

УДК 621.396.621.59

## ДВОЙНОЙ БАЛАНСНЫЙ СМЕСИТЕЛЬ ДЛЯ ПЕРЕМНОЖЕНИЯ СВЕРХШИРОКОПОЛОСНЫХ ИМПУЛЬСНЫХ СИГНАЛОВ

А. М. Бобрешов, М. И. Малежин, В. А. Степкин, Г. К. Усков

*Воронежский государственный университет*

Поступила в редакцию 27.02.2014 г.

**Аннотация:** в статье рассмотрены основные методы приема сверхширокополосных сигналов. Особое внимание уделено особенностям применения корреляционных приемников. Показана необходимость решения проблемы, связанной с некорректной работой традиционных схем перемножения в случае сверхкоротких импульсных сигналов. Разработан метод перемножения импульсных сигналов для корреляционного сверхширокополосного приемника, основанный на применении двойного балансного смесителя на основе ячейки Гилберта. Проведено его моделирование и экспериментальное исследование. Для решения проблемы искажения импульса на выходе устройства предложено использовать активный дифференциальный преобразователь.

**Ключевые слова:** ячейка Гилберта, сверхширокополосный смеситель, сверхширокополосный импульсный сигнал, корреляционный прием.

## DOUBLE BALANCED MIXER FOR IMPULSE RADIO ULTRA-WIDE BAND APPLICATIONS

A. M. Bobreshov, M. I. Malezhin, V. A. Stepkin, G. K. Uskov

**Abstract:** the main methods of UWB signals receiving are described in this article. Special attention is paid to the specificity of correlation receivers. The necessity of solving the problem of incorrect functioning of the traditional schemes for multiplication is shown for the case of ultrashort pulse signals. The method of multiplying pulse signals for correlational UWB receiver, based on use of dual balanced mixer cell-based Gilbert, is developed. Modeling and experimental investigation are done. Active differential converter was used to solve the distortion problem of the pulse at the output of the device.

**Keywords:** Gilbert cell, ultra-wideband mixer, ultra-wideband pulse signal, coherent receiver.

## ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время активно разрабатываются радиосистемы, использующие сверхкороткие импульсные сигналы (СКИ) субнаносекундной длительности. Практическая значимость разработок систем радиолокации и передачи информации на основе подобных сверхширокополосных (СШП) сигналов обусловлена рядом преимуществ [1]–[3], которыми они обладают по сравнению с существующими системами связи. В первую очередь, это принципиально

большая информативность, достигаемая благодаря ширине используемой полосы частот. Помимо этого, амплитуды спектральных составляющих СШП сигналов сравнимы с шумовыми, что обеспечивает высокую скрытность, а возможность временного разделения каналов - помехоустойчивость. В свою очередь, СШП сигнал по отношению к приёмникам узкополосных радиосистем можно рассматривать как слабые помехи. Различные же сверхширокополосные системы используют разные алгоритмы построения кодирующих псевдослучайных последовательностей, общее число которых, в принципе велико. Поэтому случайные совпадения кодов у разных систем практически исключены, а целенаправленный подбор кода представляет собой сложную задачу.

В настоящее время для приёма подобных сигналов наиболее часто используются два вида способов: корреляционные и энергетические [4]–[6]. Преимуществами энергетических методов приема являются простота построения, эффективность при больших амплитудах сигнала, дешевизна изготовления. Однако такие методы обладают недостатками, существенно ограничивающими область их применения, такими как низкие помехоустойчивость и эффективность (высокая вероятность ошибки второго рода) при слабых амплитудах входных сигналов [5].

Для приёма СШП сигналов более перспективным представляется использовать метод корреляционного приема, основанного на сравнении принимаемого радиосигнала с сигналом опорного генератора. Основное преимущество этого метода перед энергетическим приемом состоит в том, что существует возможность реализации временного разделения сигнала и помех.

## **ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ КОРРЕЛЯЦИОННЫХ ПРИЁМНИКОВ**

В основе работы корреляционного приёмника лежит определение значения взаимной корреляционной функции принятого и опорного сигналов. На один из каналов смесителя через малошумящий усилитель подается принимаемый с антенны радиочастотный сигнал, на второй канал - сигнал гетеродина. Результат перемножения двух сигналов поступает на фильтр нижних частот (ФНЧ), где происходит выделение низкочастотной огибающей. Таким образом, формируется сигнал, равный значению взаимной корреляционной функции. Затем пороговое устройство выносит решение о наличии сигнала, если полученное значение превышает некоторый заранее определенный порог, либо о его отсутствии в обратном случае.

