



ГУДК 621.396.962.25

DOI: 10.22184/NanoRus.2019.12.89.476.479

БОРТОВОЕ РАДИОПЕРЕДАЮЩЕЕ УСТРОЙСТВО С ФАЗОВОЙ МАНИПУЛЯЦИЕЙ

AIRBORNE RADIO-TRANSMITTING DEVICE

БАБКОВСКИЙ АЛЕКСАНДР ПЕТРОВИЧ
babkovsky@niiis.nnov.ru

BABKOVSKY ALEXANDER P.
babkovsky@niiis.nnov.ru

БАРАНОВ АЛЕКСЕЙ ВЯЧЕСЛАВОВИЧ

BARANOV ALEXEY V.

ВАСИЛЬЕВ ВАЛЕРИЙ СЕРАФИМОВИЧ
К. т. н.

VASILIEV VALERIY S.
Ph.D

МОЧАНОВ АЛЕКСАНДР НИКОЛАЕВИЧ
Филиал ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ»
«НИИИС им. Ю. Е. Седакова»
603951, г. Нижний Новгород, ул. Тропинина, 47

MOCHANOV ALEXANDER N.
Branch of Federal State Unitary Enterprise "Russian Federal Nuclear Center — All-Russian Scientific Research Institute of Experimental Physics" "Measuring Systems Research Institute named after Yu. Ye. Sedakov"

Рассмотрена возможность создания бортового радиопередающего устройства дециметрового диапазона с фазовой манипуляцией для радиотелеметрической системы нового поколения на отечественных электронных компонентах.

Ключевые слова: отечественные электронные компоненты; нитрид-галлиевый транзистор; синтезатор частот; квадратурный модулятор; фазовая манипуляция.

The paper considers prospects of designing a new generation on-board D-band radio-transmitting system based on domestic electronic components.

Keywords: domestic hardware components; gallium nitride transistor; frequency synthesizer; broadband quadrature modulator; phase-shift keying.

Существующая радиотелеметрическая система канала связи (КС), используемая в госкорпорации «Росатом», была разработана в 70–90 годах прошлого века.

Для передачи контролируемой информации КС работает с использованием в приемопередающей аппаратуре сигналов с кодовой времяимпульсной модуляцией (КВИМ).

Выбор КВИМ был обусловлен наиболее простой технической возможностью и помехозащищенностью канала связи на тот период развития техники передавать информацию о работоспособности контролируемого бортового оборудования в требуемом объеме.

В соответствии с требованием обеспечения заданного потенциала радиолинии при приемлемых массогабаритных характеристиках передающей аппаратуры (РПДУ) и энергетических возможностях первичных источников питания РПДУ для надежной передачи необходимой информации должно обладать мощностью в сотни ватт.

Кроме того, отсутствие на момент разработки быстродействующих регистрирующих устройств, позволяющих фиксировать и записывать информацию о быстротекающих процессах, требовалось передавать информацию в реальном масштабе времени с КВИМ без дополнительного кодирования.

Поэтому, ввиду отсутствия мощных СВЧ-транзисторов, первые РПДУ для КС предыдущего поколения были полностью реализованы на отечественной элементной базе.

Мощный однокаскадный СВЧ-генератор РПДУ был реализован на металлокерамической радиолampe ГИ-48 с параметрической стабилизацией частоты непосредственно на рабочих

частотах на основе колебательной системы из термостабильных сплавов.

В формирователе модулирующих импульсов использовались первые отечественные интегральные микросхемы.

В выходных каскадах модулятора и в блоке питания использовались мощные низкочастотные транзисторы в ключевом режиме.

С появлением высокочастотных отечественных биполярных СВЧ-транзисторов, разработанных НИИ «Пульсар» г. Москва, в 80-е годы в НИИИС были начаты работы и успешно разработаны РПДУ с КВИМ полностью на отечественных электронных компонентах (ЭК).

В блоке формирования сигнала использовались кварцевая стабилизация частоты и цепочка транзисторных умножителей частоты.

РПДУ с КВИМ до сих пор успешно используются при различных испытаниях в госкорпорации «Росатом».

В настоящее время использование в новых перспективных разработках КС с КВИМ уже не может обеспечить требуемую пропускную способность канала связи, что и потребовало перехода на сигналы с фазовой манипуляцией (ФМ), так как появилась необходимость получения все больших объемов телеметрической информации.

