

ПРИМЕНЕНИЕ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ЭЛЕМЕНТНОЙ БАЗЫ В ШИРОКОДИАПАЗОННЫХ ЦИФРОВЫХ УСТРОЙСТВАХ ОБРАБОТКИ И ФОРМИРОВАНИЯ РАДИОСИГНАЛОВ

Ю.Т. Карманов, А.Н. Николаев, С.В. Поваляев

Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск

Рассмотрены принципы построения современных широкодиапазонных устройств обработки и формирования радиосигналов. Установлено, что ключевыми компонентами широкодиапазонных радиоэлектронных систем являются быстродействующие программируемые логические интегральные схемы (ПЛИС), аналого-цифровые (АЦП) и цифроаналоговые (ЦАП) преобразователи радиосигналов. Приведены характеристики интегральных микросхем ПЛИС, АЦП и ЦАП отечественного производства. Показано, что отечественные быстродействующие ПЛИС, АЦП и ЦАП по своим техническим характеристикам во многом уступают своим зарубежным аналогам. Это затрудняет их прямое использование в цифровых широкодиапазонных устройствах обработки и формирования радиосигналов. Например, максимальная тактовая частота быстродействующих отечественных АЦП не превышает 125 МГц. В то же время в зарубежных быстродействующих АЦП максимальная тактовая частота достигает 1000...5000 МГц. В отечественных ПЛИС отсутствуют специализированные блоки цифровой обработки информации (например, последовательные каналы передачи цифровых данных, обеспечивающие пропускную способность в несколько гигабит в секунду). Зарубежные ПЛИС располагают десятками таких специализированных блоков. Проанализированы проблемы определения частоты радиосигналов в широком частотном диапазоне и согласования скоростей цифровых потоков между интегральными микросхемами ПЛИС и ЦАП отечественного производства. Показано, что применение специальных технических решений и алгоритмов обработки радиосигналов позволяет строить широкодиапазонные цифровые устройства обработки и формирования радиосигналов на отечественной элементной базе. Например, применение монобитной цифровой технологии обработки радиосигналов позволяет проводить оценку частоты радиосигнала в широком диапазоне частот при минимальных требованиях к применяемым цифровым интегральным микросхемам.

Ключевые слова: аналого-цифровой преобразователь, цифроаналоговый преобразователь, программируемая логическая интегральная схема, широкодиапазонные радиоэлектронные системы, монобитная цифровая технология.

Введение

Применение цифровых методов обработки радиосигналов позволяет эффективно решать задачу по расширению рабочего диапазона частот с одновременным улучшением энергетических и массогабаритных характеристик радиоэлектронных систем. Успешность решения данной задачи во многом связана с применением высокоскоростных цифровых интегральных микросхем.

Создание современных быстродействующих цифровых устройств обнаружения и анализа параметров радиосигналов невозможно без использования высокоскоростных аналого-цифровых (АЦП) и цифроаналоговых (ЦАП) преобразователей радиосигналов, программируемых логических интегральных схем (ПЛИС) высокой степени интеграции, способных обрабатывать потоки цифровых данных со скоростью в несколько тысяч мегабит в секунду.

На сегодняшний день большая часть фирм-производителей высокоскоростных цифровых интегральных микросхем сосредоточена в зарубежных странах. Например, производством современных ПЛИС, которые работают на скоростях в несколько тысяч мегагерц, располагают десятками и сотнями специализированных вычислительных блоков цифровой обработки радиосигналов, оснащены последовательными каналами передачи цифровых данных, обеспечивающими пропускную способность в несколько гигабит в секунду, занимаются несколько фирм (Altera, Xilinx, Lattice Semiconductor, Microsemi Corporation, Achronix Semiconductor), расположенных на территории Соединенных Штатов Америки (США).

В этой связи взятый в нашей стране курс на импортозамещение ставит перед разработчиками широкодиапазонных радиоэлектронных систем задачу перехода от использования зарубежных электронных компонентов к применению отечественной элементной базы при модернизации существующих и разработке новых радиоэлектронных систем.

