

УДК 621.396.96

ФОРМИРОВАНИЕ И ОБРАБОТКА СИГНАЛОВ С АМПЛИТУДНЫМ УПЛОТНЕНИЕМ В СИСТЕМАХ ЦИФРОВОЙ РАДИОСВЯЗИ

В.А. ЧЕРДЫНЦЕВ, А.В. МАРТИНОВИЧ, И.И. СКИБ

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

Поступила в редакцию 12 апреля 2011

Рассмотрен способ формирования сигналов с амплитудно-кодовым уплотнением. Приведены алгоритмы и функциональная схема устройства обработки сигналов с амплитудно-кодовым уплотнением.

Ключевые слова: амплитудно-кодовое уплотнение, адаптивный нелинейный безынерционный преобразователь, различение сигналов, канал обработки сигнала.

Возможность уплотнения сигналов была впервые доказана в 1935 году Агеевым Д.В. в работе «Основы теории линейной селекции», в которой были определены основы линейного разделения сигналов. В общем виде схема уплотнения сигналов включает блок уплотнения, в котором N входных сигналов $X_1(t), X_2(t), \dots, X_M(t)$ преобразуются в один сигнал $Y(t)$, канал связи и блок восстановления на приемной стороне исходных сигналов. Существует несколько методов уплотнения сигналов, основанных на использовании таких параметров, как время, частота, форма сигнала, амплитуда. Задача уплотнения сводится к присвоению каждому каналу связи соответствующего параметра из указанного набора с учетом минимизации влияния взаимных помех и максимального использования ресурса передающей среды.

Развитие цифровой и вычислительной техники привело к возможности создания систем передачи информации на основе алгоритмов нелинейного разделения сигналов. Для реализации таких алгоритмов можно использовать амплитуду сигнала в качестве основного ресурса уплотнения информационных потоков.

В работе [1] описан способ амплитудного уплотнения аналоговых сигналов на основе прямого и обратного диофантова преобразования и предложен вариант практической реализации.

В настоящей работе предлагается способ формирования и обработки сигналов с амплитудным уплотнением, используемых для передачи дискретных сообщений и обладающих повышенной помехозащищенностью, которая достигается за счет параллельно-составной структуры сигнала и псевдослучайной коммутации входных последовательностей. Приводится функциональная схема устройства обработки такого сигнала.

Цель статьи: определить алгоритмы для построения систем передачи дискретных сообщений с применением сигналов с амплитудно-кодовым уплотнением, обладающих повышенной помехозащищенностью.

Формирование и обработка сигналов с амплитудно-кодовым уплотнением

Определим условия формирования и обработки группового сигнала (сигнала с амплитудным уплотнением) для N бинарных потоков.

Если для суммарного потока X_d N бинарных потоков выполняется условие

$$|a_j X_j| > \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq j}}^M |a_i X_i|, M \leq N-1, \quad (1)$$

то

$$X_j = \text{sign} \left[\sum_{i=1}^{M+1} (a_i X_i) \right], X_{j-1} = \text{sign} \left[\sum_{i=1}^{M+1} (a_i X_i) - a_j X_j \right] \text{ и т.д.}$$

Таким образом

$$X_m = \text{sign} \left[\sum_{i=1}^N (a_i X_i) - \sum_{j=m+1}^N (a_j X_j) \right], m \in [1, N]. \quad (2)$$

С учетом (2) на рис. 1 приведена упрощенная схема формирования сигнала с амплитудно-кодовым уплотнением (АКУ). В схеме используются следующие обозначения: БКК – блок коммутации каналов, ГТЧ – генератор тактовой частоты, ГКП – генератор кодовой последовательности, ГПСП – генератор псевдослучайной последовательности, ФГС – формирователь группового сигнала, ФВ – фазовращатель, ГНЧ – генератор несущей частоты, КАФМ - квадратурный амплитудно-фазовый модулятор.

