

УДК 621.389:539.384

І. Ш. НЕВЛЮДОВ, Є. А. РАЗУМОВ-ФРИЗЮК, Н. П. ДЕМСЬКА, Д. В. ГУРІНА

Харківський національний університет радіоелектроніки, м. Харків, Україна

АНАЛІЗ ВПЛИВУ МЕХАНІЧНИХ НАПРУЖЕНЬ НА МОЖЛИВІСТЬ МІНІАТЮРИЗАЦІЇ ГНУЧКИХ СТРУКТУР ЕЛЕКТРОННОЇ ТЕХНІКИ НА ПРИКЛАДІ ZIF З'ЄДНУВАЧА

В роботі запропонована принципово нова конструкція роз'єму для підключення (механічного та електричного контакту) гнучких FFC і FPC комутаційних шлейфів пристроїв електронної техніки. А також проведені дослідження механічних навантажень, які виникають в запропонованій конструкції з метою визначення надійності і можливості мініатюризації. Наведено переваги запропонованого роз'єму над аналогами і його мінімально допустимі розміри.

Ключові слова: з'єднувач, деформація, вигин, провідники, напруження.

Вступ. Працездатність виробів електронної техніки (ЕТ) все частіше залежить від якості з'єднувачів, особливо коли до кінцевого продукту висувають серйозні вимоги щодо експлуатації: вібростійкість, стійкість до механічних пошкоджень, пило- та вологостійкість, здатність перебувати у хімічно агресивному середовищі, широкий робочий температурний діапазон та ін. [1].

Більше 50 % несправностей модулів ЕТ пов'язані зі з'єднувачами. Можливими їх причинами можуть бути: корозія, нещільне з'єднання, випадіння або деформація кабелю внаслідок вібрації [2].

Широке застосування пласких кабелів практично в усій стаціонарній і мобільній апаратурі (морській, наземній, повітряній) обумовлено низкою переваг таких з'єднань:

- компактність, навіть за великого числа контактів;
- проста та швидка заміна пошкодженого кабелю;
- організація несучих провідників, що виключає заплутування;
- з'єднання модулів і виконавчих пристроїв, віддалених один від одного, у рамках одного блоку або виробу;
- «рухливість» з'єднання. За рахунок гнучкості та довговічності самого кабелю можливе підведення живлення та сигнальних ліній до рухомих вузлів пристрою.

Але надійність таких з'єднувачів залежить від їх мініатюризації і зменшується із збільшенням ступеню мініатюризації.

Постановка задачі. Найбільш розповсюдженими з'єднувачами є з'єднувачі для шлейфів FFC (Flexible flat cable) і FPC (Flexible printed circuit), які в свою чергу поділяються на ZIF (Zero Insertion Force – нульова сила вставки) і non-ZIF структури [3].

Як правило ZIF структури складаються з нерухомого корпусу та контактора, що являє собою матрицю контактів, виготовлених у вигляді електрично-розділених U-образних контактів із бронзи або іншого пружного матеріалу, і рухомої планки, яка розміщена паралельно до корпусу на напрямних (рис. 1).

Зовнішній гнучкий контактуючий шлейф проходить через отвір у корпусі. У замкнутому положенні рухома планка зміщується на невелику відстань (порядку сотень мікрометрів) і пружно притискає контакти до шлейфу в корпусі з'єднувача.

Для фіксації рухома планка зачіпляється за спеціальний виступ на стінці ко-

рпусу. У відкритому стані рухома планка повертається у вихідне положення і вже не притискає зовнішній гнучкий шлейф, який можна легко вилучити [4].