Целью настоящей статьи является анализ характеристик и особенностей применения скоростных цифровых микросхем (АЦП, ЦАП и ПЛИС) отечественного производства в широкодиапазонных цифровых устройствах обработки и формирования радиосигналов.

1. Принципы построения широкодиапазонных устройств обработки и формирования радиосигналов

Традиционно основными функциями широкодиапазонных устройств обработки и формирования радиосигналов являются:

- прием и обработка входного СВЧ-радиосигнала для решения задач обнаружения полезного сигнала в смеси с шумом и помехами, измерения и анализа параметров обнаруженного сигнала;
- формирование радиосигнала с заданными параметрами в цифровом виде, преобразование сформированного сигнала в аналоговую форму и перенос в рабочий диапазон частот.

На рис. 1 и 2 приведены структурные схемы типовых широкодиапазонных устройств обработки и формирования радиосигналов.

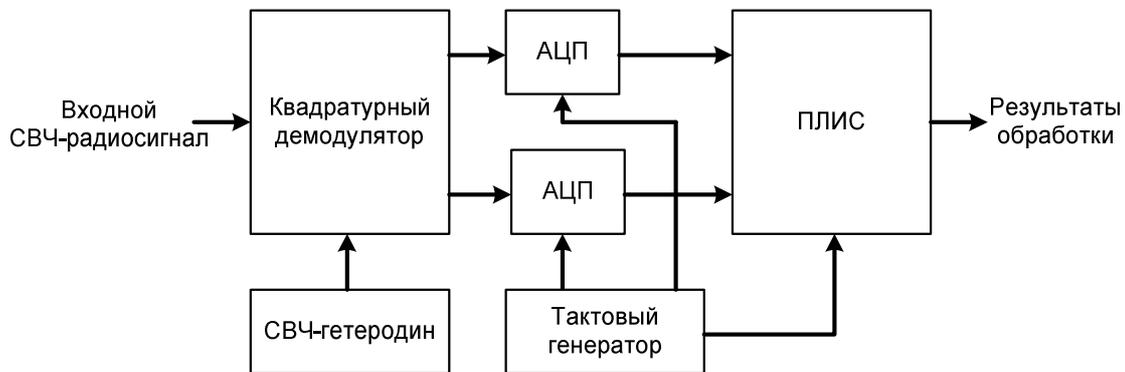


Рис. 1. Структурная схема типового широкодиапазонного устройства обработки радиосигналов

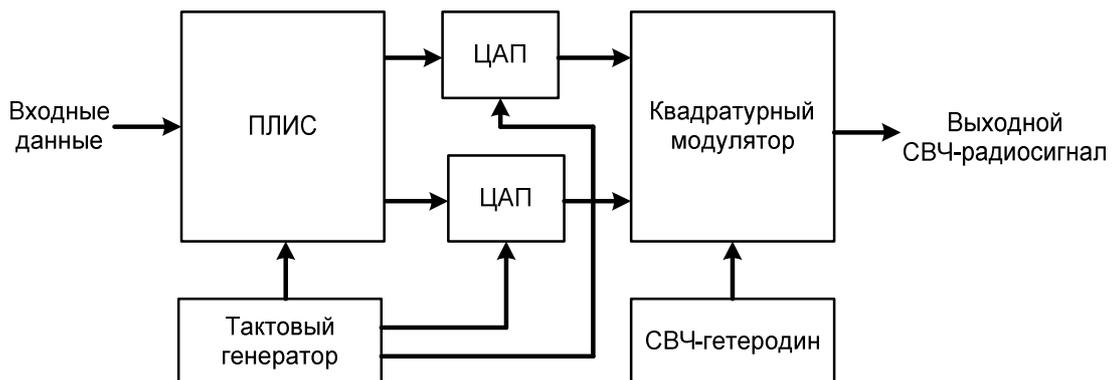


Рис. 2. Структурная схема типового широкодиапазонного устройства формирования радиосигналов

Типовое широкодиапазонное устройство обработки радиосигналов состоит из следующих компонентов:

- квадратурного демодулятора и СВЧ-гетеродина, осуществляющих перенос спектра входного СВЧ-радиосигнала на более низкую частоту и формирование квадратурных составляющих радиосигнала;
- аналого-цифровых преобразователей, которые осуществляют преобразование аналоговых квадратур в цифровую форму;

– программируемой логической схемы, выполняющей цифровую обработку входных потоков цифровых данных: обнаружение полезных радиосигналов, измерение и анализ параметров радиосигналов;

– тактового генератора, служащего для синхронизации работы цифровых интегральных микросхем (АЦП и ПЛИС).

