

УДК 621.372.8

Л.В. Когтева¹, А.Е. Львов², Л.Г. Рудоясова¹, Г.И. Шишков¹, В.В. Щербаков¹

АТТЕНУАТОРЫ НА ПОЛОСКОВЫХ ЛИНИЯХ

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева,
Нижегородский научно-исследовательский приборостроительный институт «Кварц»
им. А.П. Горшкова

Описан принцип действия и конструкции широкополосных аттенуаторов на полосковых линиях.

Ключевые слова: аттенуаторы, полосковые линии, пластинчатые резисторы.

Введение

В 60-х годах прошлого столетия широкое применение находит электродинамическая структура в виде отрезка круглого волновода, перегороженного в диаметральной плоскости пластинчатым резистором – тонкой (меньше толщины скин-слоя) резистивной пленкой, нанесенной на плоскую диэлектрическую пластину. На базе такой структуры стало возможно создание широкополосных коаксиальных аттенуаторов, обладающих равномерной амплитудно-частотной характеристикой и высокой степенью согласования и работающих в диапазоне от постоянного тока до частот, близких к критическим для используемой коаксиальной линии [1, 2].

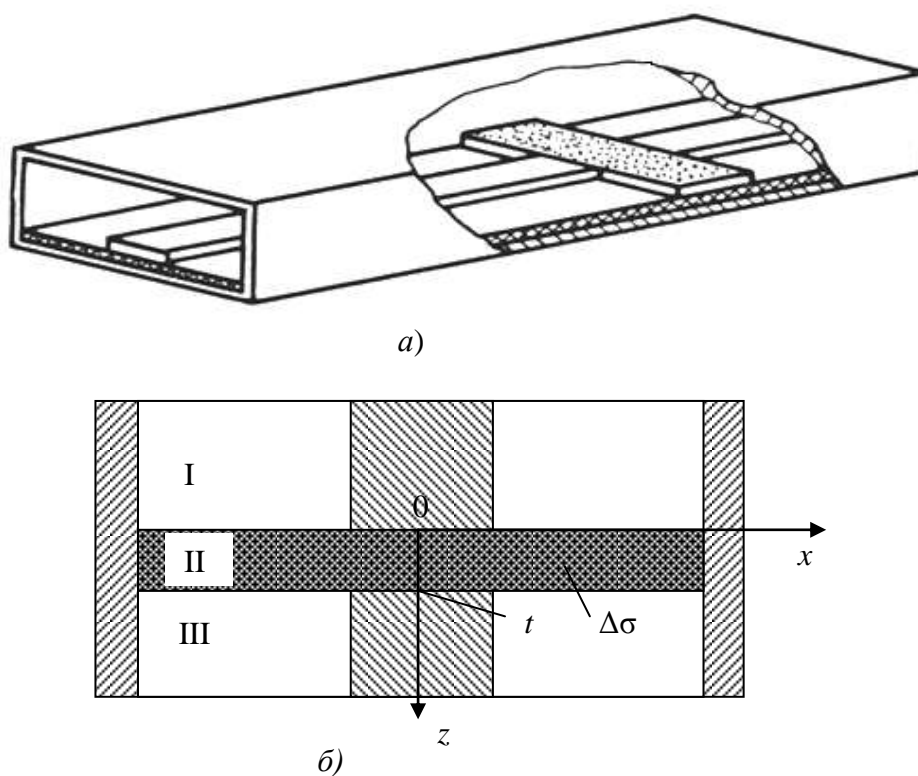


Рис. 1. Схематичное изображение аттенуатора на полосковой линии

На базе отечественных пластинчатых резисторов С2-20 с односторонним резистивным покрытием в ЦНИИ-11, г. Горький (в дальнейшем – Нижегородский НИПИ «Кварц») впервые в мировой практике были разработаны коаксиальные аттенуаторы типа ДО (рабо-

чий диапазон 0–5 ГГц), предназначенные для массового промышленного производства [3].

Резисторы С2-20 положили также начало создания тонкопленочных аттенуаторов на полосковых линиях [4]. Аттенуатор выполнен на основе экранированной полосковой линии, в разрыв внутреннего проводника которой вставлен пластинчатый резистор, имеющий гальванический контакт с центральным проводником линии и с экраном (рис. 1, а, б).

Базовыми структурами для аттенуаторов рассматриваемого типа являются экранированная полосковая линия и двухслойный прямоугольный волновод с резистивной пленкой между слоями (рис. 2, а, б).