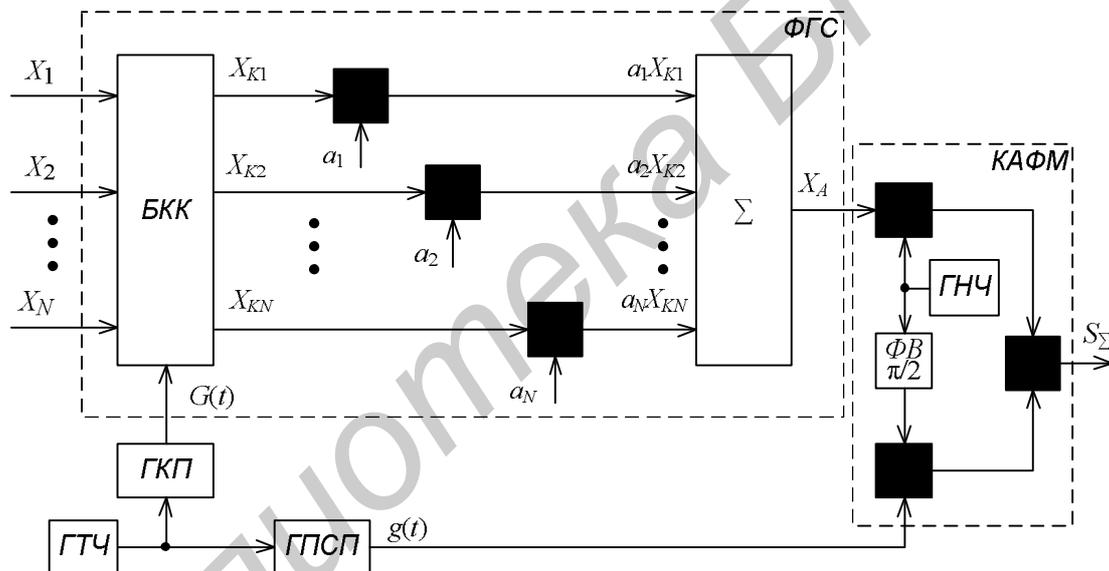


Рис. 1. Схема формирования сигнала с АКУ

Схема формирования сигнала с АКУ работает следующим образом. Двоичные информационные последовательности X_1, X_2, \dots, X_N поступают в БКК, выполняющий роль шифратора, соединяя входные и выходные линии, согласно последовательности с ГКП. С выхода БКК кодовые последовательности $X_{k1}, X_{k2}, \dots, X_{kN}$ поступают на сумматор через умножители на соответствующие весовые коэффициенты, которые удовлетворяют условию (1). На выходе сумматора формируется групповой видеосигнал с амплитудно-кодовым уплотнением. Групповой сигнал X_A и псевдослучайная последовательность (ПСП) $g(t)$ поступают на КАФМ. ПСП обеспечивает синхронизацию схемы обработки сигнала с АКУ. Сформированный сигнал в общем виде представляется выражением:

$$S_{\Sigma}(t, X, G) = A_1 X_A \cos(\omega_0 t + \varphi(t)) + A_2 g(t) \sin(\omega_0 t + \varphi(t)), \quad (3)$$

где A_1 и A_2 – амплитуды компонент сигнала; $X_A = \sum_{i=1}^N a_i X_i$.

На рис.2. приведен пример формирования сигнала с АКУ для 3-х информационных потоков (a, b, c – информационные сообщения $X_1(t), X_2(t), X_3(t)$, e, d – групповой сигнал X_A при от-

сутствии и наличии коммутации каналов, e – результирующий сигнал $S_{\Sigma}(t, X, G)$). В данном случае при формировании группового сигнала весовые коэффициенты отличаются друг от друга на величину, кратную 2, т.е. $a_1=a_2/2=a_3/4$, а частота коммутации принята равной тактовой частоте информационной последовательности.

