

УДК 621.396.61, 397.62

СОВРЕМЕННЫЕ ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ ПРИЕМНЫХ И ПЕРЕДАЮЩИХ ТРАКТОВ ЦИФРОВОЙ РАДИОСВЯЗИ

И.И. ЗАБЕНЬКОВ, С.Л. ЖДАНОВ

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
П. Бровка, 6, Минск, 220013, Беларусь*

Поступила в редакцию 9 января 2003

В статье рассматриваются принципы построения приемных и передающих устройств цифровой радиосвязи. Особенностью таких устройств является использование спектрально-эффективных сигналов и современных СБИС, совмещающих технологии аналоговой и цифровой схемотехники. Обсуждаются особенности структурных схем радиоприемных и радиопередающих устройств с цифровым формированием и обработкой высокочастотного радиосигнала. Приводятся результаты расчетов и экспериментальных исследований.

Ключевые слова: радиосвязь, радиоприемные и радиопередающие устройства.

Радиосвязь — одна из наиболее динамично развивающихся отраслей инфраструктуры современного общества, органично связанная с его эволюцией во всемирном масштабе — от "индустриального" к "информационному". В настоящее время мировое сообщество вплотную подошло к реализации предельных задач в области развития телекоммуникационных систем — глобальных персональных сетей. В концепции развития универсальной персональной связи исключительное место отводится системам подвижной радиосвязи. Глобальной проблемой таких систем является ограниченность частотного ресурса — число фиксированных каналов в определенном частотном диапазоне не может бесконечно увеличиваться, потому средства радиосвязи с близкими рабочими частотами начинают создавать взаимные помехи. Решение этой проблемы видится в двух направлениях: а) организации транкинговых (сотовых) систем радиосвязи, использующих динамичное присвоение рабочих каналов множеству потребителей; б) разработка радиотехнических устройств — базовых, мобильных и персональных радиостанций с предельными характеристиками по избирательности, чувствительности, минимально возможной ширине спектра радиосигнала и т.п.

Использование новейших технологий и научных открытий в области радиотехники и связи позволило подойти к новому этапу развития систем и устройств радиосвязи — созданию цифровых систем, основанных на микропроцессорных методах обработки радиосигналов. Современные системы радиосвязи используют бинарные и многопозиционные цифровые сигналы, а также специальные спектрально-эффективные виды модуляции, такие как MSK, QAM, QPSK и их модификации. При этом особенностью цифровой частотной манипуляции (ЧМн) с непрерывной фазой является трудность прямого цифрового синтеза ЧМн сигнала с малыми индексами модуляции ($\psi=0,3-0,5$). Получение радиосигналов с ЧМн основывается на использовании квадратурного разложения модулирующего и несущего колебаний и применении балансной амплитудной модуляции. Это показано на рис. 1, где ЧМн радиосигнал $u(t)$ может быть представлен как четырехпозиционный сигнал ФМ, в котором огибающая каждого импульса является полупериодом синусоиды.

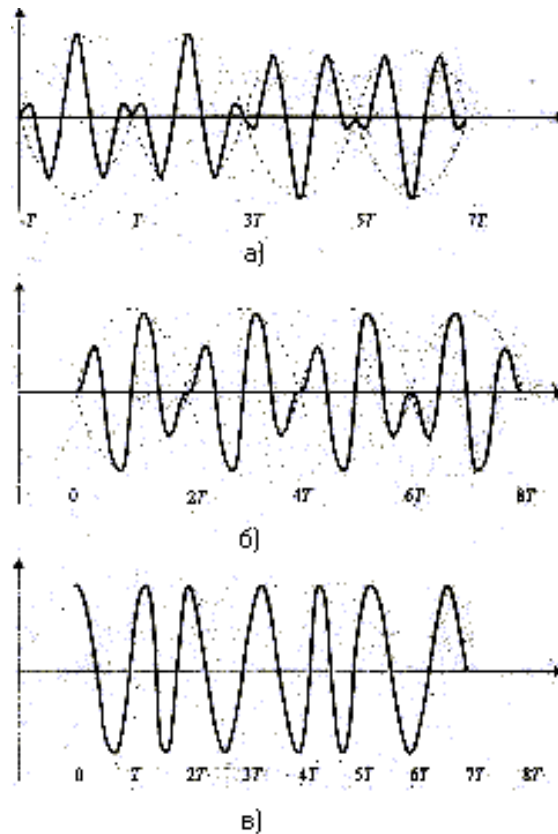


Рис. 1. Синфазная (а) и квадратурная (б) компоненты полного ЧМн (в) сигнала

$$u(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} [I_{2n}g(t-2nT) - jI_{2n+1}g(t-2nT-T)], \quad (1)$$