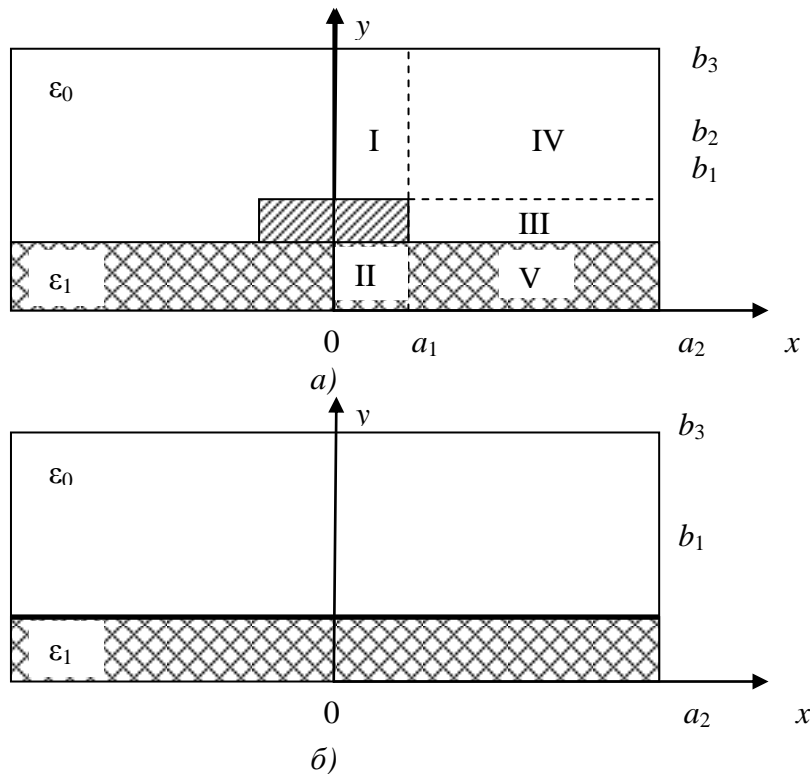


Рис. 2. Поперечные сечения экранированной полосковой линии (а) и двухслойного прямоугольного волновода с резистивной пленкой (б)

Поэтому при расчете характеристик аттенуаторов сначала необходимо исследование спектров собственных волн указанных структур. Для решения вопросов классификации волн в двухслойном прямоугольном волноводе с резистивной пленкой между слоями необходимо знание спектра собственных волн обычного двухслойного прямоугольного волновода.

Знание спектров собственных волн полосковой линии и двухслойного волновода позволят сформулировать дифракционную задачу о согласовании полосковой линии с двухслойным волноводом, содержащим резистивную пленку, к которой сводится расчет возбуждающего устройства аттенуатора.

При исследовании спектров собственных волн экранированной полосковой линии и двухслойного волновода без потерь использован метод частичных областей (МЧО) [5]. При рассмотрении прямоугольного волновода с резистивной пленкой на диэлектрической подложке – метод поверхностного тока [6].

Решение задачи об исследовании спектра волн экранированной полосковой линии приведено в [7, 8].

Для постановки дифракционной задачи требуется представление полей собственных волн в согласуемых областях экранированной полосковой линии, поперечное сечение которой изображено на рис. 2, а.

1. Спектр волн полосковой линии

Решение уравнения Гельмгольца, описывающее весь спектр собственных волн полосковой линии, для каждой из выделенных областей (рис. 2, а) представляем в виде:

- область I:

$$\Pi_z^e = \sum_{v=1}^{\infty} \sum_{m=1}^{\infty} A_{mv}^{(1)} \cdot \cos \alpha_{1mv} x \cdot \sin m\pi(y - b_2)/d_2 \cdot e^{-i\beta_v z},$$

$$\Pi_z^m = \sum_{v=1}^{\infty} \sum_{m=0}^{\infty} D_{mv}^{(1)} \cdot \sin \alpha_{1mv} x \cdot \cos m\pi(y - b_2)/d_2 \cdot e^{-i\beta_v z};$$

- область II:

$$\Pi_z^e = \sum_{v=1}^{\infty} \sum_{m=1}^{\infty} A_{mv}^{(2)} \cdot \cos \alpha_{2mv} x \cdot \sin m\pi y/b_1 \cdot e^{-i\beta_v z},$$

$$\Pi_z^m = \sum_{v=1}^{\infty} \sum_{m=0}^{\infty} D_{mv}^{(2)} \cdot \sin \alpha_{2mv} x \cdot \cos m\pi y/b_1 \cdot e^{-i\beta_v z};$$

