

Разработка МИС смесителя миллиметрового диапазона

В работе описываются ход и результаты разработки смесителя с субгармонической накачкой КВЧ диапазона в интегральном исполнении. Приводятся принципиальная схема и топология МИС. Проводится сравнение результатов компьютерного проектирования и экспериментального подтверждения, а также сравнение с современными зарубежными аналогами.

Ключевые слова: крайне высокие частоты, монолитная интегральная схема, резистивный смеситель с накачкой на половинной частоте, моделирование, экспериментальное исследование.

Одним из наиболее перспективных вариантов построения транзисторного смесителя в диапазоне крайне высоких частот (КВЧ) на базе монолитной интегральной схемы (МИС) считается так называемый класс резистивных смесителей с субгармонической накачкой (sub-harmonic pumped mixer) (СГН) [1]. Из этого класса в настоящее время освоен только наиболее простой вариант: смеситель с накачкой на двукратной частоте гетеродина, в котором для смешения частот используется опорный сигнал, частота которого соответствует удвоенной частоте сигнала внешнего гетеродина. Удвоение частоты реализуется в схеме с двумя активными элементами за счет противофазной подачи опорного сигнала [2]. Чтобы различить с широко используемым в СВЧ технике смесителем на гармониках сигнала гетеродина, данный вариант получил название смеситель с накачкой на половинной частоте (НПЧ).

Общие достоинства резистивных смесителей на основе арсенид-галлиевых гетероструктурных полевых транзисторов (ГПТ) состоят в лучшей линейности по сравнению со смесителями на основе диодов с барьером Шоттки, практически нулевом токе потребления, отсутствии дробовых шумов (т.е. коэффициент шума смесителя равен его потерям преобразования), увеличении развязки входов и выходов по сравнению с активным вариантом [1]. Кроме того, применение резистивного смесителя миллиметрового диапазона на основе НПЧ позволяет использовать гетеродин с лучшими технико-экономическими показателями (большей мощностью, меньшими шумами), а также обеспечить более высокие параметры по развязке гетеродинного и сигнального входов и гетеродинного входа и выхода промежуточной частоты.

Несмотря на очевидные преимущества МИС смесителей с НПЧ примеры их разработки до сих пор отсутствуют в отечественной электронной промышленности, хотя они уже освоены рядом известных мировых производителей СВЧ компонентов: Agilent Technologies, Hittite Microwave Corporation, United Monolithic Semiconductors (UMS), TLC Precision Wafer Technology (TLC), Northrop Grumman/Velocium, Mimix Broadband. Тем не менее, наш анализ показал, что в подавляющем большинстве МИС применена самая простая схема с использованием ГПТ в диодном включении, что увеличивает потери преобразования, уменьшает порог линейности и ухудшает уровень развязки между портами смесителя по сравнению с полноценным транзисторным включением. Таким образом, исследование и разработка более совершенных схем

построения МИС смесителя данного типа, упрощающего продвижение радиоаппаратуры отечественного производства в миллиметровый и терагерцевый диапазоны, представляется актуальной задачей.

Целью настоящей работы является разработка принципиальной схемы и топологии МИС смесителя с НПЧ миллиметрового диапазона волн и проведение испытаний изготовленных фирмой UMS, Франция образцов МИС.

Для реализации резистивного смесителя с НПЧ при помощи СВЧ САПР AWRDE была разработана принципиальная схема и топология МИС с активными элементами в транзисторном включении. Разработка проводилась с использованием библиотеки моделей компании UMS. Модели данной библиотеки позволяют параллельно проектировать с помощью данной САПР как принципиальную схему, так и топологию, причем с учетом взаимного электромагнитного влияния элементов схемы, что важно для МИС КВЧ диапазона. На рис. 1 приведена принципиальная схема разработанного смесителя. Её важная особенность заключается в реализации противофазного делителя сигнала гетеродина с помощью цепей с сосредоточенными параметрами, что уменьшает требуемую площадь кристалла МИС.

