

ПРИМЕНЕНИЕ АНАЛОГОВОГО КОДИРОВАНИЯ В СИСТЕМАХ РАДИО И ТЕЛЕФОННОЙ СВЯЗИ

Тихонов П.А., Бронников В.Н., Зори А.А.

Донецкий национальный технический университет, г. Донецк

кафедра электронной техники

E-mail: tikhonov_2004@mail.ru

Abstract

Tikhonov P.A., Bronnikov V.N., Zori A.A. Application of analog encoding in systems of radio and telephone communication. In his bottom - usage of the operation, widely known in programming, of addition module of positive number of real numbers instead of the operation of addition module two numbers 0 and 1 at definition of test and code values (characters) in algorithms of coding and decoding, and also usage of test relations as separate doubling transmission channels of sampling (coefficients of decomposition of the message) with subsequent integration of obtained in such a way estimations of sampling in weighted under the least squares method to the total. Is shown, that usage of this method allows effectively to boost noise stability in comparison with known methods.

Общая постановка проблемы. Когда оценивают качество работы системы радио и телефонной связи, то, прежде всего, оценивают точность передачи сообщения и максимальное количество информации, которое можно передать за определенное время. Основными характеристиками таких систем связи являются помехоустойчивость и эффективность.

Для практических расчетов в качестве критерия помехоустойчивости принимают величину «выигрыша системы»

$$B = \frac{\rho_{\text{вых}}}{\rho_{\text{вх}}},$$

где $\rho_{\text{вых}}$, $\rho_{\text{вх}}$ - отношения сигнал-шум на выходе и входе приемного устройства.

В различных системах сигналы могут иметь различную ширину спектра и поэтому при сравнительной оценке систем связи следует определять «обобщенный выигрыш системы»

$$B' = \frac{B}{\alpha},$$

где $\alpha = \frac{F}{F_c}$ - расширение спектра сигнала по отношению к спектру сообщения.

Информационная эффективность показывает, насколько близка скорость передачи к пропускной способности канала. Этот коэффициент является наиболее общей характеристикой эффективности системы связи. Для систем передачи непрерывных сообщений

$$\eta = \frac{\log(\rho_{\text{вых}})}{\alpha \cdot \log(\rho_{\text{вх}} + 1)}.$$

Для сравнения систем передачи непрерывных сообщений были рассчитаны их информационные эффективности (η) и энергетические выигрыши (B) [1,2]. Результаты приведены в таблице 1. В ней для сравнения приведены также значения параметров для идеальной системы.

Таблица 1 — Результаты расчетов выигрышей и эффективностей для различных систем

Система модуляции	α	B	$B' = B \setminus \alpha$	η
АМ	2	0,2	0,1	0,42
БМ	2	2	1	0,5
ОМ	1	1	1	1
ФМ	20	222	11,1	0,12
ЧМ	20	666	33,3	0,17
ИС	20	6310	315	1

Здесь α - ширина спектра сигнала; B - энергетический выигрыш; B' - обобщенный энергетический выигрыш; η - информационная эффективность; разновидности систем с различными видами по модуляции: АМ - амплитудная модуляция; БМ - балансная модуляция; ОМ - однополосная модуляция; ФМ - фазовая модуляция; ЧМ - частотная модуляция; ИС - идеальная система.

Анализ полученных данных показывает, что наибольшая информационная эффективность достигается в однополосной системе. Однако помехоустойчивость этой системы (выигрыш), также как и систем БМ и АМ, сравнительно низкая и верность передачи может быть повышена лишь увеличением мощности сигнала. В одноканальной системе ЧМ высокая помехоустойчивость может быть достигнута увеличением ширины спектра сигнала, т.е. за счет частотной избыточности.

