

УДК 621.382.2/3

**МОНОЛИТНЫЕ ИНТЕГРАЛЬНЫЕ СХЕМЫ ПАССИВНЫХ  
УДВОИТЕЛЕЙ ЧАСТОТЫ S- И С-ДИАПАЗОНОВ  
НА ОСНОВЕ GaAs pHEMT-ТЕХНОЛОГИИ**

*В.С. Арыков, А.А. Баров, А.В. Кондратенко, А.А. Фоминых, Д.С. Хохол*

Представлены результаты разработки монолитных интегральных схем пассивных удвоителей частоты S- и С-диапазонов, выполненных на основе 0,25 мкм GaAs pHEMT-технологии ЗАО «НПФ «Микран».

**Ключевые слова:** СВЧ, монолитная интегральная схема, удвоитель частоты, коэффициент преобразования, подавление гармоник, измерение параметров на пластине.

Применение СВЧ монолитных интегральных схем (МИС) в приемопередающих модулях современных радиоэлектронных систем позволяет в значительной степени снизить трудоемкость сборки и настройки модулей и, как следствие, уменьшить их себестоимость. При крупносерийном выпуске применение МИС собственного производства может дать дополнительный выигрыш по экономическим показателям. В данной статье представлены результаты разработки пассивных удвоителей частоты S- и С-диапазонов, предназначенных для замещения аналогов зарубежного производства, которые в больших количествах применяются в различной аппаратуре СВЧ-диапазона, производимой ЗАО «НПФ «Микран».

Удвоители частоты S-диапазона (обозначение по классификатору – МР702) и С-диапазона (МР701) выполнены на основе 0,25 мкм GaAs pHEMT-технологии НПФ «Микран». За основу была выбрана мостовая схема, что позволило получить подавление первой, третьей и четвертой гармоник входного сигнала без применения дополнительных внешних частотно-селективных цепей. Эквивалентные схемы разработанных устройств представлены на рис. 1.

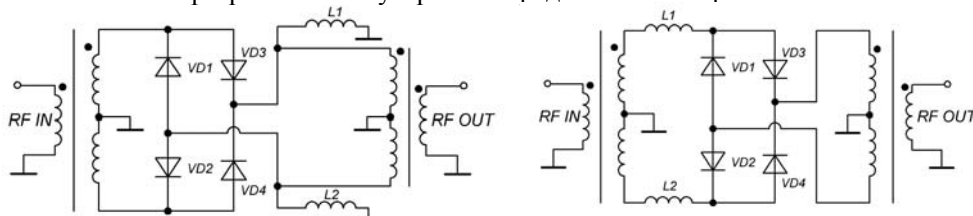


Рис. 1. Эквивалентные схемы удвоителей частоты МР701 (слева) и МР702 (справа)

Индуктивности  $L1$  и  $L2$  в выходной цепи МР701, а также во входной цепи МР702 обеспечивают равномерность коэффициента преобразования, а также вносят вклад в подавление побочных продуктов преобразования частоты. В качестве нелинейных элементов используются диоды Шоттки, выполненные по транзисторной технологии. Основное достоинство данного решения заключается в получении малого рельефа топологии в областях перехода от нелинейного эле-

мента к трансформатору. Недостаток применения планарных диодов, выполненных по транзисторной технологии, состоит в более высоком паразитном последовательном сопротивлении последних (в сравнении с вертикальными структурами), что приводит к большим потерям преобразования [1].

На рис. 2 представлены фотографии кристаллов, размер  $2,0 \times 1,5 \times 0,1$  мм.

