
ТЕХНОЛОГИИ АНАЛИЗА И ПРОЕКТИРОВАНИЯ СЕТЕЙ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ

УДК 621.376.9

А. С. МЕРКУТОВ, Д. В. КРУТИН, А. Н. ЦИСЛАВ, А. А. ПЛЕТНЕВ

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ СОЗДАНИЯ ЦИФРОВОЙ РАДИОСТАНЦИИ НА ОСНОВЕ КОГЕРЕНТНОГО ПРИЕМА GMSK-СИГНАЛОВ

С использованием САПР ADS исследована помехоустойчивость цифрового демодулятора при введении отстроек по несущей и тактовой частоте. Разработан макет радиостанции УКВ-диапазона и экспериментально проверена возможность ее использования в составе аппаратуры, работающей в системе радиосвязи с шагом сетки частот 6,25 и 3,125 кГц.

Ключевые слова: УКВ-радиостанция, GMSK, узкополосный прием, когерентный демодулятор.

Постоянный рост числа абонентов современных систем сухопутной подвижной радиосвязи, работающих в УКВ-диапазоне (например, 148—174 МГц), требует повышения спектральной эффективности передачи цифровой информации по радиоканалу с обеспечением всех требований международных стандартов [1]. В современной аппаратуре, как правило, используется шаг канальной частотной сетки 25 или 12,5 кГц, рассчитанный, в первую очередь, на полосу частот, требуемую для передачи FSK-сигнала с индексом модуляции больше единицы, и применение некогерентной демодуляции. Использование относительной фазовой модуляции с предварительной фильтрацией позволяет несколько сузить спектр передаваемого сигнала, однако при этом снижается энергетическая эффективность работы радиопередающих и радиоприемных трактов, что уменьшает срок работы аккумуляторных батарей в портативных устройствах и снижает помехоустойчивость радиоканала.

Цель настоящей работы заключается в исследовании возможности создания перспективной портативной радиостанции, обеспечивающей реализацию шага частотной сетки 6,25 и 3,125 кГц на основе выпускаемой современной промышленностью элементной базы. Для передачи сигнала по радиоканалу было предложено использовать GMSK-модуляцию с контролируемой величиной параметра BT (где B — полоса гауссова предмодуляционного фильтра по уровню -3 дБ; T — длительность информационного символа), что позволило обеспечить формирование модулированного сигнала с высокой спектральной эффективностью и максимально сузить полосу пропускания тракта промежуточной частоты принимаемого цифрового сигнала. Кроме того, пакетная идеология передачи цифровых данных в сеансе связи, широко используемая в современных радиостанциях, дает возможность применить методы когерентной демодуляции принятого сигнала при цифровой обработке в приемном тракте.

Исследования показали, что при шаге сетки частот 6,25 кГц качественная передача речевого сигнала возможна при модуляционной скорости 4 кбит/с. Для параметра GMSK-

сигнала $BT = 0,25$ уровень излучения в соседний канал составляет $\gamma = -69$ дБ, что отвечает (с запасом) требованиям международного стандарта [1].

Известно, что оптимальная демодуляция GMSK-сигнала как разновидности сигнала модуляции с непрерывной фазой (CPM) осуществляется на основе алгоритма Витерби. Сигналы GMSK при незначительных ограничениях также могут приниматься двухканальным MSK-приемником.

Синтезированная оптимальная структура демодулятора MSK-сигнала представлена в работе [2], там же рассмотрена структура приемника при учете флуктуирующей фазы центральной частоты и точно известной задержке цифрового сигнала. В работе [3] рассмотрены особенности синтеза модели приемника GMSK-сигнала при флуктуирующих значениях фазы центральной тактовой частоты. Один из вариантов модели приведен на рис. 1.

