

# РАДИОТЕХНИКА, СИСТЕМЫ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ, АНТЕННЫ И УСТРОЙСТВА СВЧ

УДК 621.372.8

Г.И. Шишков

## ШИРОКОПОЛОСНЫЕ СТУПЕНЧАТЫЕ АТТЕНЮАТОРЫ

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Описаны принцип действия и конструкции широкополосных ступенчатых аттенюаторов. Приведены технические характеристики.

*Ключевые слова:* ступенчатые аттенюаторы, радиотехнические приборы, пластинчатые резисторы.

### Введение

В современных широкополосных коаксиальных ступенчатых аттенюаторах, как и в фиксированных аттенюаторах, в качестве диссипативных элементов применяются тонкопленочные пластинчатые резисторы [1]. Ячейки-ослабители ступенчатых аттенюаторов практически представляют собой фиксированные аттенюаторы, выполненные в отрезках либо коаксиальных, либо полосковых линий передач.

Принцип действия коаксиального ступенчатого аттенюатора заключается в том, что в разрыв коаксиального тракта включается от одного до нескольких (чаще всего не более четырех) ячеек-ослабителей. Эти ячейки, будучи включенными последовательно, создают в тракте определенное ослабление сигнала, выключенными – создают в тракте «нулевое» (начальное) ослабление.

### Ступенчатые аттенюаторы с ручным управлением

Одна из традиционных конструкций ступенчатых аттенюаторов – конструкция барабанного типа. Основными элементами её являются:

- статор с высокочастотными разъемами (вход, выход);
- ротор с размещенными в нём ячейками-ослабителями;
- контактные устройства для обеспечения неразрывности коаксиального тракта между статором и ячейками-ослабителями;
- устройство переключения.

Ячейки-ослабители, которые вставляются в сквозные отверстия ротора, по существу, являются коаксиальными фиксированными аттенюаторами на пластинчатых резисторах. Одна из разработанных моделей ступенчатых аттенюаторов имеет габаритные размеры  $\varnothing 63 \times 112$  мм, коаксиальные разъемы сечением 7/3,04 мм. В аттенюаторе устройства переключения и фиксации совмещены со шкалой отсчета (рис. 1).

Ослабление аттенюатора изменяется от 0 до 50 дБ ступенями по 10 дБ с погрешностью не более  $\pm 1,5$  дБ, диапазон частот от постоянного тока до 10 ГГц при КСВН  $\leq 1,5$ .

Представляют интерес конструкции малогабаритных ступенчатых аттенюаторов, в которых также использована схема барабанного аттенюатора [2]. Отличительная особенность их за-

ключается в том, что пластинчатые резисторы размещены непосредственно на поверхности ротора и изменен принцип включения ячеек-ослабителей в СВЧ-тракт аттенюатора: входной и выходной высокочастотные коаксиальные разъемы находятся в одной плоскости.



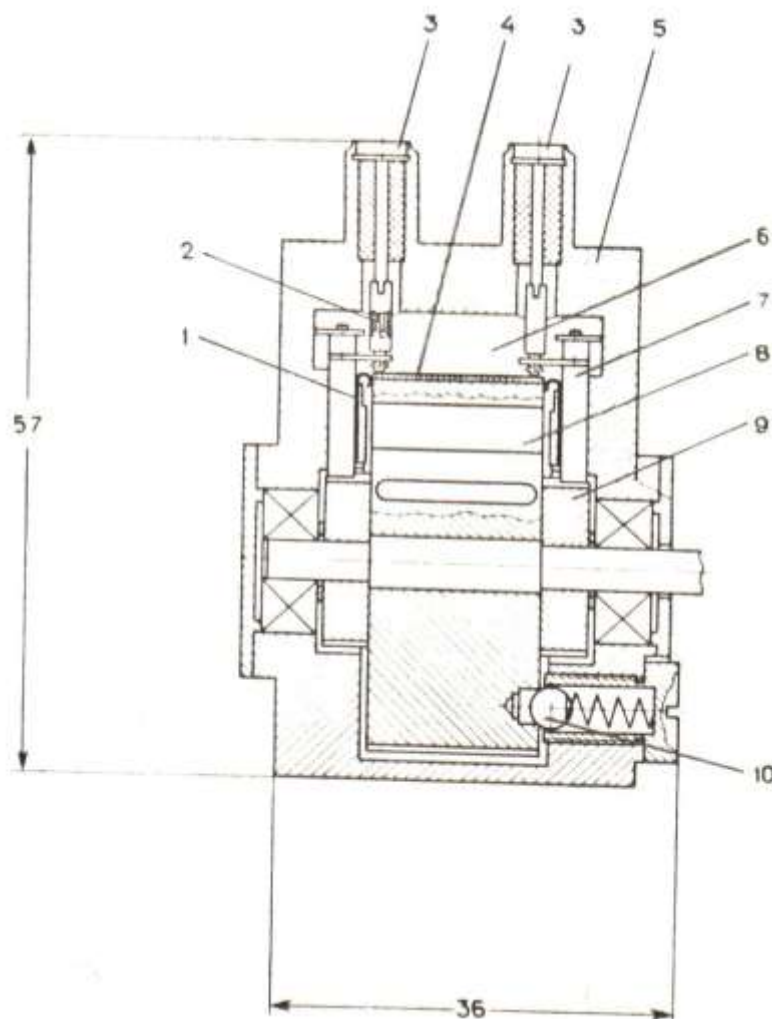
**Рис. 1. Внешний вид ступенчатого аттенюатора барабанного типа**



