зовнішній вигляд дослідного стенду наведено на рис. 7, розміщення з'єднувача гнучких шлейфів – на рис. 8.

З'єднувач розташований на рухомій платформі, яка зміщується під впливом різьбової передачі. На рис. 9 показано кроковий двигун з датчиком натискання.

В якості модуля керування та збору даних використовується плата Arduino Uno. На рис. 10 показано розміщення модуля керування та збору даних на дослідному макеті.

На рис. 11 показано модуль керування кроковим двигуном, на рис. 12 представлено повністю зібраний дослідний макет.

Аналіз отриманих результатів

При проведенні експерименту були використані п'ять різновидів кришки плоского з'єднувача гнучких структур.

Кожна кришка має свій рисунок поверхні, яка притискає шлейф до контактної поверхні.

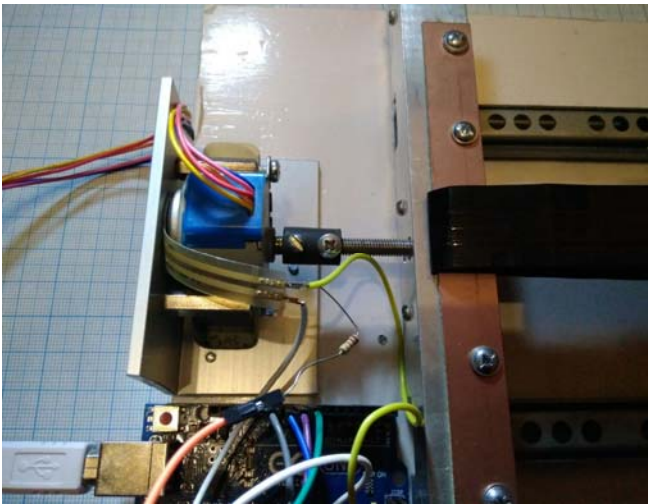


Рис. 9. Кроковий двигун з датчиком натискання

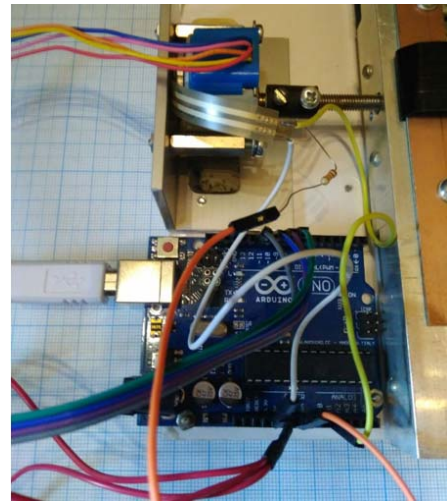


Рис. 10. Розміщення модуля керування та збору даних на дослідному макеті

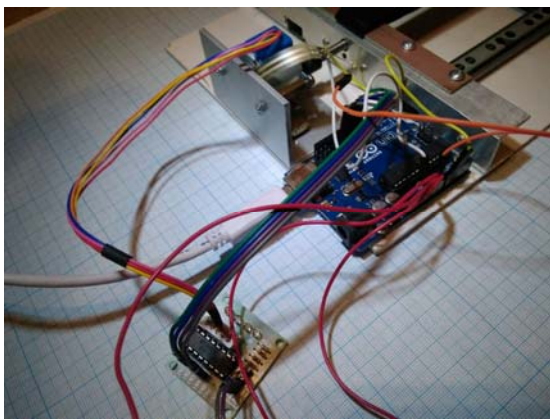


Рис. 11. Модуль керування кроковим двигуном

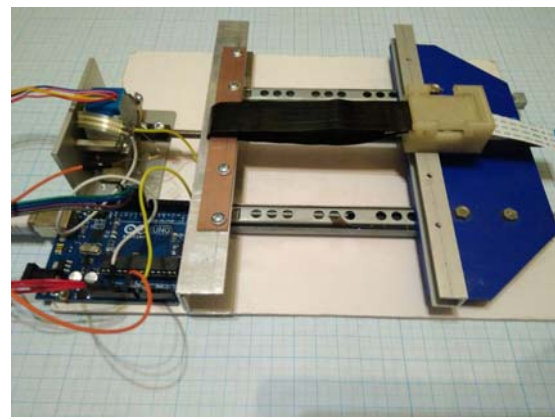


Рис. 12. Дослідний макет з закріпленим зразком гнучкого шлейфу та з'єднувачем

