

УДК 621.372.852.3

М.Г.Рубанович¹, В.П.Разинкин¹, А.Д.Мехтиев², Г.Г.Таткеева², Д.Х.Ахметжанов²

¹Новосибирский государственный технический университет, Россия;

²Карагандинский государственный технический университет

(E-mail: barton.kz@mail.ru)

Применение диплексеров на взаимодополняющих фильтрах нижних и верхних частот для радиопередающих устройств цифровых систем связи и телевидения

Часто в радиопередающих устройствах радиовещания, телевидения и цифровых систем связи применяются измерительные аттенюаторы высокого уровня мощности. Для того чтобы обеспечить высокое качество согласования в широкой полосе рабочих частот, аттенюаторы строят на основе разветвляющих последовательно-параллельных структур с использованием пленочных СВЧ резисторов. Известные структурные схемы аттенюаторов имеют значительную частоту зависимости входного коэффициента стоячей волны, которая не совсем эффективна для передатчиков большой мощности. Для того чтобы устранить этот недостаток, предложено применить согласованный амплитудно-частотный корректор, который включается на выходе аттенюатора и представляет собой устройство средней мощности. В состав корректора входят диплексоры, содержащие дополняющие друг друга по входному импедансу фильтры нижних и верхних частот.

Ключевые слова: диплексер, фильтр, радиопередающие устройства, системы связи, телевидение.

Согласованные измерительные аттенюаторы высокого уровня мощности часто применяются для контроля параметров выходного сигнала мощных радиопередающих устройств радиовещания, телевидения, цифровых и телекоммуникационных систем связи. Мощные аттенюаторы в настоящее время выполняют на основе волноводных и коаксиальных поглотителей мощности. Однако они имеют следующие основные недостатки: узкая полоса рабочих частот, недостаточное качество согласования, сложность конструктивной реализации и ограниченные возможности рассеивания сверхбольших СВЧ мощностей. Данные недостатки можно преодолеть с помощью перехода к микрополосной технологии и использования пленочных СВЧ резисторов большой мощности, нанесенных на бериллиевую керамику, которые обладают теплопроводностью, сравнимой с теплопроводностью металлов. Это позволяет реализовать эффективный и конструктивно простой отвод тепла на радиатор с принудительным воздушным охлаждением. Построение аттенюаторов в виде разветвляющих последовательно-параллельных структур, основанных на пленочных СВЧ резисторах, обеспечивает высокое качество согласования в предельно широкой полосе рабочих частот при существенном повышении уровня входной допустимой СВЧ мощности [1].

В данной статье рассмотрены методы проектирования, а также принципы построения сверхширокополосных измерительных аттенюаторов метрового и дециметрового диапазона на уровень непрерывной СВЧ мощности до 1 кВт.

СВЧ аттенюатор (согласованная нагрузка) с равномерной частотной характеристикой, в общем случае, выполняется по матричной последовательно-параллельной схеме включения отдельных резистивных элементов, которые имеют значительно меньшую мощность, чем общая входная мощность. Такой аттенюатор содержит несколько пленочных резисторов, при этом его общее входное сопротивление равно 50 или 75 Ом. Резисторы разделены между собой индуктивностями, компенсирующими собственную ёмкость резистивной плёнки, или отрезками коаксиального кабеля, которые

включены параллельно, для обеспечения требуемого волнового сопротивления [2]. Атенюатор ФАД-3 с затуханиями 16 дБ и 40 дБ (рис. 1, 2) рассчитан на входную мощность 300 Вт в непрерывном режиме. На рисунке 3 показана его принципиальная электрическая схема, а на рисунке 2 — расположение элементов и топология мостовой схемы деления мощности.

Делитель мощности позволяет увеличить входную допустимую мощность и реализовать два выхода, к которым можно одновременно подключать различные измерительные приборы. Из принципиальной схемы, представленной на рисунке 3, видно, что данный аттенюатор представляет собой последовательно-параллельную структуру.

