

УДК 621.372

Б.А. Абубакиров¹, Л.В. Когтева², А.Е. Львов¹, С.В. Панков¹, Г.И. Шишков²

ВОЛНОВОДНЫЕ И МИКРОПОЛОСКОВЫЕ НАГРУЗКИ В РАДИОИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКЕ

Нижегородский научно-исследовательский приборостроительный
институт «Кварц» им. А.П. Горшкова¹,
Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева²

Объект исследования: волноводные нагрузки, микрополосковые нагрузки.

Цель: Описать принципы работы и конструкции современных волноводных и микрополосковых нагрузок СВЧ и КВЧ диапазонов, в том числе эталонных, показать их применение в радиоизмерительной технике.

Результаты: Приведены технические характеристики волноводных и микрополосковых нагрузок различного назначения.

Область применения: Нагрузки применяются при конструировании различных узлов (делителей мощности, направленных ответвителей, стробоскопических преобразователей и др.), обеспечивают прецизионные измерения СВЧ-систем и волноводных устройств, используются при калибровке измерителей комплексных коэффициентов отражения и передачи.

Ключевые слова: волновод, микрополосковая линия, нагрузка, поглотитель, коэффициент отражения, коэффициент стоячей волны напряжения.

Введение

В настоящей статье рассмотрены волноводные и микрополосковые нагрузки как оконечные устройства волноведущих трактов радиоизмерительных систем преимущественно СВЧ- и КВЧ-диапазонов, служащие для полного или частичного поглощения энергии электромагнитных волн. Такие нагрузки, чаще всего, являются широкополосными устройствами (в частности, волноводные нагрузки обычно работают во всем рабочем диапазоне частот применяемого волновода) и предназначены для поглощения передаваемой энергии мощностью порядка 1 Вт и менее.

Волноводные нагрузки широко используются в радиоизмерительной технике в делителях мощности, направленных ответвителях, мостах, в качестве калибровочных устройств таких приборов, как измерители комплексных коэффициентов отражения и передачи, в диодных преобразователях частоты и т.д.

Волноводные нагрузки, как и нагрузки в коаксиальных трактах, в зависимости от назначения и конструктивного исполнения можно классифицировать:

- согласованные, служащие для полного поглощения передаваемой по тракту энергии;
- рассогласованные фиксированные нагрузки, служащие мерой коэффициента отражения;
- подвижные согласованные нагрузки, являющиеся эталонами волнового сопротивления;
- нагрузки с фиксированной величиной коэффициента стоячей волны (КСВН).

Микрополосковые нагрузки нашли применение в интегральных схемах, диодных преобразователях частоты СВЧ и КВЧ диапазонов, направленных ответвителях, как компактные оконечные устройства, работающие в широком диапазоне от постоянного тока до 18 ГГц.

Волноводные согласованные нагрузки

Волноводные согласованные нагрузки выполняют в виде короткозамкнутого отрезка волновода, в котором размещены поглощающие вставки различной формы (рис. 1). В некоторых волноводных нагрузках вставки имеют вид тонких диэлектрических пластин (гетинакс, керамика), покрытых слоем поглощающего вещества (графит, окись олова, металлы с высоким удельным сопротивлением и др.) (рис. 1, а). Пластины располагают параллельно

вектору \vec{E} поглощаемой волны. Такое положение вектора \vec{E} обуславливает возникновение в поглощающем веществе токов проводимости, наличие которых приводит к превращению энергии электромагнитной волны в тепловую энергию.

Для получения наименьшего значения КСВН в широкой полосе частот пластинам на входе придают клиновидную форму, которая подбирается экспериментально.

Существуют объемные поглощающие вставки (рис. 1, б, в, г), которые выполняются из композитных материалов, чаще всего, на основе карбонильного железа.

