

Нестандартные решения измерительных задач в коаксиальных и полосковых линиях передачи

С.М. Никулин¹, Г.Р. Кун², В.А. Сухоруков³, И.Н. Малышев⁴, А.А. Терентьев⁵

¹Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

²АО «НПФ «Микран»

³ООО Арзамасское приборостроительное конструкторское бюро

⁴АО «НПО «ЭРКОН»

⁵ООО «Микроволновые измерения»

Аннотация: в данной работе рассмотрены решения нестандартных измерительных задач определения характеристик коаксиальных адаптеров с SMP разъемами и контроля собственных параметров SMD-компонентов с учетом способов монтажа в экранированную микрополосковую линию передачи с частотно зависимым волновым сопротивлением. Обсуждается способ сокращения временных и материальных затрат при определении оптимальных условий широкополосного согласования мощных СВЧ транзисторов на ограниченном массиве частотных точек.

Ключевые слова: коаксиальный соединитель, адаптеры P-SMA-SMP, прямые и возвратные потери, SMD-компоненты, полосковая линии, волновое сопротивление, S-параметры, согласующие цепи, мощные СВЧ транзисторы.

1. Введение

В практике микроволновых измерений параметров объектов в стандартных коаксиальных каналах и в полосковых линиях накоплен богатый опыт решения измерительных задач. Широкое применение имеют оригинальные методы измерений во временной и частотных областях, совершенные измерительная аппаратура, программные и технические средства. Тем не менее даже в стандартных коаксиальных каналах возникают проблемы измерения S-параметров межканальных адаптеров P-SMA-SMP, кабельных сборок и устройств различного функционального назначения с SMP разъемами ввиду отсутствия мер волнового сопротивления для OSMТ калибровки [1,2].

При измерениях собственных параметров SMP-компонентов необходимо исключить неопределенность получаемых результатов ввиду неизвестной частотной зависимости волнового сопротивления и влияния способов монтажа контролируемых изделий в экранированную микрополосковую линию передачи [3,4].

В докладе обсуждаются оригинальные нестандартные решения задач контроля параметров объектов в микроминиатюрном коаксиальном канале и в экранированной микрополосковой линии передачи, а также способы сокращения материальных и временных затрат при измерении согласующих импедансов мощных СВЧ транзисторов на ограниченном массиве частотных точек

2. Измерение S-параметров коаксиальных соединителей с SMP разъемами

Для измерения S-параметров коаксиальных соединителей с SMP разъемами в АПКБ разработана технология решения этой нестандартной измерительной задачи с использованием трех межканальных адаптеров P-SMA-SMP с разным сочетанием

разъёмов типа вилка-розетка и двух адаптеров P-SMP розетка -розетка разной длины¹. Внешний вид межканальных адаптеров P-SMA-SMP (A, B, C) и адаптеров P-SMP (D, E) показан на рисунке 1.

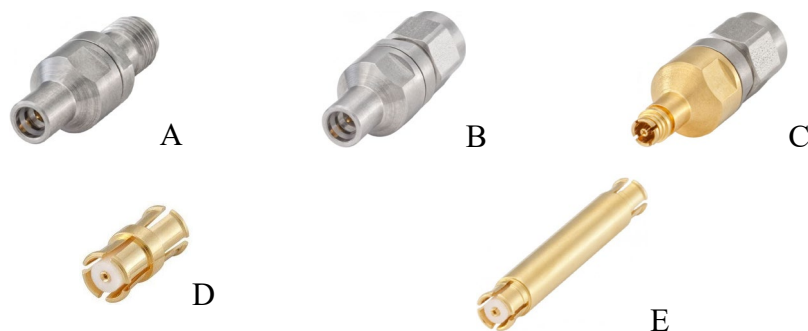


Рисунок 1. Межканальные адаптеры P-SMA–SMP с разным сочетанием разъёмов типа вилка-розетка и адаптеры P-SMP розетка-розетка billet длиной 6,45 и 24,19 мм компании Rosenberger Германия.

Волновые параметры рассеяния сквозных соединений межканальных адаптеров и их соединений адаптерами P-SMP позволяют определить S-параметры всех соединителей. На рисунке 2 приведены графики частотных зависимостей вносимых и возвратных потерь P-SMA-SMP и P-SMP адаптеров.

