



УДК 621.376.9

DOI: 10.22184/NanoRus.2019.12.89.470.473

# АПРОБАЦИЯ ОСНОВНЫХ ПОЛОЖЕНИЙ МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ КРИТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОННОЙ КОМПОНЕНТНОЙ БАЗЫ НА ПРИМЕРЕ СРАВНЕНИЯ МОДУЛЯТОРОВ

## EVALUATING MAIN PROVISIONS OF METHODOLOGY FOR ESTIMATING ELECTRONIC COMPONENT BASE CRITICAL PARAMETERS BY COMPARISON OF MODULATORS

ШАБАНОВ АНДРЕЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ

*Инженер-конструктор II категории*

shabanov@mri-progress.ru

SHABANOV ANDREY A.

*Design Engineer II category*

shabanov@mri-progress.ru

КОРОВИН АНДРЕЙ ВЛАДИМИРОВИЧ

*К.т.н., инженер-конструктор I категории*

korovin@mri-progress.ru

KOROVIN ANDREY V.

*Candidate of Technical Sciences, Design Engineer I category*

korovin@mri-progress.ru

АО «НИИМА «Прогресс»

125183, г. Москва, проезд Черепановых, 54

Microelectronics Research Institute PROGRESS JSC

("PROGRESS MRI" JSC)

54 Cherepanovykh Lane, Moscow, 125183, Russia

В статье был апробирован методический подход по оценке критических параметров электронной компонентной базы путем сравнительного анализа квадратурного модулятора 1327MA015 и зарубежного аналога ADL5375. Были определены основные характеристики рассмотренных интегральных микросхем, основные характеристики ВВСТ, на которые могут оказывать влияние данные микросхемы.

**Ключевые слова:** оценка критических параметров; электронная компонентная база; квадратурный модулятор; бортовая радиолокационная станция; активная фазированная антенна решетка.

As a result of the comparative analysis of the quadrature modulator 1327MA015 and its foreign analogue ADL5375, the main characteristics of the examined integrated circuits have been determined, as well as the main characteristics of the AMSTs, which may be affected by the data of the microcircuit. A methodical approach has been adopted for assessing the critical parameters of the electronic component base.

**Keywords:** estimation of critical parameters; electronic component base; quadrature modulator; airborne radar; active phased array antenna.

В настоящее время перед Российской Федерацией стоит вопрос импортозамещения электронной компонентной базы (ЭКБ), особенно остро это наблюдается в средствах и системах вооружения, военной и специальной техники (ВВСТ). В условиях ограниченного финансирования, дефицита технологий и отсутствия кадрового состава важно правильно выбрать пути развития отечественной ЭКБ, которые позволят получить конкурентоспособные характеристики отечественной аппаратуры.

Суть методического подхода по оценке критических параметров ЭКБ заключается в определении важных параметров исследуемой микросхемы (путем сравнения с наиболее конкурентоспособным аналогом), определении блока (блоков) аппаратуры, где она используется, и оценке влияния параметров микросхемы на характеристики ВВСТ.

Апробацию методического подхода проведем на примере сравнительного анализа квадратурного модулятора 1327MA015, разработанного АО «НИИМА «Прогресс», и зарубежного квадратурного модулятора ADL5375.

Модулятор — устройство, изменяющее параметры несущего сигнала в соответствии с изменениями передаваемого (информационного) сигнала.

Микроволновые интегральные схемы (ИС) квадратурных модуляторов являются одними из основных универсальных элементов построения приемопередающих трактов радиолокационной аппаратуры, аппаратуры радиоэлектронного подавления (РЭП) и аппаратуры связи современных и перспективных образцов вооружения, военной и специальной техники. Частотный диапазон таких модуляторов и демодуляторов для современной аппаратуры лежит в пределах от сотен килогерц до 6 ГГц и выше [1].

Разработанная АО «НИИМА «Прогресс» ИС типовая структура квадратурного модулятора изображена на рис. 1. Она представляет собой универсальное устройство, с помощью которого сигнал опорного генератора модулируется ортогональной парой дифференциальных входных информационных сигналов.

Основными параметрами квадратурных модуляторов являются: ток потребления, однодицибелевая точка компрессии по выходу, коэффициент шума, уровни подавления несущей частоты и паразитной боковой полосы и др. В табл. 1 приведены основные характеристики микросхем 1327MA015 и ADL5375.