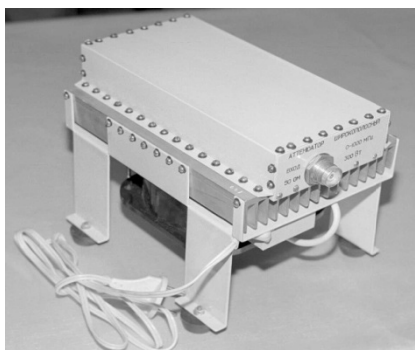


Рисунок 1. Атенюатор ФАД-3

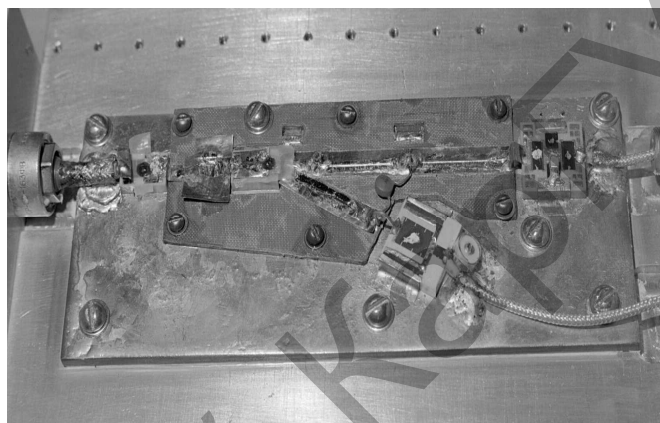


Рисунок 2. Конструкция ФАД-3

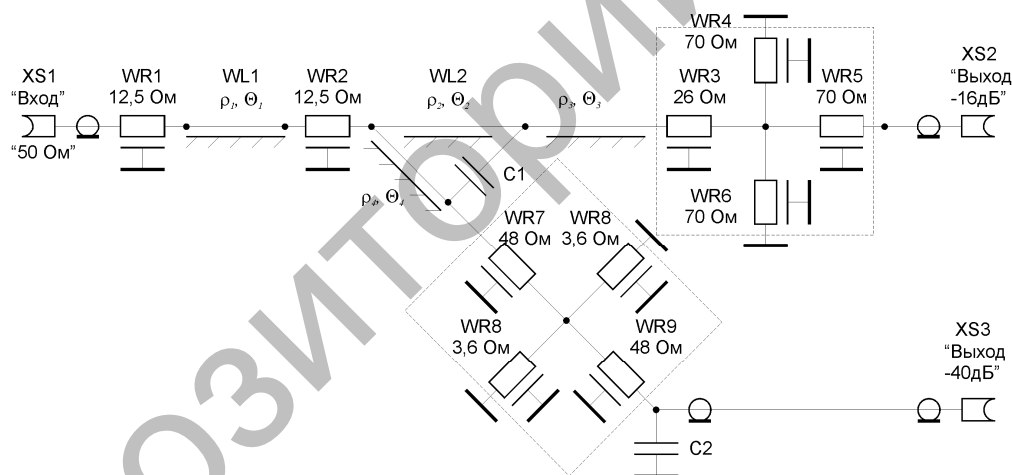


Рисунок 3. Принципиальная электрическая схема аттенюатора ФАД-3

Применение многоканального построения аттенюатора позволяет увеличить входную допустимую СВЧ мощность, при которой многократно используются одинаковые блоки меньшей мощности. Это означает, что при разработке многоэлементных аттенюаторов и нагрузок на мощность рассеивания свыше 1000 Вт внутренние структуры более низкого уровня мощности рассеивания входят в состав структуры более высокого уровня мощности рассеивания.

Экспериментальная частотная зависимость коэффициента стоячей волны аттенюатора мощностью 300 Вт представлена на рисунке 4.

Для того чтобы построить СВЧ измерительных аттенюаторов высокого уровня мощности, необходимо обеспечить постоянное значение вносимого ослабления в широкой полосе частот с заданным уровнем неравномерности. Широкополосные аттенюаторы содержат мощные пленочные резисторы и согласующе-компенсирующие цепи, которые предназначены для компенсации влияния паразитных реактивных параметров пленочных резисторов. Исходя из того, что пленочный резистор является планарной структурой, реактивные параметры пленочных резисторов определены на основе двумерной электромагнитной модели. В основу модели положены принципы декомпозиционного подхода,

что позволило учесть краевые эффекты и неравномерное распределение тока СВЧ в поперечном сечении пленочного резистора большой мощности. При последовательно-параллельном включении пленочных резисторов различной мощности вносимое ослабление аттенюатора имеет значительную частотную зависимость. Для устранения этого эффекта предложено применить согласованный амплитудно-частотный корректор, выполненный на основе широкополосных аттенюаторов с различной величиной затухания и частотно-разделительных устройств (диплексеров), как показано на рисунке 5 [3].