Постановка задач исследования. Для построения систем радио и телефонной связи с повышенной помехоустойчивостью и информационной эффективностью необходимо решить следующие основные задачи:

1. Разработать такой вариант аналогового кодирования (декодирования), при котором будут достигнуты более высокие показатели помехоустойчивости и информационной эффективности при передаче непрерывных сообщений, чем существующие.
2. Выбрать систематический код для реализации варианта аналогового кодирования.
3. Для получения конкретных значений энергетического выигрыша и информационной эффективности провести моделирование процесса кодирования (декодирования).

Решение задач и результаты исследований. Суть аналогового кодирования заключается в следующем. Из каждого очередного отрезка длительностью kT передаваемого сообщения $X(t)$ получают и запоминают k выборочных значений (далее для краткости они называются выборками) $X_i, b \geq X_i \geq -b, i=1,2...k, b$ - постоянная величина, $T \leq 1/2f_b, f_b$ - верхняя граничная частота сообщения. Выборки передают с помощью аналогового импульсного вида модуляции совместно с проверочными величинами $X_{k+h}, h=1,2...r$, получаемыми в соответствии с проверочными соотношениями

$$X_{k+h} = [(\sum_{i=1}^k X_i \cdot g_{ik+h} + 2 \cdot b \cdot q) \bmod 2 \cdot b] - b, \quad h=1,2...r \quad (1)$$

где постоянная величина $b > |X_i|, i=1,2...k, g_{ik+h} = \overline{0,1}$ - элементы матрицы проверочных символов блочного систематического кода $(n,k,d), (\sum_{i=1}^k x_i \cdot g_{ik+h} + 2 \cdot b \cdot q) \bmod 2 \cdot b -$

остаток от деления содержимого в скобках на $2b$, постоянная величина $2 \cdot b \cdot q \geq \max | \sum_{i=1}^k X_i \cdot g_{ik+h} |, q=1,2,3,...$ - целое число.

В приемном устройстве производят следующие операции:

- 1) устанавливают коэффициент передачи канала, включающего его детектор, равный 1,
- 2) с помощью детектирования получают максимально правдоподобные первичные оценки $\hat{X}_i^{(1)}, \hat{X}_{k+h}^{(1)}$ выборки $X_i, i=1,2,\dots,k$, и проверочных величин $X_{k+h}, h=1,2,\dots,r$,
- 3) для каждой выборки $X_i, i=1,2,\dots,k$, и проверочной величины $X_{k+h}, h=1,2,\dots,r$, вычисляют вторичные оценки

$$\hat{x}_i^{(jh)} = (\hat{X}_{k+h}^{(j-1)} + b - \sum_{i=1}^k \hat{X}_i^{(j-1)} \cdot g_{ik+h} + \hat{X}_i^{(j-1)} \cdot g_{ik+h} + 2 \cdot b \cdot q) \bmod 2 \cdot b - b, \quad (2)$$

$$\hat{x}_{k+h}^{(jh)} = (\sum_{i=1}^k \hat{X}_i^{(j-1)} \cdot g_{ik+h} + 2 \cdot b \cdot q) \bmod 2 \cdot b + b, \quad j = \overline{2, m}, \quad (3)$$

получаемые от использования отдельно взятого h -го проверочного соотношения (соотношения (2) и (3) следуют из (1)),

- 4) вычисляют вторичные оценки как взвешенные суммы упомянутых оценок

$$\hat{X}_{i\Sigma}^{(j)} = \sum_{h=1}^r a_h \cdot \hat{x}_i^{(jh)} + a \cdot \hat{X}_i^{(j-1)}, \quad j = \overline{2, m} \quad (4)$$

где $a_h, h=1,2,\dots,r$, a – весовые коэффициенты, выбираемые в соответствии с методом наименьших квадратов [3,4,5],

- 5) итеративно повторяют ($m-1$ раз) процесс вычисления вторичных оценок, используя в качестве входных величин последующей вычислительной ступени итеративной процедуры выходные величины предыдущей вычислительной ступени итеративной процедуры,

- 6) выходные величины $\hat{X}_{i\Sigma}^{(m)}$ последней (m -й) вычислительной ступени итеративной процедуры используют для оценки каждого очередного отрезка длительностью kT переданного сообщения в виде ряда Котельникова:

$$\hat{X}(t) = \sum_{i=1}^k \hat{X}_{i\Sigma}^{(m)} \cdot \frac{\sin \pi f_B(t-iT)}{\pi f_B(t-iT)}. \quad (5)$$

Принятое сообщение получают как непосредственно следующие друг за другом оценки отрезков сообщения.

