

# АТТЕНЮАТОРЫ С РУЧНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ – ПРОИЗВОДИТЕЛИ И ХАРАКТЕРИСТИКИ

В.Кочемасов, к.т.н.<sup>1</sup>, Л.Белов, к.т.н.<sup>2</sup>

УДК 621.389  
БАК 05.27.00

Компоненты микроволновых цепей, которые изменяют уровень мощности высокочастотного колебания, необходимы при проведении измерений и построении устройств формирования, усиления и обработки сигналов. Аттенюатором (ослабителем) сигналов СВЧ-диапазона называют элемент электронной цепи, который служит для понижения уровня мощности сигнала без существенного изменения его формы или спектрального состава и, кроме того, обеспечивает согласование в тракте. Атенюаторы могут быть с ручным или электронным управлением либо иметь фиксированные параметры. Рассмотрим аттенюаторы с ручным управлением.

**А**ттенюаторы с ручным (manual) механическим управлением используются в измерительных установках для калиброванного изменения параметров тракта, при проведении экспериментальных работ и исследований, при сертификации радиоэлектронных устройств различного назначения, выполнении настроечных операций, а также в качестве компонентов трактов передачи сигналов СВЧ-диапазона при решении разнообразных прикладных задач. Применение таких компонентов смягчает противоречие между стабильностью значения ослабления и возможностью его оперативного изменения в широких пределах.

Технические характеристики механически управляемых аттенюаторов, кроме типа линии передачи (полосковая, коаксиальная, волноводная с тем или иным сечением и типоразмером), включают в себя: динамический диапазон управления ослаблением; способ изменения ослабления (непрерывное или ступенчатое с определенным шагом); способ управления (линейный сдвиг, поворот одной или двух ручек, кнопочное, клавишное и др.), способ индикации (калиброванная

шкала, цифровой экран и др.), гарантированное количество циклов управления и др. При этом основные параметры: вносимое ослабление (Insertion Loss, IL), КСВН по входному и выходному портам, уровень искажений, мощность рассеяния тепла – и погрешности их выполнения не должны выходить за допустимые пределы в интервалах рабочих частот, температур и др. По конструктивному исполнению аттенюаторные компоненты могут быть различными: встроенными в линию передачи (in-line), отдельно стоящими (stand alone), расположенными на передней панели прибора (panel mount), монтируемыми в стойке (rack mount), в виде отдельного блока (bench top).

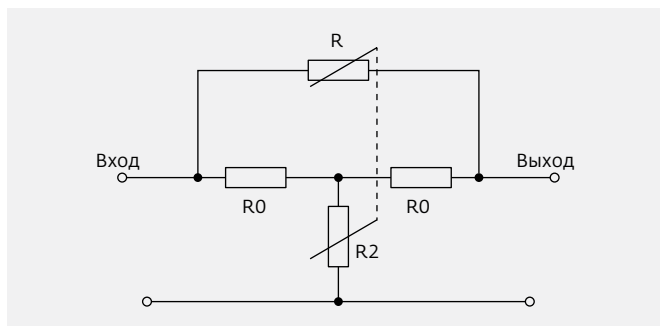
Как видим варианты аттенюаторов с ручным управлением различных мировых производителей чрезвычайно многообразны.

## КОАКСИАЛЬНЫЕ АТТЕНЮАТОРЫ С РУЧНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

На частотах до 300–500 МГц в качестве ослабляющей ячейки используют схему, представленную на рис.1. Максимально возможная рабочая частота такой ячейки определяется точностью ее согласования с внешними цепями. По мере увеличения частоты геометрические размеры ячейки становятся соизмеримыми с длиной волны, что приводит к ухудшению условий согла-

<sup>1</sup> ООО "Радиокомп", генеральный директор,  
vkochemasov@radiocomp.ru.

