

РАДИОТЕХНИКА, СИСТЕМЫ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ, АНТЕННЫ И УСТРОЙСТВА СВЧ

УДК 621.372

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

КОАКСИАЛЬНЫЕ НАГРУЗКИ В РАДИОИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКЕ

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

Объект исследования: коаксиальные нагрузки.

Цель: Описать принципы работы и конструкции современных коаксиальных нагрузок, в том числе эталонных, показать их применение в радиоизмерительной технике.

Результаты: Приведены технические характеристики коаксиальных нагрузок различного назначения.

Область применения: Коаксиальные нагрузки применяются как меры волнового сопротивления, эталоны коэффициентов отражения и передачи при настройке и контроле различных узлов (направленных ответвителей, переходов и др.), для проверки технических характеристик анализаторов цепей.

Ключевые слова: нагрузка, тонкопленочный резистор, объемный поглотитель, коэффициент отражения, коэффициент стоячей волны напряжения.

Введение

Под нагрузками для линий передачи ВЧ-, СВЧ- и КВЧ-диапазонов волн понимают оконечные устройства радиотехнических трактов (коаксиальных, волноводных, полосковых), служащие для полного или частичного поглощения энергии электромагнитных волн.

Коаксиальные нагрузки в радиоизмерительной технике характеризуются широкой рабочей полосой частот, высокими техническими характеристиками, малым уровнем (не более 1 Вт) поглощаемой энергии.

В Нижегородском научно-исследовательском приборостроительном институте (ННИПИ «Кварц») разработаны нагрузки для коаксиальных линий сечениями 7/3,04; 3,5/1,52 и 2,4/1,042 мм с волновым сопротивлением 50 Ом, по своим техническим характеристикам соответствующие международному уровню.

Разработанные нагрузки соответствуют стандарту [1], присоединительные размеры коаксиальных разъемов выполнены по стандарту [2].

По назначению коаксиальные нагрузки можно подразделить на четыре основные группы:

- нагрузки согласованные фиксированные, используемые как оконечные устройства в измерительных системах, где важно обеспечение малых отражений, и в качестве образцовых мер для калибровки и поверки анализаторов цепей;
- нагрузки рассогласованные с фиксированными значениями коэффициента стоячей волны напряжения (КСВН), являющиеся эталонами отражения и используемые для контроля и поверки измерителей параметров цепей;
- нагрузки подвижные с переменной фазой коэффициента отражения, служащие эталонами волнового сопротивления;

- нагрузки короткозамкнутые, которые используются как образцовые меры модуля и фазы коэффициента отражения.

Согласованные фиксированные нагрузки

Основными конструкциями коаксиальных согласованных нагрузок являются:

- конструкции на базе цилиндрических резисторов с однородным тонким (меньше толщины скин-слоя) поглощающим покрытием (рис. 1, а, б);
- конструкции с применением объемных поглотителей (рис. 1, в).

Для объемных поглотителей выбирается материал, поглощающий высокочастотную энергию и одновременно легко поддающийся механической обработке [3].