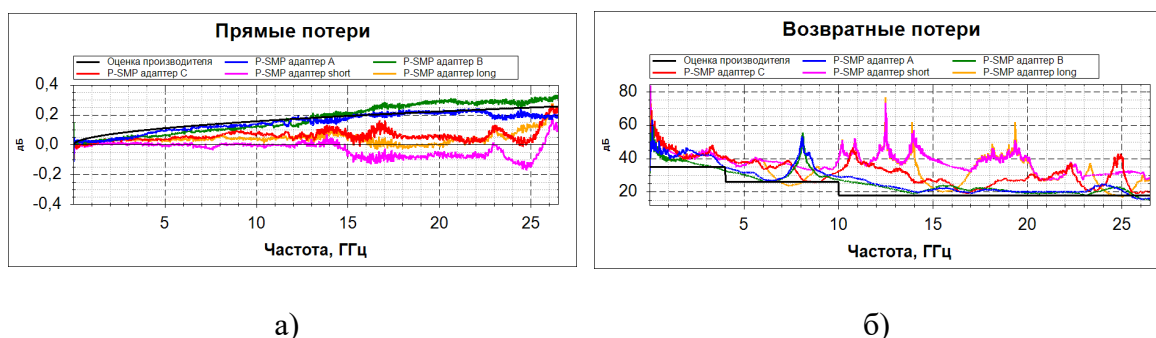


Рисунок 2. Графики частотных зависимостей вносимых -а) и возвратных -б) потерь адаптеров P-SMA–SMP и P-SMP. Синяя, зеленая и красная линии соответственно A,B,C межканальные, коричневая и черная линии – D,E – P-SMP адаптеры.

По данным компании Rosenberger вносимые потери адаптеров удовлетворяют условию:

$$\text{Insertion loss} \leq 0.05 \times \sqrt{f(\text{GHz})} \text{ dB} . \quad (1)$$

Эта оценка показана на рисунке 2а линией черного цвета. Математически строгое решение для S-параметров адаптеров получить не удастся. Разрывный характер искомых решений удалось преодолеть средствами интерполяции и итерационной процедурой поиска конечных результатов. На рисунке 2б помимо графиков частотных зависимостей возвратных потерь P-SMA–SMP и P-SMP адаптеров приведены оценки их предельных значений (ступенчатая линия черного цвета) по данным компании Rosenberger в диапазоне частот с верхней границей 4 ГГц и в диапазонах от 4-х до 10-ти и от 10-ти до 26,5 ГГц.

¹ Измерения выполнялись с помощью анализатора цепей P4226 «Панорама» в соответствии с программой опытной эксплуатации прибора по договору, заключенному между ООО «АПКБ» и НПФ «МИКРАН».

3. Измерение собственных импедансов SMD-компонентов в экранированной микрополосковой линии передачи

Электронные SMD-компоненты, установленные в экранированной микрополосковой линии в оснастке с коаксиально-полосковыми переходами, являются источниками возникновения локальных не распространяющихся высших типов электромагнитных волн. Локальное возмущение электромагнитного поля определяется конструкцией, материалами и геометрией поперечного сечения линии передачи, а также способом монтажа электронного компонента, в разрыве полоскового проводника, между полосковым проводником и верхним экраном или в качестве оконечной нагрузки, как показано на рисунке 3.

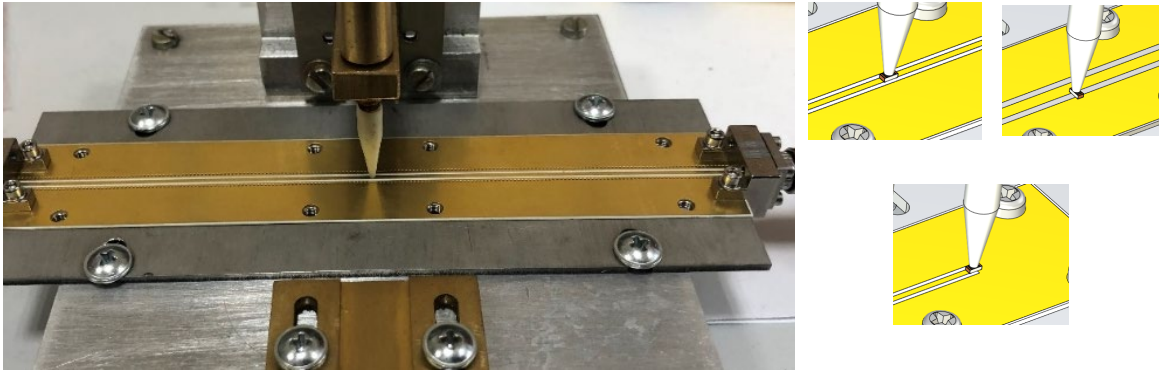


Рисунок 3. Оснастка с коаксиально-полосковыми переходами и варианты монтажа SMD - компонента в экранированную микрополосковую линию.