В табл. 1 наведені зведені характеристики кожної з дослідних кришок.

Прийняті наступні позначення:

S – відстань між зубцями, мм;

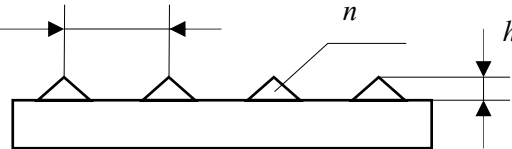
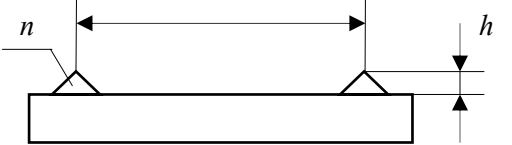
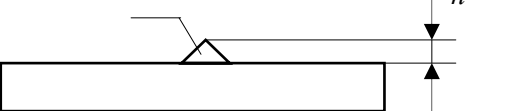
n – кількість зубців на кришці, шт;

h – висота зубця, мм.

Таблиця 1

Зведені характеристики кожної з дослідних кришок

№ зразку	Профіль поверхні	Характеристики
1		$S = 4,5$ мм $n = 7$ шт $h = 1$ мм
2		$S = 5$ мм $n = 6$ шт $h = 1$ мм

3		$S = 9 \text{ мм}$ $n = 4 \text{ шт}$ $h = 1 \text{ мм}$
4		$S = 27 \text{ мм}$ $n = 2 \text{ шт}$ $h = 1 \text{ мм}$
5		$S = 0 \text{ мм}$ $n = 1 \text{ шт}$ $h = 1 \text{ мм}$

В результаті проведення експерименту були отримані дані з датчика тиску для різних варіантів виконання кришки з'єднувача.

На рис. 13 показано графік з результатами експериментальних досліджень для кришки № 1.

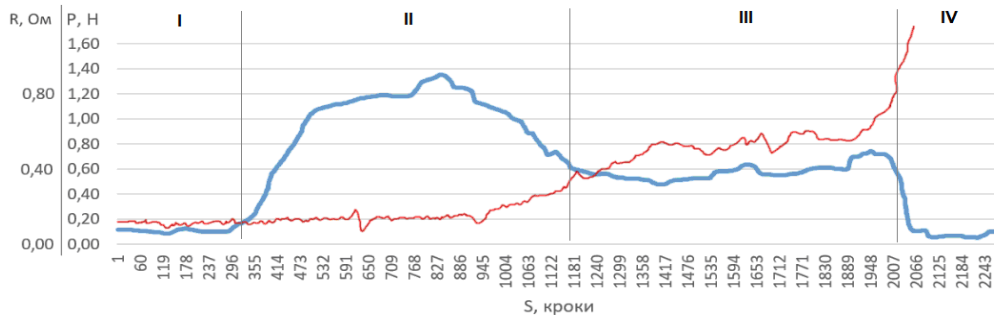


Рис. 13. Графік з результатами експериментальних досліджень для кришки № 1

На графіку з рис. 13 можна бачити чотири виражені зони “роботи” з'єднувача.

Зона I – натягнення гнучкого шлейфу.