Применение традиционных методов корреляционного приема, используемых в узкополосных системах, становится невозможным в случае импульсных сигналов. Это связано с их некорректной работой при временном несовпадении принимаемого импульсного сигнала и опорного сигнала: на выходе смесителя наблюдается ненулевой сигнал. Особенно сильно этот эффект заметен при больших амплитудах входных сигналов.

Решить эту проблему можно уменьшив амплитуду принимаемого сигнала, однако при этом заметно снизится чувствительность приемника. Авторами предложен другой способ: использовать двойной балансный смеситель импульсных сигналов, построенный на базе ячейки Гилберта. В нем дифференциальные входной радиосигнал и опорный импульсный сигнал подаются на дифференциальные входы, что позволяет избавиться от синфазных помех, а также упростить схему устройства перемножения.

## **ДВОЙНОЙ БАЛАНСНЫЙ УМНОЖИТЕЛЬ**

Предлагаемое устройство перемножения импульсных сигналов является двойным балансным смесителем, выполненным на базе ячейки Гилберта. Ячейка Гилберта представляет собой три дифференциальных транзисторных пары, включенные по схеме, изображенной на рисунке 1.

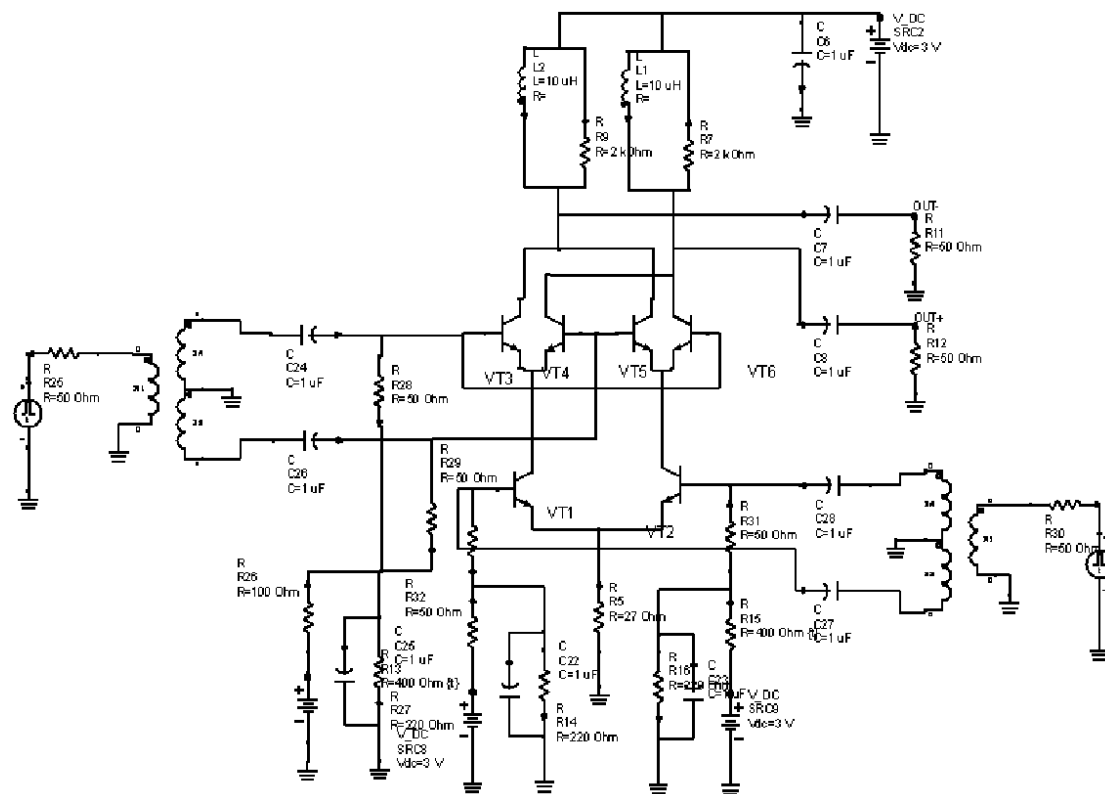


Рис. 1. Схема двойного балансного умножителя на ячейке Гилберта

Принимаемый с антенны сигнал подается на симметрирующий трансформатор, а затем через конденсаторы — дифференциально на базы верхних пар транзисторов VT3 и VT4, а также VT5 и VT6. Сигнал опорного генератора через трансформатор и разделительные конденсаторы в противофазе подается на базы нижних транзисторов VT1 и VT2, эмиттеры которых подключены на общий провод схемы через ограничительный резистор. Вход смесителя, с которого сигнал подается на верхнюю пару транзисторов, будем называть радиочастотным входом, а вход, с которого на нижнюю пару транзисторов ячейки Гилберта - входом опорного генератора. Перемножение сигналов осуществляется благодаря изменению проводимости нижних транзисторов, которые в каждый момент времени задают суммарный ток эмиттеров верхних транзисторов и работают по схеме токового зеркала. Коллекторы верхних транзисторов через разделительные конденсаторы подключаются к нагрузке, на которой можно наблюдать результат перемножения импульсов. Рабочие точки транзисторов задаются резисторными делителями напряжения.

Идеальные трансформаторы (рисунок 1) предназначены для дифференциального разделения принимаемого сигнала и сигнала гетеродина. Однако трудность практического применения трансформаторов заключается в том, что при работе в широкой полосе частот влияние паразитных параметров, таких как межвитковая емкость и емкость монтажа, становится существенным, что приводит к появлению собственных частот резонанса и, как следствие, искажение формы импульсов на выходе трансформатора.

Для решения этой проблемы предложено использовать активный дифференциальный преобразователь на ячейке Гилберта, как устройство, выполняющее преобразование входного и опорного импульсов, в результате которого они становятся дифференциальными.

