

Технология настройки полосковых СВЧ-устройств

А. С. ПОДСТРИГАЕВ¹, В. П. ЛИХАЧЕВ², Л. Б. РЯЗАНЦЕВ²

¹ Брянский государственный технический университет, Брянск, Россия, e-mail: ap0d@ya.ru

² Военно-воздушная академия им. проф. Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина, Воронеж, Россия, e-mail: kernel386@mail.ru

Рассмотрена технология настройки полосковых СВЧ-устройств различных габаритных и присоединительных размеров. Предложены конструкция измерительного приспособления и методика проведения измерений. Приведены исследования частотных характеристик калибровочных плат, представляющих отрезки 50-омных микрополосковых линий.

Ключевые слова: СВЧ-устройства, частотная характеристика, калибровка, экранирование, полосковая линия.

The adjustment technology for the microwave strip devices of different dimensions and sizes of connection mechanism is considered. Design of a measuring instrument and a measuring procedure are introduced. Studies on frequency characteristics of calibration plates in the form of 50-ohm micro-strip line segments have been conducted.

Key words: microwave devices, frequency characteristics, calibration, shielding, strip line.

Средства формирования, обработки, приёма и передачи сигналов, выполненные на полосковых линиях передачи, широко распространены в радиолокационной, связной, радионавигационной технике, системах радиуправления и радиоэлектронной борьбы. Их основные преимущества: простота и технологичность изготовления, высокая повторяемость, низкие потери сигнала и малые габаритные размеры. Причём благодаря простоте подстройки параметров наибольшее распространение получили устройства на микрополосковых линиях (МПЛ) передачи.

Несмотря на высокий уровень развития современной техники и технологий различные партии материалов подложки СВЧ-устройств отличаются значительными отклонениями

диэлектрической проницаемости ϵ_0 от номинального значения. К тому же в процессе разработки СВЧ-устройств накапливаются погрешности расчётов, моделирования и производства. Всё это делает актуальным подстройку МПЛ СВЧ-устройств на этапе макетирования. При этом сложные составные устройства целесообразно разбивать на составляющие и оптимизировать по отдельности.

В зависимости от функционального назначения и схемно-конструктивного построения, СВЧ-устройства различаются количеством входов и выходов, вводов питания, габаритными и присоединительными размерами, маркой и толщиной материала подложки. Всё это необходимо учитывать при подключении устройства к измерительной аппаратуре.

В настоящее время для настройки СВЧ-устройства (группы устройств, схожих по конструктивному исполнению) изготавливается отдельное технологическое приспособление. На этапе макетирования настраиваемое устройство — это плата (основание), дополнительные конструктивные элементы на ней, как правило, отсутствуют. Поэтому приспособление для настройки — это проводящее основание с углублением для установки СВЧ-устройства и коаксиально-микрополосковыми переходами (КМПП). Переходы могут перемещаться в небольших пределах [1]. Необходимость изготавливать различные варианты приспособления в зависимости от конструктивных параметров калибруемого СВЧ-устройства — основной недостаток такого метода.

Альтернатива — менее затратный жёсткий монтаж КМПП на плату настраиваемого устройства методом пайки. Причём для обеспечения жёсткости конструкции пропаивается большая поверхность. В результате возникают проблемы, связанные с нагревом платы при монтаже и демонтаже: перегрев платы, отслаивание дорожек, и, следовательно, плата может быть испорчена.

Таким образом, существует необходимость создания технологии настройки СВЧ-устройств со следующими возможностями: настройки МПЛ СВЧ-устройства, независимо от его