В даній зоні зусилля в з'єднувачі дорівнює майже нулю. Поступово шлейф вирівнюється та в конструкції починає зростати тиск на прижимний елемент. Зона II – Зростання тиску на датчик до максимального значення завдяки пружній деформації основи шлейфу та провідників. Зона III – шлейф зривається та починає “ковзати” відносно нерухо-

го елементу конструкції. В даній стадії визначається зростання перехідного опору завдяки непостійному контакту між оголеними частинами двох шлейфів.

Зона IV – рухомий шлейф виходить зі зчеплення і тиск на датчик зменшується до мінімального значення. Контакт руйнується та перехідний опір зростає. На рис. 14 показано результат експерименту для кришки № 2.

Кришка має шість зубців та перехідна характеристика схожа з попереднім зразком.

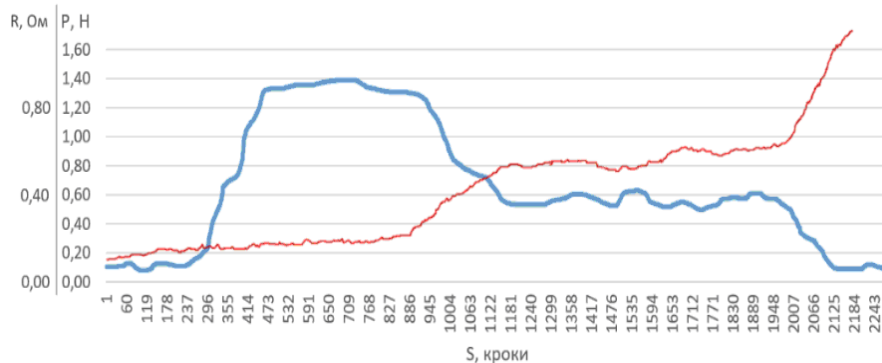


Рис. 14. Графік з результатами експериментальних досліджень для кришки № 2

На рис. 15 показано результат експерименту для кришки № 3.

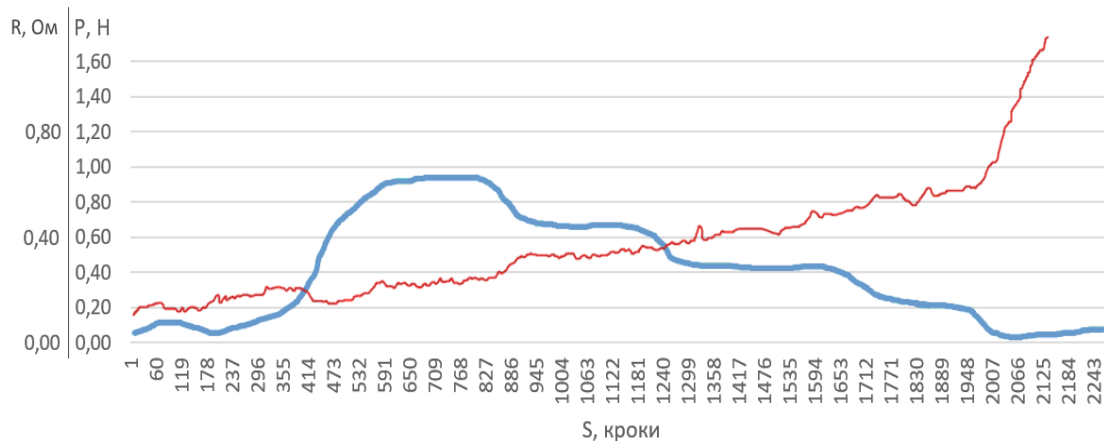


Рис. 15. Графік з результатами експериментальних досліджень для кришки № 3

Кришка має чотири зубці та на перехідній характеристиці можна бачити так звані сходинки. Вони зумовлені послідовним зменшенням тиску на шлейф з боку кришки при зміщенні шлейфу відносно зубців.

Максимальний тиск не перевищує 1 Н.

Перехідний опір постійно збільшується та можна зробити висновок, що він нестабільний. По відношенню до попередніх зразків, така конструкція з'єднувача менш надійна.

