

**В.С. Арыков<sup>1</sup>, А.А. Баров<sup>2</sup>, А.В. Кондратенко<sup>2</sup>, Д.С. Хохол<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> *Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники*

<sup>2</sup> *ЗАО «Научно-производственная фирма «Микран»*

## **Серия GaAs МИС широкополосных преобразователей частоты**

*В статье представлены результаты разработки серии монолитных интегральных схем широкополосных смесителей и удвоителей частоты, выполненных на основе 0.25 мкм GaAs рНЕМТ технологии ЗАО «НПФ «Микран». Решена задача замещения аналогов зарубежного производства, применяемых в выпускаемой аппаратуре.*

**Ключевые слова:** монолитная интегральная схема, смеситель, удвоитель частоты, диод Шоттки, противофазный трансформатор

Применение в радиоэлектронных системах СВЧ диапазона монолитных интегральных схем (МИС) позволяет значительно улучшить их основные технические параметры, кардинально снизить массу и габариты аппаратуры, повысить надежность функционирования, уменьшить трудоемкость и себестоимость изготовления радиоэлектронных изделий в серийном производстве. При крупносерийном выпуске применение МИС собственного производства может дать дополнительный выигрыш по экономическим показателям.

В статье представлены результаты разработки серии МИС двойных балансных смесителей и удвоителей частоты, выполненных на основе 0.25 мкм GaAs рНЕМТ технологии ЗАО «НПФ Микран».

МИС пассивных удвоителей частоты МР701, МР702 и МР703 выполнены по мостовой схеме, дополненной цепями согласования, что позволило минимизировать неравномерность коэффициента преобразования, а так же увеличить подавление первой, третьей и четвертой гармоник без применения дополнительных внешних частотно-селективных цепей. Противофазные трансформаторы МИС МР703, а так же выходной трансформатор МИС МР701 представляют собой мосты Маршанда на основе связанных микрополосковых линий, в то время как входной трансформатор МИС МР701, а также оба трансформатора МИС МР702 выполнены на основе связанных спиральных катушек для уменьшения габаритных размеров кристаллов [1]. На рис. 1 представлены эквивалентные схемы и фотографии топологий кристаллов. Габаритные размеры микросхем одинаковые и составляют 2.0 x 1.5 x 0.1 мм.