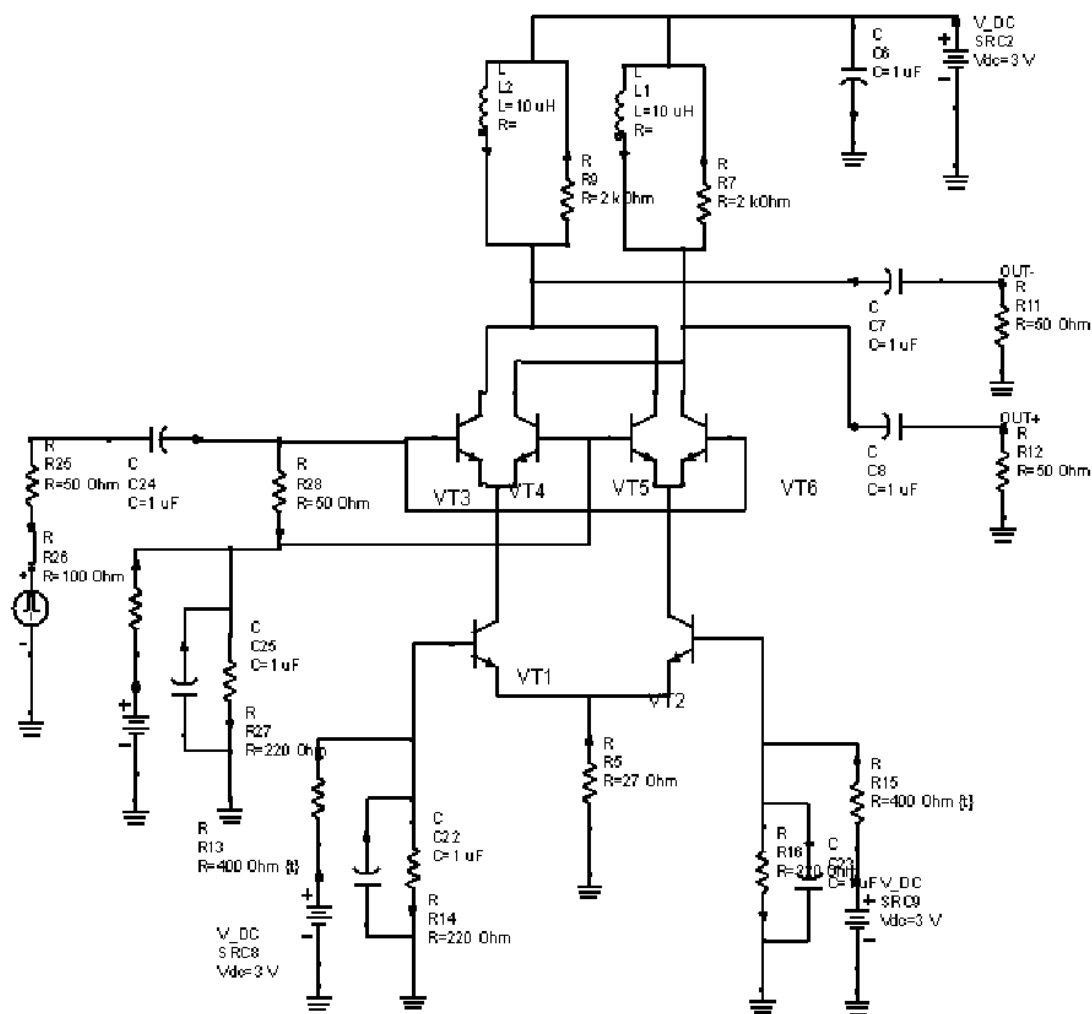


Рис. 2. Схема дифференциального преобразователя на ячейке Гилберта

## ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ

Исследуемая схема дифференциального преобразователя, изображенная на рисунке 2, построена на основе ячейки Гилберта. Здесь на базы верхних пар транзисторов подается принимаемый сигнал не дифференциально: один из двух входов ячейки через разделительную емкость подключен к общему проводу схемы. Кроме того, на базы нижних транзисторов через резисторные делители подается разное напряжение смещения рабочих точек, что позволяет регулировать коэффициент усиления предложенного устройства.

В работы проведено моделирование предложенной схемы преобразователя в пакете схемотехнического моделирования Advanced Design System 2011.10, в результате которого получен выходной сигнал, наблюдаемый на дифференциальных выходах, повторяющий по форме входной. Зависимость выходного сигнала, являющегося разностью дифференциальных сигналов, от входного линейна (рисунок 3) на участке от 0 до 300 мВ. Коэффициент усиления преобразователя составляет 4,5 дБ, динамический диапазон устройства - 50 дБ. При превышении динамического диапазона по амплитуде коэффициент усиления уменьшается.

