Соединение печатных плат без пайки. Адаптеры EZICOAX – новый этап в технике межсоединений. Часть 1. Пружинные контакты и контактные соединители

Кива Джуринский, Сергей Щербаков

Рассмотрены стандартные способы соединения печатных плат гибкими печатными и ленточными кабелями, «плата – плата», «провод – плата». Показана необходимость создания способов соединения печатных плат без применения низкотемпературной пайки. Приведены преимущества и недостатки соединения печатных плат с помощью адаптеров Bullet. Рассмотрены история создания, конструкция и механизм действия пружинных контактов для соединения печатных плат без пайки. Показана конструкция пружинных соединителей на основе интерпозера и пружинных контактов. Приведены конструкция и параметры пружинных контактов компании Smiths Interconnect. Рассмотрены преимущества пружинных соединителей и области их применения. Статья написана на основе доступной зарубежной технической информации.

Введение. О терминологии

Объектом данной статьи являются пружинные (подпружиненные) контакты и соединители (Spring Loaded Contacts – SLC), которые по своей конструкции являются штыревыми соединителями. В зарубежной литературе их часто называют Pogo Pin-контактами. Pogo Pin-контакты – это отдельные пружинные компоненты, предназначенные для электрического соединения между печатными платами и модулями за счёт контролируемого механического сжатия. Они позволяет создавать временные, очень стабильные электрические соединения без пайки [1–3].

Все Pogo Pin-контакты делятся на стандартные и коаксиальные. Стандартные Pogo Pin-контакты предназначены для передачи напряжения питания и низкочастотных сигналов. Коаксиальные Pogo Pin-контакты – это специализированный тип контактов, предназначенных для передачи как низкочастотных, так и радиочастотных сигналов. Их конструкция представляет собой коаксиальную структуру, аналогичную структуре коаксиального радиочастотного кабеля [1–3]. Коаксиальные пружинные контакты рассмотрены во второй части данной статьи.

Стандартные и коаксиальные контакты, установленные в интерпозер (изоляционное основание), называются соответственно стандартными и коаксиальными соединителями. Интерпозер – это соединительное устройство с компрессионным монтажом, которое устанавливают между платами для обеспечения быстрой передачи сигналов. В один интерпозер может быть установлено большое количество пружинных контактов. Термин «интерпозер» происходит от латинского слова interpōnere, означающего «вставлять между» [4].

Некоторые способы соединения печатных плат с применением пайки

Эффективное соединение печатных плат – важнейшая задача при проектировании сложных электронных систем. Выбор способа соединения зависит от ряда факторов: области применения, доступного пространства, требований к целостности сигнала, механических нагрузок, типов используемых компонентов и стоимости.

Известны следующие способы соединения [3].

Соединение гибкими печатными кабелями

Гибкие печатные кабели полезны для соединения двух печатных плат, которые не выровнены в одной плоскости, или когда их необходимо соединить в компактную, гибкую конструкцию в ограниченном пространстве. Однако этот способ недостаточно надёжен при воздействии на платы больших механических нагрузок.

Соединение «плата – плата»

В этом случае обеспечивается прямое электрическое соединение двух плат с высокой плотностью размещения при помощи штырей или гнёзд разных размеров, типов и конфигураций. Соединители типа «вилка» припаивают на одной плате, а соответствующие им гнёзда – на другой. Достоинства этого способа – простота сборки и демонтажа, достаточно прочное механическое и электрическое соединение, главный же недостаток – необходимость точного выравнивания печатных плат.

Соединение «провод – плата»

В данном способе соединение двух печатных плат производится проводами, припаянными к платам, и оно часто используется в ситуациях, когда применение соединителей нецелесообразно или в случае ограниченного пространства. Провода обычно подключают к печатной плате через переходные отверстия. Соединения «провод – плата» нередко встречаются в конструкциях, где две печатные платы не расположены друг над другом или не выровнены в одной плоскости. Этот способ отличается простотой реализации и низкой стоимостью. Однако он менее надёжен, чем другие способы, так как существует повышенный риск ошибок в электропроводке и случаев коротких замыканий.

