

УДК. 621.3.066.6

# КЛАСИФІКАЦІЯ СТРУМОПРОВІДНИХ МІЖЗ'ЄДНАНЬ ДЛЯ СУЧАСНИХ ЕЛЕКТРОННИХ МОДУЛІВ

К.т.н. І. В. Боцман<sup>1</sup>, к.т.н. М. Г. Когдась<sup>2</sup>, к.т.н. В.В. Невлюдова<sup>1</sup>

1. Харківський національний університет радіоелектроніки

2. Кременчуцький національний університет ім. М. Остроградського

У роботі наведено класифікацію струмопровідних міжз'єднань для сучасних електронних модулів і проаналізовано основні методи контактування, використовувані для забезпечення високої щільності розташування міжз'єднань.

В роботі приведена класифікація токопроводящих межсоединений для современных электронных модулей и проанализированы основные методы контактирования, используемые для обеспечения высокой плотности расположения межсоединений.

In the paper a classification of conductive interconnects for modern electronic modules and analysis of the main contacting methods used to ensure a high density of interconnects are presented.

**Ключові слова:** електронні модулі, струмопровідні міжз'єднання, гнучкі комутаційні плати, шлейфи, ZIF-з'єднувачі, FFC/FPC-структури.

## Вступ

Удосконалення методів конструювання та виготовлення сучасних електронних модулів (ЕМ) спрямоване на зменшення їх габаритно-масових показників; підвищення їх надійності за одночасного збереження високої стабільності конструктивних параметрів в умовах досить жорстких зовнішніх впливів; забезпечення високої ремонтпридатності й ергономічності. При цьому спостерігається тенденція постійного зростання щільності монтажу електронних компонентів на комутаційних платах (КП) – як на жорстких, так і на гнучких підкладках, а також постійного пошуку нових конструктивно-технологічних рішень рознімних і нерознімних міжз'єднань, які б забезпечили дотримання багатьох важливих вимог до сучасних ЕМ, зокрема електричних і механічних [1-3].

Тільки мікромініатюризація ЕМ без використання нових принципів конструювання не дозволяє успішно вирішити поставлене завдання, оскільки неминуче виникають труднощі, пов'язані з виробництвом ЕМ, знижується їх надійність і зростає вартість, погіршуються точність і стабільність параметрів, не можуть бути забезпечені належним чином відведення тепла й усунення паразитних зв'язків [4-5].

Вирішення проблеми здебільшого полягає в розробці нових принципів конструювання з широким використанням тонкоплівкової та напівпровідникової технології, багатошарових друкованих плат (БДП), сучасних матеріалів; у впровадженні модульного методу проектування, нових високопродуктивних методів виробництва, стандартизації і уніфікації.

Тому метою даної роботи є аналіз конструктивно-технологічних рішень для формування струмопровідних

міжз'єднань в ЕМ із високою щільністю розташування провідників на КП.

## Класифікація електричних міжз'єднань у мікроелектронних модулях

Основні види контактних з'єднань (нерознімні, обмежено-рознімні та рознімні) з'явилися задовго до появи міжз'єднань у мікроелектронному виконанні. Однак створення мікроелектронної апаратури потребувало її подальшого розвитку з метою:

- мінімізації габаритів і маси;
- збільшення надійності;
- зниження вартості виробництва й експлуатації;
- забезпечення роботи з мілівольтовими та мікроамперними сигналами;
- підвищення граничної частоти, забезпечення мінімуму випромінювання в навколишній простір тощо [3].

На рис. 1 наведена одна з можливих класифікацій струмопровідних міжз'єднань ЕМ за критерієм просторового розташування.

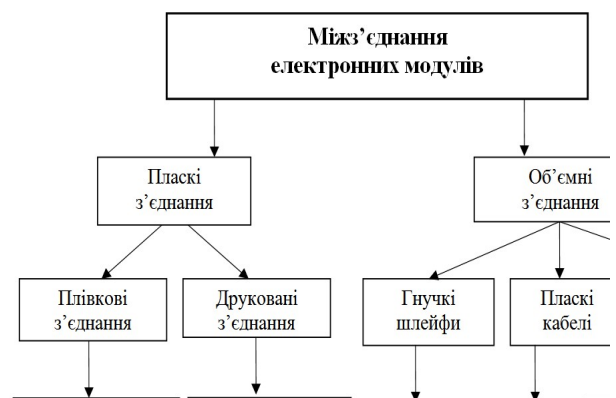


Рис. 1. Види електричних міжз'єднань ЕМ

Лінії зв'язку напівпровідникових інтегральних схем (ІС) і великих ІС (ВІС) виконуються за допомогою шару металізації та дифузійного шару; монтажні з'єднання великих гібридних ІС і мікросбірок – одно-, дво- і багатошарового плівкового та мікродротового монтажу; з'єднання між ВІС і мікросбірок – із використанням друкованого та мікродротового монтажу; з'єднання між комірками та блоками ЕМ – джгутів, гнучких шлейфів і плоских кабелів.

