

СВЧ-микросхемы для бортовой аппаратуры ДЗЗ и систем космической СВЯЗИ

Часть 2

Е. Старовойтов, к. т. н.¹, Е. Скиба², Л. Недашковский³

УДК 621.38 | ВАК 2.2.2

В первой части статьи были рассмотрены принципы работы квадратурных модуляторов и синтезаторов частоты, применяемых в бортовой аппаратуре СВЧ-диапазона космического назначения – системах космической связи и радиолокаторах на базе АФАР. Во второй части представлены описание и характеристики микросхем этих типов, разработанных в АО «НИИМА «Прогресс».

РАЗРАБОТКИ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Широкое использование интегральных схем СВЧ-диапазона в бортовой РЭА космического назначения повышает актуальность их разработки и производства отечественными предприятиями.

Так, холдинг «Российские космические системы» (РКС, входит в Госкорпорацию «Роскосмос») разработал серию КМ для автоматических КА различного назначения. Новая ЭКБ унифицирована, имеет размеры не более 5 × 4 мм и может быть использована в малых КА. Основное назначение – применение в радиоприемниках для передачи информации от КА наземным и космическим объектам [10].

К настоящему времени в электронной промышленности SiGe-технология наряду с GaAs- и GaN-технологиями является одной из основных в производстве ЭКБ для СВЧ-диапазона. Значительная часть предприятий, выпускающих интегральные схемы по GaAs-технологии, также используют SiGe-технологии.

АО «НИИМА «Прогресс» первым в России начал заниматься SiGe-технологией, позволяющей создавать интегральные схемы с более высокой степенью интеграции, чем монолитные интегральные схемы на основе GaAs и на сегодняшний день предлагает решения для радиотрактов в диапазоне частот от 100 МГц

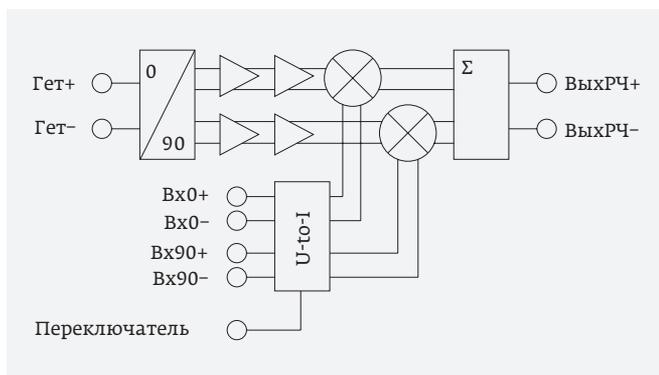


Рис. 4. Структурная схема квадратурного модулятора 1327MA015

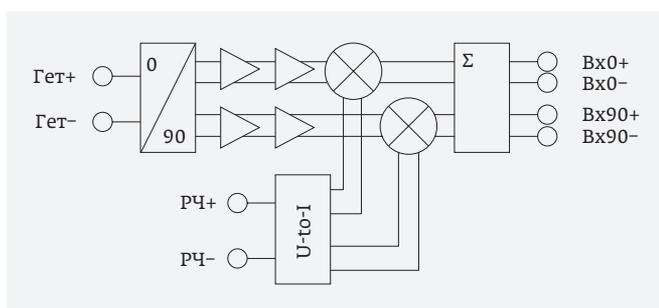


Рис. 5. Структурная схема квадратурного демодулятора 1327MB015

до 6 ГГц. Несмотря на то, что в сравнении с КМОП-технологией стоимость изготовленных по SiGe-технологии интегральных схем больше, они обеспечивают лучшие шумовые и частотные характеристики. В результате 180-нм

¹ АО «НИИМА «Прогресс», заместитель начальника отдела разработки смешанных СВЧ-модулей.

² АО «НИИМА «Прогресс», начальник отдела главного конструктора.

³ АО «НИИМА «Прогресс», ведущий инженер; НИУ МИЭТ, ассистент.

SiGe-технология позволяет изготавливать интегральные схемы с характеристиками, соответствующими 90-нм КМОП-процессу [11].