На рис. 16 показано результат експерименту для кришки № 4.

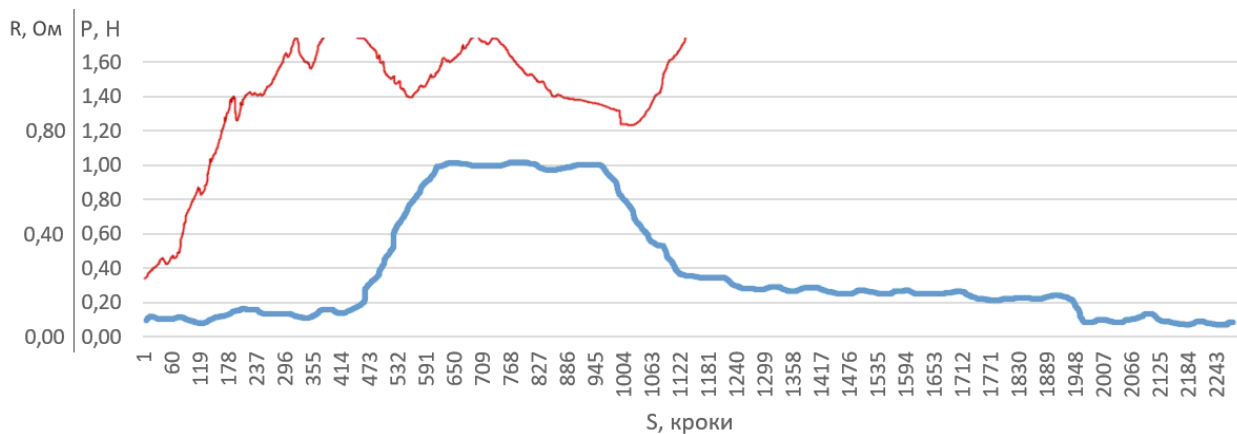


Рис. 16. Графік з результатами експериментальних досліджень для кришки № 4

Відповідно до табл. 1, кришка має два зубці. Як можна бачити з наведеного графіку, максимальний тиск не перевищує 1 Н. Стадія поступового зміщення шлейфу виражена дуже слабо. Перехідний опір дуже нестабільний та перевищує 1 Ом навіть в нерухомій стадії з'єднання. Це обумовлено тим, що зубці розташовано тільки по краях кришки та не притискають надійно шлейф один до одного. Надійність такої конструкції мінімальна та не рекомендується для практичного застосування. На рис. 17 показано результат експерименту для кришки № 5.

Відповідно до табл. 1, кришка має один зубець. Максимальний тиск не перевищує 0,8 Н. Стадія натягнення мінімальна, а тиск на стадії зміщення ледве перевищує 0,2 Н. Перехідний опір різко зростає при зміщенні відносно центрального зубця. Надійність

конструкції краща за попередній зразок, але також не рекомендується для практичного застосування.

Висновки

Розроблений стенд для дослідження якості електричних міжз'єднань гнучких структур та методика проведення експериментальних досліджень дозволили експериментально довести якість запропонованої конструкції плоского з'єднувача гнучких шлейфів.

Виходячи з отриманих результатів була визначена форма притискаючої кришки з'єднувача. Відповідно до табл. 1, кришка повинна мати шість або сім зубців. Як можна бачити з наведених графіків 13 та 14, максимальне зусилля яке витримує з'єднувач, становить 1,3–1,4 Н.