Як видно з наведеної класифікації, окрему частину міжз'єднань ЕМ становлять з'єднання плівкові та друковані, а також гнучкі комутаційні шлейфи [6-9].

**Класифікація між'єднань ЕМ за ознакою можливості роз'єднання**

Нерознімні контактні з'єднання є найбільш поширеними в конструкціях ЕМ з огляду на їх високу надійність, малі габарити та низьку вартість. Малі габарити обумовлюють також гарні частотні властивості контактів.

Нерознімні контактні з'єднання реалізуються паянням, зварюванням, склеюванням. Перевагами контактування паянням є простота процесу та висока ремонтпридатність.

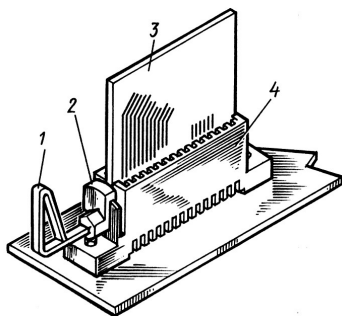
При контактуванні зварюванням необхідно забезпечити локалізацію тепла. Зварювання з мідною фольгою не дає стабільної якості через високу теплопровідність міді (10...20% зварних контактів можуть бути перегрітими або недогрітими).

Обмежено-рознімне контактне з'єднання може здійснюватися притисканням контактних поверхонь за допомогою жорсткого (земляна клема на несучій конструкції), пружного металевого або еластичного полімерного контакту.

Еластичний контакт може бути отриманий шляхом нанесення на силіконову гуму або поліімідну плівку струмопровідних ліній, а також за допомогою еластомеру з наповнювачем із дрібнодисперсного срібла, міді, нікелю, графіту.

Рознімні контактні з'єднання дозволяють збільшити ремонтпридатність у процесі експлуатації та спростити складання ЕМ. Однак при цьому збільшуються маса, габарити та вартість контактного з'єднання. Крім того, ресурс рознімних з'єднань не перевищує декількох тисяч з'єднань/роз'єднань, а стійкість до механічних і кліматичних впливів є значно гіршими, ніж у нерознімних з'єднань.

У конструкціях ЕМ широко застосовуються низько- і височастотні рознімні з'єднувачі. Розрізняють низькочастотні з'єднувачі безпосереднього контактування, непрямого контактування, із нульовим зусиллям зчленування (рис. 2) [3, 10-12].



1 – кулачковий ключ; 2 – замок; 3 – КП;  
4 – розетка з'єднувача

Рис. 2. З'єднувач із нульовим зусиллям зчленування для КП

**Між'єднання для гнучких КП**

Технологія гнучких друкованих шлейфів FFC (Flat Flexible Cable), а також гнучких друкованих плат FPC (Flexible Printed Circuit) була розроблена для мініатюризації конструкцій ЕМ, зменшення вартості, а також підвищення технологічності монтажу з'єднань ЕМ, перш за все для портативних і мобільних пристроїв.

FFC – гнучкий плоский шлейф, що складається з безлічі мідних провідників, ламінованих між двома шарами діелектричної плівки (поліестру або полііміду). Гнучкі шлейфи використовуються для створення компактних з'єднань між друкованими КП у ЕМ. Для з'єднання провідників шлейфу з провідниками на КП використовуються здебільшого паяння або ж з'єднувачі із затискними контактами.

Варто також зазначити, що зростаюча популярність вказаних типів гнучких КП і шлейфів обумовлена насамперед необхідністю забезпечення між'єднань рухомих елементів [12].

У порівнянні з іншими способами формування між'єднань ЕМ дані конструктивно-технологічні рішення забезпечують такі переваги:

- зниження габаритних розмірів і маси;
- динамічна гнучкість;
- можливість об'ємного компонування;
- можливість організації керованого хвильового опору ліній 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.