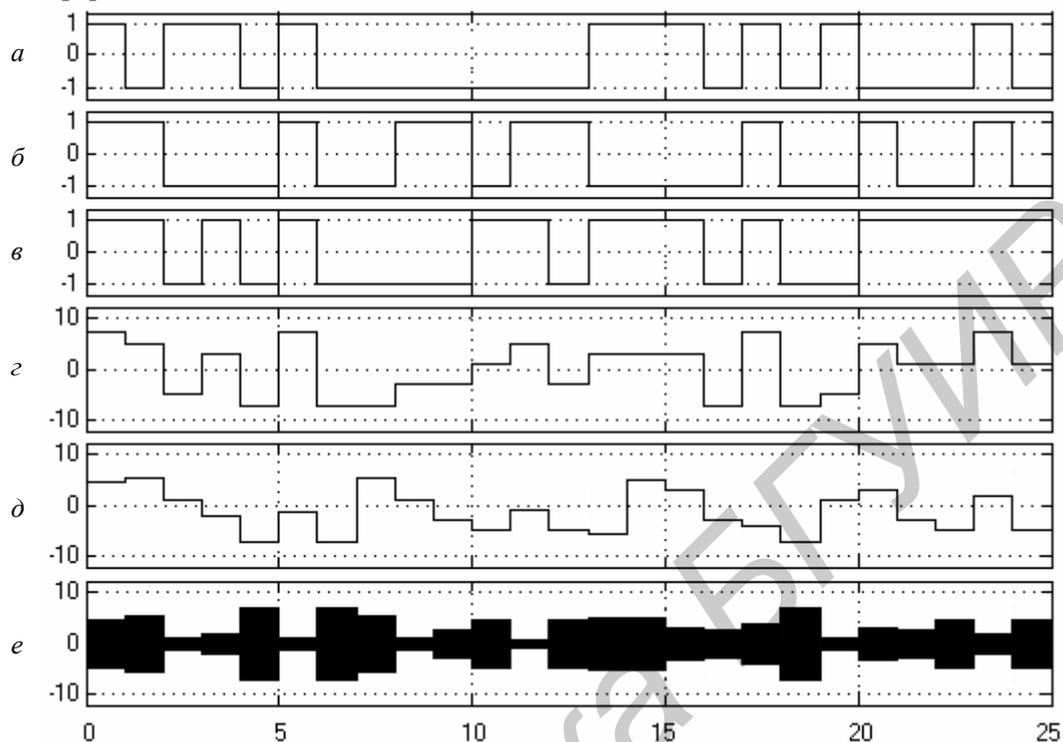


Рис. 2. Формирование сигнала с амплитудно-кодовым уплотнением

Алгоритм выделения информационных последовательностей, описанный выражением (2), реализуется с помощью схемы обработки сигнала с АКУ, представленной на рис. 3. На вход блока обработки поступает сигнал $s_{\Sigma}(t, X, G)$. В квадратурном демодуляторе (КДМ) выделяются две составляющие сигнала (3) – групповой сигнал X_A и псевдослучайная последовательность (ПСП) $g^*(t)$. Групповой сигнал поступает на адаптивный безынерционный нелинейный преобразователь (АБНП) и блок коммутации каналов (БКК), где происходит выделение информационных последовательностей $X_1^*, X_2^*, \dots, X_N^*$. Последовательность $g^*(t)$ поступает на генератор ПСП, синхронизирующий работу ГКП и БКК.

Схема адаптивного безынерционного нелинейного преобразователя приведена для случая $a_i/a_{i-1}=2$, принцип работы которого основан на выделении более сильной информационной последовательности и последующего исключения ее из канала обработки.

Наблюдаемый процесс $r(t)$ на входе приемника представляется в виде суммы сигнала $s_{\Sigma}(t, X, G)$ и помехи $n(t)$.

Для обеспечения устойчивости к действию импульсных помех применяют сигналы с параллельно-составной структурой (ПСС) [2]. В таком случае схема формирователя (см. рис. 1) изменится не существенно. Схема формирователя сигнала с АКУ и ПСС приведена на рис. 4. На схеме используются следующие обозначения: ФГС – формирователь группового сигнала, ГФУ – генератор функций Уолша, ГКП – генератор кодовой последовательности, ГТЧ – генератор тактовой частоты, ГПСП – генератор ПСП, ГНЧ – генератор несущей частоты, БФСС – блок формирования составного сигнала.