В состав типового широкодиапазонного устройства формирования радиосигналов входят:

– программируемая логическая интегральная схема, которая на основе входных данных формирует в цифровой форме квадратуру радиосигнала с заданными параметрами (амплитуда, частота, начальная фаза);

– цифроаналоговых преобразователей, осуществляющих перевод цифровых потоков в аналоговые квадратурные радиосигналы;

– квадратурного модулятора и СВЧ-гетеродина, выполняющих перенос спектра сформированного радиосигнала в рабочий диапазон частот;

– тактового генератора, необходимого для формирования сигналов синхронизации ПЛИС и ЦАП.

Анализ структурных схем широкодиапазонных устройств обработки и формирования радиосигналов позволяет сделать вывод: ключевыми компонентами, которые во многом определяют эффективность работы рассмотренных устройств, являются программируемые логические интегральные схемы (ПЛИС) и преобразователи радиосигналов (АЦП и ЦАП).

2. Характеристики АЦП, ЦАП и ПЛИС отечественного производства

На сегодняшний день основным отечественным производителем скоростных АЦП является предприятие АО «ПКК Миландр», выпускающее АЦП с максимальной тактовой частотой до 125 МГц. Основные технические характеристики отечественных скоростных АЦП приведены в табл. 1.

Таблица 1

Основные технические характеристики отечественных скоростных АЦП
(производство АО «ПКК Миландр»)

Характеристика	Микросхема	
	5101НВ015	К5101НВ025
Тактовая частота, МГц	20...125	10...75
Отношение сигнал / шум, дБ	67	60
Свободный от ошибок динамический диапазон, дБ	75	65
Интегральная нелинейность, число младших значащих разрядов	±6	±10
Дифференциальная нелинейность, число младших значащих разрядов	±0,7	-1...2
Напряжение питания аналоговой / цифровой части, В	1,8 / 1,8	3,3 / 1,8
Тип корпуса	5152-52-1	5142.48-А

Микросхемы 5101НВ015 и К5101НВ025 предназначены для одноканального преобразования входного дифференциального сигнала с полосой частот до 500 МГц в 14-разрядный цифровой код с КМОП или LVDS выходом [1, 2]. АЦП имеют встроенный источник опорного напряжения 1 В, а также могут работать с внешним опорным напряжением до 1,5 В.

Входной тактовый сигнал АЦП может быть как дифференциальным (рекомендуется для уменьшения уровня шума и джиттера в момент выборки), так и несимметричным [1, 2]. Конфигурирование АЦП производится через последовательный интерфейс SPI.

Скоростные отечественные ЦАП представлены серией преобразователей, выпускаемых предприятием АО «НИИЭТ». Основные технические характеристики преобразователей приведены в табл. 2.

Таблица 2

Основные технические характеристики скоростных отечественных ЦАП (производство АО «НИИЭТ»)

Характеристика	Микросхема				
	1273ПА5У	1273ПА6У	1273ПА11Т	1273ПА12Т	1273ПА13Т
Разрядность входного кода, бит	14	14	8	12	14
Число каналов	1	1	1	2	2
Максимальная частота входного тактового сигнала, МГц	160	150	600	160	160
Максимальная частота формируемого аналогового сигнала, МГц	200	150	600	275	200
Интегральная нелинейность, число младших значащих разрядов	±3,5	±2,5	±1	±6,5	±5
Дифференциальная нелинейность, число младших значащих разрядов	±2,0	±1,5	±3	±3,3	±3,0
Напряжение питания аналоговой / цифровой части, В	3,3/3,3	3,3/3,3	1,8/1,8	3,3/1,8	3,3/1,8
Тип корпуса	H16.48-1B	H16.48-1B	4203.64-1	4235.88-1	4235.88-1