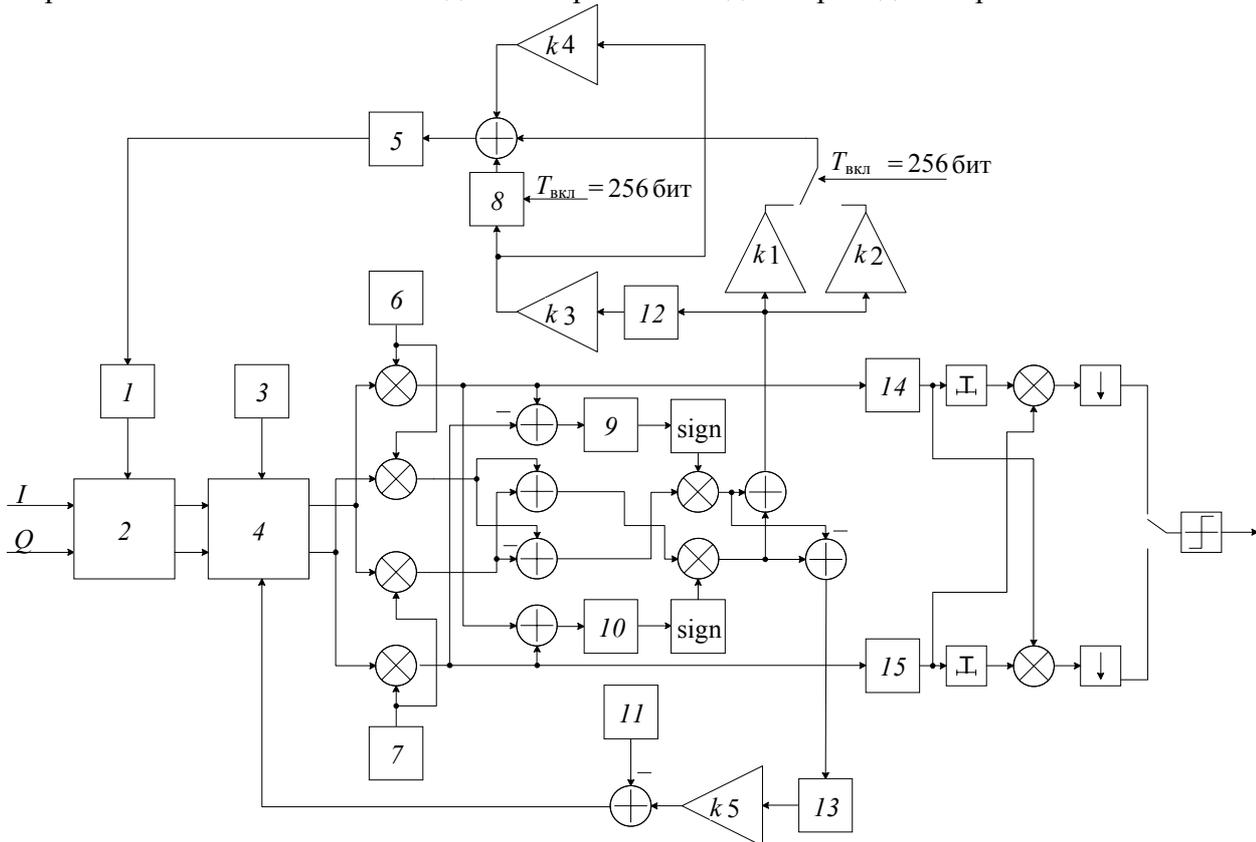


Рис. 1

При сеансовой связи передается преамбула, содержащая немодулированную центральную и четвертьтактовую частоту. Модели блоков детектирования (см. рис. 1) соответствуют функциональным схемам, приведенным в статьях [3, 4], здесь 1 — блок определения $\cos\varphi$ и $\sin\varphi$, φ — рассогласование по частоте; 2 — комплексный множитель; 3 — блок определения начальной задержки; 4 — блок варьируемой задержки; 5 — интегратор; 6 — генератор $\sin(2\pi/4T)$; 7 — генератор $\cos(2\pi/4T)$; 8 — начальная отстройка частоты; 9, 10 — скользящее суммирующее окно длиной T ; 11 — фиксированное смещение оценки текущей задержки, 12 — скользящее суммирующее окно с периодом $200T$; 13 — скользящее суммирующее окно с периодом $900T$; 14 — интегратор на интервале $[(2k+1)T, (2k+1)T]$; 15 — интегратор на интервале $[(2k+1)T, 2kT]$. Характеристики следящих петель фазовой и тактовой синхронизации исследованы в статье [4].

Проведено моделирование работы демодулятора при $BT=0,4$ с использованием подсистемы имитационного моделирования САПР Advanced Design System (ADS). Моделирование проводилось как для случая идеальной тактовой и фазовой синхронизации, так и для случая уходов несущей и тактовой частоты.