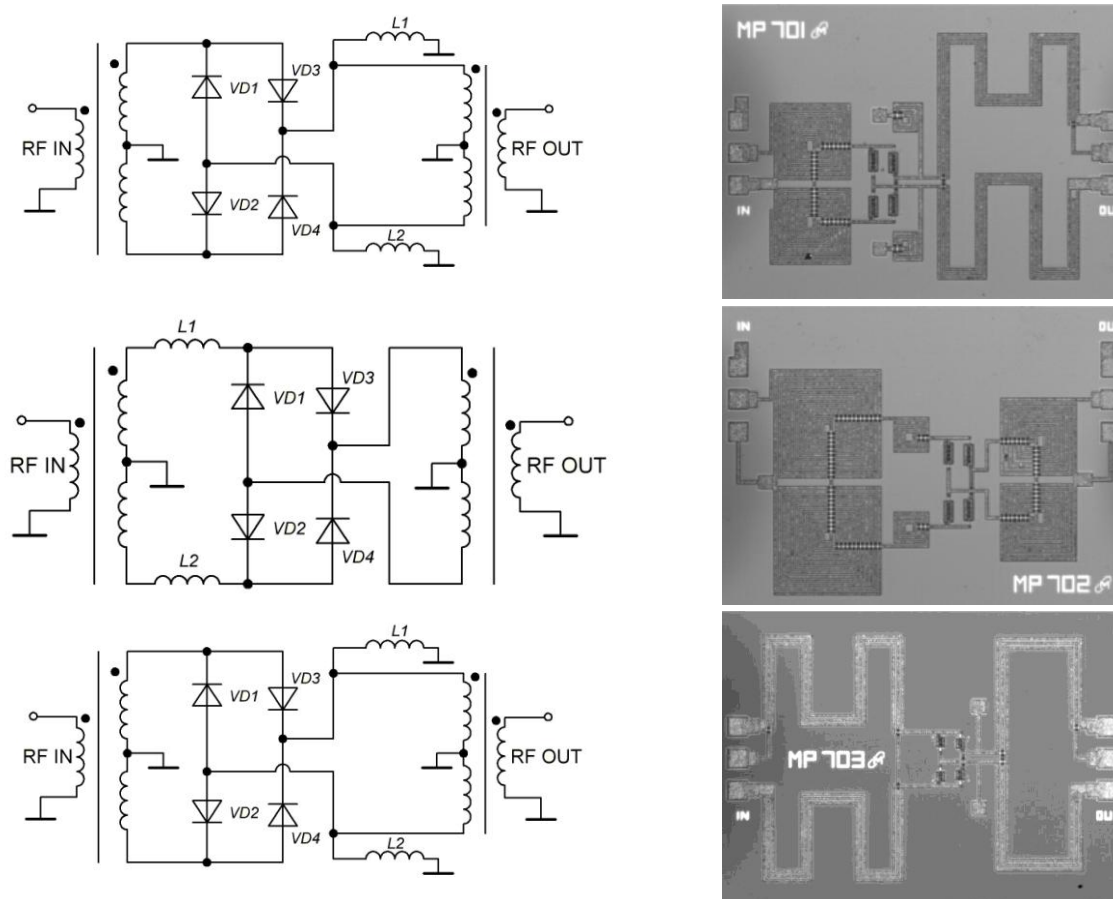


Рис. 1.

Ближайшими зарубежными широко известными аналогами разработанных МИС MP701, MP702 и MP703 являются МИС удвоителей частоты НМС204, НМС189 и НМС205 компании Nittite [2]. Сравнение основных электрических параметров разработанных МИС с соответствующими аналогами компании Nittite представлено в табл. 1, 2 и 3. Измерение радиочастотных характеристик проводилось непосредственно на пластине на участке выходного контроля МИС НПФ «Микран», а также в лаборатории НОЦ «Нанотехнологии» ТУСУРа.

Таблица 1

Наименование параметра, единица измерения	Значение	
	MP701	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
Номинальный уровень входной мощности, дБм	15	15

Таблица 2

Наименование параметра, единица измерения	Значение	
	MP702	HMC189
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
Номинальный уровень входной мощности, дБм	15	15

Таблица 3

Наименование параметра, единица измерения	Значение	
	MP701	HMC205
Диапазон входных частот, ГГц	8-16	6-12
Диапазон выходных частот, ГГц	16-32	12-24
Потери преобразования, дБ, не более	16	18
Подавление 1-й гармоники, дБ, не менее	22	28
Подавление 3-й гармоники, дБ, не менее	29	36
Подавление 4-й гармоники, дБ, не менее	21	26
Номинальный уровень входной мощности, дБм	15	15

Сравнительный анализ характеристик указывает на проигрыш всех разработанных МИС по подавлению четвертой гармоники на выходе в сравнении с аналогами компании Hittite. 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. Соответствие расчетных и экспериментальных параметров МИС удвоителей частоты, а также полученный выход годных более 50% позволили приступить к разработке более сложных преобразовательных устройств.

Широкополосный балансный смеситель MP601, работающий в диапазоне 4-18 ГГц, выполнен по двойной балансной схеме. На рис. 2 представлена эквивалентная схема и фотография топологии МИС MP601. Размеры кристалла 2.0 x 1.5 x 0.1 мм.

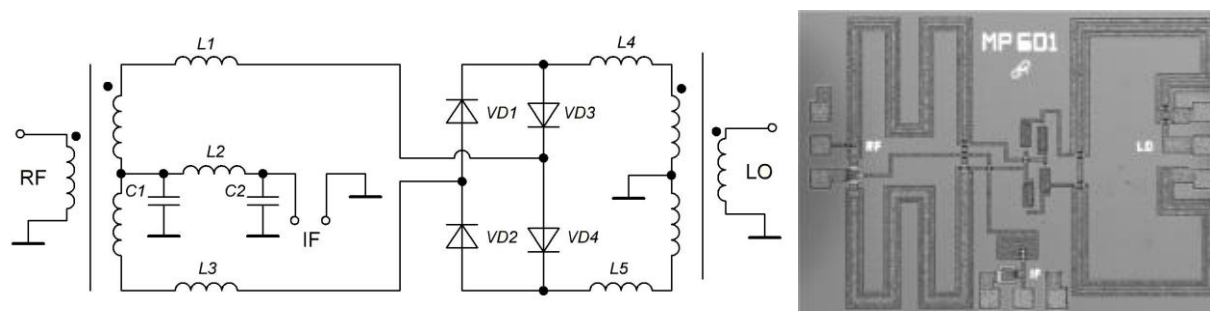


Рис. 2.

Противофазные трансформаторы представляют собой мосты Маршанда на связанных микрополосковых линиях. Конденсатор  $C1$ , являющийся блокировочным, совместно с конденсатором  $C2$  и индуктивностью  $L1$  представляют собой П-образное звено ФНЧ, обеспечивающее увеличение развязки трактов RF-IF, а так же уменьшение

неравномерности коэффициента преобразования смесителя [3]. Были изготовлены несколько пластин, выход годных составил порядка 50%.

