

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СОЕДИНИТЕЛИ ДЛЯ ПОВЕРХНОСТНОГО НЕПАЯНОГО МОНТАЖА

К. т. н. А. А. Ефименко

Одесский национальный политехнический университет

Функционирование любого электротехнического или радиотехнического устройства невозможно без соединителей. Существует большое многообразие конструкций электрических соединителей для электронных средств, которые удовлетворяют практически любым запросам потребителей. Очень часто именно благодаря соединителям обеспечивается повышение показателей технологичности изготовления и монтажа изделий.

В данной работе речь идет о реализации возможности одновременного с монтажом на поверхность выполнения контактных соединений непаяными методами.

Современные соединители могут содержать несколько сотен контактов, расположенных с относительно небольшим шагом (порядка 1 мм), и естественно, что одновременная установка такого большого количества контактов в отверстия, а также их пайка может вызвать определенные трудности.

Актуальность обеспечения технологичности монтажа соединителей породила и определенные методы. Использование контактных соединений, выполненных методом press-fit (press-in technology) [1—3], лишь частично улучшает ситуацию – отсутствуют паяные соединения, но необходимость монтажа в металлизированные отверстия остается. При этом размеры контактных соединений таковы, что возможности дальнейшей их миниатюризации весьма ограничены.

Оригинальным решением является предложенная автором ранее конструкция электрических соединителей для поверхностного монтажа без использования пайки, где контактное соединение обеспечивается за счет взаимного прижима контактирующих поверхностей [3—5]. Такая конструкция значительно повышает технологичность монтажа и качество контактного соединения за счет большой площади контактирования. При этом благодаря использованию группового метода формирования контактов на гибком печатном кабеле (ГПК) упрощается конструкция соединителей. В продолжение этих работ ставилась задача разработки различных типов электрических соединителей, предназначенных для применения в разнообразных конструкциях электронных средств, с использованием ГПК и эластомерных вкладышей-пружин для монтажа на поверхность без использования пайки, а также экспериментальное определение их характеристик. Настоящая статья посвящена описанию результатов этих исследований.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СОЕДИНИТЕЛЕЙ

Разрабатываемые соединители относятся к группе низкочастотных прямоугольных соединителей прямого сочленения, т. е. по существу они состоят из одной части — розетки, а вилкой служат концевые контакты печатной платы (ПП) электронных модулей или иных подобных конструкций.

Основу соединителей составляют контактные группы, изготовленные по технологии гибких печатных кабелей, и эластомерные вкладыши, которые выполняют функции групповых пружин для контактных элементов.

На рис. 1 изображен электрический соединитель, который конструктивно выполнен с использованием перечисленных элементов [6].

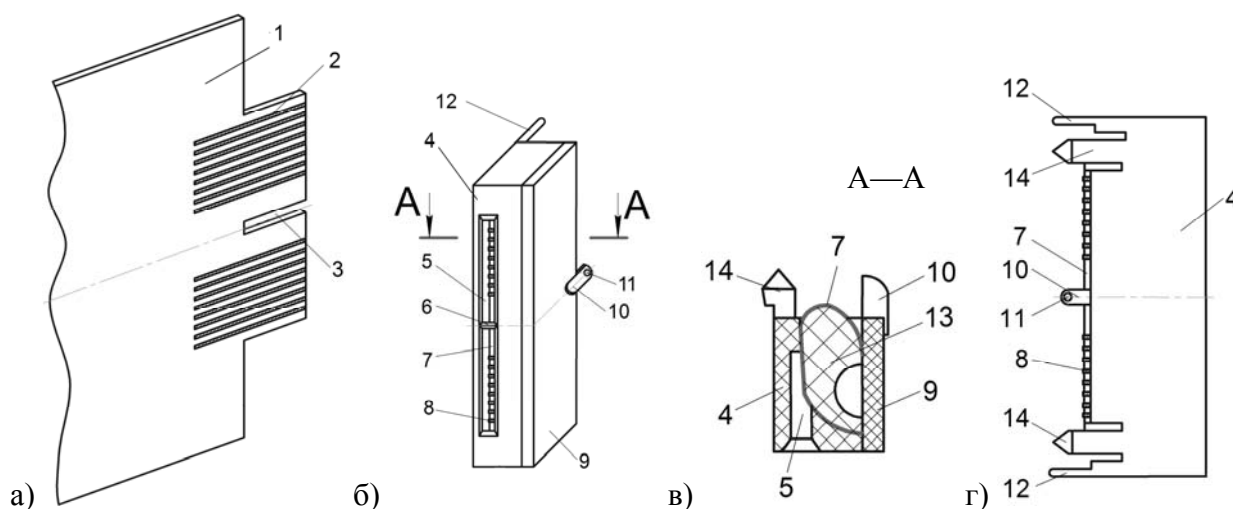


Рис. 1. Конструктивные элементы электрического соединителя на основе ГПК и эластомерного вкладыша:

a — штекерная вилка на ПП; *б* — общий вид розетки; *в* — сечение розетки по плоскости А—А; *г* — вид розетки слева;

1 — ПП электронного модуля; *2* — печатные контакты; *3* — направляющий паз;

4 — корпус; *5* — рабочая полость; *6* — направляющая перемычка; *7* — ГПК; *8* — печатные контакты розетки; *9* — крышка; *10* — крепежный штырь; *11* — крепежное отверстие; *12* — направляющие штырьки; *13* — вкладыш; *14* — защелка

Штекерная вилка расположена в задней части ПП *1* электронного модуля и включает в себя печатные контакты (ламели) *2* и паз *3*, служащий для точного сочленения с розеткой. Розетка состоит из корпуса *4* с рабочей полостью *5* и перемычкой *6*, крышки *9*, выполненных из

пластмассы, эластомерного вкладыша 13 и ГПК 7 с печатными контактами 8. Для крепления розетки на объединительной ПП в ее задней части расположены защелки 14 и штырь 10 с отверстием 11 для фиксации розетки с помощью, например, шплинта, а также штырьки 12. Последние предназначены для точной фиксации розетки на ПП.