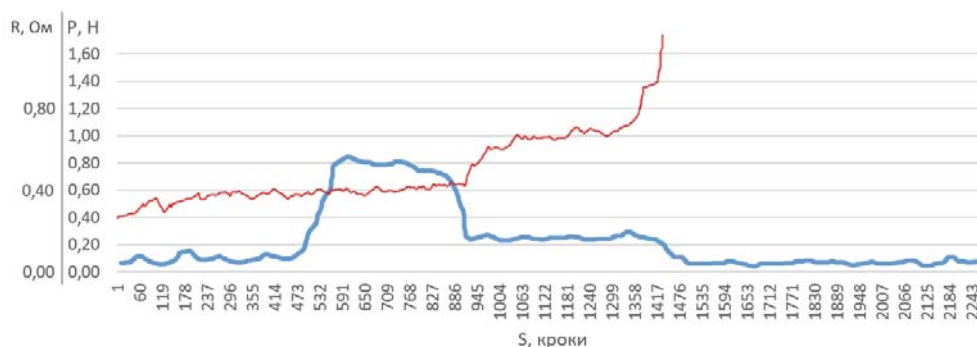


Рис. 17. Графік з результатами експериментальних досліджень для кришки №5

Також показано, що перехідний опір в контактах з'єднувача становить максимум 0,2–0,3 Ом. Експеримент показав надійність та стабільність параметрів при прикладенні механічних впливів, та збереження протягом всієї другої стадії роботи з'єднувача, поки шлейф не зривається та не починає

“ковзати” відносно нерухомого елемента конструкції.

Таким чином, отримані результати показали придатність конструкції з'єднувача для практичного застосування в складі сучасної електронної апаратури.

Список літератури

1. Gong N.W. Design and applications of inkjet-printed flexible sensate surfaces [Electronic resource] / N.W. Gong. – Cambridge: Massachusetts Institute of Technology, 2013. – 145 p. – Available at: <http://hdl.handle.net/1721.1/91434>.
2. Демська Н.П. Гнучкі комутаційні структури: аналіз технологій та галузі застосування / Н.П. Демська // Технологія приборостроєння. – 2019. – № 2. – С. 42-48.
3. Wong W.S. Flexible electronics: materials and applications / W.S. Wong, A. Salleo. – Springer Science & Business Media, 2009. – Vol. 11. – 461 p. – <https://doi.org/10.1007/978-0-387-74363-9>.
4. Стенд для динамічних випробувань гнучких комутаційних шлейфів та МЕМС-компонентів: патент № 108066 України на корисну модель: МПК G01M 7/02 (2006.01) / О.С. Боцман, І.В. Жарікова, В.В. Невлюдова, С.П. Новоселов та ін.; опубл. 24.06.2016, Бюл. № 12. – 3 с.
5. Bending endurance of printed conductive patterns on flexible substrates / J. Reboun, S. Pretl, J. Navratil, J. Hlina // 39th Proceedings of the International Spring Seminar on Electronics Technology. – Pilsen, 18-22 May 2016. – P. 184-188. – <https://doi.org/10.1109/ISSE.2016.7563185>.
6. Providing of MEMS inclinometer operation under external influencing factors / S. Timoshenkov, V. Kalugin, N. Korobova, A. Shalimov, D. Kalmikov, M. Golovinsky, K.M. Aung, V. Zhora, N. Plis // 37th International Conference on Electronics and Nanotechnology (ELNANO). – Kyiv, 18-20 April 2017. – P. 88-91. – <https://doi.org/10.1109/ELNANO.2017.7939721>.
7. Аналіз впливу механічних напружень на можливість мініатюризації гнучких структур електронної техніки на прикладі ZIF з'єднувача / І.Ш. Невлюдов, Є.А. Разумов-Фризюк, Н.П. Демська, Д.В. Гуріна // Проблеми тертя та зношування. – 2017. – № 3(76). – С. 74-80. – [https://doi.org/10.18372/0370-2197.3\(76\).11953](https://doi.org/10.18372/0370-2197.3(76).11953).
8. Плоский з'єднувач електронних пристроїв з нульовою силою вставки Патент України № 103402 МПК H01R 12/82 (2011.01) / Ю.І. Богдан, Н.П. Демська, В.В. Невлюдова, В.А. Палагін, С.А. Разумов-Фризюк, В.І. Роменський; опубл. 10.12.2015, бюл. № 23.
9. Michailides Constantine. Response analysis and optimum configuration of a modular floating structure with flexible connectors / Constantine Michailides, Eva Loukogeorgaki, Demos C. Angelides // Applied Ocean Research. – 2013. – № 43. – P. 112-130. – <https://doi.org/10.1016/j.apor.2013.07.007>.
10. Macleod P. A review of flexible circuit technology and its applications / Peter Macleod. – Loughborough: PRIME Faraday Partnership, 2002. – 58 p.
11. Mathematical model of bending two-layer film aluminium-polyimide structure due to temperature changes / I.S. Nevludov, V.M. Borshchov, V.A. Palagin, I.A. Razumov-Fryziuk, I.T. Tymchuk, V.V. Nevludova, A.Y. Petrova // Functional Materials. – 2019. – № 26(2). – P. 342-346. – <https://doi.org/10.15407/fm26.02.342>.
12. Погалов А.И. Напряженно-деформированное состояние и тепловой режим многослойных клеевых соединений многокристалльных микромодулей / А.И. Погалов, Г.А. Блинов, Е.Ю. Чугунов // Конструкции из композиционных материалов. – 2013. – № 2. – P. 18-22.