В основе рассматриваемого варианта передачи сообщений с помощью аналогового кодирования – использование широко известной в программировании операции сложения по модулю положительного числа $2b$ действительных чисел вместо операции сложения по модулю два чисел 0 и 1 при определении проверочных и кодовых величин (символов) в алгоритмах кодирования и декодирования, а также использование проверочных соотношений как отдельных дублирующих каналов [4] передачи выборок (коэффициентов разложения сообщения) с последующим объединением получаемых таким способом оценок выборок во взвешенной по методу наименьших квадратов сумме. В результате каждая отдельно взятая выборка сообщения передается совместно с другими (за счет использования проверочных соотношений). Это увеличивает энергию для ее передачи без дополнительных энергетических затрат и уменьшения скорости передачи информации, но ширина спектра сигнала вследствие использования проверочных соотношений увеличивается в n/k раз. При этом отсутствует квантование выборок с сопутствующим ему расширением спектра сигнала и уменьшением энергии, приходящейся на передачу разряда кодовой комбинации, соответствующей квантованному значению. Это обеспечивает возможность иметь более низкое пороговое отношение сигнал/шум (большую помехоустойчивость) и меньшую ширину спектра сигнала, следовательно, более высокое использование пропускной способности канала связи.

Для проведения процесса моделирования предложенного выше варианта аналогового кодирования (декодирования) выберем систематический код (7, 3, 4) [5], у которого 7 – длина кода, 3 – число информационных символов, 4 – кодовое расстояние.

В результате моделирования были получены зависимости энергетического выигрыша и информационной эффективности от отношения сигнал-шум на входе приемного устройства при использовании одной итерационной ступени. Графики этих зависимостей приведены на рисунке 1 и 2.

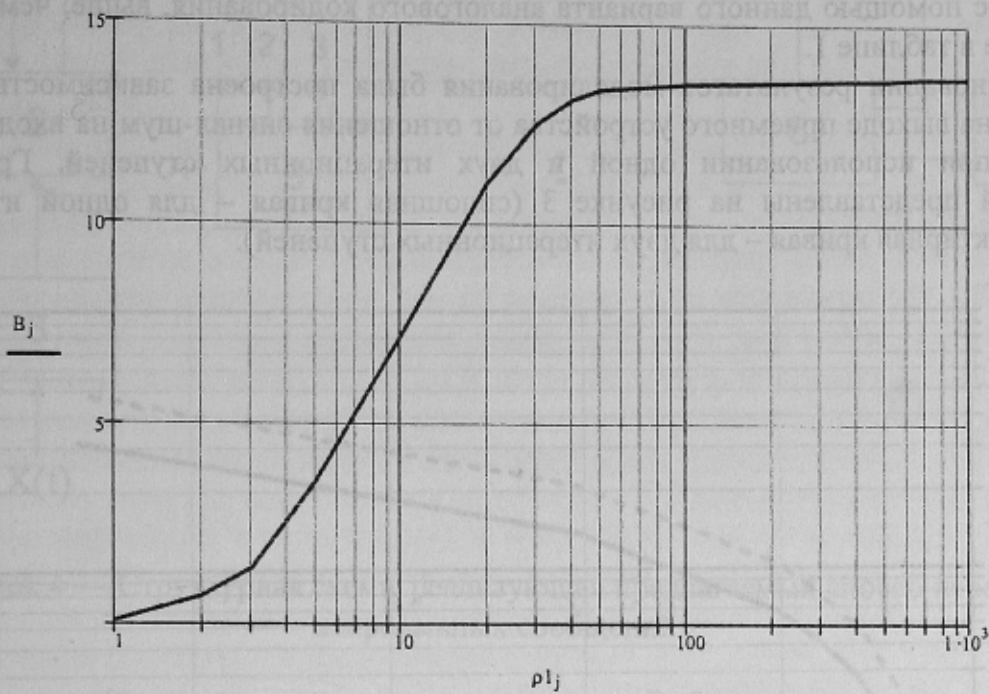


Рисунок 1 – Зависимость энергетического выигрыша V_j от отношения сигнал-шум на входе приемного устройства ρ_{1j} при использовании систематического кода (7, 3, 4)