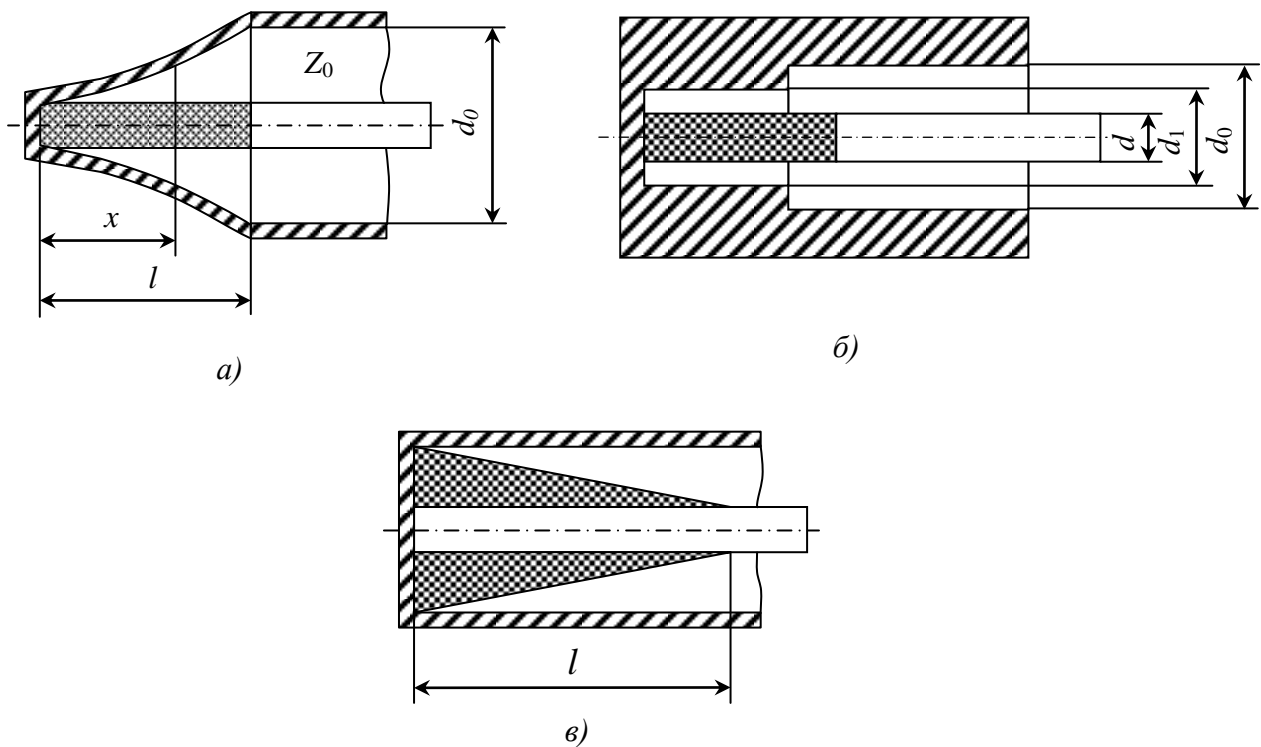


Рис. 1. Конструкции коаксиальных согласованных нагрузок

Нагрузки согласованные фиксированные на цилиндрических резисторах, расположенных на продолжении центральных проводников коаксиальных линий и внутри внешних проводников (экранов) линий экспоненциальной формы (рис. 1, а).

В таких нагрузках в каждом поперечном сечении на расстоянии x от плоскости замыкания резистивного слоя на корпус внешнего проводника обеспечивается равенство волнового сопротивления коаксиальной линии омическому сопротивлению резистора (рис. 1, а).

Зависимость диаметра внешнего проводника от положения плоскости замыкания определяется соотношением [4]

$$d_x = d_0 e^{\left[-\frac{Z_0}{60} \left(1 - \frac{x}{l} \right) \right]}. \quad (1)$$

Величина КСВН нагрузок с экспоненциальным экраном составляет 1,05 в диапазоне от постоянного тока до частот порядка 3 ГГц и не более 1,35 до частоты 18 ГГц для коаксиальной линии сечением 7/3,04 мм.

В расчетах по формуле (1) предполагается, что резистивный слой равномерно распределен по поверхности резистора, что на практике не всегда осуществимо.

Лучшие результаты по согласованию нагрузки достигаются при использовании внешнего проводника (экрана), профиль которого задан выражением [5]

$$d_x = \frac{d_0}{1 + 1,3 \left(1 - \frac{x}{l}\right)^2}. \quad (2)$$

В отличие от экспоненциального согласующего экрана в этой конструкции обеспечивается плавная трансформация волнового фронта при переходе от коаксиальной линии к поглощающей части нагрузки, однако при этом нарушается условие равенства омического сопротивления резистора волновому сопротивлению в каждом сечении в соответствии с (1). Поэтому в согласующую камеру устанавливаются регулировочные винты, с помощью которых достигается равенство входного сопротивления резистора волновому сопротивлению и его независимость от частоты. Благодаря плавному профилю согласующего экрана уменьшается влияние разброса величины поверхностного сопротивления резисторов по длине резистивного слоя и достигается значительное снижение влияния неравномерности резистивного слоя на согласование нагрузок в диапазоне частот. Были достигнуты величины КСВН нагрузок не более 1,015 до 3 ГГц и 1,15 до 18 ГГц для коаксиальной линии сечением 7/3,04 мм.

Коаксиальные нагрузки с КСВН не более 1,015 в диапазоне до 3 ГГц становятся образцовыми мерами волнового сопротивления. Измерение и аттестация нагрузок с КСВН менее 1,05 возможны с помощью панорамных измерителей КСВН и отрезка прецизионной коаксиальной линии, создающего переменный фазовый сдвиг между измеряемой нагрузкой и рефлектометром в панорамном режиме работы прибора [5]. Происходит интерференция двух сигналов Γ_n (коэффициент отражения нагрузки) и Γ_p (коэффициент отражения рефлектометра). Выходной сигнал рефлектометра меняется от максимального $\Gamma_{\max} = |\Gamma_p + \Gamma_n|$ до минимального $\Gamma_{\min} = |\Gamma_p - \Gamma_n|$, при $\Gamma_p > \Gamma_n$ $\Gamma_n = 0,5(\Gamma_{\max} - \Gamma_{\min})$.

Измерение коэффициента отражения нагрузки осуществляется относительно волнового сопротивления отрезка коаксиальной линии и погрешность измерения КСВН определяется не величиной направленности рефлектометра, а импедансными характеристиками отрезка линии. В результате возможно уменьшение погрешности измерения в 10-15 раз. Импедансные характеристики отрезка коаксиальной линии зависят от точности его изготовления и качества измерительного соединителя, к которому подключается исследуемая нагрузка.