- область III:

$$\Pi_z^e = \sum_{v=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} [A_{nv}^{(3)} \cdot \sin \alpha_{3nv}(y - b) + B_{nv}^{(3)} \cdot \cos \alpha_{3nv}(y - b)] \cdot \sin n\pi(x - a_1)/d_1 \cdot e^{-i\beta_v z},$$

$$\Pi_z^m = \sum_{v=1}^{\infty} \sum_{n=0}^{\infty} [C_{nv}^{(3)} \cdot \sin \alpha_{3nv}(y - b) + D_{nv}^{(3)} \cdot \cos \alpha_{3nv}(y - b)] \cdot \cos n\pi(x - a_1)/d_1 \cdot e^{-i\beta_v z};$$

- область IV:

$$\begin{aligned} \Pi_z^e = & \sum_{v=1}^{\infty} \sum_{m=1}^{\infty} P_{mv}^{(4)} \cdot \sin \alpha_{1mv}(x - a_2) \cdot \sin m\pi(y - b_2)/d_2 \cdot e^{-i\beta_v z} + \\ & + \sum_{v=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} P_{nv}^{(4)} \cdot \sin \alpha_{3nv}(y - b_3) \cdot \sin n\pi(x - a_1)/d_1 \cdot e^{-i\beta_v z}, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Pi_z^m = & \sum_{v=1}^{\infty} \sum_{m=0}^{\infty} Q_{mv}^{(4)} \cdot \cos \alpha_{1mv}(x - a_2) \cdot \cos m\pi(y - b_2)/d_2 \cdot e^{-i\beta_v z} + \\ & + \sum_{v=1}^{\infty} \sum_{n=0}^{\infty} Q_{nv}^{(4)} \cdot \cos \alpha_{3nv}(y - b_3) \cdot \cos n\pi(x - a_1)/d_1 \cdot e^{-i\beta_v z}; \end{aligned}$$

- область V:

$$\Pi_z^e = \sum_{v=1}^{\infty} \sum_{m=1}^{\infty} P_{mv}^{(5)} \cdot \sin \alpha_{2mv}(x - a_2) \cdot \sin m\pi y/b_1 \cdot e^{-i\beta_v z} +$$

$$\begin{aligned}
& + \sum_{v=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} P_{nv}^{(5)} \cdot \sin \alpha_{5nv} y \cdot \sin n\pi(x - a_1)/d_1 \cdot e^{-i\beta_v z}, \\
\Pi_z^m = & \sum_{v=1}^{\infty} \sum_{m=0}^{\infty} Q_{mv}^{(5)} \cdot \cos \alpha_{2mv}(x - a_2) \cdot \cos m\pi y/b_1 \cdot e^{-i\beta_v z} + \\
& + \sum_{v=1}^{\infty} \sum_{n=0}^{\infty} Q_{nv}^{(5)} \cdot \cos \alpha_{5nv} y \cdot \cos n\pi(x - a_1)/d_1 \cdot e^{-i\beta_v z}.
\end{aligned} \tag{5}$$

В записи векторов Герца использованы обозначения:

$$d_1 = \alpha_2 - \alpha_1; d_2 = b_3 - b_2; b = (b_1 + b_2)/2;$$

$\alpha_{1mv}, \alpha_{2mv}$ – поперечные волновые числа вдоль оси x в первой и второй областях;

$\alpha_{3nv}, \alpha_{5nv}$ – поперечные волновые числа вдоль оси y в третьей и пятой областях;

β_v – фазовая постоянная v -й волны полосковой линии.

Приведенная запись векторов Герца дает возможность составить дисперсионное уравнение, решение которого определяет спектр собственных волн, необходимый для решения в дальнейшем дифракционной задачи.

Выражения для компонент электромагнитного поля определяются через вектора Герца и в силу их громоздкости в настоящей статье не приводятся. Входящие в эти выражения фазовые постоянные β_v и амплитудные коэффициенты вычисляются на основе решения дисперсионного уравнения. Коротко опишем процедуру составления дисперсионного уравнения.

На границах частичных областей для компонент поля должны выполняться граничные условия. Приравнявая тангенциальные компоненты электрических и магнитных полей на границах выделенных областей (I и IV, II и V, III и V, III и IV) (рис. 2, а), получаем систему функциональных уравнений. Используя условие ортогональности собственных функций выделенных областей, после преобразований, приходим к бесконечной системе линейных однородных алгебраических уравнений (СЛАУ) относительно амплитудных коэффициентов компонент поля в области III.

Приравнявая к нулю главный определитель усеченной СЛАУ, получаем дисперсионное уравнение для всех волн, распространяющихся в рассматриваемой линии. При фиксированном значении фазовой постоянной β первый по частоте корень дисперсионного уравнения соответствует основной квази-Т волне, последующие корни – волнам высших типов.