Микросхемы 1273ПА5У, 1273ПА6У, 1273ПА11Т, 1273ПА12Т, 1273ПА13Т представляют собой параллельные цифроаналоговые преобразователи на источниках тока [3–7]. Данные устройства имеют входной параллельный интерфейс, встроенный источник опорного напряжения 1,2 В, внутренний умножитель тактовой частоты с ФАПЧ и дифференциальные токовые выходы (максимальные выходные токи от 2 до 20 мА). Для программирования основных функций ЦАП используется порт последовательного интерфейса SPI [3–7].

В настоящее время производителем программируемых логических интегральных схем (ПЛИС) в нашей стране является предприятие АО «ВЗПП-С». Модельный ряд ПЛИС представлен СБИС с логической емкостью до 500 000 вентилей [8]. Пользовательскими ресурсами отечественных ПЛИС являются логические блоки, блоки встроенной памяти, элементы ввода/вывода и аппаратные умножители 18×18. Основные технические характеристики отечественных ПЛИС приведены в табл. 3.

Каждый логический блок состоит из 8 логических элементов. Логические блоки используются для реализации простых логических функций, мультиплексоров, сумматоров, счетчиков и конечных цифровых автоматов. Отечественные ПЛИС содержат от 360 до 1248 логических блоков.

Таблица 3

Основные технические характеристики отечественных ПЛИС (производство АО «ВЗПП-С»)

Характеристика	Микросхема			
	5576XC1Т	5576XC4Т	5578TC015	5578TC024
Логическая емкость, вент.	50 000	200 000	300 000	500 000
Объем встроенной памяти, кбайт	2,5	12	31,5	44,97
Количество аппаратных умножителей 18×18, шт.	–	–	14	20
Количество логических элементов	2880	9984	5040	7200
Количество логических блоков	360	1248	630	900
Количество пользовательских линий ввода/вывода	176	171	172	172
Максимальная частота входного тактового сигнала, МГц	50	50	250	250
Напряжение питания ядра/периферии, В	1,8 / 3,3	1,8 / 3,3	1,8 / 3,3	1,8 / 3,3
Тип корпуса	4245.240-6	4244.256-3	4244.256-3	4244.256-3

Блоки встроенной памяти предназначены для реализации разнообразных структур памяти и сложных логических функций. На основе встроенных блоков памяти ПЛИС могут быть созданы синхронные и асинхронные ОЗУ, ПЗУ, двухпортовые ОЗУ, структуры данных типа FIFO («первым пришел, первым обслужен»). Объем встроенной памяти отечественных ПЛИС составляет 2,5...44,97 кбайт [8].

Элементы ввода/вывода служат для связи внутренней части ПЛИС с внешними устройствами. Каждый элемент ввода/вывода содержит двунаправленный буфер и триггер, и может быть сконфигурирован как вход, выход или двунаправленный вход/выход. Синхронизация работы элементов ввода/вывода обеспечивается тактовым сигналом с частотой до 250 МГц.

Аппаратные умножители 18×18 предназначены для быстрого выполнения операции умножения двух 18-разрядных операндов. Наличие аппаратных умножителей на кристалле ПЛИС упрощает выполнение операции типа «умножение с накоплением», являющейся базовой при реализации алгоритмов быстрого преобразования Фурье, цифровой фильтрации, умножении матриц и т. д. Отечественные ПЛИС 5578ТС015 и 5578ТС024 располагают 14 и 20 аппаратными умножителями 18×18 соответственно [8].

Подводя итог рассмотрению характеристик АЦП, ЦАП и ПЛИС отечественного производства, можно сделать следующие выводы:

– Отечественные преобразователи радиосигналов имеют низкие по сравнению с зарубежными аналогами тактовые частоты. Например, максимальная тактовая частота отечественных АЦП не более 125 МГц, зарубежных – 1000...5000 МГц. Это обстоятельство затрудняет их применение в широкодиапазонных цифровых устройствах обработки и формирования сигналов.