Соединение ленточными кабелями

Ленточный кабель – это один из типов плоского многожильного кабеля. Этот кабель, состоящий из параллельно расположенных проводников,

часто используют в приложениях, где требуется большое количество соединений в ограниченном пространстве. В зависимости от области применения ленточные кабели либо подключают к соединителям, либо непосредственно припаивают к печатной плате. Такое соединение имеет ограниченную гибкость по сравнению с другими способами.

Способы соединения печатных плат без применения пайки

Радиочастотные соединения печатных плат постоянно совершенствуются вследствие необходимости повышения производительности и упрощения процесса сборки. В ранее перечисленных способах соединение печатных плат происходит с применением низкотемпературной пайки. Для стационарных электрических цепей внутри корпуса изделия пайка является стандартным и главным выбором. Соединения пайкой обеспечивают прочное неразъёмное соединение между проводами и печатными платами, превосходную электропроводность и долговечность.

Однако ряд недостатков такого соединения обусловили необходимость разрабатывать соединения без применения низкотемпературной пайки, выполняемой в большинстве случаев с применением флюсов. Основные причины нежелательности пайки следующие [5, 6].

- Возможность температурной деформации печатных плат, повреждения чувствительных к нагреву компонентов и их преждевременного износа.
- Загрязнение соединения остатками флюса и необходимость его отмывки.
- Возможность образования микроскопических проводящих «оловянных усов», которые могут вызвать короткое замыкание, если пайку выполняют оловянно-свинцовыми припоями.
- Ухудшение экологии в результате применения флюсов и припоев, содержащих свинец. Применение же современных бессвинцовых припоев требует более высоких температур и агрессивных флюсов, которые необходимо отмывать ещё тщательнее.
- Достаточная высокая сложность обслуживания, а также невозможность рассоединения печатных плат для ремонта или замены.

Соединение печатных плат без низкотемпературной пайки

Соединение с применением адаптера Bullet

Развитие микроэлектроники СВЧ и создание сложных, многофункциональных устройств с повышенной плотностью компоновки потребовало дальнейшей миниатюризации и повышения диапазона рабочих частот. Этим требованиям в полной мере отвечают соединители серий: SMP (предельная частота 40 ГГц), SMPM (предельная частота 65 ГГц) и SMPS (предельная частота 100 ГГц), в состав которых входят адаптеры «розетка – розетка» Bullet [5]. Соединители этих серий рассчитаны на номинальное сопротивление 50 Ом, работают в диапазоне частот от постоянного тока до 100 ГГц, характеризуются низкими вносимыми потерями, экранным затуханием менее –60 дБ и диапазоном рабочих температур от −65°C до +165°C. Соединение двух печатных плат с помощью адаптеров Bullet происходит способом, предложенным американской компанией Gilbert. На каждой из соединяемых печатных плат устанавливают соединители «вилка», а соединение плат производят при помощи адаптера Bullet без использования пайки и применения радиочастотных кабелей (рис. 1) [5].

При этом одну из вилок выполняют с полным или ограниченным защёлкиванием, а другую – со скользящим соединением. Поэтому при рассоединении Bullet остаётся в вилке с защёлкиванием. Выбирая Bullet разной длины, можно точно устанавливать расстояние между двумя платами. Рекордсменом в области миниатюризации является Bullet компании Southwest Microwave с длиной корпуса всего 2,48 мм для соединения печатных плат, отстоящих друг от друга на расстоянии 3 мм [5].

Несмотря на то что соединители SMP можно соединять почти вслепую, это часто сопряжено с трудностями из-за возможного несовпадения печатных плат, а также из-за необходимости приложения большого усилия. Например, для соединения одного SMP-соединителя требуется усилие до 4 кг. Для сборки печатной платы, например, с 32 соединителями, общее усилие соединения превышает 127 кг [7].