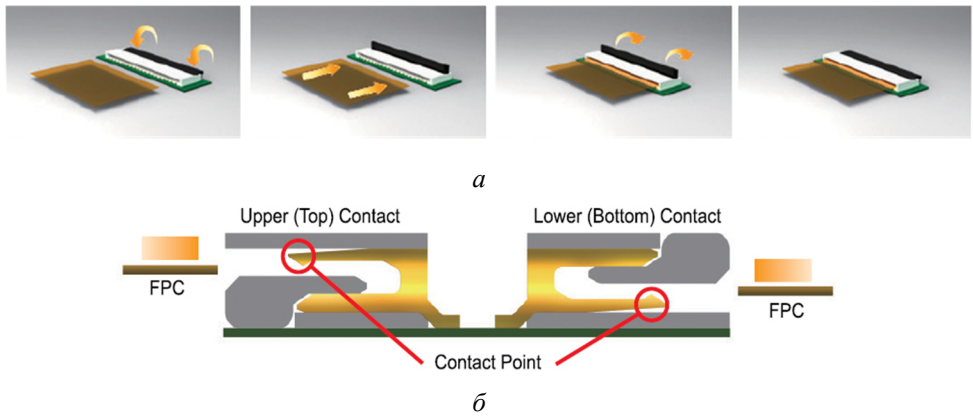


Рис. 1. З'єднувачі FPC: *a* – принцип роботи зачіпки з'єднувача FPC; *б* – з'єднувачі із верхнім і нижнім розташуванням контактів

Ця конструкція має низку суттєвих недоліків. По-перше, це низька ремонтно-придатність у разі пошкодження пружних контактів; по-друге, обмежена щільність розташування контактів; по-третє, швидке стирання зовнішнього гнучкого шлейфу у процесі багаторазової установки; по-четверте, значна крихкість конструкції важеля. Задачею є розробка конструкції принципово нового з'єднувача та моделювання його механічної надійності.

Конструкція ZIF з'єднувача. Авторами запропоновано конструкцію плоского з'єднувача електронних пристроїв з нульовою силою вставки. Запропонована конструкція відноситься до електромеханічних пристроїв, зокрема до струмоведучих з'єднувачів плоских або стрічкових шлейфів [5].

Запропонований плоский з'єднувач складається з корпусу, у якому є отвір для зовнішнього гнучкого контактуючого шлейфу, і рухливої планки, що є частиною контактора та виконана у вигляді кришки корпусу з ущільнювачем на нижньому боці. На корпусі розташований фіксатор кришки. Лінійка контактів виконана у вигляді порожнистої герметичної ємності, сформованої з гнучкої друкованої плати, на якій розміщені контакти для зовнішнього гнучкого шлейфа, виконані шляхом травлення полімерного фольгованого матеріалу контактора, причому зовнішній вивід лінійки контактів жорстко з'єднаний із зовнішньою платою.

На рис. 2 наведена структура запропонованого з'єднувача.

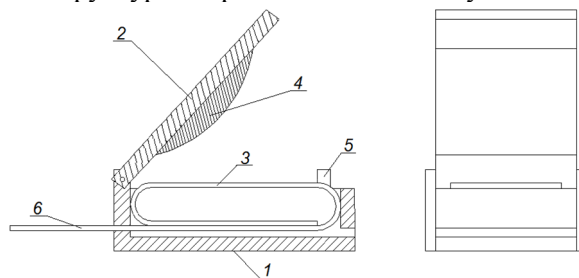


Рис. 2. Структура плоского з'єднувача: 1 – корпус; 2 – рухлива планка у вигляді кришки; 3 – матриця контактів; 4 – ущільнювач; 5 – фіксатор; 6 – зовнішній вивід матриці

Пристрій працює наступним чином (рис. 3). Зовнішній гнучкий шлейф вставляється в отвір корпусу 1 і електрично контактує з матрицею контактів 3. Це, у свою чергу, за допомогою зовнішнього виводу 6 забезпечує електричний контакт плоского роз'єму з платою, на яку його встановлено. Матриця контактів сформована з гнучкої фольгованої полімерної (наприклад, поліімідної) плати, згорнутої у вигляді циліндра і склеєної по торцях, при цьому утворюючи герметичну ємність, заповнену повітрям. На ній знаходиться безліч кулькових контактних елементів, виготовлених за допомогою травлення шару фольги.

