

УДК 621.396.67

ПРАКТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕКТРА ЧАСТОТНО-МОДУЛИРОВАННЫХ РАДИОСИГНАЛОВ

А.М. Шингарев, аспирант МГТУ

А.В. Микушин, доцент СибГУТИ, к.т.н.; mavr@electrosignal.ru

Ключевые слова: частотная модуляция радиосигнала, MSK, GMSK, GFSK-0,25, спектр, индекс модуляции, гауссовский фильтр, схема исследования, кварцевый фильтр.

В ряде систем передачи данных по радиоканалу, таких как VDL4 [1], для повышения пропускной способности радиоканала используется сигнал GFSK, однако характеристики этого сигнала в известной литературе не рассмотрены. Есть только небольшое упоминание об этом виде цифровой модуляции (манипуляции) в [5]. Данное обстоятельство обусловило необходимость подробно исследовать этот вид модуляции.

В статье исследованы спектральные характеристики сигнала GFSK-0,25 и проведено сравнение с характеристиками сигнала GMSK. Дана оценка влияния формы амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) кварцевых фильтров, входящих в состав приемопередатчиков, на точность формирования сигнала GFSK-0,25.

Проверка работы схемы на заранее известных сигналах. Для получения спектральных характеристик сигнала частотной модуляции FSK, подвидом которого является сигнал частотной модуляции с минимальным разносом частот MSK, в качестве частотного модулятора в эксперименте использовался прибор CMS-54 для измерения характеристик радиостанций производства фирмы Rohde&Schwarz. Для оценки линейности модуляционной характеристики этого прибора использовалась схема, приведенная на рис. 1.

Результаты измерения девиации частоты в зависимости от частоты внешнего модулирующего сигнала приведены в таблице. При этом верхняя строка соответствует результатам измерения модуляционной характеристики CMS-54 прибором СКЗ-46, а нижняя — СКЗ-45.

Эти же результаты представлены в виде графиков на рис. 2, где кривая 1 соответствует АЧХ, полученной с помощью измерителя частотной модуляции СКЗ-46, 2 — СКЗ-45. Из анализа полученных результатов видно, что вход внешней частотной модуляции прибора CMS-54 обладает линейной ха-

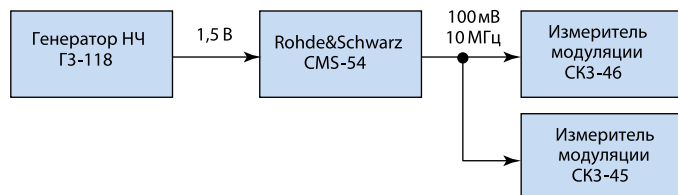


Рис. 1

Таблица

f , Гц	10	20	50	70	100	200	500	700	1000
Δf , кГц	2,20	2,34	2,43	2,45	2,44	2,40	2,40	2,40	2,40
Δf , кГц	2,00	2,50	2,48	2,48	2,47	2,42	2,42	2,42	2,43
f , Гц	2000	5000	7000	10000	20000	30000	40000	60000	80000
Δf , кГц	2,40	2,40	2,40	2,42	2,44	2,39	1,78	—	—
Δf , кГц	2,43	2,42	2,42	2,43	2,41	2,43	2,41	2,39	1,93

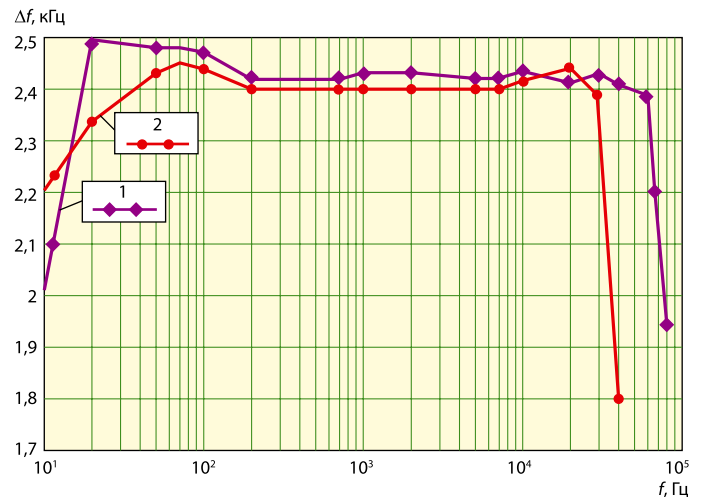


Рис. 2

рактеристикой, т.е. прибор вполне подходит для проведения эксперимента. Уменьшение уровня девиации на краях диапазона частот определяется полосой пропускания фильтров измерителей модуляции.

