

Технология гиперболоидных контактов в технике

Дмитрий Гаманюк (г. Саратов)

Электрические соединители с конструкцией контактов в виде гиперболоидной проволочной корзины обладают рядом преимуществ по сравнению с другими соединителями, особенно в жёстких условиях эксплуатации. Основой конструкции таких соединителей является гнездовые контакты, выполненные из натянутых упругих проволок, которые изготовлены из специального сплава. При сочленении контактной пары, проволоки гнезда, сохраняя свое напряженное состояние, равномерно прижимаются к штырю по его образующей.

Конструкция гиперболоидных контактов удовлетворяет жёстким требованиям космических и авиационных систем, транспортной, промышленной и медицинской техники. Технология организации электрического контакта получила такое название, поскольку, если смотреть на гнездо, проволоки кажутся изогнутыми по гиперболе (см. рис. 1). Особенности контактной системы и преимущества, которые обеспечивает технология гиперболоидных соединителей, представлены в таблице.

История развития электрических соединителей с гиперболоидными контактами

Автоматизация промышленности, транспорта и военной техники, начавшаяся в 1940-х годах, привела к необходимости использования большего количества силовых и управляющих электрических цепей и, соответственно, к бурному развитию электрических соединителей. Традиционно электрические соединители

строились на основе пластинчатых пружинных, ножевых или клипсовых контактов. В начальный период применение такого рода контактов (см. рис. 2) обеспечивало приемлемое качество электрического соединения и отличалось простотой конструкции, технологичностью и малой стоимостью.

С ростом значений электрического тока, протекающего через соединители, переходом управляющих систем на цифровую обработку первичной информации и сигналов управления, ужесточением требований к помехозащищённости цепей, увеличению абсолютных величин внешних воздействующих факторов (частоты и амплитуды вибрации, ударных перегрузок) стандартные способы создания электрического контакта в паре штырь-гнездо оказались недостаточно надёжными. Главной проблемой, осложняющей работу соединителя под воздействием вибрационных нагрузок, является дребезг контактов вследствие собственных вибраций пружинных контактов и возникающие в момент

разрыва электрического контакта пробой образовавшегося воздушно-го промежутка. В этом электрическом разряде сторают микрочастицы, содержащиеся в воздухе и на поверхности контактов (см. рис. 3).

Первыми возникающую проблему почувствовали на себе транспортные компании, прежде всего железнодорожный транспорт. В 50-х годах прошлого века во Франции по заказу французских железных дорог был разработан новый тип гнездового электрического контакта: гиперболоидное гнездо. Все промышленно развитые страны приобрели патент на конструкцию и технологию изготовления гиперболоидных гнезд. Советский Союз развернул массовое производство таких соединителей на предприятии ЛТАВА (г. Полтава, Украина). После разделения СССР на отдельные независимые государства и общего спада в промышленности компания ЛТАВА потеряла около 15 лет и практически не развивалась, эксплуатируя старые разработки и практически не выпуская новых продуктов. В это же самое время западные компании, объединённые общей торговой маркой HYPERTAC® в группу компаний, успешно работали над совершенствованием старых и созданием новых конструкций соединителей. В настоящий момент линейка только стандартных контактов HYPERTAC® включает в себя 12 стандартных диаметров, начиная от 0,4 мм и до 16 мм – против 0,6 – 0,8 – 1 мм у Лтавы.