При разработке КС нового поколения с повышенной пропускной способностью в НИИИС была проведена разработка РПДУ с ФМ в основном на импортных ЭК.

В связи с известными событиями последнего времени и директивным указанием о переходе на отечественные

ЭК в настоящее время в НИИИС ведется разработка РПДУ с использованием полностью отечественных ЭК, как серийно выпускаемых, так и находящихся на стадии разработки.

Разработанное РПДУ с фазовой манипуляцией на импортных ЭК состоит из следующих основных функциональных узлов:

- формирователь логической структуры информативного кадра и модулирующего сигнала;
- модуль интерфейсов;
- квадратурный модулятор и синтезатор;
- трехкаскадный СВЧ-усилитель мощности;
- блок питания.

Внешний вид РПДУ приведен на рис. 1.

РПДУ с фазовой манипуляцией обладает следующими основными характеристиками:

- передача телеметрической информации со скоростью 0,5–1 Мбит/с при двухпозиционной и до 2 Мбит/с при четырехпозиционной фазовой манипуляции;
- выходная мощность не менее 10 Вт при работе на фиксированных рабочих частотах в С-диапазоне;
- потребляемая мощность от первичного источника питания напряжением от 20 до 33 В не более 55 Вт;
- объем не более 1 дм³;
- масса не более 1,2 кг.

Функциональная схема РПДУ приведена на рис. 2.

В качестве основных ключевых импортных ЭК была использована и используется при производстве РПДУ следующая элементная база:

- в формирователе логической структуры кадра и модулирующего сигнала программируемая логическая интегральная

схема (ПЛИС) фирмы Xilinx, флеш-память объемом 4 Мбит фирмы Numonux, полностью совместимая с ПЛИС, и двухканальный цифроаналоговый преобразователь (ЦАП) фирмы Analog Devices с разрядностью 12 бит для формирования аналогового модулирующего сигнала;

- формирование цифровых отсчетов сигнала с ПЛИС на ЦАП малым джиттером и стабильным фронтом осуществляется микросхемой умножителя частоты фирмы ON Semiconductor;