References

1. Gong, N.W. (2013), *Design and applications of inkjet-printed flexible sensate surfaces*, Massachusetts Institute of Technology, available at: www.hdl.handle.net/1721.1/91434.
2. Demska, N.P. (2019), “Hnuchki komutatsiini struktury: analiz tekhnolohii ta haluzi zastosuvannia” [Flexible switching structures: analysis of technologies and applications], *Tekhnolohyia Prybostroenyia*, No. 2, pp. 42-48.
3. Wong, W.S. and Salleo, A. (2009), *Flexible electronics: materials and applications*, Vol. 11, Springer Science & Business Media, 461 p. <https://doi.org/10.1007/978-0-387-74363-9>.
4. Botsman, O.S., Zharikova, I.V., Nevludova, V.V. and Novoselov, S.P. (2016), “Stend dla dynamichnykh vyprobuvan hnuchkykh komutatsiinykh shleifiv ta MEMS-komponentiv: patent № 108066 Ukrainy na korysnu model: MPK G01M 7/02 (2006.01)” [Stand for dynamic testing of flexible switching loops and MEMS components: Patent No. 108066 of Ukraine for

utility model: IPC G01M 7/02 (2006.01)], Biul. No. 12, 3 p.

5. Reboun, J., Pretl, S., Navratil, J. and Hlina, J. (2016), Bending endurance of printed conductive patterns on flexible substrates, *39th Proceedings of the International Spring Seminar on Electronics Technology*, 18-22 May, Pilsen, Czech Republic, pp. 184-188, <https://doi.org/10.1109/ISSE.2016.7563185>.

6. Timoshenkov, S., Kalugin, V., Korobova, N., Shalimov, A., Kalmikov, D., Golovinsky, M., Aung, K.M., Zhora, V. and Plis, N. (2017), Providing of MEMS inclinometer operation under external influencing factors, *37th International Conference on Electronics and Nanotechnology (ELNANO)*, 18-20 April, Kyiv, Ukraine, pp. 88-91, <https://doi.org/10.1109/ELNANO.2017.7939721>.

7. Nevliudov, I.Sh., Razumov-Fryziuk, Ye.A., Demska, N.P. and Hurina, D.V. (2017), "Analiz vplyvu mekhanichnykh napruzhen na mozhlyvist miniaturyzatsii hnuchkykh struktur elektronnoi tekhniki na prykladi ZIF z'iednuvacha" [Influence of mechanical stresses on the possibility of miniaturization of flexible structures of electronic equipment on the example of ZIF connector], *Friction and Wear Problems*, No. 3(76), pp. 74-80, [https://doi.org/10.18372/0370-2197.3\(76\).11953](https://doi.org/10.18372/0370-2197.3(76).11953).