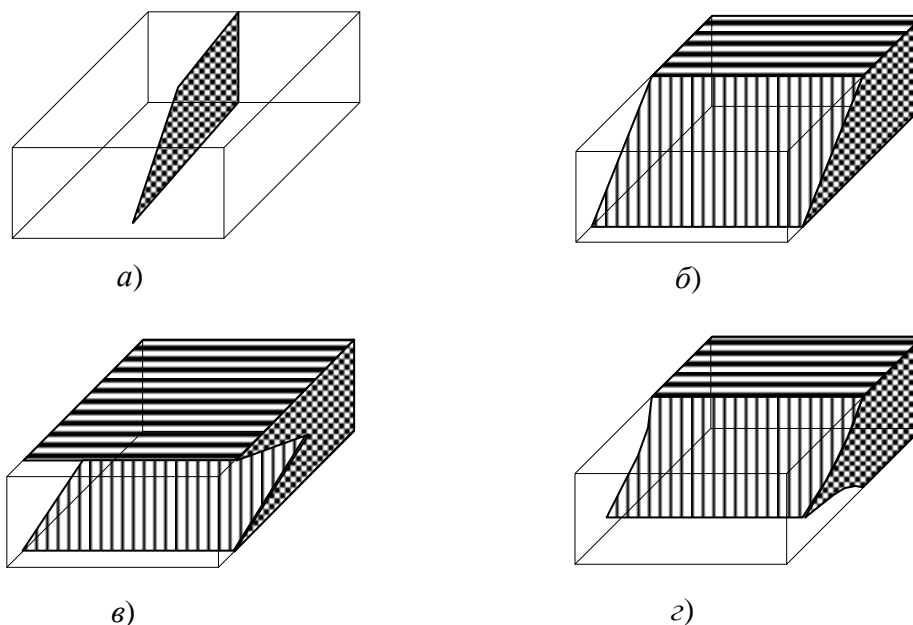


Рис. 1. Конструкции волноводных согласованных нагрузок

Для уменьшения отражений поглощающим вставкам придают вид клиньев или пирамид. Наименьшие отражения в широкой полосе частот обеспечиваются от вставок, входная часть которых имеет форму экспоненциального клина в плоскости вектора \vec{E} или в виде длинных скосов. Вставки должны вносить ослабление не менее 20–25 дБ.

Практически для изготовления объемного поглотителя выбирают негигроскопичный материал, который достаточно легко поддается механической обработке, одновременно сохраняя прочность. Исходя из этих требований, оптимальным является высокочастотный объемный материал [1], изготавливаемый из смеси полиэтилена и карбонильного железа (в порошковом виде) в весовых соотношениях 20 и 80 % соответственно. Из этого материала прессуются заготовки. На фрезерных станках из них изготавливаются клиновидные поглотители. Возможно производство непосредственно отливок готовых волноводных поглотителей. На рис. 2 изображена конструкция наиболее распространенного волноводного объемного поглотителя.

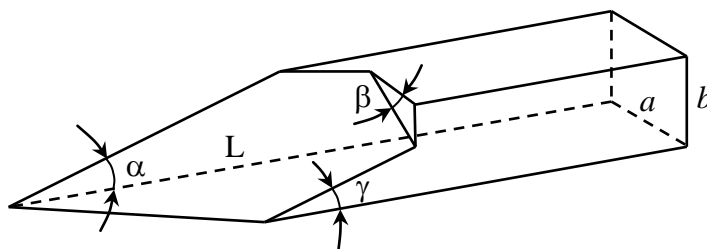


Рис. 2. Волноводный объемный поглотитель

В табл. 1 приведены размеры поглотителей для двух сечений волноводов. Для других сечений волноводов значения углов, приведенных в табл. 1, практически идентичны.

Таблица 1

Геометрические размеры волноводных объемных поглотителей

Сечение волновода $a \times b$, мм	L	α	β	γ
7,2×3,4	78	7°	18° 40′	20°
35×15	164	6,5°	21°	17°

Размеры клиньев обрабатываются экспериментально: чем положе и длиннее клин, тем лучше он получается согласованным в нагрузке. Установлено, что длина клина должна быть не менее $2\lambda_{\max}$ (λ_{\max} – наибольшая длина волны в волноводе).

В миллиметровом диапазоне волн обеспечение в волноводной нагрузке КСВН не более 1,01 не является технически сложной задачей. У поглотителей на большие сечения волноводов (72×34 мм) получить КСВН $\cong 1,01$ уже сложнее, а на нижней частоте волновода КСВН возрастает до 1,03 – 1,04.

Коэффициент отражения волноводной нагрузки Γ_n складывается из коэффициента отражения поглотителя ($\Gamma_{\text{погл}}$) и волновода с фланцем (Γ_v):

$$\Gamma_n = \Gamma_{\text{погл}} + \Gamma_v.$$

Величина коэффициента отражения поглотителя $\Gamma_{\text{погл}}$ определяется экспериментально методом подвижного поглотителя, коэффициент отражения волновода складывается из допусков изготовления канала волновода $a \pm \Delta a$, $b \pm \Delta b$ и допусков присоединительных размеров фланцев, из-за которых соединительные волноводы смещаются на величины $\Delta a'$, $\Delta b'$ (рис. 3).