При расчете характеристик волн в качестве входных параметров задаются: размеры полосковой линии a_1, a_2, b_1, b_2, b_3 ; ширина разрыва внутреннего проводника t , в который вставляется резистивная пленка (рис. 1, б); диэлектрическая проницаемость материала подложки ε и частота ω . Из блока расчета характеристик собственных волн полосковой линии в алгоритм дифракционной задачи будут поступать в качестве входных параметров фазовые постоянные волн β_v , поперечные волновые числа и амплитудные коэффициенты для полей в каждой из областей, выраженные через амплитудные коэффициенты области III.

2. Спектр волн двухслойного прямоугольного волновода

Область разрыва центрального проводника полосковой линии представляет собой двухслойный прямоугольный волновод (рис. 2, б). Для исследования слоистых прямоугольных волноводов обычно используется аппарат L -волн [9].

Поскольку в полосковой линии волны имеют гибридный характер и классифицируются как HE и EH , такую же классификацию целесообразно применять и для волн волноводной

части аттенюатора. Поэтому необходимо установить соответствие L -волн и гибридных волн в двухслойном прямоугольном волноводе.

В проведенных ранее расчетах в НИИПИ «Кварц» показано соответствие гибридных волн в двухслойном прямоугольном волноводе с резистивной пленкой с L -волнами в волноводе без пленки. Это соответствие установлено на основе сравнения дисперсионных характеристик указанных волн при $\Delta\sigma \rightarrow 0$, где Δ и σ – толщина и проводимость резистивной пленки.

3. Спектр волн двухслойного прямоугольного волновода с резистивной пленкой между слоями

Рассмотрим прямоугольный волновод с тонкой резистивной пленкой (рис. 2, б), имеющей поверхностную плотность $\Delta\sigma$.

Из-за наличия в пленке как продольных, так и поперечных токов поле в волноводе в общем случае является гибридным.

При решении дифракционной задачи поле в волноводе с пленкой представим в виде набора гибридных волн.

Запишем продольные компоненты обоих векторов Герца в выделенных областях:

- в области I:

$$P_{z1}^e = A_1 \cdot \sin k_x(x - a_2) \cdot \sin k_{y1}y \cdot e^{-i\beta z},$$

(6)

$$P_{z1}^m = B_1 \cdot \cos k_x(x - a_2) \cdot \cos k_{y1}y \cdot e^{-i\beta z}$$

- в области II:

$$P_{z2}^e = A_2 \cdot \sin k_x(x - a_2) \cdot \sin k_{y2}(y - b_3) \cdot e^{-i\beta z},$$

(7)

$$P_{z2}^m = B_2 \cdot \cos k_x(x - a_2) \cdot \cos k_{y2}(y - b_3) \cdot e^{-i\beta z},$$

где $k_x = n\pi/2a_2$, $k_{y1} = \sqrt{\epsilon_1\mu_1\omega^2 - k_x^2 - \beta^2}$, $k_{y2} = \sqrt{\epsilon_0\mu_0\omega^2 - k_x^2 - \beta^2}$, $\beta = \beta_1 + i\beta_2$ – продольное волновое число.

В соответствии с методом поверхностного тока граничные условия в плоскости пленки при $y=b_1$ записываются в виде:

$$E_{x1}=E_{x2}, \quad E_{z1}=E_{z2}, \quad H_{x2}-H_{x1}=j_{\text{зпов}}, \quad H_{z2}-H_{z1}=-j_{\text{зпов}},$$

(8)

где $j_{\text{зпов}}=\Delta\sigma E_{z2}$, $j_{\text{хпов}}=\Delta\sigma E_{x2}$, σ – удельная проводимость пленки; Δ – ее толщина.

Выражая компоненты поля через вектора Герца (6), (7) и подставляя их в граничные условия (8), получаем систему четырех алгебраических уравнений относительно неизвестных амплитудных коэффициентов A_1, A_2, B_1, B_2 . Понижая ее порядок, приходим к системе двух линейных алгебраических уравнений относительно A_1, A_2 . Записывая условие нетривиальности решений системы, получаем дисперсионное уравнение двухслойного прямоугольного волновода с резистивной пленкой между слоями.

Результаты решения дисперсионного уравнения для параметров $b_1/b_3=0,3$, $a_2/b_3=0,8$ представлены на рис. 3 в виде фазовых характеристик $\bar{\beta}_1 = \beta_1/k_0$, где $k_0=2\pi b_3/\lambda$, и характеристик затухания $\beta_2 b_3$ [10].

Рассматриваемая гибридная волна в двухслойном волноводе без пленки соответствует волне LE_{11} , поэтому и гибридную волну в волноводе с пленкой можно классифицировать как LE_{11} . В отличие от обычных волноводов с потерями в стенках, дисперсионные характеристики волны в волноводе с резистивной пленкой имеют плавный характер. При переходе через

частоту, соответствующую критической для волновода без резистивной пленки, отсутствует скачок дисперсионных характеристик.

