

Электрические соединители с интегрированными технологиями стабильного контакта

Дмитрий Гаманюк (г. Саратов)

В России до недавнего времени электрическим соединителям в радиоэлектронной аппаратуре отводилась менее важная роль, чем другим приборам. Однако такие их параметры, как величина переходного сопротивления, его стабильность, способность работать длительное время без искажения сигнала, оказались одними из основных для обеспечения показателей надёжности всего прибора в целом. Многообразие решаемых разъёмными соединителями задач породило множество их конструктивных решений. В статье рассказывается о перспективных продуктах компании – признанного лидера на рынке высоконадёжных стабильных соединителей.

Технология HYPERSPRING И КОНСТРУКТИВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ СОЕДИНИТЕЛЕЙ ТИПА SNAP-TAC

Электрические разъёмные соединители – неотъемлемая составная часть современных радиоэлектронных приборов. В наиболее сложных из них счёт соединителей идёт на десятки тысяч. Соединители должны сочетать в себе малосогласующиеся факторы: значительную величину контактного нажатия и малое значение усилия сочленения и расчленения, исключение искажений передаваемого сигнала и способность противостоять неблагоприятным внешним воздействующим факторам, и т.д. Всё это порождает

множество конструктивных решений соединителей. В конструкции рассматриваемого соединителя используется технология Hyperspring – обеспечение контакта с помощью мощной пружины, не являющейся частью электрической цепи. Технология обеспечения стабильного электрического контакта Hyperspring заключается в создании постоянной площади контактной поверхности за счёт эффективной работы цилиндрической пружины вне зависимости от воздействия внешних факторов. Под стабильными будем понимать такие контакты и соединители, которые в условиях воздействия неблагоприятных факторов внешней среды сохраняют постоянство своих

основных параметров в течение всего срока службы. Электрическая цепь создаётся токопроводящим штырём, подпираемым пружиной и гиперболоидным гнездом, снимающим сигнал со штыря (рис. 1).

Токопроводящий упругий элемент электрического соединителя – всегда компромисс между его электрическими и механическими показателями. Технология Hyperspring позволяет отказать от компромисса, т.е. заведомого ухудшения механических или электрических характеристик в пользу характеристик пружины. За электрическую проводимость отвечают другие элементы соединителя – цилиндрический штырь, демпфированный «абсолютной» пружиной, и надетая на него гиперболоидная корзина. Если разложить внешние механические силы их по ортогональным осям в плоскости рис. 1, то горизонтальные составляющие будут демпфироваться пружиной Hyperspring, а вертикальные – упругими проволоками гиперболоидного гнезда. Электрический ток протекает через площадку контактирования 3 по штырю, затем по гиперболоидному гнезду 5 и далее к коммутируемому приборам.

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ КОНТАКТ В ВИДЕ ГИПЕРБОЛОИДНОГО ГНЕЗДА

Внешний вид гиперболоидной контактной пары представлен на рис. 2. Корзина состоит из упругих проволок, закреплённых на двух кольцах, ограничивающих её длину. Кольца развёрнуты относительно друг друга вокруг оси продольной симметрии корзины, что и обеспечивает сжатие проволок к центру корзины для возможно более плотного охвата штыря. Последний, входя в гнездо при сочленении контактов, растягивает проволоки корзины, обеспечивая надёжный механический контакт. Для исключения потери упругости проволок гиперболоидной корзины, их провисания и ослабления

