

# Межплатные соединители нового поколения

Дмитрий Гаманюк (г. Саратов)

Описана новая технология высоконадёжного электрического соединения блочных элементов конструкции РЭА на подвижных объектах. Приведены результаты испытаний соединителей при различных внешних воздействиях.

Новые соединительные системы не требуют пайки при монтаже и эксплуатации и предназначены для использования непосредственно на печатной плате. Это – коммутирующие устройства HyperGrid и HyperStac, разрабо-

танные и производимые компанией Hypertronics corporation.

С точки зрения решаемых задач, это соединители, обеспечивающие разъёмное электрическое соединение высокой плотности при минимальных габаритах. За счёт оригинальной конструкции контакта, соединение получается высокостабильным и позволяет использовать аппаратуру на высоконадежных, динамичных объектах. Области применения соединителей пересекаются, но HyperGrid позволяет создавать конструкции меньшего размера и обладает большими возможностями для получения специальных конфигураций. В свою очередь, соединители HyperStac позволяют передавать более мощные сигналы.

Схема контактного устройства представлена на рис. 1.

Соединители HyperGrid реализуют ту же идею, но имеют несколько иную конструкцию. Упругим элементом здесь является вертикальная пружина, создающая прижимное усилие контактных пар (см. рис. 2). Пружины достаточно миниатюрны: их длина меньше миллиметра, диаметр проволоки – порядка 0,05 мм. Количество пружин, их расположение и модуль упругости могут быть различными. Вертикально установленные пружины собираются в прямоугольные модули – матрицы, отсюда и дословный перевод названия соединения – гиперсетка. Сверху и снизу к сетке подходят рабочие платы, на которых и располагаются коммутируемые приборы. Крепление конструкции осуществляется винтами, которые и задают прижимное усилие к контактным площадкам (см. рис. 3).

## ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРЕИМУЩЕСТВ МАТРИЧНЫХ СОЕДИНИТЕЛЕЙ

Основным параметром, характеризующим качество электрического соединителя, является величина его полного электрического сопротивления. Сам соединитель обычно рассматривают как пару соприкасающихся элементов конструкции или контактную пару. Значение полного сопротивления контакта определяется как сумма поверхностного и переходного сопротивления, или сопротивления стягивания [1]:

$$R_k = R_{\text{п}} + R_{\text{пер}} \quad (1)$$

Третье составляющее – сопротивление токоведущих материалов, находящихся между точками присоединения хвостовиков контактов и основными электрическими цепями, целиком зависит от материала и технологии изготовления контакта и напрямую не характеризует сам соединитель.

Поверхностное сопротивление возникает из-за наличия на контактной паре поверхностных плёнок, имеющих, как правило, термохимическую