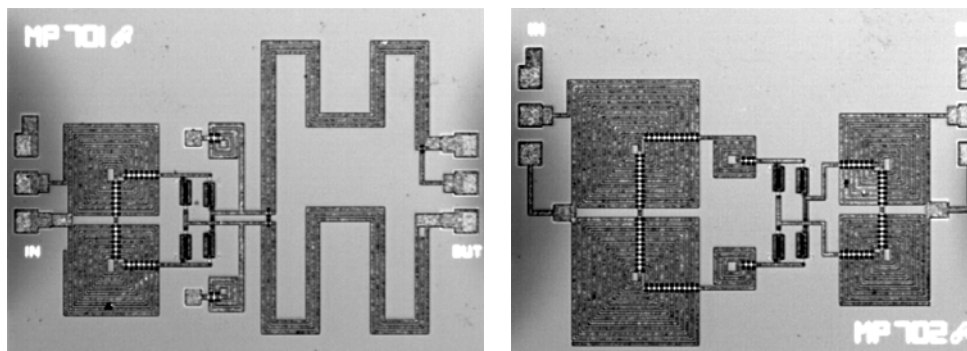


Рис. 2. Фотографии кристаллов удвоителей частоты MP701 (слева) и MP702 (справа)

Выходной трансформатор МИС MP701 представляет собой мост Маршанда на основе связанных микрополосковых линий, в то время как входной трансформатор МИС MP701, а также оба трансформатора МИС MP702 выполнены на основе связанных спиральных катушек для удовлетворения требования по габаритным размерам кристаллов [2].

Измерение радиочастотных характеристик проводилось непосредственно на пластине на участке выходного контроля МИС НПФ «Микран», а также в лаборатории НОЦ «Нанотехнологии» ТУСУРа. На рис. 3 и 4 представлены экспериментальные частотные зависимости коэффициентов преобразования МИС MP701 и MP702 при различных уровнях входной мощности.

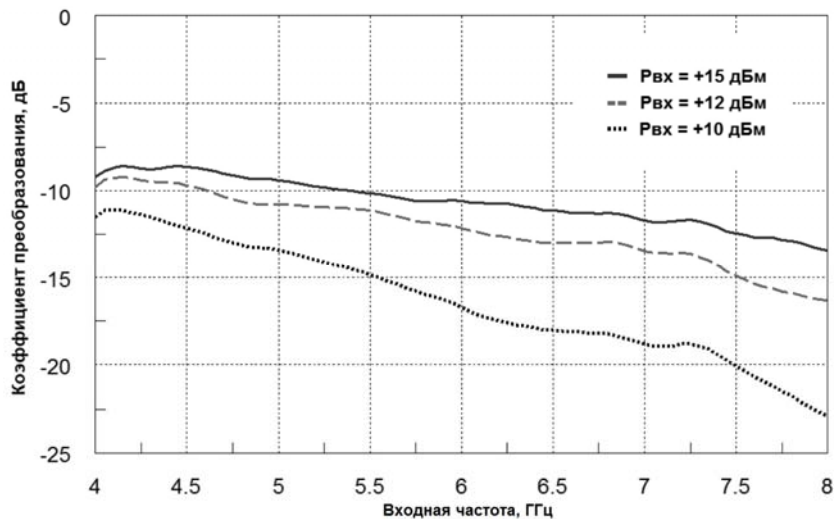


Рис. 3. Частотные зависимости коэффициента преобразования МИС MP701

На рис. 5 и 6 для МИС MP701 и MP702 соответственно представлены экспериментальные частотные зависимости подавления различных гармоник на выхо-

де относительно уровня входного сигнала (все характеристики соответствуют входной мощности 15 дБм).