ГПК заправлен в корпус. Контакты ГПК выступают из корпуса в двух плоскостях: в одной — для контактирования с ПП электронного модуля, в другой — для контактирования с объединительной ПП (рис. 2).

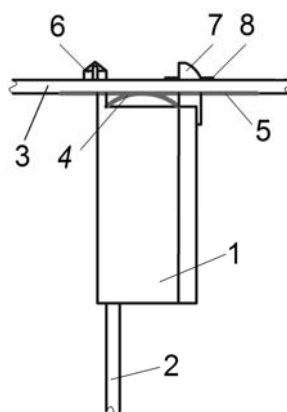


Рис. 2. Механическое и электрическое контактное соединение:

1 — розетка; 2 — ПП электронного модуля; 3 — объединительная ПП; 4, 5 — печатные контакты, соответственно, на ГПК розетки и на объединительной ПП; 6 — защелка; 7 — штырь; 8 — шплинт

Соединение образуется следующим образом. Штекерная часть ПП электронного модуля вводится в рабочую полость розетки, при этом в паз ПП входит направляющая перемычка корпуса розетки, обеспечивая тем самым точное совпадение контактов. За счет сужения рабочей полости расстояние между ГПК и левой стенкой корпуса на определенной глубине полости становится меньше толщины ПП электронного модуля, чем обеспечивается надежное сочленение контактов. При этом эластичный вкладыш действует как групповая пружина, создавая постоянное усилие прижатия контактов. Таким образом образуется газонепроницаемое контактное соединение с большой эффективной площадью контактирования.

Электрическое соединение ГПК розетки с объединительной ПП посредством того же эластичного вкладыша, но уже в другой плоскости, образуется аналогично.

ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СОЕДИНИТЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ ГПК И ЭЛАСТОМЕРНЫХ ВКЛАДЫШЕЙ

Для изготовления деталей соединителей используются стандартные технологии, характерные для производства электронной аппаратуры, а именно: изготовление печатных плат, литье под давлением термопластичных пластмасс, прессование силиконовых резин. С целью обеспечения малого переходного контактного сопротивления на зоны контактирования должны быть нанесены соответствующие покрытия. При этом следует иметь в виду, что в розетке имеется два места контактирования (в зонах *A* и *B* на **рис. 3**): с печатной платой электронного модуля — разъемные соединения и с объединительной ГПП — практически неразъемное соединение. Условия использования определяют выбор покрытий.

В этом случае может быть выполнено весьма простое с технологической точки зрения локальное покрытие контактов ГПК, которое позволяет рационально использовать драгметаллы для покрытий.

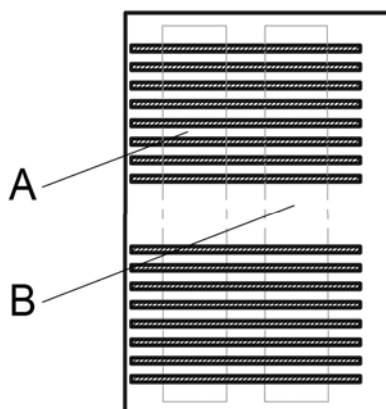


Рис. 3. Конструкция ГПК с контактными группами и зонами локального покрытия *A* и *B*

Следует обратить особое внимание на метод получения контактов в розетках. Он соответствует технологии изготовления одно- или двухсторонних гибких печатных плат. Производство оснащено, как правило, высокопроизводительным оборудованием. Это позволяет групповым способом получать произвольное число контактов на весь соединитель одновременно.

С другой стороны, для изготовления ГПК можно использовать размерную электрохимическую обработку, которая позволяет получать двухкомпонентную структуру, т. е. адгезив для склейки фольги с пленочной изоляционной подложкой отсутствует [7]. Такая структура ГПК определяет уникальные эксплуатационные характеристики кабеля, т. е. его

свойства определяются высокими физическими характеристиками полиимида, а не адгезива, присутствующего во всех известных конструкциях ГПК.

Сборочные операции по изготовлению розеток выполняются простыми методами без подгоночных работ.

Монтаж розеток на объединительную плату выполняется без пайки — прижимом контактирующих поверхностей. Механическое крепление при определенных условиях может осуществляться с помощью эффективного метода — защелкивания и шплинтования (см. рис. 2).

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК СОЕДИНИТЕЛЕЙ

Исследования соединителей проводились как в отношении всей конструкции, так и наиболее важных составляющих элементов, определяющих их показатели качества и технологичности.