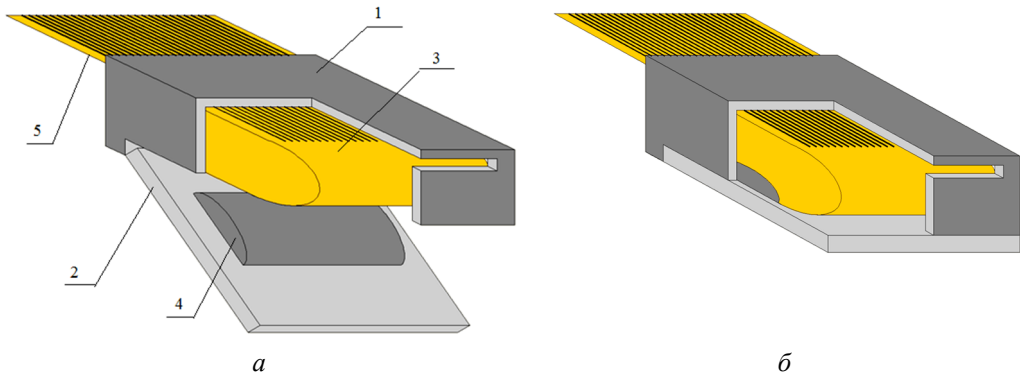


Рис. 3. Принцип роботи плоского з'єднувача: а – з'єднувача у розкритому стані; б – з'єднувача у закритому; 1 – корпус; 2 – рухлива планка у вигляді кришки; 3 – матриця контактів; 4 – ущільнювач; 5 – зовнішній вивід матриці

Під час повороту рухомої планки 2 (закриття кришки) матриця контактів деформується завдяки ущільнювачам 4, які знаходяться на кришці. При цьому підвищується тиск у внутрішній герметичній порожнині матриць і контактів і зовнішній гнучкий шлейф механічно притискається між матрицею контактів і кришкою пристрою. Ступінь притиснення можна регулювати, змінюючи форму й об'єм ущільнювача. Для надійності з'єднання передбачено фіксатор кришки 5.

Виготовлення контактних елементів за допомогою травлення дозволяє одержати високу щільність їх розміщення та малі розміри (ширина до 50 мкм). Крім того, існує можливість отримання контактних елементів різної форми та ширини у рамках одного виробу (наприклад, різна ширина каналів живлення та інформаційних).

З'єднувач дозволяє підвищити щільність розташування контактів у розніжному з'єднанні ГС, а також можливу кількість виводів і надійність механізму фіксації. Крім того, конструкція є ремонтпридатною: технологія виготовлення матриць і контактів є досить простою та дешевою, що дозволяє у разі необхідності здійснити заміну матриць і контактів у тому ж корпусі.

Але поряд з перевагами у запропонованій конструкції існують і недоліки. До основного недоліку автори відносять можливі труднощі мініатюризації розробленої конструкції. А саме механічна міцність матриці контактів, розташованій на гнучкій полімерній платі: міцність провідникової системи при контактуванні зі зовнішнім шлейфом та міцність самої матриці контактів при деформаціях типу «вигин», обумовлених розмірами конструкції.

Розрахунок допустимих деформацій матриці контактів. Наведена конструкція піддається впливу деформації типу «вигин», що є однією з найрозповсюджених у гнучких виробів електронної техніки. Основи методики розрахунку

ків даного типу деформації розглянуто авторами у попередній статті [6].

Необхідно визначити мінімально допустимий радіус вигину матриці контактів, що не призведе до її руйнування.

За умови деформації матриця контактів знаходиться у стані чистого вигину: справа на рис. 4 знаходяться стисненні, а зліва – розтягнуті шари, також існує нейтральна лінія поперечного перерізу – площина, у якій нормальні напруження дорівнюють нулю, тобто $\sigma = 0$.

