

УДК 621. 317. 74

И.В. Лашченко, доцент, канд. техн. наук**В.И. Носкович, инженер-испытатель****П.П. Овчаров, ассистент***Севастопольский национальный технический университет**Ул. Университетская, 33, г. Севастополь, Украина, 99053**E-mail: irina-lashchenko@ya.ru***ШИРОКОПОЛОСНЫЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ
ИНТЕРФЕРЕНЦИОННОГО ТИПА**

Предложен метод построения малогабаритных датчиков мощности, входящих в состав широкополосного четырехцелевого преобразователя, выполненного на волноводе сечением 23×10 мм и предназначенного для измерителя комплексного коэффициента отражения микроволновых устройств. Приведены результаты экспериментального исследования амплитудно-частотных характеристик датчиков.

Ключевые слова: *волноводно-щелевой преобразователь, детекторная секция, датчик мощности.*

Наиболее важным и ответственным структурным элементом волноводно-щелевого преобразователя (ВЩП) измерителя параметров микроволновых устройств является датчик мощности (детекторная секция), осуществляющий преобразование СВЧ колебания в тракте в низкочастотный сигнал, амплитуда которого содержит информацию о параметрах исследуемой нагрузки. Качество преобразования определяет метрологические показатели всего измерителя в целом. Поэтому разработка высококачественной детекторной секции является первоочередной задачей при создании ВЩП для различных сечений волноводов. Волноводы датчиков мощности возбуждаются щелями связи, прорезанными на широкой стенке основного волновода ВЩП. С уменьшением длины волны трудность конструирования преобразователя возрастает, так как несколько детекторных секций должны быть размещены на ограниченном отрезке волновода малого сечения (23×10 мм).

В работе [1] рассмотрены конструкции детекторных секций с щелевыми связями двух типов — для волноводов больших сечений (58×25 мм, 72×34 мм и больше) и для меньших сечений ($28,5 \times 12,6$ мм, 35×15 мм, 48×24 мм). Однако, СВЧ диоды, используемые в них, в настоящее время не выпускаются промышленностью, а современные образцы диодов не сочетаются конструктивно с отрезками круглых волноводов. Кроме того, для сечения волновода 23×10 мм такие головки не подходят по своим габаритам.

В микроволновом преобразователе (МП), исследованном в статье [2], детекторные секции выполнены на основе отрезков запердеального прямоугольного волновода, здесь также использованы диоды, не рекомендуемые в новых разработках.

Современные СВЧ диоды с барьером Шотки в SMD исполнении применены в датчиках мощности, разработанных и описанных в работе [3]. По техническим характеристикам: широкополосности, чувствительности, габаритным размерам и др. датчики мощности удовлетворяют предъявляемым требованиям. Однако, выходная мощность измерительных генераторов 10-ти сантиметрового диапазона длин волн, для которого были разработаны эти датчики, больше чем у генераторов 3-х сантиметрового диапазона, и с повышением частоты уменьшается коэффициент передачи каналов детекторных секций, поэтому сигналы с диодов оказались недостаточными для их обработки в индикаторном устройстве.

Целью данной работы является разработка и анализ датчиков мощности для ВЩП трехсантиметрового диапазона, отличающихся повышенной чувствительностью, реализованных на современных СВЧ диодах с барьером Шотки.

В предложенном методе построения датчиков мощности связь между основным волноводом ВЩП (сечение 23×10 мм) и волноводом головки (сечение $11 \times 5,5$ мм) осуществляется с помощью узкой щели, прорезанной в их общей широкой стенке. В основном волноводе щели могут быть наклонными, поперечными, продольными относительно его осевой линии, а в волноводах детекторных секций только поперечными. Таким образом, оси волноводов могут быть расположены под любым углом, в том числе перпендикулярно, параллельно друг другу. В рассматриваемом ВЩП две щели — поперечная и продольная расположены на верхней широкой стенке основного волновода по разные стороны от осевой линии, и две наклонные щели — на нижней широкой стенке. Центры поперечной и продольной щелей находятся в одной поперечной плоскости. Наклонные щели размещены симметрично относительно этой плоскости на определенном расстоянии друг от друга [4]. Чтобы разместить все детекторные головки на ограниченной площади волноводы должны быть запердеальными, поэтому они имеют сечения $11 \times 5,5$ мм.

Один конец волновода головки закорочен, другой открыт. Длина волновода выбрана равной 15 мм. Щели в волноводах головок прорезаны у закороченного конца в максимуме напряженности поперечного магнитного поля. Длина L щели равна 6 мм, ширина S в десять раз меньше. Щель расположена симметрично относительно осевой линии волновода детекторной секции. Размеры основного волновода обеспечивают одномодовый режим с умеренной дисперсией для волны типа H_{10} в диапазоне частот

$$f_H \leq f < f_B,$$

где $f_H = 1,25 f_{\text{кр}10} = 8,15$ ГГц; $f_B = 2 f_{\text{кр}10} = 13$ ГГц.