На рис. 3 показаны зависимости фазовых характеристики и характеристик затухания от величины проводимости пленки при диэлектрической проницаемости подложки $\epsilon = 2$.

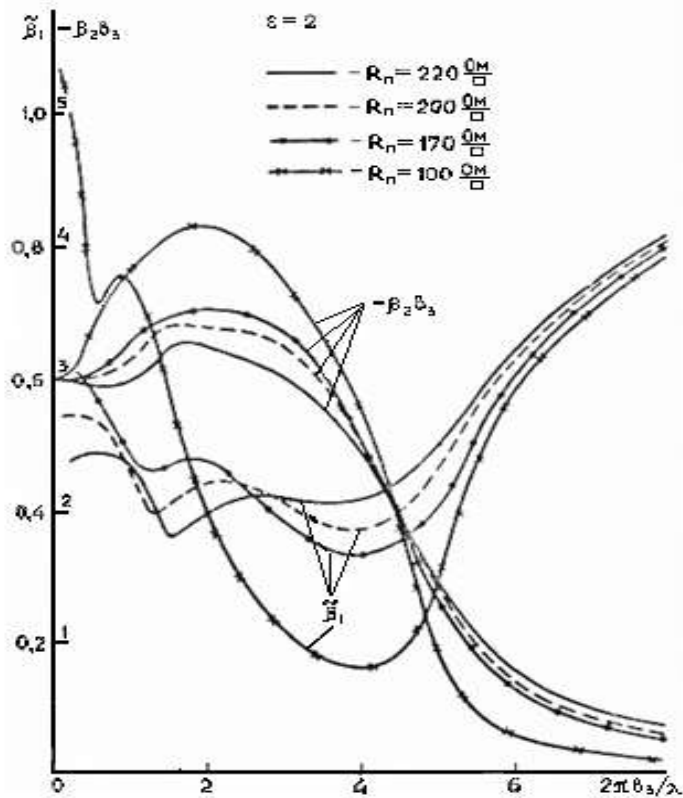


Рис. 3. Зависимость фазовых характеристик и характеристик затухания от величины удельного поверхностного сопротивления пленки

Наибольший интерес при создании аттенуаторов представляет зависимость постоянной затухания от частоты. У волны LE_{11} она имеет два характерных участка. В пределах значений $2\pi b_3/\lambda$ от нуля до 3,5 участок кривой относительно пологий, далее начинается резкое уменьшение затухания, связанное с концентрацией поля в диэлектрике. При $2\pi b_3/\lambda \approx 4$ кривые с разными удельными поверхностными сопротивлениями пленки R_n ($R_n = 1/\Delta\sigma$) пересекаются. До этой точки большее затухание наблюдается у волн в волноводе с пленкой, имеющей $R_n = 100 \text{ Ом/кв}$. На более высоких частотах затухание больше в волноводе с пленкой меньшей проводимости. Это можно объяснить тем, что на высоких частотах у рассматриваемой волны продольные токи начинают преобладать над поперечными, и в эквивалентной электрической схеме направляющей системы резистивную пленку можно рассматривать как последовательно включенное сопротивление.

Из приведенных графиков видно, что можно подобрать такое R_n пленки, при котором постоянная затухания практически не будет зависеть от частоты в достаточно широкой полосе частот.

Расчеты, проведенные при различных значениях диэлектрической проницаемости подложки (при удельном поверхностном сопротивлении пленки ($R_n = 200 \text{ Ом/кв}$), показали, что величина диэлектрической проницаемости подложки влияет на характеристики затухания лишь на высоких частотах ($2\pi b_3/\lambda \approx 7$).

4. Возбуждающее устройство аттенюатора

Для расчета возбуждающего устройства аттенюатора необходимо решение дифракционной задачи для стыка полосковой линии (рис. 2, *а*) и двухслойного прямоугольного волновода с резистивной пленкой (рис. 2, *б*), которую можно решить методом частичных областей.

Исходя из опыта разработки широкополосных коаксиальных аттенюаторов [1, 2] была выбрана величина удельного поверхностного сопротивления тонкой резистивной пленки в пределах $R_{\Pi} \in [90 \div 120]$ Ом/□, которая обеспечивала аттенюаторам наименьшую частотную зависимость ослабления.

Ширина $2a_1$ (рис. 2, *а*) центрального проводника полосковой линии выбиралась из условия обеспечения волнового сопротивления 50 Ом с учетом толщины b_1 и величины ϵ_1 диэлектрической подложки линии.

