

## **Входной линейный модуль широкополосного приемного устройства СВЧ с расширенным динамическим диапазоном**

*В сообщении рассматриваются способы расширения динамического диапазона широкополосных приемных устройств СВЧ. Предложены принципы проектирования входных линейных модулей. Представлен разработанный усилительный модуль диапазона 8-18 ГГц с расширенным динамическим диапазоном.*

**Ключевые слова:** широкополосное приемное устройство СВЧ, расширенный динамический диапазон, входной линейный тракт, входной линейный модуль, маломощный усилитель

### **1. Введение**

Проблема расширения динамического диапазона (ДД) широкополосных приемников, применяющихся в системах и комплексах пассивной радиолокации, по-прежнему является актуальной. ДД приемника пассивной радиолокации определяется, в том числе, параметрами широкополосных приемных устройств (ШПУ) СВЧ и входных линейных модулей (ВЛМ) [1].

ВЛМ представляет собой защищенный по входу широкополосный маломощный усилитель СВЧ с регулируемым коэффициентом усиления. Параметры этого усилителя в значительной степени определяют как нижнюю границу ДД – чувствительность СВЧ-приемника, так и его верхнюю границу. Современная элементная база СВЧ позволяет реализовать довольно высокие характеристики таких усилителей по полосе рабочих частот, коэффициенту шума, коэффициенту усиления, линейности амплитудной характеристики и другим параметрам.

Физические и технические механизмы ограничения динамического диапазона средств пассивной радиолокации, а также некоторые возможности его расширения, связанные со структурными и схемотехническими особенностями ВЛМ в диапазоне СВЧ, были рассмотрены в [2]. Там же были представлены результаты практической реализации двухкаскадного ВЛМ, построенного по схеме с отключаемыми каскадами усиления. Была показана возможность существенного расширения ДД при незначительном ухудшении чувствительности по сравнению со схемой с управляемым аттенуатором по входу.

Основным недостатком представленной схемы являлся большой шаг ступеней ослабления сигнала и их ограниченное количество, определяемое числом каскадов. Кроме того, возникла потребность дальнейшего увеличения усиления и расширения полосы рабочих частот. В настоящем сообщении рассматривается реализация ВЛМ, сочетающего в себе положительные качества обоих подходов, представленных в [2].

### **2. Основная часть**

Новизна предлагаемого технического решения состоит в том, что оно включает в себя как отключаемый каскад усиления, так и управляемый аттенуатор с усилителем. В публикации [2] они обозначены соответственно, как «регулируемый усилитель» и «регулируемый аттенуатор». Упрощенная структура новой модели представлена на рис.1.

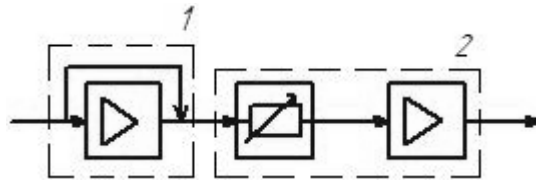


Рис.1. Структура новой модели, где 1 – «регулируемый усилитель», 2 – «регулируемый аттенюатор»

Видно, что показанная схема при определенных условиях может обеспечить как мелкий шаг регулировки ослабления, так и расширение ДД. Поскольку при подключении входного каскада усиления верхнюю границу ДД с некоторого значения ослабления задает он, то получение максимальной глубины ослабления с мелким шагом подразумевает следующий алгоритм. С включенным каскадом ослабление определяется аттенюатором до уровня  $a_{\max}$ . При достижении этого значения каскад отключается и снова вводится ослабление аттенюатором от начального до максимального затухания.

Рассмотрим, как зависит ДД в режиме с включенным входным каскадом от ослабления аттенюатора (рис.2.). Для сравнения на графике также представлены верхняя и нижняя граница ДД модели «регулируемого аттенюатора» границы его ДД обозначены сплошными прямыми линиями.