По технологии 180 нм SiGe БикМОП разработаны монолитные интегральные схемы СВЧ-диапазона для ППМ АФАР, аппаратуры связи и навигации. Также созданы КМ и КДМ, синтезаторы частоты, другие типы интегральных схем. Изготовление на этой же основе аттенюаторов и фазовращателей для АФАР представляет собой сложность, поэтому здесь остается предпочтительной ЭКБ на основе GaAs-технологии [12].

КМ 1327MA015 и КДМ 1327MB015 максимально используют преимущества SiGe-технологии в части идентичности параметров компонентов при обработке I- и Q-сигналов. Эти интегральные схемы являются основой приемопередающих СВЧ-радиотрактов в диапазоне частот 100...6000 МГц.

Разработанная структура КМ (рис. 4) представляет собой универсальное устройство, с помощью которого сигнал опорного генератора модулируется ортогональной парой дифференциальных входных информационных сигналов.

Интегральная схема 1327MA015 обеспечивает:

- возможность однополярного включения гетеродина;
- переключаемые коэффициенты преобразования;
- меньшую по сравнению с аналогами потребляемую мощность.

Интегральная схема КДМ 1327MB015 (рис. 5) обеспечивает:

- возможность однополярного включения гетеродина;
- высокую линейность;
- меньшую по сравнению с аналогами потребляемую мощность.

Интегральные схемы 1327MA015 и 1327MB015 произведены по 250-нм SiGe-технологии, собраны в металлокерамических корпусах, их основные характеристики указаны в табл. 1.

Синтезатор частот прямого преобразования 1367MH015 (рис. 6) имеет диапазон рабочих частот 10...1200 МГц. Он предназначен для получения стабильного высокочастотного сигнала диапазона 600 МГц со сверхнизким шагом перестройки частоты, низким

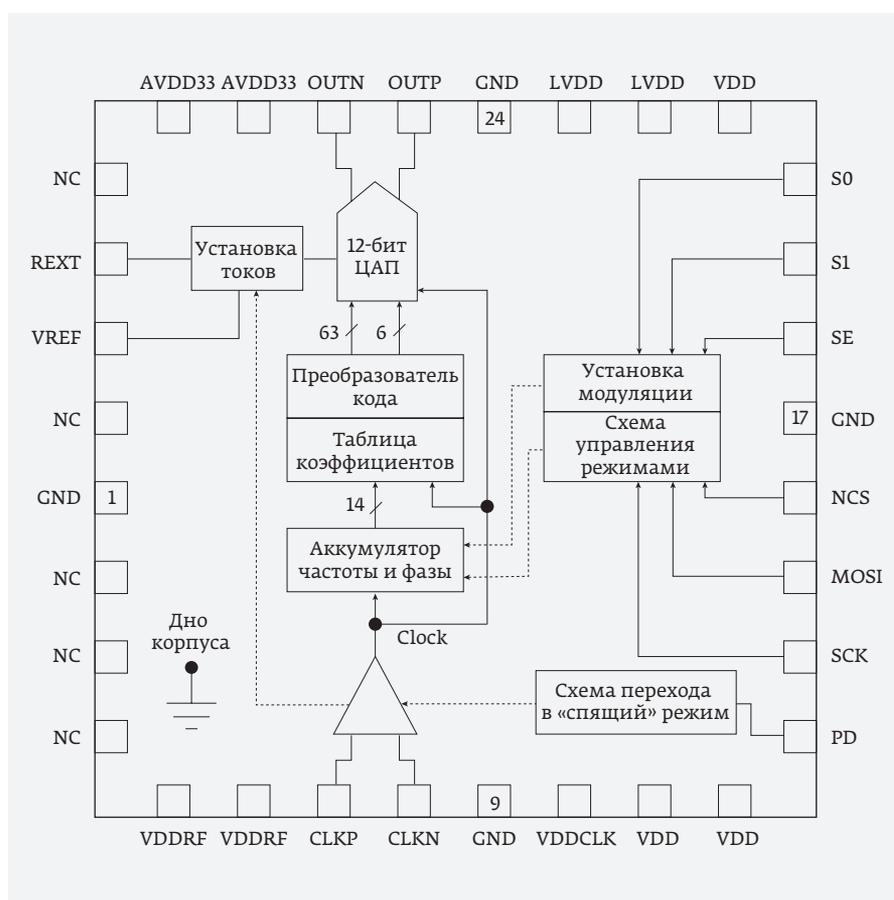


Рис. 6. Структурная схема синтезатора частот 1367MH015

уровнем фазовых шумов и быстрой перестройкой частот, а также возможностью осуществления частотной, фазовой и ЛЧМ-модуляции. Используется архитектура синтеза на основе DDS. Схема содержит входной буфер, аккумулятор частоты и фазы, таблицы коэффициентов преобразования и 12-разрядный ЦАП.