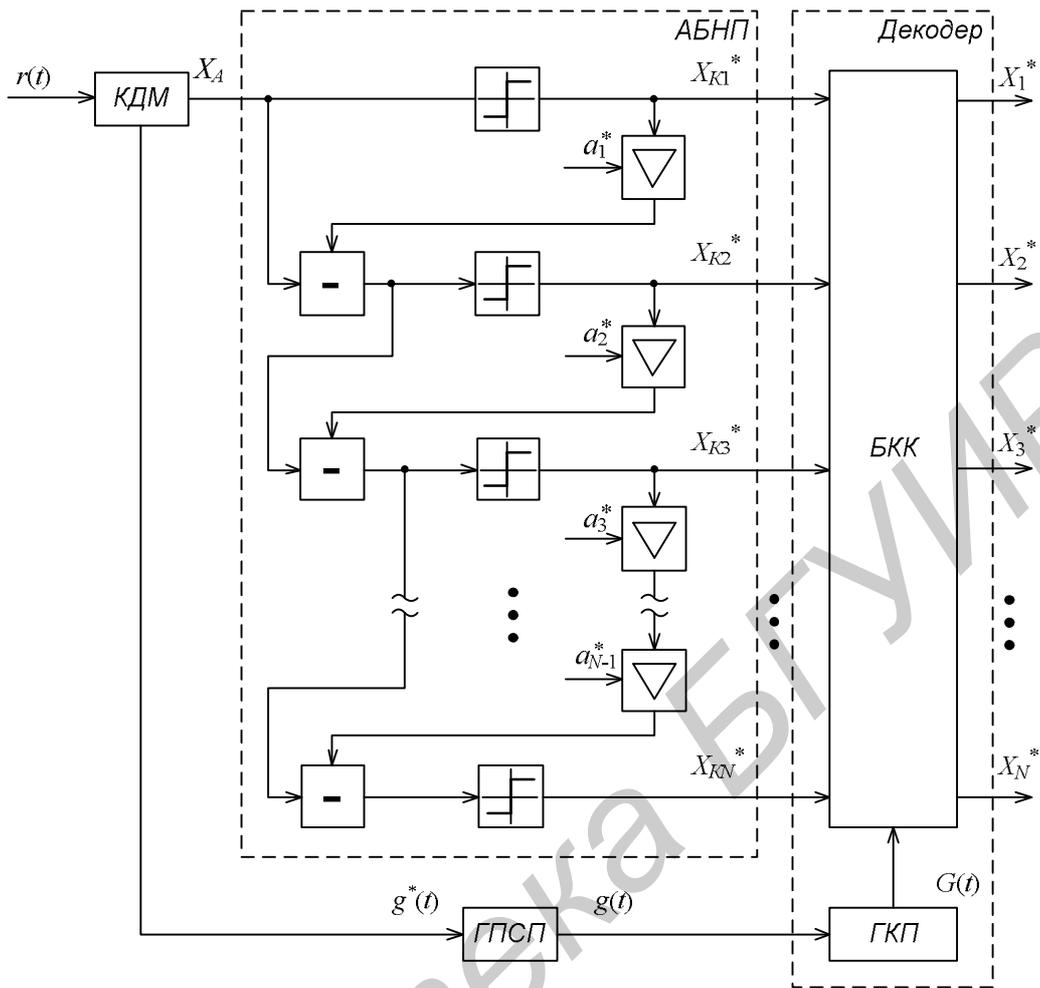


Рис. 3. Схема обработки сигнала с амплитудно-кодовым уплотнением

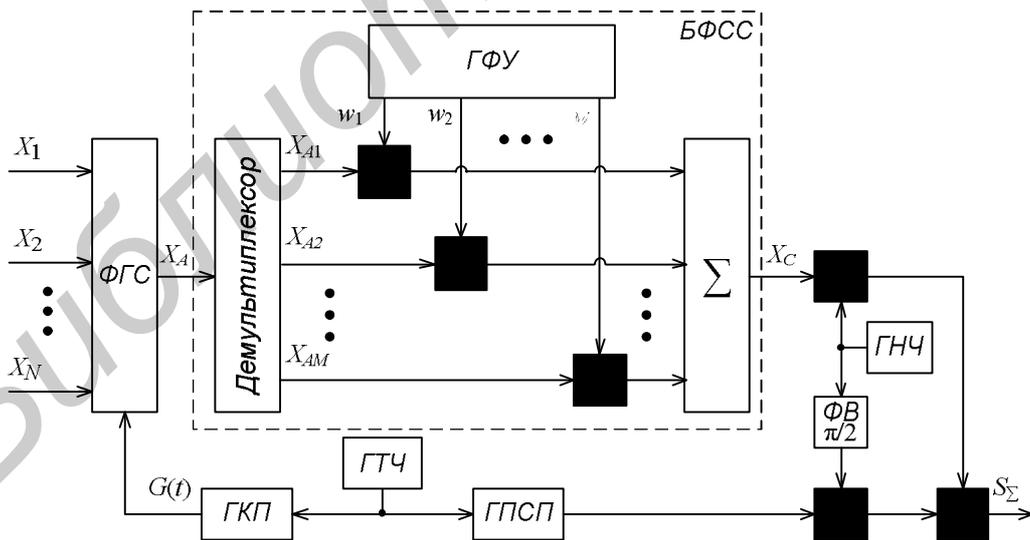


Рис. 4. Схема формирования сигнала с АКУ и ПСС

Рассматривая сумму гауссовского шума $n(t)$ с известной средней мощностью σ^2 и амплитудно-фазоманипулированного сигнала $s_\Sigma(t, X, G)$ можно определить алгоритм обработки наблюдаемого процесса $r(t)$. Для построения схемы устройства приема и обработки сигнала используем оптимальное правило выделения составного сигнала X_C из смеси $r(t)$.