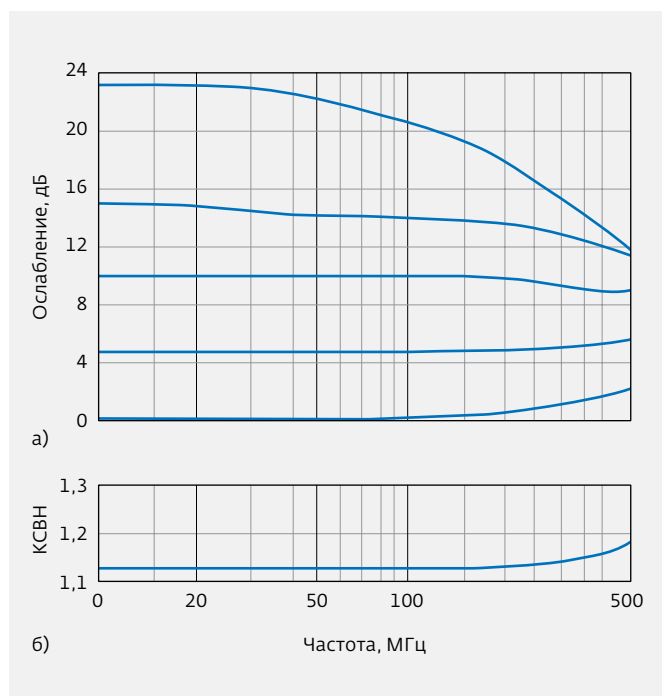
<sup>2</sup> МЭИ, профессор, belovla@gmail.com.



**Рис.1.** Схема управляемой аттенуаторной ячейки на сосредоточенных элементах (управление резисторами R и R2 выполняется синхронно)

сования и, соответственно, характеристик аттенуатора (рис.2).

На более высоких частотах (до нескольких гигагерц) часто применяются ступенчато переключаемые аттенуаторы, в которых общее ослабление определяется фиксированными значениями ослабления отдельных ячеек. Если входной сигнал минует все ячейки, ослабление аттенуатора минимально. При включении всех ячеек их ослабления суммируются, определяя максимальное ослабление аттенуатора. В таких аттенуаторах (табл.1) применяются тумблерные (рис.3а), кнопочные (рис.3б)



**Рис.2.** Зависимость ослабления (а) и КСВН (б) от частоты в схеме на рис.1. Различные линии в части а) соответствуют разным значениям ослабления (0, 5, 10, 15, 25 дБ), установленным в аттенуаторе



**Рис.3.** Коаксиальные аттенуаторы с ручным управлением: а – тумблерами, б – кнопками; в – клавишами

и клавишные (рис.3в) переключатели. Собственное ослабление таких аттенуаторов при выключенных аттенуаторных ячейках обычно не превышает единиц децибел и может меняться в рабочем диапазоне частот.

Во многих случаях на основе одной базовой модели компании выпускают несколько модификаций аттенуаторов, которые различаются функциональными возможностями. Примером может служить стандартная модель некалиброванного аттенуатора компании ARRA (рис.4а), в котором необходимое ослабление устанавливается с помощью шлицевой отвертки, а затем фиксируется с помощью контргайки. Аттенуатор такого типа годится для применения в случаях, когда первоначально выставленное ослабление должно оставаться неизменным в течение длительного времени. Этот же аттенуатор, снабженный удобной рукояткой (рис.4б), пред-



**Рис.4.** Коаксиальные аттенуаторы с ручным управлением компании ARRA: а, б – некалиброванные, в, г – калиброванные



Рис.5. Атенюаторы компании Aeroflex Weinschel: а, б – дисковый (конструкция и внешний вид); в – кареточный

назначен для установки на переднюю панель прибора и используется в случаях, когда ослабление необходимо подстраивать, например для поддержания постоянной выходной мощности. Изделие с калиброванной шкалой (рис.4в) подходит для применений, требующих обеспечить вполне определенное ослабление. И, наконец, эта же задача, но с более высокой точностью, решается в модели с цифровым экраном (рис.4г).

