

# ПОСТРОЕНИЕ ПРИЕМНОГО ТРАКТА НА БАЗЕ МИКРОСХЕМЫ TE-RX1000

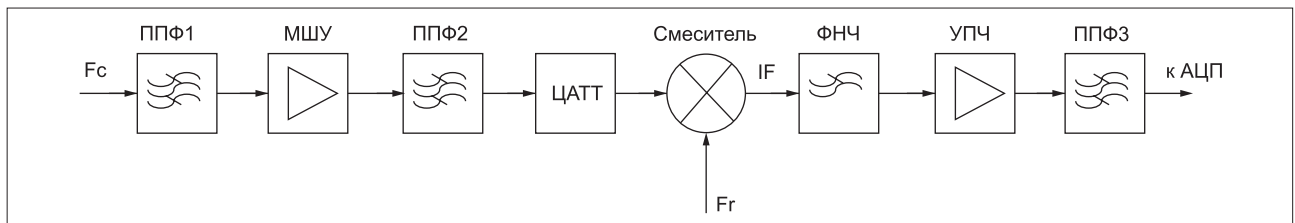
В статье рассматривается построение приемных трактов на современных однокристалльных системах, рассчитываются их характеристики, приведено сравнение по основным параметрам.

## ВВЕДЕНИЕ

Одним из вариантов построения приемников является схема супергетеродинного приемника (рис. 1). Основными функциональными узлами (ФУ) тракта приемного устройства являются: малошумящий усилитель (МШУ), полосно-пропускающий фильтр (ППФ), смеситель, усилитель гетеродина, усилитель промежуточной частоты (УПЧ), цифровой аттенуатор (ЦАТТ). В настоящее время для построения приемных и передающих трактов широко используют системы на кристалле (СнК). Такая микросхема может содержать несколько функциональных узлов, таких как смесители, аттенуаторы, усилители. Стоит отметить, что к СнК относятся

В последнее время устройства все чаще реализуют в виде МИС на базе SiGe БикМОП-технологий, которые имеют значительные преимущества при реализации устройств цифрового управления амплитудой и фазой СВЧ-сигнала в приемопередающих модулях (ППМ) (аттенуаторы, фазовращатели, переключатели), так как позволяют одновременно реализовать как функциональные элементы СВЧ, так и цифровые драйверы для управления ими.

Одним из примеров подобной реализации зарубежных СнК является микросхема HMC1090LP3 от Analog Devices. Ее структурная схема представлена на рис. 2. Она содержит в себе смеситель, усилитель гетеродина, УПЧ, также