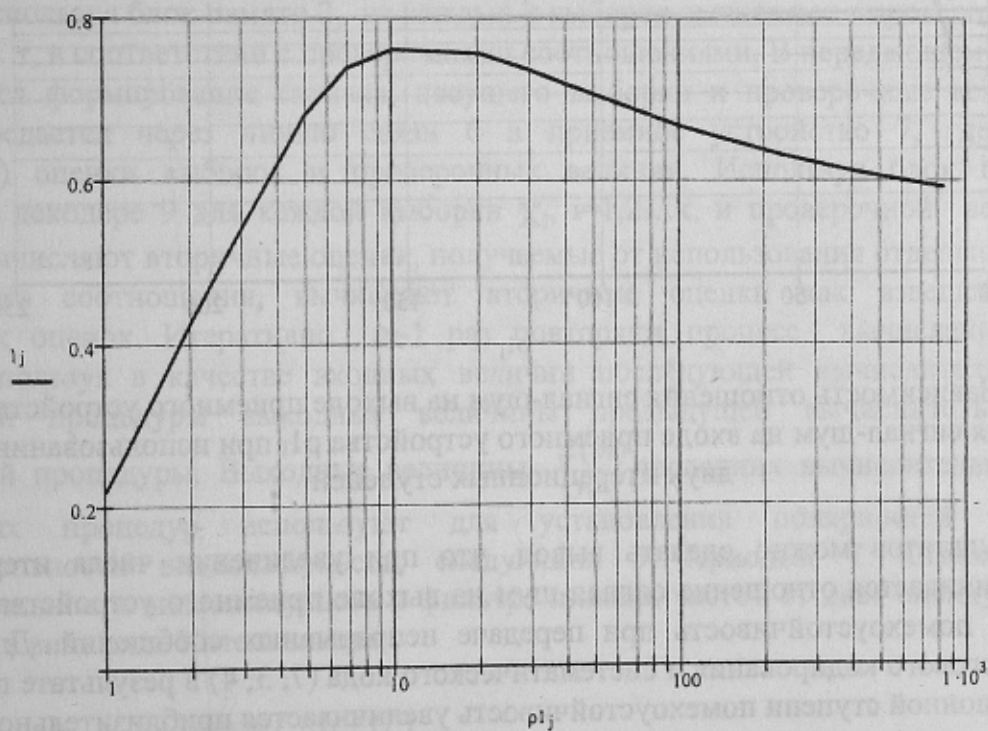


Рисунок 2 – Зависимость информационной эффективности η_j от отношения сигнал-шум на входе приемного устройства ρ_{1j} при использовании систематического кода (7, 3, 4)

Из вышеприведенных результатов следует, что при отношении сигнал-шум на входе приемного устройства равного 3 значение энергетического выигрыша приблизительно равно 2.5, максимальная величина энергетического выигрыша достигает значения 14. При таком варианте аналогового кодирования отсутствует порог помехоустойчивости. Максимальное значение информационной эффективности равно 0.77, а при отношениях сигнал-шум на входе приемного устройства больше 100 значение информационной эффективности монотонно убывает до значения порядка 0.6. При этом результаты, полученные с помощью данного варианта аналогового кодирования, выше, чем результаты, приведенные в таблице 1.

На основании результатов моделирования была построена зависимость отношения сигнал-шум на выходе приемного устройства от отношения сигнал-шум на входе приемного устройства при использовании одной и двух итерационных ступеней. Графики этих зависимостей представлены на рисунке 3 (сплошная кривая – для одной итерационной ступени, пунктирная кривая – для двух итерационных ступеней).

