

УДК 621.39

Система параметров интегрального приемника субмиллиметрового диапазона

Май О.В., д.т.н., проф. Денбновецкий С.В.

Одной из перспективных сфер применения терагерцовых технологий, являются системы связи и телекоммуникаций.

На сегодняшний день скорости локальных вычислительных систем достигли отметки 100 Гб/с и 40Гб/с (100 Ги 40G Ethernet соответственно), а в Украине достигнуто 10G Ethernet. Телевидение высокой четкости требует цифровой канал 1,5 Гб/с и 6Гб/с. Поэтому стандарты 10G пригодны для передачи такого трафика. В настоящее время необходимо создание цифровых беспроводных систем, способных напрямую соединяться с 10G системами [1].

На международной конференции ISSCC 2017 (Сан-Франциско, штат Калифорния) Хиросимский Университет, Национальный Институт информатики и коммуникационных технологий и корпорация Panasonic заявили о совместно разработанном передатчике для линий связи терагерцового диапазона. Передатчик позволяет пересылать цифровые данные со скоростью 105 Гб/сна один канал в полосе частот от

290 до 315 ГГц. Полученная производительность более чем на порядок выше, чем у мобильных сетей пятого поколения (5G) [2].

В настоящее время проблеме использования сверхширокополосных импульсных радиосигналов (IR-UWB) в системах связи уделяется большое внимание. Это связано с тем, что эти сигналы имеют ряд преимуществ по отношению к узкополосным и широкополосным сигналам, основанным на синусоидальных несущих.

В системах связи с использованием сверхширокополосных импульсных радиосигналов (IR-UWB) для передачи каждого бита информации используется не отдельные моноимпульсы, а ортогональные во времени кодовые последовательности моноимпульсов, что позволяет совершать прием сигналов при низком уровне сигнал/шум путем накопления энергии этих импульсов.

В настоящее время на использование IR-UWB сигналов Федеральной Комиссией Связи (США) и Администрацией Связи

Европейского Сотрудничества введены ограничения: диапазон частот и спектральная плотность мощности ограничена частотами 3,1-10,6 ТГц и максимальная плотность этих сигналов не должна превышать 41,3 дБм/МГц. Поэтому использование IR-UWB сигналов в субмиллиметровом диапазоне представляет практический интерес, связанный с передачей этих сигналов на большие расстояния.

Одной из важнейших проблем освоения диапазона 0,3-1,0 ТГц все еще остается недостаточное наличие элементной базы твердотельных устройств, способных генерировать требуемые уровни мощности (единицы милливольт и более) и требуемой стабильности частоты (табл.1.)[3],[4].

Перспективным направлением развития систем диапазона 0,3-1,0

ТГц является разработка и внедрение новых схемотехнических решений при построении приемопередающего и антенного оборудования, что позволит обеспечить необходимые электрические и энергетические характеристики.

Структурная схема интегрального приемника.

Ключевыми элементами радиорелейной связи являются радиоэлектронные приемопередающие устройства, способные формировать и передавать модулированные сигналы необходимой скорости (от 1 Гб/с и выше) и принимать и обрабатывать сигналы с приемлемой высокой чувствительностью.

