

Подпружиненные тестовые щупы для специального применения

Борис ТЕРЕНТЬЕВ
boris@perel-russia.ru

В статье рассмотрены тестовые щупы, предназначенные для обеспечения контакта при сильных (десятки ампер) токах, щупы для тестирования наличия и позиционирования (качественного и количественного) компонентов, щупы для измерения по методу Кельвина, а также СВЧ-щупы.

Обеспечение контакта при сильных токах

При тестировании нагрузки с сильными токами критическими аспектами являются механическая конструкция щупов с их подвижными частями, крепление щупов в тестовом модуле, а также тепловое сопротивление щупа. Щуп должен быть создан таким образом, чтобы минимизировать плотность тока и сопротивление контакта при работе, равномерно для всех отдельных частей щупа на протяжении всего процесса. Следует избегать перегрева устройства, поскольку это ведет к значительному сокращению срока эксплуатации. С этой целью в щупах для сильного тока применяют пружины (рис. 1), способные выдерживать температуру +250 °С без повреждения материала и, соответственно, без снижения срока эксплуатации. Кроме того, необходимо, чтобы ток шел от наконечника к патрону и затем в держатель (первичный ток), а не через пружину (вторичный ток).

Для достижения данных условий существует несколько способов. Например, щупы для сильного тока с цельным плунжером

(рис. 2). В них ток вообще не течет через патрон и держатель — только через, конец плунжера осуществляется электрическое подключение. При такой конструкции пружина находится снаружи плунжера. Патрон и держатель выполняют лишь поддерживающую функцию. Преимущество данной конструкции состоит в очень низком электрическом сопротивлении, что полностью исключает тепловое сопротивление внутри щупа. Однако плунжер перемещается при каждом соприкосновении с тестируемым объектом и соединение на конце плунжера также движется синхронно. Это может привести к сильным механическим нагрузкам на соединение щупа и провода, и, как следствие, к необходимости использовать гибкие провода.

Щупы для сильного тока с составными плунжерами (рис. 2) сконструированы иначе. Плунжер разделен на две части диагональным разрезом. Когда щуп сжимается при нажатии, обе его части прижимаются одна к другой. Благодаря диагональному разрезу они плотно прилегают к гильзе, в результате соединение между плунжером и гильзой имеет очень низкое сопротивле-

ние. Преимуществом щупов для сильного тока с составными плунжерами является то, что они устанавливаются как стандартные. Электрическое соединение со щупом можно произвести обычным способом, подключившись к держателю. Предусмотрена замена щупа без пайки. Благодаря простоте установки данные щупы занимают устойчивую нишу на рынке.

При тестировании приборов с сильными токами важно, чтобы при процессе установления контакта, например при открывании и закрывании тестового устройства, не подавалось напряжение и не шел ток. Иначе может возникнуть искра, что в свою очередь приведет к повреждению поверхности области контакта и к повышению сопротивления контакта. Если этого не избежать, используют щупы из специального серебряного сплава. Они не подвержены выгоранию кон-



Рис. 1. Щупы для сильного тока (без кабеля)



Рис. 2. Варианты конструкции щупов для сильного тока с цельным (слева) и составным (справа) плунжерами

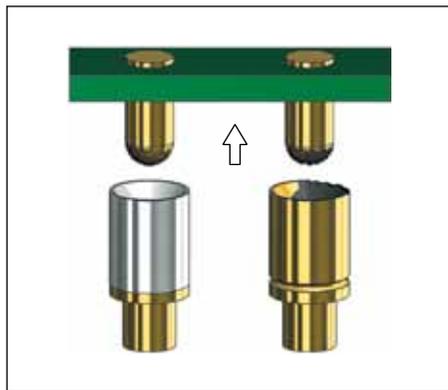


Рис. 3. Сравнение головки из серебряного сплава и головки со стандартным золотым покрытием

тактной области (рис. 3), обладают низким передаточным сопротивлением и большим сроком эксплуатации. Наконечники, изготовленные из серебряного сплава, также отличаются низкой твердостью, что в итоге дает низкое сопротивление контакта, поскольку они хорошо прилегают к поверхности тестируемого устройства.