В табл. 4 представлены основные экспериментальные параметры устройства в сравнении с ближайшим аналогом НМС143 компании Hittite.

Таблица 4

Наименование параметра, единица измерения	Значение	
	MP601	НМС143
Диапазон частот радиосигнала RF, ГГц	4-18	5-20
Диапазон частот сигнала промежуточной частоты IF, ГГц	0-2	0-3
Потери преобразования, дБ, не более	12	12
Развязка трактов RF и LO, дБ, не менее	30	24
Развязка трактов LO и IF, дБ, не менее	35	12
Мощность P1dB по входу, дБм, не менее	10	15
Номинальная мощность гетеродина, дБм	18	20

На основе схмотехнического решения для МИС MP601 была разработана МИС смесителя диапазона 4.5-9 ГГц (проект MP602). Топология представлена на рис. 3. Размеры кристалла 2.0 x 2.0 x 0.1 мм.

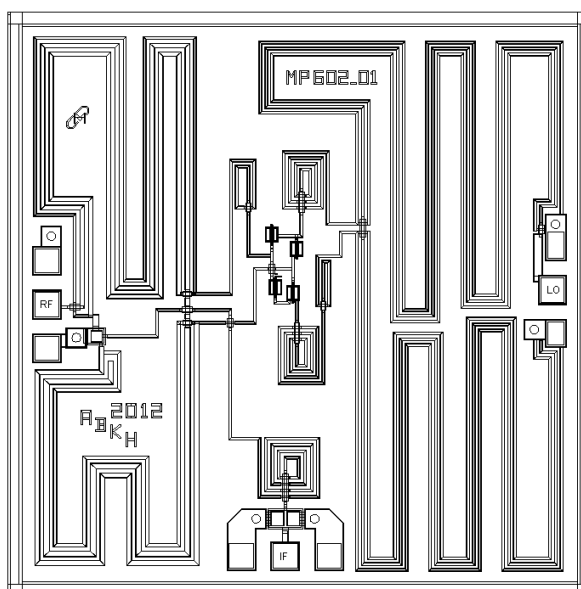


Рис. 3.

Отличительной особенностью данной МИС в сравнении с MP601 является более узкий диапазон рабочих частот. Благодаря такому решению удалось реализовать меньшие потери преобразования, а также существенно снизить номинальную мощность гетеродина. В настоящее время экспериментальные пластины находятся на этапе изготовления на технологической линии ЗАО «НПФ Микран». В табл. 5 представлены основные расчетные характеристики МИС в сравнении с зарубежным аналогом НМС219 компании Hittite.

Таблица 5

Наименование параметра, единицы измерения	Значение	
	MP602	HMC219
Диапазон частот радиосигнала RF, ГГц	4.5-9	4.5-9
Диапазон частот сигнала промежуточной частоты IF, ГГц	0-2.5	0-2.5
Потери преобразования, дБ, не более	10.5	10
Развязка трактов RF и LO, дБ, не менее	28	17
Развязка трактов LO и IF, дБ, не менее	38	17
Мощность P1dB по входу, дБм, не менее	10	10
Номинальная мощность гетеродина, дБм	13	13

В результате были разработаны и изготовлены МИС сверхширокополосного двойного балансного смесителя и трех удвоителей частоты на основе 0.25 мкм GaAs рНЕМТ технологии с параметрами на уровне современных аналогов. Данные микросхемы используются в различной аппаратуре диапазона СВЧ, производимой НПФ «Микран» и могут быть предложены стороннему заказчику.

Текущий уровень технологических возможностей, а также отработанная методология проектирования позволяют перейти к разработке более высокочастотных схем, а также более сложных по функциональному уровню МИС конвертеров, содержащих на одном кристалле смеситель, умножители частоты, усилители компенсации потерь и, возможно, частотно-селективные схемы.

#### Библиографический список

1. Арыков В.С. Монолитные интегральные схемы пассивных удвоителей частоты S- и C-диапазонов на основе GaAs рНЕМТ-технологии / В.С. Арыков, А.А. Баров, А.В. Кондратенко и др. // Электронные средства и системы управления: Материалы докладов Международной научно-практической конференции (10–11 ноября 2011 г.). – Томск: В-Спектр, 2011 – С. 49-53.
2. Сайт компании Hittite [Электронный ресурс]. Режим доступа свободный: <http://www.hittite.com/>, (дата обращения: 16.03.2012).
3. Хохол Д.С. GaAs МИС широкополосного двойного балансного смесителя / Д.С. Хохол, Е.В. Дмитриченко, А.А. Баров и др. // Научная сессия ТУСУР-2011: Сборник трудов Всероссийской научно-технической конференции. – Томск: В-Спектр, 2011. – Ч. 2. – С. 256–259.