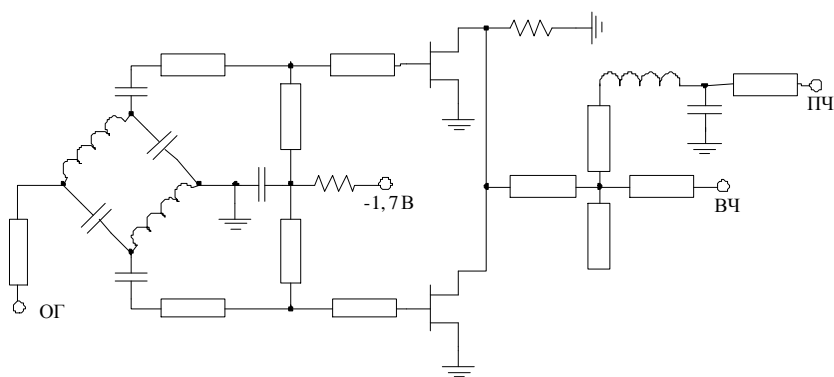


Рис. 1.

На рис. 2 приведена соответствующая принципиальной схеме рис. 1 топология МИС разработанного смесителя. На рисунках обозначены: вход высокой частоты (ВЧ, RF), вход гетеродина (ОГ, LO) и выход промежуточной частоты (ПЧ, IF). Проектирование проводилось для МИС на подложке из арсенида галлия толщиной 100 мкм, габаритные размеры МИС – 1,4x2,4 мм. Для обеспечения надежного соединения со слоем экрана на обратной стороне микросхемы в соответствующих точках МИС сформированы переходные металлизированные отверстия диаметром 80 мкм, размеры вводных площадок 100x100 мкм. В расчетах использовалась частота входного сигнала 38 ГГц, частота сигнала опорного генератора 18 ГГц, соответственно частота сигнала 2 ГГц. Для повышения линейности смесителя применен ГПТ с четырехсекционным затвором длиной 0,25 мкм и шириной каждой секции 75 мкм.

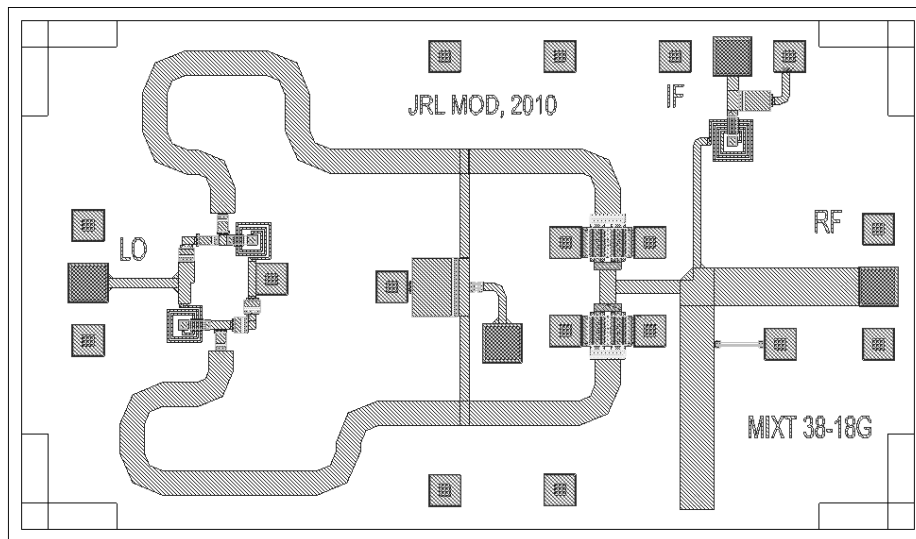


Рис. 2.

Примеры основных результатов компьютерного анализа характеристик смесителя по схеме рис. 1 представлены на рис. 3 и 4. В частности, результаты расчета частотной характеристики эффективности преобразования в нелинейной схеме смесителя при мощности гетеродина 17 дБм и мощности сигнала -30 дБм приведены на рис. 3, а амплитудной характеристики эффективности преобразования на средней частоте полосы частот сигнала - на рис. 4.