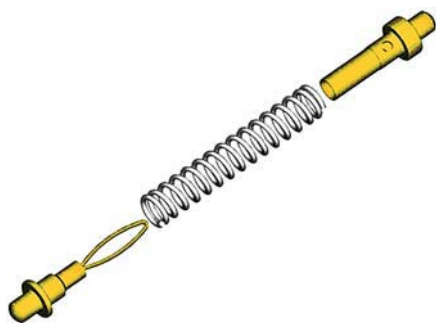


Рис. 1. Конструкция соединителя Hyperstac

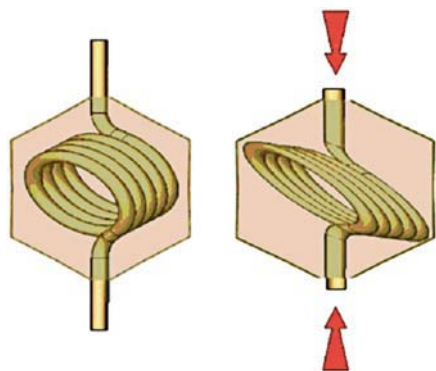


Рис. 2. Внешний вид упругого элемента HyperGrid и его деформация при контакте

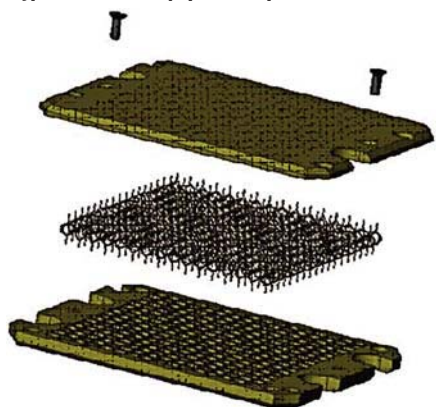


Рис. 3. Внешний вид соединителя HyperGrid

## ОПИСАНИЕ КОНСТРУКЦИИ

Идея создания бесперебойного контактирования достаточно проста. В её основе лежит принцип постоянного демпфирования внешних механических факторов с помощью упругих элементов – пружин. Упругость пружин рассчитывается и подбирается таким образом, что в эксплуатационном диапазоне частот их усилия хватает для обеспечения постоянства площади контактирования. Соединительное устройство HyperStac состоит из двух половин: корпусной части, внутри которой размещены штыревой (с контактом в виде проволочной петли) и обычный гнездовой контакты. Последний постоянно подпружинивается внутренней пружиной, расположенной вокруг контактной пары. При этом противоположные части контактной пары выступают над поверхностью соединительного устройства. Именно к этим, тыльным сторонам контактов и осуществляется коммутация электрических линий, в общем случае – контактных площадок на печатной плате.

природу. Воздушные зазоры между элементами контактной пары и их нагрев при эксплуатации соединителя приводят к взаимодействию молекул металла и газа, в результате которого рабочая поверхность контакта покрывается плёнкой. Толщина плёнки пропорциональна времени работы, температуре и площади взаимодействия металла и газа. Аналитически величина сопротивления поверхностных плёнок  $R_{\text{п}}$  определяется выражением [2]:

$$R_{\text{п}} = \rho_{\text{пл}} / \pi r^2, \quad (2)$$

где  $\rho_{\text{пл}}$  – удельное сопротивление плёнки, Ом/м<sup>2</sup>;  $r$  – радиус контактной поверхности, м.

Знаменатель выражения (2) определяет площадь контактирующих поверхностей. Поэтому величина поверхностного сопротивления обратно пропорциональна площади контактирующих поверхностей и не зависит от их формы. Удельное же сопротивление плёнки зависит от металла, из которого сделана контактная пара, и условий эксплуатации соединителя.

Если проанализировать конструкцию соединителей HyperGrid и HyperStac, видно, что обеспечение максимума контактирующей поверхности на единицу площади всего соединителя, за счет её постоянного подпружинивания, уменьшает величину поверхностного сопротивления. Кроме того, постоянное соприкосновение контактной пары уменьшает воздушные зазоры и, как следствие, замедляет процесс образования поверхностных плёнок.

Вторым слагаемым выражения (1) является переходное сопротивление, которое возникает вследствие шероховатости поверхностей контактной пары. Из-за этого электрический ток протекает не равномерно по всей поверхности, а «стягивается» к зонам с максимальным прилеганием, а значит, и меньшим сопротивлением. Таким образом, существуют два равноправных названия одного понятия – сопротивление стягивания и переходное сопротивление – переход тока от одной части разъёма к другой. На практике для оценки величины переходного сопротивления используют следующее выражение [2]:

$$R_{\text{пер}} = c\rho \frac{\sqrt{H_B}}{P_K^b}, \quad (3)$$

где  $c$  – коэффициент, определяемый чистотой и состоянием поверхности.

При высоте микронеровностей  $b_{\text{н}} = 10...20$  мкм  $c = 2$ , при достаточно чисто обработанной поверхности ( $b_{\text{н}} = 3...0,8$  мкм)  $c = 1$ ;  $\rho$  – удельное электрическое сопротивление контактного материала, Ом/м;  $H_B$  – поверхностная твердость по Бринеллю;  $P_K$  – усилие контактного нажатия;  $b$  – показатель, определяемый характером деформации контактной пары, вида и формы контактных площадок. При контактировании по плоскости  $b = 2$ . При других формах контакта этот показатель меньше единицы.