**Рис. 2. Внешний вид малогабаритного ступенчатого аттенюатора**

Внешний вид аттенюатора, габаритные размеры которого (без ручки управления) составляют 36x45x57 мм, показан на рис. 2.

На рис. 3 представлен упрощенный чертёж аттенюатора в разрезе.



**Рис. 3. Упрощенный чертёж малогабаритного ступенчатого аттенюатора в разрезе**

Основными элементами аттенюатора являются: ротор 8; статор 5 с коаксиальными разъемами 3; механизм переключения, состоящий из толкателя 7, распределительного кулачка 9 и фиксатора 10. На образующей поверхности ротора расположены пластинчатые резисторы 4. Каждый резистор совместно с согласующей камерой 6 статора образует ячейку – ослабитель, представляющую собой несимметричную полосковую линию с потерями, основанием которой служит поверхность ротора [3]. Центральные проводники коаксиальных разъемов 3 имеют непосредственный гальванический контакт с центральными проводниками резисторов 4 с помощью «плавающих» контактов 2. Эти контакты во время переключения (вращения ротора) поднимаются. Необходимый гальванический контакт между ротором и статором осуществляется плоскими пружинами 1.

Диапазон частот аттенюатора составляет 0–6 ГГц, ослабление 0–70 дБ ступенями в 10 дБ, начальное («нулевое») ослабление не более 0,5 дБ, погрешность ослабления не более  $\pm 1,5$  дБ при КСВН  $\leq 1,5$ .

Использование ячеек-ослабителей на базе полосковых линий позволило создать компактные конструкции ступенчатых аттенюаторов, в которых пластинчатые резисторы расположены непосредственно на заземленных основаниях несимметричных полосковых линий [3, 4].

На рис. 4 представлены фото общего вида и схематически конструкция ступенчатого аттенюатора.

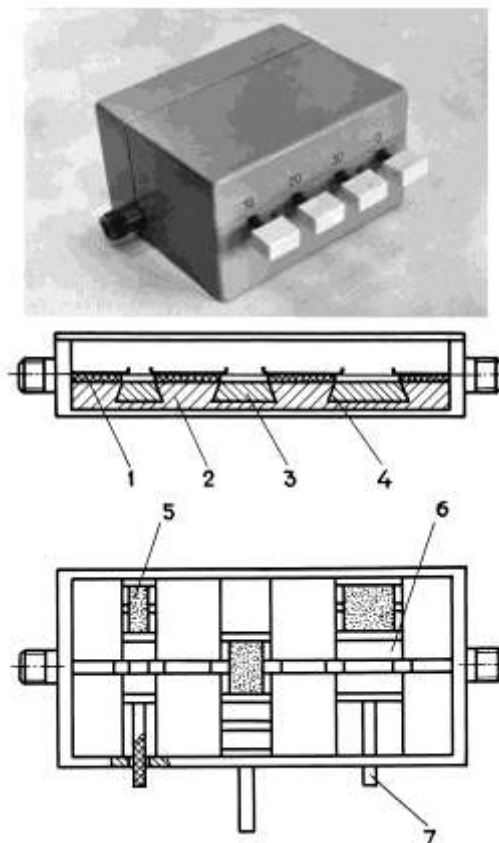


Рис. 4. Внешний вид и конструкция ступенчатого аттенюатора

В основании 2 полосковой линии имеются поперечные пазы 4, в которых размещены металлические вкладыши 3. На их поверхностях расположены пластинчатые резисторы (5) с некоторым  $A_n$  ослаблением или «нулевым» ослаблением 6. Наличие контактных пружин 1 обеспечивает включение резисторов в передающий тракт. Переключение ячеек осуществляется толкателями 7, связанными с механизмом переключения (на рис. 4 не показан). Каскад-

ный метод включения секций с различным ослаблением позволяет получать величины ослаблений от «нуля» до  $(A_1 + A_2 + A_3)$  дБ.