Влияние индекса модуляции на спектр сигналов FSK и GFSK. Измерение спектральных характеристик сигналов FSK и GFSK с различными индексами модуляции проводилось в соответствии со схемой, приведенной на рис. 3. Модулирующий сигнал подавался с выхода звуковой карты персонального компьютера. Использование submodule цифрового приема обусловлено тем, что его шумовые характеристики превосходят характеристики стандартных измерительных приборов.

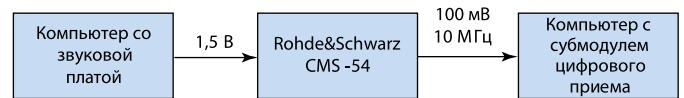


Рис. 3

Для формирования сигнала, подаваемого на вход частотной модуляции прибора CMS-54, в эксперименте была использована программа, написанная в среде MatLab 6.12. Затем сформированный звуковой сигнал воспроизводился через звуковую карту компьютера стандартным проигрывателем Windows media. Спектр полученного радиосигнала анализировался встроенным программным обеспечением submodule цифрового приема ADMDDC2WB-H.

Сначала для получения спектральных характеристик радиосигнала использовалась пониженная скорость передачи данных 9600 бит/с. Это позволило исключить влияние параметров звуковой платы компьютера на спектральные характеристики модулирующего сигнала. Первым формировался сигнал частотной модуляции MSK без сглаживания его гауссовским фильтром. Полученный спектр сигнала с несущей частотой 10 МГц показан на рис. 4 (кривая 1). Спектр сигнала полностью соответствует типовому спектру сигнала MSK,

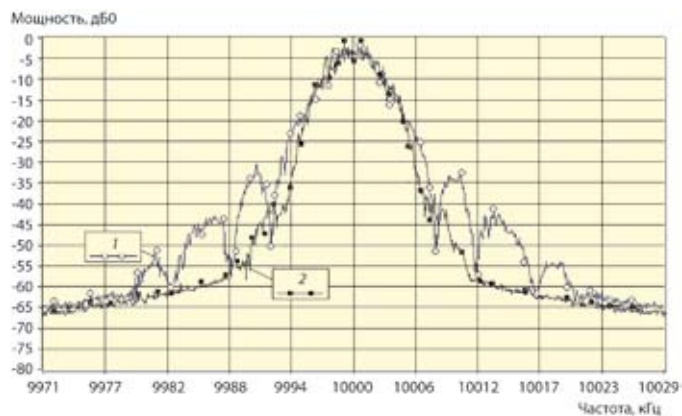


Рис. 4

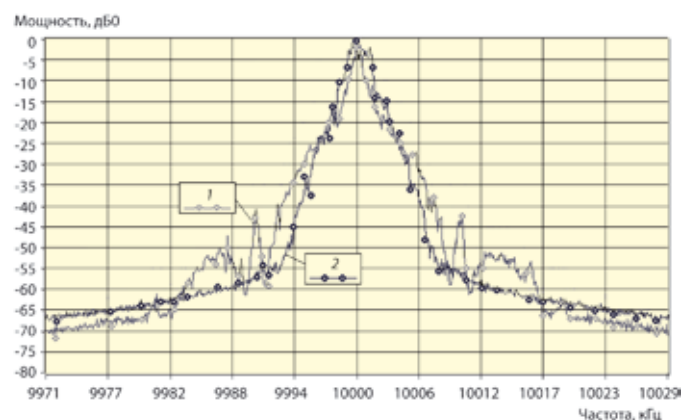


Рис. 5

передаваемому со скоростью 9600 бит/с, т.е. звуковая карта не искажает формируемый сигнал.

Затем повторно сформированный сигнал MSK был подвергнут обработке гауссовским фильтром с полосой пропускания $BT = 0,28$, где B – полоса гауссовского фильтра по уровню 3 дБ, T – длительность символа. Полученный спектр сигнала с несущей частотой 10 МГц приведен на рис. 4 (кривая 2). Он также полностью соответствует типовому спектру сигнала GMSK с $BT = 0,28$, передаваемому со скоростью 9600 бит/с. Таким образом, экспериментальная установка (рис. 3) работает без искажений и позволяет получать адекватные результаты. Далее исследовался сигнал FSK с индексом модуляции $m = 0,25$.