На рис. 2 приведены результаты расчета зависимости вероятности битовой ошибки ($P_{\text{ош}}$) от отношения средней энергии бита к спектральной плотности шума (E_b/N_0) — в условиях идеальной фазовой и тактовой синхронизации, а также при наличии относительных расстройок несущей ($\delta_n = \Delta F_n / F_{T0}$) и тактовой ($\delta_T = \Delta F_T / F_{T0}$) частоты. Здесь $\Delta F_n, \Delta F_T$ — абсолютные уходы несущей и тактовой частоты соответственно, F_{T0} — номинальная тактовая частота. Также моделировалась работа демодулятора при нарастающем отклонении частоты, т.е. исследовалось влияние доплеровского эффекта при изменении скорости движения передатчика или приемника. Моделирование смещений тактовых отсчетов показало, что петля тактовой автоподстройки может компенсировать как скачкообразные, так и плавные (медленные) уходы тактовой частоты. Было установлено, что в режиме отслеживания медленных уходов несущей и тактовой частоты при их скачкообразном изменении с относительной расстройкой $\delta_n \leq 0,0003$ и $\delta_T \leq 10^{-4}$ помехоустойчивость демодулятора будет соответствовать кривой 1 на рис. 2 (1 — случай идеальной синхронизации, начальная отстройка $\delta_n \leq 0,005$; 2 — при скачке несущей частоты с $\delta_n = 10^{-3}$; 3 — при скачке тактовой частоты с $\delta_T = 10^{-3}$).

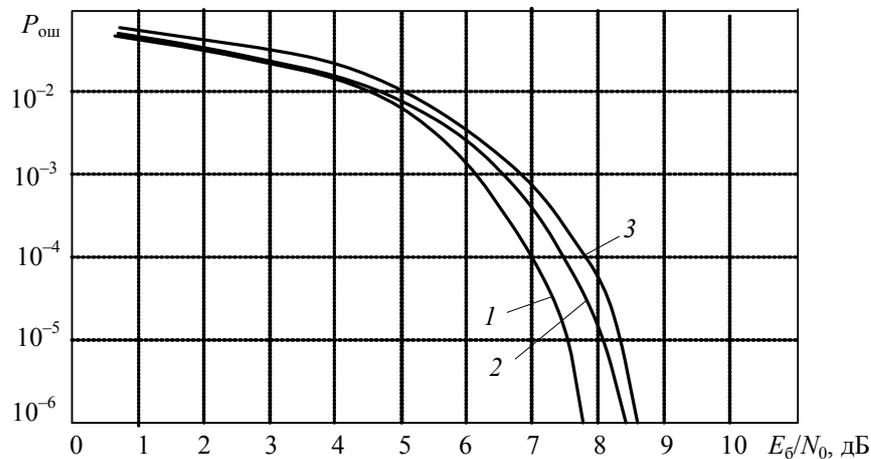


Рис. 2

В ходе исследований была также разработана структурная схема аналоговой части радиостанции. За основу при построении радиоприемного тракта была принята супергетеродинная схема с двумя преобразованиями частоты (рис. 3).

