

**Комаров В.В.<sup>1</sup>, Мещанов В.П.<sup>2</sup>, Попова Н.Ф.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Саратовский государственный технический университет

имени Гагарина Ю.А.

<sup>2</sup>ООО НПП «НИКА-СВЧ»

## Миниатюрные широкополосные волноводные нагрузки

*Предложены и разработаны конструкции двух волноводных согласованных нагрузок длиной 8 мм для частотного диапазона 78.33...178.4 ГГц. Размеры и конфигурация поглотителя обеспечивают значения коэффициента стоячей волны на хуже 1.2. Измерения отражательных характеристик проводилось с использованием векторного анализатора цепей Rohde&Schwarz. Данные устройства предназначены для использования в бортовом радиоэлектронном оборудовании авиационной и космической техники.*

**Ключевые слова:** поглотитель, отражение электромагнитных волн, нагрузка.

Волноводные согласованные нагрузки (ВСН) микроволнового диапазона широко применяются в качестве составных элементов направленных ответвителей, вентилей, балансных смесителей, циркуляторов, делителей мощности и многих других устройств в радиолокации, глобальных спутниковых системах мобильной связи и позиционирования, сотовой, радиорелейной, кабельной и космической связи, измерительной технике и технологических установках.

Основными тенденциями развития нагрузочных модулей являются снижение массогабаритных показателей, совершенствование технологии их производства при одновременном уменьшении уровней отраженной мощности в максимально широкой полосе частот.

Для сравнительного анализа имеющихся в настоящее время технических решений ВСН мы предлагаем использовать два безразмерных параметра: коэффициент стоячей волны по напряжению (КСВН) и отношение размера широкой стенки прямоугольного волновода ( $a$ ) к длине нагрузки ( $L$ ).

К примеру, в [1] описаны ВСН для частотного диапазона 37.5...178.4 ГГц с КСВН = 1.03...1.09. Их относительные размеры составляют:  $0.076 < A < 0.13$  ( $A = a/L$ ). В конструкции данных нагрузочных устройств были использованы клиновидные объемные поглотители, выполненные из ферроэпоксидной смолы. Аналогичный подход к выбору конфигурации поглотителей был сделан в [2] при конструировании ВСН X-диапазона, для которых были получены значения КСВН  $< 1.07$ . Относительный размер ВСН, описанных в [2]:  $A = 0.46$ . Информация о сверхкоротких ( $A = 0.279$ ) ВСН, функционирующих на частотах 26.4...40.1 ГГц, можно найти на сайте компании *Flann Microwave (Великобритания)* [3].

Перспективным направлением дальнейшего усовершенствования ВСН является концепция слоистых металлодиэлектрических поглотителей, реализованная в [4] для сверхкоротких широкополосных нагрузок. Однако на частотах свыше 50 ГГц их размеры существенно уменьшаются и возникают технологические проблемы, что, в свою очередь, приводит к удорожанию разработки.

Альтернативой данной концепции при производстве малоразмерных ВСН миллиметрового диапазона может служить конструкция, представленная на рис.1. Базовый

элемент нагрузки, изготовленный из хорошо известного в СВЧ-технике радиопоглотителя *Eccosorb MF-124*, выполнен в форме клина с двумя скосами в плоскостях  $XOZ$  и  $YOZ$ . Длина нагрузки несколько превышает продольный размер поглотителя:  $L > (t + d)$ . Размеры короткозамкнутого отрезка волновода:  $a \times b \times L$ .

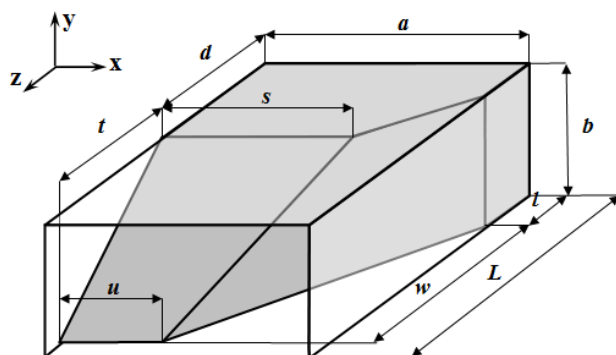


Рисунок 1

Проектирование ВСН проводилось с использованием стандартных [5] прямоугольных волноводов (ПрВ) с поперечным сечением  $a \times b = 2.4 \times 1.2$  мм (78.33...118.1 ГГц) и  $1.6 \times 0.8$  мм (118.1...178.4 ГГц). Для анализа и оптимизации электродинамических характеристик данных устройств согласования была построена трехмерная численная модель на методе конечных разностей во временной области, реализованная в пакете программ *QuickWave-3D* [6]. Вектор внутренних параметров целевой функции задачи оптимизации включал в себя все размеры поглотителя при фиксированных размерах волновода и длине нагрузки  $L = 8$  мм. В модели также учитывались частотные зависимости комплексной диэлектрической и магнитной проницаемости поглотителя.