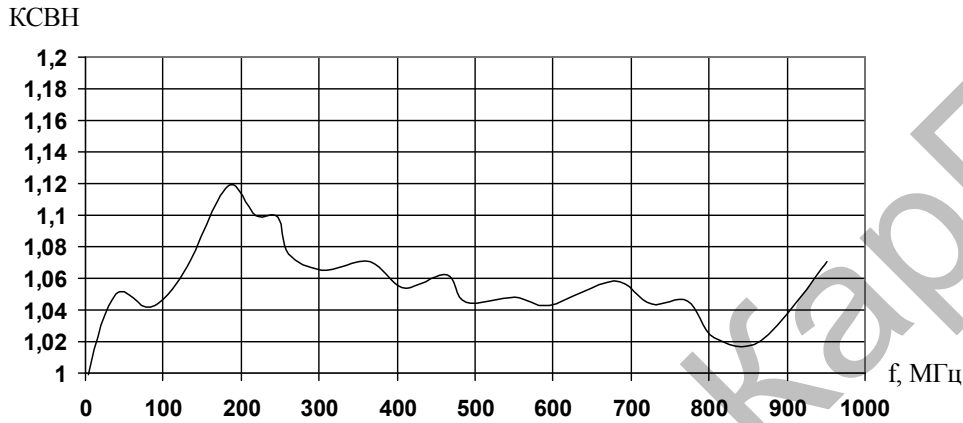


Рисунок 4. Частотная зависимость входного коэффициента стоячей волны ($K_{стU}$) аттенюатора мощностью 300 Вт

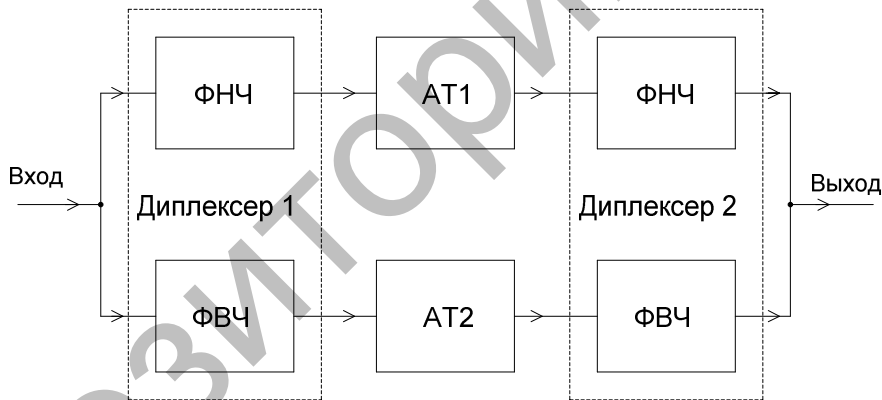


Рисунок 5. Структурная схема амплитудно-частотного корректора

Необходимо отметить, что амплитудно-частотный корректор включается на выходе аттенюатора и представляет собой устройство средней мощности.

Диплексеры, которые входят в состав широкополосного корректора, содержат дополняющие друг друга по входному импедансу фильтры нижних и верхних частот [4]. В результате компьютерного моделирования установлено, что взаимное влияние друг на друга фильтров приводит к выполнению частотно независимого условия согласования диплексера по входу

$$\dot{Y}_{NF}(f) + \dot{Y}_{HF}(f) = 1 = \text{const}, \tag{1}$$

где $\dot{Y}_{NF}(f)$ — комплексная нормированная входная проводимость фильтра нижних частот; $\dot{Y}_{HF}(f)$ — комплексная нормированная проводимость фильтра верхних частот; f — частота входного высокочастотного сигнала.

Из условия (1) и условия унитарности матриц рассеяния диплексера, представляющего собой шестиполусник без потерь, следует еще два интересных условия для диплексера с согласованными нагрузками:

$$\begin{cases} S_{11}(f) = 0; \\ |S_{21}(f)|^2 + |S_{31}(f)|^2 = 1, \end{cases} \quad (2)$$

где $S_{ij}(f)$ — параметры рассеяния диплексера [5].