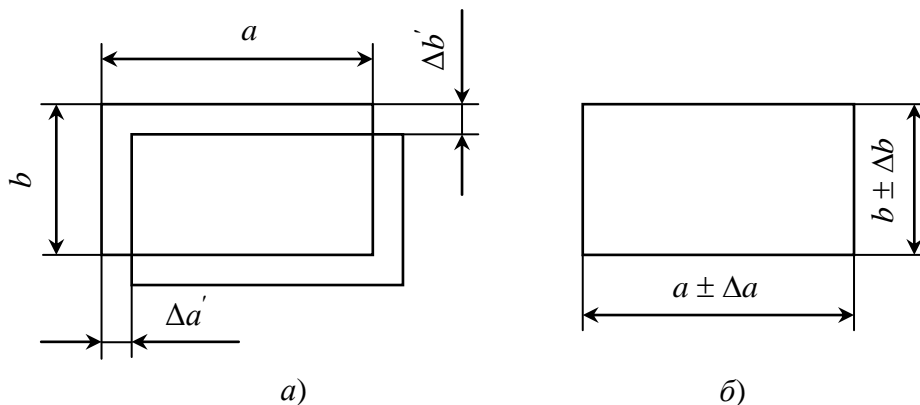


Рис. 3. Допуски на изготовление волноводов:

a – смещения волноводов из-за допусков фланцевых соединений $\Delta a'$, $\Delta b'$;
 b – допуски изготовления волноводного канала Δa , Δb

Значения Δa и Δb устанавливаются из разумного компромисса: чем меньше величины Δa и Δb , тем выше качество волноводного устройства, но тем труднее механическое изготовление. Значения $\Delta a'$ и $\Delta b'$ устанавливаются из правила собираемости волноводных фланцев [2]. В [2] приведены расчетные значения коэффициента отражения фланцевых соединений, пересчитанные в дБ для волноводов по стандарту России и по стандарту Международной электротехнической комиссии (МЭК). На рис. 4 приведен внешний вид, а в табл. 2 – технические характеристики [3] волноводных согласованных нагрузок миллиметрового диапазона волн.

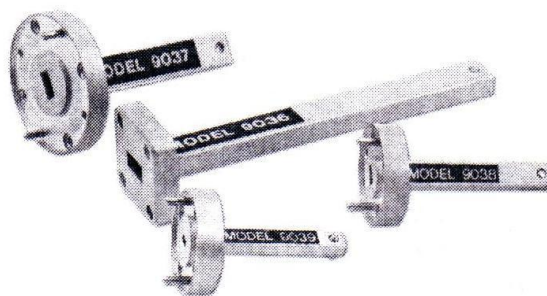


Рис. 4. Волноводные согласованные нагрузки миллиметрового диапазона волн

Таблица 2

Технические характеристики волноводных согласованных нагрузок

Модель	Диапазон частот, ГГц	Сечение волновода*, мм	КСВН	Габариты, мм
4-Э80369	17,44 – 25,86	11 × 5,5	1,03	29 × 29 × 90,5
4-Э80369-01	25,95 – 37,50	7,2 × 3,4	1,03	24 × 24 × 74,5
4-Э81030-01	37,50 – 53,57	5,2 × 2,6	1,03	∅ 20 × 39,6
4-Э81030	53,57 – 78,33	3,6 × 1,8	1,03	∅ 20 × 34,0
4-Э81037-01	78,33 – 118,1	2,4 × 1,2	1,05	∅ 16 × 23,3
4-Э81037	118,1 – 178,4	1,6 × 0,8	1,07	∅ 16 × 21,0

*Технические характеристики фланцев и волноводов даны по ГОСТ 13317-89.

Волноводные согласованные нагрузки разработаны на отечественных волноводах и фланцах, а также на волноводах и фланцах по стандартам МЭК.

Волноводные рассогласованные фиксированные нагрузки

Волноводные рассогласованные нагрузки используются в качестве меры коэффициента отражения. В волноводных линиях передачи рассогласованные нагрузки наиболее просто получают при использовании скачка волнового сопротивления линии. Высоту волновода b уменьшают в n раз до величины d , причем величина n соответствует величине требуемого КСВН. При соединении волноводов сечениями $a \times b$ и $a \times d$, когда волновод меньшего сечения $a \times d$ нагружен согласованным поглотителем, образуется скачок волнового сопротивления с требуемым КСВН (рис. 5).

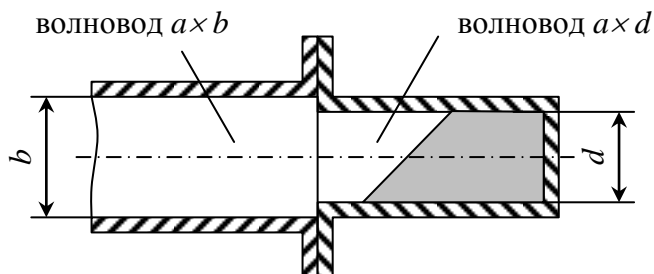


Рис. 5. Рассогласованная волноводная нагрузка со скачком волнового сопротивления

Преимущества такой конструкции следующие:

- небольшая частотная зависимость КСВН рассогласованной нагрузки;
- предельно простая и надежная конструкция;
- модуль и фаза коэффициента отражения строго рассчитываются на основе геометри-

ческих размеров (именно в этом состоит реализация эталона или меры коэффициента отражения);

- наличие возможности учета реальных допусков изготовления волновода $a \times d$, повышая при этом точность аттестации нагрузки по модулю и фазе коэффициента отражения.