Выбор материала эластомерного вкладыша

Эластомерный вкладыш в составе розетки выполняет функцию групповой пружины, которая обеспечивает необходимое давление в контактных соединениях и, тем самым, требуемое переходное контактное сопротивление. Исходя из этого очень важной является такая характеристика вкладышей, как рабочий диапазон температуры, в котором эластичность и твердость должны изменяться незначительно. При этом не должна существенно прогрессировать во времени величина остаточной деформации.

В результате анализа характеристик различных материалов установлено, что наиболее целесообразно использовать для вкладышей смеси на основе силиконовых каучуков, которые обладают хорошими электроизоляционными свойствами и обеспечивают работоспособность вкладышей в интервале температур от -60 до $+250^{\circ}\text{C}$ и влажности до 98%.

Анализ ассортимента таких смесей показал, что наиболее полно отвечают установленным требованиям силиконовые смеси ИРП-1265, ИРП-1338 и композиция, состоящая из смесей ИРП-1265 и ИРП-1266.

Для определения относительной остаточной деформации (ООД) деталей из этих смесей проводились ускоренные испытания образцов двух видов:

- стандартные образцы (цилиндры диаметром и высотой 10 мм);
- образцы, форма и размеры которых соответствовали вкладышам розеток.

В процессе испытаний образцы выдерживались в воздухе при температурах 100, 150 и 200°C в сжатом состоянии в течение различного времени (рис. 4).

На основании результатов испытаний цилиндрических образцов был рассчитан гарантийный срок эксплуатации вкладышей. Для выбранных резиновых смесей он составил 17,5 лет.

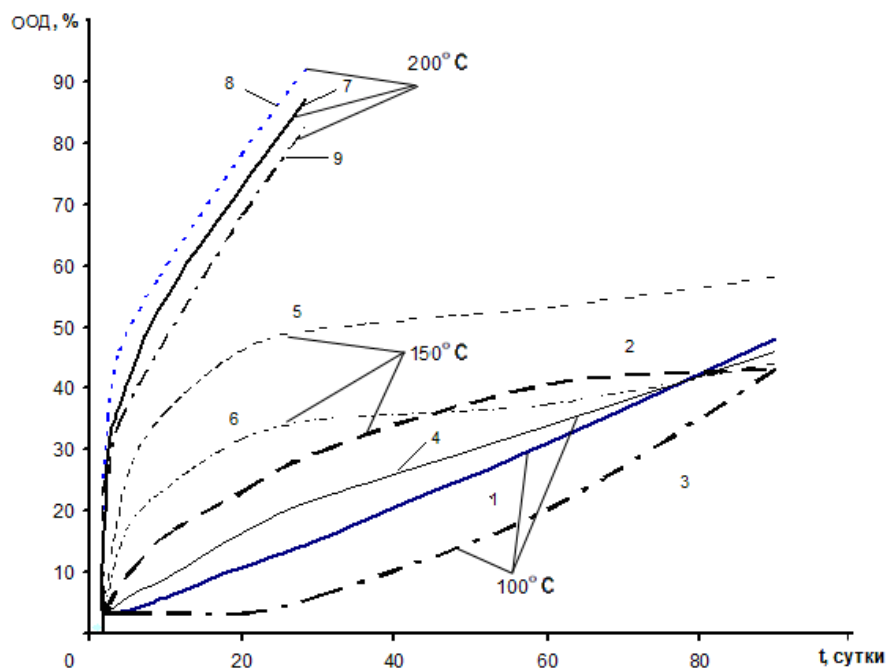


Рис. 4. Зависимость ООД вкладышей из различных материалов в сжатом состоянии от времени:

1, 4, 7 — ИРП-1265; 2, 5, 8 — ИРП-1338; 3, 6, 9 — силиконовая композиция

Относительная остаточная деформация сжатия определялась по формуле

$$C = \frac{h_0 - h}{h_0 - h_s} \cdot 100\%,$$

где h_0, h — толщина (ширина) вкладышей до и после испытаний соответственно;

h_s — толщина (ширина) приспособления, в котором проводилось испытание и которое обеспечивало сжатие вкладышей.

Анализ полученных данных с учетом технологических свойств всех испытанных смесей показал, что оптимальным материалом для вкладышей является силиконовая композиция на основе смесей ИРП-1265 и ИРП-1266.

Расчет контактного сопротивления соединителей

Важным показателем качества соединителей является переходное сопротивление контактов. При этом важно не только его номинальное значение, но и возможные его изменения в

процессе эксплуатации и испытаний. Контролировать переходное сопротивление удобней всего с помощью измерений, однако измерить переходное сопротивление R_p непосредственно не представляется возможным. Это можно сделать следующим образом. Используя для измерений часть контактов, назовем их выводными, получим сопротивление R_m , которое будет включать в себя сопротивление выводных контактов R_k и переходное сопротивление R_p .

С некоторой степенью приближенности можно считать, что R_k не изменяется в процессе эксплуатации и испытаний, и тогда, измерив или вычислив значение R_k , переходное сопротивление можно определить по формуле

$$R_p = R_m - R_k, \quad (1)$$

Для расчета сопротивления контактов R_k предлагается рассмотреть геометрическую модель контактного соединения на рис. 2, представленную на **рис. 5**, и ее эквивалентную электрическую схему, изображенную на **рис. 6**. Учитывая что в зонах контактов (ЗК) образующие их подслои и слои покрытий имеют небольшую толщину и большое удельное сопротивление по сравнению с основным металлом (медная фольга), этими составляющими сопротивления контактов можно пренебречь. В итоге эквивалентная электрическая схема примет вид, изображенный на **рис. 7**. Эту схему можно использовать для практических расчетов контактного сопротивления рассматриваемого соединения.