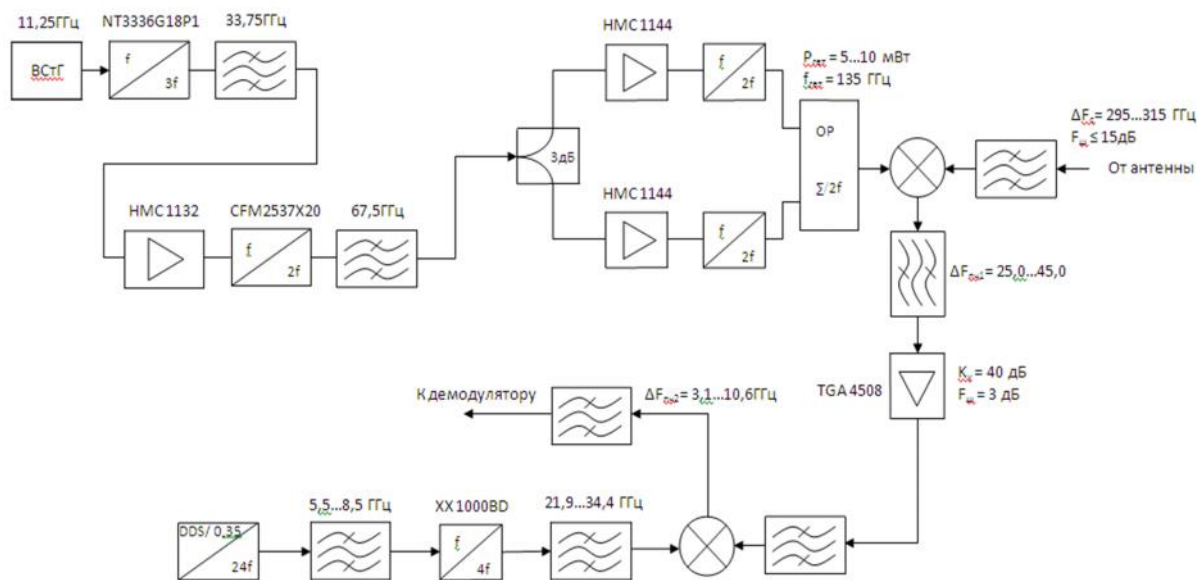


Рис. 1. Структурная схема интегрального приемника субмиллиметрового диааона.

Структурная схема интегрального приемника (рис.1) состоит из полосно-пропускающего фильтра (ППФ), первого балансного смесителя, первого гетеродина и усилителя промежуточной частоты (УПЧ), второго балансного смесителя и второго гетеродина.

Диапазон промежуточных частот первого смесителя составляет 25,0...45,0 ГГц, второго - 3,1...10,6 ГГц.

Табл. 1.

Скорость передачи данных, Мбит/с	Стандарт	Тип модуляции
480	UWB, USB 2.0	PPM/другой тип
90	Fast Ethernet	
54	802.11a	60-QAM, 16-QAM, BPSK, OFDM
20	802.11g	60-QAM, 16-QAM, BPSK, OFDM
11	802.11b	ССК
1	Bluetooth	GMSK

Важной характеристикой линии связи является удельная плотность трафика. Пространственная плотность трафика сверхширокополосных и других систем приведена в таблице 2.

Табл. 2.

Стандарт	Удельная плотность трафика, Мбс/м ²
802.11b	1,0
Bluetooth	20,0
802.11a	83,0
UWB, USB 2.0	1000

Широкое использование терагерцовых технологий в линиях диапазона 0,3-1,0 ТГц позволяет

Таким образом, реализована «сквозная» полоса пропускания $\Delta f = 7,5$ ГГц, что позволяет использовать уже разработанное модемное оборудование.

Сравнительные характеристики сверхширокополосных и других систем приведены в табл.1.

реализовать потоки до 1000 Мбс/м².

Моделирование функциональных узлов интегрального приемника

Частотный преобразователь сигнала

Балансный смеситель построен по схеме преобразователя с накачкой на половинной частоте гетеродина. В качестве нелинейных элементов применены два включенных встречно-параллельно диода Шоттки АА138-В3 (или аналог), верхняя граница частоты которого составляет 300 ГГц.

Конструкция преобразователя содержит два квазиоптических

сверхразмерных волновода, со стороны гетеродина сечением волновода $7,0 \times 3,5$ мм, а со стороны сигнала металлодиэлектрический волновод сечением 10×10 мм. Эти волноводы объединены микросборкой состоящей из планарной антенны, балансного смесителя и усилителя промежуточной частоты.

Конструктивно преобразователь частоты выполнен в виде волноводной вставки.

Гетеродин

Субгармоническая схема частотного преобразователя частоты позволяет снизить рабочую частоту гетеродина, что в некоторой степени облегчает разработку гетеродинной цепи. Тем не менее, сохраняются жесткие требования к стабильности гетеродина и уровню фазовых шумов.

Введение в схему гетеродина квазиоптического открытого резонатора обладающего селективными свойствами и пространственным сложением мощностей позволило на существующей элементной базе реализовать гетеродин с необходимыми уровнем мощности ($5 \dots 10$ мВт), фазовых шумов (-80 дБн/10кГц) и стабильностью частоты гетеродина - $\pm 1 \times 10^{-7}$ [5].