К поглотителю нагрузки на волноводе сечением $a \times d$ предъявляются жесткие требования при изготовлении.

Расчет волноводных рассогласованных нагрузок со скачком волнового сопротивления приведен в [4]. Результаты расчета частотных зависимостей КСВН рассогласованных нагрузок даны на рис. 6 и рис. 7.

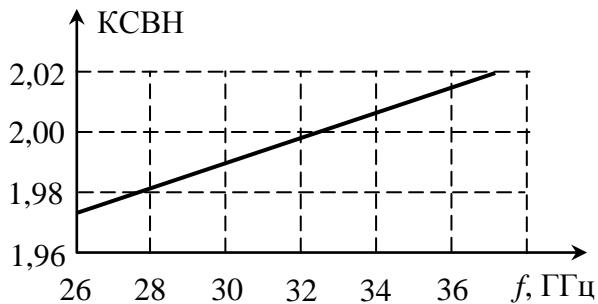


Рис. 6. Частотная зависимость нагрузки с фиксированным КСВН = 2 в диапазоне волновода сечением 7,2×3,4 мм

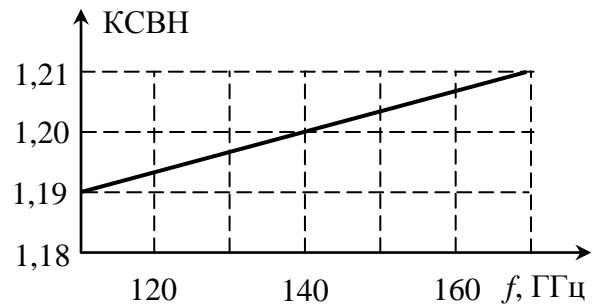


Рис. 7. Частотная зависимость нагрузки с фиксированным КСВН = 1,2 в диапазоне волновода WR-6 (сечение 1,05×0,825 мм)

По ГОСТ 13759-82 для волноводных нагрузок допускаются отклонения величины КСВН от номинального значения для высшего, первого класса в пределах $2,0 \pm 0,2$ и $1,2 \pm 0,1$. Достигнутые результаты существенно ниже допустимого уровня разброса номинального значения.

Предельная простота конструкции фиксированных нагрузок, основанной на скачке волнового сопротивления, обеспечила их массовое применение. Эти нагрузки включались в комплект серийно выпускаемых панорамных измерителей КСВН и ослаблений.

В табл. 3 приведены характеристики рассогласованных волноводных нагрузок с КСВН, равным 1,4 и 2,0 [3].

Таблица 3

Технические характеристики рассогласованных волноводных нагрузок

Модель	Диапазон частот, ГГц	Номинальное значение КСВН	Частотная зависимость КСВН	Погрешность аттестации КСВН, %	Габариты, мм
4-Э67009 4-Э67010	17,44 – 25,95	1,4 2,0	1,38 – 1,42 1,96 – 2,03	2,0 2,0	29×29×147
4-Э67024 4-Э67025	25,95 – 37,50	1,4 2,0	1,38 – 1,42 1,96 – 2,03	2,5 2,5	24×24×123
28-Э5.313 28-Э5.313-01	37,50 – 53,57	1,4 2,0	1,38 – 1,42 1,96 – 2,03	2,5 2,5	∅ 20×89
28-Э5.313-02 28-Э5.313-03	53,57 – 78,33	1,4 2,0	1,38 – 1,42 1,96 – 2,03	3,0 3,0	∅ 20×89
28-Э5.314 28-Э5.314-01	78,33 – 118,1	1,4 2,0	1,38 – 1,42 1,96 – 2,03	3,0 3,0	∅ 16×71

Волноводные подвижные согласованные нагрузки

Волноводные подвижные согласованные нагрузки используются как эталоны волнового сопротивления и обеспечивают прецизионные измерения параметров СВЧ- и КВЧ-систем и волноводных устройств. Их также называют скользящими, или нагрузками с переменной фазой коэффициента отражения.

Конструкция этих нагрузок предельно проста: вдоль высокочастотной волноводной линии перемещается объемный поглотитель. Поглотитель служит как средство сличения измеряемого объекта с волновым сопротивлением прецизионного волновода. Коэффициент отражения поглотителя нагрузки из результатов измерения исключается, поэтому к поглотителю не предъявляются высокие требования по согласованию.