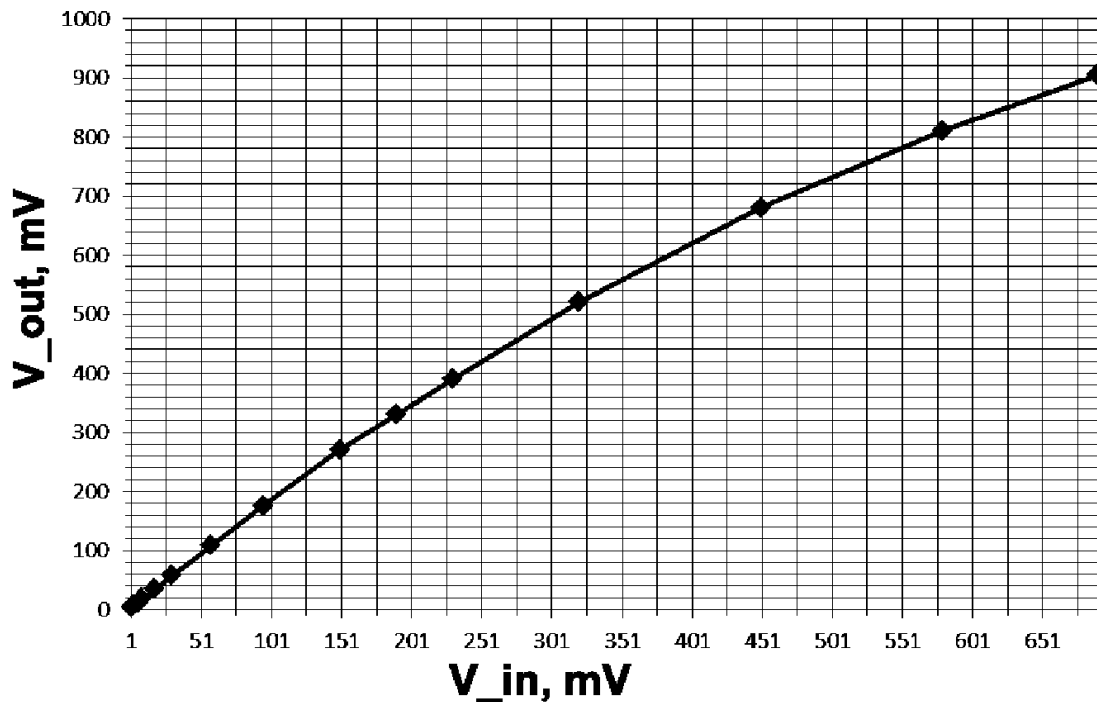


Рис. 3. Зависимость амплитуды выходного сигнала от входного

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ДВОЙНОГО БАЛАНСНОГО УМНОЖИТЕЛЯ

Предложенная схема смесителя была реализована на практике и проведено ее экспериментальное исследование. Блок-схема эксперимента представлена на рисунке 4.



Рис. 4. Блок-схема эксперимента

В качестве тестовых сигналов были использованы прямоугольные видеоимпульсы длительностью 10 нс и периодом повторения 10 МГц, которые формировались генератором Г5-56. С помощью этого генератора в ходе эксперимента варьировался временной сдвиг между сигналами на радиочастотном входе и входе опорного генератора.

Амплитуда импульсов, подаваемых на радиочастотный вход с дифференциального преобразователя, составляла от 12 мВ до 85 мВ, на вход сигнала опорного генератора - 85 мВ.

Запуск и синхронизация измерительной установки производилась генератором Agilent 81104A. Выходной сигнал смесителя регистрировался при помощи двухканального осцил-