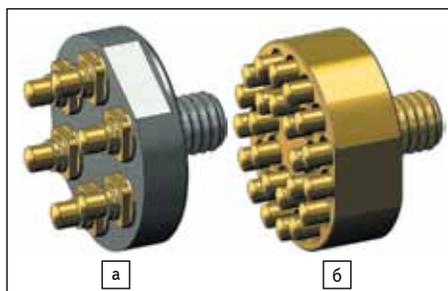


Рис. 4. Щуп для сильного тока:
а) с шестью интегрированными щупами;
б) с 24 интегрированными щупами

Высокой пропускной способности по току можно достичь, используя и контактный блок из нескольких щупов, установленных в параллель (рис. 4). Как и в других случаях, максимальный ток здесь ограничен максимально допустимой температурой контактного блока. В общем он ниже, чем сумма максимальных токов каждого отдельного щупа. Тем не менее объединение нескольких щупов в один контактный блок имеет большое преимущество. Благодаря подпружиненной конструкции интегрированного щупа каждый отдельный контакт соединен с тестируемым устройством, даже если контактная поверхность неровная или расположена под наклоном. Контактные блоки, изготовленные из проводящих материалов, обеспечивают надежное электрическое соединение (например, с кабельными наконечниками) и гарантируют оптимальное распределение температуры и тока. Наружная форма таких контактных блоков может быть адаптирована к поверхности тестируемого устройства.

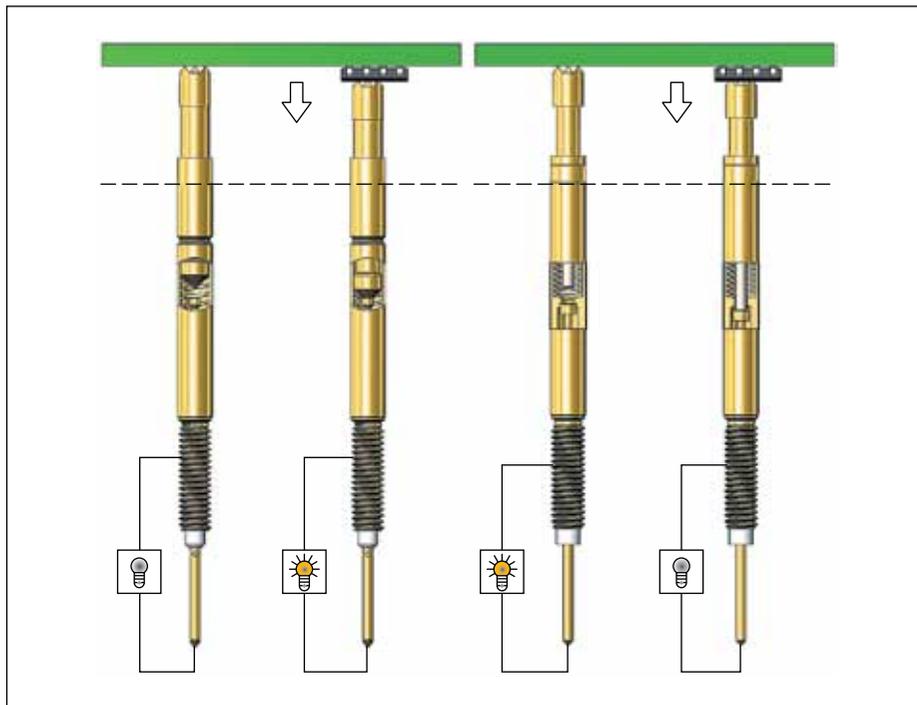


Рис. 5. Принцип тестирования наличия компонента при помощи щупа с выключателем

Тестирование наличия и расположения компонентов на печатной плате и в разъеме

При тестировании печатных плат, как и в случае с электропроводкой, обнаружение наличия компонента на плате или правильной длины контактного элемента является стандартной задачей. В такой ситуации важно найти наиболее экономичное решение, которое оптимизировано для применения в имеющемся пространстве и удовлетворяет требуемой точности измерения.