Верификация результатов численного моделирования проводилась экспериментально. Были изготовлены два прототипа малоразмерных нагрузочных устройств, состоящих из короткозамкнутых отрезков стандартных ПрВ с фланцами и поглотителей, размеры которых были установлены на этапе математического моделирования процессов поглощения ЭМ волн. Крепление поглотителей к стенкам ПрВ осуществлялось специальным клеевым веществом. Измерения отражательных характеристик ВСН выполнялись в частотном диапазоне 78...173 ГГц с помощью векторного анализатора цепей *VNA Rohde&Schwarz*. На рис.2 приведены отражательные характеристики первой нагрузки с размерами:  $a = 2.4$  мм;  $b = 1.2$  мм;  $L = 8$  мм;  $l = 1$  мм;  $d = 3$  мм;  $t = 4.5$  мм;  $w = 6.5$  мм. Максимальное значение КСВН = 1.12, установленное экспериментально, наблюдается на частоте 79 ГГц, в то время как на более высоких частотах КСВН < 1.06. Аналогичные данные измерений второй ВСН с размерами:  $a = 1.6$ ;  $b = 0.8$  мм;  $L = 8$  мм;  $l = 1$  мм;  $d = 3$  мм;  $t = 4.5$  мм;  $w = 6.5$  мм показаны на рис.3. Наихудшее согласование на уровне КСВН = 1.2 здесь достигается в самом начале рабочего диапазона частот  $f = 118.1$  ГГц, а по мере увеличения частоты КСВН плавно снижается примерно до середины диапазона.

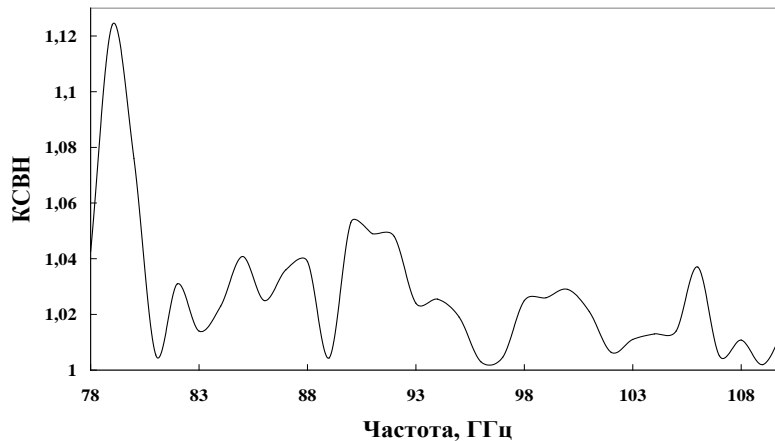


Рисунок 2

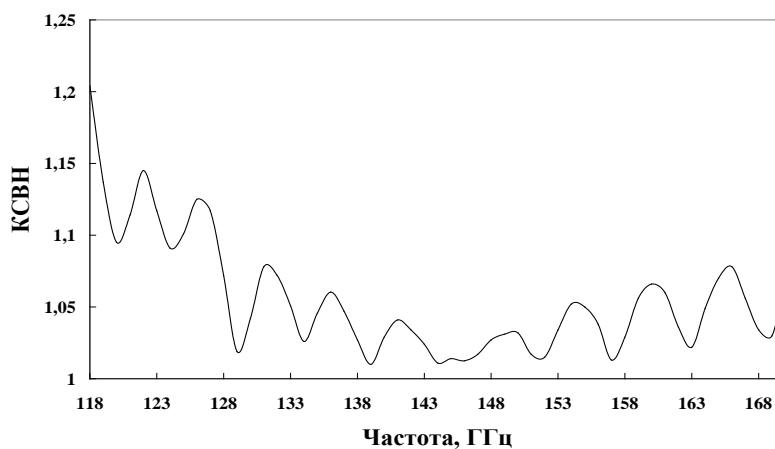


Рисунок 3

Проведенные исследования подтвердили перспективность использования объемных поглощающих вставок сложной конфигурации для создания малоразмерных, широкополосных ВСН миллиметрового диапазона. При относительных размерах  $A = 0.2...0.3$ , рассмотренные в данной работе нагрузки обладают простой конструкцией, технологичны и демонстрируют приемлемые для практики уровни согласования в рабочих частотных диапазонах.

#### Библиографический список

1. Абубакиров Б.А. Нагрузки коаксиальные и волноводные. Нагрузки согласованные, рассогласованные и короткозамкнутые // Антенны и устройства СВЧ / Б.А. Абубакиров, А.Е. Львов, И.Г. Мальтер, О.П. Павловский // - Антенны. - 2006. - Вып. 6(109) - С. 71-78.
2. Stander T. A comparison of simple low-power wedge-type X-band waveguide absorbing load implementations / T. Stander, P.W. van der Walt, P. Meyer // - *AFRICON 2007*. - Windhoek, Namibia. - September 2007. - P. 1-4.
3. <http://www.flann.com/products/loads-and-terminations-2>.
4. Усанов Д.А. Широкополосные согласованные волноводные нагрузки на СВЧ фотонных кристаллах / Д.А. Усанов, В.П. Мещанов, А.В. Скрипаль, Н.Ф. Попова, В.Д. Пономарев // - Радиотехника. - 2015. - № 7. - С. 58-63.
5. ГОСТ РВ 51914-2002. Элементы соединения СВЧ трактов электронных измерительных приборов. Присоединительные элементы.
6. QWED, "QuickWave-3D, QWED", Warsaw, Poland, 2014 [Online]. Available: <http://www.qwed.com.pl>.