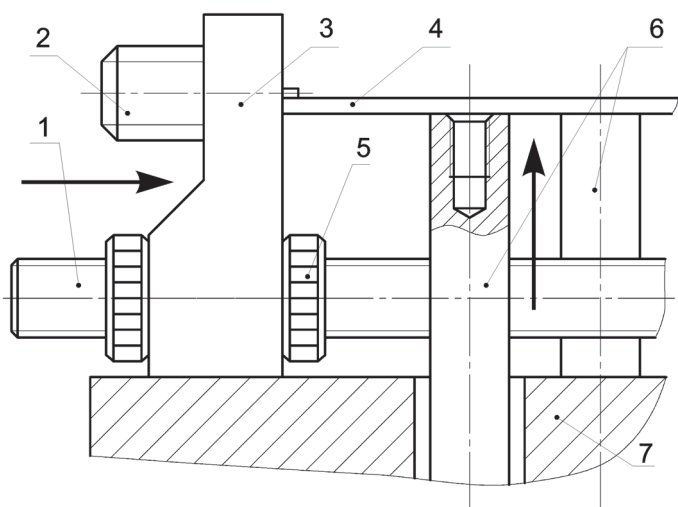


Рис. 1. Конструктивные элементы приспособления:

1 — ось; 2 — КМПП переход; 3 — кронштейн; 4 — СВЧ-устройство с микрополосковыми выводами; 5 — фиксирующие гайки; 6 — толщина; 7 — основание

габаритных размеров, расположения выводов и толщины платы; быстрого и многократного соединения — отсоединения КМПП для снятия характеристик в процессе настройки (проверки), исключающего повреждение устройства; экранирования настраиваемого устройства; обеспечения достоверности и точности измерений.

Конструкция приспособления. Конструкция универсального для подключаемых устройств приспособления представлена на рис. 1. Приспособление позволяет устанавливать и закреплять СВЧ-устройства в широком диапазоне линейных размеров за счёт наличия элементов, подвижных по трём осям. Каждый КМПП 2 закреплен на кронштейне 3, который передвигается по оси 1. Ось 1 перемещается по направляющим в плоскости, перпендикулярной плоскости рисунка (направляющие на рис. 1 не показаны). Таким образом, КМПП можно притянуть к микрополосковым выводам, расположенным по краям СВЧ-устройства 4, и зафиксировать положение кронштейна на оси гайками 5.

Толщину платы настраиваемого СВЧ-устройства учитываем, сдвигая его в вертикальной плоскости. Закреплённые на подвижных плитах (не показаны) толкатели 6 поднимают СВЧ-устройство 4 на необходимую высоту. Плиты могут двигаться по направляющим параллельно металлическому основанию приспособления 7. Вследствие этого приспособление не привязано к толщине платы.

Для фиксации настраиваемого устройства центральные проводники переходов прижимаются к выводам на плате устройства с силой, достаточной для контакта, но при этом исключающей искривление вывода КМПП. При настройке больших по площади устройств прижим платы толкателями приводит к её выгибанию, что уменьшает площадь соприкосновения платы с КМПП, ухудшая электрический контакт и внося погрешность в результаты измерений. Для дополнительной фиксации таких устройств в толкателях 6 предусмотрены крепёжные отверстия под винты.

Стрелками на рис. 1 показаны направления приложения усилия для фиксации. В состав приспособления заложены отечественные переходы СРГ-50-751 ФВ, обладающие коэффициентом стоячей волны по напряжению (КСВН) $\leq 1,5$ в диапазоне 0—18 ГГц. Возможно расширение диапазона частот и снижение КСВН за счет использования других КМПП.

На основе представленных выше конструктивных решений разработано приспособление для настройки СВЧ-устройств, имеющих микрополосковые выводы. Рабочее пространство приспособления разделено на четыре идентичные секции. Каждая секция собирается индивидуально под конкретное устройство. Для подведения питания и сигналов управления каждая секция дополнена клеммной колодкой, установленной на торце основания. Рядом с колодками смонтированы клеммы заземления. При настройке большого по размерам СВЧ-устройства, а также при совместной настройке нескольких устройств секции могут объединяться. Количество подсоединяемых к устройству КМПП может быть любым, так как оси с закреплёнными на них кронштейнами легко отсоединяются и переносятся в нужную секцию. Возможно экранирование настраиваемого устройства посредством изготовления стенок из жёсткой фольги. Фольга крепится к специальным, миниатюрным стойкам, устанавливаемым на плату устройства, либо фиксируется элементами приспособления.