Пусть требуется определить коэффициент отражения Γ_x перехода, фильтра, вентиля и т.д. Измеряемое изделие подключается к измерителю КСВН – ответвителю или к измерительной линии. К другому концу подключается подвижная согласованная нагрузка. Коэффициент отражения связан с величиной КСВН соотношением

$$\Gamma = \frac{\text{КСВН} - 1}{\text{КСВН} + 1}.$$

Перемещая поглотитель нагрузки, измеряют два экстремальных значения коэффициента отражения:

$$\Gamma_{\text{макс}} = \Gamma_x + \Gamma_{\text{погл}},$$

$$\Gamma_{\text{мин}} = \Gamma_x - \Gamma_{\text{погл}}.$$

Складывая два последних соотношения, получаем

$$\Gamma_x = \frac{\Gamma_{\text{макс}} + \Gamma_{\text{мин}}}{2}.$$

Таким образом, параметр $\Gamma_{\text{погл}}$ из результатов измерения исключается. При этих измерениях погрешность направленного ответвителя или измерительной линии не исключаются. Исключается только погрешность за счет коэффициента отражения согласованной нагрузки.

В НИИПИ «Кварц» подвижные нагрузки разработаны в диапазоне от 26 до 170 ГГц как на волноводах по стандартам России, так и по стандартам МЭК. Внешний вид нагрузки миллиметрового диапазона изображен на рис. 8. Технические характеристики приведены в табл. 4.

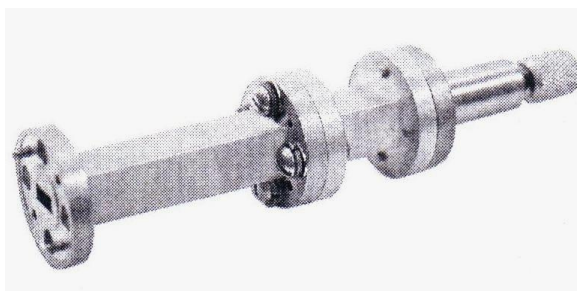


Рис. 8. Подвижная волноводная нагрузка миллиметрового диапазона

Таблица 4

Технические характеристики подвижных волноводных согласованных нагрузок

Модель	Диапазон частот, ГГц	Сечение волновода*, мм	КСВН поглотителя	Габариты, мм
4-Э67115	37,50 – 53,57	5,2×2,6	1,03	24×24×190,5
4-Э67116	53,57 – 78,33	3,6×1,8	1,03	24×24×190,5

*Фланцы и волноводы соответствуют ГОСТ 13317-89.

Подвижные нагрузки с величиной КСВН = 1,2, как показывает практика, наиболее удобны при измерении направленности ответвителей, развязки мостов, согласования переходов и т.п. Их целесообразно создавать по принципу «скачка» волнового сопротивления волноводного тракта (рис. 9). Поскольку для подвижной нагрузки не требуется точное знание коэффициента стоячей волны, величину КСВН в этом случае можно рассчитать по упрощенной формуле $КСВН = b/d = 1,2$.

В такой подвижной нагрузке тщательно должен быть изготовлен волноведущий канал. На рис. 9 приведена конструкция волноводной нагрузки с КСВН = 1,2. Расчеты показывают, что данная конструкция может быть выполнена для волноводов от больших сечений до сечения $3,6 \times 1,8$ мм включительно. На более высоких частотах требуются дополнительные теоретические и экспериментальные исследования.

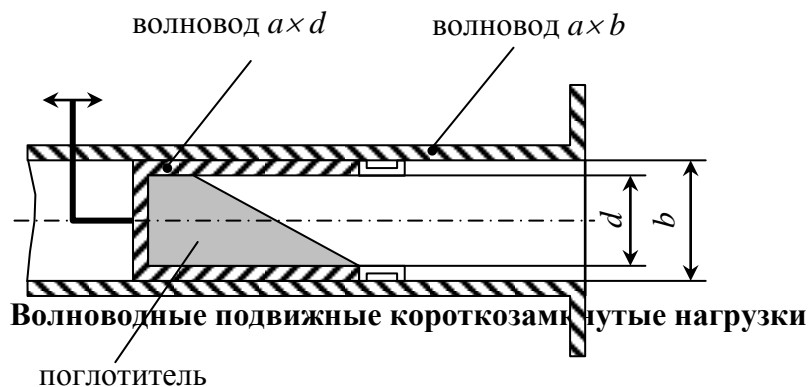


Рис. 9. Конструкция подвижной волноводной нагрузки с КСВН=1,2

Нагрузки волноводные короткозамкнутые (КЗ) подвижные являются образцовыми мерами модуля и фазы коэффициента отражения и, как правило, выполняются без использования гальванических контактов. На рис. 10 показана конструкция бесконтактной КЗ нагрузки.