Относительная толщина $(b_2 - b_1)/b_3$ (рис. 2, *а*) центрального проводника полосковой линии, который одновременно является возбуждающим устройством аттенюатора, подбиралась экспериментально. Оказалось, что согласование линии с участком волновода с пленкой улучшается с уменьшением толщины центрального проводника экранированной полосковой линии. Высокую степень согласования можно расценивать как наличие оптимального возбуждения поля в поглощающей структуре аттенюатора. Наилучшее согласование достигалось при соотношении $(b_2 - b_1)/b_3 \approx 0,03$ и при ширине $2a_1$ возбуждающего электрода (полоска линии) $2a_1/b_3 \approx 1,0$.

Величина КСВН стыка экранированной полосковой линии и прямоугольного волновода с резистивной пленкой совместно с коаксиально-полосковым переходом в диапазоне частот до 18 ГГц составляла $1,5 \div 2,0$.

Результаты проведенных исследований использованы в НИИПИ «Кварц» при разработке фиксированных полосковых аттенюаторов, а также при расчете ячеек-ослабителей широкополосных ступенчатых аттенюаторов [11].

Разновидностью фиксированного аттенюатора на полосковой линии является аттенюатор, предложенный в [12]. У него более равномерная амплитудно-частотная характеристика. Фиксированный аттенюатор на базе несимметричной полосковой линии в упрощенном виде показан на рис. 4.

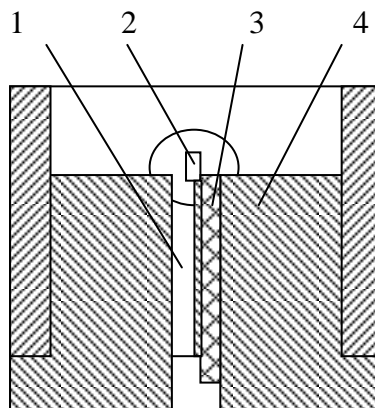


Рис. 4. Аттенюатор на несимметричной полосковой линии с равномерной АЧХ

В разрыв центрального проводника 2 включен пластинчатый резистор. В основании 4 линии выполнен паз 1 глубиной, равной четверти длины волны верхней частоты. В нем размещен пластинчатый резистор 3, примыкающий диэлектрической подложкой к одной из боковых поверхностей паза и имеющий гальванический контакт с основанием линии.

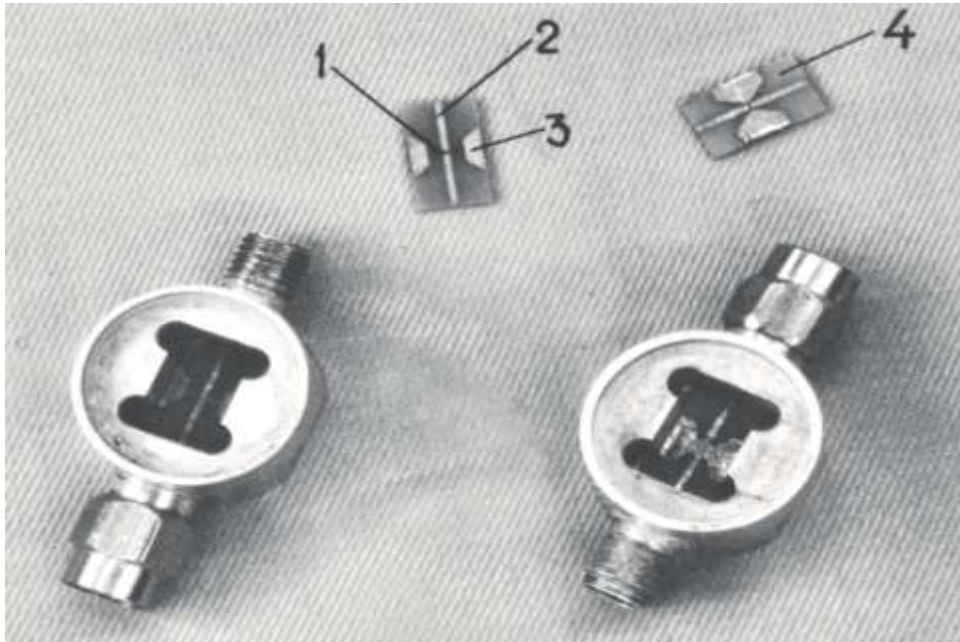
Благодаря такому размещению достигается максимальная связь поглощающего слоя резистора с распространяющейся по линии квази-Т волной на верхнем участке рабочего диапазона. Вследствие этого уменьшается частотная зависимость ослабления.