Изготовление внешнего проводника нагрузки в соответствии с (1), (2) требует специального инструмента или изготовления на токарных станках с программным управлением.

С появлением *малогабаритных тонкопленочных цилиндрических резисторов* для решения многих задач радиоизмерительной техники стало возможным создание согласованных нагрузок, для которых выполняется условие $l/\lambda \ll 1$, где l – длина резистивного слоя, λ – рабочая длина волны, на которой должно обеспечиваться согласование нагрузки (рис. 1, б).

Для коаксиальной линии с потерями в [4] получено соотношение

$$\frac{Z_{ax}}{R_0} = 1 + \frac{2}{3} \cdot \frac{1}{y^2} \left(\frac{R_0}{Z_0}\right)^2 + j \frac{1}{y} \left[1 - \frac{1}{3} \left(\frac{R_0}{Z_0}\right)^2\right], \quad (3)$$

где R_0 – омическое сопротивление линии поглощающего участка линии; Z_0 – волновое сопротивление линии; $y = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{\lambda_0}{l} \cdot \frac{R_0}{Z_0}$; λ_0 – длина волны; Z_{ax} – волновое сопротивление линии с потерями.

Выполняя условие согласования, т.е. приравнявая реактивную составляющую в (3) нулю, получаем

$$Z_0 = \frac{R_0}{\sqrt{3}}. \quad (4)$$

Для обеспечения согласования нагрузки необходимо выбрать резистор с номиналом сопротивления, равным волновому сопротивлению линии, и диаметром d , вычислить диа-

метр d_1 цилиндрической линии с потерями с использованием формулы $138 \lg \frac{d_1}{d} = \frac{Z_0}{\sqrt{3}}$ и обеспечить необходимое согласование двух отрезков линии изменением диаметра внешнего проводника [6].

Согласованные коаксиальные нагрузки с малогабаритными резисторами обеспечивают величину КСВН не более 1,1 на частотах до 3 ГГц.

Нагрузки согласованные фиксированные на объемных поглотителях

Особенностью таких нагрузок является снижение коэффициента отражения от поглотителя с увеличением рабочей частоты, и они используются в верхней части СВЧ и в КВЧ диапазонах.

Общий вид конструкции коаксиальной согласованной нагрузки с объемным поглотителем показан на рис. 1, в.

Материалом для изготовления поглотителя служит смесь карбонильного железа в виде мелкого порошка с диэлектриками, в качестве которых могут быть использованы полиэтилен, полистирол, полипропилен. Широкое применение нашел полиэтилен из-за возможности его использования при низких температурах. Объемный поглотитель производится методом литья с использованием специальных пресс-форм либо может быть изготовлен на токарном и фрезерном станках из брикета, полученного литьем без применения специальных пресс-форм.

Для коаксиальных согласованных нагрузок поглотитель выполняется в виде конуса. Его размеры выбираются с учетом получения согласования нагрузки (чем длиннее поглотитель, тем лучше согласование) и удобства встраивания в линию. Экспериментально установлено, что длина поглотителя должна быть порядка $2\lambda_{\max}$ (λ_{\max} – наибольшая рабочая длина волны для данной коаксиальной нагрузки).

В поглотителе выполняется дополнительный скос, обеспечивающий плавность перехода от линии без потерь к линии с поглотителем [6]. Конструкция поглотителя показана на рис. 2.

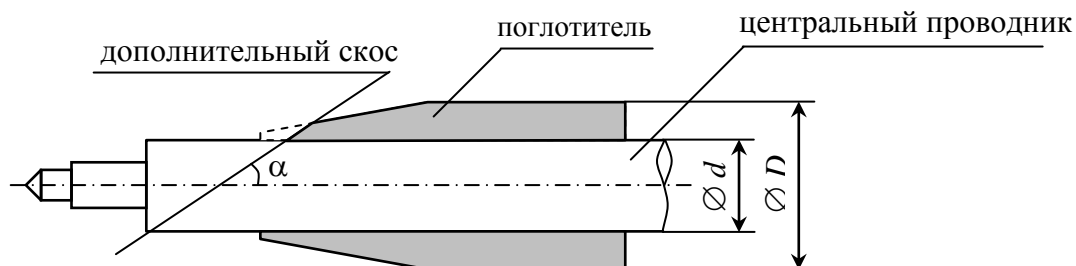


Рис. 2. Конструкция коаксиального поглотителя со скосом

В коаксиальных нагрузках с объемными поглотителями для уменьшения коэффициента отражения на входе нагрузок не ставится опорная шайба, а центральный проводник делается подвижным в пределах 3-5 мм. В этом случае при сочленении соединителей центральный проводник досылается до упора с гнездовым центральным контактом ответного соединителя.