За умови використання технології FPC на гнучкій плівці-носії монтуються електронні компоненти схеми (SMD-резистори, конденсатори, мікросхеми та інші компоненти). Для з'єднання з іншими складальними одиницями портативного пристрою можуть використовуватися паяні з'єднання або ж затискні з'єднувачі. FPC-плата може мати багатшарову структуру і складну топологію (рис. 3).

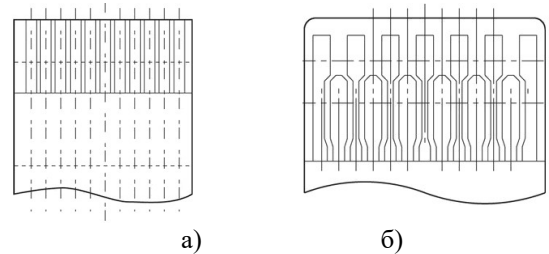


Рис. 3. Типове розташування контактних площадок на гнучких шлейфах: а) однорядне, б) дворядне

За типом утримання гнучкого кабелю з'єднувачі можна розділити на два види: ZIF (Zero Insertion Force) і non-ZIF, або LIF (Light Insertion Force – підвид non-ZIF-з'єднувачів).

З'єднувачі ZIF забезпечені фіксатором, який одночасно забезпечує утримання кабелю та притискає виводи кабелю до його контактів. Фіксатори поділяються в свою чергу на поворотні та ковзаючі. Поворотні фіксатори можуть розташовуватися як в передній, так і в задній частині з'єднувача.

У з'єднувачах LIF підключення кабелю відбувається шляхом його вставки у з'єднувач, а утримання проводиться за рахунок підпружинення контактів. Незважаючи на те, що зусилля вставки є досить малим, на тонких кабелях можливе утворення заломів.

З'єднувачі LIF, як правило, мають менші вартість і габарити, ніж ZIF (рис. 4).

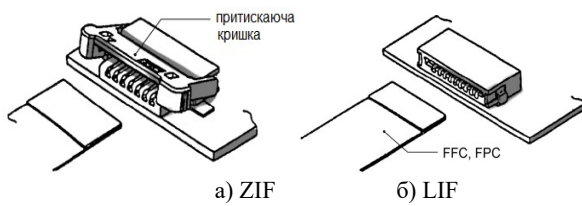


Рис. 4. Конструктивне виконання з'єднувачів ZIF та LIF

Однак, варто зазначити, що FPC-з'єднувачі розраховані на досить обмежену (близько 20) кількість циклів контактування.

Крім стандартних з'єднувачів ZIF і LIF, існують також з'єднувачі FPC-To-Board, призначені для надійного приєднання довгих кабелів [13]. Такі пристосування складаються з двох частин, одна з яких фіксується на кабелі, а інша встановлюється на платі (рис. 5). У результаті замикання однієї частини до іншої утворюється надійний контакт, що запобігає вислизанню або недостатньо глибокому встановленню кабелю в з'єднувач.

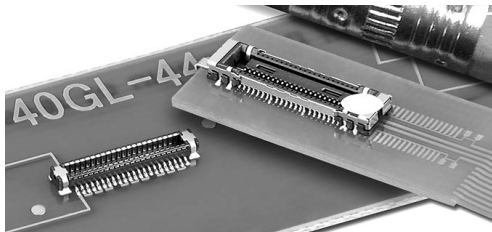


Рис. 5. З'єднувач FPC-To-Board [13]

### Тенденції удосконалення міжз'єднань у БДП

Серйозною проблемою у сучасних високоінтегрованих ЕМ також є збільшення щільності міжз'єднань у багатопровідних КП [14].

Заради збільшення трасувального простору та мобільності тривимірного розведення провідників проєктувальники та виробники йдуть на значні ускладнення технологій, щоб виконувати в багатопровідних структурах глухі та приховані отвори.

Найбільший ефект дає використання глухих заповнених отворів для формування монтажного поля під матричну систему кулькових виводів, використовуваних у корпусах компонентів типу BGA [4].

Результати досліджень [5] показують, що нова технологія створення багаторівневих міжз'єднань у БДП, побудована на принципах пошарового нарощування з глухими отворами, заповненими металом, дозволяє розмістити на одному квадратному сантиметрі до 400 монтажних елементів, тобто в 2,3 рази більше, ніж за умов використання традиційних технологій монтажу на БДП.