На рис. 2 представлена микросхема 1327MA015 в корпусе.

Одной из важных характеристик модуляторов и устройств микроэлектроники является ток потребления. На рис. 3

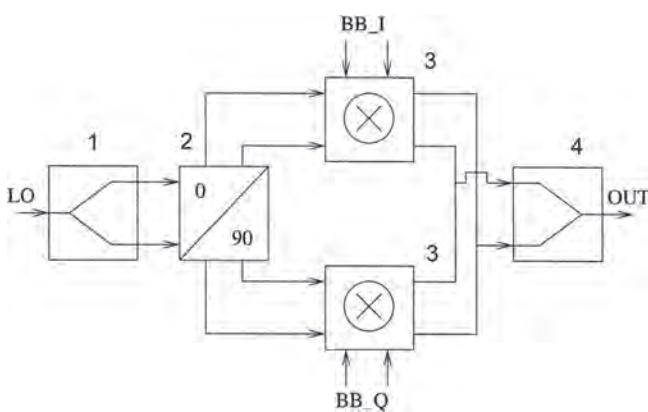


Рис. 1. Структурная схема квадратурного модулятора на основе дифференциальной обработки сигналов: 1 — буфер сигнала гетеродина (расщепитель фазы) (дифференциальный вход LO); 2 — генератор квадратуры (фазы  $0^\circ$  и  $90^\circ$ ); 3 — смеситель (BB\_I и BB\_Q — каналы); 4 — выходной буфер — сумматор (дифференциальный выход OUT)

показана зависимость тока потребления от температуры кристалла для отечественной микросхемы 1327МА015 и для иностранной микросхемы ADL5375 при напряжении питания  $U_{CC} = 5$  В.

Из графиков видно, что полученный ток потребления отечественной микросхемы ниже иностранного аналога на 40 мА и, следовательно, потребляемая мощность тоже ниже.

Также основными параметрами для модуляторов является подавление несущей частоты и паразитной боковой полосы. Графики зависимостей подавления несущей частоты и подавления паразитной боковой полосы от частоты гетеродина для отечественной микросхемы 1327МА015 и зарубежного аналога ADL5375 (в диапазоне температур) представлены на рис. 4 и 5а (подавление несущей частоты) и 5б (подавление паразитной боковой полосы) [2].

Из рис. 4, 5а и 5б мы видим, что иностранный аналог пре- восходит отечественную микросхему в подавлении несущей частоты на 10 дБм, а подавление паразитной боковой полосы — на 20 дБм, что позволяет лучше использовать мощность модулятора.

Для оптимального подавления несущей частоты и паразитной боковой полосы при последующей модернизации квадратурных модуляторов требуется предусмотреть итеративную регулировку между фазой и амплитудой входного сигнала. Нулевое значение паразитной боковой полосы может быть достигнуто путем регулировки коэффициента усиления для каждого канала (I- и Q-каналы).

Таблица 1. Основные характеристики микросхем 1327МА015 и ADL5375

	Диапазон рабо- чих частот, Гц	Уровень сигнала гетеродина, дБм	Полоса входных частот модуля- ции, МГц	Однодецибелльная точка компрес- сии по выходу OIP1dB, дБм	Коэффициент шума, дБ	Напряжение питания, В	Ток потребления, мА, не более
1327МА015	от 0,7 до 6,0	от -7 до +6	от 0 до 750	+6,5	18	5	155
ADL5375	от 0,4 до 6,0	от -6 до +6	от 0 до 750	+5	15,5	5	195

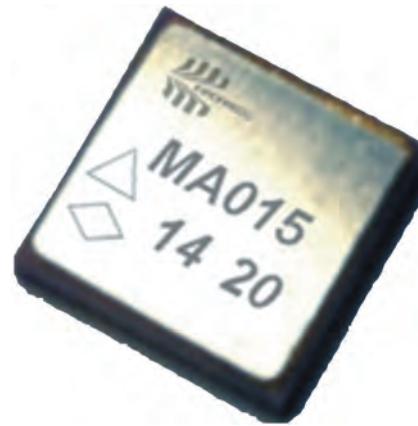


Рис. 2. Микросхема 1327МА015 [2]

