

ПРОВЕРКА ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ СИСТЕМЫ СИНХРОННОГО ПУСКА СЕЙСМОРАЗВЕДОЧНОГО КОМПЛЕКСА

И. А. Воронецкий, В. Н. Гарбуз

*Гомельский государственный технический университет
имени П. О. Сухого, Беларусь*

Научный руководитель Е. А. Храбров

В американской спутниковой навигационной системе GPS используются фазоманипулированные (ФМ) сигналы, считающиеся наиболее помехозащищенными. Во времени ФМ-сигнал представляет собой синусоиду, фаза которой в заданные моменты времени меняется на противоположную. Приёмник GPS принимает посылку размером 1 бит, которая передаётся с помощью 1024 элементарных ФМ-посылок, т. е. применяется коррелятор, сворачивающий имеющуюся в приёмнике копию с принимаемым сигналом, и таким образом осуществляется приём 1024 элементов в целом.

Экспериментальная проверка помехозащищенности навигационной системы, использующей ФМ-сигналы, показала, что GPS подвержена элементарной организованной помехе. В качестве помехи используется моночастотный сигнал по частоте близкий к несущей частоте ФМ-сигнала. В результате между несущей сигнала и помехой возникают биения, что приводит к искажениям суммарного сигнала, делающего невозможным его приём коррелятором [1].

Отличия же сигналов, применяемых в GPS и в системах синхронизации сейсмических вибраторов, являются принципиальными и заключаются всего лишь в частоте поднесущей фазоманипулированного сигнала и разрядности самого псевдослучайного сигнала. Если частота поднесущей ФМ-сигнала гражданского диапазона GPS составляет около 1600 МГц, то в силу специфики канала связи, применяющегося в сейсморазведке, частота поднесущей здесь лежит в пределах от 1 до 3 кГц. Как было сказано ранее, разрядность ФМ-сигнала навигационной системы GPS равна 1024 элементарных посылки, а в сейсморазведке для надёжного пуска применяются сигналы разрядностью 511, 1023, 2047 или 4095 символов. Отличие сигналов заключается всего лишь в том, что в системе GPS сигнал, полученный в результате модуляции поднесущей частоты М-последовательностью, сразу же усиливается и излучается в эфир, а в системах синхронизации сейсмических источников фазоманипулированный сигнал дополнительно модулирует высокочастотную несущую, на частоте которой и ведётся радиосвязь. Поэтому для постановки помехи системам синхронизации в эфире должен присутствовать сигнал на частоте радиопередатчика сейсмической станции, модулированный частотой, близкой к частоте поднесущей используемого фазоманипулированного сигнала. Поэтому задача исследования состоит в следующем: проверить помехоустойчивость и надёжность корреляционного приёма сигнал синхронизации в условиях, когда в канале связи действует помеха с частотой, мало отличающейся от частоты поднесущей фазоманипулированного сигнала.

Вопрос о чувствительности приёма к таким параметрам моночастотной помехи, как её частота, мощность на входе приёмника, соотнесённая с мощностью сигнала, проанализируем с помощью моделирования. При помощи программного пакета Mathcad 11 фирмы MathsoftApps произведено последовательное моделирование ге-

нерации сигнала передатчиком, смешивание сигнала и помехи в канале связи и приём входящей смеси сигнал-шум корреляционным приёмником.

При моделировании в качестве псевдослучайного сигнала использовалась 10-разрядная М-последовательность. Значения символов М-последовательности получены с помощью рекуррентной формулы $M_i = M_{i-3} \oplus M_{i-10}$.

Здесь значение переменной i лежит в пределах от 10 до 1023, а символы М-последовательности от M_0 до M_9 равны 1.