Рис. 1. Радиопередающее устройство на импортных электронных компонентах

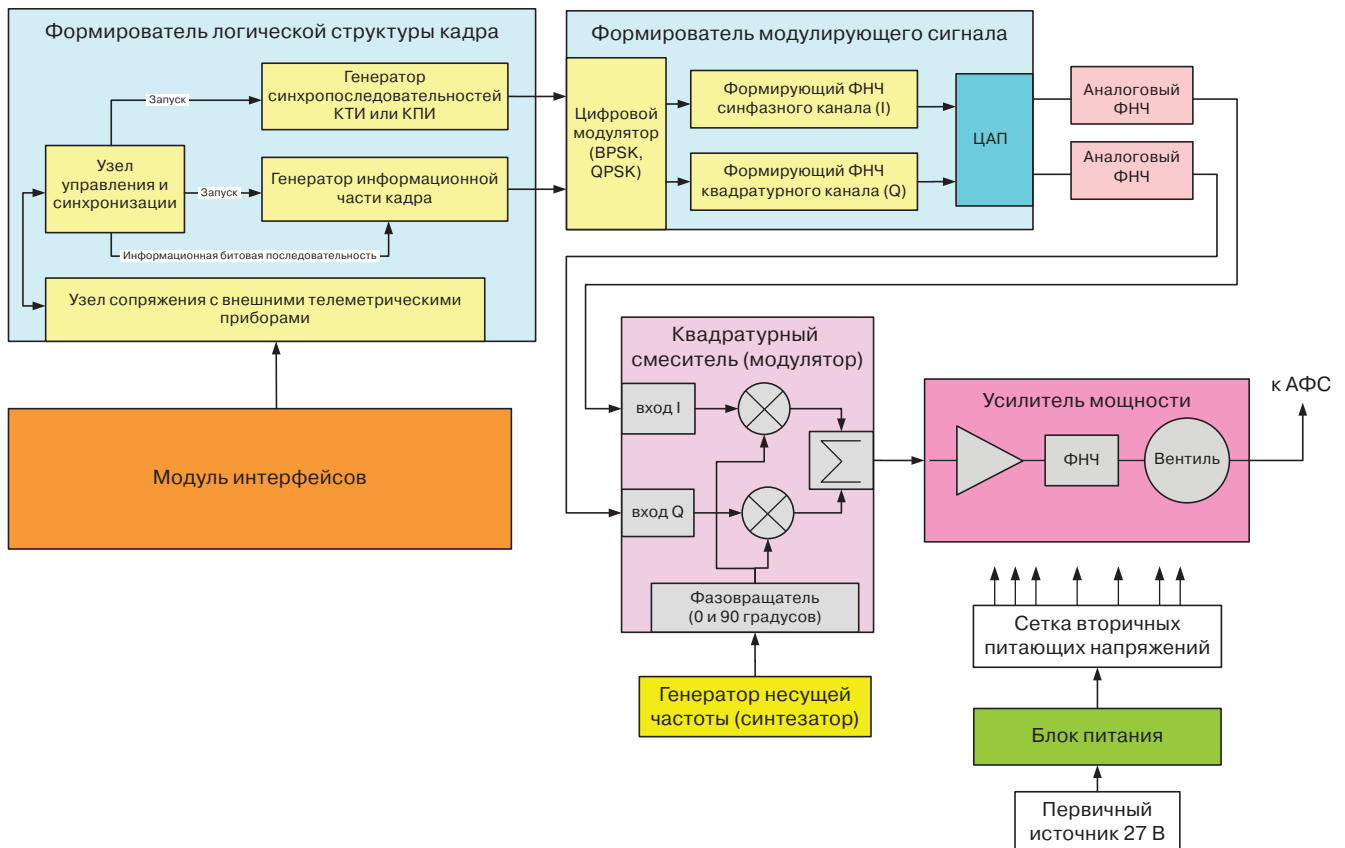


Рис. 2. Функциональная схема РПДУ с ФМ



- в синтезаторе частот применены микросхемы PLL-синтезаторов со встроенным генератором фирмы Analog Devices;
- в квадратурном модуляторе для формирования СВЧ фазоманипулированного сигнала применена микросхема квадратурного модулятора фирмы Analog Devices;
- для обеспечения подстройки частоты опорного генератора применена микросхема цифрового потенциометра фирмы Analog Devices;
- в усилителе мощности УМ, состоящем из трех усилительных каскадов, использованы транзисторы SBA-5089Z фирмы Stanford Microdevices, МААМ-009286 фирмы M/A-COM и GaN-транзистор NPTB00025 фирмы Nitronex Corporation.

Следует отметить, что единственным и важным отечественным узлом, определяющим стабильность колебаний несущих частот РПДУ, является термокомпенсированный генератор ГК143-ТС [1] производства ОАО «Морион» г. Санкт-Петербург.

ОАО «Морион», благодаря высококвалифицированному персоналу, современному оборудованию, сертифицированной

системе качества и технологическому совершенству, является крупным поставщиком кварцевых генераторов во многие известные компании мира, в т.ч. США, Канады, Франции, Германии и других стран [2].

Замена ЭК в блоке формирователя логической структуры кадра и модулирующего сигнала, в модуле интерфейсов на отечественные, разработки АО «НИИЭТ» г. Воронеж и ЗАО «ПКК Миландр», в настоящее время не вызывает особых трудностей в оптимальном выборе и может привести лишь к незначительному увеличению объема.

Блок питания может быть также реализован на отечественных ЭК и с использованием микросхем разработки НИИИС.

Реализация СВЧ-блоков, формирующих рабочие сигналы с нужными параметрами, — синтезатора частоты с фазовой автоматической подстройкой частоты и квадратурного модулятора, полностью возможна на отечественных микросхемах.

При разработке синтезатора частоты на фиксированные частоты С-диапазона возможны различные варианты построения с использованием микросхем ЗАО «ПКК Миландр» и АО НПЦ «Элвис», г. Зеленоград, ОАО «НПП «Пульсар», г. Москва.