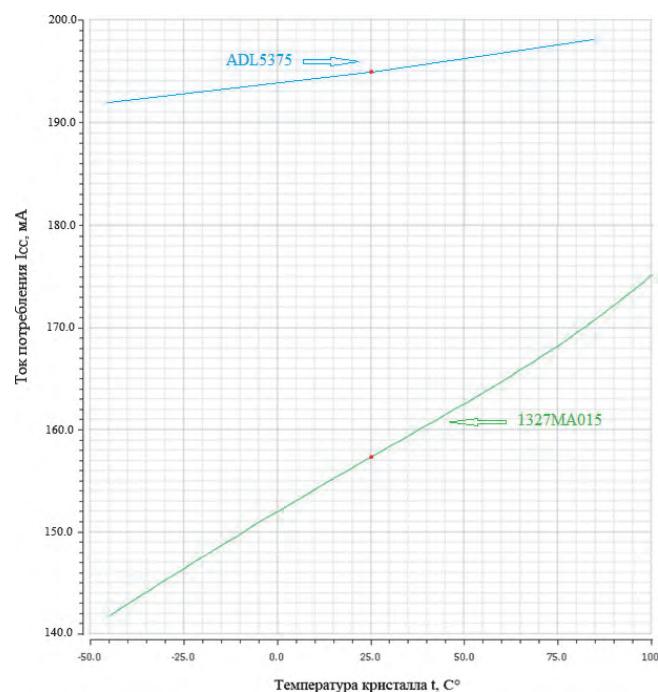


Рис. 3. Зависимость тока потребления от температуры кристалла для микросхемы 1327МА015

Также рассмотрим важный и необходимый для контроля параметр — уровень (мощность) выходного сигнала. На рис. 6 представлена зависимость уровня (мощности) выходного сигнала модулятора (выходной однодецибелевой

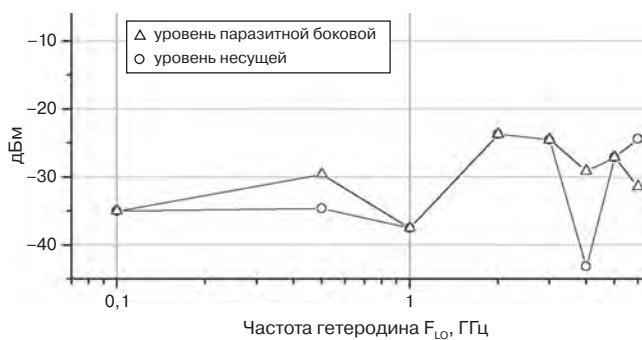
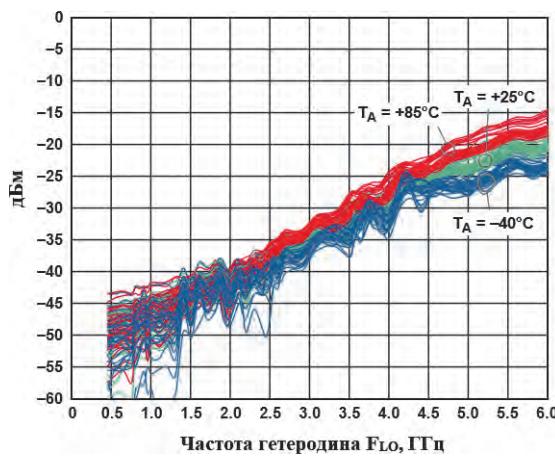


Рис. 4. Зависимость подавления уровней несущей частоты и паразитной боковой полосы для микросхемы 1327МА015

точки компрессии)  $P_{out}$  от уровня входных модулирующих I- и Q-сигналов при частоте модулирующего сигнала  $f_{BB} = 10$  МГц для отечественной микросхемы 1327МА015.

На рис. 7 представлена аналогичная зависимость для микросхемы ADL5375 при дифференциальном включении [3].

Из рис. 6 и 7 видно, что выходная однодецибелевая точка компрессии иностранного аналога ADL5375 на частоте входного сигнала  $F_1 = 3$  ГГц выше отечественной микросхемы 1327МА015