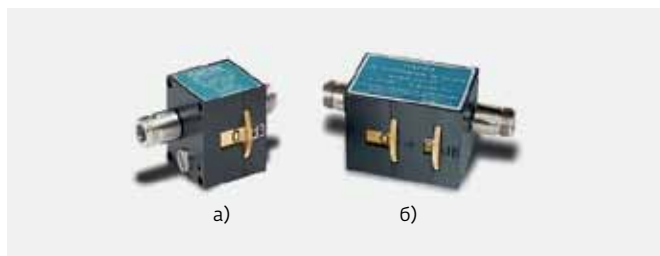
Некалиброванные плавно регулируемые аттенюаторы широко применяются в радиотехнической аппаратуре и производятся многими компаниями (ARRA, Custom Microwave Component, Alan Industries, KMW, RLC Electronics, Yantel). Так, плавно перестраиваемые подстроечным винтом аттенюаторы модели SMCV0590 компании SMC обеспечивают в диапазоне частот 4–15 ГГц ослабление 14–27 дБ и потери 0,5–0,7 дБ при входных

мощностях до 36 дБм. Миниатюрные (две-три унции) плавно перестраиваемые аттенюаторы в диапазоне частот до 18 ГГц предлагаются компанией ARRA для военных применений (–55...85 °С).

Плавное изменение ослабления реализуется также в изделиях компании Aeroflex Weinschel, выполненных в виде потенциометра (рис.5а). Последовательный и шунтирующий резисторы реализованы в виде круговых полосок на дисковом основании. При этом внешняя полоска подсоединена к "земле", внутренняя: одним концом подключена к входу аттенюатора, а другим – через подвижный контакт – к его выходу. Минимальное ослабление (6 дБ) обеспечивается при подключении подвижного контакта к месту соединения входа аттенюатора с внутренней круговой резистивной полоской. При перемещении контакта по часовой стрелке ослабление воз-

Таблица 1. Характеристики ступенчатых аттенюаторов с использованием тумблеров, кнопочных и клавишных переключателей

Компания	Модель	Рабочая частота, ГГц	Общее ослабление, дБ	Ослабление в отдельных ячейках, дБ	Входная мощность, Вт	КСВН (макс.)	Конструкция
Alan Industries	50HT82.5	0–0,50	0–82,5	0,5; 1; 2; 3; 6; 10; 20; 20; 20	10	1,5 : 1	На тумблерах
Kay Elemetrics	860	0–1,50	0–132	1; 2; 3; 6; 10; 20; 30; 30; 30	3	1,1 : 1	На тумблерах
JFW Industries	50B-035	0–0,75	0–85	1; 2; 4; 8; 10; 20; 20; 20	1	1,4 : 1	Кнопочные
EPX Microwave	ESAxx-2.5-90/8	0–2,50	0–90	1; 2; 4; 8; 16; 20; 20; 20	10	1,4 : 1	Кнопочные
JFW Industries	50RA-004	0–1,00	0–65	1; 2; 4; 8; 10; 20; 20	1	1,3 : 1	Клавишные
RLC Electronics	AS-120	0–2,00	0–101	1; 2; 3; 5; 10; 20; 30; 30	–	1,5 : 1	Клавишные