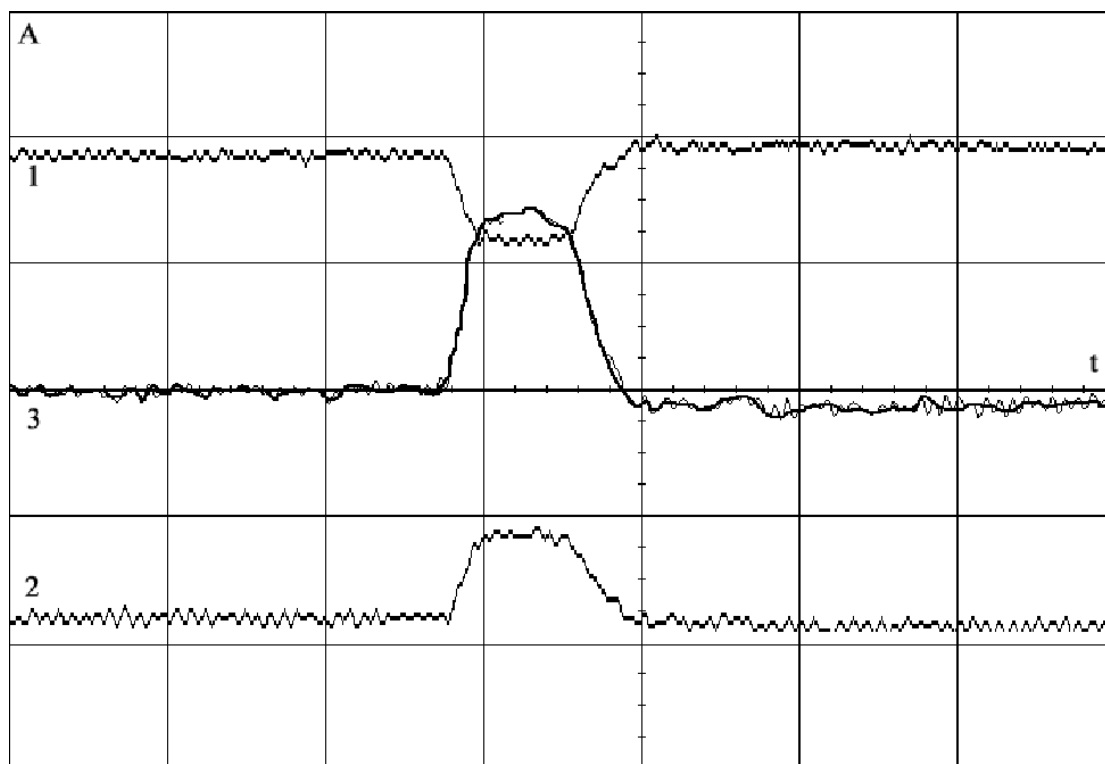


Рис. 5. Временные диаграммы сигналов на выходах умножителя при временном совпадении входных импульсов: 1,2 - сигналы с выходов смесителя относительно общего провода схемы, 3 - сигнал с выходов смесителя, снятый дифференциально

лографа Agilent DSO 7052A.

В экспериментальном исследовании сигнал на выходе разработанного СШП смесителя наблюдался дифференциально. На рисунке 5 приведены временные диаграммы, поясняющие работу предложенного СШП смесителя. Для приложений связи важной задачей является определение наличия сигнала на входе приемного устройства, поэтому в исследовании были рассмотрены две величины временного сдвига входного сигнала относительно опорного: совпадение по времени прихода импульсов и временное разнесение на величину не меньше, чем длительность импульса. В малосигнальном режиме работы смесителя (при амплитуде импульсов на радиочастотном входе  $\sim 12$  мВ) при отсутствии задержки относительно сигнала на входе опорного генератора на выходе наблюдался результат корректного перемножения входных сигналов. При временном сдвиге большем, чем длительность импульса, сигналы на обоих выходах смесителя отсутствовали, что так же подтверждает его корректную работу.

С увеличением амплитуды сигнала, подаваемого на радиочастотный вход до 85 мВ, при отсутствии задержки относительно опорного на выходе смесителя также наблюдалось их корректное перемножение. При временном разнесении импульсов на каждом из выходов смесителя наблюдались синфазные всплески напряжения, соответствующие входным сигналам, однако этот факт не влияет на форму сигнала, снимаемого с выходов смесителя дифференциально.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе предложен умножитель сверхкоротких импульсов, выполненный на базе дифференциального усилителя-преобразователя и двойного балансного смесителя на микросхеме

НФА3101, представляющей собой ячейку Гилберта. Данная микросхема выполнена на быстродействующих биполярных NPN транзисторах с граничной частотой 10 ГГц и обладает характеристиками, необходимыми для реализации перемножения сверхкоротких импульсов.

В результате экспериментального исследования дифференциального усилителя были подобраны параметры цепей смещения, которые позволяют получить на выходе дифференциальный сигнал и получить коэффициент усиления равным 4.5 дБ.

Анализ осциллограмм выходного сигнала при разных амплитудах входного радиочастотного сигнала и временных сдвигах между принимаемым импульсом и импульсом опорного генератора показывает, что полученные результаты могут быть применены при разработке сверхширокополосного когерентного приемника.

Работа выполнена в рамках Федеральной целевой программы “Научные и научно-педагогические кадры инновационной России” на 2009 – 2013 годы (Соглашение №14.В37.21.1168)