5. Атенюаторы на микрополосковой линии передачи

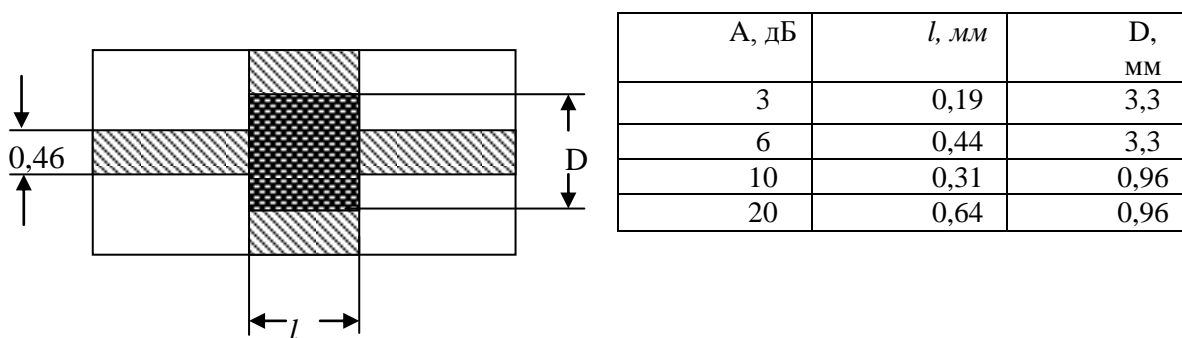
Дальнейшее развитие полосковых аттенюаторов нашло в разработке фиксированных аттенюаторов на микрополосковых линиях передачи СВЧ и КВЧ диапазонов [13].

Внешний вид одного из первых микрополосковых аттенюаторов, разработанных в НИИПИ «Кварц», со снятой верхней стенкой прямоугольного экранирующего корпуса показан на рис. 5, а. Величины ослаблений аттенюатора составляют 3, 6, 10 и 20 дБ.

Необходимые для подсоединения к внешней коаксиальной линии высокочастотные разъемы аттенюатора имеют сечение 3,5/1,52 мм. Для получения заданного волнового сопротивления 50 Ом геометрические размеры линии рассчитаны по формулам [14]. Расчет допусков размеров резистивного слоя проведен в соответствии с [15].



а)



б)

Рис. 5. Внешний вид микрополоскового аттенюатора (а) и основные размеры пластинчатых резисторов (б)

На рис. 5, б показаны основные размеры пластинчатого резистора. Величина удельного поверхностного сопротивления резистивного слоя – около 100 Ом/□. Резистор 1 и проводники 2, 3 нанесены методом тонкопленочной технологии на плату 4 из поликора ($\epsilon=9,6$) толщиной 0,5 мм. Особую сложность при разработке и сборке подобных аттенуаторов составляют коаксиально-полосковые переходы [16].

В диапазоне от постоянного тока до 12 ГГц аттенуаторы имеют незначительную (порядка $\pm 0,5$ дБ) частотную зависимость ослабления при КСВН не более 1,4; в диапазоне до 26 ГГц частотная зависимость увеличивается при КСВН $\leq 1,8$. Для аттенуаторов с ослаблением 20 дБ эта зависимость составляет до 2–4 дБ.

Размещение пластинчатого резистора на плоском основании полосковой линии увеличивает рассеиваемую мощность сигнала не менее чем в 2–3 раза по сравнению с коаксиальными аттенуаторами.

Аттенуаторы на полосковых и микрополосковых линиях нашли широкое применение в составе СВЧ и КВЧ гибридных интегральных схем для развязки и согласования различных полосковых устройств (усилителей, генераторных головок, смесителей, разветвителей мощности и т.д.), а также в виде отдельных фиксированных и ступенчатых аттенуаторов в широкополосных системах для измерения частотных и импульсных характеристик радиотехнических устройств.