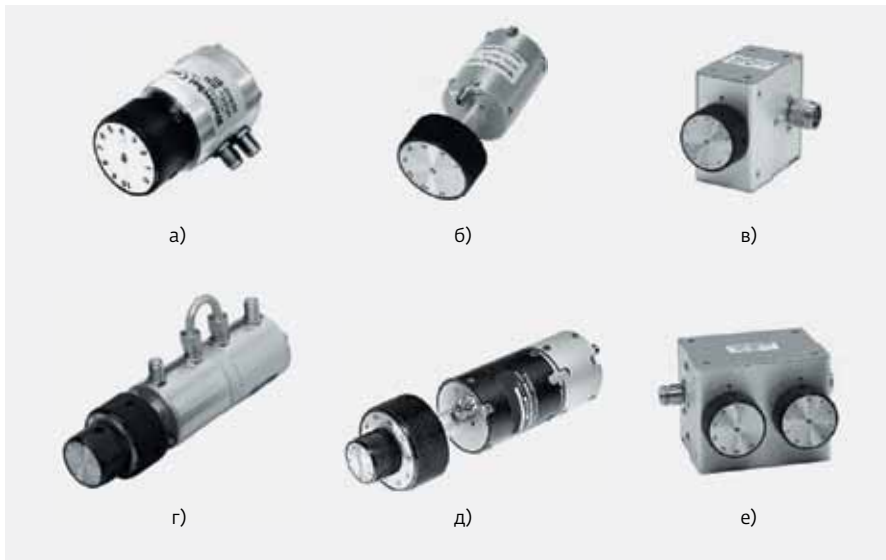
**Рис.6.** Дисковые аттенюаторы компании L3 Narda-MITEQ: а – однодисковый, б – двухдисковый

растает в крайнем положении до максимального значения. Практически линейная шкала аттенюатора (рис.5б) проградуирована через 1 дБ. В модели 940-60 ослабление меняется от 6 до 66 дБ, а в модели 940-114 – от 6 до 120 дБ. Оба аттенюатора выполнены в соответствии со стандартом MIL-A-24215. Аттенюаторы рассчитаны на 10 000 рабочих циклов. В опциях предельное число циклов может быть увеличено до 50 000.

Помимо дисковых структур, используются конструкции (рис.5в), в которых ослабление плавно изменяется при линейном перемещении каретки вдоль линии передачи. Малый износ, а значит и долговечность аттенюатора, обеспечиваются за счет емкостной неконтактной

связи с поглощающим элементом, выполненным в виде стабильного пленочного резистора на керамической основе. Выбранное затухание фиксируется с помощью специального винта, установленного на каретке. Выполненный таким образом двунаправленный аттенюатор с ручным плавным управлением модели 953К компании Aeroflex Weinschel работает в диапазоне частот 1–40 ГГц, обеспечивая максимальное ослабление 3 дБ при допустимой средней мощности 0,5 Вт, которая линейно снижается до нуля при температуре 85 °С. Паразитный фазовый сдвиг в аттенюаторе минимизирован до значений 1° / (дБ · ГГц). Несколько меньший диапазон частот 3–40 и 4–40 ГГц обеспечивается в моделях с максимальным ослаблением 10 и 20 дБ соответственно.

Среди множества конструктивных решений, применяемых при построении ручных аттенюаторов, дисковые и роторные встречаются наиболее часто. Дисковые аттенюаторы выпускаются с одним (рис.6а) или двумя (рис.6б) дисками. Однодисковый аттенюатор с прямым отсчетом модели 741 компании L3 Narda-MITEQ позволяет изменять ослабление от 0 до 9 дБ с шагом 1 дБ в цепи с частотой до 18 ГГц при средней мощности 2 Вт. Двухдисковая модель 745-69 такого аттенюатора обеспечивает ослабление в диапазоне от 0 до 69 дБ с приращениями 1 и 10 дБ. Обе модели отличаются