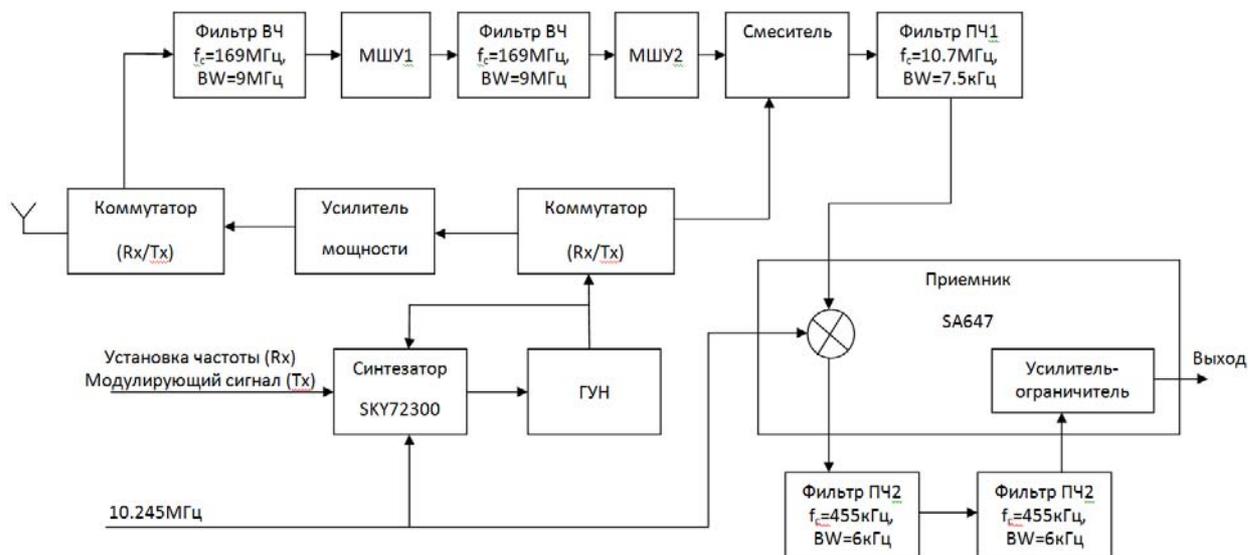


Рис. 3

Относительно узкая полоса входных частот (165—173 МГц) позволила использовать в преселекторе два фильтра на поверхностных акустических волнах, а также установить достаточно низкую первую промежуточную частоту (ПЧ) — 10,7 МГц. Это дало возможность выбрать стандартный кварцевый фильтр первой ПЧ с полосой пропускания 7,5 кГц и обеспечить более высокую стабильность частоты второго гетеродина, что очень важно при приеме узкополосных сигналов и использовании когерентных методов демодуляции, позволяющих отслеживать и компенсировать медленные изменения фазы и частоты в течение сеанса связи. В качестве первого каскада малошумящего усилителя был выбран биполярный транзистор АТ45511 с хорошими динамическими характеристиками и малым коэффициентом шума. Тракт второй ПЧ (455 кГц) был реализован на микросхеме интегрального приемника SA647 с парафазными выходами и фиксированной частотой сигнала гетеродина 10,245 МГц, формируемого опорным кварцевым генератором со стабильностью не хуже 1 ppm. Основную избирательность по соседнему каналу в данном случае обеспечили два внешних керамических фильтра второй ПЧ, включенные последовательно и имеющие суммарную полосу пропускания около 5 кГц. Возможность перестройки частоты с требуемым шагом (3,125 кГц) и минимальными фазовыми шумами была реализована синтезатором частоты SKY72000 с переменнo-дробным коэффициентом деления. Проведенный анализ системы фазовой автоподстройки частоты [4] и последующие исследования макета показали, что уровень фазовых шумов синтезатора на полосе 20 кГц вызывает среднеквадратичное отклонение фазы в опорном сигнале не более $0,5^\circ$ (рис. 4, 1), что практически не должно отразиться на работе когерентного демодулятора. Ограниченные по уровню парафазные сигналы с выхода тракта второй ПЧ поступают на вход квадратурного разделителя, реализованного в цифровой части радиостанции. Выходные сигналы разделителя являются входными для GMSK-демодулятора (рис. 1).

