

Д. т. н. А. А. ЕФИМЕНКО, Б. П. ПАЛЮХ

Украина, Одесский национальный политехнический университет
E-mail: aiefimen@gmail.com

МОДЕЛИ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ ДЛЯ НЕПАЯНОГО МОНТАЖА ЭЛЕКТРОННЫХ КОМПОНЕНТОВ МЕТОДОМ ПРОКОЛА ФОЛЬГИ

Представлены модели печатных плат (ПП) для усовершенствованного метода прокола фольги. Проведена оценка плотности электрических соединений таких ПП в сравнении с ПП для монтажа в отверстия и поверхностного монтажа. Рассмотрены технологические отличия изготовления печатных плат для метода прокола фольги от традиционного метода.

Ключевые слова: печатная плата, метод прокола фольги, метод монтажа в отверстия, поверхностный монтаж.

На сегодняшний день для электрического соединения выводов электронных компонентов на печатных платах наряду с паяными соединениями достаточно широко применяют соединения, выполняемые запрессовкой, обладающие высокой технологичностью, надежностью, стойкостью к вибрациям, коррозионной стойкостью. Поскольку такие соединения являются экологически чистыми, они составляют серьезную конкуренцию паяным, а технологию запрессовки можно рассматривать как более эффективную и перспективную альтернативу технологиям пайки.

Из непаяных контактных соединений часто используются контактные соединения «press-fit» [1], у которых среди недостатков можно выделить сложность технологии изготовления контактных выводов-штырей, их значительные размеры в поперечном сечении и, как следствие, серьезные ограничения для уменьшения шага расположения выводов, что особенно важно для многовыводных электронных компонентов. Более технологичными являются контактные соединения на печатной плате, выполненные методом прокола фольги (МПФ) [2]. В этом случае используется простая конструкция выводов, размеры которых при необходимости можно уменьшать до долей миллиметра, что способствует миниатюризации соединений. Здесь, однако, можно выделить недостаток, связанный с изготовлением печатных плат, которые используются для реализации этого метода, — наличие глухих отверстий, что снижает технологичность изготовления печатных плат (ПП). Кроме этого, следует также отметить возможность проявления негативного действия релаксации диэлектрической основы печатной платы.

В настоящей работе разработаны модели печатных плат, предназначенных для непаяного монтажа методом прокола фольги с гибким пленочным диэлектриком, которые обеспечивают надежность электрического контакта.

Конструкция ПП для монтажа усовершенствованным МПФ

Для улучшения технологичности и надежности контактного соединения предлагается выполнять его усовершенствованным методом прокола фольги — в отличие от описанной в [2] конструкции, ПП содержит гибкую печатную плату, которая приклеивается к жесткой.

На **рис. 1** представлено контактное соединение, состоящее из электронного компонента, гибкой печатной платы (ГПП) с контактной площадкой без отверстия и жесткой печатной платы (ЖПП) со сквозным отверстием. Соединение выполняется следующим образом.

Вывод 1 с заостренным концом 2 электронного компонента 3 под механическим воздействием прокалывает фольгу контактной площадки 6 вместе с пленочной основой 5 ГПП, разрывая

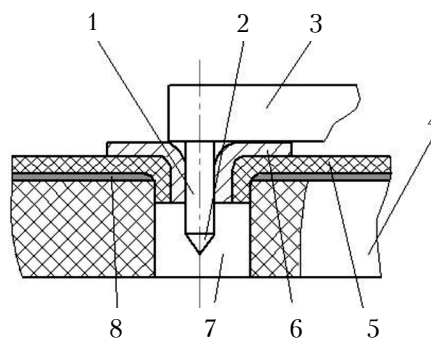


Рис. 1. Контактное соединение

Таблица 1

Реализация монтажа ЭК на ПП, выполненных на базе ГПП с пленочной основой, различных конструкций