Тестирование расположения при помощи щупов с выключателями

Наиболее общим методом для выполнения теста расположения при помощи подпружиненных щупов является использование щупов с выключателями, в которых встроенный выключатель замыкается или

размыкается после определенного хода плунжера (рис. 5). Если компонент присутствует, щуп с выключателем сжимается в процессе контактирования (например, при опускании крышки тестирующего устройства) и встроенный переключатель активируется. Если компонент отсутствует, плунжер не сжимается и детектируется ошибка. Для данного метода тестирования выпускается много типов щупов (рис. 6), которые могут быть очень компактными, что позволяет работать в ограниченном пространстве. Однако для проверки электропроводки и разъемов обычно используются очень прочные щупы. Они выпускаются как с нормально-замкнутыми (размыкают схему при срабатывании), так и с нормально-разомкнутыми (замыкают схему при срабатывании) выключателями.

Кроме функции переключения щупы с выключателями позволяют осуществлять электрический контакт с тестируе-



Рис. 6. Щупы с выключателями

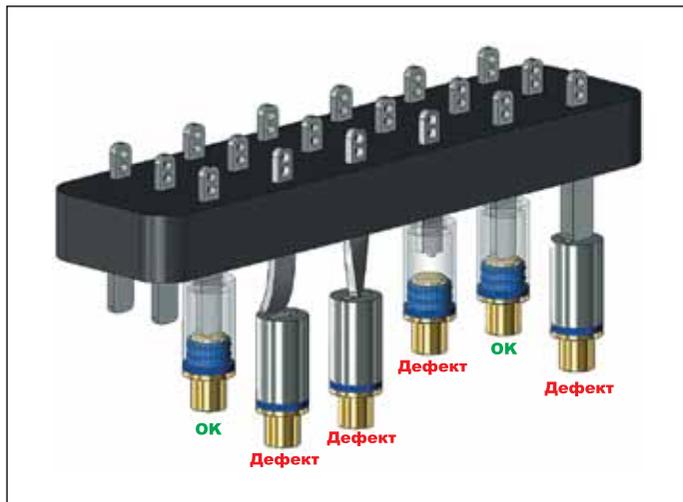


Рис. 7. Принцип работы щупа с изолирующим колпачком, имеющим прорезь

мым устройством. Если же требуется только функция переключения, щупы с выключателями оборудуют изолированным колпачком. В зависимости от остроты или чувствительности контактирующих частей пользователь может выбирать из разных версий изолированных колпачков. Для очень мягкого контакта с тестируемым устройством наиболее пригодным материалом является пластик, для контактирования с острой кромкой или игольчатым выступом выпускаются щупы с изолирующими наконечниками, выполненными из металла. Чтобы различать данные версии щупов, когда они уже установлены, и для различения изолирующих и проводящих наконечников изолирующие наконечники часто покрывают серебром, а не золотом.

Для правильной работы щупам с переключателями требуются раздельные электрические соединения, поэтому их труднее, чем стандартные щупы, установить в тестовые устройства или модули. Для простой замены щупов без пайки выпускаются специальные держатели. Щупы с выключателями легко вставляются или вкручиваются в данные держатели, которые обеспечивают корректную трассировку обоих соединений (внешний контакт и внутренний контакт). Это означает, что электрическое соединение со щупом происходит исключительно через держатель. Помимо экономии средств и времени при замене, данное решение исключает риск неправильной трассировки после замены щупов. Специальные держатели также позволяют настраивать высоту выступа переключателя благодаря встроенной резьбе или меткам на держателях.

В некоторых случаях можно выполнить дополнительное тестирование с помощью специальных версий наконечников. Если наконечник оснащен изолирующим колпачком и/или колпачком с прорезью, можно проверить корректность длины контакта или, например, корректность выравнивания но-

жевых контактов. Однако для таких случаев щуп должен иметь конструкцию, удовлетворяющую требованиям для данного применения, и ход переключения и размеры изолирующего колпачка должны точно соответствовать необходимым величинам (рис. 7).