Собственные импедансы электронных компонентов определяют во всем диапазоне работы анализатора цепей LTR-методом [3,4]. В докладе на примере SMD резисторов и катушек индуктивности типоразмера 0402 обсуждается влияние на собственные импедансы способов монтажа и частотно зависимого волнового сопротивления полосковой линии. В качестве иллюстрации выполненного анализа на рисунке 4 приведены графики частотных зависимостей: - волнового сопротивления микрополосковой линии $Z_B(f)$, изготовленной из материала RO4350B, а также реальных и мнимых значений импедансов SMD-резистора P1-160 50 Ом².

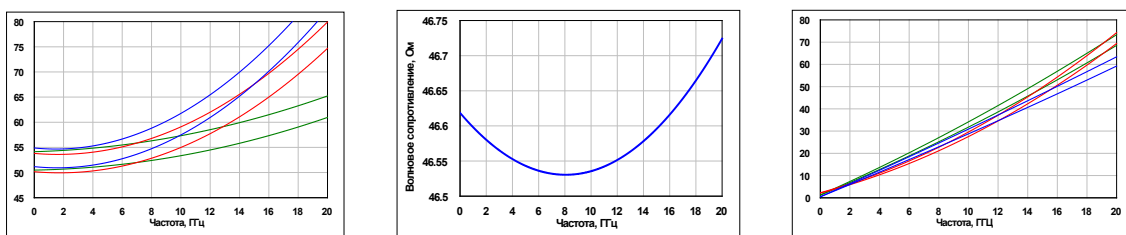


Рисунок 4. Частотные зависимости волнового сопротивления, реальных (слева) и мнимых (справа) значений импедансов резистора P1-160 50 Ом для разных способов монтажа (линии синего, красного и зеленого цвета) с учетом и без учета частотно зависимого волнового сопротивления полосковой линии.

Учет частотно зависимого волнового сопротивления полосковой линии и влияние способов монтажа наиболее заметно проявляются в реальной части импедансов SMD-резисторов. Внешний вид макета электронного устройства для измерения собственных параметров SMD-компонентов (резисторов, катушек индуктивности, конденсаторов)

² Измерения выполнены с помощью анализатора цепей Кобальт С2420 в АО «НПО «ЭРКОН».

показан на рисунке 5³. Особенность предлагаемого решения состоит в том, что собственные импедансы SMD-компонентов определяются для все трех способов монтажа контролируемого объекта в экранированную полосковую линию.

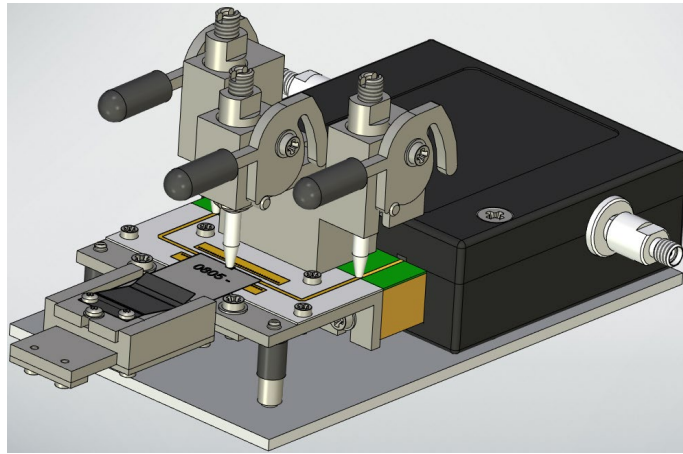


Рисунок 5. Макет электронного устройства для измерения собственных параметров SMD-компонентов.

В комплекте устройства для каждого типоразмера контролируемых изделий имеется три съемные печатные платы, одна из которых показана на рисунке 5, и два калибровочных SMD-резистора с сопротивлением 0 и 50 Ом. Калибровочная процедура выполняется методом трех эталонов путем установки на место контролируемых изделий калибровочных резисторов. Третье калибровочное измерение выполняется на платах без калибровочного SMD-компонента.

4. Определение оптимальных условий широкополосного согласования транзисторных усилителей СВЧ мощности

Оптимальные условия широкополосного согласования транзисторных каскадов СВЧ мощности определяют методом переменной нагрузки. Объектом измерений оптимальных условий усиления СВЧ мощности является устройство, состоящее из двух трансформаторов полных сопротивлений (трансформаторов импеданса) и контактного устройства с СВЧ транзистором. Контактное устройство состоит из двух коаксиально-полосковых переходов с полосковой линией с плавными переходами к линии низкого - порядка 10 Ом волнового сопротивления. Транзистор устанавливают в разрыве полоскового проводника. Измерения оптимальных значений входного и выходного импедансов согласующих цепей в диапазоне частот и мощностей входного сигнала известными методами требует больших временных и материальных затрат.