Таблица 1

Тип транзистора	ПП9136А	ПП9137А	ПП9138А	ПП9138Б	ПП9139А1	ПП9139Б1
Выходная мощность, Вт	5	10	15	25	50	100
Коэффициент усиления	16	12	11	9	13	9
Частота, ГГц	до 4	до 4	до 4	до 4	До 2,9	До 2,9

Таблица 2

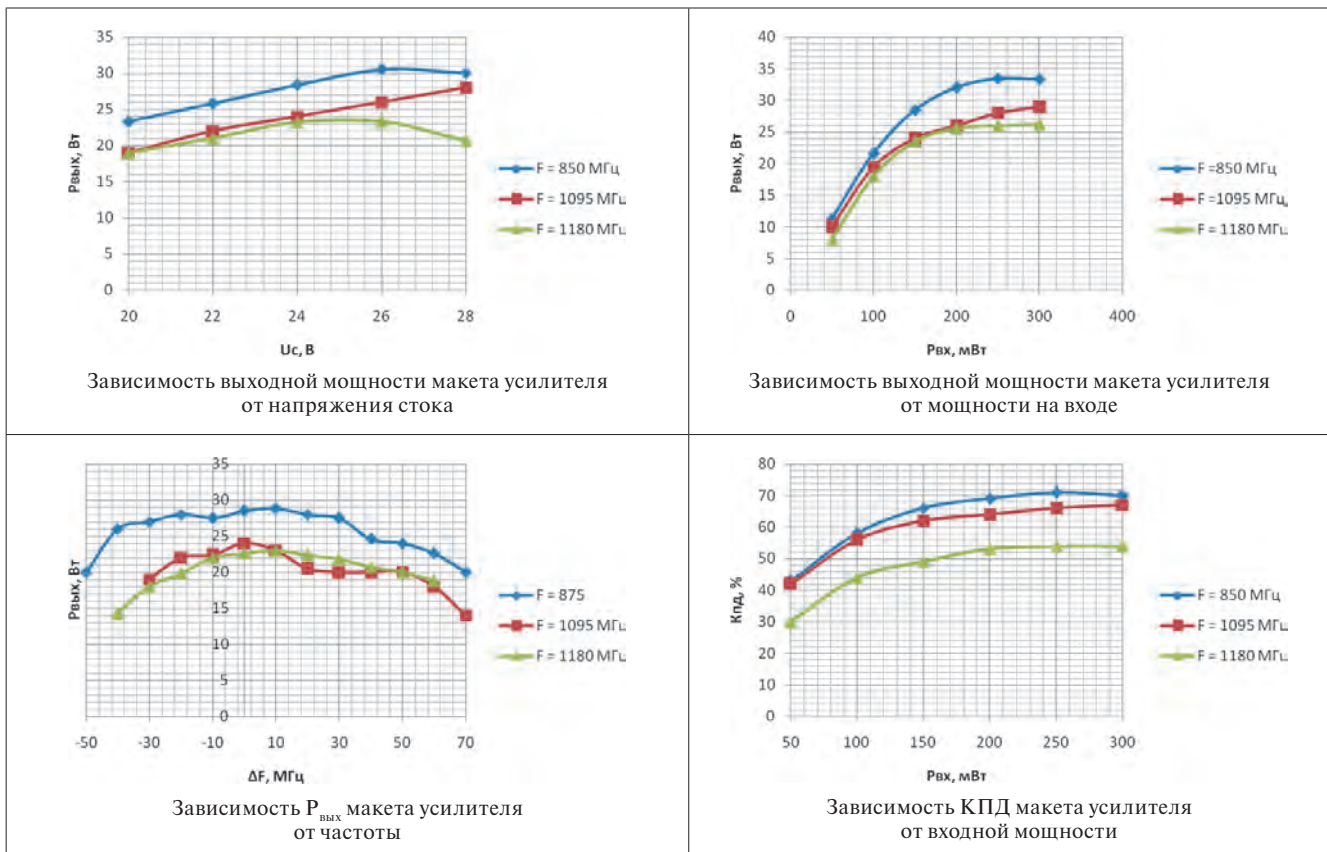


Таблица 3

	Ключевые импортные электронные компоненты СВЧ-блоков	Импортозамещающие отечественные аналоги
Синтезатор частоты	PLL-синтезаторы со встроенным генератором фирмы Analog Devices	1508ПЛИ0БТ АЕЯР.431320.624ТУ 1508МТ015 АЕНВ.431239.245ТУ (ОКР 03.2019 г.) ЗАО «ПКК Миландр»
		1288ПЛИУ АЕНВ.431230.245 ТУ АО НПЦ «Элвис» г. Зеленоград
		К1367ПЛИЗУ АДКБ.431332.222ТУ (Категория качества-ОТК) АО «НИИМА «Прогресс»
Квадратурный модулятор	Квадратурный модулятор фирмы Analog Devices	1327МА015 АЕНВ.431.300.010ТУ АО «НИИМА «Прогресс»
Усилитель мощности	SBA-5089Z фирмы Stanford Microdevices МААМ-009286 фирмы M/A-COM NPTB00025 фирмы Nitronex Corporation	1324УВ9У АЕЯР.431000.760-16ТУ ОАО «НПП «Пульсар»
		ПП9136А, ПП9137А, ПП9138Б АДКБ.432140.540ТУ АО «НИИЭТ» г. Воронеж

Квадратурный модулятор 1327МА015 — функциональный аналог ADL5375 (Analog Devices Inc.), разработанный АО «НИИМА «Прогресс», замещает используемую микросхему квадратурного модулятора фирмы Analog Devices.

Разработка СВЧ-усилителя мощности с высоким КПД для бортового РПДУ до недавнего времени сдерживалась отсутствием отечественных СВЧ мощных GaN-транзисторов.

Эти транзисторы, используемые в выходном каскаде усилителя, совместно с блоком питания определяют в основном потребляемую мощность РПДУ.

Разработку GaN-транзисторов осуществляет ряд отечественных производителей. Наибольших успехов в этом направлении добилось АО «НИИЭТ» г. Воронеж.

Предприятие по техническим условиям АДКБ.432140.540 выпускает нитрид-галлиевые эпитаксиально-планарные полевые n-канальные с затвором Шоттки мощные транзисторы в металлокерамических корпусах, предназначенные для работы в усилителях мощности в диапазоне частот до 6000 МГц.

Основные и некоторые классификационные характеристики GaN-транзисторов приведены в табл. 1.

В настоящее время АО «НИИЭТ» заканчивает разработку GaN-транзисторов с категорией качества ВП.

Эти транзисторы выполнены по современной технологии и заменяют импортные комплектующие.