Величина КСВН фиксированных нагрузок с объемным поглотителем составляет не более 1,1 в диапазоне частот 2-18 ГГц на коаксиальных линиях сечениями 7/3,04 мм, 3,5/1,52 мм и не более 1,1-1,05 в диапазоне частот 10-50 ГГц на коаксиальной линии сечением 2,4/1,042 мм в зависимости от поддиапазона частот.

На рис. 3 показан внешний вид коаксиальных согласованных фиксированных нагрузок на тонкопленочных резисторах (сечение линии 7/3,04 мм).



Рис. 3. Фиксированная коаксиальная согласованная нагрузка

В табл. 1 приведены технические характеристики коаксиальных согласованных фиксированных нагрузок [7].

Таблица 1

Технические характеристики фиксированных коаксиальных нагрузок

Модель	Диапазон частот, ГГц	КСВН	Рассеиваемая мощность, Вт	Тип соединителей	Габариты, мм	Масса, кг
2.243.970	0-18	1,05 (0-2 ГГц) 1,1 (2-7 ГГц) 1,25(7-12 ГГц) 1,35 (12-18 ГГц)	0,5	Ш В	∅ 23×40	0,1
2.260.145	0-18	1,2	0,25	IX В	∅ 10×27	0,025
468.549.002	0-36	1,2 (0-18 ГГц) 1,3 (18-36 ГГц)	0,25	IX В	∅ 10×27	0,025
2.260.179 2.260.179-02	0-2	1,015	0,5	Ш В Ш Р	∅ 23×60	0,1
2.260.184 2.260.184-02	0-3	1,015	0,25	IX В IX Р	∅ 13×60	0,1
2.260.180	2-18	1,1	0,5	Ш В	∅ 23×200	0,25
2.260.185	3-18	1,1	0,25	IX В	∅ 13×160	0,15
2.243.985	3-26,5	1,1	0,2	IX В	∅ 13×115	0,15
468.548.004 468.548.004-01	4-18	1,1	0,1	IV IP	∅ 13×124 ∅ 13×120	0,15
468.548.004-02 468.548.004-03	10-50	1,1 (10-15 ГГц) 1,05 (15-50 ГГц)	0,1	IV IP	∅ 13×92,8 ∅ 13×88,8	0,1

Примечание: диапазон частот нагрузок, выполненных на резисторах, указывается от постоянного тока.

Нагрузки рассогласованные с фиксированными значениями КСВН

Такие нагрузки используются в тех случаях, когда требуется обеспечить коэффициент отражения (или величину КСВН) с высокой точностью в широком диапазоне частот, например, при калибровке и проверке измерителей коэффициентов отражения и передачи. На практике обычно применяются рассогласованные нагрузки с номинальными величинами КСВН 1,4 или 2,0. При этом нагрузки аттестуются не только по модулю, но и по фазе коэффициента отражения.

В диапазоне частот до 2-3 ГГц используются рассогласованные нагрузки с тонкопленочными резисторами – нагрузки резистивного типа. Величины омического сопротивления резисторов выбираются из соотношения $R = Z_0/2$ или $R = 2Z_0$ для нагрузок с КСВН = 2 и $R = Z_0/1,4$ или $R = 1,4Z_0$ для нагрузок с КСВН = 1,4. Внутренний диаметр внешнего про-

водника (экрана) рассчитывается по методике, изложенной в [4]. В зависимости от значения фазы коэффициента отражения нагрузки бывают двух видов: фаза коэффициента отражения близка к 180^0 – при $R < Z_0$; фаза коэффициента отражения близка к 0^0 – при $R > Z_0$.

Нагрузки аттестуются на фиксированных частотах с помощью направленных ответвителей, имеющих направленность более 40 дБ с обязательной проверкой присоединительных размеров соединителей нагрузок и ответвителей. При аттестации нагрузок по фазе коэффициента отражения в качестве калибровочной меры измерительного прибора используется короткозамкнутая нагрузка, для которой фаза коэффициента отражения в плоскости короткого замыкания равна 180^0 .

Рассогласованные нагрузки со скачком волнового сопротивления

Рассогласованные нагрузки с расчетными значениями модуля и фазы коэффициента отражения выполняются со «скачком» волнового сопротивления. Их называют ступенчатыми по характеру изменения диаметра центрального проводника. Такие рассогласованные нагрузки наиболее точны и широко распространены. Для ступенчатых нагрузок характерны: относительная простота конструкции, практическая независимость коэффициента отражения от частоты и, самое главное, возможность строгого расчета и аттестации нагрузок по модулю и фазе коэффициента отражения, исходя из геометрических размеров передающих коаксиальных линий.

На рис. 4 показаны конструкция коаксиальной нагрузки со ступенчатым изменением центрального проводника линии (рис. 4, а) и эквивалентная электрическая схема (рис. 4, б) ступенчатого изменения диаметра центрального проводника.