Преимущества гиперболоидных соединителей

Особенности контактной системы	Преимущества
Низкое усилие сочленения-расчленения	Снижение полного веса системы за счёт использования соединителей с большим количеством контактов Снижение нагрузки на печатную плату при сочленении (соединители для печатных плат) Увеличение срока эксплуатации
Значительное количество циклов сочленения-расчленения	Низкая стоимость владения Снижение объёма обслуживания и регламентных работ или их полное исключение для контактных систем Увеличение интервалов между техническими обслуживаниями
Низкое контактное сопротивление	Снижение падения напряжения на соединителе Снижение тепловыделения системы
Большой ток на одиночный контакт	Миниатюризация конструкции и увеличение передаваемой электрической мощности на единицу поперечного сечения соединителя
Устойчивость к ударам и вибрации	Использование соединителей для работы в жёстких условиях Создание высоконадёжных систем, не требующих обслуживания и контроля при эксплуатации

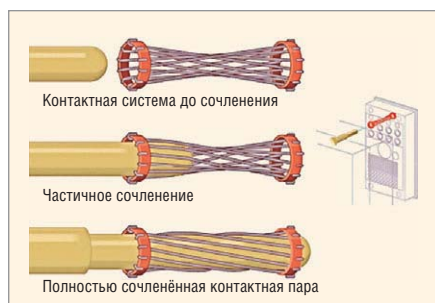


Рис. 1. Гиперболоидный контакт

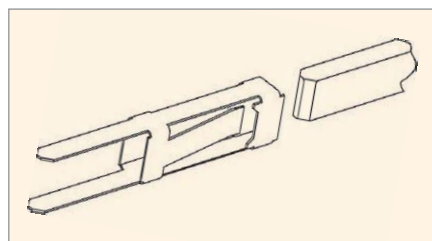


Рис. 2. Схема современного стандартного электрического контакта с пластинчатой пружиной

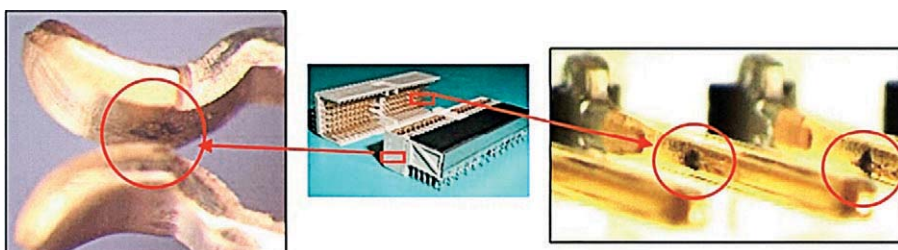


Рис. 3. Подгорание электрических контактов в стандартном соединителе типа compactPCI

На начальной стадии внедрения соединители с гиперболоидными гнездами использовались для силовых электрических цепей и применялись на высокоскоростных железнодорожных поездах на электрической тяге, эксплуатация которых характеризуется большими вибрационными и ударными нагрузками. Позднее преимущества высоконадѐжных соединителей оценили проектировщики авиационной, космической и другой спецтехники, в которой жизненно необходимо обеспечить высокую надёжность коммутаций в жесточайших условиях воздействия механических и климатических факторов.

Преимущества гиперболоидного гнездового контакта проявились и там, где важна абсолютная надёжность электрического контакта, – в медицинской технике. Начиная с последней четверти XX в., гиперболоидные соединители начали внедрять в медицинском приборостроении. Разъѐмы, применяемые в медицинском оборудовании, должны успешно противостоять загрязнению биологическими жидкостями, сохранять электрические и механические параметры после множества циклов соединения, выдерживать удары и вибрацию, а также обладать способностью к самоочищению. Последнее достигается тем, что проволоки гиперболоидного гнезда расположены под углом к продольной оси штыря и при каждом расчленении соединителя каждая проволока

работает как щѐтка, очищая контактную поверхность штыря.

В оборудовании, применяемом в операционных, в дополнение к этому должны использоваться инертные материалы, выдерживающие стандартные методы стерилизации: обработку в автоклавах, этиловыми спиртами и гамма-излучением. Всем этим требованиям наиболее полно отвечают гиперболоидные соединители.