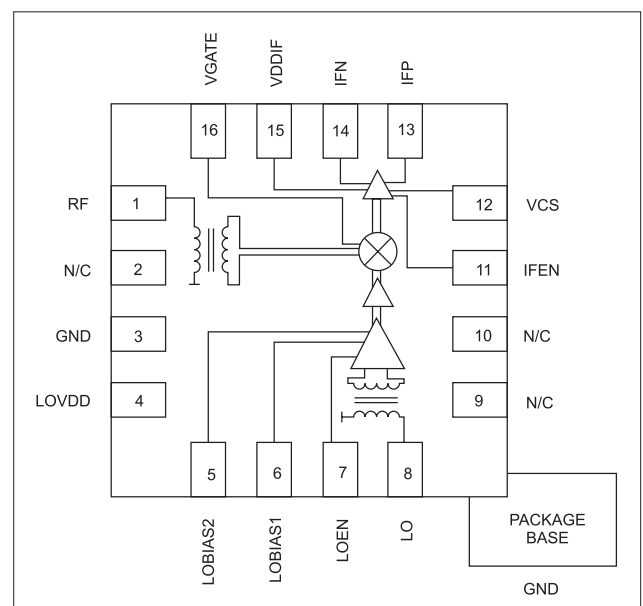


▲ Рис. 1. Структурная схема приемного устройства

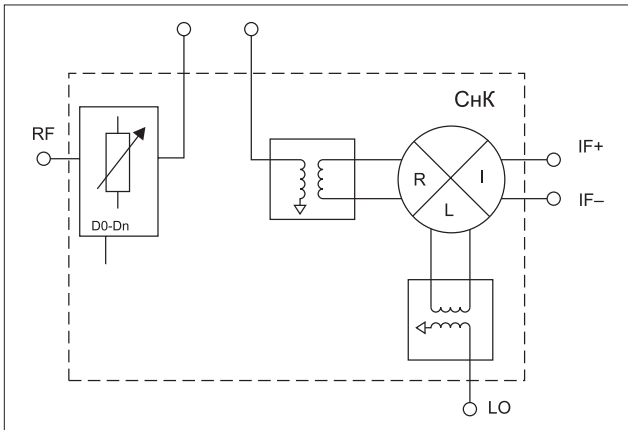
любые монокристалльные интегральные схемы (МИС), имеющие в своем составе более одного из перечисленных ФУ, т. е. под определение понятия СнК попадает как целый приемопередатчик, так и, к примеру, комбинация МШУ–смеситель, реализованные на одном кристалле. Для построения связных приемников S-, C-диапазона существует не так много широкополосных микросхем, содержащих в себе несколько ФУ, таких как смесители, аттенуаторы, усилители. Исключение составляют микросхемы для построения приемных устройств стандартов связи LTE, WiMax и др. Они работают в фиксированном диапазоне частот и не подходят для построения приемных устройств на других частотах.

В настоящее время в мире для построения СВЧ многофункциональных монокристалльных МИС используются следующие технологии:

1. На основе GaAs и InP гетероструктурных транзисторов с высокой подвижностью электронов (англ. HEMT), а также гетеробиполярных транзисторов (англ. HBT).
2. На базе GaN HEMT.
3. SiGe BiCMOS, объединяющая биполярные и полевые CMOS-транзисторы.



▲ Рис. 2. Структурная схема микросхемы HMC1090LP3



▲ Рис. 3. Структурная схема TE-RX1000

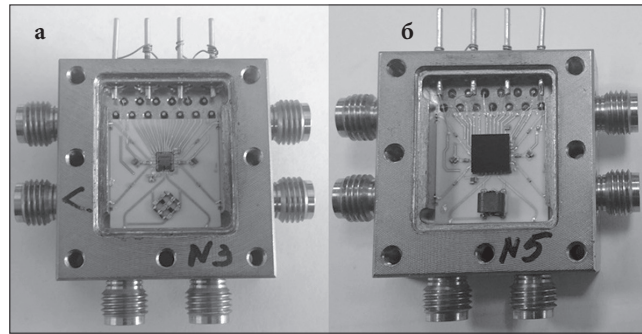
трансформаторы по гетеродину и радиочастотному входу. Из структурной схемы видно, что данная микросхема не содержит ЦАТТ, который может использоваться для автоматической регулировки усиления (АРУ) и расширения динамического диапазона приемника. Краткие характеристики микросхемы HMC1090LP3:

- диапазон рабочих частот 0,7–3,5 ГГц;
- диапазон промежуточных частот 50–700 МГц;
- коэффициент передачи не менее 8–10 дБ;
- мощность по сжатию на 1 дБ по входу +8...+13 дБм;
- коэффициент шума 10 дБ;
- точка пересечения интермодуляции 3-го порядка по входу +25 дБм;
- мощность сигнала гетеродина –3...+3 дБм;
- потребляемая мощность 1,5 Вт.

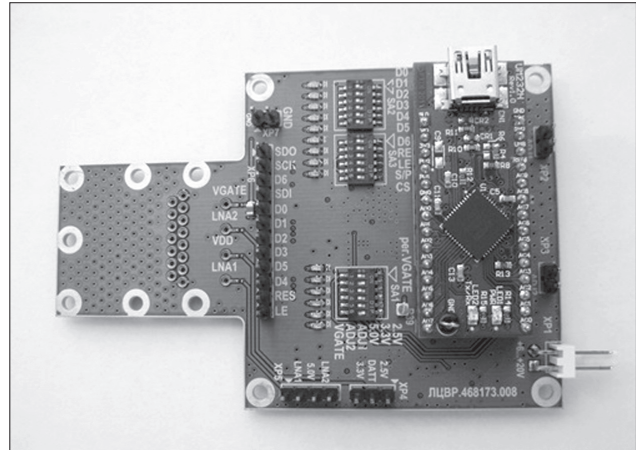
Одним из примеров отечественной СнК является микросхема TE-RX1000 ООО «ЛЭМЗ-Т». На рис. 3 представлена ее структурная схема. Микросхема выполнена по SiGe БиКМОП-технологии. Она состоит из ЦАТТ и смесителя, а также симметрирующих трансформаторов по гетеродину (LO) и радиочастотному входу (RF). Трансформаторы выполнены в интегральном виде на кристалле. Выход ПЧ — дифференциальный. Данный вариант построения СнК является наиболее универсальным, поскольку позволяет построить как полностью дифференциальный тракт ПЧ, так и гибридный. Отдельно выведен выход ЦАТТ и вход смесителя, это сделано для более гибкого построения тракта: в данный разрыв можно подключить внешний усилитель либо фильтр для обеспечения необходимой избирательности. Характеристики микросхемы TE-RX1000:

- диапазон рабочих частот 1–4,5 ГГц;
- диапазон промежуточных частот 50–500 МГц;
- коэффициент передачи всей схемы (при полностью открытом аттенюаторе) не менее –15 дБ;
- коэффициент передачи полностью открытого ЦАТТ (при  $f = 3$  ГГц) –4,5 дБ;
- коэффициент преобразования смесителя –10 дБ;
- мощность по сжатию на 1 дБ по входу +12 дБм;
- глубина регулировки коэффициента передачи не менее 30 дБ;
- шаг регулировки коэффициента передачи не более 1 дБ;
- точка пересечения интермодуляции 3-го порядка по входу +25 дБм;
- мощность сигнала гетеродина +16 дБм;
- коэффициент шума 15 дБ;
- потребляемая мощность 0,1 Вт.

Внешний вид микросхемы TE-RX1000 в составе модуля СВЧ для измерений ее параметров представлен на рис. 4. Питание данного СВЧ-модуля осуществляется с платы питания и управления (рис. 5).



▲ Рис. 4. Корпус модуля СВЧ для СнК: а) исполнение с чип-компонентом; б) исполнение в корпусе QFN32



▲ Рис. 5. Плата управления и питания модуля СВЧ

### ПОСТРОЕНИЕ ПРИЕМНОГО ТРАКТА

Зададимся частотным диапазоном приемника. Рассчитаем приемный тракт на двух СнК и сравним их по коэффициенту передачи, коэффициенту шума, однодецибелльной компрессии, при одинаковых МШУ. В качестве программы для расчетов воспользуемся ADISimRF. МШУ, ППФ и ФНЧ абстрактные, но с реально достижимыми характеристиками, предлагаемыми мировыми производителями. Их характеристики представлены в табл. 1. Используется структурная схема приемника, показанная на рис. 1.

Таблица 1. Характеристики узлов приемника (ток задан при напряжении 5 В)

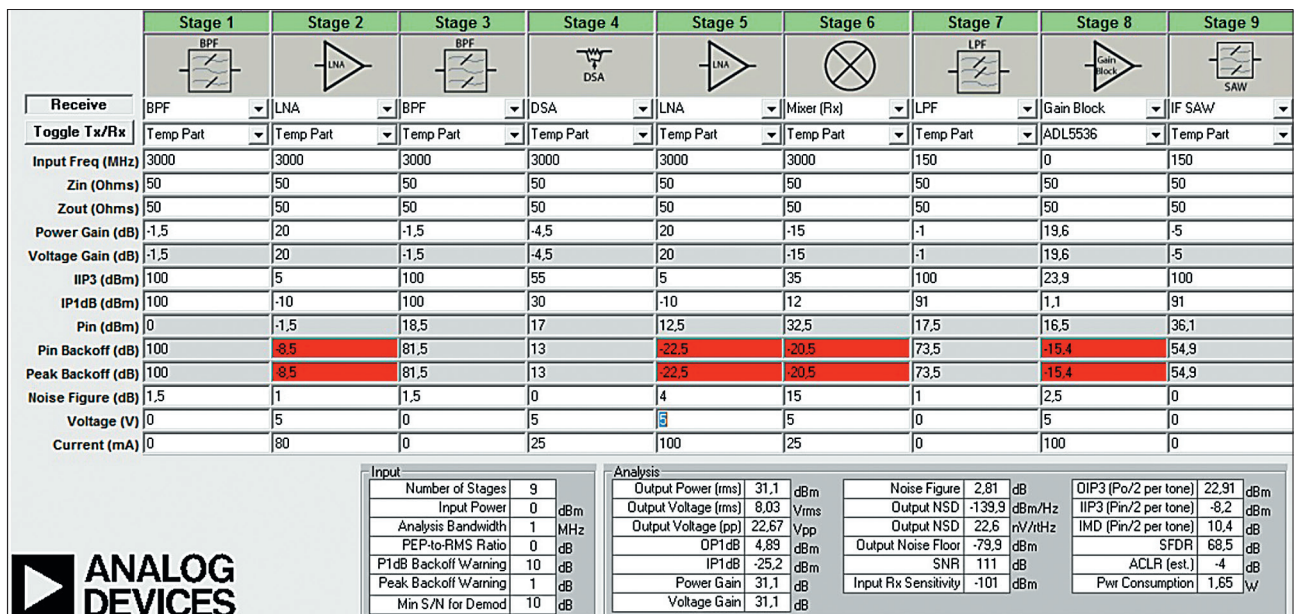
Компонент	Кр, дБ	NF, дБ	IP1, дБм	IP3, дБм	I, мА
ППФ1	-1,5	1,5	-	-	-
МШУ	20	1	-10	+5	80
ППФ2	-1,5	1,5	-	-	-
HMC624ALP4E	-1,5	1,5	+33	+55	4
HMC1090LP3	7	11	+13	+25	200
TERX-1000	-15	15	+12	+23	20
ФНЧ	-1	1	-	-	-
ADL5536	20	3	0	+25	105