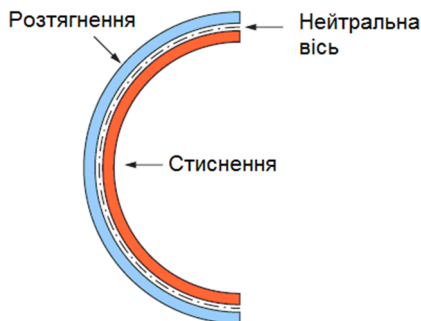


Рис. 4. Деформація матриці контактів під час згинання

Для визначення відстані від нейтральної лінії (рис. 5) до верхньої поверхні шару алюмінію було запропоновано формулу [1]:

$$h_a = \frac{0,5 \cdot E_a B_a H_a^2 + E_n H_n B_n H_a + 0,5 \cdot E_n B_n H_n^2}{E_a B_a H_a + E_n B_n H_n}. \quad (1)$$

де E_a – модуль пружності алюмінію; E_n – модуль пружності полііміду; H_a – товщина шару алюмінію; H_n – товщина шару полііміду; h_a – відстань від нейтральної лінії до верхньої поверхні шару алюмінію; B_a – ширина алюмінієвого провідника; B_n – ширина полііміду під провідником (ширина провідника та відстань між провідниками матриці контактів).

Допустимий радіус вигину визначається за формулою:

$$\rho = \frac{h_a}{\varepsilon_y}, \quad (2)$$

де ε_y – пружна відносна деформація.

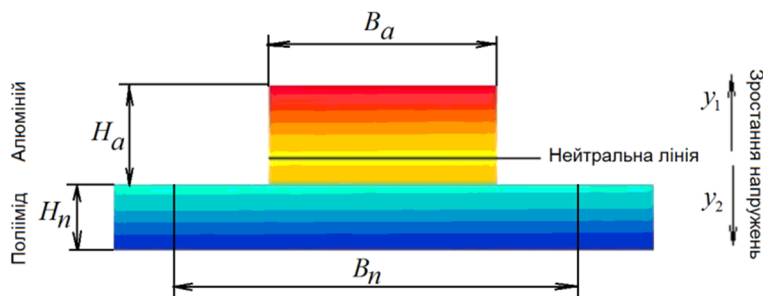


Рис. 5. Зростання внутрішніх напружень у провіднику матриці контактів у залежності від відстані до нейтральної лінії

Виготовляти матрицю контактів передбачається з лакофольгованого діелектрика ФДИ-А-50 з товщиною алюмінію $h_a = 30$ мкм і товщиною полііміду $h_n = 20$ мкм. Гнучкі шлейфи та плати на основі безадгезійних лакофольгованих алю-

міній-поліімідних діелектриків типу ФДИ-А характеризуються пластичністю, гнучкістю та стабільністю електричних характеристик [7]. Основні характеристики поліімиду марки ФДИ-А представлені у таблиці 1.

Таблиця 1

Характеристики поліімиду марки ФДИ-А

Шар	σ , МПа	E , МПа	μ
Al	150	$1,0 \cdot 10^5$	0,33
Pi	170	$0,03 \cdot 10^5$	0,3

Згідно з вказаними вхідними даними проведено моделювання залежності напружень, що виникають в матриці контактів від радіусу вигину (ступеня мініатюризації з'єднувача). На рис. 6 наведено залежність розташування нейтральної лінії від ширини провідника. Згідно з отриманими результатами, ширина провідника має незначний вплив на параметр h_a .