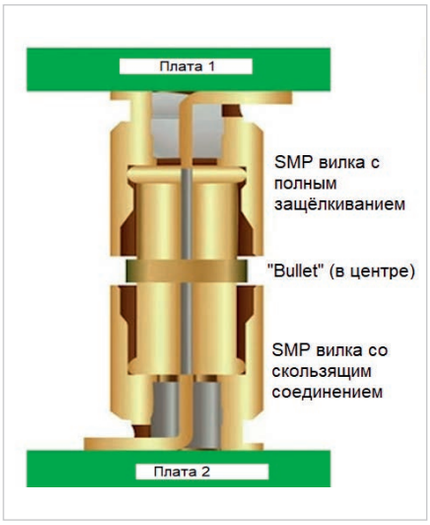


Рис. 1. Соединение двух плат при помощи адаптера Bullet

Соединение стандартными пружинными контактами

Конструкция пружинных контактов

В связи с созданием сложных многофункциональных устройств СВЧ и необходимостью их миниатюризации разработка стабильных и надёжных межсоединений печатных плат стала важной инженерной задачей. Одним из её решений является применение пружинных контактов (Pogo Pin) и соединителей на их основе. Первые версии этих контактов были разработаны инженерами Bell Labs (США) в начале 1970-х годов. Название Pogo Pin, возможно, связано с похожестью их действия с классической игрушкой Pogo Stick (кузнечик). В обоих случаях вертикальное движение вверх – вниз имитирует подпрыгивающие движения кузнечика. Название Pogo Pin является зарегистрированной торговой маркой компании Everett Charles Technologies (ECT), которая производит данные контакты уже много лет [8].

Пружинный контакт – это электромеханический компонент, который использует пружину для поддержания физического и электрического соединения между двумя платами. Стандартный пружинный контакт состоит из трёх прецизионных составляющих: корпуса, спиральной пружины и плунжера (рис. 2) [9–11].

Корпус – металлическая цилиндрическая трубка, в которую устанавливают внутренний механизм, состоящий из плунжера и пружины. Корпус обеспечивает плавное перемещение плунжера и, следовательно, воспро-



Рис. 2. Представление конструкции пружинного контакта

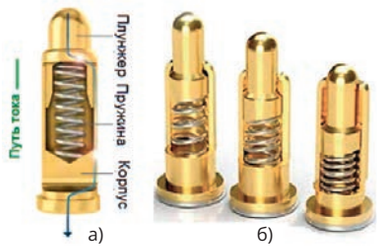


Рис. 3. Конструкция пружинного контакта (а), иллюстрация перемещения пружины (б)

изводимое усилие пружины. В то же время он защищает от внешней среды внутренние компоненты и обеспечивает надёжную работу контакта. Как правило, для изготовления корпуса, а также и плунжера, применяют высокопрочные медные сплавы или латунь с гальваническим покрытием золотом по подслою никеля для обеспечения высокой электропроводности, повышения износостойкости и защиты от коррозии и окисления. Типичная толщина золотого покрытия составляет от 0,1 мкм до 1,0 мкм или от 0,5 мкм до 1,0 мкм. В качестве альтернативы золоту доступны покрытия: никель, серебро, палладий-никель и палладий-кобальт.

Плунжер (контактный наконечник) – подвижный токопроводящий наконечник, который прижимается пружиной к контактируемой поверхности печатной платы, обеспечивая электрическое соединение. Во время контакта плунжер перемещается в цилиндре в осевом направлении, обеспечивая стабильное и воспроизводимое электрическое соединение.

Пружина может упруго деформироваться и создавать стабильное контактное давление между плунжером и печатной платой, обеспечивая воспроизводимый контакт в течение многих циклов соединений (рис. 3) [10]. Пружину изготавливают из нержавеющей стали или бериллиевой бронзы.

Механизм действия

Пружинный контакт работает следующим образом [7, 9–13].

1. Исходное состояние: в состоянии покоя пружина разжата, при этом плунжер находится на некотором расстоянии от контактной площадки на печатной плате, что исключает электрическое соединение.
2. При нажатии на пружинный контакт плунжер втягивается в корпус и сжимает пружину, расположенную внутри корпуса (рис. 3б).
3. При сжатии пружина в результате деформации накапливает потенциальную энергию и обеспечивает усилие, прилагаемое к плунжеру. Между сопрягаемыми поверхностями печатных плат поддерживается стабильное контактное давление тем большее, чем сильнее сжата пружина. При этом в результате трения происходит ещё очистка поверхностей контакта от окисных плёнок и загрязнений, что помогает сохранять низкое переходное сопротивление на протяжении многих циклов подключения.