Усилитель промежуточной частоты

Схема УПЧ состоит из двух каскадов и построена на микросхеме TGA 4508 фирмы TriQuint ($K_y = 40$ дБ; $K_{ш} = 3,0$ дБ). Кроме усилительных микросхем, схема УПЧ содержит вторичные источники питания, формирующие стабилизированное напряжение на микросхеме.

УПЧ конструктивно совмещен с микросхемой смесителя для минимизации потерь слабого сигнала ПЧ.

Конструктивные особенности.

Интегральный приемник выполнен в модульном исполнении с максимальным применением монолитных микросхем, обеспечивает компактность конструкции, а также удобство его сборки и монтажа.

Для обеспечения качественной работы приемника будут разработаны вторичные источники питания, формирующие необходимые высокостабильные напряжения для всех узлов приемника.

Сквозная частотная характеристика приемника имеет суммарный коэффициент передачи не менее 40 дБ, при этом неравномерность коэффициента передачи не превышает 3 дБ.

Сравнительные характеристики интегральных приемников 250-300 ГГц приведены в таблице 3[6,7].

Табл. 3.

Радиосистема	250*	300 ГГц**	300 ГГц
Частота, ГГц	250	290-310 ГГц	295-315 ГГц
Полоса частот, ГГц	16	20	20
Скорость цифрового потока, Гб/с	8	10	10
Коэффициент шума, дБ	10	15	15
Коэффициент передачи приемного тракта, дБ, не менее	40	40	40
Частота гетеродина, ГГц	–	135	135
Мощность гетеродина, дБм, не менее	10	10	5
Фазовый шум гетеродина, дБн/10кГц, не более	– 80	– 80	– 80
Динамический диапазон, дБ	60	60	60
Нестабильность частоты	$\pm 1 \times 10^{-7}$	$\pm 1 \times 10^{-7}$	$\pm 1 \times 10^{-7}$
Модуляция	APSK	APSK	QPSK 2 QAM 16, 32, 64
Технология	InP, GaAs	InP, GaAs	InP, GaAs

Выводы

Разработанная конструкция преобразователя частоты на металлодиэлектрическом волноводе (10×10 мм), состоящая из квазиоптического открытого резонатора, сверхразмерных прямоугольных металлического и металлодиэлектрического волноводов и микросборки с нелинейными элементами, позволяет реализовать широкие полосы рабочих частот (20 ГГц и более).

Введение в гетеродин квазиоптического открытого резонатора обладающего селективными свойствами и пространственным сложением мощности позволяет достигнуть

требуемого уровня мощности (5-10дБм) гетеродина преобразователя частоты.

На базе разработанных электронных компонентов и узлов спроектирована базовая конструкция интегрального приемника диапазона 295-315 ГГц с коэффициентом шума на уровне 15дБ, которая выполнена в модульном исполнении с максимальным применением монолитных микросхем.

Литература

1. М.Е. Ильченко, Т.Н. Нарытник, Б.Н. Шелковников, В.И. Христенко. Радиотелекоммуникационные системы терагерцового

- диапазона. Электроника и связь 3. Тематический выпуск «Электроника и нанотехнологии», 2011;
2. www.isscc.org;
 3. 300 GHztransmissionsystem / C. Jastrow, K. Munter, R. Piesiewicz, T. Kurner, M. Kochand, T. Kline-Ostmann // ElectronicsLetters. – 2008. – vol.44, No.3.-p.75-77;
 4. Peter H. Siegel. Terahertz technology // IEEE Transaction on Microwave Theory and Techniques.-2002.-vol.50, No.3-p.910-928;
 5. M.Ye. Ilchenko¹, T.N. Narytnik², S.V. Denbnovetski¹, O.V. MayMai¹, O.V. Lutchak¹, & A.I. Fisun², O.I. Belous². Modelling of functional units of the terahertz band transmitting and receiving radio paths. Telecommucation and Radio engineering, 75 (x): 1-13(2016);
 6. H.J. Song, K. Ajito, A. Hirata, A. Wakatsuki: 8 Gbit/s wireless data transmission at 250 GHz, Electronics Letters, 22nd of October, 2009, Vol. 45, No. 22;
 7. Tae Jin Chung and Won-Hui Lee: 10-Gbit/s Wireless Communication System at 300 GHz, ETRI Journal, Volume 35, Number 3, June 2013, p.386-396.