– Отечественные ПЛИС обладают низкими возможностями по обработке радиосигналов в широком диапазоне частот по сравнению с возможностями зарубежных ПЛИС. Например, скорость передачи потока цифровых отсчетов в отечественных ПЛИС не превышает 250 МГц на один канал. В то же время в зарубежных ПЛИС скорость передачи достигает нескольких тысяч мегагерц.

3. Особенности применения отечественных АЦП, ЦАП и ПЛИС в широкодиапазонных цифровых устройствах обработки и формирования радиосигналов

Анализ характеристик АЦП, ЦАП и ПЛИС отечественного производства позволит выделить ряд проблем, с которыми приходится сталкиваться при создании широкодиапазонных цифровых устройств обработки и формирования радиосигналов.

Во-первых, возникает проблема согласования скоростей цифровых потоков между ПЛИС и ЦАП. Тактовая частота отечественных ПЛИС, при которой возможна работа алгоритмов цифровой обработки сигналов, составляет 250 МГц. В то же время для формирования высококачественного аналогового сигнала с частотой, например 600 МГц, на вход ЦАП должен подаваться цифровой поток отсчетов со скоростью порядка 600 МГц.

В этих условиях для согласования скоростей цифровых потоков возможно применение цифровых схем на основе регистров сдвига (RG). Скоростной поток цифровых отсчетов на входе ЦАП формируется при помощи регистра сдвига из нескольких менее скоростных субпоточков (фаз), скорость которых определяется пропускной способностью портов ввода/вывода ПЛИС. Пример такой схемы приведен на рис. 3.

Во-вторых, сравнительно невысокие возможности отечественных цифровых микросхем (АЦП, ЦАП и ПЛИС) по обработке широкополосных радиосигналов, затрудняют решение задачи определения частоты радиосигналов в широком частотном диапазоне.

Выходом из данной ситуации может служить применение монобитной цифровой технологии обработки радиосигналов [9], позволяющей проводить оценку частоты радиосигнала в широком диапазоне частот при минимальных требованиях к применяемым цифровым микросхемам.

В качестве высокочастотного компаратора, осуществляющего дискретизацию входного аналогового сигнала и формирующего высокоскоростной монобитный цифровой поток, можно использовать отечественные скоростные АЦП, задействуя при этом только старший бит выходного слова АЦП. Такой подход возможен, поскольку отечественные скоростные АЦП работают в широком диапазоне частот (до 500 МГц) входных аналоговых радиосигналов [1, 2].

На основе пары скоростных отечественных АЦП можно построить монобитный преобразователь для квадратурного сигнала. В этом случае суммарная полоса обрабатываемого радиосигнала составит 1000 МГц.