Пружинные контакты создают постоянное усилие на сопрягаемую контактную поверхность, поглощая и компенсируя движение, возникающее при ударах и вибрации, без прерывания электрического соединения. Пружинные контакты обеспечивают повторяемый контакт в полевых условиях, снижают затраты и устраняют необходимость в кабельных соединениях, обеспечивая надёжное прямое соединение во вращающихся или скользящих соединениях. Кроме того, они обеспечивают короткий путь прохождения сигнала и вследствие этого целостность сигнала как для аналоговых, так и для цифровых приложений. Важно отметить, что пружинный контакт трудно повредить из-за неправильного расположения, как в случае с обычными штыревыми и гнездовыми соединениями.

Возможны варианты установки пружинных контактов для жёсткой или гибкой печатной платы: в отверстия платы или путём поверхностного монтажа; с использованием интерпозера или без него.

Модификации пружинных контактов

Пружинные контакты выпускают большое число компаний США, Европы и Китая. Разработаны многие модификации конструкции пружинных соединителей (рис. 4) [10].

Например, в каталоге компании N&H Technology представлены более 300 пружинных контактов [10]. Самый маленький контакт длиной всего 1 мм, самый большой – длиной 23 мм. Усилие пружины варьируется в зависимости от типа контакта в пределах 50–400 г. Среди представленных конструкций пружинных соединителей имеются прямые и угловые для поверхностного монтажа и установки в отверстия печатной платы, с резьбовым корпусом, с окончаниями в виде шарика или колпачка, сильноточные, устанавливаемые в дополнительные изоляционные основания, герметизированные резиновой прокладкой, магнитные и другие.

Основные конструктивные модификации контактной области показаны на рис. 5 [10].

Пружинные контакты выпускают различной длины: от 1 до 40 и более мм. Усилие пружины может быть выбрано от 25 до 400 г в зависимости от типа пружинного контакта. Для стабильной передачи сигналов рекомендуется минимальное усилие пружины 60 г, а для эффективной передачи тока – 110 г. Чем больше давление пружины, тем сильнее плунжер прижимается к стенке корпуса, обеспечивая стабильную величину тока. Стандартная рабочая температура пружинных контактов составляет от –40°C до +85°C, контактное сопротивление менее 100 мОм (в зависимости от конструкции). Благодаря использованию специальных материалов верхняя температура рабочего диапазона может быть расширена до 150°C [10].

Один из основных недостатков пружинного контакта – непостоянство контактного сопротивления, которое может изменяться, если нет хорошего контакта плунжера с корпусом. Это приводит к прерывистому протеканию тока через пружину и к зна-



Рис. 4. Пружинные контакты компании N&H Technology GmbH



Рис. 5. Конструктивные модификации области контакта

чительному увеличению сопротивления контакта.

Способы преодоления непостоянства контактного сопротивления

Наиболее распространённое решение этой проблемы – смещение плунжера от осевой линии корпуса, чтобы плунжер соприкасался с внутренней поверхностью корпуса. Таких способов три: смещение пружины, применение шарового контакта и специальная конструкция корпуса [14].

В пружинных контактах со смещением пружины используются клиновидный плунжер и пружина, которая сужается на концах. Небольшие витки пружины приводят к плохой посадке плунжера, и поэтому при сжатии пружина вызывает его угловое отклонение. Это наименее эффективный метод смещения с точки зрения стабильности сопротивления пружинного контакта.

Второй способ смещения предполагает, что торцевая поверхность плунжера наклонена приблизительно под углом 18 градусов (рис. 5). Металлический шарик из нержавеющей стали помещается между плунжером и пружиной. Шарик служит точкой опоры, а угол наклона – рычагом, заставляя плунжер наклоняться внутри корпуса. Это наиболее эффективный способ смещения плунжера.

Наконец, конструктивный подход состоит в том, чтобы использовать полый плунжер, создавая больше свободного пространства для пружины. Если полость в плунжере расположена эксцентрично относительно главной оси контакта, эффект смещения усиливается.

Многовыводные пружинные соединители

Пружинные контакты, установленные в интерпозер, обеспечивают многовыводные соединения (рис. 6) [10].