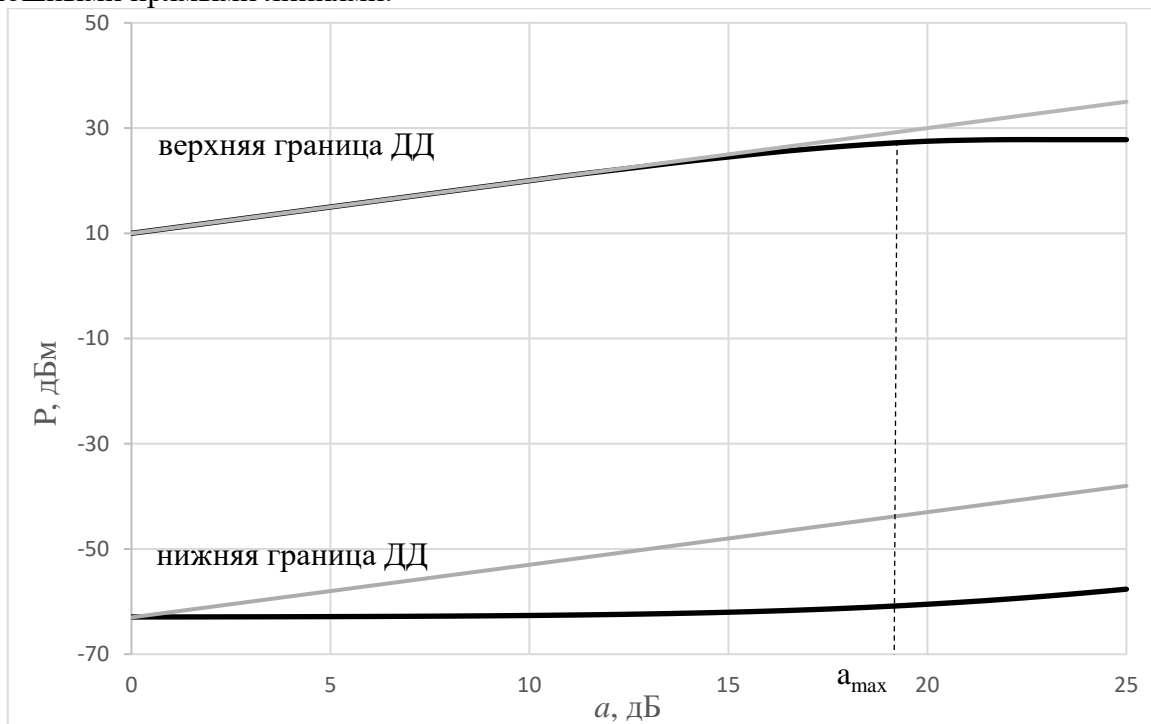


Рис. 2. Зависимость верхней и нижней границы ДД от  $a$  для новой модели в режиме 1 и «регулируемого аттенюатора».

Из рисунка следует, что новая схема действительно обеспечивает увеличение ДД в широком диапазоне ослаблений по сравнению со схемой «регулируемого аттенюатора». Главным критерием, определяющим эффективность метода, является получение максимального интегрального динамического диапазона (CDR):

$$CDR = \frac{1}{A} \int_0^A IDR(a) da \quad (1)$$

где  $IDR$  – мгновенный ДД,

$a$  – действующее значение ослабления коэффициента передачи.

$A$  – максимальная глубина ослабления при регулировке коэффициента передачи.

Пунктирной линией показана граница, при которой динамический диапазон достигает максимума. Интегральный ДД структуры, показанной на рис.1 будет максимальным, если значения  $a_{max}$  и степень ослабления при отключении каскада равны. Способ нахождения  $a_{max}$  заложен в поиске экстремума функции динамического диапазона при изменении ослабления аттенюатора:

$$\frac{\partial IDR}{\partial a} = 0 \quad (2)$$

Строгое решение задачи оптимизации на основе изложенного выше возможно, но лежит за пределами настоящего сообщения.

Ниже приведена конструктивная реализация новой модели. Внешний вид модернизированного модуля ВЛМ-М изображен на рис. 3.

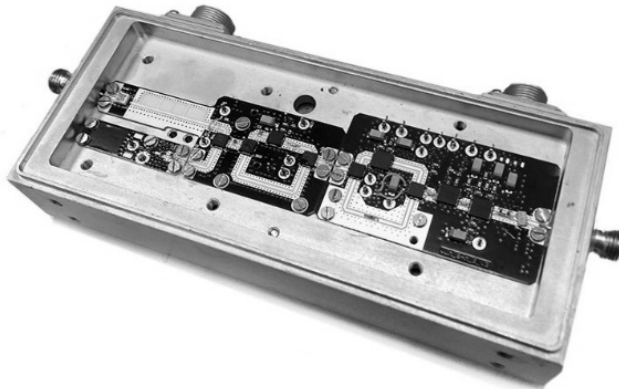


Рис. 3. Внешний вид ВЛМ-М.

Конструкция модуля представляет собой двухсекционный металлический корпус, в нижней секции которого установлена плата питания и управления, а в верхней – СВЧ часть. СВЧ часть разделена на две печатные платы с подложкой из материала Ro4350. Особенностью конструкции является то, что все платы, выполнены по технологии автоматизированного монтажа SMD-компонентов, а соединение по СВЧ [3] и питанию реализовано с использованием скользящих контактов. ВЛМ-М работает от внешнего постоянного напряжения 20 – 30 В и имеет габариты 135x64x27 мм.