Секции одной из моделей таких аттенюаторов имеют номинальные ослабления  $A_1=10$ дБ,  $A_2=20$ дБ,  $A_3=30$ дБ.

Ослабление аттенюатора изменяется от 0 до 60 дБ ступенями в 10 дБ, погрешность ослабления составляет не более  $\pm 1,5$  дБ. Диапазон частот от постоянного тока до 3 ГГц при КСВН входа (выхода) менее 1,3, коаксиальные разъемы сечением 7/3,04 мм.

### Ступенчатые аттенюаторы с электромагнитным управлением

Достижение сверхширокополосности ступенчатых аттенюаторов стало возможным благодаря применению так называемых «накладных» полосковых контактов.

Известны конструкции ступенчатых аттенюаторов, в которых применяются такие контакты. Одна из конструкций показана на рис. 5, 6.

В поперечном сечении волноводная часть аттенюатора представляет собой прямоугольную линию передачи с плоским внутренним проводником, расположенным параллельно узкой стенке.

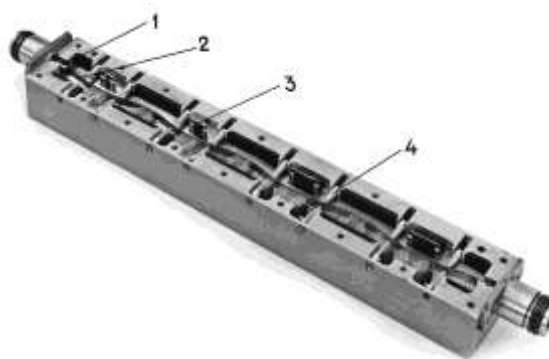


Рис. 5. Внешний вид аттенюатора со стороны СВЧ-тракта



Рис. 6. Внешний вид аттенюатора со стороны системы электромагнитного переключения

Входной и выходной коаксиальные разъемы имеют на конце центрального проводника 1 впаянные тонкие ленты 2 из бериллиевой бронзы (ленточные гибкие проводники). Напротив неподвижных ленточных проводников расположены пластинчатые резисторы 3. Ленточные проводники и резисторы образуют с корпусом аттенюатора СВЧ-линию передачи с волновым сопротивлением, равным сопротивлению входного (выходного) тракта. Каждая пара гибких подвижных ленточных проводников при помощи диэлектрических толкателей 4, соединенных с электромагнитными реле, позволяет включать в волноведущий тракт либо

канал «нулевого» ослабления, либо канал любого требуемого ослабления (в зависимости от величины ослабления установленных резисторов).

Представленный на рис. 5,6 ступенчатый аттенюатор имеет ослабление от нуля до 110 дБ ступенями в 10 дБ (схема включения: 10+20+40+40 дБ) в диапазоне частот от постоянного тока до 18 ГГц. На верхних частотах погрешность ослабления не превышает  $\pm 4,5$  дБ, начальное ослабление составляет 1,8 дБ, КСВН не более 1,8. Коаксиальные разъемы сечением 7/3,04 мм.

На рис. 7, 8 показан четырехсекционный ступенчатый электромеханический аттенюатор, в котором применяются «накладные» полосковые контакты, а пластинчатые резисторы расположены на диэлектрической подложке крышки 2 аттенюатора [5].

Аттенюатор состоит из крышки, на которой расположены входной 1 и выходной 7 разъемы, пластинчатые резисторы 3-6, корпуса 9, в котором находятся электромагниты 11-14, управляющие толкателями 10 в количестве 8 шт. Толкатели жестко соединены с пластинами (контактами), расположенными на диэлектрическом основании 8 и замыкающими участок тракта передачи на резистор или проводящий элемент.