Конструкция ПП	ПП до монтажа	ПП с установленными ЭК	Обозначения
Односторонняя ПП, состоящая из односторонней ГПП, приклеенной на основу ЖПП			1 — вывод; 2 — заостренный конец вывода; 3 — ЭК; 4 — ЖПП; 5 — ГПП; 6 — контактная площадка ГПП; 7 — сквозное отверстие в ЖПП; 8 — слой клея; 9 — переходное отверстие между проводящими слоями
Двусторонняя ПП, состоящая из односторонней ГПП, приклеенной на одностороннюю ЖПП			
Двусторонняя ПП, состоящая из двусторонней ГПП, приклеенной на одностороннюю ЖПП			
Трехслойная ПП, состоящая из двусторонней ГПП, приклеенной на одностороннюю ЖПП			
Четырехслойная ПП, состоящая из двусторонней ГПП, приклеенной на двустороннюю ЖПП			
Шестислойная ПП, состоящая из двусторонней ГПП, приклеенной на четырехслойную ЖПП, состоящую из двух двусторонних ЖПП			

их на полоски, которые при дальнейшем введении вывода в отверстие 7 в основе ЖПП 4 вдоль его оси с силой прижимаются к стенкам этого отверстия выводом электронного компонента. Надежность контактного соединения достигается за счет того, что диаметр вывода или описанной вокруг его поперечного сечения окружности (если форма сечения отлична от круга) больше диаметра отверстия.

Этот метод позволяет за счет применения сквозного отверстия в ЖПП повысить уровень технологичности печатной платы по сравнению с методом, когда используется печатная плата с глухим отверстием [2]. Кроме того, благодаря тому, что ГПП обладает свойствами пленочного диэлектрика, обеспечивается более плотный прижим фольги контактной площадки к поверхности вывода и, соответственно, более качественное контактное соединение в условиях временной релаксации слоистого диэлектрика ЖПП.

Структура печатных плат зависит от того, какое необходимо количество проводящих слоев. Некоторые предлагаемые конструктивные модели печатных плат с пленочным фольгированным диэлектриком в их составе для контактного соединения методом прокола фольги представлены в **табл. 1**. Модели ПП с большим количеством слоев могут быть представлены аналогично.

Конструкция печатной платы наряду с формой сечения и размерами выводов ЭК является определяющей в процессе создания надежного непаяного контактного соединения. При этом, однако, немаловажными являются и такие показатели ПП, как плотность электрических соединений, которая зависит от количества контактных площадок на всех слоях, в том числе относящихся к переходным отверстиям, и технологичность изготовления.

Анализ плотности электрических соединений ПП для монтажа методом прокола фольги

Проведем сравнение показателей плотности электрических соединений на ПП для монтажа МПФ и на ПП других актуальных типов — для монтажа на поверхность (МП) и монтажа в отверстие (МО).

В силу того, что реальные конструкции ПП для МПФ отсутствуют, и с учетом необходимости обеспечения идентичности топологий печатных плат за основу взяты ПП для МП, и на основе данных о переходных отверстиях и контактных площадках (КП) смоделированы аналогичные модели ПП для МПФ и МО. Для упрощения моделей и проведения последующего сравнения предполагаем, что межконтактные соеди-

нения (печатные проводники) идентичны для всех трех типов ПП, а различия касаются только контактных соединений, т. е. количества, размеров и формы контактных площадок.

С учетом особенностей перехода от одного способа монтажа к другому, для перехода от монтажа на поверхность к монтажу в отверстия и методом прокола фольги были выделены следующие три группы контактных площадок:

I — КП электронных компонентов без переходных отверстий;

II — КП электронных компонентов с КП переходных отверстий между слоями;

III — КП переходных отверстий, не связанных с КП электронных компонентов, которые используются для обхода печатных проводников.

Переход от КП для монтажа на поверхность к КП для монтажа МПФ и МО продемонстрирован в **табл. 2**. Контактная площадка I группы переходит в КП с отверстием для МО и для МПФ. Контактная площадка II группы переходит в КП с переходным отверстием для МО, которое в этом случае используется как монтажное и переходное одновременно, а для МПФ — в КП с отверстием под вывод с дополнительным переходным отверстием, аналогично монтажу на поверхность. Что касается КП переходных отверстий III группы, то они остаются неизменными для всех способов монтажа, а значит, не изменяется количество переходных отверстий и занимаемая контактными площадками площадь.

На основании предложенных моделей контактных площадок и имеющихся моделей ПП для монтажа на поверхность получены соответствующие модели ПП для монтажа в отверстия и методом прокола фольги.