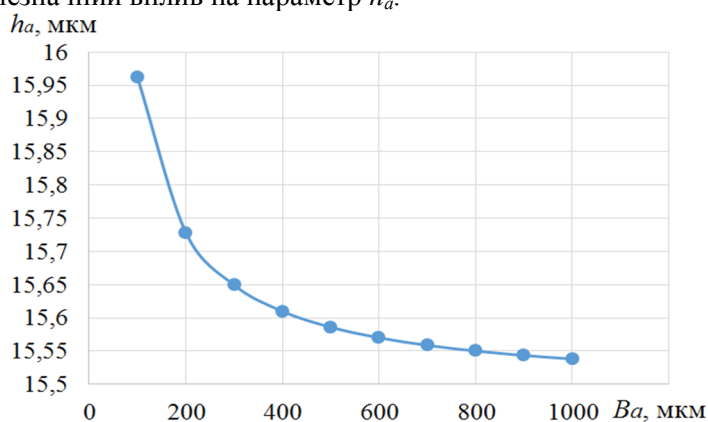


Рис. 6. Розташування нейтральної лінії у залежності від ширини провідників

На рис. 7 наведено залежність механічних напружень, що виникають у граничних ділянках алюмінієвих провідників, від радіуса вигину шлейфа для провідників шириною 100, 200, 600 та 1000 мкм.

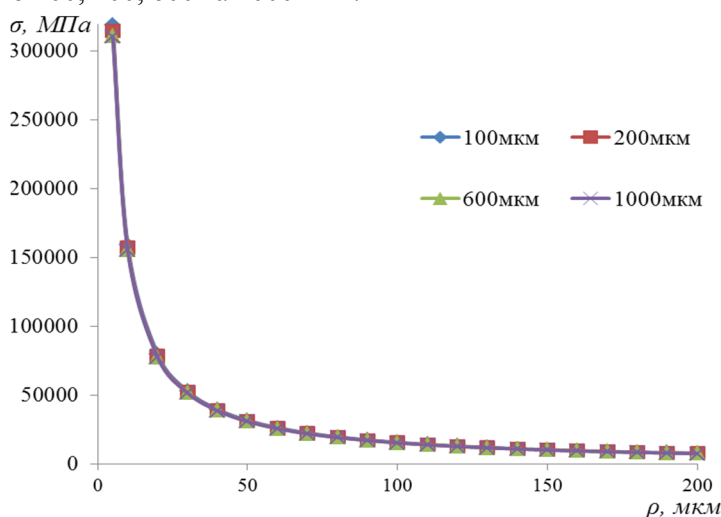


Рис. 7. Залежність механічних напружень, що виникають у граничних ділянках провідників, від радіуса вигину шлейфа

Висновки. Із проведених розрахунків можна зробити висновок, що максимальні напруження спостерігаються у шарі алюмінію на поверхні, яка максимально віддалена від нейтральної лінії. Напруження у полііміді є значно меншими та ними можна знехтувати. Крім того, напруження зростають обернено пропорційно до радіусу кривизни провідника.

Виходячи з отриманих результатів моделювання, ширина провідників, змінювана у досить великому діапазоні від 100 мкм до 1 мм, незначно впливає на значення механічних напружень, що виникають у ГС за умови вигину. Також для ГС, виготовлених з матеріалу марки ФДИ-А-50, не бажано допускати радіус вигину менший за 200 мкм, оскільки при цьому напруження, що виникають у структурі, не будуть спричиняти пластичних деформацій провідників.

Список літератури

1. Палагин В.А., Разумов-Фризюк Е.А., Демская Н.П., Невлюдова В.В. Анализ и разработка конструкций разъемов для FFC или FPC шлейфов. Технология приборостроения. 2016. №1 С. 50-53.
2. IPC-D-279. Design Guidelines for Reliable Surface Mount Technology Printed Board Assemblies.
3. Connector for FPC / FFC: patent of Korea № KR 20020083891 A / Hayasi Naoki, Sato Tomoyuki. 27.04.2001.
4. Держанский М. Соединители для плоских кабелей (FPC, Micro-Match, AMP-Latch). Новости электроники. 2014. № 3. С. 9-14.
5. Плоский з'єднувач електронних пристроїв з нульовою силою вставки: патент № 103402 України на корисну модель / Ю. І. Богдан, Н. П. Демська, В. В. Невлюдова, В.А. Палагін, Є.А. Разумов-Фризюк, В.І. Роменський; заявл. 10.07.2015; опубл. 10.12.2015, Бюл. № 23. 3 с.
6. Невлюдов І.Ш., Разумов-Фризюк Є.А., Демська Н.П., Невлюдова В.В. / Оцінка впливу механічних дій на гнучкі друковані плати // Проблеми тертя та зношування. – 2016. - №1 (70). – С. 143-149
7. Воробьев А. В., Жора В. Д. Гибкие фольгированные диэлектрики: классификация и анализ направлений применения и совершенствования. // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. 2014. № 4. –С. 56-61.