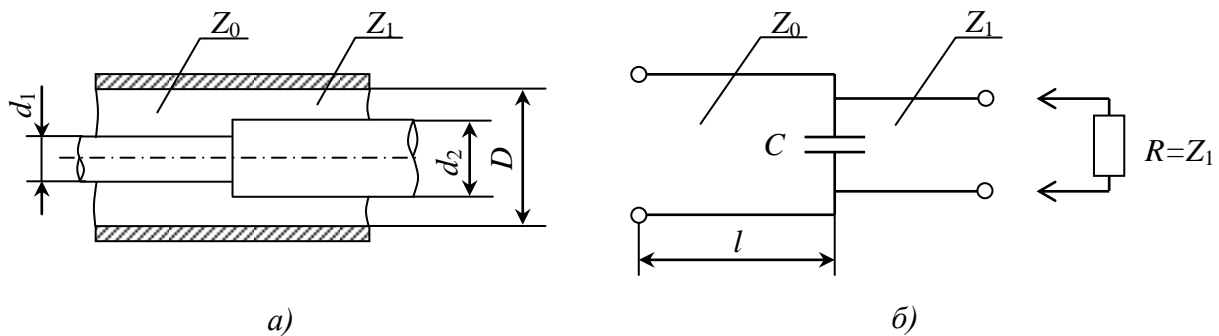


Рис. 4. Ступенчатое изменение диаметра центрального проводника коаксиальной линии:

а – конструкция; б – эквивалентная схема

Без учета проводимости электрической емкости, которая образуется в плоскости изменения диаметра центрального проводника линии, величина КСВН такой неоднородности ориентировочно определяется величиной

$$\text{КСВН} = \frac{Z_0}{Z_1}. \quad (5)$$

Расчет коэффициента отражения (КО) рассматриваемой неоднородности в квазистатическом приближении [8] проводится по формуле

$$\Gamma = \frac{\sqrt{(Z_0 - Z_1)^2 + (\omega CZ_0 Z_1)^2}}{\sqrt{(Z_0 + Z_1)^2 + (\omega CZ_0 Z_1)^2}}, \quad (6)$$

где ω – циклическая частота. Величина емкости C определяется параметрами D , d_1 , d_2 (рис. 4).

Влияние электрической емкости на частотную зависимость коэффициента отражения мало, и величина коэффициента отражения остается практически постоянной во всем рабочем диапазоне частот. Этот вывод действителен в том случае, если коаксиальная линия с волновым сопротивлением Z_1 (например, 25 Ом для получения на входе основной линии КСВН = 2) нагружена на идеально согласованную нагрузку.

Фаза коэффициента отражения в плоскости входного разъема определяется длиной отрезка l и емкостью C [8] по формуле

$$\theta = \arctg\left(\frac{Z_1 Z_0}{Z_0 - Z_1} \omega C\right) - \arctg\left(\frac{Z_1 Z_0}{Z_0 + Z_1} \omega C\right). \quad (7)$$

Например, для нагрузок с КСВН = 2 в коаксиальной линии сечением 7/3,04 мм значение θ достигает величины 7° на частоте 18 ГГц.

Наибольшее распространение в радиоизмерительной технике получили рассогласованные нагрузки с фиксированным КСВН на основе объемных поглотителей (рис. 5).

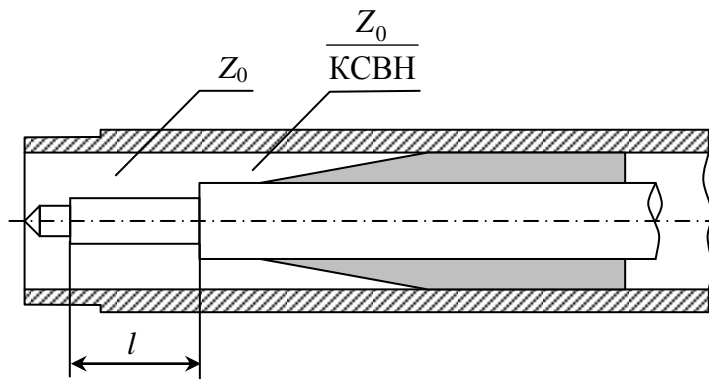


Рис. 5. Рассогласованная коаксиальная нагрузка с объемным поглотителем

Если в коаксиальной рассогласованной нагрузке, имеющей ступенчатый центральный проводник, предусмотрено перемещение объемного поглотителя, область использования нагрузок существенно расширяется. Возможность перемещения объемного поглотителя в пределах более половины максимальной рабочей длины волны позволяет измерить максимальное K_{\max} и минимальное K_{\min} значения КСВН нагрузки. Величина КСВН нагрузки, измеренная проверяемым прибором (например, с помощью измерительной линии или на панорамном измерителе КСВН и ослабления), будет определяться выражением [9]

$$КСВН = \sqrt{\frac{K_{\max}}{K_{\min}}},$$

где K_{\max} , K_{\min} – максимальное и минимальное измеренные значения КСВН.