При изготовлении изоляционных интерпозеров механической обработкой используют полимеры: PEI (полиэфиримиды) – Ultem 1000 и PAI (полиамидимиды) – Torlon. При их изготовлении методом литья под давлением применяют LCP (жидкокристаллический полимер) – Vectra, PPA (полифталамид) или PPS (полифенилсульфид) – Ryton [12]. Пружинные контакты собираются внутри корпуса интерпозера с учётом их количества и шага, а также размеров корпуса, образуя многовыводный соединитель. Количество пружинных контактов в соединителе не ограничено, что позволяет создавать многорядные решения. Стандартный шаг контактов равен 2,54 мм. Широкое разнообразие пружинных контактов позволяет производить соединители различных размеров и конструктивных исполнений, водонепроницаемые решения (степень защиты IP68), специальные решения для сильноточных применений и магнитные соединители [10–11, 13–15].

Ключевые особенности и характеристики пружинных контактов

- Шаг установки пружинных контактов (расстояние между центрами контактов): 2,0 мм, 2,54 мм и 3,0 мм.
- Усилие давления пружины контакта: обычно 0,8–1,5 Н. При усилии ниже 0,7 Н соединение может прерываться, а при усилии выше 1,8 Н могут деформироваться мягкие контактные площадки печатной платы.
- Материал покрытия контактов: золото по подслою никеля, обеспечивающее устойчивость к окислению.
- Механическая устойчивость при воздействии вибрационных и ударных нагрузок [14–15].

Пружинные контакты компании Smiths Interconnect

Компания Smiths Interconnect (Лондон, Великобритания) входит в состав холдинга Smiths Group PLC, ведущего историю с 1851 года, когда Самюэль

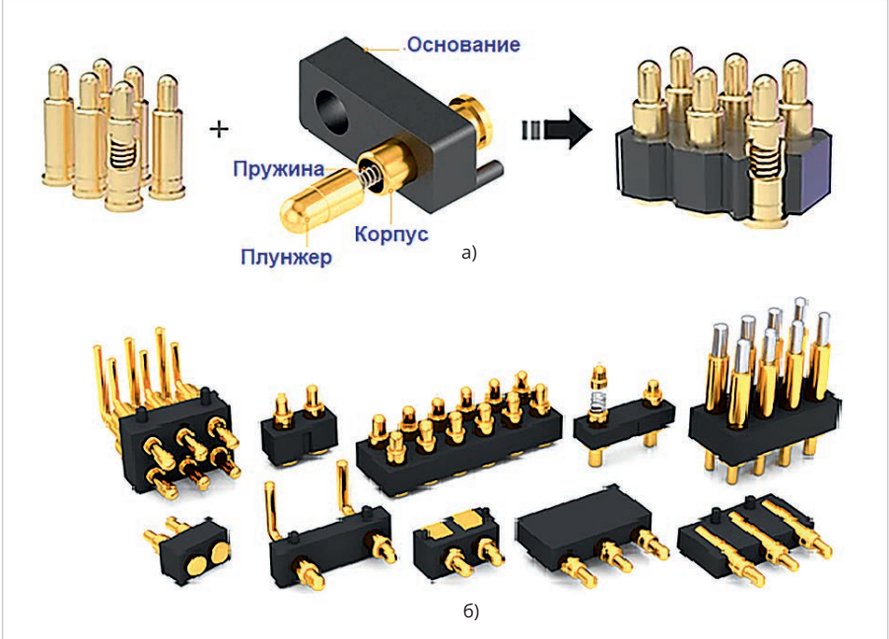


Рис. 6. Конструкция (а) и внешний вид (б) многовыводных подпружиненных стандартных соединителей