Однак, використання багаторівневих переходів у конструкціях пошарового нарощування БДП з глухими отворами вимагає серйозних інвестицій у виробництво, тому є доцільним тільки у тому випадку, коли всі інші шляхи збільшення щільності міжз'єднань досягли своєї технологічної межі. Тож на сьогодні найбільш ефективним методом підвищення щільності міжз'єднань у БДП є зменшення розміру контактних площинок.

### Висновки

Таким чином, у роботі наведено класифікацію струмопровідних міжз'єднань для сучасних ЕМ. У результаті дослідження методів контактування, використаних для забезпечення високої щільності розташування електричних міжз'єднань, виявлено основні конструктивно-технологічні особливості з'єднувачів для жорстких, гнучко-жорстких і гнучких комутаційних плат, а також формування внутрішніх багаторівневих з'єднань у БДП. Крім цього, проаналізовано переваги та можливі проблеми використання розглянутих типів міжз'єднань у ЕМ.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ:

1. I. Nevludov, V. Bortnikova, O. Chala, and S. Maksymova, "Modeling MEMS Membranes Characteristics," 2018 XXVI-th International Ukrainian-Polish Scientific and Technical Conference CAD in machinery design implementation and educational issues (CADMD), Lviv, 2018, pp. 61-68.
2. Жарикова И. В., Невлюдова В. В., Боцман А. С. Экспериментальные исследования параметров гибких шлейфов под воздействием дестабилизирующих факторов // *Технология приборостроения*. – 2016. – № 1. – С. 47-49.
3. Винников В. В. Основы проектирования электронных средств: в 2 кн. Кн. 1 / В. В. Винников. – СПб.: Изд-во СЗТУ, 2009. – 194 с.
4. Семенец В. В., Кратц Дж., Невлюдов И. Ш., Палагин В. А. *Технология межсоединений электронной аппаратуры*. – Харьков: СМИТ, 2005.
5. Миронова Ж. А., Шахнов В. А., Гриднев В. Н. Высокоплотная компоновка проводящего рисунка многослойных коммутационных плат // *Вестник Московского государственного технического университета им. Н. Э. Баумана. Серия: Приборостроение*. – 2014. № 6 (99). – С. 61-70.
6. *Технологии в производстве электроники. Часть III. Гибкие печатные платы / Под общ. ред. А. М. Медведева и Г. М. Мылова*. – М.: «Группа ИДТ», 2008. – 488 с.
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.
8. Palagin V., Razumov-Fryziuk I., Botsman I., & Nevludova V. (2018). Development of multi-probe connecting devices on flexible polyimide base for MEMS components testing. Paper presented at the 2018 14th International Conference on Perspective Technologies and Methods in MEMS Design, MEMSTECH 2018 – Proceedings, pp. 232-235.
9. Овчаренко В. Е., Ефименко А. А., Токарева Е. В., Чалая Е. А. Перспективы использования гибких и гибко-жестких конструкций в электронной технике // *Технология приборостроения*. – 2016. № 3. – С. 22-24.
10. Ефименко А. А. Проектирование межблочных электрических соединений электронных средств в базовых несущих конструкциях. – Одесса: Политехперіодика, 2013. – 280 с.
11. Ефименко А. А. Выбор оптимальных конструкций межблочных электрических соединений для электронных средств // *Радиоэлектроника, информатика, управління*. – 2011. № 1. – С. 15-23.
12. Невлюдов И. Ш., Боцман И. В., Невлюдова В. В., Разумов-Фризюк С. А. Технологічне забезпечення якості гнучких комутаційних структур: Монографія. – Кривий ріг: ККНАУ, 2018. – 256 с.
13. Gannon M. Hirose develops industry's first low-profile FPC-to-board connector with positive lock / M. Gannon. – March 23, 2017. – Режим доступу: <https://www.connectortips.com/hirose-develops-industrys-first-low-profile-fpc-board-connector-positive-lock/>.
14. Медведев А., Мылов Г. Проектирование высокоплотных соединений в авионике // *Вектор Высоких Технологий*. – 2015. № 6(19). – С. 30-35. – Режим доступу: <https://ostec-group.ru/group-ostec/pressroom/articles/kachestvo/proektirovanie-vysokoplotnykh-soedineniy-v-avionike/>.