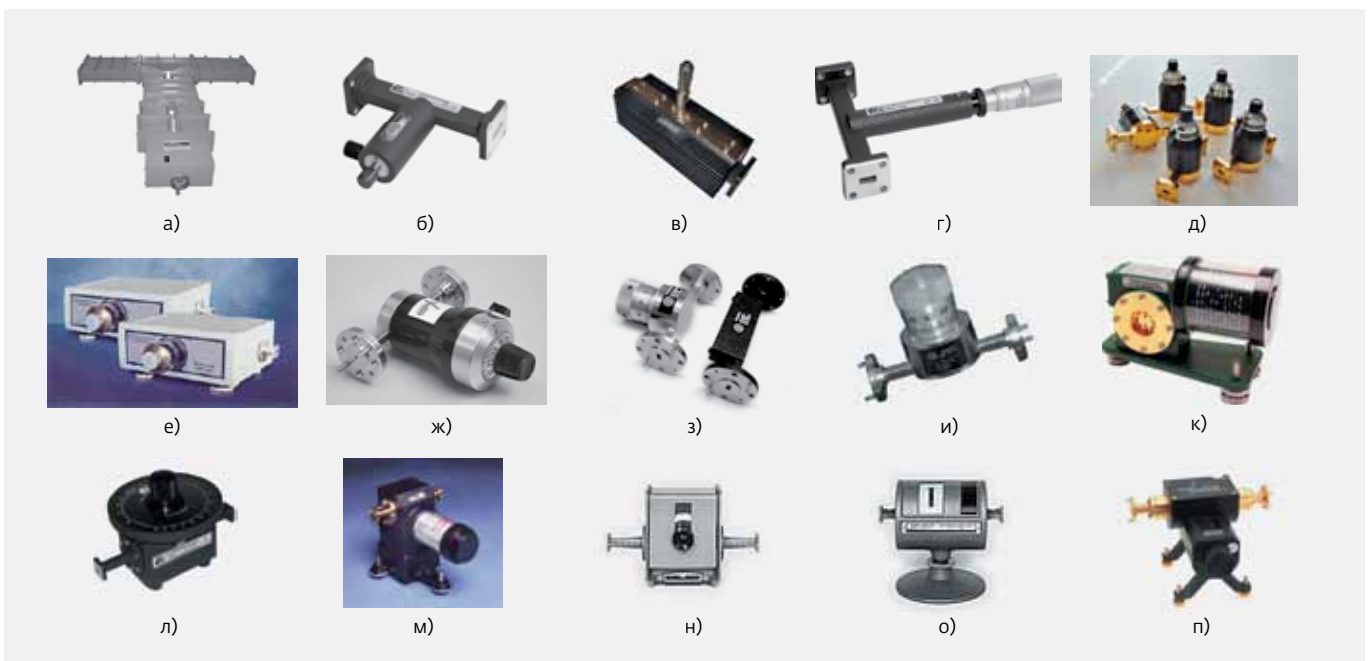
**Рис.7.** Роторные аттенюаторы компании Aeroflex Weinschel: а, б, в – однороторные конструкции; г, д, е – двухроторные конструкции; в, е – исполнение bench top

малыми размерами, высокой прецизионностью и надежностью.

Особой популярностью пользуются роторные ступенчатые аттенюаторы (рис.7). Однороторные конструкции

(рис.7а-в) обычно имеют шаг ослабления 0,1; 1,0 и 10,0 дБ, обеспечивая соответственно общее ослабление 1, 10, 100 дБ. Последняя цифра может быть и меньше, например 60, 70 или 80 дБ. Для достижения высокой точности устанавливаемого ослабления применяют механическую фиксацию положения ротора, обычно через 30° или 36°. Расширенный диапазон значений ослабления в сочетании с малым шагом перестройки получают в двухроторных конструкциях (рис.7г, д), имеющих на одной оси две градуированные рукоятки управления. Эта же цель достигается при комбинации в одном приборе двух (рис.7е), а иногда и трех однороторных аттенюаторов, которые различаются диапазоном перестройки: 0–1, 0–10, 0–100 дБ с дискретностью переключения

соответственно 0,1; 1,0 или 10 дБ. Известны также изделия компании JFW Industries, в которых на приборную панель устанавливается четыре или восемь одинаковых двухроторных аттенюаторов. Характе-