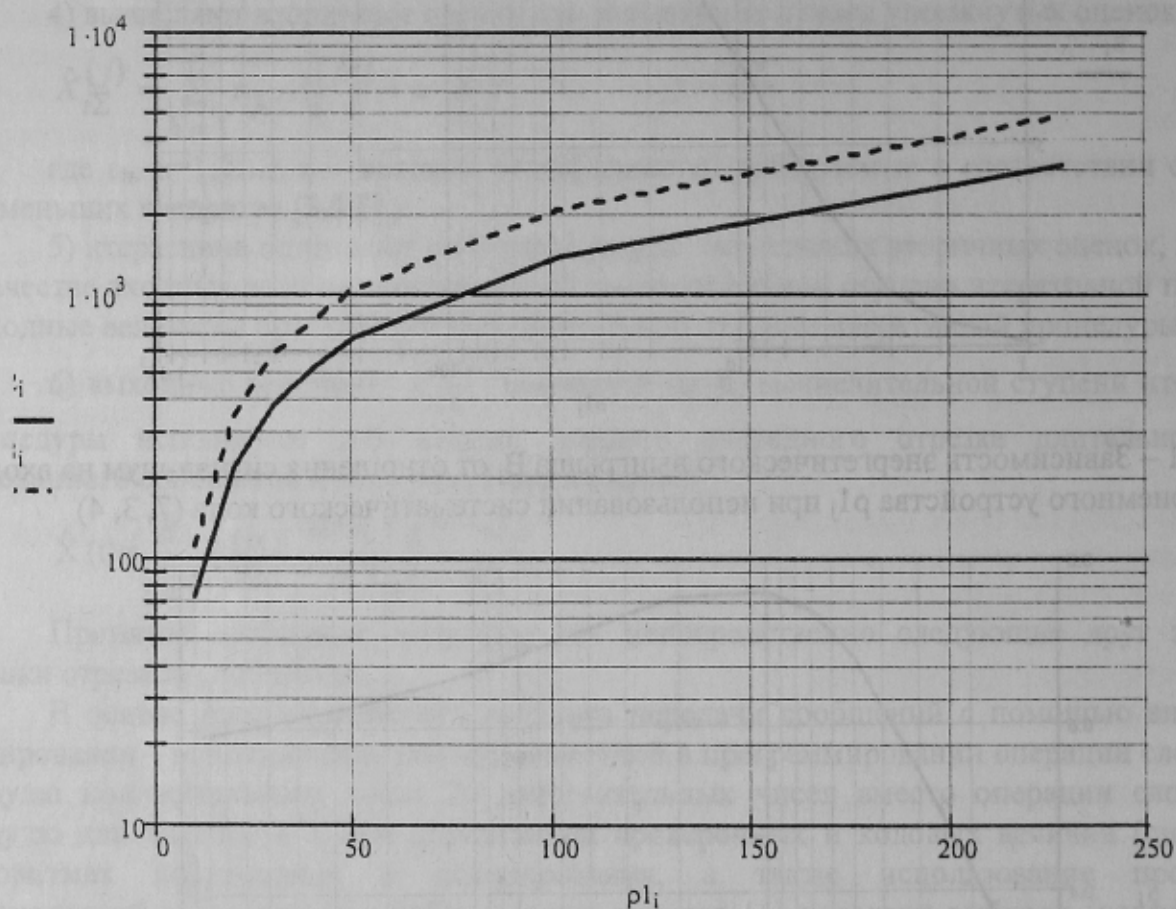


Рисунок 3 – Зависимость отношения сигнал-шум на выходе приемного устройства ρ_{2i} , ρ_{3i} от отношения сигнал-шум на входе приемного устройства ρ_{1i} при использовании одной и двух итерационных ступеней

Из результатов можно сделать вывод, что при увеличении числа итерационных ступеней увеличивается отношение сигнал-шум на выходе приемного устройства, а значит, увеличивается помехоустойчивость при передаче непрерывных сообщений. Для данного варианта аналогового кодирования и систематического кода (7, 3, 4) в результате проведения второй итерационной ступени помехоустойчивость увеличивается приблизительно в 1.5 раза.