В этом случае коэффициент отражения поглотителя исключается и точность измерения КСВН нагрузки будет определяться только точностью механического изготовления коаксиальной линии и используемых соединителей.

Все рассмотренные рассогласованные нагрузки на фиксированной частоте имеют практически постоянное значение фазы коэффициента отражения, в том числе и с подвижным поглотителем.

Нагрузки со скачком волнового сопротивления обеспечивают постоянство модуля коэффициента отражения в пределах $\pm 1,0\%$ в диапазоне частот 2-18 ГГц.

В табл. 2 приведены технические характеристики коаксиальных рассогласованных нагрузок – эталонов отражения [7].

Таблица 2

Технические характеристики коаксиальных рассогласованных нагрузок

Модель	Диапазон частот, ГГц	КСВН	Рассеиваемая мощность, Вт	Тип соединителей	Погрешность, %	Габариты, мм	Масса, кг
2.260.182	0-2,3	1,4±0,1 (R=37,5 Ом)	0,25	Ш В	1,5	∅ 23×71,5	0,1
2.260.182-01	0-2,3	1,4±0,1 (R=69,8 Ом)	0,25	Ш В	1,5	∅ 23×71,5	0,1
2.260.182-02	0-2,3	2,0±0,1 (R=24,9 Ом)	0,25	Ш В	2,0	∅ 23×71,5	0,1
2.260.182-03	0-2,3	2,0±0,1 (R=100 Ом)	0,25	Ш В	2,0	∅ 23×71,5	0,1
2.260.187	0-3	1,4±0,1 (R=37,5 Ом)	0,125	IX В	1,5	∅ 14×72	0,06
2.260.187-01	0-3	1,4±0,1 (R=69,8 Ом)	0,125	IX В	1,5	∅ 14×72	0,06
2.260.187-02	0-3	2,0±0,1 (R=24,9 Ом)	0,125	IX В	2,0	∅ 14×72	0,06
2.260.187-03	0-3	2,0±0,1 (R=100 Ом)	0,125	IX В	2,0	∅ 14×72	0,06
2.260.183	2-18	1,4+0,05	0,125	Ш В	1,5	∅ 22×409	0,5
2.260.183-01	2-18	2,0+0,05	0,125	Ш В	2,0	∅ 22×409	0,5
2.260.188	3-18	1,4+0,05	0,125	IX В	1,5	∅ 16×294	0,15
2.260.188-01	3-18	2,0+0,05	0,125	IX В	2,0	∅ 16×294	0,15

Коаксиальные рассогласованные нагрузки с переменной фазой коэффициента отражения

На практике при измерении направленности ответвителей, согласованных переходов и в ряде других случаев широкое распространение получили рассогласованные нагрузки с КСВН = 1,2 и переменным значением фазы коэффициента отражения на фиксированной частоте. На рис. 6 показана конструкция нагрузки с подвижным рассогласованным поглотителем [6], а в табл. 3 – технические характеристики коаксиальных нагрузок с подвижным поглотителем [7].

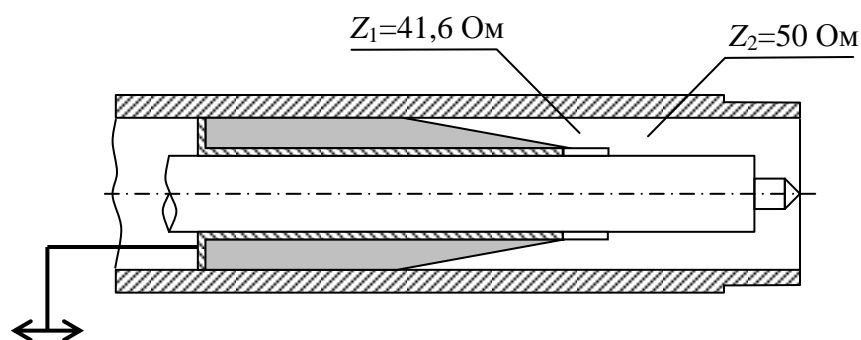


Рис. 6. Нагрузка коаксиальная с подвижным рассогласованным поглотителем

Приведенные в табл. 3 характеристики нагрузок выполнены на коаксиальных линиях сечениями 7/3,04 мм; 3,5/1,52 мм и 2,4/1,042 мм. Эти нагрузки являются мерами волнового сопротивления. На рис. 7 показан внешний вид нагрузки подвижной с переменной фазой коэффициента отражения – эталона волнового сопротивления.