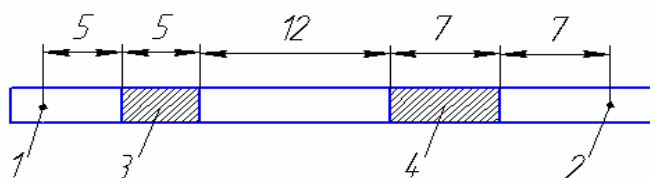


Рис. 5. Геометрическая модель контактного соединения объединительной ПП, ГПК розетки и ПП электронного модуля:

1, 2 — точки измерения сопротивления, соответственно, на объединительной ПП и ПП электронного модуля;
3, 4 — зоны контактирования ГПК розетки с объединительной ПП и с ПП электронного модуля соответственно

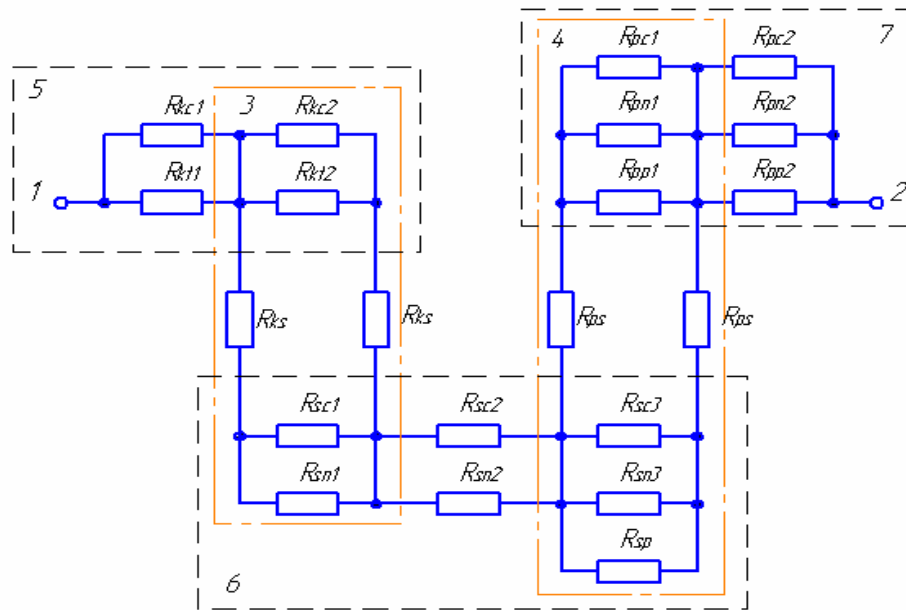


Рис. 6. Электрическая схема контактного соединения ГПК розетки (6), объединительной ПП (5) и ПП электронного модуля (7) (1, 2, 3, 4, — то же самое, что и на рис. 5):

$R_{kc1}, R_{kc2}, R_{kt1}, R_{kt2}$ — сопротивление, соответственно, основного металла (медь) и покрытия (например, сплава олова) в ЗК на объединительной ПП; $R_{pc1}, R_{pc2}, R_{pn1}, R_{pn2}, R_{pp1}, R_{pp2}$ — сопротивление, соответственно, меди, подслоя никеля и слоя покрытия (например, палладия) в ЗК на ПП электронного модуля; $R_{sc1}, R_{sc2}, R_{sc3}, R_{sn1}, R_{sn2}, R_{sn3}, R_{sp}$ — сопротивление, соответственно, меди, подслоя никеля и слоя покрытия (например, палладия) в ЗК на ГПК; R_{ks}, R_{ps} — переходное сопротивление контактов «объединительная ПП — ГПК» и «ГПК — ПП электронного модуля» соответственно

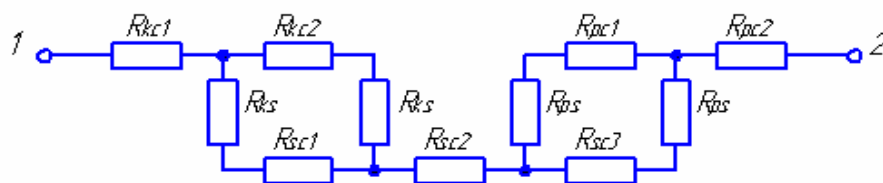


Рис. 7. Упрощенная электрическая схема контактного соединения

Моделирование соединителей как электрической линии связи

Поскольку в современной электронной аппаратуре большое количество разъемных соединений предназначено для передачи высокочастотных сигналов, целесообразно провести исследования низкочастотных соединителей (именно к таким относятся исследуемые соединители) с точки зрения их использования для передачи высокочастотных сигналов (выше

3 МГц). С этой целью проведено компьютерное моделирование прохождения импульсного сигнала различной частоты через рассматриваемое контактное соединение. Для этого были использованы две схемы включения с соответствующими эквивалентными электрическими схемами, представленные на **рис. 8**. Особенностью схем на рис. 8, б является то, что здесь сигнальные контакты с целью снижения перекрестных помех окружены заземляемыми контактами.