ОСНОВЫ ТЕОРИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ КОНТАКТОВ

Основным параметром, который характеризует свойства электрического контакта, является его электрическое сопротивление. Известно [1], что контактное сопротивление состоит из сопротивления поверхностных плѐнок $R_{пл}$, сопротивления стягивания линии электрического тока к проводящим участкам контактных поверхностей $R_{ст}$ и омического сопротивления токоведущих материалов, находящихся между точками присоединения хвостовиков контактов и основными электрическими цепями R_m . Таким образом, полное сопротивление электрического контакта определяется как $R_k = R_{ст} + R_{пл} + R_m$.

В конструктивно-технологическом смысле сопротивление соединителей принципиально различается лишь значением сопротивления поверхностных плѐнок и сопротивлением стягивания линии электрического тока к проводящим участкам контактных поверхнос-

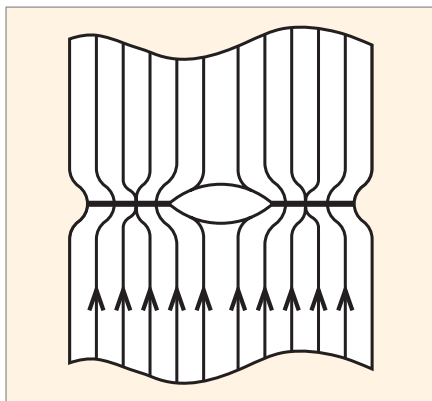


Рис. 4. Схема перехода тока по линиям стягивания через контактные поверхности

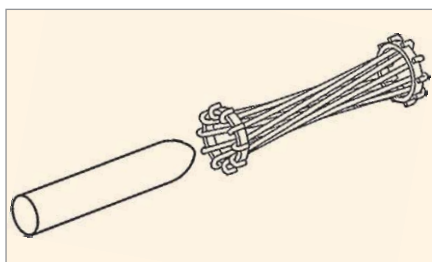


Рис. 5. Конструкция гиперболического гнезда

тей. Сопротивление токоведущих материалов, находящихся между точками присоединения хвостовиков контактов и основными электрическими цепями, зависит от используемых материалов и в основном определяет стоимость и технологичность конкретного соединителя. Возникновение сопротивления стягивания обусловлено различием между площадью полной поверхности контактирования пары и её фактическим значением. В силу шероховатости поверхности сумма площадей участков контактирования чистых металлических поверхностей всегда будет меньше полной площади поверхности контактной пары. Участки поверхности пары с чистым металлическим контактированием образуются вследствие механического разрушения окисной плёнки при механическом воздействии в ходе сочленения контактной пары либо электрического пробоя плёнки.

Электрический ток, протекая между контактами, идёт по пути наименьшего сопротивления, а значит, через площадки чистого металлического контактирования, что обуславливает «стягивание» тока к этим площадкам (см. рис. 4). Поэтому плотность тока на этих участках существенно увеличивается, что и

приводит к резкому возрастанию переходного сопротивления (сопротивления стягивания). Величина сопротивления стягивания определяется выражением:

$$R_{CT} = \rho / 2r \quad (1)$$

(для однотоочечных контактов),

$$R_{CT} = \rho / 2rn \quad (2)$$

(для многотоочечных контактов),

где ρ – удельное электрическое сопротивление контактного материала, Ом м; r – радиус контактной поверхности, м; n – число контактных поверхностей.

Из выражений (1) и (2) видно, что сопротивление стягивания зависит от материала, из которого изготовлены контактные пары, и величина его тем меньше, чем больше радиус контактной поверхности и чем больше число этих поверхностей.

Сопротивление поверхностных плёнок $R_{пл}$ будет определяться выражением:

$$R_{пл} = \rho_{пл} / \pi r^2, \quad (3)$$

где $\rho_{пл}$ – удельное сопротивление плёнки, Ом м²; r – радиус контактной поверхности, м.