**Рис.8.** Конструкции волноводных аттенюаторов с плавным или ступенчатым ручным управлением: а – xx250xxx (Mega Industries); б – серия 080 (Flann Microwave); в – RWMAT90D10 (RF-Lambda); г – серия 020 (Flann Microwave); д – серия 522 (Mi-Wave); е – компании Quasar; ж – серия QDA (QuinStar); з – серия CAL (Ducommun); и – STA-30-xx-M2 (SAGE Millimeter); к – серия 110 (Flann Microwave), л – серия 114 (Flann Microwave); м – серия DRA (Millitech); н – серия P382A (Agilent); о – серия R382 (Agilent); п – серия QAD (QuinStar)



Таблица 2. Характеристики роторных ступенчатых аттенюаторов

Компания	Модель	Рабочая частота, ГГц	Общее ослабление, дБ	Шаг ослабления, дБ	Конструкция
JFW Industries	50R-028	0–1,0	0–1	0,1	Однороторная
JFW Industries	50R-248	0–2,5	0–10	1,0	Однороторная
Aeroflex	9011	0–18,0	0–90	10,0	Однороторная
Agilent (Keysight)	8495D	0–26,5	0–70	10,0	Однороторная
Aeroflex	9015	0–40,0	0–9	1,0	Однороторная
JFW Industries	50DR-060	0–2,0	0–11	0,1	Двухроторная
JFW Industries	50DR-082	0–2,0	0–110	1,0	Двухроторная
Aeroflex	9004	0–18,0	0–99	1,0	Двухроторная
Telonic	8143	0–2,0	0–110	1,0	Два однороторных (bench top)
JFW Industries	50BR105	0–8,0	0–69	1,0	Два однороторных (bench top)
Aeroflex	119A	0–18,0	0–99	1,0	Два однороторных (bench top)
JFW Industries	50BR-022	0–1,0	0–111	0,1	Три однороторных (bench top)

ристки ступенчатых роторных аттенюаторов представлены в табл.2. Аналогичные изделия выпускаются компаниями Trilithic, Alan Industries, RLC Electronics, Broadwave Technologies и др.

## ВОЛНОВОДНЫЕ АТТЕНЮАТОРЫ С РУЧНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

Конструктивное исполнение волноводных аттенюаторов с ручным управлением зависит как от традиций производителя, так и от диапазона рабочих частот, и может быть чрезвычайно разнообразным (рис.8). Два из возможных способов внесения ослабления представлены на рис.9. В первом необходимое ослабление обеспечивается поступательным перемещением поглощающей пластины внутри волновода от узкой стенки к середине широкой (рис.9а), во втором – изменением глубины ее погружения через щель в середине широкой стенки волновода (рис.9б). Обычно поворотной лопастью размещают в секции волновода круглого сечения, встроенной в конструкцию аттенюатора с прямоугольным сечением входного и выходного волноводов. Кратко остановимся на особенностях конструктивных решений, применяемых различными производителями.

Волноводные аттенюаторы с плавным управлением серии CVA (Continuously Variable Attenuators) компании ATM Microwave выполняются на секциях с прямоугольным сечением от WR-284 до WR-28 (13 типоразмеров) и длиной от 254 до 76 мм соответственно. Калиброванное ослабление в этих аттенюаторах меняется в преде-

лах от 0 до 30 дБ при помощи многооборотных сдвоенных механизмов, размещенных на узкой стенке волновода. Они отличаются хорошим согласованием (КСВН не хуже 1,15 : 1) и малыми потерями (< 0,5 дБ).