Для этого на вход submodule цифрового приема ADMDDC2WB-N подавался сигнал модуляции FSK с индексом $m = 0,25$ без сглаживания его гауссовским фильтром. Полученный спектр сигнала с несущей частотой 10 МГц приведен на рис. 5 (кривая 1).

Как видно из рис. 5, форма спектра сигнала FSK-0,25 значительно изменилась по сравнению с формой спектра сигнала MSK. Спектр имеет треугольную форму и заметный подъем на частотах, близких к несущему колебанию. Уровень боковых лепестков оказался на 10 дБ ниже уровня боковых лепестков сигнала MSK. Уровень первого бокового лепестка также уменьшился на 10 дБ и сократилась его ширина. Скорости спада уровня боковых лепестков спектра FSK-0,25 и сигнала MSK оказались примерно равными.

Для формирования сигнала GFSK-0,25 сигнал FSK-0,25 был пропущен через гауссовский фильтр с полосой пропускания $BT = 0,28$. Полученный спектр сигнала с центральной частотой 10 МГц приведен на рис. 5 (кривая 2). На спектре отчетливо видно, что боковые лепестки полностью подавлены фильтром. Едва различим только первый боковой лепесток.

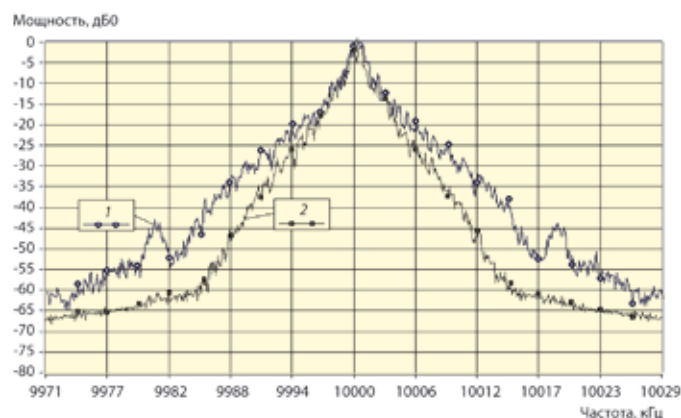


Рис. 6

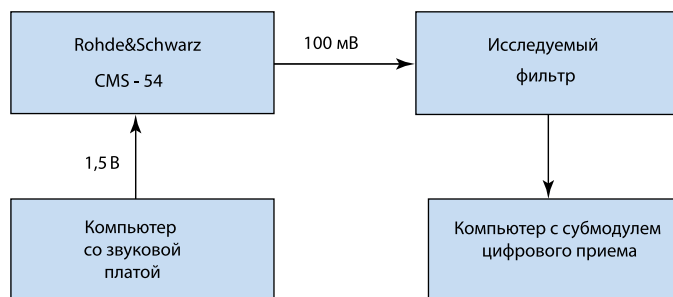


Рис. 7

Произошло значительное сужение основного лепестка на частотах, близких к несущей частоте.

На следующем этапе передавались частотно-модулированные сигналы FSK с индексом $m = 0,25$ со скоростью 19 200 бит/с. Спектры этих сигналов приведены на рис. 6, где: кривая 1 – FSK-0,25, кривая 2 – GFSK-0,25. Спектр сигнала на выходе гауссовского фильтра имеет точно такую же форму, как и в предыдущем случае. Боковые лепестки полностью подавлены фильтром.

Влияние кварцевых фильтров на спектр сигналов FSK и GFSK. Убедившись, что получен спектр, соответствующий сигналу GFSK-0,25, было исследовано влияние на данный сигнал различных кварцевых фильтров. Схема исследования приведена на рис. 7.