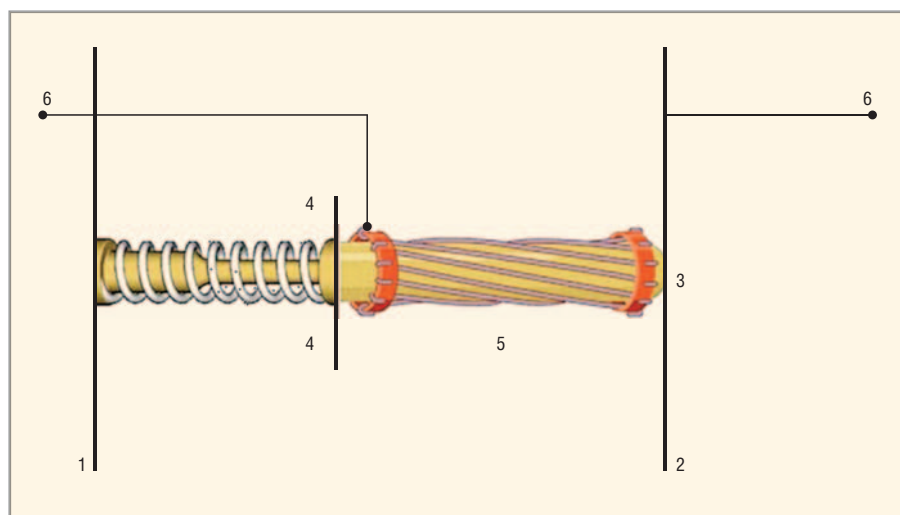


Рис. 1. Принцип построения соединителя Snap-Tac технологии хайперспринг

1, 2 – электрически соединяемые поверхности; 3 – точка контактирования; 4 – электрический изолятор; 5 – гиперболоидное гнездо; 6 – электрические выводы

в процессе эксплуатации, на стадии проектирования соединителя рассчитывается и закладывается выполнение простого условия [1]:

$$\sigma_y \leq \frac{\sigma_{пр}}{n}$$

Здесь: σ_y – усталостные напряжения материала пружины, при которых возможна их остаточная деформация – сохранение «растянутого» состояния после расчленения контактной пары; $\sigma_{пр}$ – реальные напряжения, действующие в пружине в момент максимального растяжения; n – коэффициент запаса упругости. Обычно его выбирают в пределах 1,5...2.

Таким образом, действующие напряжения значительно меньше усталостных, что и гарантирует исключение остаточных деформаций пружин корзины в течение всего срока службы соединителя.

Подробно электрические преимущества соединителя с гиперболоидной корзиной описаны в [2]. Полезно добавить краткий анализ влияния на электрические соединители одного из комплексных воздействующих на аппаратуру факторов внешней среды – фреттинг-коррозии.

ГОСТ 5272 – 68 «Коррозия металлов. Термины» даёт следующее определение: «Фреттинг-коррозия – это коррозия при колебательном перемещении двух поверхностей относительно друг друга в условиях воздействия коррозионной среды». Разрушение металла происходит вследствие его атмосферного окисления, однако скорость процесса значительно увеличивается в некоторой зависимости от показателей колебательного движения.

В результате относительного колебательного движения контактирующих поверхностей возникают силы трения, приводящие к истиранию плёнок молекулярного кислорода, ранее адсорбированных металлом из атмосферы. В некоторый начальный момент времени это способствует увеличению площади чистого металлического контакта и, как следствие, снижению переходного сопротивления соединителя. Далее, однако, наличие чистых металлических поверхностей вкупе с повышающейся вследствие трения температурой приводит к химическим реакциям окисления контактирующих поверхностей. Вследствие постоянного механического воздействия окислы также не являют-

ся защитой от продолжающегося процесса механико-химического износа контактов. Между токопроводящими частями соединителя образуется достаточно широкий слой окислов, толщина которого с увеличением времени эксплуатации может расти. Это приводит к непрогнозируемому увеличению переходного сопротивления контактов, снижению его стабильности во времени и, как следствие, ухудшению характеристик соединителя в целом. На основании анализа работ иностранных исследователей [3, 4] установлено влияние сопротивления при развитии фреттинг-коррозии от усилия контактного нажатия, толщины плёнки защитного покрытия и наличия смазки в контактной зоне. Рисунки 3 и 4, выполненные на основе иллюстраций из данных работ, показывают, что фреттинг-коррозия минимизируется с увеличением и оптимизацией усилия нажатия в контактной паре.

Создающие это давление упругие элементы представляют собой пружины различных конструкций, принципиальное различие которых заключается в их способе крепления в штыре или гнезде [1, табл. 4.1 и 4.2]. Фактически упругий элемент может представлять собой либо консольную балку, закреплённую одним своим концом, либо балку, закреплённую с двух сторон. Примером упругого элемента в виде консольной балки может служить стандартный соединитель с пластинчатой пружиной (рис. 5). Характерный пример упругого элемента в виде балки с двумя опорами – соединитель с гиперболоидным гнездом, выполненным в виде корзины, состоящей из натянутых упругих проволок (рис. 2). При этом проволока гиперболоидного гнезда работает не только на изгиб, но и на растяжение.