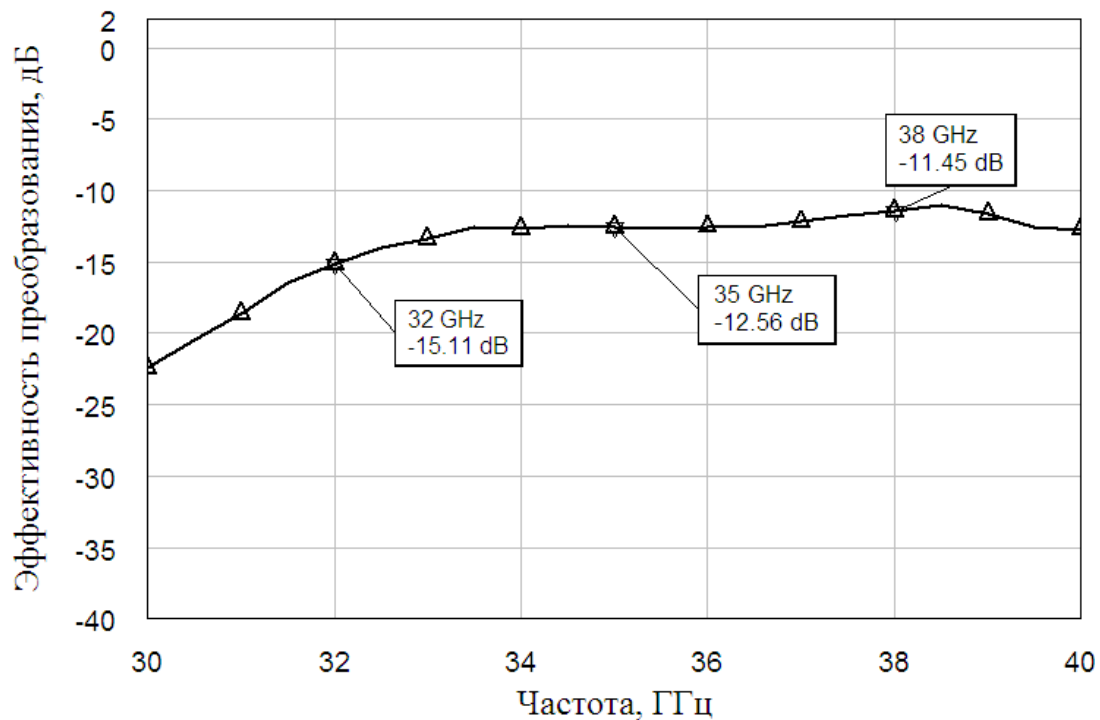


Рис. 3.

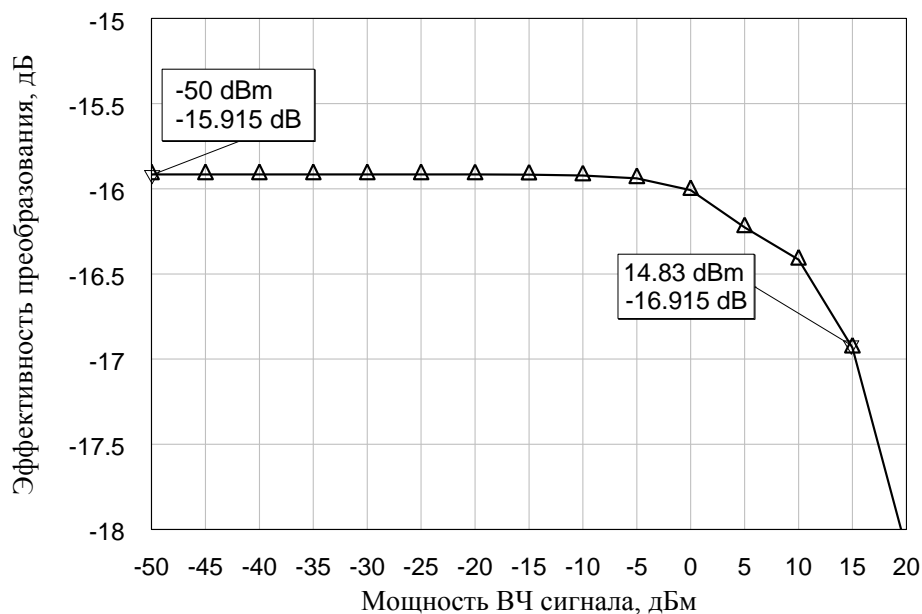


Рис. 4.

Для экспериментального подтверждения результатов расчетов параметров и характеристик МИС смесителя была изготовлена партия образцов резистивного смесителя с НПЧ КВЧ диапазона с топологией, показанной на рис. 2. В качестве активного элемента использовался ГПТ типа рНЕМТ, основные параметры которого приведены в табл. 1.