После модуляции полученной М-последовательностью поднесущей (частота поднесущей выбрана 1кГц), полученный фазоманипулированный сигнал смешивается с синусоидальным сигналом, имеющим частоту, близкую к частоте поднесущей. В результате такого сложения получается сигнал, аналогичный сигналу, принимаемому в реальных условиях при помехе в канале связи. В результате сложения сигналов некоторые элементы фазоманипулированного сигнала усиливаются, а некоторые – искажаются (рис. 1). Также результирующий сигнал, который обрабатывается декодером, содержит биения с частотой, равной разности частот сигнала и помехи (рис. 2).

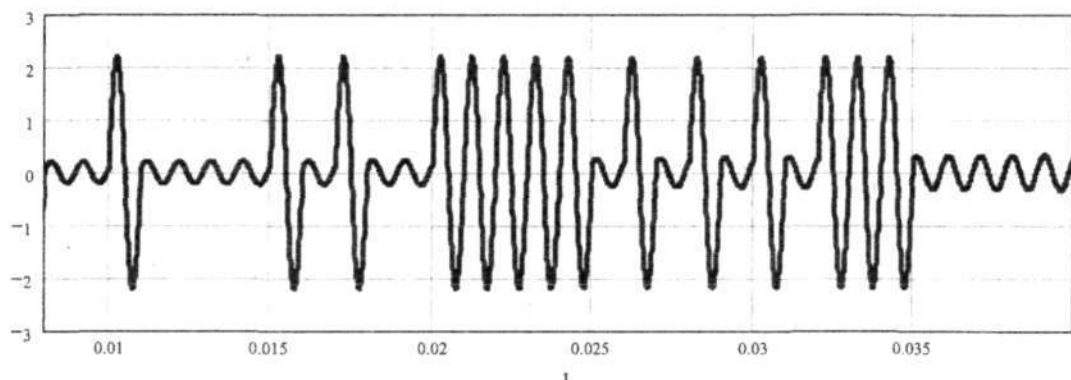


Рис. 1. Смесь сигнала с моночастотной помехой. Элементы сигнала с фазой 180° искажены и будут приняты неправильно

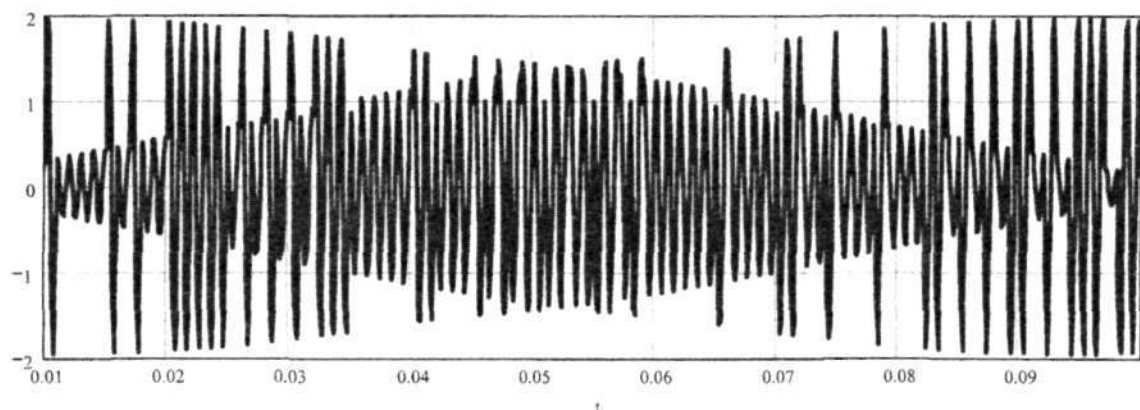


Рис. 2. Биения при сложении сигнала и моночастотной помехи

В результате рассмотренных выше явлений при приёме количество правильно принятых фрагментов фазоманипулированного сигнала снижается.