При достаточно высокой напряжённости электрического поля происходит пробой плёнки и сопротивление соединителя в основном характеризуется сопротивлением стягивания. Если же пробой не происходит, то плёнка приобретает свойства полупроводника со значительным удельным сопротивлением. Проведённые исследования проводимости показывают, что в случае коммутации постоянных токов высокого напряжения всегда происходит разрыв поверхностной плёнки и сопротивление соединителя определяется лишь величиной сопротивления стягивания. При эксплуатации соединителя в агрессивной среде может образовываться плёнка, тогда её сопротивление суммируется с общим сопротивлением соединителя.

Конструкция гиперболического разъёма (см. рис. 5), включающая в себя гнездо, изготовленное в виде корзины из упругих проволок, и цилиндрический штырь, обеспечивает ряд преимуществ по сравнению с классическими соединителями.

Во-первых, гиперболический разъём имеет множество точек контактирования между упругой корзиной и штырём. Это множество определяется касательными поверхностями упругих проволок с поверхностью штыря. Теоретически касательная между двумя соприкасающимися цилиндрическими поверхностями (провоолокой и штырём) представляет собой прямую линию. На практике, ввиду шероховатости поверхностей, контактные площадки между корзиной и штырём имеют форму прямоугольников, длина которых ограничена длиной корзины, а ширина определяется чистотой обработки и состоянием поверхности в зоне контакта. С течением времени и ростом числа сочленений-расчленений конкретного соединителя (а значит, износа) площадь контактной поверхности только возрастает. Это приводит к увеличению площади металлических контактных поверхностей и, соответственно, к снижению сопротивления соединителя. Наличие же множества точек контактирования, как видно из выражения (2), снижает величину сопротивления стягивания пропорционально числу упругих проволок корзины.

Во-вторых, ввиду особенностей конструкции контактирующей корзины гиперболического соединителя, обеспечивающей жёсткое прилегание токоведущих проволок к цилиндрическому стержню, второй сомножитель выражений (1) и (2) также представляет собой величину большую, чем у классических штырьковых соединителей. Увеличение площади контактирования у гиперболических соединителей происходит за счёт плотного охвата штыря, подобно тому, как чулок охватывает ногу. В условиях работы гиперболических контактов, приводящих к образованию поверхностных плёнок, рассматриваемый тип соединителей также имеет преимущества по сравнению с классическими штырьковыми разъёмами. Из выражения (3) следует, что сопротивление плёнки тем меньше, чем больше радиус контактной поверхности, т.е. площади контактных площадок.

При коммутации высокочастотных электрических цепей сопротивление соединителя характеризуется переходным сопротивлением. На практике для оценки величины переходного

сопротивления используют следующее выражение:

$$R_{\text{пер}} = c\rho\sqrt{H_B} / P_K^b, \quad (4)$$

где c – коэффициент, определяемый чистотой и состоянием поверхности; H_B – поверхностная твердость по Бриннелю; P_K – усилие контактного нажатия; b – показатель, определяемый характером деформации контактной пары, вида и формы контактных площадок. При высоте микронеровностей $b_H = 10...20$ мкм, $c = 2$; при достаточно чисто обработанной поверхности ($b_H = 3...0,8$ мкм), $c = 1$; При контактировании по плоскости $b = 2$. При других формах контакта этот показатель меньше единицы. Анализ выражения (4) показывает, что использование гиперболоидной технологии при коммутации высокочастотных сигналов также способствует минимизации сопротивления контактов и, как следствие, повышает качество и надёжность электрической цепи.

Гиперболоидный соединитель обеспечивает значительно большее, по сравнению с классическими штырьковыми контактами, усилие контактного нажатия (P_K). Кроме того, показатель степени b , в которую следует возводить P_K для соединителей, выполненных по гиперболоидной технологии, будет равен максимально возможному значению 2. Это происходит потому, что контактные площадки гиперболоидных соединителей представляют собой множество плоскостей, по форме приближающихся к прямоугольникам. Остальные параметры выражения (4) зависят от используемых материалов и технологии изготовления и не определяются типом конструкции соединителя.