Таблица 2. Результаты расчетов приемных трактов

Параметр	Приемник 1 (рис. 6а)	Приемник 2 (рис. 6б)	Приемник 3 (рис. 7)
Кр, дБ	37,2	15,6	31,1
NF, дБ	3,12	5,02	2,81
IP3, дБм	+1,9	+6,3	-8
IP1, дБм	-22,6	-8	-25,2
P, Вт	2,38	0,92	1,65



▲ Рис. 6. Расчет бюджета для двух вариантов приемного тракта: а) приемный тракт на базе микросхемы HMC1090LP3; б) приемный тракт на базе микросхемы TE-RX1000



▲ Рис. 7. Модифицированная схема приемного тракта на базе микросхемы TE-RX1000

В качестве ЦАТТ в тракте с НМС1090 будем использовать микросхему НМС624ALP4Е, ее характеристики также приведены в табл. 1.

Исходные данные для расчета приемного тракта:

- диапазон рабочих частот 3–3,1 ГГц;
- промежуточная частота 150 МГц;
- выходная мощность (по сжатию на 1 дБ) +15 дБм;
- глубина регулировки коэффициента передачи не менее 30 дБ;
- шаг регулировки коэффициента передачи не более 1 дБ.

На рис. 6 представлено сравнение результатов расчета приемных трактов, построенных на базе микросхем НМС1090LP3 и ТЕ-RX1000.

По результатам расчетов видно, что схема на базе ТЕ-RX1000 уступает на 2 дБ по коэффициенту шума и на 21,6 дБ по коэффициенту передачи в сравнении со схемой на НМС1090LP3. Это связано с тем, что микросхема от Analog Devices имеет больший коэффициент передачи. Стоит заметить, что коэффициент шума 5 дБ достаточен для большинства современных приемников. При этом потребление микросхемы ООО

«ЛЭМЗ-Т» меньше на 1,5 Вт. Кроме того, динамические характеристики приемного тракта, построенного на базе микросхемы ТЕ-RX1000, выше на 14 дБ.

Чтобы улучшить параметры схемы по коэффициенту шума и коэффициенту передачи, в схему на базе ТЕ-RX1000 добавим усилитель между смесителем и ЦАТТ. Результаты расчета данного тракта с дополнительным усилением показаны на рис. 7. Для удобства сравнения полученных результатов все данные расчетов сведены в табл. 2.

### ВЫВОДЫ

Из приведенных данных можно сделать следующие выводы:

1. Микросхема ТЕ-RX1000 подходит для построения приемных трактов. Ее характеристики находятся на уровне зарубежных аналогов.
2. Микросхема содержит ЦАТТ и смеситель, что позволяет гибко строить тракт приемника. На базе данной СнК возможно построение высокодинамичных трактов.
3. Потребление приемного тракта на базе этой микросхемы меньше на 0,7 Вт при похожих харак-

теристиках. Это немаловажно при построении многоканальных систем.

4. Возможно продолжение развития добавления УПЧ после смесителя. Для сохранения динамического диапазона и улучшения коэффициента шума всей системы необходимо добавить усилитель с коэффициентом передачи не более 15 дБ.
5. В настоящий момент ведется разработка следующей итерации микросхемы ТЕ-RX1000. В данной разработке будут учтены все улучшения, необходимые для построения на ее основе современных приемных конвертеров с конкурентоспособными параметрами. ➔

### ЛИТЕРАТУРА

1. [www.analog.com](http://www.analog.com)
2. Schaub K.B., Kelly J. *Production Testing of RF and System-on-a-Chip Devices for Wireless Communications* // Artech House. 2003.
3. Wang X., Dengi A., Kiaei S. *A high IIP3 X-band BiCMOS mixer for radar applications* // Proc. of Int. Symp. on Circuits and Systems. 2004. V.1.