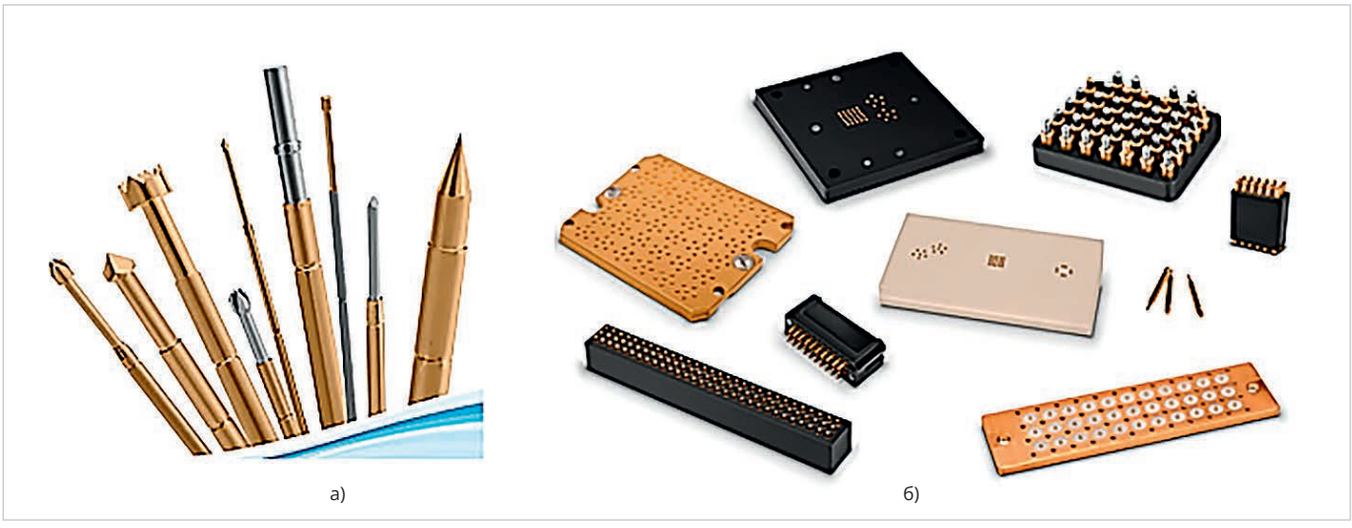


Рис. 7. Пружинные контакты Smiths Interconnect для тестирования (а), интерпозеры и многовыводные исполнения (б)

Смит основал семейное предприятие по производству и продаже часов и точных приборов [16]. Продукция этой компании выделена в отдельный раздел, так как Smiths Interconnect является мировым лидером в создании пружинных контактов, соединений печатных плат и других компонентов без применения пайки.

Для этой цели специалисты этой компании предложили несколько важных инноваций [7, 12, 13].

1. Двойной плунжер: подвижные контакты с обеих сторон корпуса за счёт пружины, обеспечивающей усилие на каждый подвижный конец контакта.
2. «Плавающая» конструкция: одиночный плунжер, который может незначительно смещаться от центрального осевого положения. Это позволяет контакту «подстраиваться» под небольшие смещения печатных плат, компенсируя их несоосность.
3. Интерпозеры. Пружинные контакты стали использовать в сборках в интерпозерах: рамках из изоляционного материала, которые точно позиционируют контакты и позволяют создавать соединения между двумя платами без пайки. Это особенно ценно для высокочастотных приложений.

Smiths Interconnect является крупнейшим в мире производителем пружинных контактов-зондов для тестирования печатных плат, узлов поверхностного монтажа и других видов тестирования. Компания выпускает 60 серий зондов (включая стандартные), которые более точны и стабильны по сопротивлению, чем другие стандартные модели (рис. 7) [13].

Минимальный диаметр стандартных пружинных контактов 0,99 мм, что обеспечивает максимальную плотность размещения для многовыводных исполнений. Стандартные контакты имеют низкое и постоянное контактное сопротивление (< 10 мОм), в зависимости от конструкции обеспечивают от 20 000 до 300 000 циклов соединение – рассоединение и устойчивы к вибрациям.

Высокочастотные пружинные зонды Smiths Interconnect обеспечивают целостность сигнала как для аналоговых, так и для цифровых приложений.

Основные преимущества пружинных соединителей

Пружинные соединители становятся всё более популярными благодаря многим своим преимуществам [13–16].