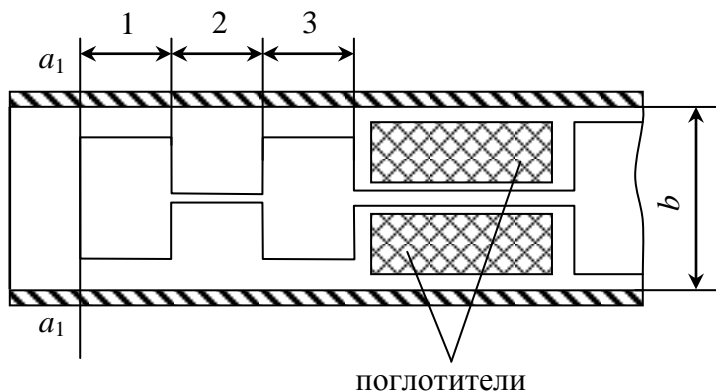


Рис. 10. Продольное сечение трехсекционного подвижного короткозамыкателя с поглотительной секцией

Плоскость короткого замыкания $a_1 - a_1$ достигается подключением своеобразной ступенчатой коаксиальной линии, длина секций которой равна $\lambda_{cp}/2$, где λ_{cp} – длина волны, соответствующая средней частоте рабочего диапазона волновода. Секции 1, 3 – линии с малым волновым сопротивлением, секция 2 – линия с высоким волновым сопротивлением. Известно, что четвертьволновая линия трансформирует большое сопротивление на выходе в короткое замыкание на входе (рис. 10, плоскость $a_1 - a_1$).

Малое волновое сопротивление в секциях 1 и 3 обеспечивается небольшим зазором у стенок волновода, большое волновое сопротивление секции 2 – небольшими размерами проводника (толщиной или сечением). На конце нагрузки закрепляется поглотитель для дополнительного поглощения просочившейся энергии. Чем больше перепад волновых сопротивлений секций 1 и 2, тем больше уровень КСВН можно ожидать в плоскости a_1 – a_1 .

На рис. 11 показано сечение низкоомной секции прямоугольного короткозамыкателя.

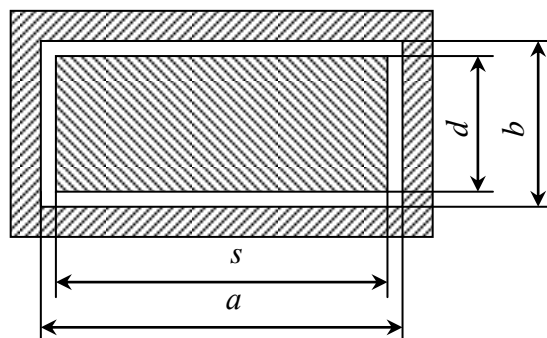


Рис. 11. Сечение низкоомной секции прямоугольного короткозамыкателя

В миллиметровом диапазоне волн отношение $s/a \approx 0,7 \div 0,8$, зазор $(b-d)/2$ должен быть минимальным, но при этом гарантированно исключено замыкание на корпус волновода. Технические характеристики подвижных волноводных КЗ нагрузок [3] приведены в табл. 5.

Таблица 5

Технические характеристики подвижных волноводных короткозамкнутых нагрузок

Модель	Диапазон частот, ГГц	Сечение волновода*, мм	КСВН	Габариты, мм
4-Э67090	37,5 – 53,57	5,2 × 2,6	40	24×24×163
4-Э67091	53,57 – 78,33	3,6 × 1,8	40	24×24×163

*Фланцы и волноводы соответствуют ГОСТ РВ51914-2002.

Согласованные нагрузки для микрополосковых линий

При проектировании СВЧ интегральных схем и микрополосковых устройств (ответвителей, усилителей, переключателей и т.п.) крайне необходима компактная микрополосковая нагрузка, работающая в диапазоне от постоянного тока до 18 ГГц и выше. При первом взгляде микрополосковая нагрузка предельно проста: микрополосковая линия с волновым сопротивлением $Z_0 = 50$ Ом заканчивается 50-омным поглощающим элементом, который замыкается на корпус (экран) линии (рис. 12). Однако такая нагрузка имеет КСВН на уровне 1,1 только до 2÷2,5 ГГц, далее КСВН резко возрастает до величины 1,4 на частоте 18 ГГц.

В НИИПИ «Кварц» были проведены необходимые теоретические и экспериментальные исследования [5, 6] по созданию высококачественных микрополосковых нагрузок.

Условием широкополосного согласования неоднородной линии с потерями является соотношение [7]

$$Z_{\text{вх}}(x) = R_{\text{вх}}(x), \quad (1)$$

где x – координата, отсчитываемая от плоскости замыкания; $R_{\text{вх}}(x)$ – сопротивление отрезка линии, заключенного между сечением x и короткозамкнутым концом; $Z_{\text{вх}}(x) = \sqrt{\frac{L(x)}{C(x)}}$, ($L(x)$, $C(x)$ – погонные индуктивность и емкость линии в сечении x).

Условие (1) определяет равенство нулю реактивной части входного сопротивления линии с потерями, что является одним из условий широкополосного согласования.