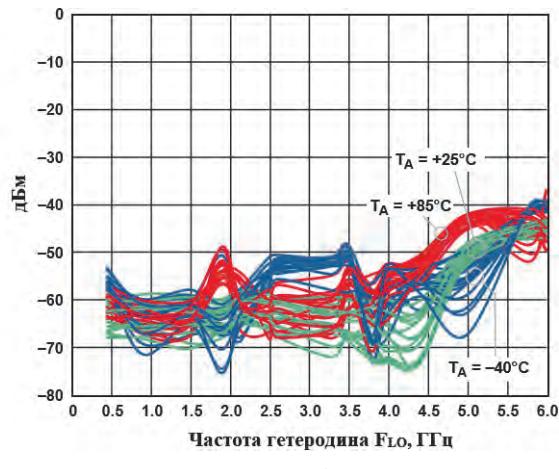
*a*

при дифференциальном включении на 5 дБм. Далее с ростом частоты входного сигнала выходная однодецибелевая точка компрессии иностранного аналога существенно падает и при значении  $F_1 = 6$  ГГц достигает значений отечественной микросхемы. В настоящее время предприятием АО «НИИМА «Прогресс» ведется разработка микросхемы модулятора с улучшенными вышеуказанными параметрами.

Полученные данные позволяют проанализировать влияние параметров квадратурных модуляторов на характеристики отдельных блоков радиолокационной аппаратуры.

В настоящее время квадратурные модуляторы широко используются в радиолокационной аппаратуре, особенно в антенных системах радиолокационных станций (РЛС). Конструктивно авиационные бортовые радиолокационные станции (БРЛС) состоят из следующих блоков, расположенных в носовой части самолета: передатчик, антенная система, приемник, процессор обработки данных, программируемый процессор сигналов, пульт и орган управления и индикации.

Сегодня практически у всех БРЛС антенная система представляет собой плоскую щелевую антенну решетку, антенну Кассегrena, пассивную или активную фазированную антенну решетку (АФАР) [4].



*b*

Рис. 5. Зависимость подавления уровней несущей частоты и паразитной боковой полосы для микросхемы ADL5375

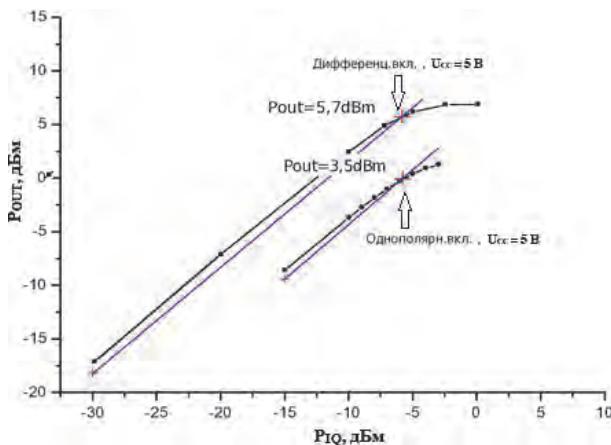


Рис. 6. Зависимость уровня (мощности) выходного сигнала  $P_{out}$  модулятора (выходной однодецибелевой точки компрессии) от уровня входных модулирующих I- и Q-сигналов на частоте входного сигнала  $F_1 = 3$  ГГц микросхемы 1327МА015

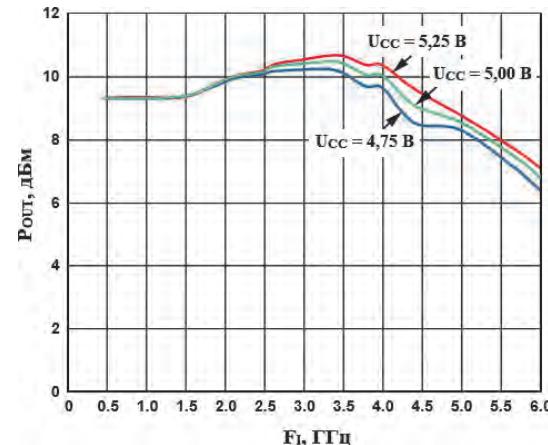


Рис. 7. Зависимость уровня (мощности) выходного сигнала  $P_{out}$  модулятора (выходной однодецибелевой точки компрессии) от частоты входного сигнала  $F_1$  микросхемы ADL5375

Для того чтобы излучать и принимать сигналы, любому радару необходима антенна. Современная электроника позволила отказаться от механического сканирования в БРЛС. Это устроено следующим образом: плоская антenna разделена на ячейки. В каждой ячейке находится специальный прибор — фазовращатель, который может на заданный угол изменять фазу электромагнитной волны, которая попадает в ячейку. Обработанные сигналы из ячеек поступают на приемник.

Подобная антеннная решетка со множеством элементов-фазовращателей с одним приемником и одним передатчиком называется пассивной фазированной антенной решеткой.