Таблица 3

**Технические характеристики коаксиальных нагрузок
с подвижным поглотителем**

Модель	Диапазон частот, ГГц	КСВН воздушного канала	КСВН поглотителя	Тип соединителя	Габариты, мм	Масса, кг
2.260.181	2-18	1,01	1,1	Ш В	∅ 23×400	0,2
2.260.181-01	2-18	1,01	1,1	Ш Р	∅ 23×400	0,2
2.260.203	2-18	1,01	1,2	Ш В	∅ 23×400	0,2
2.260.186	3-18	1,01	1,1	IX В	∅ 16×280	0,15
2.260.186-01	3-18	1,01	1,1	IX Р	∅ 16×280	0,15
2.260.204	3-18	1,01	1,2	IX В	∅ 16×280	0,15
468.548.003	4-18	1,01	1,1	IV	∅ 14×165	0,1
468.548.003-01	4-18	1,01	1,1	IP	∅ 14×105	0,1
468.548.003-02	10-50	1,01	1,1	IV	∅ 14×105	0,075
468.548.003-03	10-50	1,01	1,1	IP	∅ 14×105	0,075
468.548.005-02	17,44-37,5	1,01	1,2	IV	∅ 14×105	0,075
468.548.005-03	17,44-37,5	1,01	1,2	IP	∅ 14×105	0,075



Рис. 7. Коаксиальная подвижная рассогласованная нагрузка

Коаксиальные короткозамкнутые нагрузки

Нагрузки коаксиальные короткозамкнутые (КЗ) определяют плоскость отсчета фазы и являются образцовыми мерами модуля и фазы коэффициента отражения, обеспечивающими модуль коэффициента отражения, равный единице, и фазу в плоскости короткого замыкания, равную 180^0 . Короткозамкнутые нагрузки применяются при калибровке измерителей комплексных коэффициентов отражения и передачи.

Конструктивно короткозамкнутые фиксированные нагрузки представляют собой коаксиальный разъем с замкнутыми внешним и внутренним проводниками (рис. 8).

Коаксиальные короткозамкнутые нагрузки могут быть изготовлены с подвижным короткозамыкателем, выполненным на пружинных контактах. Положение замыкателя отсчитывается с помощью нониусного механизма.

На рис. 8 показаны две конструкции КЗ нагрузок для коаксиальных линий с волновым сопротивлением 50 Ом для двух стандартных сечений 16/6,96 мм и 7/3,04 мм. ГОСТ [10] определяет месторасположение плоскости А-А короткого замыкания нагрузки. Для коаксиальной линии сечением 7/3,04 мм плоскость А-А совпадает с присоединительным размером $A = 5,28$ мм разъема типа Ш «Вилка» по ГОСТ [2]. Аналогично выполнены короткозамыкатели для линий сечениями 3,5/1,52 мм и 2,4/1,042 мм. Для линии сечением 16/6,96 мм плоскость А-А не совпадает с присоединительными размерами из-за конусности внешнего проводника. Это обстоятельство необходимо учитывать при измерении комплексных импедансов.

Если при работе с измерительными линиями достаточно иметь КСВН КЗ нагрузки не менее 30 ($\Gamma \approx 0,93$), то для калибровки анализаторов цепей желательно иметь нагрузки с КСВН ≈ 200 ($\Gamma \approx 0,99$). Измерение больших значений КСВН проводится методом «удвоен-

ного» минимума [11, 12]. Значение модуля коэффициента отражения 0,98 удовлетворяет практически всем видам измерений.

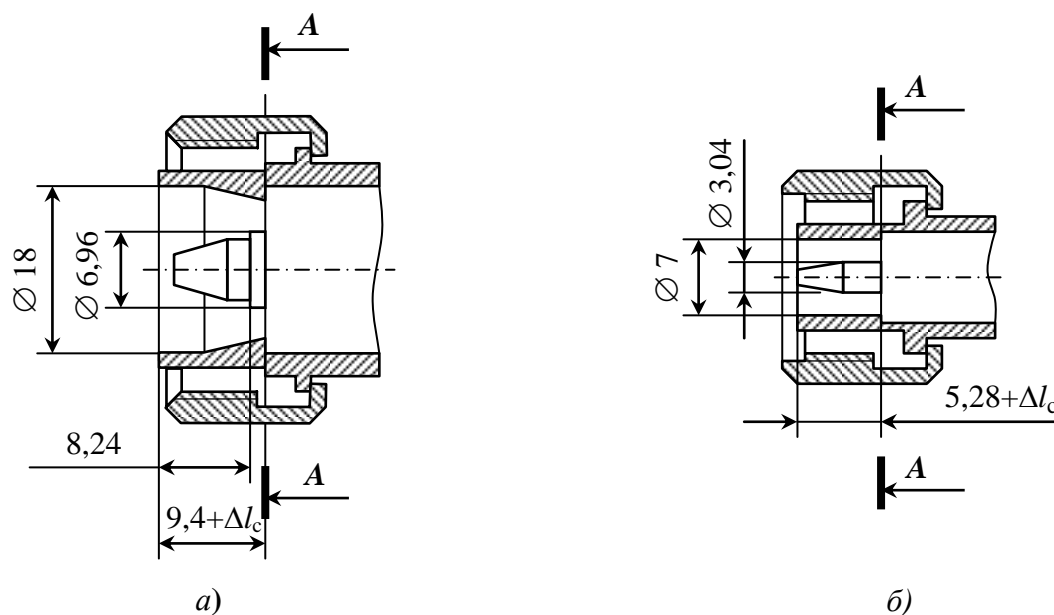


Рис. 8. Конструкции короткозамкнутых коаксиальных нагрузок



Рис. 9. КЗ нагрузка с соединителями «Вилка», «Розетка»