Для работы с сильными боковыми нагрузками или для бокового контактирования с тестируемым устройством выпускаются щупы с вращающимся шариком на конце. Это обеспечивает боковой контакт с движущимся тестируемым устройством без его повреждения и не сокращает срок эксплуатации щупа.

Тестирование позиционирования при помощи щупов с выключателями с функцией «выкл.-вкл.-выкл.»

Самый точный тест позиционирования выполняется при помощи специальных щупов с функцией «выкл.-вкл.-выкл.», значительно отличающихся от стандартных щупов. Там, где у обычных щупов есть только одна точка переключения после определенного хода, данные щупы имеют две точки переключения на расстоянии, например, миллиметр. Когда плунжер сжимается в процессе контактирования, схема замыкается после определенного хода. Через миллиметр хода схема размыкается вновь. Характеристика «выкл.-вкл.-выкл.» не только позволяет верифицировать наличие компонента или разъема, но и проверяет корректность расположения при помощи только одного щупа

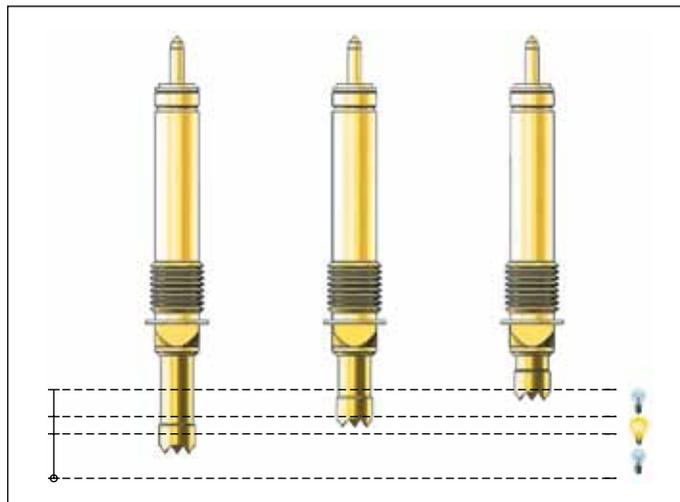


Рис. 8. Принцип работы щупа с функцией «выкл.-вкл.-выкл.»

с выключателями (рис. 8). Типичный пример применения — проверка корректности длины контакта разъема или глубины отверстия в тестируемом устройстве. Точность определения составляет $\pm 0,5$ мм. Этот метод позволяет проверять правильность позиционирования даже в очень ограниченном пространстве.

Количественное тестирование положения при помощи датчика позиционирования

Сегодня все чаще становится необходимым не только обнаруживать наличие компонента (да/нет) или получать результат, ограниченный допуском, но и измерять точную длину вывода или глубину отверстия. Особенно высоки требования к качеству в автомобильной промышленности, к тому же они постоянно растут.

Для данных целей разработана новая модульная конструкция, состоящая из контактного щупа, держателя и датчика позиционирования со встроенным потенциометром (рис. 9). Она настолько компактна, что может использоваться, даже если расстояния между осями щупов составляют лишь 100 мил. Решение базируется на принципе действия делителя напряжения и позволяет точно и с высокой повторяемостью измерить ход плунжера при приложении рабочего напряжения. Полученные данные обычно интегрируются и оцениваются для существующих условий измерения. Одним из преимуществ

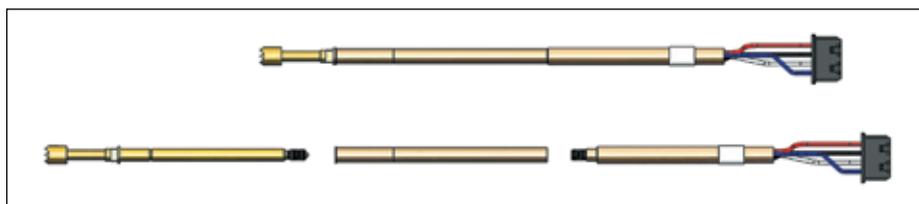


Рис. 9. Модульная конструкция системы с датчиком позиционирования, состоящая из контактного щупа (слева), держателя (в середине) и датчика (справа)