Подсчет количества КП и переходных отверстий, а также расчет других величин осуществлялся на моделях ПП в среде САПР Altium Designer, в которой есть все необходимые для этого инструменты, позволяющие автоматизировать сбор статистических данных [3].

Сравнение рассматриваемых типов ПП проведем с использованием следующих показателей.

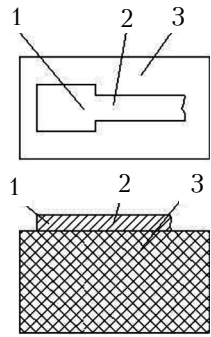
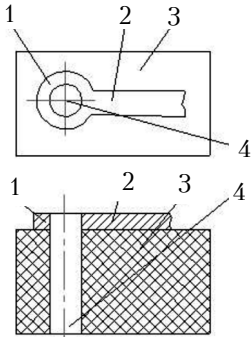
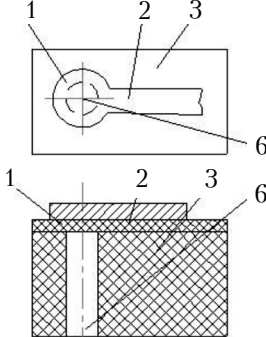
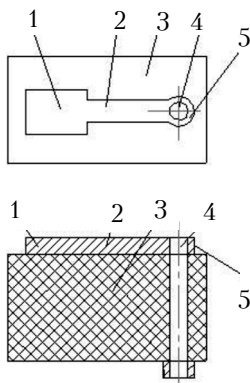
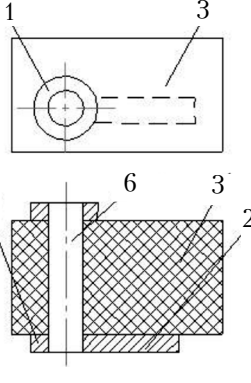
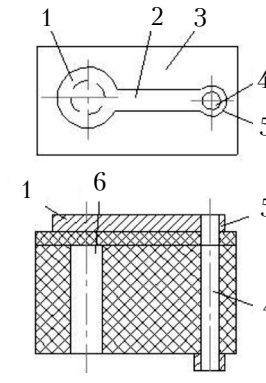
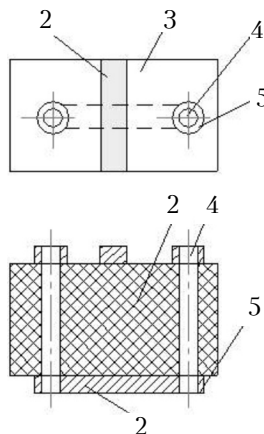
1. Плотность контактных и межслойных соединений в каждом слое, конструктивно определяемая множеством контактных площадок:

$$P_{\text{КП}} = N_{\text{КП}} / S_{\text{ПП}}, \quad (1)$$

где $S_{\text{ПП}}$ — площадь печатной платы;
 $N_{\text{КП}}$ — количество КП в слое, $N_{\text{КП}} = N_{\text{ЭК}} + N_{\text{ПО}}$;
 $N_{\text{ЭК}}$, $N_{\text{ПО}}$ — количество КП для монтажа выводов ЭК и переходных отверстий в слое соответственно.

Таблица 2

Переход от контактных площадок ПП для монтажа на поверхность к КП для монтажа в отверстия и монтажа методом прокола фольги

Группа КП	КП на ПП для монтажа на поверхность	КП на ПП для монтажа в отверстия	КП на ПП для монтажа методом прокола фольги	Обозначения
I				1 — КП электронного компонента; 2 — печатный проводник; 3 — диэлектрическое основание ПП; 4 — переходное отверстие; 5 — КП переходного отверстия; — отверстие под вывод
II				
III				

2. Коэффициент использования площади печатной платы контактными площадками ЭК и переходных отверстий в каждом слое:

$$K_{S \text{ КП}} = (\sum S_{\text{КП ЭК}} + \sum S_{\text{КП ПО}}) / S_{\text{ПП}}, \quad (2)$$

где $\sum S_{\text{КП ЭК}}$, $\sum S_{\text{КП ПО}}$ — суммарная площадь, занимаемая контактными площадками ЭК и переходными отверстиями, соответственно.