Компания RF-Lambda выпускает аттенюаторы с непрерывной ручной перестройкой для сечений волновода

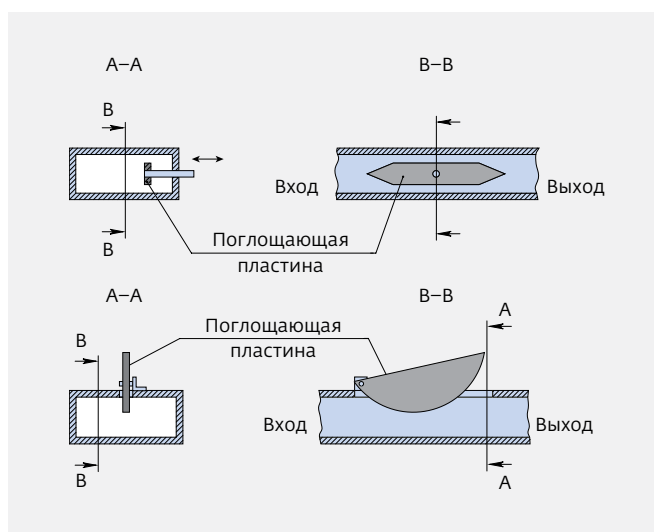


Рис.9. Волноводные аттенюаторы с перемещением поглощающей пластины от узкой стенки волновода к середине широкой (а) и с изменением глубины погружения пластины через щель в широкой стенке волновода (б)

Таблица 3. Характеристики волноводных аттенуаторов с ручным управлением

Компания	Серия	Рабочая частота, ГГц	Общее ослабление, дБ	КСВН (макс.)	Входная мощность, Вт	Тип волновода
Agilent	382A	8,2-40,00	0-50	1,15:1	10-1	WR-90...WR-28
Microwave Development Laboratories	AT	4,0-40,00	0-25	1,40:1	4,0-0,2	WR-187...WR-28
Link Microtek	AMxxJ-VAR	1,12-40,0	0-30	1,15:1	<1,0	WR-650...WR-28
QuinStar	QAL	18,0-110,0	0-25	1,50:1	0,5-0,3	WR-42...WR-10
Ducommun	CAL	18,0-110,0	0-25	1,30:1	0,6-0,3	WR-42...WR-10
Ducommun	CAR	18,0-110,0	0-50	-	1-0,3	WR-42...WR-10
QuinStar	QAD	18,0-110,0	0-50	1,25:1	0,5-0,2	WR-42...WR-10
Sage Millimeter	STA-60-xx-D1	18,0-140,0	0-60	1,30:1	0,5-0,3	WR-42...WR-08
RF-Lambda	RWMAT	1,12-140,00	0-35	1,20:1	200-1	WR-650...WR-8
Millitech	DRA	26,5-170,0	0-60	1,50:1	1-0,3	WR-28...WR-06
Millitech	LSA	18,0-170,0	0-25	1,50:1	0,5-0,30	WR-42...WR-06
Apollo Microwave	LSA	18,0-170,0	0-25	1,5:1	0,5-0,3	WR-42...WR-06
MI-Wave	510	18,0-220,0	0-60	1,30:1	1,0-0,1	WR-42...WR-05
MI-Wave	522	18,0-220,0	0-30	1,30:1	1,5-0,1	WR-42...WR-05
Flann Microwave	020	1,72-330,00	0-30	1,07:1	4,0-0,1	WR-430...WR-03
Flann Microwave	110	2,60-500,00	0-60	2,20:1	12,0-0,01	WR-284...WR-03

от WR-650 до WR-8. В изделиях с большим сечением волноводов ослабление изменяют путем перемещения поглощающей пластины от узкой стенки до середины широкой стенки волновода с помощью поршневого механизма (см. рис.9а), а в прецизионных моделях – посредством микрометра. В изделиях с малым сечением используется гильотинный (rotary vane) способ введения поглощающей пластины вглубь волновода через его широкую стенку (см. рис.9б). В обоих случаях достижимое ослабление превышает 35 дБ.

Наиболее распространенный и эффективный способ быстрой установки нужного ослабления с прецизионной точностью – применение микрометрического винта, используемого, например, в аттенуаторах, производимых компаниями Link Microtek (серия AMxxJ-VAR), Ducommun (серия CAL) (см. рис.8з), QuinStar (серия QAL), Millitech (серия LSA).