Оценки X_C^* , τ^* , $(\cos \beta)^*$, $(\sin \beta)^*$ определяются максимумом функции правдоподобия.

$$X_C^* = \sum_k^N \left[J_{ck} (\cos\beta)^* - J_{sk} (\sin\beta)^* \right];$$

$$\tau^* = \frac{1}{N} \sum_k^N g_{\Delta} \left[J_{sk} (\cos\beta)^* + J_{ck} (\sin\beta)^* \right];$$

$$(\cos\beta)^* = \frac{1}{N} \sum_k^N \left[J_{ck} \text{sign}(X_k^*) + J_{sk} g_{\Sigma} \right];$$

$$(\sin\beta)^* = \frac{1}{N} \sum_k^N \left[J_{ck} g_{\Sigma} - J_{sk} \text{sign}(X_k^*) \right].$$

Приведенные выражения позволяют реализовать квадратурную обработку входного сигнала $r(t)$ для выделения сигнала $X_C(t)$. Реализация алгоритма показана на упрощенной функциональной схеме на рис. 5.

На схеме обозначены: ГС – генератор несущего колебания сигнала $s(t)$, Инт – интегратор со сбросом на длительность τ_{Σ} элемента ПСП, ГПСП – генератор ПСП, Σ -н – сумматор-накопитель со сбросом на длительность элемента T составного сигнала X_C , ТФ – трансверсальный фильтр, РУ – решающее устройство, РСОС – регистр сдвига с обратными связями, БОСС – блок обработки составного сигнала[2], ДК – декодер, включающий генератор кодовой последовательности (ГКП) и блок коммутации каналов (БКК), выполняющие восстановление исходных информационных потоков X_1, X_2, \dots, X_N .

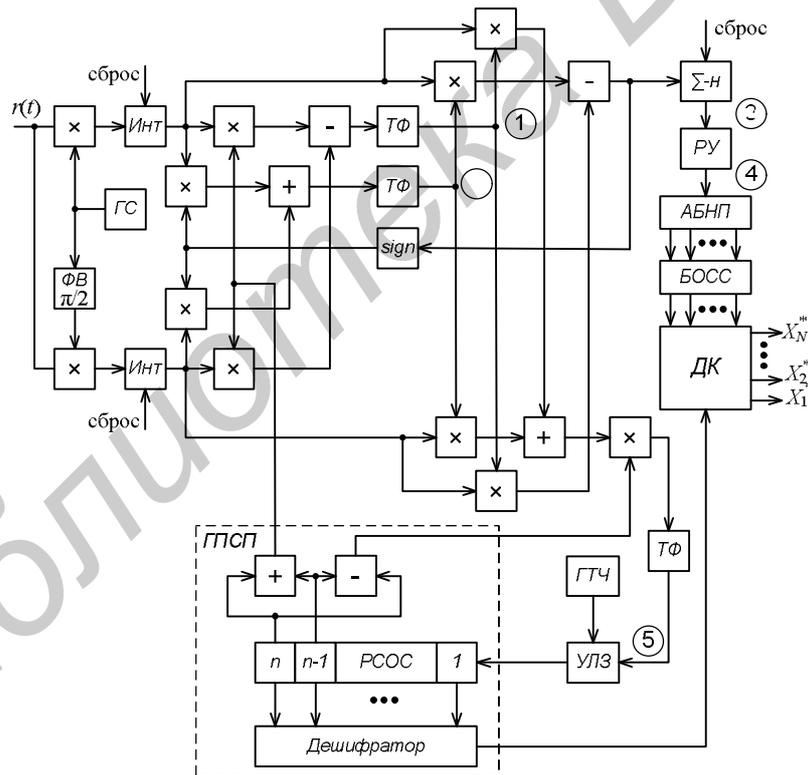


Рис. 5. Схема обработки сигнала с АКУ и ПСС

Временные диаграммы процессов в характерных точках схемы обработки, представленной на рис. 5, для случая применения трех информационных потоков получены путем моделирования алгоритма в среде Matlab и приведены на рис. 6 (a – групповой сигнал, сформированный для трех бинарных потоков на передающей стороне, $b, в$ – осциллограммы в точках 1 и 2, соответствующие оценкам $(\sin\beta)^*$ и $(\cos\beta)^*$, $г, д$ – сигнал на входе (точка 3) и на выходе (точка 4) решающего устройства, e – осциллограмма в контрольной точке 5).