На рисунке 4 представлена структурная схема устройства, в котором реализуется предлагаемый способ передачи непрерывных сообщений.

Устройство содержит аналоговый кодер 1, блоки памяти 2 и 10, блок получения выборок 3, передающее устройство 4, блоки управления 5 и 8, линию связи 6, приемное устройство 7, аналоговый декодер 9, фильтр нижних частот 11.

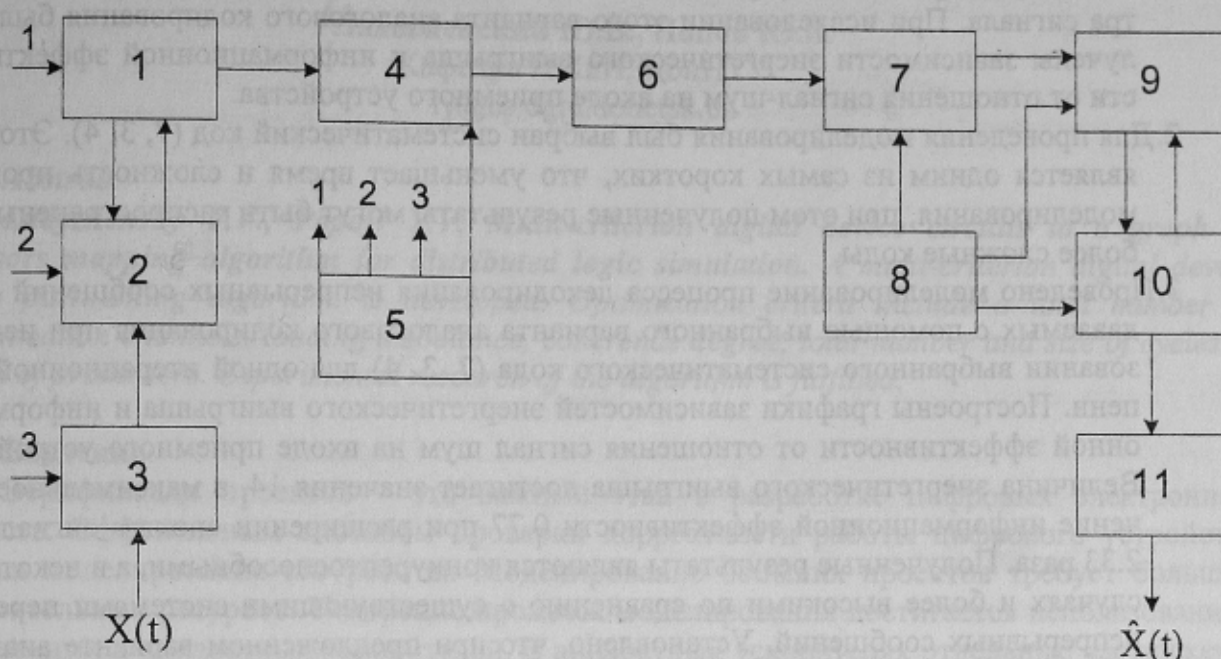


Рисунок 4 — Структурная схема, реализующая предлагаемый способ передачи непрерывных сообщений