Принимая во внимание, что контактные площадки ЭК имеют различные размеры, для удобства подсчета занимаемой ими площади сделаем допущение, которое существенно не повлияет на результаты анализа — будем использовать средние значения площади КП для электронных компонентов $S_{\text{КП ЭК}}^{\text{ср}}$ и для переходных

отверстий $S_{\text{КП ПО}}^{\text{ср}}$. Соответственно, формула (3) примет следующий вид:

$$K_{S \text{ КП}} = (S_{\text{КП ЭК}}^{\text{ср}} n_{\text{ЭК}} + S_{\text{КП ПО}}^{\text{ср}} n_{\text{ПО}}) / S_{\text{ПП}}, \quad (3)$$

где $n_{\text{ЭК}}$, $n_{\text{ПО}}$ — количество КП, соответственно, электронных компонентов и переходных отверстий на печатной плате.

Произведем расчет плотности электрических соединений по приведенным показателям.

На основании моделей трех групп КП, представленных в табл. 2, в табл. 3 указана площадь КП в каждом слое для сравниваемых способов монтажа. При этом следует иметь в виду, что площадь, занимаемая контактными площадками для монтажа МПФ на внутренних слоях и на внешнем слое со стороны, где отсутствуют электронные компоненты, приведена несколько упрощенно, поскольку для этих слоев не характерно наличие КП на монтажных отверстиях, и во внутренних слоях эта площадь не используется для проводникового рисунка. Это, однако, не снижает существенно точность расчетов и, к тому же, не улучшает показатель плотности электрических соединений для МПФ.

При использовании формул (1) и (3) и результатов подсчета количества контактных площадок на ПП для рассматриваемых способов монтажа были определены показатель плотности контактных и межслойных соединений $P_{\text{КП}}$ и коэффициент использования площади печатной платы контактными площадками ЭК и переходных отверстий $K_{S \text{ КП}}$ для каждого слоя. Их усредненные по всем ПП значения сведены в табл. 4.

Таблица 3

Площадь, занимаемая контактными площадками в каждом слое ПП для различных типов монтажа

Группа	Тип монтажа	Обозначение для проводникового слоя:		
		внешнего со стороны		внутреннего
		монтажа ЭК	без ЭК	
I	МП	$S_{\text{КП ЭК}}$	—	—
	МО	$S_{\text{КП ЭК}}$		
	МПФ	$S_{\text{КП ЭК}}$		
II	МП	$S_{\text{КП ЭК}} + S_{\text{КП ПО}}$	$S_{\text{КП ПО}}$	$S_{\text{КП ПО}}$
	МО	$S_{\text{КП ЭК}} (*)$		
	МПФ	$S_{\text{КП ЭК}} + S_{\text{КП ПО}}$		
III	МП	$S_{\text{КП ПО}}$		
	МО			
	МПФ			

*Отверстие используется одновременно как монтажное и переходное

Таблица 4

Средние значения показателя плотности электрических соединений и коэффициента использования площади ПП для различных типов монтажа

Способ монтажа	Слой ПП	$\bar{P}_{\text{КП}}, \text{см}^{-2}$	$\bar{K}_{S \text{ КП}} \cdot 100\%$
МП	Внешний с ЭК	3,283	4,694
	Внешний без ЭК	1,686	2,410
	Внутренний	1,686	2,410
МО	Внешний с ЭК	2,308	3,300
	Внешний без ЭК	2,308	3,300
	Внутренний	2,308	3,300
МПФ	Внешний с ЭК	3,283	4,694
	Внешний без ЭК	3,283	4,694
	Внутренний	3,283	4,694

По результатам анализа приведенных в табл. 4 данных можно заключить, что плотность размещения КП на ПП для монтажа МПФ выше, чем для двух других типов ПП, особенно по сравнению с ПП для монтажа на поверхность. Так, для внешнего слоя без ЭК и внутреннего слоя плотность размещения КП почти в два раза выше и составляет 3,283 КП на квадратный сантиметр. При этом может показаться, что ощутимо ухудшаются условия для трассировки проводников. Однако более объективная оценка с помощью коэффициента использования площади ПП контактными площадками показывает, что площадь, занимаемая КП, составляет не более чем 4,7% площади ПП для монтажа МПФ и не менее чем 2,4% площади ПП для монтажа на поверхность. То есть, заполнение площади ПП контактными площадками очень мало, и даже двукратное увеличение $K_{S \text{ КП}}$ не создаст трудностей, связанных с нехваткой пространства для размещения КП и трасс проводников.