подобного метода является то, что нулевую точку, или референсное значение, можно настроить через программное обеспечение. Это означает, что можно не обращать внимания на точное позиционирование относительно определенного референсного значения при установке датчика позиционирования. Для конвертации измеренного напряжения или сопротивления в миллиметры систему нужно откалибровать после установки. Кроме того, есть разные опции для оценки измеренного сигнала. Путем вычисления разницы между двумя измеренными значениями разных щупов можно определить позитивные и негативные девиации относительно референсного значения с точностью до 0,05 мм. Иначе говоря, в зависимости от конструкции тестовой системы измеренный сигнал может быть обнулен в заданном пользователем положении. Такой метод позволяет получать позитивные и негативные девиации без необходимости вычислять разницу.

Система с датчиком позиционирования пригодна не только для определения положения. Она позволяет осуществлять электрический контакт с тестируемым устройством. У датчика позиционирования всего четыре выводных кабеля, три для потенциометра и один для электрически изолированного подключения к наконечнику щупа.

Разные характеристики переключения

Разницу между тремя упомянутыми выше методами тестирования (стандартный щуп с выключателем, щуп с функцией «вкл.-выкл.-вкл.» и система с датчиком позиционирования) можно увидеть, посмотрев на графики с соответствующими характеристиками переключения (рис. 10). Четко видно, что стандартный щуп с выключателем способен обнаруживать только наличие/отсутствие компонента (да/нет). С помощью щупа с функцией «вкл.-выкл.-вкл.» результат тоже да/нет, но возможно обнаружить отклонение от референсного значения в обоих направлениях (длина вывода в норме, вывод слишком короткий, вывод слишком длинный). Только при использовании линейного датчика позиционирования система выдает линейное соотношение между ходом плунжера и измеряемым сигналом. Поэтому лишь подобный метод позволяет получить количественную оценку позиционирования (например, длину вывода или глубину отверстия). Соответственно, из разных методов тестирования и опций пользователь может выбрать наиболее экономичное решение. В зависимости от требуемой точности и разрешения такое решение может быть как очень простым, так и весьма сложным.

Щупы для 4-проводного измерения сопротивления (метод Кельвина)

Четырехпроводное измерение, также известное как метод Кельвина, используется для точного измерения очень малых сопро-