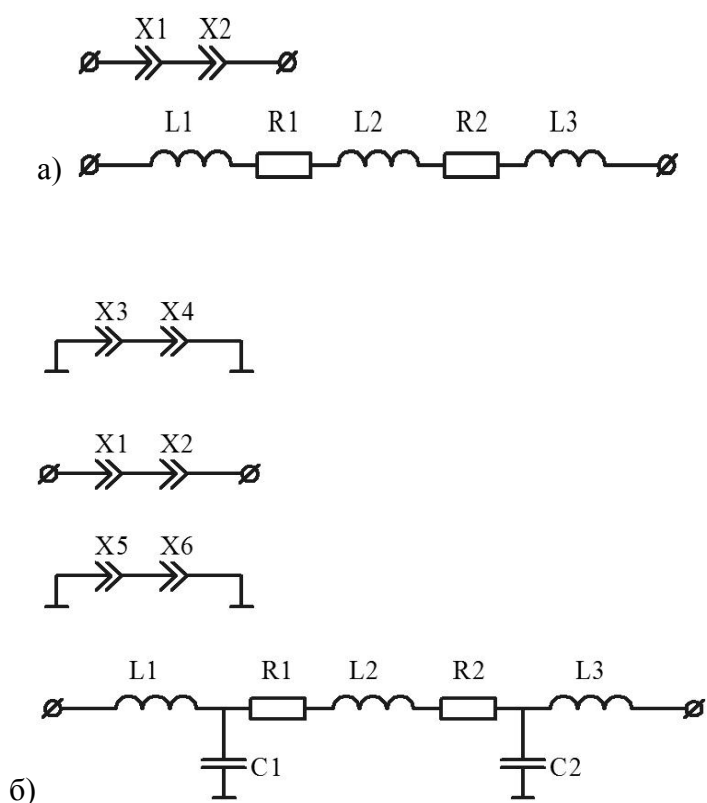
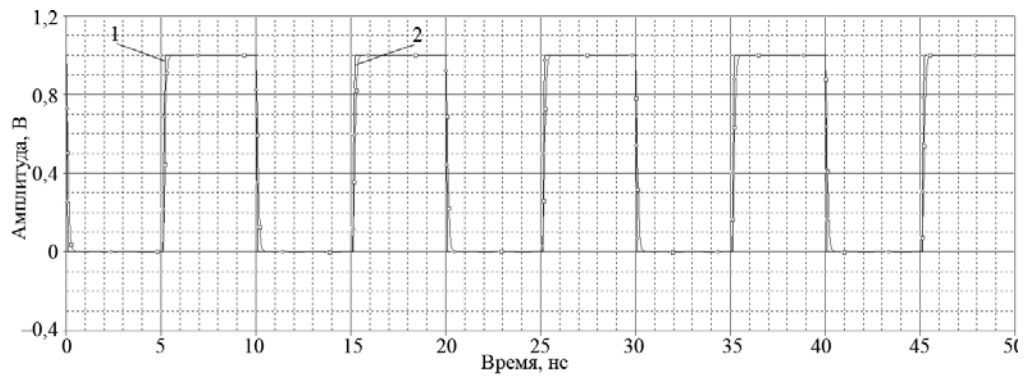


Рис. 8. Схемы включения и эквивалентные схемы соединений без заземленных контактов (а) и с заземленными, рядом расположенными контактами (б) [8]:

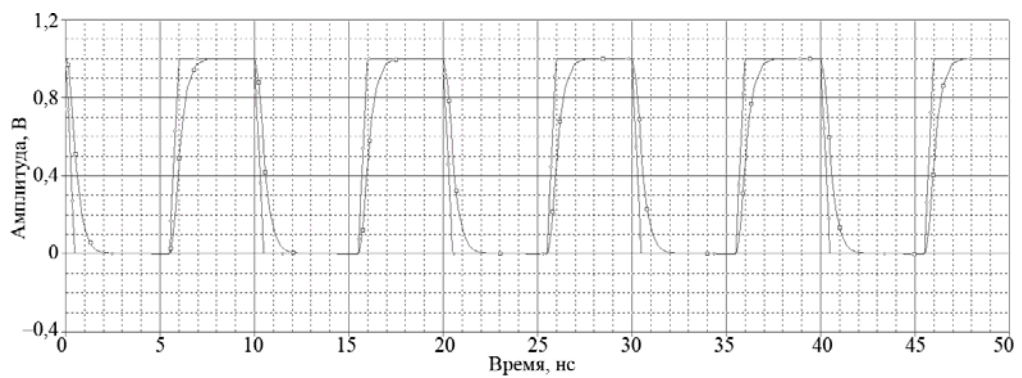
$X1...X6$ — контактные соединения; $R1, R2$ — сопротивление контактов, включая переходные сопротивления ($R1=R2=0,019$ Ом); $L1...L3$ — индуктивность контактов ($L1=L2=L3=24$ нГн); $C1, C2$ — емкость относительно соседних контактов ($C1=C2=1,1$ пФ)

Влияние контактных соединений, рассматриваемых как неоднородности в линиях связи, на передаваемые сигналы промоделировано с помощью программы P-Spice. Результаты моделирования представлены на **рис. 9**.