Из выражения (3) видно, что переходное сопротивление соединителя тем меньше, чем больше усилие контактного нажатия. Конструкция представляемых соединителей обеспечивает значительное усилие контактного соединения за счёт использования потенциальной энергии упругих элементов – пружин. Поэтому в зарубежной литературе это называется «технологией избыточного контакта».

Более важно то, что конструкция соединителей HyperGrid и HyperStac обеспечивает постоянство знаменателей выражений (2) и (3). Это, при условии соблюдения технологической дисциплины производства, обеспечивает постоянство переходного и поверхностного сопротивлений, а следовательно, и всего контактного сопротивления. Из закона Ома известно, что изменение сопротивления при неизменном напряжении влечёт изменение величины протекающего в проводнике тока. В свою очередь, изменение тока в проводнике вызывает явление самоиндукции, э.д.с. которой определяется [3] как

$$\varepsilon = -L \frac{\Delta i}{\Delta t}, \quad (4)$$

где  $\varepsilon$  – э.д.с. самоиндукции;  $L$  – коэффициент самоиндукции (зависит от формы и размеров проводника и от среды);  $\Delta i / \Delta t$  – скорость изменения тока.

При минимальном изменении сопротивления величина тока относительно постоянна и э.д.с. самоиндукции стремится к нулю. Этому способствует и уникальная форма токоведущих частей соединителей. В реальных изделиях при толщине контактирующей пружины 0,5 мм индуктивность составляет всего 0,5 нГн. Практическое отсутствие в соединителях явления самоиндукции означает отсутствие генерации паразитных сигналов, помех и шумов. Это чрезвычайно важно при коммутации высокоточных импульсных сигналов.



Рис. 4. Прогноз развития рынка матричных соединителей

### РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ

Выше было показано влияние усилия контактного нажатия на характеристики всего соединителя в целом. Известно также [1], что в контактах с аналогичными характеристиками прижимное усилие для посеребрённых проводящих частей должно быть больше в 15 раз, а для проводящих частей из вольфрама – в 70 раз больше, чем у контактов из золота. Возможность задавать усилие контактирования позволяет использовать в соединителях этого класса более дешёвые токопроводящие материалы.

Конструкция представляемых изделий позволяет реализовывать соединители различных габаритов, что делает их применимыми практически во всех отраслях техники. Возможность изменять модуль упругости и коэффициент жёсткости пружин позволяет добиваться широкого изменения характеристик соединителей. Наборная конструкция в виде некоторого числа

контактирующих площадок позволяет создавать соединители как различных стандартов и конфигураций, так и для единичных решений.

Новая конструкция контакта подвергалась испытаниям на стойкость, устойчивость и прочность к воздействию механических и климатических факторов окружающей среды. Испытания были проведены на основе стандартов группы EIA 364, пп. 27, 28. Изделия подвергались воздействию синусоидальной вибрации и механическим ударам. Результаты испытаний соединителей HyperGrid приведены в таблице 1. Анализ данной таблицы показывает высокую стабильность и постоянство значения электрического сопротивления соединителей во время механических воздействий. Так, изменения абсолютной величины сопротивления не превышают нескольких единиц мОм.

Изделия, выполненные по технологии HyperStac, подвергались более широкому спектру внешних воздействий:

- синусоидальной вибрации в диапазоне частот 10...2000 Гц с амплитудой колебаний 1,5 мм и ускорением 20g;
  - случайной вибрации в диапазоне частот 20...2500 Гц с ускорением 90,2 м/с<sup>2</sup> в течение 10 с;
  - механическим ударам с ускорением 600g в течение 0,4 мс;
  - климатическим воздействиям:
    - циклическим изменениям температуры от -55 до +125°C в течение 56 дней;
    - повышенной температуре +125°C в течение 1000 ч;
    - солевому туману в течение 96 ч по стандарту CEI 68-2-11 (NF C 20-711);
    - повышенной влажности в течение 56 суток в соответствии со стандартом CEI 68-2-30 (NF C 20-703).
- В процессе указанных воздействий изделия сохраняли работоспособность, а интервалы потери контактирования не превышали 20 нс.