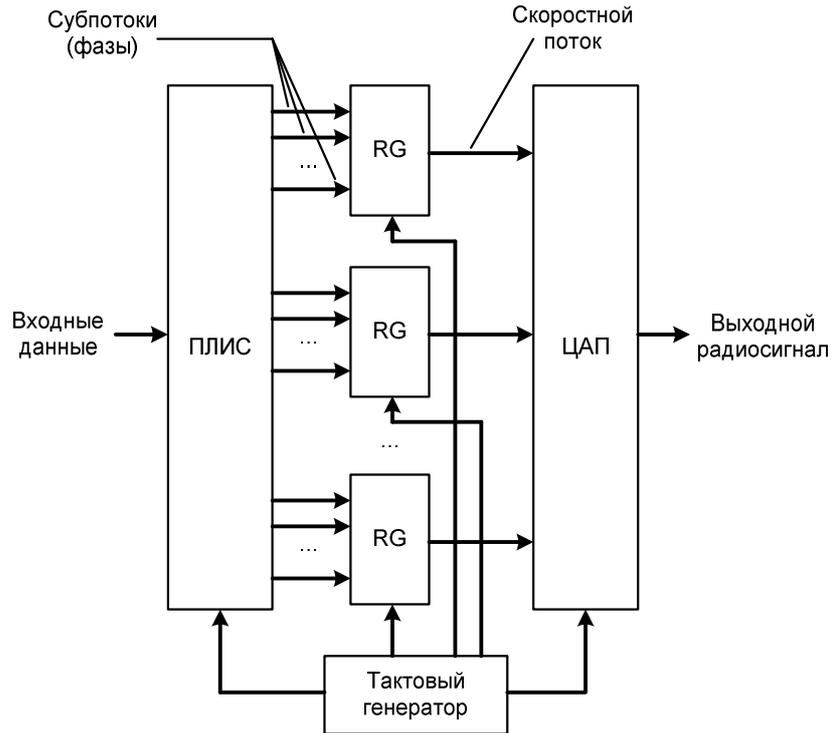


Рис. 3. Согласование скоростей цифровых потоков отсчетов между ПЛИС и ЦАП

В тоже время при использовании данного технического решения спектр сигнала на выходе АЦП будет неоднозначным, и определить частоту сигнала по такому спектру будет невозможно.

Для устранения неоднозначности спектра можно ввести второй канал АЦП, работающий на другой частоте дискретизации. Правильный выбор соотношения частот дискретизации в первом F_{T1} и втором F_{T2} канале монобитного АЦП позволит полностью устранить неоднозначность при определении несущей частоты входного радиосигнала.

На рис. 4 приведена структурная схема монобитного цифрового устройства обработки радиосигналов, построенная на основе предложенного технического решения.

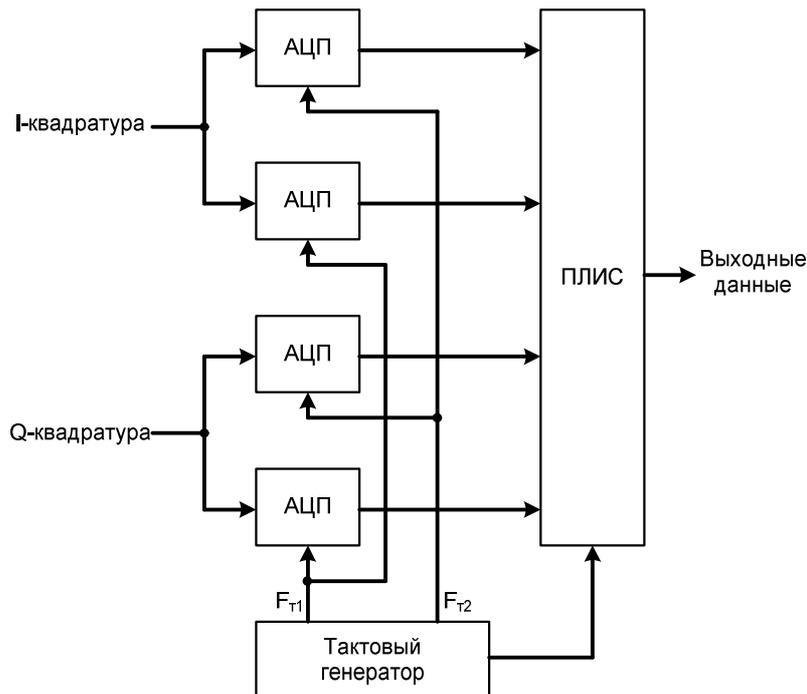


Рис. 4. Монобитное цифровое устройство обработки радиосигналов

Заключение

Анализ принципов построения широкодиапазонных устройств обработки и формирования радиосигналов, основных технических характеристик скоростных АЦП, ЦАП и ПЛИС отечественного производства и особенностей их применения при создании широкодиапазонных цифровых устройств приводит к следующим выводам:

1. Основу современных широкодиапазонных устройств обработки и формирования радиосигналов составляют скоростные АЦП, ЦАП и ПЛИС.
2. Отечественные скоростные АЦП, ЦАП и ПЛИС по своим техническим характеристикам во многом уступают своим зарубежным аналогам, что затрудняет их прямое использование в цифровых устройствах обработки и формирования широкодиапазонных радиосигналов.
3. Применение специальных технических решений и алгоритмов обработки радиосигналов, например, таких как формирование скоростного цифрового потока отсчетов из отдельных фаз, использование монобитной цифровой технологии обработки радиосигналов позволяет строить специализированные цифровые устройства на отечественной элементной базе с функциональными возможностями и техническими характеристиками (диапазон рабочих частот, динамический диапазон и т. д.), сопоставимыми с аналогами, выполненными на зарубежной элементной базе.