Монолитная интегральная схема 1367MH015 произведена по 180-нм SiGe-технологии, собрана в металлокерамическом корпусе, при этом примененные в ходе разработки схемотехнические решения позволяют в будущем изготовить этот синтезатор частот с использованием обычной КМОП-технологии [13]. Основные характеристики 1367MH015 указаны в табл. 2.

В настоящее время АО «НИИМА «Прогресс» разрабатывает перспективные СВЧ-микросхемы для L-, S-, C-, X- и Ku-диапазонов (0,1...14 ГГц), в том числе синтезаторы частоты, делители частоты и др.

Широкое использование СВЧ-диапазона в бортовой РЭА различных КА делает актуальным создание и производство соответствующей ЭКБ. Перед промышленностью

Таблица 1. Основные характеристики интегральных схем 1327MA015 и 1327MB015

Параметр	Значение	
	1327MA015	1327MB015
Диапазон рабочих частот (-3 дБ), ГГц	0,1...6,0	0,1...6,0
Уровень сигнала гетеродина, дБм	-7...+5	-7...+5
Полоса входных частот (-3 дБ), МГц	0...800	0...1000
P1dB по выходу, дБм	+4	—
P1dB по входу, дБм	—	+4
Коэффициент преобразования, дБ	—	5
КСВ	≤ 2	≤ 2
Коэффициент шума, дБ	20	17
Напряжение питания, В	5	5
Температурный диапазон, °С	-60... 85	-60... 85
Ток потребления, мА	160	145

Таблица 2. Основные параметры интегральной схемы 1367MH015

Параметр	Значение
Аналоговое напряжение питания, В	3,0...3,6
Цифровое напряжение питания, В	1,71...1,89
Максимальная опорная частота, МГц	1200
Разрядность установки частоты, бит	36
Разрядность установки фазы, бит	14
Температурный диапазон, °С	-60... 85
Ток потребления, мА	
• при $U_{avda} = 1,8$ В	400
• при $U_{avda} = 3,3$ В	35
Максимальная частота выходного сигнала, МГц	600
Входной ток ЦАП, мА	5...25
Интегральная линейность ЦАП, МЗР	≤ 2
Дифференциальная нелинейность ЦАП, МЗР	≤ 1
Собственный уровень фазовых шумов синтезатора на отстройке 1 кГц, дБн/Гц	≤ -120
Динамический диапазон, свободный от помех ($f_{clk} = 1$ ГГц), дБ	
• в широкой полосе (DC - Nyquist)	60
• в узкой полосе (± 1 МГц)	74
Размер кристалла, мм ²	1,8×2,1

стоит задача обеспечения ракетно-космической отрасли комплектующими, которые выпускаются на территории России для исключения зависимости от иностранных поставщиков и разработчиков.

К настоящему времени выделенные для космической связи полосы частот в L- и S-диапазонах (1,0...4,0 ГГц) полностью заняты, также практически полностью заполнены Ku-, K-, Ka-диапазоны (12,0...40,0 ГГц). Таким образом, возникает необходимость производства ЭКБ для Q-, V-, W-диапазонов частот (30,0...100,0 ГГц), удовлетворяющей всем требованиям для бортовой РЭА [14].

В то же время развертывание спутниковых группировок типа «Сфера», «Рассвет-1», аналогичных системе Starlink на низкой околоземной орбите (техн. жарг. – «низколетов»), в которых используется большое количество КА с коротким сроком активного существования (до 5...8 лет), потребует массового выпуска необходимой ЭКБ, часть требований к которой (в части ресурса и стойкости к внешним воздействующим факторам) может быть снижена.

У отечественных производителей имеются соответствующий опыт и необходимый задел для разработки собственной ЭКБ СВЧ-диапазона космического назначения, предназначенной для аппаратуры связи и радиолокации. Это позволяет создать собственные, национальные, глобальные информационные системы, системы экологического мониторинга, ликвидации чрезвычайных ситуаций и т.д.