### ВОЗМОЖНЫЕ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ И СУЩЕСТВУЮЩИЕ ИЗДЕЛИЯ

В настоящее время выпускаемые по технологии HyperGrid соединители имеют диаметр оснований упругих элементов 0,5; 0,75 мм; 1 и 1,27 мм. Это даёт возможность строить разнообразные соединители, отличающиеся как габаритами, так и электрическими параметрами. Характеристики существующих типов соединителей HyperGrid сведены в таблицу 2.

Продукты HyperStac выпускаются с высотой изолятора 7,8 и 15,2 мм и шагом 1,9 мм между контактами и 1,52 мм – между линиями контактов. Опираясь на данные базовые параметры, возможно создание заказных конфигураций. Электрические характеристики: рабочее напряжение 160 В; электрическая прочность изоляции 640 В; номинальный ток 1 А; электрическое сопротивление при пониженном атмосферном давлении 350 мм рт. ст. составляет 25 мОм при токе 10 мА.

Анализ возможного применения нового изделия, проведённый компанией – разработчиком и производителем (см. рис. 4), – показывает, что значительная доля продукции предназначена для традиционных областей применения, где требуется высокая надёжность в сочетании с противостоянием внешним воздействующим факторам (военная техника, медицина и транспорт). На технологическое оборудование отводится 33% предполагаемого рынка сбыта.

Таблица 1. Результаты испытаний соединителей HyperGrid при воздействии механических факторов

Тип соединителя/воздействие	RC 10-05		RC 12-06	
	Сопротивление, мОм		Сопротивление, мОм	
	среднее	стандарт	среднее	стандарт
Синусоидальная вибрация	71,7	8,4	51,7	3,3
Механические удары	71,2	6,9	53,6	5,8

Таблица 2. Характеристики изделий HyperGrid

Тип контакта, мм/ номинальное значение тока, А	Прижимное усилие, г	Рабочая высота упругого элемента, мм	Полный ход сжатия, мм	Рекомендуемый ход сжатия упругого элемента, мм	Свободная длина упругого элемента, мм
0,5/1,0	20	0,81	0,15	0,10	0,91
0,8/1,5	25	1,65	0,25	0,18	1,75
1,0/2,0	30	2,03	0,38	0,25	2,29
1,27/2,5	35	2,28	0,51	0,38	2,67



Возможность работы без пайки с электрорадиоизделиями (ЭРИ) на стадии их подготовки к основному монтажу (программирование микросхем) значительно сокращает продолжительность технологического процесса. На основе соединителей HyperGrid можно создать конструкцию для установки микросхем в любых корпусах поверхностным монтажом, без применения пайки. На рис. 5 показан соединитель HyperGrid, не использующий пайку. Зелёным цветом обозначена зона упругих элементов, коричневым – зона накопечников, контактирующих с ЭРИ.

Используя множество упругих элементов матричных соединителей, можно организовать разъёмное соединение печатной платы с гибким полиамидным шлейфом (см. рис. 6). Матрица упругих элементов HyperGrid (снизу) надёжно контактирует с токопроводящими медными дорожками гибкого шлейфа. Это позволяет упростить компоновку блоков РЭА и уменьшить массогабаритные характеристики приборов.

Одним из перспективных направлений использования технологии матричных соединителей является создание на их основе колодок для электрического соединения – так на-

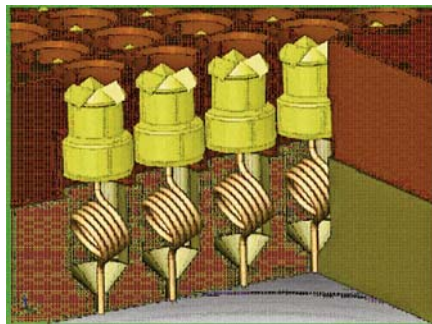


Рис. 5. Технология HyperGrid для соединителей без применения пайки

зываемых рельефных плат. Рельефные платы являются перспективным направлением конструирования РЭА, позволяющим снизить массогабаритные характеристики приборов за счёт использования блочно-модульной конструкции. Предполагается, что колодки должны состоять из набора упругих элементов, расположенных с определённым шагом.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Технологии соединения HyperGrid и HyperStac являются новыми и перспективными для России. Их использование в РЭА на подвижных объектах и технологическом оборудовании позволит обеспечить надёжную