Высокая выходная мощность, стойкость аппаратуры к космической радиации, стабильная работа при температурах от -60 до $+125^{\circ}\text{C}$ позволяют широко использовать их в авиационном, космическом и военном оборудовании,

Разработчики прогнозируют, что потребность в мощных СВЧ GaN-транзисторах только на отечественном рынке составляет более 100 тыс. штук в год [3].

После получения опытных образцов мощных GaN-транзисторов ПП9136А, ПП9138Б и ПП9139А в НИИИС были проведены предварительные исследования макетов усилителей.

Результаты исследования работы GaN-транзисторов в макете усилителя показали полное соответствие заяв-

ленных параметров по основным параметрам на частотах в С-диапазоне.

Наибольший интерес представляют результаты предварительных исследований работы 25-ваттного транзистора ПП9138Б в выходном каскаде усилителя, определяющем основное потребление от бортового источника питания.

Основные результаты проведенных исследований с 25-ваттным транзистором приведены в табл. 2.

В табл. 3 приведены основные ключевые импортные ЭК, используемые в выпускаемом РПДУ, и отечественные ЭК, запланированные к использованию в разрабатываемом корпорацией «Росатом» в НИИИС РПДУ с фазовой манипуляцией.

Авторы считают, что в данной работе новыми являются следующие основные положения и результаты:

- проведен анализ и показана возможность замены импортных комплектующих в РТС бортовых РПДУ на отечественные ЭК, разработанных и выпускаемых в России ЗАО «ПКК Миландр», АО НПЦ «Элвис», АО «НИИМА «Прогресс» и ОАО «НПП «Пульсар»;
- проведено предварительное исследование и показана возможность разработки СВЧ-усилителя с высоким коэффициентом полезного действия на GaN-транзисторах, разработанных и выпускаемых АО «НИИИТ»;
- полученные результаты проведенных работ дают возможность после полного цикла разработки и всех необходимых испытаний приступить к серийному производству РПДУ с заданными техническими требованиями полностью на отечественных ЭК.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вороховский Я., Ильичев В. Высокостабильные малошумящие кварцевые генераторы Российского производства. — Электроника: Наука, Технология, Бизнес, 1/2006.
2. Инженеры российского экспорта // Эксперт, № 11 (979), 14 марта 2016.
3. Время электроники. — 15.11.2016.