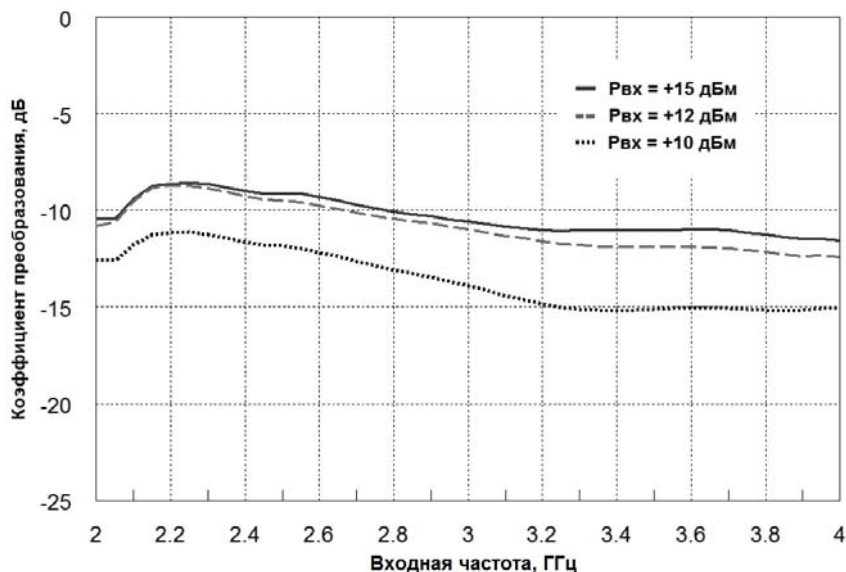


Рис. 4. Частотные зависимости коэффициента преобразования МИС МР702

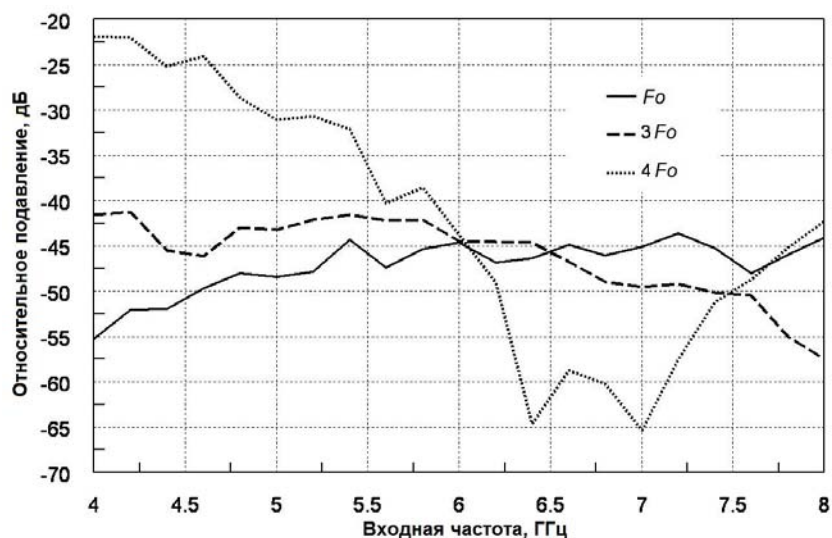


Рис. 5. Частотные зависимости подавления различных гармоник на выходе МИС МР701

Ближайшими зарубежными широко известными аналогами разработанных МИС МР701 и МР702 являются МИС удвоителей частоты НМС204 и НМС189 компании Nittite [3]. Сравнительный анализ характеристик показал, что единственный параметр, по которому новые разработки значительно уступают аналогам компании Nittite, – это подавление четвертой гармоники на выходе в нижней части рабочего диапазона частот. Что касается коэффициента преобразования, который во многих случаях является определяющей характеристикой умножителя, то

при одинаковой мощности входного сигнала разработанные микросхемы по данному параметру превосходят зарубежные аналоги.