Усилие контактного нажатия P_k в контактной паре электрических соединителей в общем случае определяется выражением (1) [5]:

$$P_k = f \frac{nEI_x}{l^3} \quad (1)$$

Здесь: f – прогиб упругого элемента, м; n – коэффициент пропорциональности, зависящий от вида балки и точки приложения контактного усилия: он равен 3 для консольной балки и 48 для балки на двух опорах с силой, приложенной в центре; E – модуль упругости 1-го рода, Н/м²; I_x – момент инер-

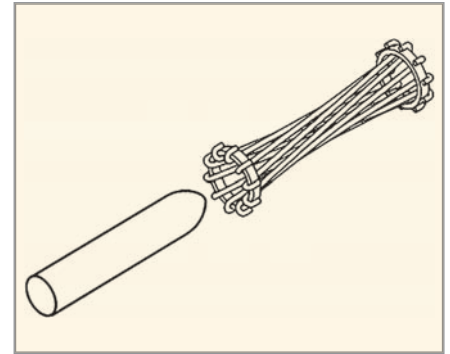


Рис. 2. Гиперболоидное гнездо со штырём

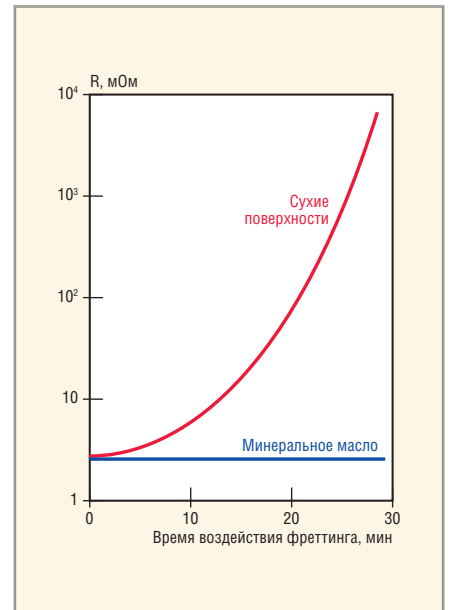


Рис. 3. Рост сопротивления оловянной контактной пары с увеличением времени фреттинга

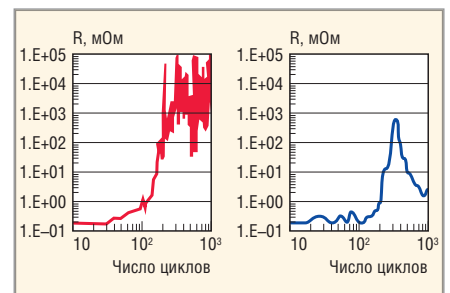


Рис. 4. Рост сопротивления контактной пары в ходе фреттинг-коррозии при контактном усилии 1Н (слева) и 3Н (справа)

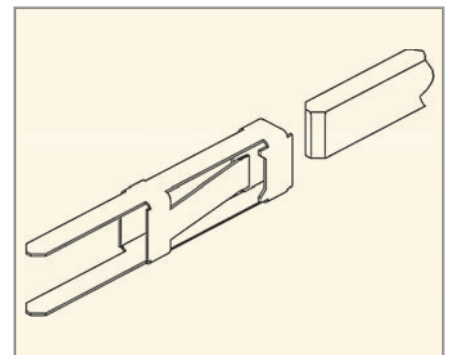


Рис. 5. Соединитель с упругим элементом гнезда типа консольной балки

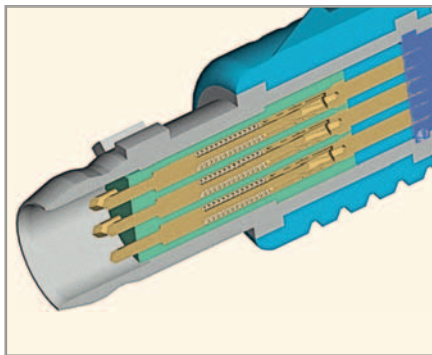


Рис. 6. Цилиндрический соединитель серии SnapTas в разрезе

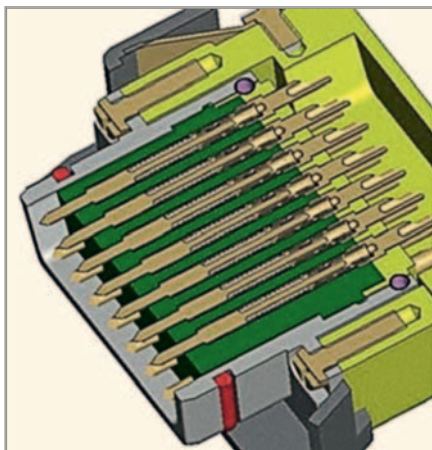


Рис. 7. Прямоугольный соединитель серии SnapTas в разрезе

ции поперечного сечения упругого элемента, m^2 ; l – активная длина упругого элемента, м.