Далее представлены результаты измерений основных параметров ВЛМ-М. На рисунке 5 показаны экспериментальные графики верхней и нижней границы его ДД.

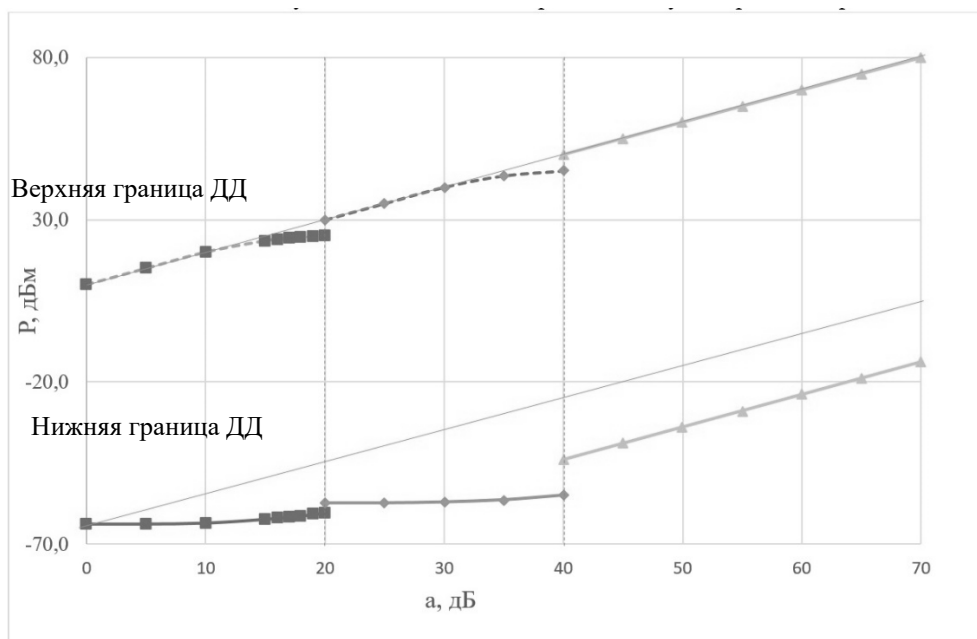


Рис. 5. Верхняя и нижняя граница ДД ВЛМ-М и усилителя с входным аттенюатором.

Прямые тонкие линии обозначены границы ДД аналогичного гипотетического усилителя, построенного по схеме «регулируемого аттенюатора». Места разрыва экспериментальных графиков соответствуют моментам отключения первого и второго каскадов ВЛМ-М соответственно. Очевидно, что ВЛМ-М по мгновенному динамическому диапазону превосходит «регулируемый аттенюатор» во всем диапазоне ослаблений. В частности, с отключенным первым каскадом мгновенный динамический диапазон ВЛМ-М возрастает на 12 дБ, а при отключении второго каскада эта величина превышает 20 дБ.

Выигрыш в параметрах, применительно к ШПУ СВЧ, разработанный модуль имеет также из-за реализации возможности мелкого шага регулировки коэффициента передачи и улучшенных характеристик неравномерности АЧХ. На рис. 5а и 5б представлены графики измеренных коэффициента передачи и коэффициента шума ВЛМ-М в двух режимах.

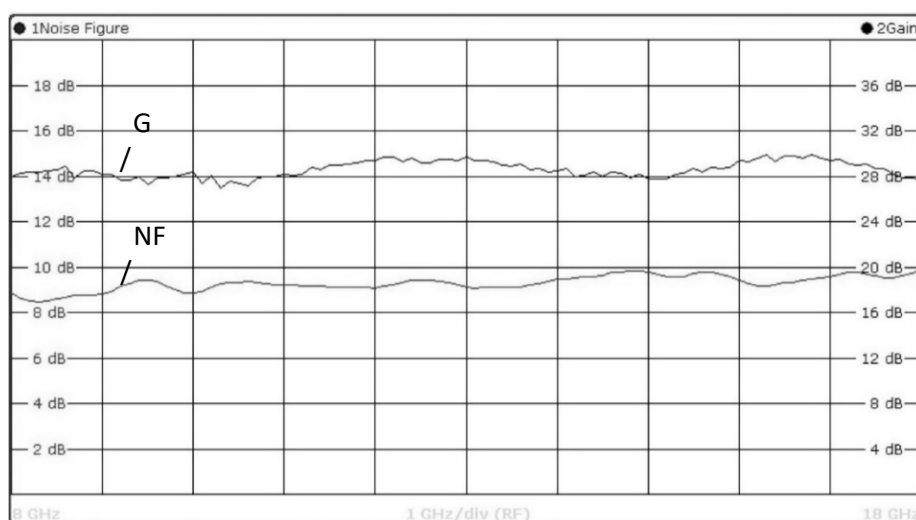


Рис. 5а. Коэффициент передачи и коэффициент шума ВЛМ-М максимального усиления.