Для визуализации результатов моделирования был построен трёхмерный график, иллюстрирующий снижение значения нормированной корреляционной функции эталонного и входящего сигнала в зависимости от соотношения сигнал-помеха и разности частот сигнала и помехи (рис. 3). По оси z графика отложены значения взаимной корреляционной функции эталонного и входящего сигнала, по оси x — значения соотношения помеха — сигнал на входе приёмника, а по оси y — разность частот помехи и сигнала. Необходимо отметить, что значение нормированной корреляционной функции эталонного и принимаемого сигнала, равное 0,5, принципиально расценивается как отсутствие сигнала на входе приёмника.

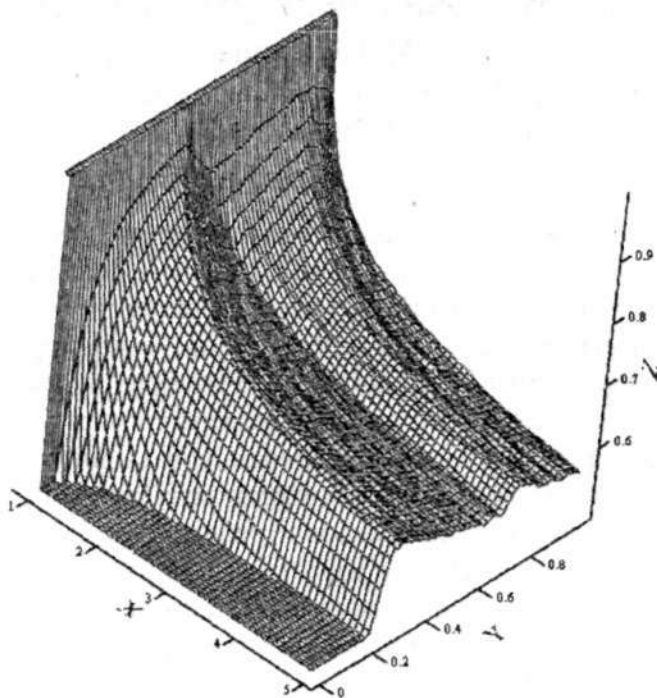


Рис. 3. Результаты моделирования приёма смеси сигнала и помехи

Проведенные исследования приёма в условиях сосредоточенной помехи выявили высокую эффективность применения фазоманипулированного сигнала. Даже если на входе приёмника мощность помехи превышает мощность сигнала в 5 раз и более, приём фазоманипулированного сигнала захватным [2], корреляционным [3] и различными комбинированными способами [4] оказывается надёжным в силу хороших корреляционных свойств используемого сигнала. Принципиально невозможно принять фазоманипулированный сигнал только в случаях, когда частота поднесущей и частота помехи совпадают или имеют очень небольшое расхождение (уход частоты должен составлять до 0,02 %). Однако в реальных условиях из-за нестабильности частот как передатчика помехи, так и передатчика фазоманипулированного сигнала, такая высокая точность совпадения частот помехи и сигнала практически неосуществима. Поэтому системы синхронизации сейсмических вибраторов можно применять и в условиях, когда в эфире присутствует сигнал с частотой, равной частоте фазоманипулированного сигнала синхронного пуска.

Литература

1. Иванов, М. П. Экспериментальная проверка помехозащищенности американской спутниковой навигационной системы GPS / М. П. Иванов, В. В. Кашинов, <http://www.laboratory.ru/article/rad/rar020.htm>, 29.09.2006 г.
2. Варакин, Л. Е. Системы связи с шумоподобными сигналами / Л. Е. Варакин. – Москва : Радио и связь, 1985. – 384 с.
3. Радиолинии космических систем передачи информации / И. М. Тепляков [и др.]. – Москва : Сов. радио, 1975. – 218 с.
4. Храбров, Е. А. Помехоустойчивый приёмник кодовых посылок с плавающим порогом срабатывания. Приборостроение / Межвузовский сб. науч. тр. / Е. А. Храбров, В. Н. Гарбуз. – Москва : МГАПИ, 2005. – С. 75–82.