Литература

1. Спецификация на микросхему 5101НВ025 // Компания АО «ПКК Миландр» [Официальный сайт]. – http://milandr.ru/uploads/Products/product_280/spec_5101NB025.pdf (дата обращения: 26.04.2015).
2. Спецификация на микросхему 5101НВ015 // Компания АО «ПКК Миландр» [Официальный сайт]. – http://milandr.ru/uploads/Products/product_278/spec_5101NB015.pdf (дата обращения: 26.04.2015).
3. Техническое описание на микросхему 1273ПА5У // Предприятие АО «НИИЭТ» [Официальный сайт]. – http://www.niiet.ru/images/docs/ТО_1273PA5Y.pdf (дата обращения: 26.04.2015).
4. Техническое описание на микросхему 1273ПА6У // Предприятие АО «НИИЭТ» [Официальный сайт]. – http://www.niiet.ru/images/docs/ТО_1273PA6Y.pdf (дата обращения: 26.04.2015).
5. Основные характеристики микросхемы 1273ПА11Т // Предприятие АО «НИИЭТ» [Официальный сайт]. – <http://www.niiet.ru/chips/nis/98-products/chips/current-dev-имс/479-1273pa11t> (дата обращения: 26.04.2015).
6. Основные характеристики микросхемы 1273ПА12Т // Предприятие АО «НИИЭТ» [Официальный сайт]. – <http://www.niiet.ru/chips/nis/98-products/chips/current-dev-имс/481-1273pa12t> (дата обращения: 26.04.2015).
7. Основные характеристики микросхемы 1273ПА13Т // Предприятие АО «НИИЭТ» [Официальный сайт]. – <http://www.niiet.ru/chips/nis/98-products/chips/current-dev-имс/482-1273pa13t> (дата обращения: 26.04.2015).
8. Каталог изделий «ВЗПП-С» // Предприятие АО «ВЗПП-С» [Официальный сайт]. – <http://www.vzpp-s.ru/production/catalog.pdf> (дата обращения: 26.04.2015).
9. Карманов, Ю.Т. Цифровая технология обработки СВЧ радиосигналов в широком частотном диапазоне / Ю.Т. Карманов, А.Н. Николаев // Физика и технические приложения волновых процессов: тр. XI Междунар. науч.-техн. конф. – 2012. – С. 143–144.

Карманов Юрий Трофимович, д-р техн. наук, профессор, директор НИИ цифровых систем обработки и защиты информации, Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск; karmanovyt@susu.ac.ru.

Николаев Андрей Николаевич, старший преподаватель кафедры инфокоммуникационных технологий, заместитель директора НИИ цифровых систем обработки и защиты информации, Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск; Andrew.N@ Rambler.ru.

Поваляев Сергей Валентинович, старший преподаватель кафедры инфокоммуникационных технологий, Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск; svp.drts@gmail.com.

Поступила в редакцию 16 мая 2015 г.

APPLICATION OF RUSSIAN ELEMENT BASE IN BROADBAND DIGITAL DEVICES FOR PROCESSING AND GENERATING OF RADIO SIGNALS

*Yu. T. Karmanov, South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation,
karmanovyt@susu.ac.ru,*

*A.N. Nikolaev, South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation,
Andrew.N@rambler.ru,*

*S.V. Povalyaev, South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation,
svp.drts@gmail.com*