ОЦЕНКА ПОТРЕБИТЕЛЬСКИХ СВОЙСТВ ГИПЕРБОЛОИДНЫХ СОЕДИНИТЕЛЕЙ

С ростом диапазона воздействий внешних факторов на элементы инженерных конструкций, а также их усложнения, ужесточаются требования к качеству передачи силовых и управляющих электрических сигналов.

Износостойкость. Это свойство соединителей характеризует способность конструкции сохранять требуемые качества во время эксплуатации и с ростом числа циклов сочленений-расчленений. Гиперболоидные со-

единители обеспечивают ровное, лёгкое скольжение сопрягающихся частей контактной пары. Всё это гарантирует низкий износ контактных поверхностей. Кроме того, с течением времени электрическое сопротивление контактной пары даже несколько уменьшается. Это позволяет использовать разьёмы с гиперболоидными контактами в устройствах с большим сроком службы и необходимостью большого числа циклов сочленения-расчленения. Ровное и упругое скольжение контактных поверхностей дополнительно очищает контакты при каждом цикле сочленения-расчленения.

Помехоустойчивость характеризует способность соединителя осуществлять коммутацию электрических цепей без возникновения побочных электромагнитных полей, искажающих основной сигнал. Проведённые испытания и результаты практического использования показывают, что гиперболоидные контакты способны выдерживать очень высокие уровни ударов и вибраций с гарантированной стабильностью соединения; это является одной из причин их широкого распространения в промышленных приборах и аэрокосмической отрасли. Удары и вибрация могут приводить к кратковременным потерям контакта, критичным при использовании высоких скоростей достоверной передачи данных.

Нестабильность контактного сопротивления недостаточно надёжных разьёмов в приборах может приводить к считыванию ошибочных результатов измерений или, в случае использования сложного медицинского оборудования, создать опасность для жизни больного. Благодаря гиперболоидной конструкции разьёма, в особенности из-за 360-градусного охвата окружности штыря упругими проволоками гнезда, устойчивость к высоким уровням ударов и вибрации может быть гарантирована даже при частоте колебаний порядка 2 МГц. Это позволяет использовать данный тип соединителей при работе с сигналами чувствительных датчиков и преобразователей, где должны быть сведены к минимуму потери энергии, электромагнитные помехи и тепловыделение на разьёмах.

Надёжность. Данная конструкция контактов была испытана на

100 000 циклов сочленения-расчленения, показав минимальный износ и отсутствие потери функциональности при сохранении основных электрических показателей в оговоренном диапазоне. В соответствии с требованиями Государственного стандарта РФ ГОСТ 23784 – 98 «Соединители низкочастотные на напряжение до 1500 В и комбинированные. Общие технические условия», число циклов сочленения-расчленения для соединителей конкретного типа выбирается из ряда, максимальное значение которого составляет 1000 циклов. Таким образом, технология гиперболоидного соединителя позволяет увеличить число циклов сочленения-расчленения в 100 раз. Кроме того, как было показано выше, сопротивление гиперболоидного разьёма остаётся практически постоянным при длительной эксплуатации.

Стоимость. Начальная стоимость разьёмов, изготовленных по гиперболоидной технологии, выше стоимости разьёмов, имеющих «классическую» конструкцию. Однако интегральная оценка стоимости эксплуатации всего оборудования, оснащённого гиперболоидными разьёмами, оказывается значительно ниже с учётом высокой надёжности работы этого оборудования и низкой вероятности появления сбоев и электрических помех. В медицинской технике, например, поломка разьёма повлияет не только на стоимость ремонта оборудования, но и на здоровье пациента.