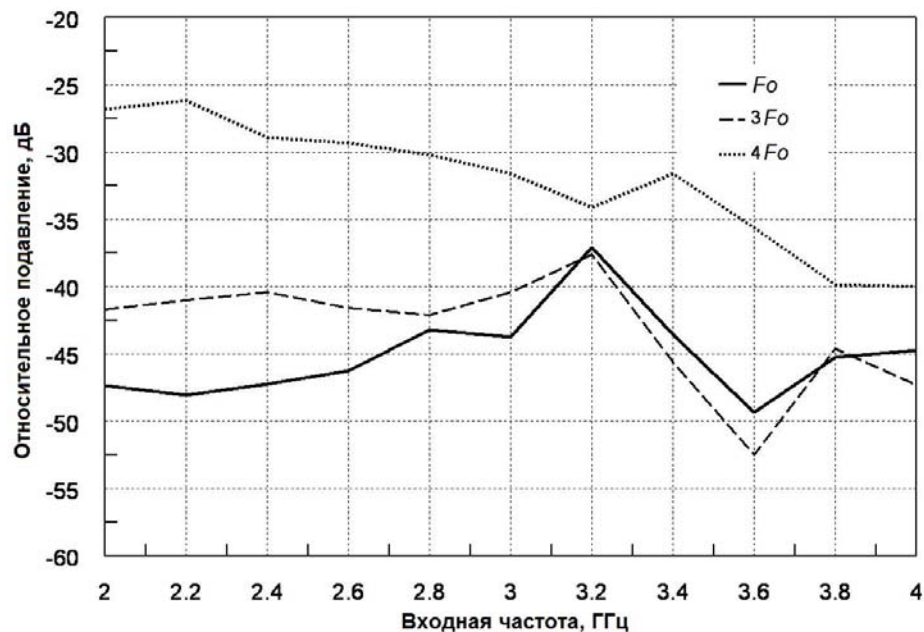


Рис. 6. Частотные зависимости подавления различных гармоник на выходе МИС МР702

Сравнение основных электрических параметров разработанных МИС с соответствующими параметрами МИС компании Hittite представлено в табл. 1 и 2.

Таблица 1  
Сравнение основных параметров удвоителей МР701 и НМС204 ( $P_{вх} = 15$  дБм)

Наименование параметра, единицы измерения	Значение	
	МР701	НМС204
Диапазон входных частот, ГГц	4–8	4–8
Диапазон выходных частот, ГГц	8–16	8–16
Потери преобразования, дБ, не более	14	18
Подавление 1-й гармоники, дБ, не менее	40	41
Подавление 3-й гармоники, дБ, не менее	40	42
Подавление 4-й гармоники, дБ, не менее	22	35

Таблица 2  
Сравнение основных параметров удвоителей МР702 и НМС189 ( $P_{вх} = 15$  дБм)

Наименование параметра, единицы измерения	Значение	
	МР702	НМС189
Диапазон входных частот, ГГц	2–4	2–4
Диапазон выходных частот, ГГц	4–8	4–8
Потери преобразования, дБ, не более	12	14
Подавление 1-й гармоники, дБ, не менее	35	30
Подавление 3-й гармоники, дБ, не менее	35	35
Подавление 4-й гармоники, дБ, не менее	25	32

### **Заключение**

В результате проделанной работы были разработаны и изготовлены МИС пассивных удвоителей частоты МР701 и МР702 для замены аналогов зарубежного производства, которые в больших количествах применяются в различной аппаратуре, производимой НПФ «Микран». Данные микросхемы могут быть предложены и стороннему заказчику.

На основе полученного опыта в настоящее время ведется разработка преобразовательных устройств (умножителей и смесителей частоты) для других частотных диапазонов. Кроме того, ведутся работы по корпусированию микросхем. Это позволит их эффективно применять в модулях, выполненных как по гибридно-интегральной технологии, так и технологии монтажа печатных плат на основе органических диэлектриков.

### **Литература**

1. Хохол Д.С. GaAs МИС широкополосного двойного балансного смесителя / Д.С. Хохол, Е.В. Дмитриченко, А.А. Баров и др. // Сб. трудов Всерос. науч.-техн. конф. Научная сессия ТУСУР-2011. Томск: В-Спектр, 2011. Ч. 2. С. 256–259.
2. Yoon Y.J. Design and characterization of multilayer spiral transmission-line baluns / Y.J. Yoon, L. Yicheng, R.C. Frye // IEEE Trans. Microwave Theory Tech. 1999. Vol. 47, No 9. P. 1841–1847.
3. Сайт компании Hittite [Электронный ресурс]. Режим доступа свободный: <http://www.hittite.com/>, (дата обращения: 21.09.2011).