Работа устройства заключается в следующем. В блоке получения выборок 3 из передаваемого сообщения $x(t)$ получают его выборки X_i , $i=1,2...k$, с шагом дискретизации T , выбираемым в соответствии с теоремой Котельникова. В аналоговом кодере 1, используя блок памяти 2, из каждых k выборок вычисляют g проверочных величин X_{k+h} , $h=1,2...g$, в соответствии с проверочными соотношениями. В передающем устройстве 4 производится формирование сигнала, несущего выборки и проверочные величины. Этот сигнал передается через линию связи 6 в приемное устройство 7, где получают (первичные) оценки выборок и проверочных величин. Используя блок памяти 10, в аналоговом декодере 9 для каждой выборки X_i , $i=1,2...k$, и проверочной величины X_{k+h} , $h=1,2...g$, вычисляют вторичные оценки, получаемые от использования отдельно взятого h -го проверочного соотношения, вычисляют вторичные оценки как взвешенные суммы, упомянутых оценок. Итеративно $m-1$ раз повторяют процесс вычисления вторичных оценок, используя в качестве входных величин последующей вычислительной ступени итеративной процедуры выходные величины предыдущей вычислительной ступени итеративной процедуры. Выходные величины $\hat{X}_{i\Sigma}^{(m)}$ последних вычислительных ступеней итеративных процедур используют для установления полярностей и амплитуд последовательности видеоимпульсов, следующих с периодом T . Сглаживание этой последовательности видеоимпульсов в фильтре нижних частот 11 дает оценку переданного сообщения в виде ряда Котельникова

$$\hat{X}(t) = \sum_{i=1}^k \hat{X}_{i\Sigma}^{(m)} \cdot \frac{\sin \pi f_B(t-iT)}{\pi f_B(t-iT)}$$

Выводы.

1. Предложен и исследован принципиально новый вариант аналогового кодирования, который позволяет увеличить помехоустойчивость и информационную эффективность при передаче непрерывных сообщений без значительного расширения спектра сигнала. При исследовании этого варианта аналогового кодирования были получены зависимости энергетического выигрыша и информационной эффективности от отношения сигнал-шум на входе приемного устройства.
2. Для проведения моделирования был выбран систематический код (7, 3, 4). Этот код является одним из самых коротких, что уменьшает время и сложность процесса моделирования, при этом полученные результаты могут быть распространены и на более сложные коды.
3. Проведено моделирование процесса декодирования непрерывных сообщений передаваемых с помощью выбранного варианта аналогового кодирования при использовании выбранного систематического кода (7, 3, 4) для одной итерационной ступени. Построены графики зависимостей энергетического выигрыша и информационной эффективности от отношения сигнал шум на входе приемного устройства. Величина энергетического выигрыша достигает значения 14, а максимальное значение информационной эффективности 0.77 при расширении спектра сигнала α в 2.33 раза. Полученные результаты являются конкурентоспособными, а в некоторых случаях и более высокими по сравнению с существующими системами передачи непрерывных сообщений. Установлено, что при предложенном варианте аналогового кодирования и систематическом коде порог помехоустойчивости отсутствует.
4. Результаты моделирования с использованием двух итерационных ступеней показали, что при увеличении числа итерационных ступеней возрастает величина энергетического выигрыша. При использовании второй итерации значение энергетического выигрыша возросло примерно в 1.5 раза.
5. Предложена структурная схема устройства для передачи непрерывных сообщений с помощью выбранного варианта аналогового кодирования.

Литература

1. Помехоустойчивость и эффективность систем передачи информации / Зюко А. Г., Фалько А.И., Панфилов И.П., Банкет В.Л., Иващенко П.В. / Под ред. А.Г. Зюко. — М.: Радио и связь, 1985. — 271 с.
2. Фомин А.Ф. Помехоустойчивость систем передачи непрерывных сообщений. М.: Сов. радио, 1975. - 352 с.
3. Возенкрафт Дж., Джекобс И. Теоретические основы техники связи: Пер. с англ. / Под ред. Р.Л. Добрушина. -М.: Мир, 1969. — 640 с.
4. Бронников В.Н., Метод получения мягких решений относительно символов кодов // Труды 4-й МНТК UkrTeleCom-99 - Одесса, 1999, Радиотехника. - 2000. - №12.- С. 22-25.
5. Тепляков И.М., Рощин Б.В., Фомин А.И., Вейцель В.А. Радиосистемы передачи информации. — М.: Радио и связь, 1982. — 264 с.