Обеспечить любую форму амплитудно-частотной характеристики корректора — подъем высоких частот либо подъем на низких частотах — можно, управляя вносимым ослаблением аттенуаторов. Также на форму частотной характеристики рассматриваемого корректора влияют выбор граничных частот и количество элементов в фильтрах диплексера [3]. Анализ, учитывающий соотношения (1) и (2), показывает, что результирующая амплитудно-частотная характеристика корректора \tilde{S}_{21} описывается соотношением

$$|\tilde{S}_{21}(x)| = 20 \lg \frac{|S'_{21}|}{\sqrt{1+x^{2n}}} + 20 \lg \frac{|S''_{21}| \cdot x^n}{\sqrt{1+x^{2n}}} \quad [\text{дБ}], \quad (3)$$

где $x = \frac{f}{f_0}$ — нормированная частота; $f_0 = \sqrt{f_{NF} \cdot f_{HF}}$ — частота стыковки фильтров диплексера; f_{NF} — граничная частота фильтра нижних частот; f_{HF} — граничная частота фильтра верхних частот; n — порядок фильтров диплексера; S'_{21} — коэффициент передачи аттенуатора АТ1; S''_{21} — коэффициент передачи аттенуатора АТ2.

На рисунке 6 приведена частотная характеристика предлагаемого корректора, соответствующая случаю $|S'_{21}|_{\text{дБ}} > |S''_{21}|_{\text{дБ}}$ [6].

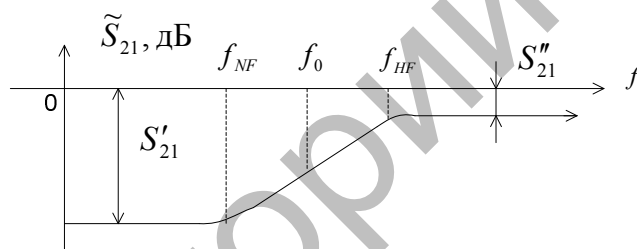


Рисунок 6. Амплитудно-частотная характеристика корректора

Сделать корректор регулируемым позволяет применение в амплитудно-частотном корректоре управляемых аттенуаторов, построенных на полупроводниковых диодах или полевых транзисторах.

Заключение

Разработанные измерительные аттенуаторы высокого уровня мощности обеспечивают полосу рабочих частот от 0 до 1 ГГц при качестве согласования, удовлетворяющем требованиям российских стандартов (ГОСТ 13924–80 «Передачики радиовещательные стационарные», ГОСТ 20532–83 «Радиопередачики телевизионные I-V диапазонов», ГОСТ 21139–87 «Генераторы и установки высокочастотные различного назначения»).

Максимальная температура на поверхности плёночных резисторов, которые входят в состав разработанных измерительных аттенуаторов, не превышала 120 °С. Это значение температуры соответствует допустимой величине удельной мощности рассеяния 230 Вт/см².

Предложенные многоэлементные аттенуаторы, выполненные на основе плёночных планарных резисторов по последовательно-параллельной структуре, отличаются конструктивно-технологической простотой, удобством в настройке и позволяют реализовать широкополосное измерительное оборудование для мощной радиопередающей аппаратуры, которая используется в телевидении, радиовещании, связи и телекоммуникациях.

Применение диплексеров на взаимодополняющих фильтрах нижних и верхних частот позволяет реализовать амплитудно-частотный корректор, согласованный в широкой полосе рабочих частот, при этом динамический диапазон коррекции определяется вносимыми ослаблениями аттенуаторов, входящих в состав корректора. Предложенный корректор может быть использован в радиоизмерительном оборудовании, а также в системах кабельного телевидения и телекоммуникационных системах.

Список литературы

- 1 Рубанович М.Г., Востряков Ю.В., Хрусталеv В.А., Абденоv А.Ж., Разинкин В.П. Широкополосные аттенуаторы и нагрузки большой мощности для радиопередающей аппаратуры // Электронные компоненты. — 2004. — № 9. — С. 23–25.
- 2 Востряков Ю.В., Рубанович М.Г., Хрусталеv В.А., Матвеев С.Ю., Разинкин В.П. Модульный аттенуатор большой мощности для работы с радиопередающей аппаратурой // Электронные компоненты. — 2005. — № 9. — С. 117–119.
- 3 Кисель В.А. Аналоговые и цифровые корректоры: Справочник. — М.: Радио и связь, 1986. — 184 с.
- 4 Алексеев О.В., Грошев Г.А., Чавка Г.Г. Многоканальные частотно-разделительные устройства и их применение. — М.: Радио и связь, 1981. — 136 с.
- 5 Патент РФ № 2449431, H01P 1/100. Многоэлементная СВЧ нагрузка / Аубакиров К.Я., Разинкин В.П., Хрусталеv В.А., Рубанович М.Г., Востряков Ю.В., Воробьев П.М. Оpubл. 27.04.12. БИ № 12.
- 6 Патент РФ № 2439754, H01P 1/203. Амплитудный корректор / Разинкин В.П., Хрусталеv В.А., Рубанович М.Г., Востряков Ю.В. Оpubл. 10.01.2012. БИ № 1.