Таблица 1

Длина затвора	Ширина затвора	Удельная мощность	Максимальный ток стока	Предельная частота	Макс. удельная крутизна
0,25 мкм	4x75 мкм	250 мВт/мм	500 мА/мм	90 ГГц	560 мСм/мм

В ходе экспериментальных исследований испытываемая МИС устанавливалась в измерительную камеру, в которой для корректного подведения КВЧ сигналов микрополосковые линии с волновым сопротивлением 50 Ом были сформированы на подложке типа «Поликор» толщиной 0,25 мм. Общий вид измерительной камеры с установленной МИС представлен на рис. 5.

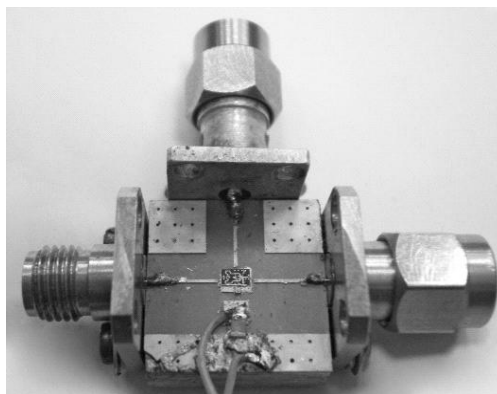


Рис. 5.

В ходе моделирования и экспериментального исследования были получены данные об оптимальном режиме работы разработанного смесителя и измерены основные параметры МИС, такие как эффективность преобразования, линейность, уровень интермодуляционных искажений, зависимость от мощности гетеродина, КСВН по входам и выходу. Сравнение результатов проектирования и экспериментального исследования приведено в табл. 2.

Таблица 2

	Частота, ГГц			$U_{см}, В$	$P_{гет}, дБм$	Потери преобразования, дБ	$P_{вх лин} (-1дБ), дБм$	ИМИЗ, дБ	ИМИ5, дБ
	ВЧ	ОГ	ПЧ						
Теория	38	18	2	-1,7	17	-11,45	14,8	42,5	50,7
Эксперимент	36,5	17	1,5	-1,4	10	-11,4	13,7	-	-
	КСВН			Ослабление сигнала, дБ					
	ВЧ вход	Гет. вход	ПЧ выход	$L_{пч-гет}$	$L_{пч-2гет}$	$L_{пч-вч}$	$L_{вч-гет}$	$L_{вч-2гет}$	
Теория	2,2	2,6	1,8	73,6	58,9	33,6	36,9	26,0	
Эксперимент	1,25	2,2	1,9	32,9	40,6	23,8	41,4	31,3	

В табл. 3 приведено сравнение разработанного смесителя и наиболее близких зарубежных аналогов.

Таблица 3

№	Модель	Особенности	Диапазон ВЧ, ГГц	Диапазон ПЧ, ГГц	Потери, дБ	Мощность гет., дБм		
1	Данная работа	Р, НБ, НЕМТ	19,5...38	1...3	11,4...18	10...15		
2	Hittite /НМС-266	Р, Б, НЕМТ	20...40	1...3	12-16	12		
3	Hittite /НМС-339	Р, НБ, НЕМТ, У	33...42	0...3	10...13	2		
№	Модель	Развязка, дБ			Ослабление зерк. канала, дБ	$P_{вх лин} (-1 дБ), дБм$	Габариты МИС, мм	Ток потребления, мА
		$L_{Г-с}$	$L_{2Г-с}$	$L_{Г-пч}$				
1	Данная работа	32,9	41,4	31,3	9	13,7	1,4x2,4	0
2	Hittite /НМС-266	24	50	55	-	4	1,34x1,5	0
3	Hittite /НМС-339	5	35	5	-	0	1,32x0,81	28

Р – резистивный, Б – балансный, НБ – небалансный, У – встроенный усилитель сигнала гетеродина

Таким образом, можно сделать выводы о близком совпадении данных проектирования и экспериментального исследования, а также что разработанный смеситель КВЧ диапазона имеет существенно более высокую линейность по сравнению с зарубежными аналогами, а его остальные параметры соответствуют современному мировому уровню.

Библиографический список

1. Maas S.A. Nonlinear Microwave and RF Circuits. – Artech House, 2003. – 582 pp.
2. М. Е. Белкин, Л. М. Белкин. Особенности построения резистивных смесителей диапазона крайне высоких частот. Электронная техника. Сер 2. Полупроводниковые приборы, 2010, вып. 1(224), с. 98-104.