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Быков С.Ф. Передача речи в современных сетях связи / С.Ф. Быков, И.А. Шалимов // Специальная техника. — М.: 2000. — № 6. — С. 20–25.
- [2] Дмитриев В.Д. Технология передачи информации с использованием сверхширокополосных сигналов (UWB) / В.Д. Дмитриев // Компоненты и технологии. — 2003. — № 9. (Url: [http://www.kit-e.ru/articles/wireless/2003\\_09\\_72.php](http://www.kit-e.ru/articles/wireless/2003_09_72.php), 20.01.2014)
- [3] Иммореев И.Я. Сверхширокополосные радары: новые возможности, необычные проблемы, системные особенности / И.Я. Иммореев // Вестник МГТУ. — 1998. — № 4. — С. 128–133.
- [4] Qiu R.C. A Study of the Ultra-Wideband Wireless Propagation Channel and Optimum UWB Receiver Design / R.C. Qiu // IEEE Communications. — 2002. — V. 20, № 9. — P. 1628–1637.
- [5] Chao Y. Optimal and suboptimal receiver for ultrawideband transmitted reference systems / Y. Chao, R. Scholtz // Proc. IEEE GLOBECOM. — 2003. — № 3. — P. 759–763.
- [6] Taylor J. D. An Introduction to Ultra-Wideband Radar Technology / J.D. Taylor. — Boca Raton: FL: CRC, 1995. — 345 p.
- [7] Аналоговые перемножители сигналов в радиоэлектронной аппаратуре / В.Н. Тимонтеев, Л.М. Величко, В.А. Ткаченко. — М.: Радио и связь, 1982. — 114 с.
- [8] Jeffrey H. Reed. An Introduction to Ultra Wideband Communication Systems // Prentice Hall PTR, 2005. — 672 с.
- [9] T.-G. Ma, C.-J. Wu, C.-F. Chou. An impulse radio based ultra-wideband RF front-end module with a new multilayered microwave sampler // Progress In Electromagnetics Research. — 2008. — № 18 — С. 1-18.
- [10] Min Cheol Ha, Young Jin Park, Yun Seong Eo. A 3-5 GHz Non-Coherent IR-UWB Receiver / Min Cheol Ha, Young Jin Park, Yun Seong Eo // Journal of semiconductor technology and science. — 2008. — V. 8, №. 4. — С. 277–282.
- [11] Gerosa, M. Soldan, A. Bevilacqua, A. Neviani. A 0.18- $\mu$ m CMOS Squarer Circuit for a Non-Coherent UWB Receiver
- [12] Oleksiy Klymenko, Gunter Fischer, Denys Martynenko. A High Band Non-Coherent Impulse Radio UWB Receiver // Proceedings of the 2008 IEEE International Conference on Ultra-wideband (ICUWB2008), VOL. 3
- [13] Xinzhong Duo, SeziYamac, Mohammed Ismail and Li-Rong Zheng. CMOS UWB IR Non-Coherent Receiver for RF-ID Applications, 2006. — P. 213–216.
- [14] Gilbert, Barrie. A precise four-quadrant multiplier with subnanosecond response // IEEE Solid-State Circuits Society News. — 2007. — Vol. 12. — № 4. — С. 29–37.
- [15] Радиоприемные устройства: учебник для вузов / [под ред. В.И. Сифорова]. — М.: Советское радио, 1974. — 560 с.

[16] Hilbert Cell Transistor Array // Intersil Corporation. HFA3101 Datasheet. – September 2004. – FN3663.1 – pp. 1-12.