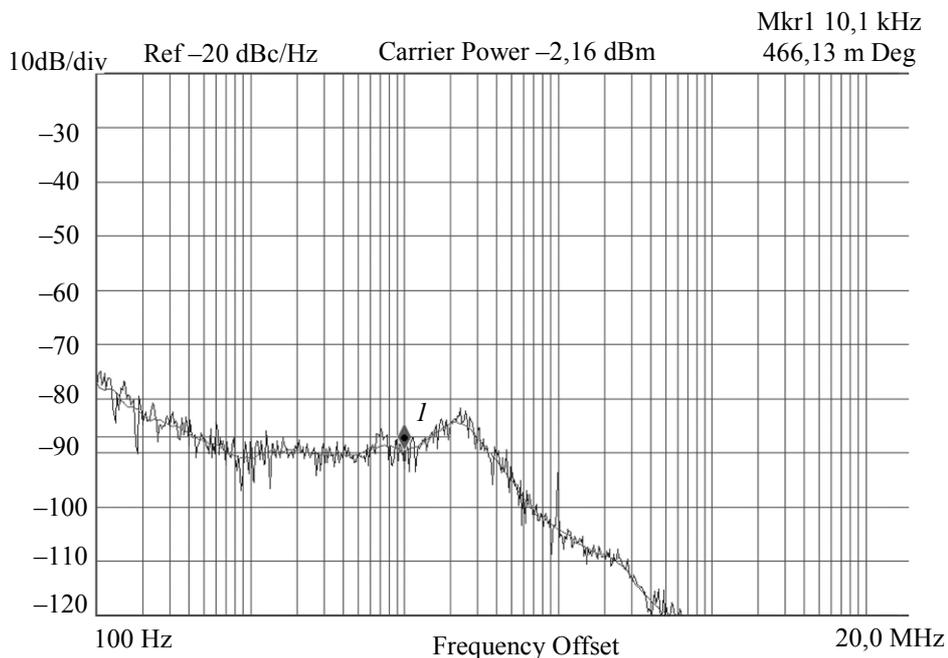


Рис. 4

Для формирования GMSK-сигнала в тракте передатчика было предложено использовать метод прямого синтеза сигнала на несущей частоте, который активно применяется в микросхемах интегральных трансиверов и может обеспечить высокую точность установки частоты девиации. Это позволило существенно снизить сложность аппаратуры и в то же время получить приемлемые значения побочных излучений в узкой полосе частот — не более -70 дБн, соответствующие требованиям международного стандарта. В результате включения на выходе усилителя мощности LC-фильтра 4-го порядка удалось снизить уровень второй гармоники

до -60 дБ относительно несущего сигнала. При проведении измерений был использован аттенюатор с коэффициентом ослабления 20 дБ.

На основании проведенных исследований были разработаны макеты радиостанции, по габаритам соответствующие типовым промышленно выпускаемым аналогам. В ходе экспериментальных исследований макета радиостанции получены следующие основные результаты: чувствительность радиоприемного тракта (скорость цифрового потока 3600 Бод, GMSK-сигнал, относительная битовая ошибка — $0,03$) — не более -127 дБм; избирательность по побочным каналам приема — не менее 65 дБ; избирательность по соседнему каналу (отстройка — $6,25$ кГц) — не менее 50 дБ; уровень побочных излучений передатчика в полосе 1 ГГц — не более -60 дБн; уровень побочных излучений на частоте соседнего канала ($\pm 6,25$ кГц) — не более -80 дБн; мощность передатчика — $1,6$ Вт.

Сравнение экспериментальных результатов с техническими характеристиками выпускаемых аналогов показывает целесообразность использования полученных схмотехнических и алгоритмических решений при разработке перспективной связной аппаратуры нового поколения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ETSI 300 113: June, 1996.
2. Белоусов Е. Л., Харисов В. Н. Оптимальный прием частотно-манипулированных сигналов с минимальным сдвигом // Радиотехника и электроника. 1984. № 3. С. 440—449.
3. Королев Н. В., Меркутов А. С., Крутин Д. В. Исследование помехоустойчивости квазиоптимального приемника GMSK-сигнала при реализации его цифровой части на ПЛИС // Вестн. Воронежского института МВД России. 2010. № 4. С. 38—42.
4. Меркутов А. С., Крутин Д. В. Фазовая и тактовая синхронизация сигналов в когерентном MSK-приемнике // Матер. IX Междунар. НТК „Перспективные технологии в средствах передачи информации“. Владимир: ВлГУ, 2011. Т. 2. С. 181—183.

Сведения об авторах

- Александр Сергеевич Меркутов** — канд. техн. наук, доцент; Владимирский государственный университет им. А. Г. и Н. Г. Столетовых, кафедра вычислительной техники; E-mail: merkutov@yandex.ru
- Денис Викторович Крутин** — Владимирский государственный университет им. А. Г. и Н. Г. Столетовых, кафедра вычислительной техники; инженер; E-mail: krutin.denis@gmail.com
- Андрей Николаевич Цислав** — Владимирский государственный университет им. А. Г. и Н. Г. Столетовых, кафедра вычислительной техники; научный сотрудник; E-mail: cislav@yandex.ru
- Александр Александрович Плетнев** — Владимирский государственный университет им. А. Г. и Н. Г. Столетовых, кафедра вычислительной техники; научный сотрудник; E-mail: Alexandr.Pletnerv@gmail.com

Рекомендована ВлГУ

Поступила в редакцию
17.04.12 г.