Минимальное расстояние между выводами на одной стороне устройства зависит от ширины кронштейнов и состав-

ляет 8 мм. Толщина платы настраиваемого устройства определяется расстоянием между осями и центральными проводниками КМПП. Минимальные габаритные размеры СВЧ-устройства составляют 3×5 мм, а максимальные 200×280 мм. Достоверность и точность измерений обеспечивают использование калибровочных плат и надёжная фиксация настраиваемого устройства на приспособлении.

Экранирование СВЧ-устройства. Экранирование настраиваемого СВЧ-устройства требуется, если впоследствии оно будет установлено в корпус, стенки которого приближены к СВЧ-элементам на плате. Значение эффективной диэлектрической проницаемости мало зависит от высоты расположения экрана над платой, если высота превышает толщину платы не менее, чем в 10 раз [2]. То же верно и для боковых стенок. Поэтому экранирование необходимо только в том случае, если указанная зависимость не соблюдается.

Для изготовления экрана можно использовать фольгу. Эксперименты показали возможность работы с мягкой алюминиевой фольгой АД1М 0,05 [3]. Она легко поддается механическим воздействиям, позволяя изготовить экран, и сохраняет форму после деформации. Можно применять фольгу большей толщины. Фольга твёрдых марок (ДПРХТ ХХХ НД А5) не так удобна для применения и ломается по швам [3].

Исследование погрешностей измерений. Во время измерений неоднородности в местах соединения выводов СВЧ-устройства с КМПП вносят погрешности. Например, при соединении КМПП с полоском посредством перемычки вводится паразитная индуктивность, при соединении пайкой из-за растекания припоя возникает дополнительная ёмкость [1]. Проблема качественного, надёжного и устойчивого подключения измерительной аппаратуры к исследуемому устройству и элементам калибровки характерна для СВЧ-техники в целом [4].

Для оценки влияния неоднородностей на коэффициент передачи в широком частотном диапазоне выполнены измерения для плат, представляющих отрезок проводника на заземленной подложке, т. е. отрезок МПЛ. Волновое сопротивление МПЛ — 50 Ом. Параметры плат приведены в таблице. Платы выполнены из RO4003C и поликора марки ВК 100-1 [5, 6]. Для уменьшения затухания габаритные размеры плат выбраны минимальными.

Параметры калибровочных плат

Параметр	Плата 1	Плата 2
Материал подложки	RO4003C	ВК 100-1
Диэлектрическая проницаемость подложки ϵ_0	3,38±0,05	9,6±0,2
Длина платы L , мм	7,5	6
Ширина платы H , мм	20	7,5
Ширина полоска W , мм	1,1	0,48
Толщина подложки h , мм	0,508	0,5

При экспериментальных исследованиях погрешности измерений на приспособлении использован измеритель модуля коэффициента передачи и отражения P2M-18/2, подключаемый к КМПП приспособления посредством коаксиальных переходов ПК2-18-11Р-03, ПК2-18-11-03.

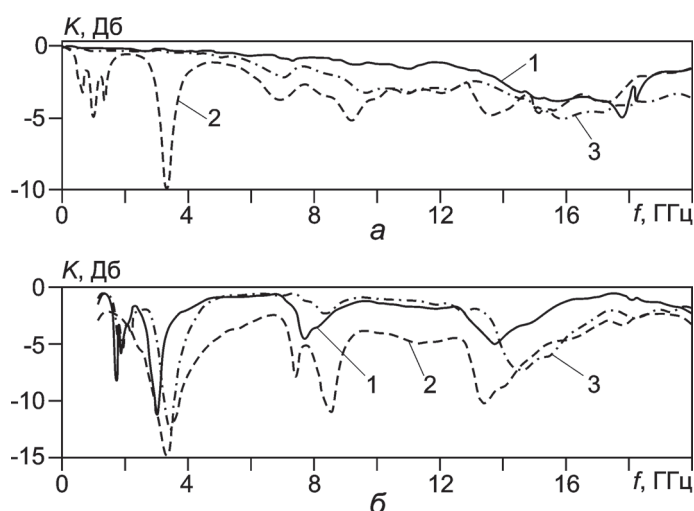


Рис. 2. Частотные зависимости коэффициента передачи для плат 1(а), 2(б) и способов присоединения: 1 — прижатием, 2 — с помощью перемычки, 3 — пайкой

Измерения для каждой платы выполнены при подключении: прижатием, с помощью перемычки и пайкой непосредственно к полоску.