Широко распространены также аттенуаторы с непосредственным считыванием (direct reading attenuators), в которых ослабление определяется по шкале спиралевидного барабана (helical drum scale). Важное свойство этих аттенуаторов, основанных на поворотно-лопаст-

ной конструкции, – независимость ослабления и фазы выходного сигнала от частоты в пределах рабочего диапазона частот (fullband operation) волновода. Аттенуаторы характеризуются высокой точностью установки требуемого ослабления и повторяемостью результатов во всем диапазоне вносимых ослаблений, низким КСВН и легкостью считывания установленного ослабления по сравнению с другими типами аттенуаторов. Такие аттенуаторы идеальны при проведении прецизион-



ных измерений уровня мощности, усиления, потерь, развязки и др.

Управляемые ручным способом волноводные аттенюаторы с прямым отсчетом серии CAR компании Discotип предназначены для частот от 18 ГГц (сечение WR-42) до 110 ГГц (сечение WR-10). В аттенюаторах реализована многооборотная прецизионная червячная передача. Ослабление до 50 дБ устанавливается с погрешностью 0,1 дБ при начальном ослаблении 0,6 дБ, а допустимая мощность сигнала соответственно составляет от 1 Вт до 300 мВт.

Волноводные аттенюаторы с прямым отсчетом серии 110 компании Flann Microwave (см. рис.8к) для частот от 2,6 до 500 ГГц обеспечивают вариацию ослабления до 60 дБ в нескольких сечениях волноводов.

Погрешность установки значения ослабления с помощью, например, 10-оборотного редуктора составляет от 0,001 до 0,5 дБ. В измерительных волноводных моделях аттенюаторов с нониусной установкой реализуется прецизионно малая погрешность задания ослабления. Например, в серии 020 на частоте до 140 ГГц ослабление 30 дБ устанавливается с погрешностью 0,2 дБ.

Характеристики некоторых моделей волноводных аттенюаторов с ручным управлением указаны в табл.3.

Таким образом, на рынке представлено большое разнообразие аттенюаторов с ручным управлением. Приведенная в статье информация поможет подобрать оптимальный аттенюатор для решения конкретной задачи. ●

## КНИГИ ИЗДАТЕЛЬСТВА "ТЕХНОСФЕРА"



Цена 975 руб.

### МОЩНЫЕ ТВЕРДОТЕЛЬНЫЕ СВЧ-УСИЛИТЕЛИ

Сечи Ф., Буджатти М.

*При поддержке АО "НПП «Исток» им. Шокина"*

*Перевод с англ. под ред. д.т.н. А.А.Борисова*

М.: ТЕХНОСФЕРА, 2016. – 416 с.  
ISBN 978-5-94836-415-5

В книге рассмотрены все традиционные вопросы, связанные с разработкой усилителей мощности, начиная от получения моделей приборов на большом сигнале и заканчивая обсуждением сумматоров мощности и методов проектирования.

Большое внимание в издании уделено рассмотрению физических основ приборов, фазовых шумов, схем смещения и тепловому проектированию. Также в книге особое внимание уделяется рассмотрению фундаментальных принципов. Издание затрагивает необычайно большое количество областей, связанных с физикой полупроводников и активных устройств.

Книга представляет интерес для специалистов, которые занимаются разработкой усилителей мощности для базовых станций сотовой связи. В особенности это относится к рассмотрению моделей на больших сигналах, проблем, связанных с фазовыми шумами, методов проектирования усилителей мощности, специальных конструкций усилителей мощности и теплового проектирования. Также данная книга может послужить в качестве справочного пособия при углубленном изучении СВЧ-устройств.

#### КАК ЗАКАЗАТЬ НАШИ КНИГИ?

✉ 125319, Москва, а/я 91; ☎ (495) 234-0110; 📠 (495) 956-3346; [knigi@technosphera.ru](mailto:knigi@technosphera.ru), [sales@technosphera.ru](mailto:sales@technosphera.ru)