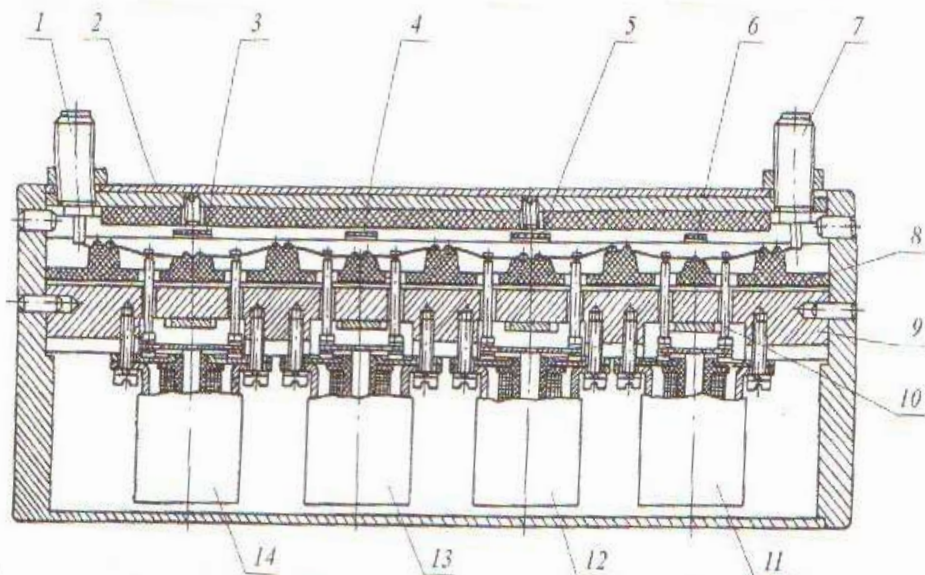


Рис. 7. Четырехсекционный ступенчатый аттенюатор с электрическим управлением

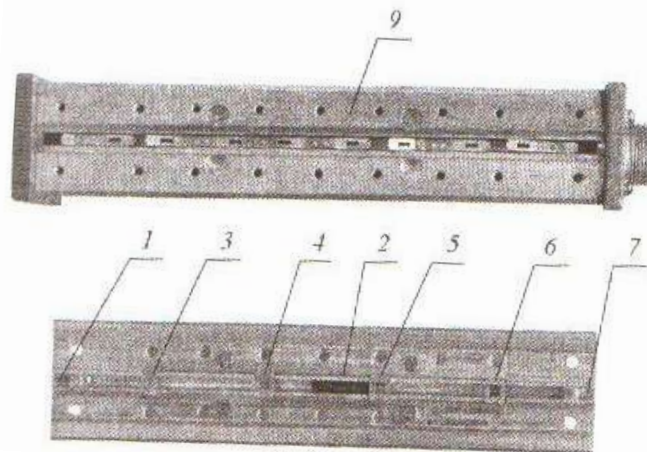


Рис. 8. Конструкция ступенчатого аттенюатора

Аттенюатор модели 1068 имеет ослабление от нуля до 110 дБ ступенями в 10 дБ в диапазоне частот от постоянного тока до 18 ГГц, начальное ослабление 2,8 дБ, погрешность ослабления +3,2 дБ для ослаблений до 60 дБ и от 3,3 до 5,8 дБ для ослаблений от 60 до 110 дБ, величину КСВН не более 1,8, габаритные размеры 110×56×26, массу 350г, коаксиальные разъемы сечением 3,5/1,52 мм.

Аттенюатор модели 1048 имеет общее ослабление от нуля до 35 дБ ступенями в 5 дБ в диапазоне частот от постоянного тока до 37,5 ГГц, начальное ослабление 3,0 дБ, погрешность ослабления +2,5 дБ, величину КСВН не более 1,8 на частотах до 26,5 ГГц и не более 2,2 на частотах до 37,5 ГГц, габаритные размеры 110×56×26 мм, массу 350г, коаксиальные разъемы сечением 2,4/1,04 мм.

Аттенюаторы указанных моделей допускают уровень мощности входного сигнала до 0,2 Вт, число переключений – до  $2 \cdot 10^5$  при времени переключения не более 100 мс и напряжении питания (13,5+1,5) В. Переключение осуществляется импульсами напряжения длительностью 100 мс.

Имеются конструкции ступенчатых аттенюаторов, аналогичные аттенюаторам модели 1068 или 1048, но с ручным управлением. Для этого в секции аттенюатора, где находятся электромагниты, вдоль всего корпуса размещается распределительный вал с ручкой управления вне корпуса аттенюатора. На валу находятся кулачки-эксцентрики, которые при вращении вала осуществляют запрограммированные перемещения диэлектрических толкателей.