Критическая частота $f_{\text{кр}}$ волны типа H_{10} волновода детекторной секции равна 13,64 ГГц. Следовательно, этот волновод работает на частотах ниже критической основной волны, то есть в закритическом режиме. Коэффициент фазы волновода $\beta = 0$. Коэффициент затухания α на средней частоте диапазона $f_{\text{ср}} = 10,575$ ГГц

$$\alpha = \frac{2\pi}{c} \sqrt{f_{\text{кр}}^2 - f_{\text{ср}}^2} = 1,8 \text{ см}^{-1},$$

где $c = 3 \cdot 10^8$ м/с — скорость распространения электромагнитных волн в свободном пространстве.

Коэффициент затухания α^0 в децибелах определяется по формуле

$$\alpha^0 = 8,686 \alpha = 15,6 \text{ дБ/см}.$$

На расстоянии 1,5 см от закороченного конца затухание составляет 23,4 дБ, так что влиянием открытого конца волновода можно пренебречь.

Ввиду малости ширины щели связи волноводов считаем, что через отверстие проникает только магнитная составляющая электромагнитного поля. Появление магнитного поля в волноводе детектора эквивалентно переносу из основного волновода части первичного поля, определяемой величиной магнитной поляризуемости V_M . При длине L значительно большей ширины S щели магнитная поляризуемость

$$V_M = \pi L^3 / 24 [\ln(4L/S) - 1]. \quad (1)$$

По принципу эквивалентности источников поле в волноводе детектора представляется сторонним магнитным током, эквивалентным первичному магнитному полю

$$(I_{\text{СТ}} L)^M = i \omega \mu_0 H_1 V_M, \quad (2)$$

где H — проекция вектора напряженности магнитного поля основного волновода на направление щели. Для поперечной щели $H \rightarrow H_x$,

$$H_x = i \frac{2a}{\lambda_B} H_0 \sin\left(\frac{\pi}{a} x\right). \quad (3)$$

Здесь a — размер широкой стенки основного волновода; λ_B — длина волны в волноводе; H_0 — нормированный коэффициент, равный

$$H_0 = \sqrt{\frac{P_H \lambda \lambda_B}{2 Z_B a^3 b}}, \quad (4)$$

где λ — длина волны генератора; b — размер узкой стенки основного волновода; P_H — единичная мощность; $Z_B = 377$ Ом — волновое сопротивление.

Нормированная амплитуда возбужденной волны U выражается через распределение магнитных сторонних токов следующим образом

$$U = -\frac{1}{2P_H} H_{\text{ПВ}} (I_{\text{СТ}} L)_M, \quad (5)$$

где $H_{\text{ПВ}}$ — напряженность поля пробной волны.

Магнитное поле пробной волны в волноводе детектора равно удвоенному значению напряженности H_x , так как щель располагается у короткозамыкателя. Таким образом, выражение (5) для амплитуды U , после подстановки в него (1)–(4), и преобразования его с учетом равенства $x = x_0 = a/4$, приобретает вид

$$U = 2 \left(\frac{a}{\lambda_B} \right)^2 \frac{P_H \lambda \lambda_B}{2 Z_B a^3 b} \frac{2\pi}{\lambda} \frac{Z_B \pi L^3}{24 \ln\left(\frac{4L}{S} - 1\right) P_H} = \frac{\pi^2 L^3}{12 \lambda_B a b \ln\left(\frac{4L}{S} - 1\right)}. \quad (6)$$

Мощность возбужденной волны, которая выражается как $P = U^2 P_H$, будет равна

$$P = \frac{\pi^4 L^6 P_H}{144 \lambda_B^2 a^2 b^2 \left[\ln \left(\frac{4L}{S} - 1 \right) \right]^2} . \quad (7)$$

Для заданных значений L , S , a , b на средней частоте $P = 0,63 \cdot 10^{-4} P_H$. Увеличение длины щели с 6 мм до 8 мм увеличивает мощность в волноводе детектора в 5,6 раз. При мощности волны P_H в основном волноводе, равной 10 мВт, мощность СВЧ сигнала вблизи щели связи в волноводе детекторной головки равна 3,54 мкВт.

Отбор энергии на СВЧ диод осуществляется с помощью рамки площадью S_p , нормаль к которой ориентирована по направлению магнитного поля. Рамка расположена в центре волновода детектора над щелью (рисунок 1). Один ее конец припаян к середине нижней стенки, другой — через отверстие в торцевой стенке соединяется с диодом; на торцевой стенке крепится и блокировочный конденсатор. В качестве детекторного диода используется диод с барьером Шотки HSMS-8202.