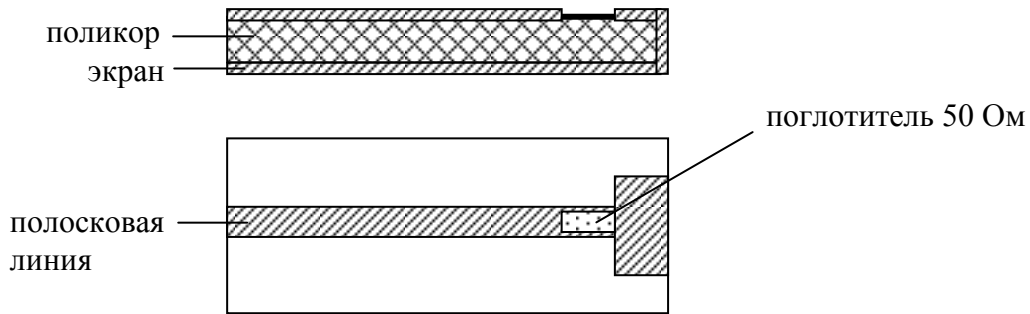


Рис. 12. Схема простейшей микрополосковой нагрузки

В микрополосковой линии условие (1) выполнить не удастся, так как геометрические размеры получаются столь малыми, что при современной технологии они не всегда выполнимы. Известно, что можно улучшить согласование однородной короткозамкнутой линии с потерями, выполнив условие

$$Z_0 = \frac{R_0}{\sqrt{3}},$$

где $Z_0 = \sqrt{L/C}$, L , C – погонные индуктивность и емкость линии, R_0 – общее сопротивление линии.

Для нагрузки 50 Ом получаем $Z_0 = \frac{R_0}{\sqrt{3}} \approx 29$ Ом. Такую величину можно получить,

если приблизить к краям резистора, ширина которого совпадает с шириной центрального проводника 50-омной микрополосковой линии, проводник (экран), соединенный с корпусом линии. Конструкция микрополосковой линии приведена на рис. 13.

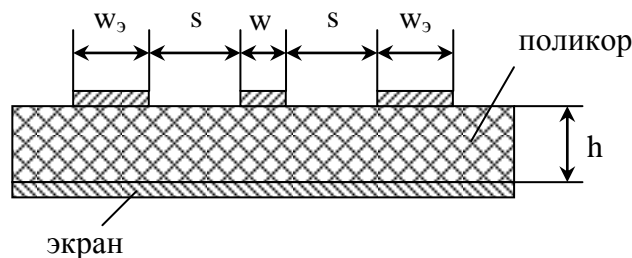


Рис. 13. Поперечное сечение микрополосковой линии передачи

Таблица 6

Технические характеристики микрополосковой линии

s/h	w/h	$w_э/h$	Z_0 , Ом	$\sqrt{\epsilon_{эф}}$
0,05	0,96	1,0	28,45	2,37
0,05	0,96	1,5	28,43	2,37
0,10	0,96	1,0	32,50	2,38
0,10	0,96	1,5	32,48	2,38
0,15	0,96	1,0	35,30	2,39
0,15	0,96	1,5	35,80	2,39

Расчет такой линии передачи проведен в [6]. Результаты расчета параметров рассматриваемой линии для диэлектрической подложки из поликора с относительной диэлектрической проницаемостью 9,8 приведены в табл. 6 (Z_0 – волновое сопротивление линии; $\epsilon_{\text{эф}}$ – эффективная диэлектрическая проницаемость).

В микрополосковой нагрузке большое влияние на согласование оказывает длина короткозамкнутого шлейфа, образованного проводником, через который резистор замыкается на корпус. Для ослабления влияния шлейфа необходимо дальнейшее снижение величины волнового сопротивления (т.е. уменьшение зазора между экраном и резистором, что технологически трудно реализуемо) или некоторое продление экрана, т.е. уменьшение волнового сопротивления на ближайшем к резистору отрезке подводящей микрополосковой линии. Нагрузка приобретает конфигурацию, показанную на рис. 14.

Численный анализ частотной зависимости такой нагрузки проведен в НИИПИ «Кварц» на основе теории длинных линий. Нагрузка рассматривалась как каскадное соединение трех отрезков линии передачи I, II, III. Макеты нагрузок выполнены в соответствии с рис. 14 ($s = 0,05$ мм, $l_0 = 0,15$ мм, $l_R = 0,24$ мм, $l_{\text{III}} = 0,3$ мм).