Библиографический список

1. **Шишков, Г.И.** Широкополосные фиксированные аттенуаторы // Труды НГТУ им Р.Е. Алексеева. – Нижний Новгород, 2011. №1(86). С. 11 – 21.
2. **Рудоясова, Л.Г.** Тонкие резистивные пленки в устройствах СВЧ и КВЧ/ Л.Г. Рудоясова, Г.И. Шишков, В.В. Щербаков // Труды НГТУ им Р.Е. Алексеева.- Нижний Новгород, 2012. №4(97). С. 21 – 32.
3. **Бунтилов, В.М.** Улучшение параметров аттенуаторов с пластинчатым резистором / В.М. Бунтилов, Г.И. Шишков // Обмен опытом в радиопромышленности. 1970. Вып. 3. С. 88 – 90.
4. А.С. 240789 СССР. Фиксированный аттенуатор / Г.И. Шишков, В.М. Бунтилов // Б.И. 1969. № 13.
5. **Никольский, В.В.** Класс математических моделей электродинамических систем с частично экранированными границами диэлектрических областей // Радиотехника и электроника. 1977. Т. 22. №4. С. 657–669.
6. **Раевский, С.Б.** К теории двухслойных волноводов с резистивной пленкой между слоями // Изв. вузов СССР. Сер. Радиофизика. 1974. Т.17. № 11. С. 1703 – 1706.
7. **Аржанов, С.Н.** Алгоритм для расчета экранированных полосковых линий / С.Н. Аржанов, С.А. Маркова, С.Б. Раевский, В.Я. Сморгонский // Изв. вузов СССР. Сер. Радиоэлектроника. 1979. Т. 22. № 9. С. 23 – 28.
8. **Аржанов, С.Н.** Алгоритм для расчета экранированных полосковой, щелевой и копланарной линий / С.Н. Аржанов, С.А. Маркова, С.Б. Раевский, Е.П. Тимофеев // Изв. вузов СССР. Сер. Радиоэлектроника. 1981. Т.24. № 9. С. 37 – 42.
9. **Егоров, Ю.В.** Частично заполненные прямоугольные волноводы / Ю.В. Егоров. – М.: Сов. радио. 1967. – 216 с.
10. **Рудоясова, Л.Г.** Двухслойный прямоугольный волновод с резистивной пленкой / Л.Г. Рудоясова, Г.И. Шишков // Техника средств связи. Сер. РИТ. 1983. Вып. 1. С. 43 – 46.
11. **Шишков, Г.И.** Широкополосные ступенчатые аттенуаторы // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – Нижний Новгород, 2011. №2(87). С. 11 – 19.
12. А.С. 866617 СССР. Фиксированный аттенуатор / Г.И. Шишков, В.М. Бунтилов, Ю.А. Горячев // Б.И. 1981. № 35.
13. **Шишков, Г.И.** Исследование аттенуаторов на полосковых линиях, используемых в автоматизированных измерительных приборах / Г.И. Шишков, О.И. Раевская, Ю.А. Горячев // Техника средств связи. Сер. РИТ. 1981. Вып. 4. С. 72 – 74.
14. **Ганстон, М.А.Р.** Справочник по волновым сопротивлениям фидерных линий СВЧ / М.А.Р. Ганстон. – М.: Связь. 1976. – 150 с.

15. **Горячев, Ю.А.** Анализ тонкопленочных резистивных элементов / Ю.А. Горячев, Г.И. Шишков // Техника средств связи. Сер. РИТ. 1981. Вып. 6. С. 52 – 57.
16. **Майстренко, В.К.** Расчет волноводно-полосковых и коаксиально-полосковых переходов / В.К. Майстренко, А.А. Радионов, В.В. Щербаков // Вестник Верхне-Волжского отделения Академии технологических наук РФ. Сер.: Высокие технологии в радиоэлектронике. 1997. Вып.1(3). С. 60–65.

*Дата поступления
в редакцию 07.02.2013*

L.V. Kogteva¹, A.E. Livov², L.G. Rudoyasova¹, G.I. Shishkov¹, V.V. Sherbakov¹

ATTENUATORS ON STRIP LINE

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alexeev,
Nizhny Novgorod Research Institute for the Instrument "Quartz" n.a. A.P. Gorshkov

Purpose: It is described physical bases of the work and are given technical features broadband attenuator on strip line.

Design/methodology/approach: The Basic researches round, strip and microstrip linewidth resistive films, were conducted on base of the method of the partial areas with use the method of the surface current.

Findings: The Attenuators on strip and microstrip line has found broad using in composition SVCH and KVCH hybrid integral schemes for uncoupling and co-ordinations different strip device (the amplifiers, source of the heads, mixers, divisors to powers and etc), as well as in the manner of separate fixed and discrete attenuator in broadband system for measurement frequency and pulsed features radiotechnology device.

Research limitations/implications : At calculation waveguidesfeatures of the considered structure was expected that fine consuming layer evenly portioned on surfaces of the substrate. However practically this far from is always executed. On degree of the uniformities of the sharing the film affects the technological process of the fixing layer and his tailorings, quality to surfaces of the substrate and other factors.

Originality/value: Within the range of from direct current before 12 GGC attenuators have small (the order 0,5дБ) frequency dependency weakenings under KSVN not more than 1,4; within the range of before 26 GGC frequency dependency it increases under KSVN not more than 1,8. For attenuator with weakening 20 db this dependency forms before 2-4 db aside weakenings.

Key words: the attenuators, strip lines, lamellar resistors.