Анализ зависимостей на частотах менее 4 ГГц и более 13 ГГц (см. рис. 2) показывает локальные минимумы коэффициента передачи. Их причина — зазор между платой и кронштейном, а также недостаточное прижатие плат к заземляющему толкателю. При всех трёх способах крепления для платы из поликора (рис. 2, б) результаты похожи. Для платы из материала RO4003C (рис. 2, а) в случае соединения прижатием и пайкой получены более гладкие характеристики, обусловленные лучшим прижатием к КМПП. Это объясняется меньшими зазорами между платой и кронштейнами, улучшенным контактом с заземляющими толкателями. Монтаж с помощью перемычки не позволил выполнить прижатие так же качественно. А для платы из поликора сильное прижатие приводит к растрескиванию.

Следует отметить, что способ крепления прижатием позволяет быстро выполнять монтаж СВЧ-устройства на приспособление и является наиболее удобным на практике. Частотные характеристики, полученные для данного способа, практически не отличаются от характеристик, полученных для других способов. Поэтому крепление прижатием может быть рекомендовано в качестве предпочтительного. Недостатком способа является выявляемая при многократ-

ных измерениях погрешность, вызванная слабой фиксацией центрального вывода КМПП на устройстве. Кроме того чрезмерная механическая нагрузка на вывод КМПП приводит к его искривлению, что влияет на волновое сопротивление перехода и, соответственно, на точность измерений. Поэтому состояние центрального вывода КМПП необходимо периодически контролировать. Возможно использование КМПП с более жесткими центральными выводами, чем у применённых СРГ-50-751 ФВ.

Заключение. Рассмотренная в настоящей статье технология позволяет выполнять настройку и проверку СВЧ-устройств, имеющих микрополосковые выводы (устройства не обязательно могут быть выполнены на МПЛ). Возможна одновременная проверка нескольких устройств и совместная их настройка. На предприятиях — потребителях изделий СВЧ-электроники приспособление, составляющее основу технологии, можно использовать для проведения входного контроля.

Литература

1. Бахарев С. И., Вольман В. И., Либ Ю. Н., Мамонова Н. М., Муравцов А. Д., Саркисянц А. Г., Силин Р. А., Славинский О. К., Ширяев Д. Д. Справочник по расчёту и конструированию СВЧ полосковых устройств. Справочное пособие / Под ред. В. И. Вольмана. М.: Радио и связь, 1982.
2. Джуринский К. Б. Миниатюрные коаксиальные радиокомпоненты для микроэлектроники СВЧ. М.: Техносфера, 2006.
3. ГОСТ 618—73. Фольга алюминиевая для технических целей. Технические условия.
4. Мазепова О. И., Мещанов В. П., Прохорова Н. И., Фельдштейн А. Л., Явич Л. Р. Справочник по элементам полосковой техники. Справочное пособие / Под ред. А. Л. Фельдштейна. М.: Связь, 1979.
5. Андронов Е. В., Глазов Г. Н. Теоретический аппарат измерений на СВЧ: Т. 1. Методы измерений на СВЧ. Томск: ТМЛ-Пресс, 2010.
6. ТУ 11-81 Ще0.781.000. Подложка. Технические условия. 1981.
7. RO4000 Series High Frequency Circuit Materials [Электрон. ресурс] <http://www.rogerscorp.com/documents/726/acs/RO4000-LaminatesData-sheet.pdf> (дата обращения 12.12.2015 г.).

Дата принятия 09.02.2016 г.