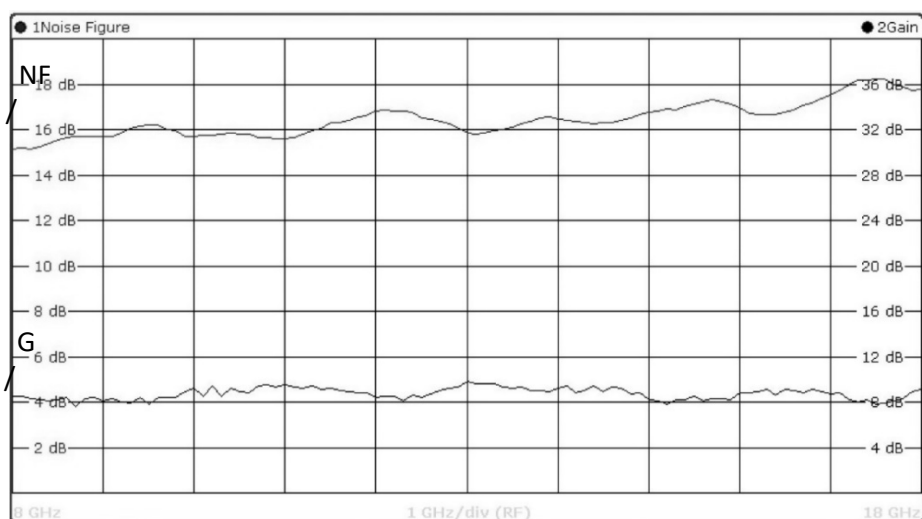


Рис. 5б. Коэффициент передачи и коэффициент шума ВЛМ-М с отключенным первым каскадом усиления.

Основные параметры ВЛМ-М приведены в таблице 1.

Таблица 1.

Наименование параметра	Обозначение	ВЛМ	ВЛМ-М
Рабочий диапазон частот, ГГц	$\Delta f_{\text{раб}}$	12-18	8-18
Коэффициент передачи, дБ			
режим 1	$K_{п1}$	20...23	27...30
режим 2	$K_{п2}$	3...6	7...10
режим 3	$K_{п3}$	-13...-10	-13...-10
Неравномерность коэффициента передачи сквозной АЧХ (в полосе 500МГц), дБ	$\Delta K_{п}$	2,0	1,0
Верхняя граница линейности амплитудной характеристики по выходу (при компрессии $K_{п}=1$ дБ), дБ (исх. 1 Вт)	ВГЛАХ	минус 10	минус 7
Коэффициент шума, дБ	$K_{ш}$	10	10
Время переключения режимов усиления, мкс	$t_{\text{прк.атт}}$	60	1
Шаг ослабления при регулировке коэффициента передачи, дБ	$L_{в}$	20	1
КСВН входов/выходов	$K_{ст} U_{\text{вх/вых}}$	2,5	2,5
Потребляемая мощность, Вт	$P_{\text{потр}}$	4	5

## 1. Заключение

Новый модуль входного линейного тракта в диапазоне 8 – 18 ГГц позволил получить высокие технические характеристики ШПУ СВЧ. Конструкция модуля дала возможность свести необходимость ручной регулировки и настройки при производстве к минимуму. На ее основе разработан целый ряд усилителей с рабочим диапазоном частот от 200 МГц до 18

ГГц. В кратчайшие сроки потребителю было поставлено более 300 приборов. Модули имеют высокие показатели надежности и повторяемости электрических параметров.

Библиографический список

1. Куприянов П. В. Широкополосные приемные устройства СВЧ с расширенным динамическим диапазоном // Радиотехника. – 2006. – Вып. 3. – с.8-13
2. Гутенко С. В., Петров С. А. и др. О возможности расширения динамического диапазона широкополосных приемников СВЧ // Радиотехника и электроника. – 2018. – том 63. – Вып. 3, с. 257–261
3. Джуринский К. Б. Миниатюрные радиочастотные соединители. – с. 48-51