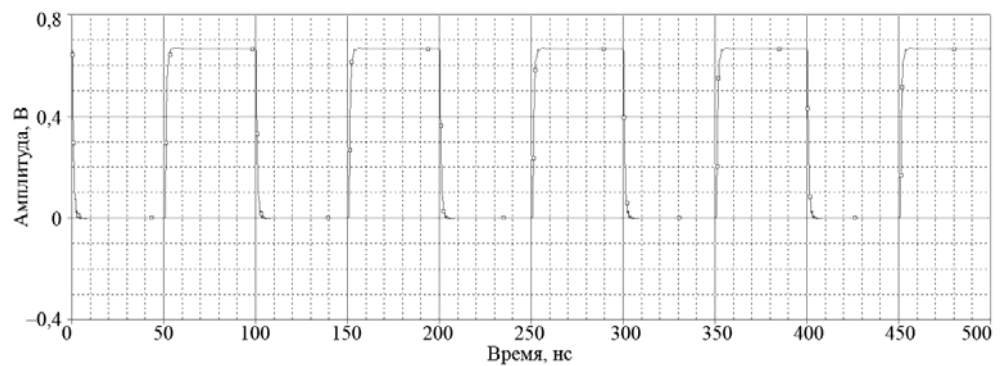
а)



б)



в)



г)

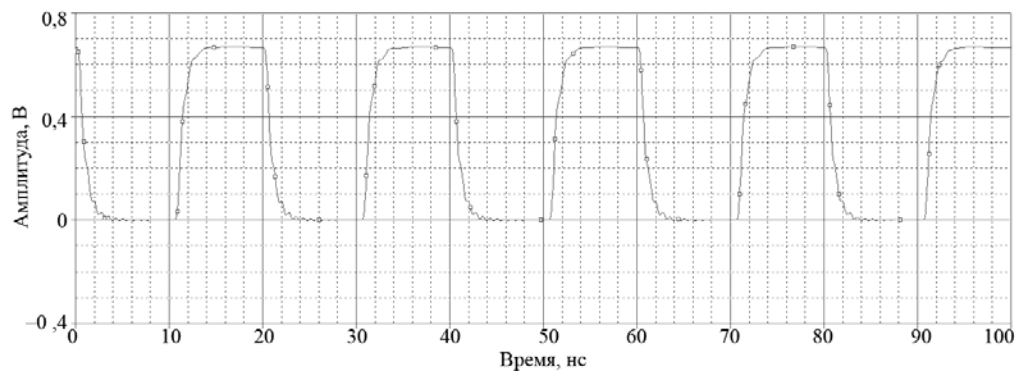


Рис. 9. Прохождение импульсного сигнала частотой 100 МГц (а) и 500 МГц (б) через контакты, включенные по схеме рис. 8, а, и частотой 10 МГц (в) и 50 МГц (г), включенные по схеме рис. 8, б:

1 — входной сигнал; 2 — выходной сигнал

Анализ приведенных на рис. 9, *a* и *б* выходных сигналов и их сравнение с входными позволяет говорить об их незначительном искажении даже на сверхвысокой частоте (500 МГц). Результаты на рис. 9, *в* и *г* показывают, что расположение сигнальных контактов в окружении заземляемых контактов позволяет повысить их помехоустойчивость к перекрестным помехам. Однако при этом уже на сравнительно низких частотах высокочастотного диапазона имеется заметное искажение сигналов.

ВОПРОСЫ СИСТЕМНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СОЕДИНИТЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ ГПК

Представленный на рис. 1 и 2 соединитель выполняет коммутацию электронных модулей первого уровня посредством объединительной печатной платы. Однако возможности соединителей на основе ГПК этим не ограничиваются. Рассмотрим конструктивные решения различных типов соединителей.

Конструкция соединителя, который подключается к объединительной ПП с внешней стороны для внешних подключений и соединений модулей второго уровня между собой, представлен на **рис. 10**.

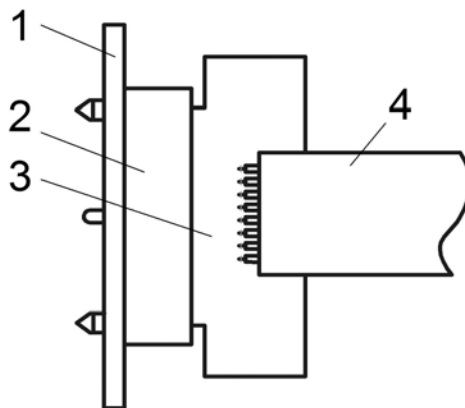


Рис. 10. Конструкция электрических соединений для внешних подключений и соединения модулей второго уровня:

1 — объединительная ПП; 2 — розетка; 3 — штекерная вилка; 4 — ленточный кабель или ГПК

В таком исполнении розетка в принципе имеет такое же конструктивное решение, как и описанная выше, т. е. монтируется на поверхность объединительной платы прижимом (без пайки), но только с внешней стороны. Соединение розетки 2 с другими модулями или с внешними цепями осуществляется с помощью вилки 3 на основе жесткой ПП, к которой может монтироваться ленточный провод (кабель), круглый кабель, жгут, ГПК.

На **рис. 11** продемонстрирована возможность двухстороннего подключения электронных модулей первого уровня к объединительной ПП с помощью розеток. Такая конструкция электрических соединений при возможности использования двухстороннего доступа к электронной аппаратуре позволяет создавать гибкие компоновочные схемы, рационально использовать объем электронных аппаратов для размещения электронных модулей на основе ПП.