1. *Межсоединения без пайки.* Пружинные контакты обеспечивают межсоединения между печатными платами и модулями без пайки. Отказ от пайки позволяет повысить производительность и снизить стоимость сборки без ущерба для качества.
2. *Компактные размеры и лёгкий вес.* Пружинные соединения могут быть изготовлены с более высокой плотностью контактов и меньшей длиной соединения, чем при традиционном соединении «штырь-розетка».
3. *Универсальность.* В аэрокосмических и телекоммуникационных системах, медицинской технике, высокотехнологичной автоматизированной электронике пружинные соединители являются наиболее подходящим решением задачи межсоединений печатных плат.
4. *Долговечность.* В отличие от большинства других способов, при которых соединения выходят из строя при постоянном использовании, пружинные соединители выдерживают более 10 000 циклов соединения-рассоединения. Пружинные контакты рассчитаны на долгий срок службы. Это делает их экономически выгодным решением для тестирования систем, требующих многократного подключения.
5. *Надёжность соединения при смещении и неровности поверхности печатных плат.* Пружинные контакты способны соединять печатные платы вслепую даже при больших смещениях и неровности плат. Их устойчивость к механическому износу сокращает время простоя и затраты на замену, обеспечивая надёжную работу в условиях интенсивной эксплуатации.
6. *Устойчивость к вибрации и ударам.* Пружинные контакты более устойчивы к вибрации, чем обычные соединители, так как пружины поглощают удары и вибрацию.
7. *Простое соединение с другими компонентами.* Соединение с помощью пружинных контактов намного проще, чем все известные соединения. Они легко устанавливаются без использования сложных инструментов, что экономит время.
8. *Самоочищение от окислений и загрязнений.* Это помогает уменьшить или устранить проблемы, которые возникают из-за окисления контактов со временем и обеспечить низкое контактное сопротивление.
9. *Разнообразие дизайна.*

Области применения пружинных соединителей [13–16].

1. Автоматизированные системы тестирования больших объёмов печатных плат.
2. Соединение печатных плат в электронных устройствах, работающих под воздействием ударов и вибраций.
3. Бытовая электроника: ноутбуки, мобильные телефоны и др.
4. Автомобильная электроника. Зарядные устройства аккумуляторов.
5. Интеллектуальные медицинские инструменты.
6. Аэрокосмическая отрасль: стабильное соединение на большой высоте в условиях экстремально высоких температур и давления.
7. Фазированные антенные решётки.
8. Датчики Интернета вещей.

Заключение

Пружинные контакты и соединители на их основе нашли широкое применение в современной электронике. Высокая плотность интеграции и очень малые размеры упрощают сборку печатных плат и, следовательно, значительно снижают затраты. Они сокращают ручной труд и открывают перед конструкторами новые возможности проектирования.

Литература

1. How Do Coaxial Pogo Pins Differ from Standard Pogo Pins. Collabnix. 20th November 2024. URL: https://collabnix.com.
2. PCB Spring Contacts: Everything You Need to Know. URL: https://globalwellpcba.com.
3. How to Connect Two PCB Boards: A Complete Guide for Engineers, 2025.02.22. URL: https://sqpcb.com.
4. *Гетцман А.* What are Interposers? Meet the Connector: Interposers. URL: https://connectorsupplier.com.
5. *Джуринский К.Б.* Эволюция коаксиальных радиокомпонентов. М.: ВАШ ФОРМАТ, 2026. 344 с.
6. PCB Soldering Issues: 7 Common Problems and Solutions. URL: https://venture-mfg.com.
7. A New Solder-less, Spring-Loaded Coax Connector Revolutionizes RF Connectivity. January 27, 2026. URL: https://rf-design.co.za.
8. Контакты Pogo Pin. URL: https://platan.ru/news/PogoPin.
9. What Is a Pogo Pin? Full Guide to Spring Loaded Pins – CFECONN. URL: https://cfeconn.com.
10. Design Guide Federkontakte Pogo Pins. URL: https://www.nh-technology.de.
11. What Are Spring Loaded Electrical Contacts and How Do They Work August 13, 2025. Heqing Electronics. URL: https://heqingele.com.
12. *Завалин И.* Подпружиненные контакты и особенности их применения для создания сигнальных, силовых, коаксиальных и дифференциальных соединений // Компоненты и технологии. 2018. № 2. С. 17–21.
13. IDI Spring Probes (Smiths Interconnect). Argenta Elektronik GmbH. URL: https://argenta-elektronik.com.
14. *Marx D., Rohannes R., Bozzo P.* Spring probe contact solutions for solderless interconnections, basic design criteria and overview of case studies and developments. ESCIES. URL: https://escies.org.
15. Spring-Loaded Pogo Pins Guide: How to Choose Right. URL: https://electronics.alibaba.com.
16. Соединители Smiths Connectors для ответственных приложений. URL: https://elec.ru.
17. 11 Advantages of Spring-Loaded Contacts. SOS Engineering. 14 июня 2018. URL: https://www.soseng.com.