Таким образом, незначительное снижение коммутационных возможностей ПП для монтажа МПФ не может служить препятствием для его внедрения.

Анализ технологичности ПП для монтажа методом прокола фольги

Для проведения анализа сравним этапы изготовления печатных плат для монтажа МПФ с традиционными методами, которые используются для изготовления ПП под монтаж на поверхность и в отверстия [4].

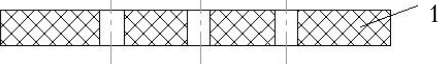
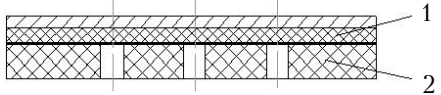
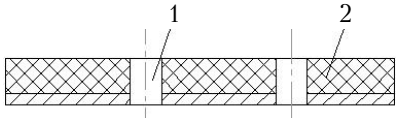
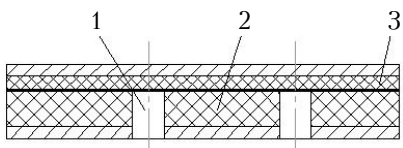
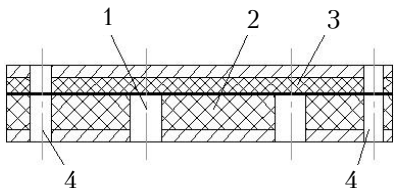
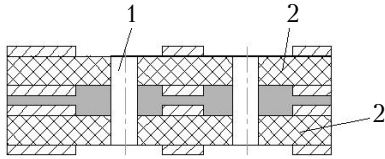
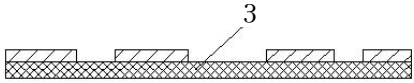
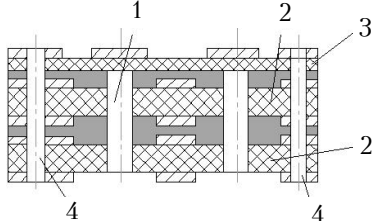
Технология изготовления односторонних ПП для монтажа МПФ отличается от других тем, что в этом случае перед нанесением слоя фоторезиста необходимо просверлить сквозные отверстия в жестком диэлектрическом основании, а затем на его поверхность приклеить односто-

ронний гибкий фольгированный диэлектрик. Остальные операции такие же.

Этапы технологии изготовления односторонних, двусторонних и многослойных печатных плат для различных типов монтажа представлены в табл. 5. Здесь видно, что изготовление

Таблица 5

Этапы изготовления печатных плат для различных типов монтажа

Операции для ПП для монтажа в отверстия и на поверхность		Операции для ПП для монтажа МПФ
Односторонняя ПП		
Сверловка отверстий	Сверловка отверстий в основании жесткого диэлектрика 1	
	Приклеивание гибкого фольгированного диэлектрика 2 к поверхности жесткого 1	
Двусторонняя ПП		
Сверловка монтажных и переходных отверстий	Сверловка отверстий 1 под выводы ЭК в основании 2 жесткого одностороннего фольгированного диэлектрика	
	Приклеивание гибкого фольгированного диэлектрика 3 к поверхности жесткого 2	
	Сверловка переходных отверстий 4	
Многослойная ПП		
Склеивание пакета из отдельных ПП, сверловка и металлизация монтажных и переходных отверстий	Склеивание пакета из отдельных ПП 2, сверловка монтажных отверстий 1	
	Изготовление внешнего слоя для установки ЭК в виде ГПП 3	
	Приклеивание ГПП 3 к поверхности пакета 2, сверловка и металлизация сквозных переходных отверстий 4	

печатных плат для монтажа МПФ отличается от других дополнительными операциями, связанными с приклеиванием гибкой ПП на поверхность жесткой и выполнением переходных отверстий. Это, однако, лишь незначительно удорожает ПП, поскольку такие операции являются типовыми.