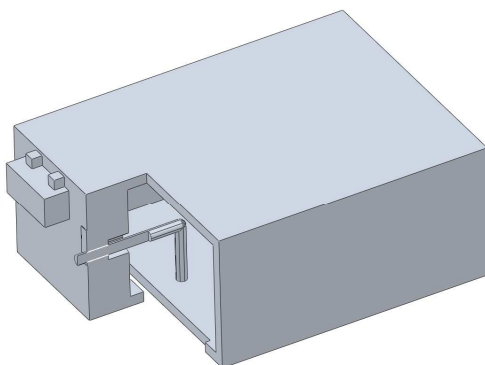


Рисунок 1 — Детекторная головка

Момент магнитного тока рамки $(I_p L_p)_M$ может быть определен по одной из формул эквивалентных источников

$$(I_p L_p)_M = i \frac{2\pi}{\lambda} Z_B I_p S_p . \quad (8)$$

Исходя из принципа взаимности, момент магнитного тока рамки находим из уравнения

$$(I_p L_p)_M = \frac{U P_H \lambda_B}{a \sqrt{\frac{P_H \lambda \lambda_B}{2 Z_B a^3 b}}} . \quad (9)$$

Возводя в квадрат левую и правую части уравнения (9) и учитывая равенство $P = U^2 P_H$, получим

$$(I_p L_p)_M^2 = \frac{2 P \lambda_B}{\lambda} Z_B a b . \quad (10)$$

Решая совместно уравнения (8) и (10), определяем ток, наводимый в рамке

$$I_p = \frac{\sqrt{2 P \lambda \lambda_B a b}}{2 \pi \sqrt{Z_B S_p}} .$$

Полагая $P = 3,54$ мкВт, $S_p = 10$ мм², $f_{CP} = 10,575$ ГГц, получим $I_p = 1,06$ мА.

Результаты экспериментального исследования амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) детекторной головки приведены на рисунке 2. В диапазоне частот 8,5...10,5 ГГц уровень выходного сигнала изменяется, примерно в 10 раз. Предлагаемая малогабаритная детекторная головка может быть использована для ВЦП калибруемого измерителя параметров волноводных элементов.

Дальнейшая работа будет посвящена улучшению параметров и характеристик датчиков мощности волноводно-щелевых преобразователей трехсантиметрового диапазона длин волн — увеличению чувствительности, достижению большей равномерности АЧХ.

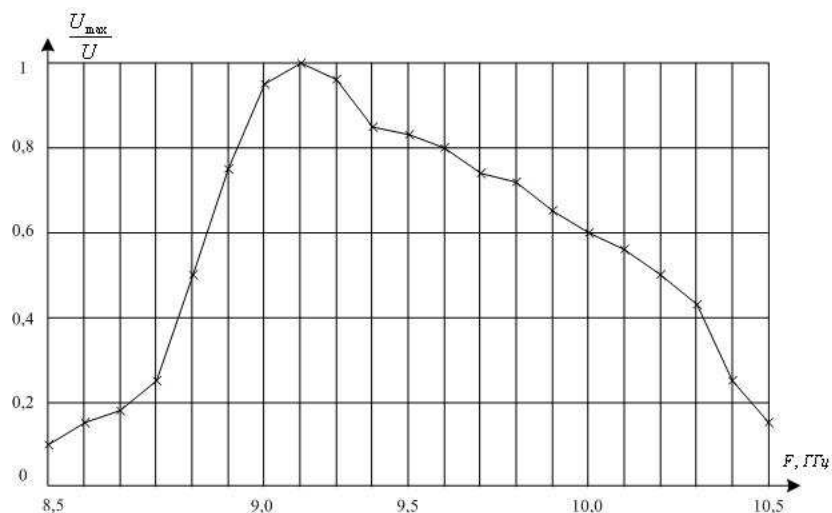


Рисунок 2 – АЧХ детекторной головки

Бібліографічний список

1. Бондаренко И.К. Расчет и конструирование широкополосных детекторных головок для волноводного тракта / И.К. Бондаренко, В.В. Саламатин, И.В. Сидоренко // Вопросы радиоэлектроники. Сер. Радиоизмерительная техника. — М., 1966. — Вып.1 — С. 22–28.
2. Саламатин В.В. Синтез и анализ широкополосного малогабаритного СВЧ преобразователя и измерителя коэффициента отражения на его основе / В.В. Саламатин, И.Л. Афонин, И.В. Лашенко // Изв. высш. учеб. завед. Сер. Радиоэлектроника. — 2002. — Т. 45 — № 6. — С. 35–42.
3. Гимпелевич Ю.Б. Малогабаритные датчики мощности микроволновых преобразователей интерференционного типа / Ю.Б. Гимпелевич, И.В. Лашенко, В.И. Носкович, П.П. Овчаров // Радиотехника: всеукр. межвед. науч.-техн. сб. — Харьков, 2007. — Вып. 150. — С. 64–68.
4. Лашенко И.В. Коррекция частотной погрешности интерференционного волноводно-щелевого преобразователя / И.В. Лашенко, В.И. Носкович, П.П. Овчаров // Вестник СевГТУ. Сер. Информатика, электроника, связь: сб. науч. тр. — Севастополь, 2008. — Вып. 93. — С.161–163.

Поступила в редакцию 15.05.2009 г.