#### **Коаксиальные ступенчатые аттенюаторы с *p-i-n*-диодами в качестве коммутирующих устройств**

Интересными по схмотехническим и конструктивным решениям являются коаксиальные ступенчатые аттенюаторы, в которых переключение ячеек-ослабителей на основе пластинчатых резисторов осуществляется с использованием *p-i-n*-диодов. Применение диодов в качестве переключающих элементов заменяет сложные в изготовлении механизмы переключения известных ступенчатых аттенюаторов на основе полосковых линий передачи, увеличивает число переключений, тем самым повышая надежность этих аттенюаторов.

Однако по техническим характеристикам (начальное ослабление, вносимая погрешность ослабления, степень согласования на входе и выходе) такие аттенюаторы уступают ступенчатым аттенюаторам с механическим переключением. Электрически управляемый аттенюатор [6], содержащий тракт СВЧ-сигнала, входной и выходной коаксиальные разъемы сечением 3,5/1,52 мм, секции с ячейками-ослабителями, имеет в тракте три последовательно соединенные секции:

- с параллельным переключением ослабления 0, 10, 20, 30 дБ;
- параллельным переключением ослабления 0, 40, 80 дБ;
- плавным изменением ослабления от 0 до 10 дБ.

Общая величина вносимого ослабления аттенюатора составляет 120 дБ. На рис. 9 показан внешний вид электрически управляемого аттенюатора, в табл. 1 приведены его технические характеристики.



**Рис. 9. Аттенюатор электрически управляемый с тремя секциями**

Таблица 1

## Технические характеристики аттенюатора электрически управляемого с тремя секциями

Модель	Диапазон частот, ГГц	Ослабление, дБ (ступень 10 дБ)	Ослабление, дБ (плавно)	Начальные потери, дБ	Погрешность ослабления, дБ	КСВН
1094	1,07–4,0	0–110	10,0	4,0	±1,7	1,7
1095	2,0–8,15	0–110	10,0	6,0	±1,9	2,0

Входная мощность 0,2 Вт, габариты 110x50x33 мм.

На рис. 10 показан внешний вид электрически управляемого аттенюатора, состоящего из двух секций: плавного аттенюатора с ослаблением СВЧ-сигнала 0–50 дБ и секции параллельно переключаемых ячеек-ослабителей с ослаблениями 0, 40, 80 дБ. Аттенюатор имеет входной и выходной коаксиальные разъемы сечением 3,5/1,52 мм. В табл. 2 приведены его технические характеристики.



Рис. 10. Аттенюатор электрически управляемый с двумя секциями

Таблица 2

## Технические характеристики аттенюатора электрически управляемого с двумя секциями

Модель	Диапазон частот, ГГц	Ослабление, дБ (ступень 40 дБ)	Начальные потери, дБ	Погрешность ослабления, дБ	КСВН
1091	8,15–17,85	0–110	6,5	±2,2 (40 дБ) ±4,3 (80 дБ)	2,5

Входная мощность 0,2 Вт, габариты 70x50x28 мм.

Коаксиальные ступенчатые аттенюаторы с электромагнитным управлением или с управлением, осуществляемым с использованием *p-i-n*-диодов, предназначены для регулирования входного или выходного уровня сигналов в высокочастотных генераторах сигналов, синтезаторах частоты, анализаторах спектра и другой радиотехнической аппаратуре.

## Библиографический список

1. **Шишков, Г.И.** Широкополосные коаксиальные аттенюаторы // Антенны. 2004. Вып. 1 (80).
2. **Шишков, Г.И.** Опыт конструирования малогабаритных широкополосных аттенюаторов. / Г.И. Шишков, В.М. Бунтилов, Ю.А. Горячев // Техника средств связи. Сер. РИТ. 1982. Вып. 7. С. 81-87.
3. А.С. 240789 (СССР). Фиксированный аттенюатор / Г.И. Шишков, В.М. Бунтилов // Б.И. № 13. 1969.
4. А.С. 327866 (СССР). Ступенчатый аттенюатор / В.М. Бунтилов [и др.] // Б.И. № 16. 1972.

5. Радиоизмерительная аппаратура СВЧ и КВЧ. Узловая и элементная базы: монография / под ред. А.М. Кудрявцева. – М.: Радиотехника. 2006.
6. Пат. 2004112608. Атенюатор электрически управляемый / Г.Б. Дзехцер, В.А. Кочедыков, Л.Б. Никифоров. № 39974; заявл. 26.04. 2004; опубл. 20.08.2004.

*Дата поступления  
в редакцию 28.04.2011*

**G.I. Shishkov**

## **WIDEBAND STEP ATTENUATORS**

The principle of operation and design of wideband coaxial step attenuators are described. Their specification are also given.

*Key words:* step attenuators, radio technical instruments, lamellar resistors.