где $g(t)$ — сигнальный импульс.

$$g(t) = \begin{cases} \sin \frac{\pi t}{2T} & (0 \leq t \leq 2T) \\ 0 & \text{иначе} \end{cases}$$

Четные двоичные (± 1) символы $\{I_{2n}\}$ (1) информационной последовательности $\{I_{2n}\}$ передаются при помощи косинусоидной составляющей квадратурной несущей (I канал), а нечетные двоичные (± 1) символы $\{I_{2n+1}\}$ (1) передаются при помощи синусоидной составляющей (Q канал) несущей. Для получения в результате суммирования квадратурных балансно-модулированных несущих битовые переходы их сдвигаются во времени на T . В результате имеем ЧМн сигнал вида (рис.1,в):

$$u(t) = A \left\{ \left[\sum_{n=-\infty}^{\infty} I_{2n}g(t-2nT) \right] \cos \omega_c t + \left[\sum_{n=-\infty}^{\infty} I_{2n+1}g(t-2nT) \right] \sin \omega_c t \right\},$$

где ω_c — несущая частота.

Оптимизация формы огибающей модулированных квадратурных радиоимпульсов по Габору [2] приводит к гауссовскому виду огибающей. При этом получается наиболее компактный спектр, вид которого показан на рис. 2 [3]. Как видно из рис. 2, боковые спектральные составляющие ближнего спектра имеют уровень не выше -100 дБ относительно несущей в пределах полосы телефонного канала.

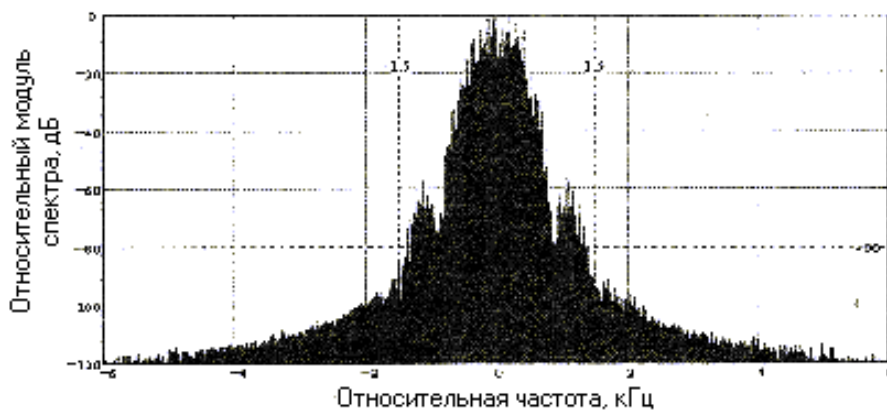


Рис. 2. Спектр ЧМ-сигнала с оптимальной по Габору формой модулирующей последовательности

Формирование и обработку таких спектрально-эффективных сигналов удобно проводить на современных СБИС — сигнальных микропроцессорах (DSP).

Структурная схема передающего устройства показана на рис. 3. В разработанном опытном образце приемопередатчика использован сигнальный микропроцессор ADSP 2181 фирмы Analog Devices. Экспериментальные исследования спектральных характеристик сигнала на выходе передающего блока показали, что реальное ухудшение спектральной чистоты за пределами полосы излучения относительно расчетного (рис. 3) составило 10–15 дБ. Управляющая программа процессора для формирования радиосигнала взяла на себя следующие функции: обработку цифрового модулирующего потока со сглаживанием битовых переходов по модифицированному закону Гаусса, генерацию несущего колебания, частотную манипуляцию. На выходе процессора установлен 14-разрядный ЦАП, сглаживающий ФНЧ, ключевой усилитель мощности и полосовой фильтр.