Для удобства эксплуатации КЗ нагрузки могут выполняться в одном корпусе. На рис. 9 показана одна из таких нагрузок. В табл. 4 приведены технические характеристики коаксиальных короткозамыкателей.

Таблица 4

Технические характеристики коаксиальных короткозамкнутых нагрузок

Модель	Диапазон частот, ГГц	Длина фазосдвигающего отрезка, мм	Тип соединителя	Габариты, мм	Масса, кг
1	2	3	4	5	6
2.260.205	0-18	0	III (B, P)	∅ 23×78	0,1
2.260.206	8-18	7,5	III (B, P)	∅ 23×80	0,1
2.260.206-01	4-8	12,5	III (B, P)	∅ 23×80	0,1
2.260.206-02	2-4	25	III (B, P)	∅ 23×80	0,1
2.260.207	0-18	0	IX P	∅ 14×50	0,05
2.260.229	0-18	0	IX B	∅ 8,6×36	0,05
2.260.193	2-18	4	IX (B, P)	∅ 14×68	0,1
2.260.193-01	8-18	7,5	IX (B, P)	∅ 14×68	0,1
2.260.193-02	4-8	12,5	IX (B, P)	∅ 14×68	0,1

Окончание табл. 4

1	2	3	4	5	6
2.260.193-03	2-4	25	IX (B, P)	∅ 14×68	0,1
468.548.007	0-50	0	I B	∅ 10×26	0,025
468.548.008	0-50	0	I P	∅ 10×26	0,025

Библиографический список

- ГОСТ 13364-90. Нагрузки коаксиальные. Общие технические требования и методы испытаний. – М.: Гос.комитет по стандартам, 1990.
- ГОСТ РВ 51914-2002. Элементы соединения СВЧ трактов электронных измерительных приборов. Присоединительные размеры. – М.: Изд-во стандартов, 2002.
- ОСТ 107.460007.006-92. Отраслевой стандарт. Материалы для объемных поглотителей высокочастотной энергии. – М.: Изд-во ВНИИ, 1992.
- Тишер, Ф.** Техника измерений на сверхвысоких частотах: справочное руководство: [пер. с нем. А.В.Львова] / Ф. Тишер; под ред. В.Н. Сретенского. – М.: Изд-во физ.-мат. лит-ры, 1963.
- Львов, А.Е.** Сверхширокополосные коаксиальные нагрузки на новых резисторах / А.Е.Львов // Техника средств связи. Сер. РИТ. 1980. Вып. 6 (31). С. 112–119.
- Радиоизмерительная аппаратура СВЧ и КВЧ. Узловая и элементная базы: монография / А.М. Кудрявцев [и др.]; под ред. А.М. Кудрявцева. – М.: Радиотехника, 2006. – 208 с.
- Коаксиальные, волноводные и оптические устройства // Каталог ННИПИ «Кварц». – Н.Новгород, 2014. – 61 с.
- Абубакиров, Б.А.** Универсальная образцовая коаксиальная нагрузка / Б.А. Абубакиров, В.Н. Суворов // Вопросы радиоэлектроники. Сер. Радиоизмерительная техника. 1967. Вып.4. С. 46–50.
- РД 50-272-81. Методические указания. Нагрузки коаксиальные с расчетными параметрами. Методы и средства поверки. – М.: Изд-во стандартов, 1982.
- ГОСТ 8.365-79. Нагрузки коаксиальные. Методы и средства поверки. – М.: Изд-во стандартов, 1980.
- Абубакиров, Б.А.** Короткозамкнутые нагрузки и методы измерения их параметров на СВЧ и КВЧ / Б.А. Абубакиров [и др.] // Радиоизмерения и электроника. 2009. №15.
- Перспективы совершенствования радиоизмерительной аппаратуры миллиметрового диапазона / О.П. Павловский [и др.]. – М.: Радиотехника, 2012. – 272 с.

Дата поступления
в редакцию 02.07.2015

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

COAXIAL 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: Coaxial terminations.

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

Results: Technical characteristics of different coaxial terminations are presented.

Field of application: Coaxial terminations are used as standards of impedance and reflection and transmission coefficients while adjusting the operation and control of different devices (directional coupler, transition and so on). Coaxial terminations are used for technical characteristics control of network analyzer.

Key words: termination, thin-film resistor, absorbing material, reflection coefficient, voltage standing-wave ratio.