Выводы

Предложенные модели ПП для монтажа усовершенствованным контактным методом прокола фольги, который заключается в применении гибкой ПП, приклеенной на поверхность жесткой, способствуют повышению технологичности выполнения и надежности электрического контакта. Модели контактного соединения МПФ демонстрируют возможность его применения независимо от количества слоев ПП, что безусловно актуально для современной электронной аппаратуры.

Анализ разработанных моделей печатных плат подтвердил преимущества усовершенствованного метода по сравнению с его предыдущей

версией [2], заключающиеся в повышении технологичности ПП за счет исключения глухих отверстий. Незначительное снижение коммутационных возможностей ПП для монтажа методом прокола фольги не может служить препятствием для его внедрения, поскольку собственноручно монтаж имеет существенные преимущества перед монтажом на поверхность и в отверстия.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Ефименко А. А., Собченко Д. Л. Непаяные контактные соединения в электронных печатных узлах // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. — 2009. — № 3. — С. 3–9.
2. Ефименко А. А. Контактные соединения в электронных печатных узлах, выполненные методом прокола фольги // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. — 2010. — № 4. — С. 15–23.
3. Сабунин А. Е. Altium Designer. Новые решения в проектировании электронных устройств — Серия «Системы проектирования». — Москва: Солон-пресс, 2009.
4. Медведев А.М. Печатные платы. Конструкции и материалы. — Москва: Техносфера, 2005.

Дата поступления рукописи
в редакцию 26.08 2017 г.

Д. т. н. А. А. ЄФІМЕНКО, Б. П. ПАЛЮХ

Україна, Одеський національний політехнічний університет
E-mail: aiefimen@gmail.com

МОДЕЛІ ДРУКОВАНИХ ПЛАТ ДЛЯ НЕПАЯНОГО МОНТАЖУ ЕЛЕКТРОННИХ КОМПОНЕНТІВ МЕТОДОМ ПРОКОЛЮВАННЯ ФОЛЬГИ

Представлено моделі друкованих плат (ДП) для вдосконаленого методу проколювання фольги, проведено оцінку щільності електричних з'єднань таких ДП в порівнянні з ДП для методу монтажу в отвори і поверхневого монтажу. Розглянуто технологічні відмінності виготовлення друкованих плат для методу проколювання фольги від традиційного методу.

Ключові слова: друкована плата, метод проколювання фольги, метод монтажу в отвори, поверхневий монтаж.

DOI: 10.15222/TKEA2017.4-5.03
UDC 621.38.001.66

A. A. YEFIMENKO, B. P. PALIUKH
Ukraine, Odessa National Polytechnic University
E-mail: aiefimen@gmail.com

MODELS OF PRINTED BOARDS FOR SOLDERLESS MOUNTING OF ELECTRONIC COMPONENTS BY FOIL PERFORATION METHOD

The paper presents models of printed circuit boards for an improved foil perforation method. The density of electrical connections of such printed circuit boards is estimated in comparison with circuit boards obtained using the methods of mounting in holes and surface mounting. The technological differences in the manufacture of printed circuit boards for the foil perforation method and the traditional method are considered.

Key words: printed circuit board, foil puncture method, hole mounting method, surface mounting.

REFERENCES

1. Efimenko A. A., Sobchenko D. L. [Solderless contact connections in electronic printed units]. *Tekhnologiya i konstruirovaniye v elektronnoy apparature*, 2009, no 3, pp. 3-9. (Rus)
2. Efimenko A. A. [Contact connections in electronic printed units, made by the method of foil perforation]. *Tekhnologiya i konstruirovaniye v elektronnoy apparature*, 2010, no 4, pp. 15-23. (Rus)

3. Sabunin A. E. Altium Designer. [New solutions in the design of electronic devices — “Design systems” Series]. *Novye resheniya v proektirovanii elektronnykh ustroystv*. Moscow, Solon-press, 2009. (Rus)
4. Medvedev A.M. [Printed circuit boards. Constructions and materials] *Pechatnye platy. Konstruktsii i materialy*. Moscow, Tekhnosfera, 2005. (Rus)