Как нетрудно увидеть из выражения (1), при прочих равных условиях усилие контактного нажатия, создаваемое упругими элементами, в 16 раз больше у конструкции в виде балки на двух опорах с результирующей силой, приложенной в её центре. Эта конструктивная особенность позволяет получать большие контактные усилия, что в конечном итоге кардинально влияет на минимизацию

вредных последствий фреттинг-коррозии.

Известно несколько принципиальных конструктивных схем упругих элементов электрических соединителей в виде балки на двух опорах [1], однако схема гиперболоидной корзины имеет над ними весьма важное преимущество. Оно заключается в гораздо большем числе контактных поверхностей, определяемых числом упругих проволок корзины [2].

ДИФФЕРЕНЦИРОВАННАЯ ОЦЕНКА УСЛОВИЙ РАБОТЫ ПРУЖИН ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СОЕДИНИТЕЛЕЙ И ИХ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Упругие элементы соединителей выполняют несколько задач, основными из которых являются обеспечение требуемого контактного нажатия и демпфирование внешних механических воздействий. В информационных цепях нестабильность переходного сопротивления контактов приводит к возникновению явления самоиндукции с наведением в проводниках паразитных токов, искажающих основной сигнал. Оптимизированные под конкретные условия работы, значения характеристик упругих элементов соединителей позволяют обеспечить стабильность переходного сопротивления и избежать помех при передаче данных. С учётом данных обстоятельств построены и работают соединители HyperGrid и HyperStac компании Hypertronics Corporation. Подробно принципы компенсации вредных последствий самоиндукции в электрических соединителях изложены в [6]. За счёт демпфирования внешних колебаний упругий элемент SnapTas также позволяет получить стабильное

переходное сопротивление в точке контакта 3 (рис. 1), что снижает вероятность возникновения в цепях паразитных сигналов практически до нуля.

Упругие элементы электрических соединителей по технологии Hyperspring и в соединителях HyperGrid фактически представляют собой работающие на сжатие цилиндрические пружины. В случае использования пружины как токопроводящего элемента она выполняется из бронзы различных марок [1]. Бронза как материал для проводника электрического тока и как материал для пружины – далеко не лучший вариант. Оптимальные токопроводящие элементы – это медь, латунь, серебро и золото. Однако эти материалы ввиду своей мягкости не годятся для изготовления пружин. Хорошие пружины получают из стали различных марок, однако электрические свойства последних оставляют желать лучшего. Из таблицы хорошо видны преимущества стали над бронзой при использовании в качестве материалов для пружин. Очевидно, что технология Hyperspring позволяет выбрать материал для оптимальной в каждом конкретном случае пружины без оглядки на его электрические свойства. Свобода выбора и отказ от использования бронзы в пользу стали имеет ещё одно преимущество. Известно [7], что стоимость бронзовых пружин существенно выше, чем стальных. Так, стоимость бронзы в 5,5...75 раз выше стоимости стали. Возможность исключения дорогостоящих материалов приводит в конечном итоге к снижению стоимости всего соединителя и изделия в целом.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Соединитель с интегрированными технологиями сочетает в себе преиму-

Механические свойства пружинных материалов

Марка материала	Профиль материала	Предел прочности, кг/мм ²	Допускаемые напряжения на изгиб, кг/мм ²	Относительное удлинение, %	Модуль упругости, кг/мм ²
Сталь У8А	Лента	130...190	45...65	20	20 000
Сталь У10А	Лента	75...120	–	10	–
Сталь У12А	Лента	75...120	–	10	–
Сплав К40НХМ	Лента	250...270	–	–	–
Бронза Бр.КМц3-1	Проволока, лента	78...90 65...75	– 0,25...0,4	10 2	12 000 –
Бронза Бр.ОФ6,5-0,15	Лента	55...65	16...25	2	10 000
Бронза Бр.Б2	Проволока, лента	75 66	25...31 18...24	1 2	12 500 –
Бронза Бр.ОЦ4-3	Проволока, лента	44 65	–	10 2	9000 –
Латунь Л62	Проволока, лента	42	–	10	10 000

щества гиперболоидного гнезда и технологии постоянного демпфирования внешних механических воздействий Hyperspring с помощью электрически независимой пружины.