Спектры сигнала GFSK, полученные на выходе кварцевых фильтров, приведены на рис. 8 и 9. Форма сигнала вновь претерпела изменения. Увеличилась крутизна скатов спектра

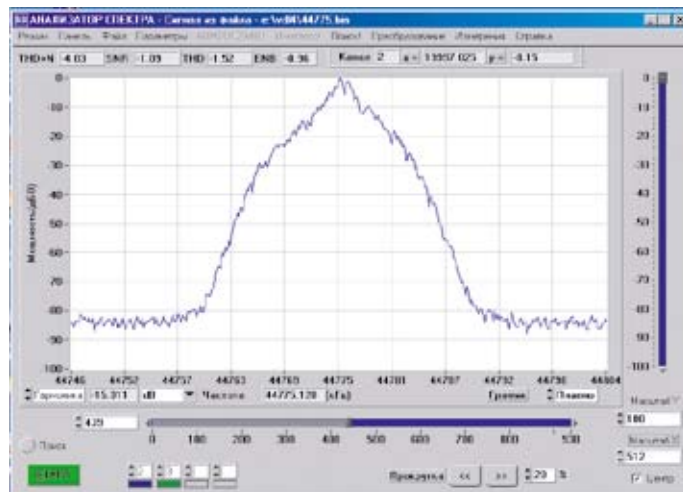


Рис. 8

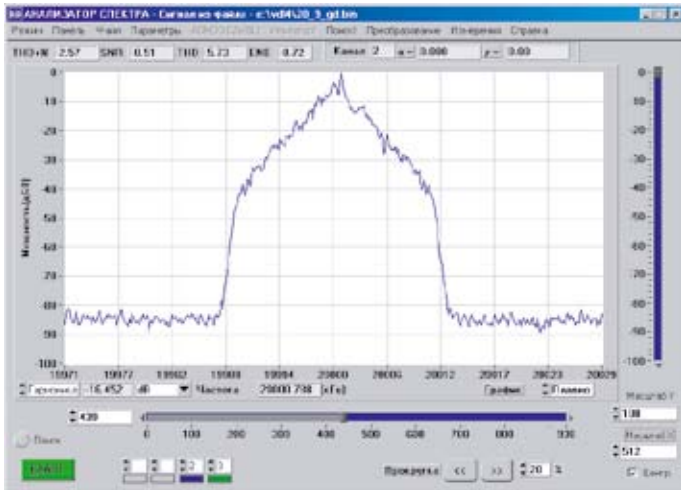


Рис. 9

в дальней области. Спектр приобрел явно выраженный «шлемообразный» вид. Тем не менее более 95% энергии сигнала прошло через него без искажений.

Выводы

- Сигнал FSK-0,25 имеет почти в 1,2 раза более узкий спектр по сравнению с сигналом MSK, при этом уровень боковых лепестков в его спектре ниже в среднем на 10 дБ.

- Спектр сигнала FSK-0,25, подвергнутый предварительной гауссовской фильтрации, имеет вид, близкий к равнобедренному треугольнику, что позволяет снизить требования к фильтру основной избирательности как в передающем, так и в приемном тракте.

- Более компактный по сравнению с MSK спектр сигнала позволяет удвоить скорость передачи информации по радиоканалу.

- Сосредоточенность спектра в центральной области позволяет снизить требования к форме АЧХ фильтра основной избирательности.

- Использование частотной модуляции и кварцевых фильтров высокого порядка позволяет применить высокоэкономичные усилители мощности и удвоить скорость передачи дискретной информации при приемлемом уровне побочных излучений на соседнем канале.

ЛИТЕРАТУРА

1. ETSI EN 302 842-1 European Standard: VHF air-ground and air-air Digital Link (VDL) Mode 4 radio equipment; Part 1: Physical layer (version 1.2.1, 2006-12). ETSI, 2006.
2. Гуревич Б.А. и др. Опыт программного моделирования формирования сигналов GMSK// Теория и техника радиосвязи. — 2000. — № 1.
3. Сединин В.И., Микушин В.А. и др. Исследование методов построения цифровых радиотрактов мобильных систем связи/ Отчет по НИР. — Новосибирск: Изд-во СибГУТИ, 2006.
4. Сергиенко А.Б. Цифровая обработка сигналов. — СПб.: Питер, 2003.
5. Феер К. Беспроводная цифровая связь. — М.: Радио и связь, 2000.
6. Mikushin V.A., Shingarev A.M. The analysis of parameters of frequency modulation with minimal shift keying// In: Electronic Devices and Materials — 2007, IEEE. Proc. of VIII International Siberian school-seminar. — Novosibirsk, 2007, P. 205—206.
7. Материалы сайта <http://www.hp.com/go/tmdir/>.

Получено 04.03.08