## REFERENCES

- [1] Bykov S.F., Shalimov I.A. Speech transmission in modern communication networks. [Bykov S.F., Shalimov I.A. Peredacha rechi v sovremennykh setyakh svyazi]. *Special'naya tekhnika – Special technique*, Moscow, 2000, Vol. 6, pp. 20–25.
- [2] Dmitriev V.D. Communication technology using ultra-wideband signals (UWB). [Dmitriev V.D. Tekhnologiya peredachi informatsii s ispol'zovaniem sverxshirokopolosnykh signalov (UWB)]. *Komponenty i tekhnologii – Components and technologies*, 2003, Vol. 9. (Url: [http://www.kit-e.ru/articles/wireless/2003\\_09\\_72.php](http://www.kit-e.ru/articles/wireless/2003_09_72.php), 20.01.2014).
- [3] Immoreev I.Ya. Ultra-wideband radar: new opportunities, unusual problems, system features. [Immoreev I.Ya. Sverxshirokopolosnye radary: novye vozmozhnosti, neobychnye problemy, sistemnye osobennosti]. *Vestnik MGTU – Herald of the Bauman Moscow State Technical University*, 1998, Vol. 4, pp. 128–133.
- [4] Qiu R.C. A Study of the Ultra-Wideband Wireless Propagation Channel and Optimum UWB Receiver Design // *IEEE Communications*, 2002, Vol. 20, no. 9, pp. 1628–1637.
- [5] Chao Y., Scholtz R. Optimal and suboptimal receiver for ultrawideband transmitted reference systems // *Proc. IEEE GLOBECOM*, 2003, Vol. 3, pp. 759–763.
- [6] Taylor J.D. *An Introduction to Ultra-Wideband Radar Technology* / J.D. Taylor – Boca Raton: FL: CRC, 1995, 345 p.
- [7] Timonteev V.N., Velichko L.M., Tkachenko V.A. Analog multiplier signals in electronic equipment. [Timonteev V.N., Velichko L.M., Tkachenko V.A. Analogovye peremnozhiteli signalov v radioelektronnoy apparature]. Moscow: Radio and Communications, 1982, 114 p.
- [8] Jeffrey H. Reed. *An Introduction to Ultra Wideband Communication Systems* // Prentice Hall PTR, 2005, 672 p.
- [9] T.-G. Ma, C.-J. Wu, C.-F. Chou. An impulse radio based ultra-wideband RF front-end module with a new multilayered microwave sampler // *Progress In Electromagnetics Research*, 2008, Vol. 18, pp. 1–18.
- [10] Min Cheol Ha, Young Jin Park, Yun Seong Eo. A 3-5 GHz Non-Coherent IR-UWB Receiver // *Journal of semiconductor technology and science*, 2008, Vol. 8, No. 4, pp. 277–282.
- [11] Gerosa, M. Soldan, A. Bevilacqua, A. Neviani. A 0.18- $\mu\text{m}$  CMOS Squarer Circuit for a Non-Coherent UWB Receiver.
- [12] Oleksiy Klymenko, Gunter Fischer, Denys Martynenko. A High Band Non-Coherent Impulse Radio UWB Receiver // *Proceedings of the 2008 IEEE International Conference on Ultra-wideband (ICUWB2008)*, VOL. 3.