В докладе предлагается существенное сокращение времени испытаний и объема получаемых экспериментальных данных за счет проведения измерений в широком диапазоне частот на ограниченном массиве частотных точек. Измерение на ограниченном массиве частотных точек в широкой полосе частот достигается за счет и использования в контактном устройстве электрически длинных отрезков полосковых линий низкого (порядка 10 Ом) волнового сопротивления. Особенность предлагаемого решения состоит в существенном сокращении временных затрат при определении оптимальных значений импедансов согласующих цепей и в уменьшении до величины порядка единиц Ом сопротивлений эквивалентного генератора и нагрузки, действующих на входе и выходе транзистора на ограниченном массиве

³ Совместная разработка АО «НПФ «Микран» и ООО «АПКБ»

частотных точек, определяемых из известного соотношения: $f_n = (2n-1)/(4\tau)$, $n = 1, 2, \dots, N$ (τ - время задержки в отрезках низкоомных линий).

Существенное сокращение материальных затрат обеспечивается простой оригинальной техникой измерений оптимальных коэффициентов отражения $\Gamma_1^{opt}(f_n)$ и $\Gamma_2^{opt}(f_n)$ согласующих цепей, создаваемых на физических границах транзистора в полосковой линии с частотно-зависимым волновым сопротивлением $Z_B(f)$. Оптимальные условия согласования $\Gamma_1^{opt}(f), \Gamma_2^{opt}(f)$ во всем диапазоне частот получают кусочной интерполяцией сплайнами Акимы [5]. Суть предлагаемого решения состоит в объединении функций трансформаторов сопротивлений и контактного устройства с транзистором в одной устройстве, показанном на рисунке 6. Предлагаемое устройство не требует использования дорогого четырехпортового анализатора цепей для реализации измерений в режиме горячего «S22» или нелинейного анализатора цепей NVNA в режиме измерений X-параметров.

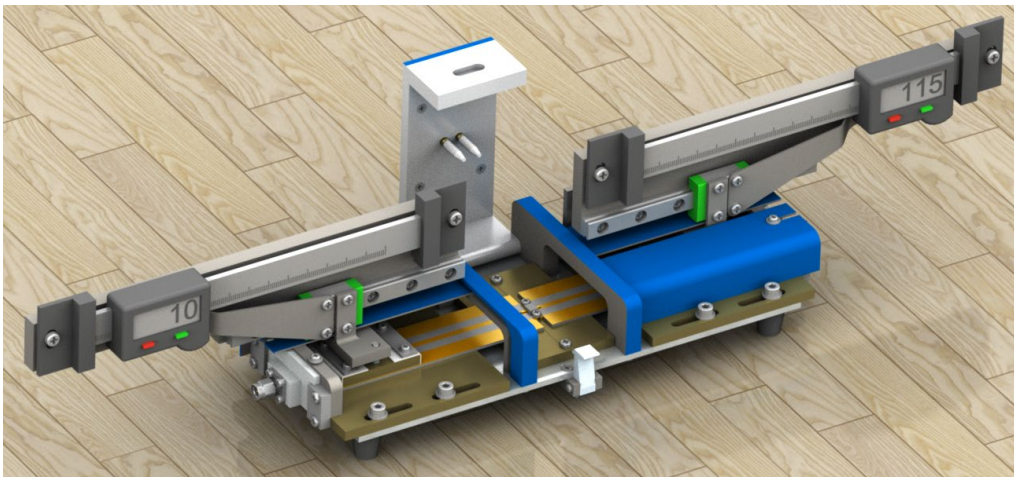


Рисунок 6. Модель устройства для измерения оптимальных согласующих импедансов на ограниченном массиве частотных точек.

6. Заключение

Предлагаемые решения нестандартных измерительных задач в направляющих системах расширяют сферу применения векторных анализаторов цепей при измерении параметров объектов в миниатюрных коаксиальных волноводах, полосковых линиях передачи с частотно зависимым волновым сопротивлением и в проектировании интегральных модулей усиления СВЧ мощности.

Список литературы

1. Джуринский К.Б. Современные радиочастотные соединители и помехоподавляющие фильтры. Под ред. Борисова А.А. Санкт-Петербург, – 2014.
2. Кищинский А.А., Джуринский К.Б. Твердотельные усилители СВЧ диапазона. Новые радиочастотные соединители. Ваш Формат, – 2022.
3. Лупанова Е.А., Никулин С.М. Метод определения собственных параметров полосковых линий передачи // Измерительная техника, 2021. – №.5. – С. 47 -52.
4. Лупанова Е.А., Никулин С.М. Измерение волнового сопротивления микрополосковой линии векторным анализатором цепей // Измерительная техника, 2022. – №.5. – С. 62 -68.
5. Hiroshi, Akima. A New Method of Interpolation and Smooth Curve Fitting Based on Local Procedures /Akima Hiroshi // Journal of the Association for Computing Machinery, Vol. 17, No.4, October 1970, pp. 589-602.