На основе принципов построения электрических соединителей данного типа создано несколько типоразмеров как цилиндрических, так и прямоугольных соединителей. Данные продукты отвечают наиболее общим требованиям по построению электрической аппаратуры, однако гибкость технологии позволяет создавать соединители различных форм и размеров по желанию заказчика. На базе рассмотренной технологии созданы коаксиальные, силовые и информационные электрические соединители, обеспечивающие стабильность коммутации в условиях воздействия неблагоприятных факторов внешней среды.

Представляемая технология совместна с функциональными возможностями гиперболоидного гнезда облегчает эксплуатацию аппаратуры, делая возможным быструю замену и ремонт блоков. Лёгкость соединения и разъединения коммутируемых частей обеспечивает возможность создания тестируемых систем и систем программирования и настройки узлов высшей иерархии радиоэлектронной аппаратуры.

Реальные соединители были спроектированы специально для обеспечения передачи сигналов Ethernet, USB, IEEE 1394 в соответствии со спецификациями этих стандартов для передачи

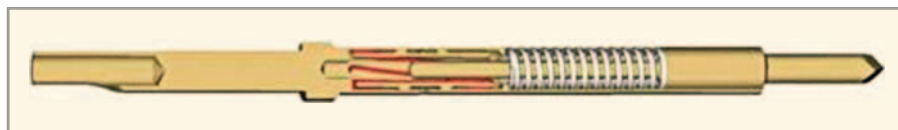


Рис. 8. Технология Hyperspring в соединителях серии SnapTas

информации в военных целях. Соединители SnapTas удовлетворяют требованиям взыскательных потребителей к современным соединителям, которые используются в полевых условиях. Семейство соединителей имеет полноценную защиту от электромагнитных помех. Кроме этого, соединители SnapTas обладают уникальными самоочищающимися контактами, которые снижают необходимость использования защитных устройств, и в то же самое время дизайн электрического контакта обеспечивает предотвращение вибрационной коррозии электрических контактов. Схематично технология и соединители этой серии представлены на рис. 6 – 8.

Преимущества контактов данной технологии [8]:

- самоочищающиеся пружинные контакты HyperSpring® wiping action;
- количество контактов 7 – 19 для цилиндрических и 12 – 21 для прямоугольных соединителей;
- комбинация великолепных показателей защищённости с минимальными размером и массой;
- удобный механизм сочленения и расчленения push-pull;
- полноценное электромагнитное экранирование;
- степень защиты IP67 в сочленённом и расчленённом состоянии;

- четыре различных положения ключевых элементов;
- возможность заливки кабеля;
- возможность работы по современным информационным стандартам Ethernet, USB и IEEE 1394 в соответствии с военными спецификациями этих стандартов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Белоусов А.К., Савченко В.С. Электрические разъёмные контакты в радиоэлектронной аппаратуре. М.: Энергия, 1975.
2. Гаманюк Д.Н. Технология гиперболоидных контактов в технике. Современная электроника. 2008. № 9.
3. Bock E.M. and Whitley J.H. Fretting Corrosion in Electric Contacts. Prepared for Presentation at the Twentieth Annual Holm Seminar on Electrical Contacts. October 29–31, 1974.
4. Factors Influencing Fretting Corrosion of Tin Plated Contacts. Ito T., Matsushima M., Takata K. and Hattori Y. SEI Technical Rev. No. 64. April 2007.
5. Левин А.П. Контакты электрических соединителей радиоэлектронной аппаратуры (Расчёт и конструирование). М.: Советское радио, 1972.
6. Гаманюк Д.Н. Межплатные соединители нового поколения. Современная электроника. 2009. № 5.
7. Шатило Е.А. Пружины электрических аппаратов. М.: Госэнергоиздат, 1959.
8. www.hypertronics.com.