АФАР является следующим этапом развития фазированных антенных решеток. В данной антenne каждая ячейка решетки содержит свой приемопередатчик. Это позволяет современным РЛС параллельно решать несколько задач одновременно [5].

Рассмотрим применение квадратурных модуляторов в АФАР, используемых в большинстве современных радиолокационных станций.

На рис. 8 представлена структурная схема современной квадратурной АФАР.

По выбранной схеме квадратурной АФАР в передающем тракте каждого приемопередающего модуля имеется квадратурный модулятор, на высокочастотный вход которого подается заранее сформированный сигнал на несущей частоте. Изменение амплитудно-фазовой характеристики несущей достигается путем подачи на синфазный и квадратурный входы модулятора модулирующих сигналов, которые изначально формируются в цифровом виде в ПЛИС, а затем преобразуются в аналоговую форму в ЦАП.

Характеристики квадратурных модуляторов напрямую влияют и на характеристики АФАР.

Так, увеличение мощности выходного сигнала, подавление несущих частот и паразитных боковых полос квадратурного модулятора позволяют увеличить мощность передатчика АФАР, а уменьшение тока потребления отдельных модулей позволяет уменьшить общий ток потребления АФАР, что позволит в будущем внедрять новые разработки в современные РЛС без дополнительных энергозатрат.

По результатам полученных данных можно сделать вывод, что микросхема 1327МА015 уступает зарубежному аналогу, однако, если улучшить такие параметры, как подавление несущей частоты и паразитной боковой полосы, а также выходную мощность, отечественная микросхема превзойдет аналог и будет более востребована как на внутреннем, так и на мировом рынке, а также позволит улучшить тактико-технические характеристики ВВСТ, например потребляемую мощность и среднюю мощность передатчика БРЛС.

В результате проведенного сравнительного анализа квадратурного модулятора 1327МА015, разработанного АО «НИИМА

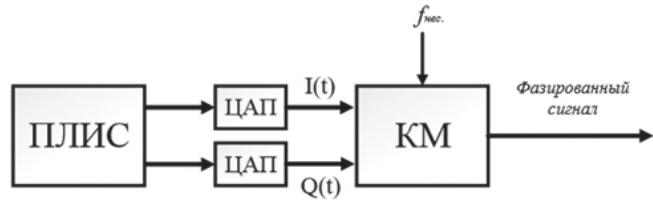


Рис. 8. Структурная схема квадратурной АФАР. ПЛИС — программируемые логические интегральные схемы; ЦАП — цифроаналоговый преобразователь; КМ — квадратурный модулятор

«Прогресс», и зарубежного квадратурного модулятора ADL5375 определены основные характеристики, сильные и слабые стороны каждой из рассмотренных интегральных микросхем, определен блок аппаратуры, в котором могут использоваться микросхемы квадратурных модуляторов, определены основные характеристики ВВСТ, на которые могут оказывать влияние данные микросхемы, и был апробирован методический подход по оценке критических параметров ЭКБ.

Авторы считают, что в данной работе новыми являются следующие положения и результаты: сравнительный анализ квадратурного модулятора 1327МА015, разработанного АО «НИИМА «Прогресс», и зарубежного квадратурного модулятора ADL5375; апробация методического подхода по оценке критических параметров ЭКБ.

Дальнейшая апробация и развитие описанного метода позволят разработать полноценную методику оценки критических параметров ЭКБ и их влияния на характеристики ВВСТ.

## ЛИТЕРАТУРА

- Шабардин Р.С., Шабардина Н. В., Бычков М. С. Кремний-германиевые квадратурные модуляторы и демодуляторы для диапазона частот до 6 ГГц и выше // Твердотельная электроника. Сложные функциональные блоки РЭА. Материалы научно-технической конференции. — М.: МНТО-РЭС им. А. С. Попова, 2013. — С. 93–95.
- АО «НИИМА «Прогресс» [сайт]. URL: <http://www.mri-progress.ru>.
- Analog devices. Data Sheet ADL5375 [электронный ресурс]. URL: <http://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/adl5375.pdf>.
- Майор Б. Денисов. Бортовые радиолокационные станции самолетов тактической авиации зарубежных стран // Зарубежное военное обозрение, 2003. — № 11. — С. 43–52.
- АФАР: зоркий «глаз» истребителя. Принцип устройства активной фазированной антенной решетки [электронный ресурс]. URL: <https://kret.defence.ru/article/6244>.