Удобство использования. Типовые проблемы, связанные с использованием разьёмов, обусловлены трудностями подключения и отключения, неустойчивым контактом из-за ударов и вибраций под воздействием факторов внешней среды, отказами или неустойчивым соединением в агрессивных средах, а также выходом из строя из-за неаккуратного обращения. Проведённый выше анализ позволяет сделать вывод, что электрические разьёмы, выполненные по гиперболоидной технологии, свободны от большинства вышеперечисленных проблем. Другими преимуществами гиперболоидных соединителей являются низкие усилия сочленения-расчленения и лёгкость модификации конструкции. Данный тип контактов обладает пониженными

ми усилиями сопряжения, что позволяет монтировать контакты с большей плотностью, нежели контакты обычного типа, предоставляя свободу манёвра для конструкторов и компоновщиков агрегатов.

КРАТКИЙ ОБЗОР КОНТАКТНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИХ МНОЖЕСТВЕННЫЕ ТОЧКИ КОНТАКТИРОВАНИЯ

Как было показано выше, организация множества точек электрического контакта позволяет существенно улучшить параметры электрического соединителя. Кроме гиперболоидной технологии, существует ещё ряд технологий, использующих множественные электрические контакты в своей конструкции.

Витой штырь (см. рис. 6). Технология организации электрического контакта при помощи витого штыря практически является обратной по отношению к технологии гиперболоидного гнезда: штырь выполнен из сваренных на конце тонких упругих проволок. Существующие на сегодняшний день конструкционные материалы не позволяют изготовить данный контакт большого диаметра. Положительным качеством витого штыря является высоконадёжный и микроминиатюрный контакт. Недостатки: большое усилие при сочленении, что в некоторых случаях приводит к смятию штыря; значительные отклонения в геометрических размерах штыря не позволяют создать высокоплотные цилиндрические или прямоугольные соединители с большим количеством рядов. Мировым лидером в производстве соединителей по данной технологии является американская компания Glenair; в России эти соединители производят фирмы «Элекон» и «Исеть»; сборку из украинских комплектующих производит группа компаний «Электронинвест».

Щёточные контакты (см. рис. 7). Компания Amphenol, один из заметных игроков на рынке соединителей для аэрокосмических применений, предлагает технологию щёточных контактов В³ (Bristle Brush Bunch), которая представляет собой две направленные навстречу друг другу микрощётки из жёсткой проволоки. При сочленении каждая проволока, изгибаясь в нескольких

плоскостях, образует несколько точек контактирования. По данным компании Amphenol, количество точек контактирования может достигать 70.

Существующие на сегодняшний день конструкционные материалы не позволяют изготовить щёточный контакт большого диаметра. Недостатком такого соединителя являются значительные отклонения электрического сопротивления от контакта к контакту (и даже в одном контакте) после расчленения и сочленения, что затрудняет передачу сигналов от прецизионных датчиков.

Выводы

На современном этапе развития технологии гиперболоидных соединителей данный тип электрических соединителей превосходит по надёжности, продолжительности эксплуатации, износостойкости, устойчивости к внешним воздействующим факторам и удобству применения все существующие схемы коммутации электрических цепей. Конструктивные и технологические особенности гиперболоидных контактов позволяют строить на их

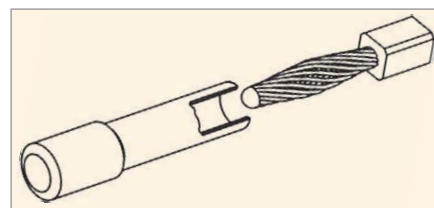


Рис. 6. Контактная система «витой штырь»

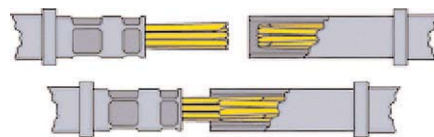


Рис. 7. Щёточная контактная система

нове широкую гамму различных типов электрических соединителей для самых разнообразных применений, что позволяет разработчикам создавать аппаратуру, способную работать в более широком диапазоне воздействия факторов окружающей среды без принятия дополнительных мер для повышения надёжности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ляровский В.Ф., Мурадян О.Б. Электрические соединители. Справочник. Москва: Радио и связь, 1988. ©