The article describes the principles of modern broadband devices for processing and generating radio signals. It found that the high-speed programmable logic integrated circuits (FPGA), analog-to-digital (ADC) and digital-to-analog (DAC) converters are the key components of broadband radio electronic systems. Specifications of the Russian FPGA, ADC and DAC are given. It is shown that the Russian high-speed FPGA, ADC and DAC are inferior to their foreign analogs in many ways. This hampers their direct use in digital broadband devices for processing and generating radio signals. For example the maximum clock frequency of high-speed Russian ADC doesn't exceed 125 MHz. At the same time the maximum clock frequency of foreign ADC is up to 1000...5000 MHz. Specialized blocks for digital signal processing (e.g. serial digital data transmission channels with a bandwidth of several gigabits per second) miss from the Russian FPGA. Foreign FPGA have tens of such specialized blocks. Problems of measuring the frequency of radio signals over a wide frequency range and rate matching digital streams between Russian FPGA and DAC are analyzed. It is shown that the application of special technical solutions and algorithms allows to build the broadband digital device for processing and generating radio signals on the Russian element base. For example the use of monobit digital technology allows to evaluate the frequency of the signal over a wide frequency range at the minimum requirements to the applied digital chips.

Keywords: analog-to-digital converter, digital-to-analog converter, programmable logic integrated circuit, broadband radio electronic systems, monobit digital technology.

References

1. *Spetsifikatsiya na mikroskhemu 5101NV025* [IC Specification 5101NV025]. Available at: http://milandr.ru/uploads/Products/product_280/spec_5101HB025.pdf (accessed 26 April 2015).
2. *Spetsifikatsiya na mikroskhemu 5101NV015* [IC Specification 5101NV015]. Available at: http://milandr.ru/uploads/Products/product_278/spec_5101HB015.pdf (accessed 26 April 2015).
3. *Tekhnicheskoe opisanie na mikroskhemu 1273PA5U* [IC Specification 1273PA5U]. Available at: http://www.niiet.ru/images/docs/TO_1273PA5Y.pdf (accessed 26 April 2015).
4. *Tekhnicheskoe opisanie na mikroskhemu 1273PA6U* [IC Specification 1273PA6U]. Available at: http://www.niiet.ru/images/docs/TO_1273PA6Y.pdf (accessed 26 April 2015).
5. *Osnovnye kharakteristiki mikroskhemy 1273PA11T* [IC Base Specification 1273PA11T]. Available at: <http://www.niiet.ru/chips/nis/98-products/chips/current-dev-imc/479-1273pa11t> (accessed 26 April 2015).
6. *Osnovnye kharakteristiki mikroskhemy 1273PA12T* [IC Base Specification 1273PA12T]. Available at: <http://www.niiet.ru/chips/nis/98-products/chips/current-dev-imc/481-1273pa12t> (accessed 26 April 2015).
7. *Osnovnye kharakteristiki mikroskhemy 1273PA13T* [IC Base Specification 1273PA13T]. Available at: <http://www.niiet.ru/chips/nis/98-products/chips/current-dev-imc/482-1273pa13t> (accessed 26 April 2015).
8. *Katalog izdeliy "VZPP-S"* [Product Catalog "VSDF-B"]. Available at: <http://www.vzpp-s.ru/production/catalog.pdf> (accessed 26 April 2015).

9. Karmanov Yu.T., Nikolaev A.N. *Tsifrovaya tekhnologiya obrabotki SVCh radiosignalov v shirokom chastotnom diapazone* [Digital Processing Technology of Microwave Radio Signals over a Wide Frequency Range]. *Fizika i tekhnicheskie prilozheniya volnovykh protsessov: tr. XI Mezhdunar. nauch.-tekh. konf.* [The Physics and Technology of Wave Processes: Proc. XI Int. Conf.]. Yekaterinburg, 2012, pp. 143–144.

Received 16 May 2015

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Карманов, Ю.Т. Применение отечественной элементной базы в широкодиапазонных цифровых устройствах обработки и формирования радиосигналов / Ю.Т. Карманов, А.Н. Николаев, С.В. Поваляев // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». – 2015. – Т. 15, № 3. – С. 57–65. DOI: 10.14529/ctcr150308

FOR CITATION

Karmanov Yu.T., Nikolaev A.N., Povalyaev S.V. Application of Russian Element Base in Broadband Digital Devices for Processing and Generating of Radio Signals. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Computer Technologies, Automatic Control, Radio Electronics*, 2015, vol. 15, no. 3, pp. 57–65. (in Russ.) DOI: 10.14529/ctcr150308