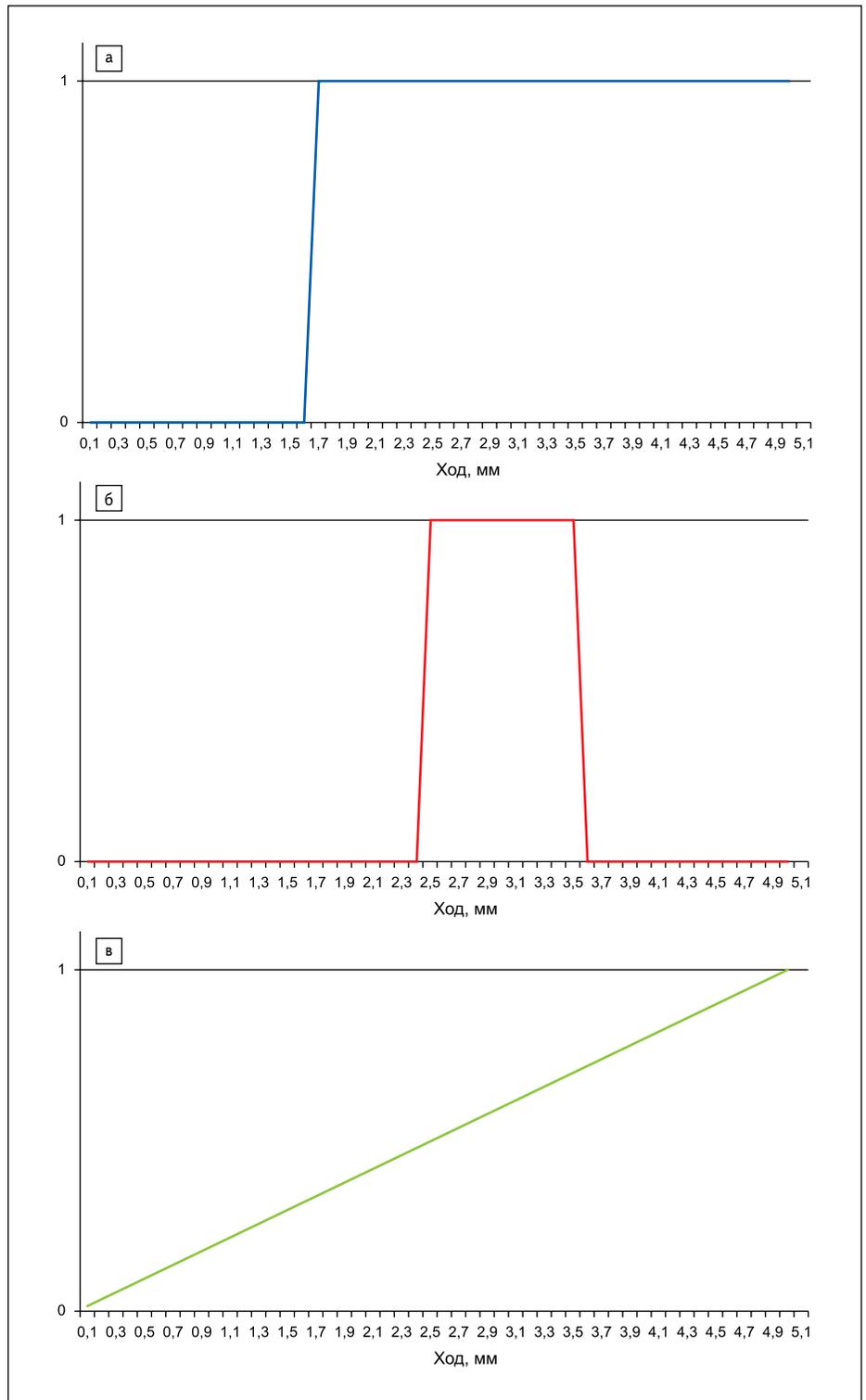


Рис. 10. Кривая переключения для щупов Feinmetall: а) серии F885 (с выключателем); б) серии F487 («выкл.-вкл.-выкл.»); в) серии PS732 (с датчиком позиционирования)

тивлений (рис. 11). Данная техника измерения основана на том, что через тестируемое сопротивление течет постоянный электрический ток, что приводит к созданию разности потенциалов, прямо пропорциональной измеряемому сопротивлению. Поскольку ток постоянный, а внутреннее сопротивление вольтметра очень велико, то сопротивление проводов и контактов не влияет на резуль-

таты измерения. Поэтому данный метод обладает высокой точностью.

Контактирование с тестируемым устройством следует выполнять прямо у выводов элемента, сопротивление которого следует измерить. В условиях ограниченного пространства использование пары щупов Кельвина для этих целей становится идеальным решением. Щупы Кельвина являются