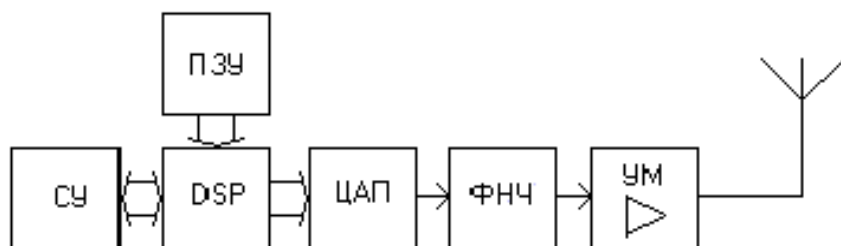


Рис. 3. Структурная схема передающего устройства цифрового сигнала (СУ — согласующее устройство ввода-вывода, ПЗУ — память программ, DSP — сигнальный микропроцессор, ЦАП — цифро-аналоговый преобразователь, ФНЧ — фильтр нижних частот, УМ — усилитель мощности)

В настоящее время одним из направлений развития сигнальных микропроцессоров является совмещение функций цифрового модулятора и синтезатора несущего колебания в двухкорневом процессоре. При этом цифровая импульсная (± 1) последовательность преобразуется в очень короткие импульсы, возбуждающие интерполяционный фильтр Найквиста. Последний формирует огибающую радиосигнала с весьма низкими помехами спектрального наложения и межсимвольными искажениями. Отметим, что для формирования квадратурной высокочастотной несущей, перестраиваемой в диапазоне частот, необходим отдельный блок синтезатора частот.

Развитие цифровых принципов построения устройств формирования радиосигналов идет в двух направлениях. Первое из них основано на традиционном прямом программном синтезе сигнальных отсчетов по известной математической модели радиосигнала. Возможные ограничения, связанные с этим принципом, основываются на резком снижении верхней граничной частоты радиосигнала из-за значительных временных затрат на программное выполнение алгоритма и выдчей очень коротких импульсов решения со скважностью порядка десятков-сотен тысяч. Возникают трудности выявления импульса решения, усложнение устройств его регистрации и искаже-

ний в ЦАП (устранения неодновременности срабатывания ключей ЦАП, завал плоской части ступенчатой формы сигнала и т.д.). Второе направление связано с созданием аналого-цифровых СБИС с микропроцессорным ядром и внутренним цифровым синтезатором частоты. Данное направления является более перспективным, так как позволяет значительно расширить верхнюю границу частотного диапазона и в значительной мере упростить программу цифрового управления СБИС.

Важной функцией, выполняемой также программным образом на DSP, является функция помехо- и криптоустойчивого кодирования. Наиболее распространенным является сверточное или блочное кодирование с перемежением и обратным декодированием по Витерби с мягким решением.

Оконечным устройством передатчика является усилитель мощности (УМ). Отметим, что для усиления сигналов с многопозиционными видами манипуляции (QAM) необходим УМ с очень высокой линейностью амплитудной характеристики. Его динамический диапазон по интермодуляционным искажениям второго и третьего порядков должен достигать 110–120 дБ. Такие УМ строятся по принципу усилителей со связью вперед, или используется метод цифрового многоимпульсного формирования высокочастотного синусоидального радиосигнала с предварительным изменением амплитудных отсчетов, противоположных искажению амплитудной характеристики УМ.

Использование сверхбыстродействующей цифровой техники позволило перераспределить функции приема и обработки слабого радиосигнала, начав цифровую обработку уже на первой промежуточной частоте 10–300 МГц [5]. На цифровой процессор возлагается выполнение следующих функций приема:

- а) фильтрация соседних мешающих каналов;
- б) детектирование радиосигнала;
- в) определение управляющего сигнала для автоматической регулировки усиления;
- г) синхронизация (тактовая, кадровая, ФАПЧ);
- д) декодирование протектированного сигнала;
- е) вторичная обработка.