8. Bohdan, Yu.I., Demska, N.P., Nevliudova, V.V., Palahin, V.A., Razumov-Fryziuk, Ye.A. and Romenskyi, V.I. (2015), "Ploskyi z'iednuvach elektronnykh prystroiv z nulovoiu syloiu vstavky Patent Ukrainy № 103402 MPK N01R 12/82 (2011.01)" [Zero insertion flat connector for electronic devices Patent of Ukraine No. 103402 IPC H01R 12/82 (2011.01)], opubl. 10.12.2015, Biul. No. 23.

9. Michailides, Constantine, Loukogeorgaki, Eva and Angelides, Demos C. (2013), Response analysis and optimum configuration of a modular floating structure with flexible connectors, *Applied Ocean Research*, No. 43, pp. 112-130, <https://doi.org/10.1016/j.apor.2013.07.007>

10. Macleod, P. (2002), *A review of flexible circuit technology and its applications*, PRIME Faraday Partnership, Loughborough, 58 p.

11. Nevliudov, I.S., Borshchov, V.M., Palagin, V.A., Razumov-Fryziuk, I.A., Tymchuk, I.T., Nevliudova, V.V. and Petrova, A.Y. (2019), Mathematical model of bending two-layer film aluminium-polyimide structure due to temperature changes, *Functional Materials*, No. 26(2), pp. 342-346, <https://doi.org/10.15407/fm26.02.342>.

12. Pahalov, A.Y., Blynov, H.A. and Chuhunov, E.Yu. (2013), "Napriazhenno-deformirovannoe sostoianye y teplovoi rezhym mnohosloinykh klevykh soedynenyi mnohokrystalnykh mykromodulei" [Stress-strain state and thermal regime of multi-layer adhesive compounds of multicrystalline micromodules], *Composite Materials*, No. 2, pp. 18-22.

Надійшла до редколегії 08.01.2020

Схвалена до друку 11.02.2020

Відомості про авторів:

Невлюдов Ігор Шакирович

доктор технічних наук професор
завідувач кафедри Харківського національного
університету радіоелектроніки,
Харків, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-9837-2309>

Демська Наталія Павлівна

старший викладач
Харківського національного
університету радіоелектроніки,
Харків, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-9931-9964>

Разумов-Фризюк Євгеній Анатолійович

кандидат технічних наук
доцент кафедри Харківського національного
університету радіоелектроніки,
Харків, Україна
<https://orcid.org/0000-0001-7426-3805>

Новоселов Сергій Павлович

кандидат технічних наук доцент
професор кафедри Харківського національного
університету радіоелектроніки,
Харків, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-3190-0592>

Information about the authors:

Igor Nevliudov

Doctor of Technical Sciences Professor
Head of Department of Kharkiv National
University of Radio Electronics,
Kharkiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-9837-2309>

Nataliia Demska

Senior Instructor
of Kharkiv National
University of Radio Electronics,
Kharkiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-9931-9964>

Ievgenii Razumov-Fryziuk

Candidate of Technical Sciences
Senior Lecturer of Kharkiv National
University of Radio Electronics,
Kharkiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0001-7426-3805>

Sergiy Novoselov

Candidate of Technical Sciences Associate Professor
Professor of Kharkiv National
University of Radio Electronics,
Kharkiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-3190-0592>

КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МЕЖСОЕДИНЕНИЙ ГИБКИХ СТРУКТУР

И.Ш. Невлюдов, Н.П. Демская, Е.А. Разумов-Фризюк, С.П. Новоселов

Предметом статьи является соединитель гибких шлейфов для межмодульных электрических соединений. Целью является представление результатов экспериментальных исследований параметров предложенной конструкции соединителя гибких коммутационных шлейфов при влиянии динамических нагрузок, а также качества электрических соединений. Задачи: анализ конструктивных особенностей основных типов соединителей и причин возникновения отказов, экспериментальное подтверждение теоретических исследований, выполненных на предыдущих этапах работы и