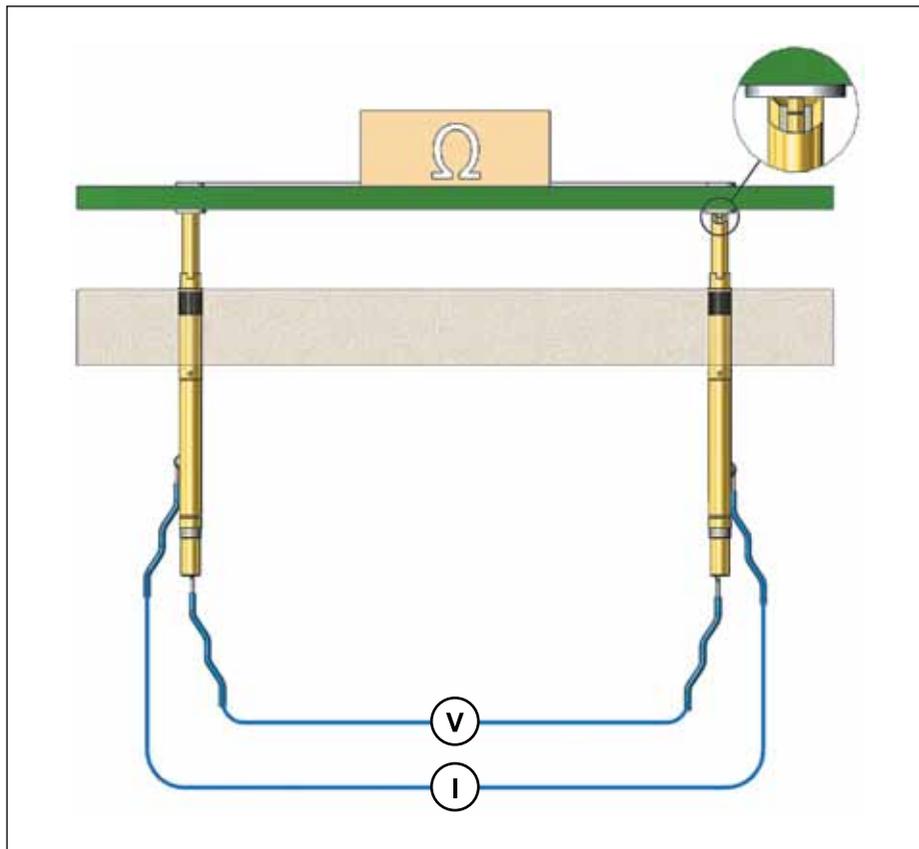


Рис. 11. Измерение сопротивления по методу Кельвина

коаксиальными щупами с внутренним и наружным проводниками. При измерении по методу Кельвина постоянный ток (силовой сигнал) подается по наружному проводнику, а измеряемое напряжение (выходной сигнал) снимается с внутреннего проводника. Для нивелирования механических неровностей и высоты контактных площадок у щупа Кельвина должны быть подпружинены.

При этом к каждому щупу Кельвина следует подключаться в двух точках, поэтому подключение будет более сложным, чем у стандартных щупов. Благодаря специальным держателям можно менять щупы Кельвина без пайки, просто вставив или

вкрутив их. Данные держатели обеспечивают надежный контакт обоих проводников, наружного и внутреннего. Электрическое соединение со щупом осуществляется только через держатель.

Применение СВЧ-щупов

В связи со значительным ростом числа мобильных устройств и прочих продуктов с функциями беспроводной связи потребность в тестировании СВЧ-компонентов постоянно увеличивается. Для обеспечения контакта с такими компонентами тестовые щупы (рис. 12) должны быть способны передавать СВЧ-сигналы с низкими потерями.



Рис. 12. СВЧ-щупы

Первый общий принцип: кусок провода или подпружиненный щуп может рассматриваться как активное сопротивление, но только для постоянного тока или переменного тока низкой частоты. Если длина волны сигнала сопоставима с длиной кабеля или частота переключения очень высока, данная упрощенная модель не подходит. Вычислим длины волн для СВЧ-сигналов. Например, синусоидальный сигнал с частотой 1 ГГц и скоростью распространения $2/3$ от скорости света (типичная скорость распространения в проводнике) имеет длину волны 20 см, а сигнал с частотой 3 ГГц имеет длину волны чуть больше 6 см. Таким образом, при передаче СВЧ-сигнала следует принимать во внимание волновые характеристики сигнала уже при длине провода более 1 см. Для учета данного влияния линию передачи сигнала нужно рассматривать как четырехполюсник (рис. 13).

Четырехполюсник в общем описывает свойства всех возможных линий передачи, такие как провода, радиотрассы и подпружиненные контактные щупы. Идея данного подхода состоит в том, чтобы рассматривать линию передачи как «черный ящик», который записывается входным сигналом. В четырехполюснике входной сигнал частично отражается от входа, частично передается на выход. Тот же подход применим для передачи сигнала в обратном направлении, с выхода на вход. Свойства четырехполюсника исчерпывающе определены системой S-параметров (матрица рассеяния), которые описывают рассеяние сигнала внутри линии передачи.