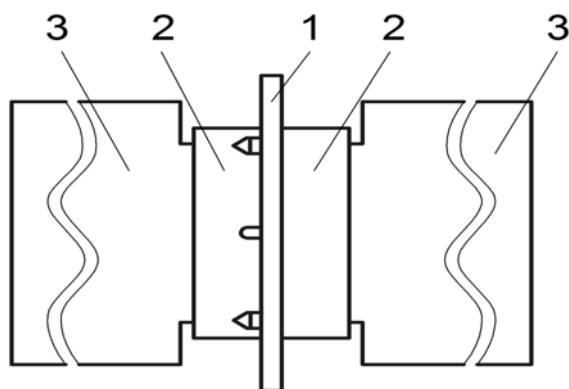


Рис. 11. Двухстороннее подключение электронных модулей первого уровня к объединительной ПП:

1 — объединительная ПП; 2 — розетка; 3 — ПП электронного модуля

На **рис. 12** представлено соединительное устройство, которое монтируется на поверхность печатных плат прижимом. Принцип его действия и конструкция описаны в [5]. Соединения могут выполняться как в пределах одной ПП, так и для соединения двух ПП, которые расположены в любых плоскостях по отношению друг к другу. На рисунке показано соединение двух печатных плат 7 и 8 с помощью такого устройства. Для лучшего восприятия элементы одной из ПП показаны в поперечном сечении.

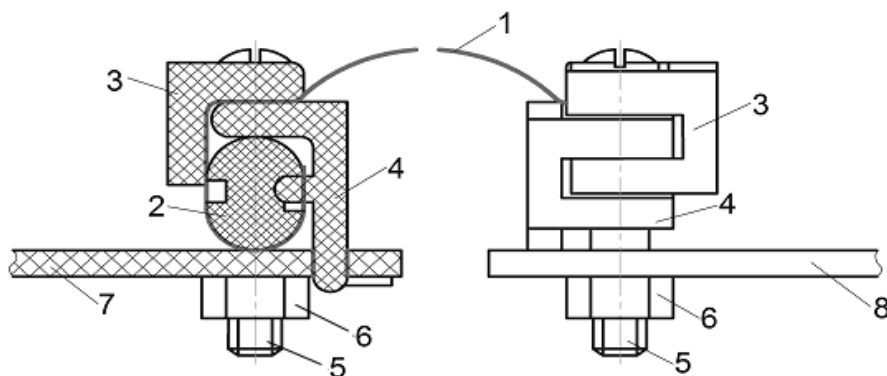


Рис. 12. Электрическое соединение прижимом двух ПП:

1 — ГПК; 2 — эластомерный вкладыш; 3, 4 — корпуса изоляторов; 5 — винт; 6 — гайка; 7 — ПП1; 8 — ПП2

Также приведем несколько конструктивных решений соединителей на ГПК с улучшенными качественными показателями и большими возможностями.

Выше рассматривался вопрос выбора материала эластомерного вкладыша. Одним из определяющих внешних факторов, влияющих на качество, является повышенная температура эксплуатации. От ее воздействия накапливается остаточная деформация вкладышей, вследствие чего может существенно ослабляться давление между контактами и, соответственно, увеличиваться переходное контактное сопротивление.

Для вариантов исполнений соединителей, предназначенных для работы в условиях высоких температур, может быть предложен конструктивный вариант розетки, в котором для повышения надежности кроме эластомерного вкладыша используется металлическая пружина [9]. На **рис. 13** изображено поперечное сечение такой модифицированной розетки, которое аналогично представленной на рис. 1, в. Если в процессе эксплуатации такого соединителя накапливается остаточная деформация во вкладыше, то его ослабевающее действие компенсируется металлической пружиной.

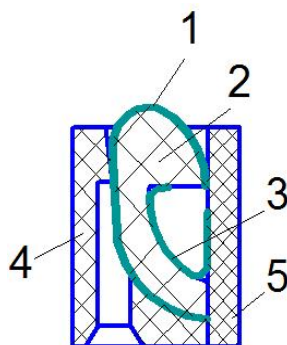


Рис. 13. Поперечное сечение розетки с дополнительной металлической пружиной:

1 — ГПК; 2 — эластомерный вкладыш; 3 — пружина; 4 — корпус; 5 — крышка

Значительно повысить эксплуатационные характеристики соединителей можно за счет двойного увеличения количества контактов при некотором увеличении толщины розетки. Такая возможность появляется при использовании в одной розетке двух ГПК и двух эластомерных вкладышей, т. е. при двухстороннем расположении контактов, в том числе и концевых контактов (ламелей) на ПП электронного модуля (**рис. 14**).

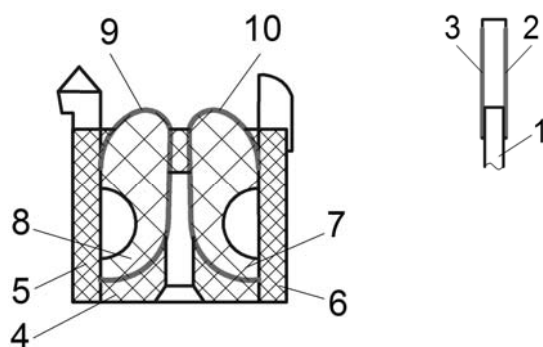


Рис. 14. Конструкция соединителя с двухсторонним расположением контактов:

1 — штекерная вилка; 2, 3 — концевые печатные контакты (ламели); 4 — корпус розетки;
5, 6 — крышки; 7, 8 — эластомерные вкладыши; 9, 10 — ГПК

Изложенные конструкторско-технологические решения соединителей на основе ГПК и эластомерных вкладышей в определенной мере реализованы в образце, представленном на **рис. 15**.