определение эксплуатационных характеристик соединителя гибких шлейфов для межмодульных электрических соединений, проведение эксперимент для получение набора статистических данных оценки качества конструкции соединителя гибких шлейфов. Используемыми методами являются: методы планирования эксперимента и обработки экспериментальных данных. Получены такие результаты. Для соединения двух шлейфов предложена новая конструкция плоского разъема, которая позволяет быстро и точно выполнять процесс подключения и гарантирует качественное электрическое соединение между контактами линии связи. В зависимости от формы рисунка крышки можно достигнуть разных свойств сочетание и качества соединения. Определено влияние формы поверхности крышки разъема на усилие, которое необходимо для механического разъединения двух шлейфов в разные стороны. Определено значение переходного сопротивления между контактами шлейфов. Научная новизна полученных результатов заключается в следующем. Разработка стенда для исследования качества электрических межсоединений гибких структур и методика проведения экспериментальных исследований позволили экспериментально доказать качество предлагаемой конструкции плоского соединителя гибких шлейфов. Исходя из полученных результатов, была определена форма прижимающей крышки разъема. Согласно результатам эксперимента, крышка должна иметь шесть или семь зубцов. Установлено, что максимальное усилие которое выдерживает соединитель составляет 1,3 - 1,4Н. Также показано, что переходное сопротивление в контактах соединителя составляет максимум 0,2 - 0,3 Ом. Эксперимент показал надежность и стабильность параметров при приложении механического влияния и сохранение в течении всей второй стадии работы соединителя пока шлейф не срывается но не начинает "скользить" относительно неподвижного элемента конструкции.

Ключевые слова: плоский разъем, гибкие структуры, шлейф, контакты, эксперимент.

QUALITY CONTROL OF ELECTRICAL INTERFACES OF FLEXIBLE STRUCTURES

I. Nevludov, N. Demska, Ie. Razumov-Fryziuk, S. Novoselov

The subject of the article is a flexible cable connector for intermodal electrical connections. The aim is to present the results of experimental studies of the parameters of the proposed connector design of flexible switching cables under the influence of dynamic loads, as well as the quality of electrical connections. Tasks: analysis of structural features of the main types of connectors and causes of failures, experimental confirmation of theoretical studies performed in the previous stages of work and determination of the performance characteristics of the connector of flexible cables for intermodular electrical connections, conducting an experiment to obtain a set of statistics for the assessment of the quality of construction connector flex cables. The methods used are: methods of experiment planning and processing of experimental data. The following results were obtained. To combine the two cables, we offer a new connector design that allows you to perform the bridging process quickly and accurately and guarantees a high-quality electrical connection between the pins of the communication line. Depending on the shape of the cover pattern, different combination properties and connection quality can be achieved. The influence of the shape of the connector cover surface on the efforts required to mechanically separate the two loops in different directions is determined. The value of the transient resistance between the pins is determined. The scientific novelty of the obtained results is as follows. The developed stand for the study of the quality of electrical interconnections of flexible structures and the method of experimental research allowed to experimentally prove the quality of the proposed design of a flat connector of flexible cables. Based on the results obtained, the shape of the clamping lid of the connector was determined. According to the results of the experiment, the cover should have six or seven teeth. The maximum endurance of the connector is set to be 1.3 - 1.4N. It is also shown that the transient resistance in the connector pins is a maximum of 0.2 - 0.3 Ohms. The experiment showed the reliability and stability of the parameters when applying mechanical influences, and maintaining throughout the second stage of the connector until the plume breaks and begins to "slide" relative to a fixed structural element.

Keywords: flat connector, flexible structures, cable, contacts, experiment.