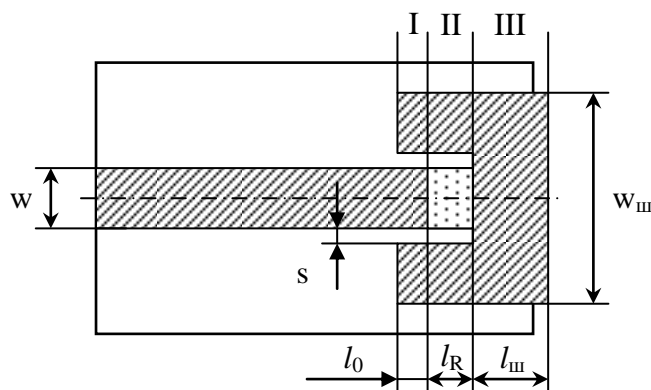


Рис. 14. Конструкция микрополосковой нагрузки

Результаты экспериментальных исследований по определению КСВН предложенной конструкции микрополосковой нагрузки приведены на рис. 15. Из графиков рис. 15 видно, что предложенная конструкция (рис. 14) существенно улучшает согласование микрополосковой нагрузки: КСВН не превышает величины 1,1 на частотах до 18 ГГц. Дальнейшее улучшение характеристик микрополосковых нагрузок – уменьшение длины короткозамкнутого шлейфа.

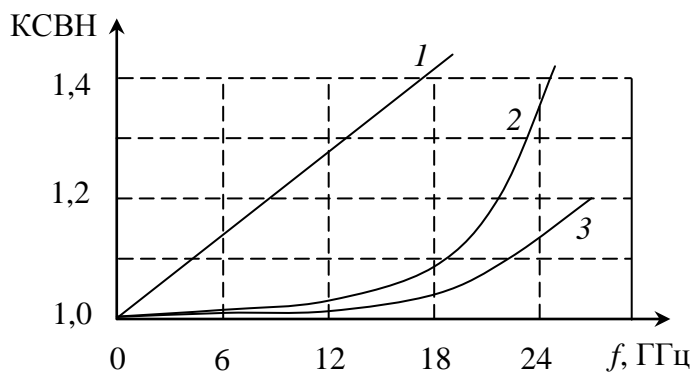


Рис. 15. Частотные зависимости КСВН:

1 – теоретическая; 2 – экспериментальная, для конструкции рис. 12; 3 – экспериментальная, для конструкции рис. 14

Основные виды радиоизмерений на сверхвысоких частотах рассматриваются в [7], где описаны методы измерения, практические конструкции радиоизмерительных приборов и их отдельных узлов, дается анализ погрешностей измерений.

Библиографический список

1. ОСТ 107.460007.006-92. Отраслевой стандарт. Материалы для объемных поглотителей ВЧ энергии. – М.: Изд-во ВНИИ, 1992. – 17 с.
2. ГОСТ РВ 51914-2002. Элементы соединения СВЧ трактов электронных измерительных приборов. Присоединительные размеры. – М.: Изд-во станд., 2002.
3. Коаксиальные, волноводные и оптические устройства // Каталог НИИПИ «Кварц». – Н.Новгород, 2014. – 61 с.
4. **Абубакиров, Б.А.** Расчет и конструкции волноводных нагрузок / Б.А. Абубакиров, М.Л. Нововоспасская // Вопросы радиоэлектроники. Сер. Радиоизмерительная техника. 1967. Вып. 7. С. 33–37.
5. А.с. 978239 СССР. Микрополосковая нагрузка / С.В.Панков // БИ. № 44. 1982. – 3 с.
6. **Панков, С.В.** Способ широкополосного согласования поглощающих элементов в полосковых линиях // Техника средств связи. Сер. Радиоизмерительная техника. 1983. Вып. 2. С. 74–78.
7. **Тишер, Ф.** Техника измерений на сверхвысоких частотах: справочное руководство: [пер. с нем. А.В. Львова] / Ф. Тишер; под ред. В.Н. Сретенского. – М.: Физ-мат. лит-ра, 1963. – 54 с.

*Дата поступления
в редакцию 05.02.2015*

В.А. Abubakirov¹, L.V. Kogteva², А.Е. Lvov¹, S.V. Pankov¹, G.I. Shishkov²

WAVEGUIDE AND MICROSTRIP LINE TERMINATIONS IN MEASURING TECHNIQUE

Institute of Electronic Measurements KVARZ n.a. A.P. Gogshkov¹,
Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alexeev²

Subject: Waveguide terminations, microstrip line terminations.

Purpose: To describe the operation and constructions of modern SHF and EHF waveguide and microstrip line terminations (including reference terminations), to specify their application in measuring technique.

Results: Technical characteristics of different waveguide and microstrip line terminations are presented.

Field of application: Terminations are used in the design different devices (power divider, directional coupler, stroboscopic converter and so on), provide precision measurements of microwave systems and waveguide devices, are used for calibration complex reflection coefficient and transmission coefficient meters.

Key words: waveguide, microstrip line, termination, absorbing material, reflection coefficient, voltage standing-wave ratio.