Стаття надійшла до редакції 16.08.2017.

Невлюдов Ігор Шакирович – д-р тех. наук, професор, завідувач кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації і мехатроніки, Харківський національний університет радіоелектроніки, igor.nevliudov@nure.ua

Разумов – Фризюк Євгеній Анатолійович – канд. тех. наук, доцент кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації і мехатроніки, Харківський національний університет радіоелектроніки

Демська Наталія Павлівна – старший викладач кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації і мехатроніки, Харківський національний університет радіоелектроніки, nataliia.demska@nure.ua

Гуріна Дар'я Володимирівна – аспірант кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації і мехатроніки, Харківський національний університет радіоелектроніки.

I.Sh. NEVLIUDOV, E.A. RAZUMOV-FRIZYUK, N.P. DEMSKA, D.V. GURINA

**ANALYSIS OF THE EFFECTS OF MECHANICAL STRESSES ON THE
POSSIBILITY OF MIGRATION OF FUEL STRUCTURES OF ELECTRONIC
EQUIPMENT ON THE EXAMPLE OF ZIF CONNECTOR**

The article proposes a fundamentally new ZIF connector design for flexible FFC and FPC switching loops connection (mechanical and electric contact) in devices of electronic engineering. And also studies mechanical loads that arise in the proposed design for the purpose of determining the reliability and possibility of miniaturization have been carried out. The advantages of the proposed connector and its minimum permissible dimensions are given.

Keywords: Connector, deformation, bend, conductors, stress.

References

1. Palagin V.A., Razumov-Frizjuk E.A., Demskaja N.P., Nevljudova V.V. Analiz i razrabotka konstrukcij raz#emov dlja FFC ili FPC shlejfov. Tehnologija priborostro-enija. 2016. №1 S. 50-53.
2. IPC-D-279. Design Guidelines for Reliable Surface Mount Technology Printed Board Assemblies.
3. Connector for FPC / FFC: patent of Korea№ KR 20020083891 A / Hayasi Naoki, Sato Tomoyuki. 27.04.2001.
4. Derzhanskij M. Soediniteli dlja ploskih kabelej (FPC, Micro-Match, AMP-Latch). Novosti jelektroniki. 2014. № 3. S. 9-14.
5. Ploskyy z"yednuvach elektronnykh prystroyiv z nul'ovoyu syloyu vstavky: patent # 103402 Ukrainy na korysnu model' / Yu. I. Bohdan, N. P. Dems'ka, V. V. Nevlyudova, V.A. Palahin, Ye.A. Razumov-Fryzyuk, V.I. Romens'ky; zayavl. 10.07.2015; opubl. 10.12.2015, Byul. # 23. 3 s.
6. Nevlyudov I.Sh., Razumov-Fryzyuk Ye.A., Dems'ka N.P., Nevlyudova V.V. / Otsinka vplyvu mekhanichnykh diy na hnuchki drukovani platy // Problemy tertya ta znoshuvannya. – 2016. - #1 (70). – S. 143-149.
7. Vorob'ev A. V., Zhora V. D. Gibkie fol'girovannye dijelektriki: klassifi-kacija i analiz napravlenij primenenija i sovershenstvovanija. // Tehnologija i kons-truirovanie v jelektronnoj apparature. 2014. № 4. S. 56-61.