Осциллограммы в точках 1 и 2 получены для времени накопления на трансверсальных фильтрах, в десять раз превышающем длительность информационного символа составного

сигнала $X_C(t)$. Видно, что через N тактов процессы $(\sin\beta)^*$ и $(\cos\beta)^*$ становятся стационарными. На диаграмме рис.6, e представлен результат обработки схемой рассогласования по задержке на $+\tau_3/3$ и $-\tau_3/4$ во время моделирования в моменты времени $t_M=7$ и $t_M=11,5$ соответственно.

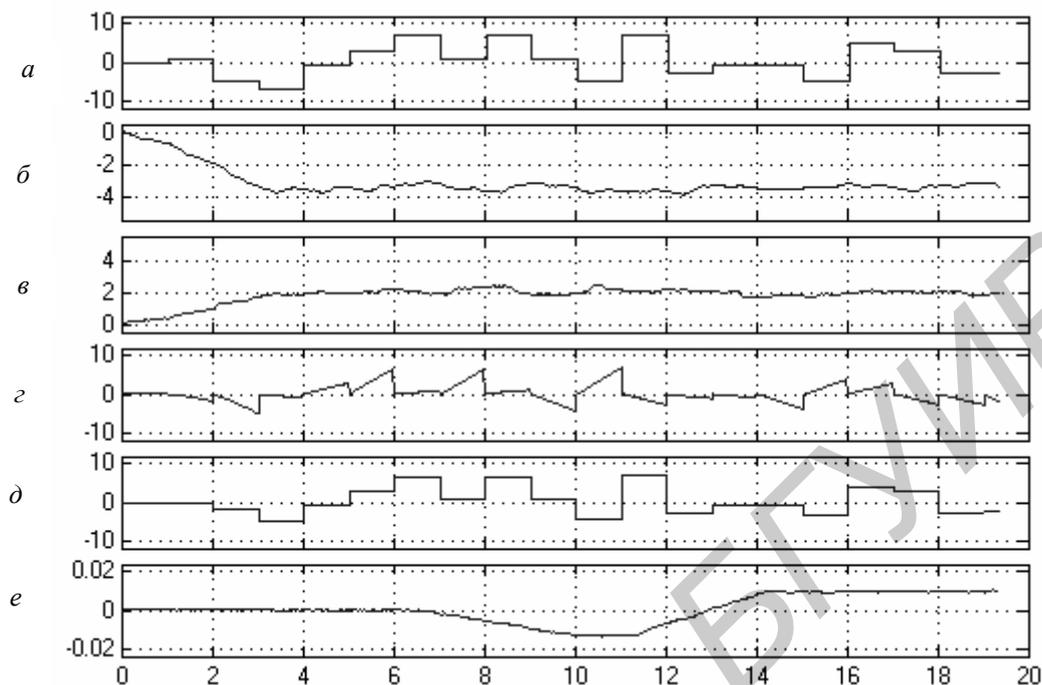


Рис. 6. Диаграммы процессов в контрольных точках

Заключение

Приведен алгоритм формирования и обработки сигнала с АКУ. Представлена схема обработки такого сигнала, отличительной особенностью которой является совместная демодуляция и синхронизация сигнала с АКУ.

Результаты численного моделирования подтвердили работоспособность алгоритма обработки сигнала с АКУ. Схема инвариантна к начальной фазе β и задержке $\pm\tau_3/2$ сигнала $s_\Sigma(t, X, G)$.

Следует отметить, что при частоте коммутации, превосходящей частоту исходного информационного потока, происходит расширение спектра результирующего сигнала с АКУ. За счет синхронизации генератора кодовой последовательности на приемной стороне и дешифрации осуществляется свертка спектров информационных потоков до уровня исходного с требуемым отношением сигнал/шум.

FORMATION AND PROCESSING OF AMPLITUDE MULTIPLEXING SIGNALS IN DIGITAL RADIOCOMMUNICATIONS

V.A. CHERDYNTSEV, A.V. MARTSINOVICH, I.I. SKIB

Abstract

The way of formation of amplitude multiplexing signals is considered. The algorithm and functional diagram of processing device are resulted.

Литература

1. Мазуров М.Е. // Патент на изобретение РФ № 94003861.
2. Чердынцев В.А., Варвашеня А.В. // Инженерный вестник. 2005. №1(20) С. 69–73.