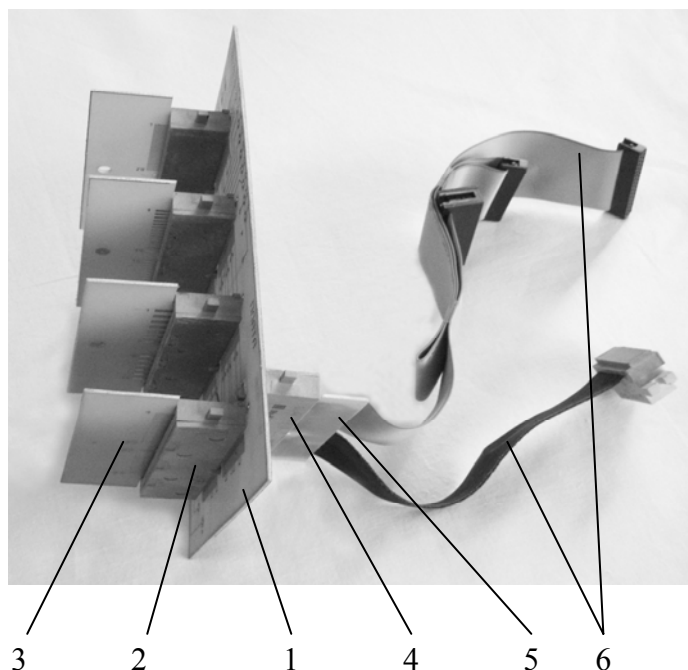


Рис. 15. Снимок экспериментального образца, реализующего межблочные электрические соединения:

1 — объединительная ПП; 2 — розетка для подключения ПП электронных модулей; 3 — фрагмент ПП электронного модуля; 4 — розетка для внешних подключений; 5 — штекерная вилка; 6 — соединительные кабели на основе ленточных проводов с разъемами

Здесь объединительная ПП 1 с розетками 2 осуществляет электрические соединения между электронными модулями первого уровня, которые на рисунке представлены фрагментами печатных плат 3. В свою очередь соединение объединительных ПП как составных частей электронных модулей второго уровня между собой, а также их внешнее подключение

Перевод статьи:

Yefimenko A. A. Electrical connectors for surface solderless mounting // Технология и конструирование в электронной аппаратуре.— 2012.— № 4.— С. 9—16.

выполняется с помощью розетки 4, штекерной вилки 5 и, например, проводных кабельных соединений 6. При этом розетка 4 монтируется на поверхность ПП 1 аналогично розеткам 2.

На этом образце использованы розетки и штекерные вилки с шагом расположения контактов 1,25 мм, 2,5 мм и 5 мм с покрытием рабочей части палладием. По результатам испытаний установлено, что основные параметры соединителей находятся в пределах значений, приведенных в **таблице**. При указанных значениях тока температура перегрева соединителей не превышает 20 °С.

Шаг расположения контактов, определяющий типоразмер соединителя, мм	Число контактов	Максимальная сила тока, проходящего через контакт, А	Максимальное напряжение, В		Сопротивление контактов, мОм, не более
			рабочее	испытательное	
5	13	4	400	1600	10
2,5	26	2	250	1200	20
1,25	52	1,2	150	800	40

Предложенные конструктивные решения ориентированы на групповые методы изготовления контактов и сборки соединителей. Результаты проведенных исследований показали практическую возможность изготовления и применения электрических соединителей на основе ГПК и эластомерных вкладышей, которые по своим техническим характеристикам способны составить конкуренцию соединителям с дискретными металлическими контактами, поскольку значительно превосходят их в отношении технологичности изготовления и, особенно, монтажа.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. AMP. Product Guide. Printed Circuit Board Connectors acc. DIN 41612.
2. HARTING. Product Guide. Connectors DIN 41612.
3. Ефименко А.А., Собченко Д.Л. Непаяные контактные соединения в электронных печатных узлах // Технология и конструирование в электронной аппаратуре.— 2009.— № 3.— С. 3—9.
4. Патент 1265 України. З'єднувач для друкованих плат / А.А. Єфіменко.— 1993.— Бюл. № 3.
5. Патент 1266 України. Пристрій для з'єднання друкованих плат / А.А. Єфіменко.— 1993.— Бюл. № 3.
6. Патент 9797 України. Роз'єм для печатних плат / А.А. Єфіменко.— 1996.— Бюл. № 3.
7. ТУ3594 – 097 – 0750430 – 2002. Гибкие печатные кабели марки ГПК – МП.
8. Ефименко А.А., Шаталов В.В. Моделирование разъемных контактов в электрических соединениях электронной аппаратуры // Технология и конструирование в электронной аппаратуре.— 2001.— № 4—5.— С. 7—10.
9. Патент 2006112 Российской Федерации. Разъем для печатных плат / А.А. Ефименко, О.И. Шкодин.— 1994.— Бюл. № 1.