Однако использование цифровой обработки требует других принципов построения основного тракта приема. Основной особенностью такой структуры является квадратурное разложение сигнала по Гильберту, когда аналитический сигнал можно представить в виде суммы

$$z_u(t) = u(t) + j\hat{u}(t),$$

где $u(t)$ — физический сигнал; $\hat{u}(t)$ — сопряженный сигнал, связанный преобразованием

$$\hat{u}(t) = \frac{1}{\pi} \int \frac{u(\tau)}{t-\tau} d\tau.$$

С помощью физического и сопряженного по Гильберту сигналов легко составить программу для реализации различных детекторных функций:

амплитудной

$$u(t) = \sqrt{u^2(t) + \hat{u}^2(t)};$$

фазовой

$$\varphi(t) = \arctg \frac{\hat{u}(t)}{u(t)};$$

частотной

$$\omega(t) = \frac{d\varphi(t)}{dt}.$$

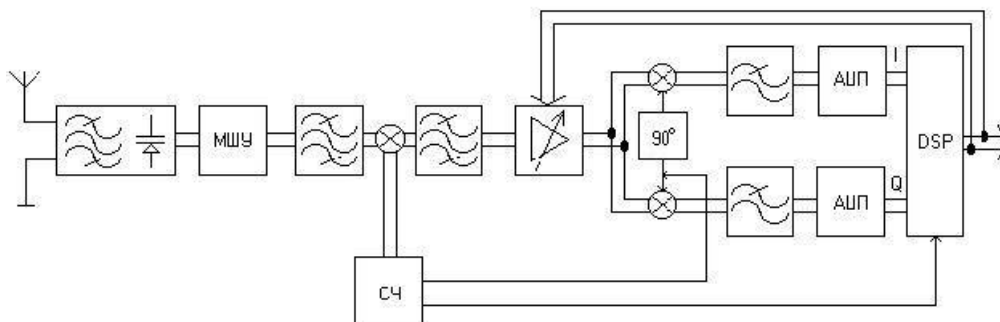


Рис. 4. Структурная схема приемного устройства цифрового сигнала (МШУ — малошумящий усилитель, СЧ — синтезатор частот, АЦП — аналого-цифровой преобразователь, DSP — сигнальный микропроцессор)

Устройство для приема и обработки цифрового сигнала в обязательной мере должно содержать аналоговый малошумящий и высоколинейный преселектор, включающий преобразователь частоты с фильтром высокой избирательности (рис. 4). Последующий квадратурный преобразователь разделяет ортогональные составляющие радиосигнала, которые через элайсинговые фильтры поступают на аналого-цифровые преобразователи и сигнальный микропроцессор для последующей программной обработки [4, 5]. Технические ограничения, связанные с недостаточным динамическим диапазоном аналого-цифровых преобразователей и возможностью наложения спектров полезного и мешающих сигналов, требуют введения в структуру цифрового приемника подсистемы цифро-аналоговой автоматической регулировки усиления и установки дополнительных антиэлайсинговых фильтров (фильтров противоналожения). Использование цифровой фильтрации позволяет решить задачу построения фильтров с высокой линейностью фазовой характеристики и создания передаточной функции фильтра с требуемым количеством нулей, совпадающими по частоте с мешающими сигналами.

Дальнейшее развитие техники цифровой радиосвязи связано с освоением более высоких диапазонов частот, повышением быстродействия сигнальных микропроцессоров на основе новейших нанотехнологий и совмещенных технологий СБИС с аналоговой и цифровой схмотехникой.

MODERN PRINCIPLES OF DIGITAL RADIO TRANSCEIVERS DEVELOPMENT

I.I. ZABENKOV, S.L. ZHDANOV

Abstract

The article is dedicated to the modern principles of digital radio transceivers development. These devices are distinguished by their application of spectral-effective signals and modern very large-scale integration incorporating both analogue and digital processing. The features of block diagrams of transmitting and receiving devices with digital generating and processing of RF-signal are discussed. The results of experimental probes and computations are provided.

Литература

1. Прокис Дж. Цифровая связь: Пер. с англ. / Под ред. Д.Д. Кловского. М., 2000.
2. Боккер П. Передача данных: Пер. с англ. С.М. Широкова. М., 1981, Т. 1.
3. Забеньков И.И., Ковш В.Н., Жданов С.Л. // Изв. Белорус. инж. акад. 1999. №1(7)/1. С. 38–40.
4. Забеньков И.И. Специальные вопросы техники и теории радиоприема. Цифровые приемные устройства. Мн., 1994.
5. Analog Dialog. 2001. Vol. 35. P. 9–11.