- S11 — отражение от входа;
- S21 — передача со входа на выход;
- S12 — передача с выхода на вход;
- S22 — отражение от выхода.

Коэффициент передачи со входа на выход S21 также называется вносимыми потерями и определяется в процентах от входного сигнала, который достигает выхода четырехполюсника. Часть входного сигнала отражается от неоднородностей или дефектов на пути сигнала и возвращается на вход. Данная величина описывается параметром S11 и называется потерями на отражение, которые обычно выражаются в децибелах.

Вычисления в децибелах вытекают из логарифмических расчетов и традиционно применяются повсеместно, поскольку результат получается сложением логарифми-

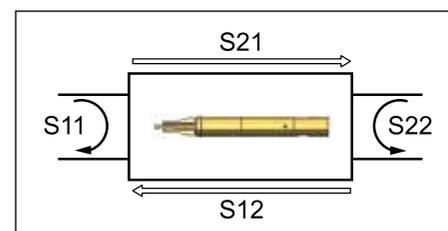


Рис. 13. Контактный щуп как четырехполюсник

ческих величин. При каскадном соединении нескольких четырехполюсников вычисление (и оценку результата) произвести очень легко. Выходной уровень нескольких усилителей или аттенуаторов, соединенных каскадно, определяется просто сложением входного уровня с коэффициентом усиления (ослабления). Для определения величин, характеризующих мощность (таких как энергия, интенсивность и мощность), следует помнить, что уровень +10 дБ означает усиление по мощности в 10 раз, +3 дБ усиление в два раза, -3 дБ означает ослабление мощности в два раза, а -10 дБ означает ослабление в десять раз. Если уровень сигнала не изменился, соответственно, усиление (ослабление) в 0 дБ. Поскольку СВЧ-сигнал может передаваться по проводам (или через щупы) только на очень малые расстояния, для контакта с СВЧ-компонентами часто используются коаксиальные щупы. В этом случае внутренний проводник предназначен для передачи сигнала, а внешний выполняет роль экрана. Между внутренним и внеш-

ним проводниками помещается диэлектрик. Цель — реализовать щуп с размерами, пригодными для передачи СВЧ-сигнала, чтобы передать тестовый сигнал в максимально широком диапазоне (полосе пропускания) с наименьшими потерями.

При передаче СВЧ-сигнала волновое сопротивление должно быть по возможности постоянным на всей линии передачи. Иначе в точках изменения сопротивления возникнут отражения. Полное входное сопротивление СВЧ-линии передачи обычно имеет определенное значение (50 или 75 Ом). Поэтому подпружиненный контакт, являющийся частью данной линии, также должен иметь соответствующее волновое сопротивление. Это называется согласованием. Чем лучше согласование, тем лучше параметры передачи сигнала.

Волновое сопротивление подпружиненного контактного щупа вытекает из особенностей его конструкции, главным образом, из соотношения между диаметром внутреннего проводника и диаметром диэлектриче-

ского наполнителя и его диэлектрической постоянной. Это означает, что при изменении диаметра или материала также изменяется и волновое сопротивление, что приводит к нежелательным отражениям.

При изучении линии передачи сигнала для СВЧ-теста важно исследовать полную комбинацию тестируемого устройства, СВЧ-щупа и соединительного элемента, поскольку все эти точки передачи могут вызвать нежелательные отражения. На практике высокий процент потерь сигнала возникает из-за несогласованности между контактным щупом и тестируемым устройством в точке соединения.

Для оценки параметров СВЧ-щупа обычно принимают во внимание параметры рассеяния. Данные характеристики можно вычислить или измерить. На диаграммах они часто отображаются как функция частоты. Полоса пропускания устанавливается по уровню -3 дБ. При вносимых потерях -3 дБ мощность снижается на 50%, что соответствует падению напряжения на 30%. ■