- [13] Xinzhong Duo, SeziYamac, Mohammed Ismail and Li-Rong Zheng. CMOS UWB IR Non-Coherent Receiver for RF-ID Applications, 2006, pp. 213–216.
- [14] Gilbert, Barrie. A precise four-quadrant multiplier with subnanosecond response // *IEEE Solid-State Circuits Society News*, 2007, Vol. 12, no. 4, pp. 29–37.
- [15] Siforov V.I. Radio receivers: a textbook for high schools. [Radiopriemnye ustrojstva: uchebnik dlya vuzov / [pod red. V.I. Siforova]]. Moscow: Sovetskoe radio, 1974, 560 p.
- [16] Hilbert Cell Transistor Array // Intersil Corporation. HFA3101 Datasheet, September 2004, FN3663.1, pp. 1–12.



Бобрешов Анатолий Михайлович, заведующий кафедрой электроники Воронежского государственного университета, доктор физико-математических наук, г. Воронеж, Российская Федерация  
E-mail: bobreshov@phys.vsu.ru  
Тел.: +7-(473)-220-82-84

Bobreshov Anatoly Mikhailovich, Head of the of Electronics department of Voronezh state university, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Voronezh State University, Voronezh, Russian Federation  
E-mail: bobreshov@phys.vsu.ru  
Tel.: +7-(473)-220-82-84

Малезжин Максим Игоревич, студент 2 курса магистратуры кафедры электроники Воронежского государственного университета, г. Воронеж, Российская Федерация  
E-mail: magnet@bmail.ru  
Тел.: +7-(473)-220-82-84

Malezhin Maksim Igorevich, second year student of magistracy of Physical department of Voronezh State University, Voronezh, Russian Federation  
E-mail: magnet@bmail.ru  
Tel.: +7-(473)-220-82-84

Степкин Владислав Андреевич, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры электроники Воронежского государственного университета, г. Воронеж, Российская Федерация  
E-mail: stepkin@phys.vsu.ru  
Тел.: +7-(473)-220-82-84

Stepkin Vladislav Andreevich, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Assistant Professor, Department of Electronics, Voronezh State University, Voronezh, Russian Federation  
E-mail: stepkin@phys.vsu.ru  
Tel.: +7-(473)-220-82-84

Усков Григорий Константинович, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры электроники Воронежского государственного университета, г. Воронеж, Российская Федерация  
E-mail: uskov@phys.vsu.ru  
Тел.: +7-(473)-220-82-84

Uskov Grigory Konstantinovich, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Department of Electronics, Voronezh State University, Voronezh, Russian Federation  
E-mail: uskov@phys.vsu.ru  
Tel.: +7-(473)-220-82-84