М.Г.Рубанович, В.П.Разинкин, А.Д.Мехтиев, Г.Г.Таткеева, Д.Х.Ахметжанов

Байланыс және теледидар сандық жүйелер радиотаратушы құрылымдар үшін төменгі және жоғарғы жиіліктерді өзара толықтыратын сүзгілерде диплексерлердің қолданылуы

Радиохабарларда радиотаратушы құрылымдарда байланыс теледидарларының және сандық жүйелердің биік деңгей қуаттарын өлшеу аттенуаторлары жиі қолданылып жатыр. Мақалада жиіліктерге кең жолақты келісулердің биік сапасын қамтамасыз ету керек, ол үшін аттенуаторлар пленкасы СВЧ резисторларды қолдануымен біртіндеп тармақталған параллельдік құрылымдарға негізделіп жасалуы тиіс. Бірақ аттенуаторларда мұндай әлсіретулерді енгізу сол құрылымды түбегейлі жиілік тәуелділігіне алып келеді. Ол үшін бұл кемшілікті шеттетуге ұсынған үйлесімді амплитудалық жиілік өзгертулері қолданылуы ұсынылады. Бұл корректорлар аттенуатор шығысына қосылған және олар орташа қуаттар құрылымын ұсынады. Сонымен қоса корректорға диплексорлар кіреді, сондай-ақ төменгі және жоғарғы жиілікті сүзгілер кіретін импеданс бір-бірін толықтырып тұрады.

M.G.Rubanovich, V.P.Razinkin, A.D.Mekhtiev, G.G.Tatkeyeva, D.Kh.Akhmetzhanov

Application of diplexers on complementary filters of the lower and upper frequencies for the radio-transmitting devices of digital communication systems and television

In the radio-transmitting devices of broadcasting, television and digital communication systems measuring attenuators of the high level of power are often applied. To provide high quality of coordination in broad band of operating frequencies, attenuators build on the basis of branching-out serial-to-parallel structures with use of film very high frequencies of resistors. Known skeleton diagrams of attenuators have the considerable frequency of dependence of input standing wave ratio which isn't absolutely effective for transmitters of big power. To eliminate this defect it is offered to apply the coordinated amplitude-frequency response equalizer. The offered corrector turns on on an output of the attenuator and represents the device of average power. Diplexers which contain adding each other on an input impedance filters of the lower and upper frequencies are a part of the corrector.

References

- 1 Rubanovich M.G., Vostryakov Yu.V., Khrustalev V.A., Abdenov A.Zh., Razinkin V.P. *Electronic components*, Moscow, 2004, 9, p. 23–25.
- 2 Vostryakov Yu.V., Rubanovich M.G., Khrustalev V.A., Matveev S.Yu., Razinkin V.P. *Electronic components*, Moscow, 2005, 9, p. 117–119.
- 3 Kissel V.A. *Analog and digital correctors: Handbook*, Moscow: Radio i svyaz, 1986, 184 p.
- 4 Alekseev O.V., Groshev G.A., Chavka G.G. *Multi-channel frequency-dividing devices and their applications*, Moscow: Radio i svyaz, 1981, 136 p.
- 5 Patent of the Russian Federation No 2449431, H01P 1/100. *Multi-element microwave load*. Aubakirov K.Ya., Razinkin V.P., Khrustalev V.A., Rubanovich M.G., Vostryakov Yu.V., Vorobyev P.M., Publ. 27.04.12, BI No. 12.
- 6 Patent of the Russian Federation No. 2439754, H01P 1/203. *The amplitude corrector*. Razinkin V.P., Khrustalev V.A., Rubanovich M.G., Vostryakov Yu.V., Publ. 10.01.2012., BI No. 1.