ЛИТЕРАТУРА

- Алыбин В.Г., Алыбин А.В.** Миниатюризация СВЧ-устройств бортовой аппаратуры космического применения // СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии. 2020. Вып. 1, ч. 2. С. 19–20.
- Белов Л., Голубков А., Кондрашов А., Карутин А.** Модуляторы сигналов сверхвысоких частот. Основные классы // ЭЛЕКТРОНИКА: Наука, Технология, Бизнес. 2008. № 3. С. 76–83.
- Фатеева А.С.** Способы построения аппаратуры широкополосной радиосвязи с применением современных электронных компонентов // Оригинальные исследования (ОРИС). 2018. № 7. С. 100–112.
- Кронин Б.** Простое и эффективное формирование сигналов при помощи синтезаторов прямого цифрового синтеза частот // Беспроводные технологии. 2012. № 1. С. 59–64.
- Храмов К.К., В.В. Костров В.В.** Оценка предельных параметров РСА X-диапазона на базе малых космических аппаратов // Всероссийская открытая научная конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования, радиолокации, распространения и дифракции волн». Муром, 2023. С. 294–304. DOI: 10.24412/2304-0297-2023-1-294-304.
- Верба В.С., Неронский Л.Б., Осипов И.Г., Түрүк В.Э.** Радиолокационные системы землеобзора космического базирования / Под ред. В.С. Вербы. М.: Радиотехника, 2010. 680 с.
- Мацыкин С.В., Савилкин С.Б., Гурковский А.В.** Использование квадратурных модуляторов в передающем тракте активной фазированной антенной решетки X-диапазона // Программные продукты, системы и алгоритмы. 2018. № 2. С. 47–50. DOI: 10.15827/2311-6749.18.2.7.
- Воронков О.В., Гаврилов М.М., Кожин С.П., Куприянов З.П., Куприянов П.В., Силаев С.А., Терешкин Е.В.** Некоторые инженерные аспекты технологии квадратурных АФАР // Электронная техника. Сер. 1. СВЧ-техника. Вып. 3(554). 2022. С. 44–54.
- Добычина Е.М.** Цифровые антенные решетки радиоэлектронных бортовых систем. Дисс. док. техн. наук. М., 2018. 284 с.
- РКС разработали новое поколение микросхем для сверхбыстрой передачи спутниковых данных – Российские космические системы. URL: <https://russianspacesystems.ru/2022/11/09/rks-razrabotali-novoe-pokolenie-mikroskhem/?ysclid=ltplz5gjc9679199927>
- Шпак В., Корнеев И.** Хочешь чего-то добиться – желай невозможного // ЭЛЕКТРОНИКА: Наука, Технология, Бизнес. 2015. № 6. С. 10–20.
- Немудров В., Бычков М., Ионов Л., Малышев И., Мухин И., Репин В., Шабардин Р.** СВЧ кремний-германиевые монокристаллы интегральные схемы: преимущества и достижения // ЭЛЕКТРОНИКА: Наука, Технология, Бизнес. 2015. № 6. С. 92–97.
- Ионов Л.П., Мухин И.И., Кузнецов А.И., Свизев Г.А., Жебрун Е.А.** МИС синтезатора частот на основе прямого цифрового преобразования диапазона 1200 МГц // Твердотельная электроника. Сложные функциональные блоки РЭА. Материалы научно-технической конференции. М.: ОАО «НПП «Пульсар», 2014. С. 67–71.
- Краснов М.И., Стешенко В.Б.** Электронная компонентная база космического назначения // Ракетно-космическое приборостроение и информационные системы. 2021. Т. 8. Вып. 2. С. 88–101.

ООО
СМР



ИНТЕРНЕТ-МАГАЗИН

www.SMD.ru

электронные
**для поверхностного
 монтажа**

НОВОЕ В ПРОГРАММЕ ПОСТАВОК

- Керамические конденсаторы до 100 мкФ
- Синфазные дроссели на ток 10 А



Москва, Ленинградский пр., 80 к. 32; e-mail: sale@smd.ru
 Тел.: (499) 158-7396, (495) 940-6244, (499) 943-8780