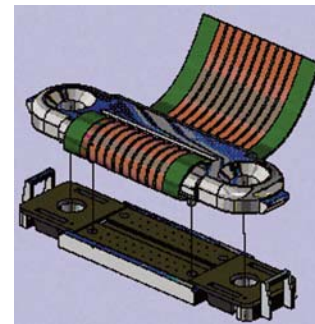


Рис. 6. Соединение HyperGrid с гибким полиамидным шлейфом

коммутацию и беспомеховую передачу сигналов. Внешние воздействия, которым подвергались изделия HyperGrid и HyperStac, и полученные при этом результаты говорят о возможности быстрой сертификации этих соединителей в России.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Широков А.М. Основы надёжности и эксплуатации электронной аппаратуры. Наука и техника, Минск, 1965.
2. Ляровский В.Ф., Мурадян О.Б. Электрические соединители, справочник. Радио и связь, 1988.
3. Кошкин Н.И., Ширкевич М.Г. Справочник по элементарной физике. Наука, 1976.
4. www.hypertronics.com.

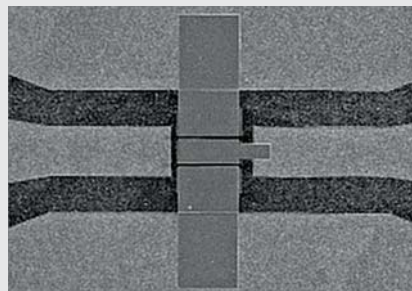


## Новости мира News of the World Новости мира

### Получен алмазный 50-нм транзистор

В числе кандидатов на роль возможной замены кремнию, который используется сегодня для изготовления большинства интегральных микросхем, применяющихся главным образом в вычислительной технике, присутствуют не только углеродные нанотрубки и листы графена. Ещё одним многообещающим материалом является алмаз, тем более что исследователям уже удавалось создавать алмазные транзисторы – японские учёные, сотрудники NTT, смогли сконструировать транзистор с алмазным затвором толщиной всего 100 нм. Совсем недавно появилась информация, что сотрудникам Университета Глазго удалось существенно улучшить технологию изготовления аналогичных наноструктур.

Начиная с 1947 г., года изобретения транзистора, подобные устройства изготавливались на основе либо кремния – главным образом, вычислительная техника, – либо арсенида галлия, более подходящего для радиочастотных ИС. Это обусловлено рядом достоинств и недостатков указанных полупроводниковых материалов, которых, оказывается, лишён алмаз. Согласно отчёту



исследователей Университета Глазго, им удалось создать алмазный транзистор, ширина затвора которого составляет 50 нм – наилучший на текущий момент результат. Необходимость в снижении толщины затвора транзистора обусловлена повышением его скоростных характеристик, а значит, и производительности интегральных микросхем.

В свою очередь, «алмазная» электроника приведёт к развитию совершенно новых технологий, например, «терагерцевое сканирование» и автомобильные системы определения и просчёта столкновений. В первом случае имеются в виду системы сканирования материалов и объектов при помощи электромагнитных волн частотой несколько терагерц. Это соответствует верхней границе диапазона микроволн и нижней границе ин-

фрактасного излучения. Электромагнитные терагерцевые волны абсолютно безопасны для здоровья человека, а значит, могут найти широкое применение в таких устройствах, как сканеры безопасности, позволяющие обнаружить оружие под одеждой, или новое поколение медицинских сканеров. Что касается систем автомобильной безопасности, то «алмазная» электроника может лечь в основу автомобильных радаров. Такие устройства смогут определять наличие объектов в опасной близости от автомобиля и заранее дать команду для активации систем безопасности транспортного средства.

Такая область применения диктует свои требования к интегральным микросхемам, которые должны отличаться не только высокой производительностью, но и стабильной работой в самых тяжёлых условиях. Этим требованиям и отвечает электроника на основе «алмазных» транзисторов. Если же у читателя закрадутся сомнения по поводу высокой стоимости подобных устройств, то спешим его информировать – в данном случае применяются искусственные алмазы, полученные методом химического осаждения из паровой фазы.

physorg.com