

```

THEN IntVar := 450;
ELSE IntVar := 124;
END_IF;

```

Висновки

1. Середовище CoDeSys надає дуже зручний механізм розробки прикладної програми взаємодії з протоколом Modbus, повністю забираючи на себе всі необхідні процедури та функції з реалізації обміну, встановлення порядку обміну даними із зовнішнім обладнанням.

2. Прикладне програмне забезпечення в середовищі програмування вимагає від розробника лише адекватного опису змінних та їх типу.

Література

1. Руководство пользователя по программированию ПЛК в CoDeSys 2.3// 3S - Smart Software Solutions GmbH, Редакция RU 2.4, для CoDeSys V2.3.6.x. – 2006. – 453 с.

2. Минаев И. Г. Программируемые логические контроллеры в автоматизированных системах управления / И. Г. Минаев, В. М. Шарапов, В. В. Самойленко. – 2-е изд., перераб. и доп. – Ставрополь: АГРУС, 2010. – 128 с.

Надійшла 14.7.2012 р.

Рецензент: д.т.н. проф. Троцишин І.В.

УДК 621.391

О.В. КАЛЬВАТИНСЬКИЙ

Центр прийому і обробки спеціальної інформації та контролю навігаційного поля

А.А. ТАРАНЧУК, О.О. ПОСДИНЧУК

Хмельницький національний університет

ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ ЗАВАДОСТІЙКОГО КАСКАДНОГО КОДУВАННЯ В ЗАДАЧАХ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ

Розроблена імітаційна модель каналу зв'язку «супутник – приймальна станція» на базі пакета математичного моделювання MATLAB/SIMULINK, підтверджена ефективність використання каскадних кодових конструкцій, зокрема, спільного використання згорткових кодів та кодів Ріда – Соломона в системах дистанційного зондування Землі.

The simulation model of communication link "the satellite - receiving station" of the base a packet mathematical simulation of MATLAB/SIMULINK is developed. Efficiency of use of the cascade code constructions, on the basis of sharing convolution codes with Reed – Solomon codes in system of remote sensing of Earth is shown.

Ключові слова: канал зв'язку, завадостійке кодування, згортковий код, код Ріда – Соломона, енергетичний виграш.

Постановка проблеми. Подальший розвиток космічної галузі в області вирішення задач дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) характеризується кластерним запуском космічних апаратів (КА) (запуск до шести КА малої маси одним ракетноносієм). Прикладом таких запусків є запуск з космодрому Байконур одним російським ракетноносієм «Дніпро» п'яти КА RapidEye (Німеччина) вагою 150 кг (рис. 1), а також запуск в одному кластері: білоруського комічного апарата БКА (вага 400 кг), російського "Канопус - В" вагою 450 кг, малого космічного апарату для фундаментальних космічних досліджень (МКА-ФКД) вагою до 100 кг, німецького TET-1, канадського ADS-1В одним російським ракетноносієм "Союз/Фрегат" [1].



Рис. 1. Супутники RapidEye на космодромі Байконур

Загальна тенденція по зменшенню маси КА призводить до погіршення енергозабезпечення космічних апаратів і відповідно до зменшення потужності їх передавальних пристроїв. При цьому, за специфікацією CCSDS 131.0-B-1 для систем космічного зв'язку значення вірогідності похибки на біт (англ. Bit Error Rate – BER) не повинне перевищувати рівень 10^{-6} при енергетичному відношенні сигнал/шум

не менш 5 дБ. У цьому випадку проявляється характерний недолік згорткових кодів, який полягає в зменшенні ефективності кодування при збільшенні енергетичного співвідношення сигнал/шум, що не дозволяє забезпечити коефіцієнт $BER < 10^{-6}$ при прийнятній складності декодування. Усунення цього недоліку можливе шляхом використання каскадних кодових конструкцій на основі спільного використання згорткових кодів з кодами Ріда – Соломона у трактах приймання інформації дистанційного зондування Землі [2].

Метою даної роботи є дослідження ефективності каскадних кодових конструкцій в системах ДЗЗ та визначення вимог до енергетичних показників в супутникових каналах зв'язку.

Вирішення проблеми. Для дослідження ефективності каскадного кодування в системах ДЗЗ та визначення вимог до енергетичних показників супутникових каналів зв'язку побудуємо модель каналу зв'язку "супутник-наземна станція" з використанням пакету програм математичного моделювання MATLAB/SIMULINK у відповідності до специфікації [2], яка дозволить дослідити залежність вірогідності виникнення помилки передачі бітів (коефіцієнт BER) від співвідношення сигнал/шум (С/Ш) в каналі зв'язку (рис. 2).

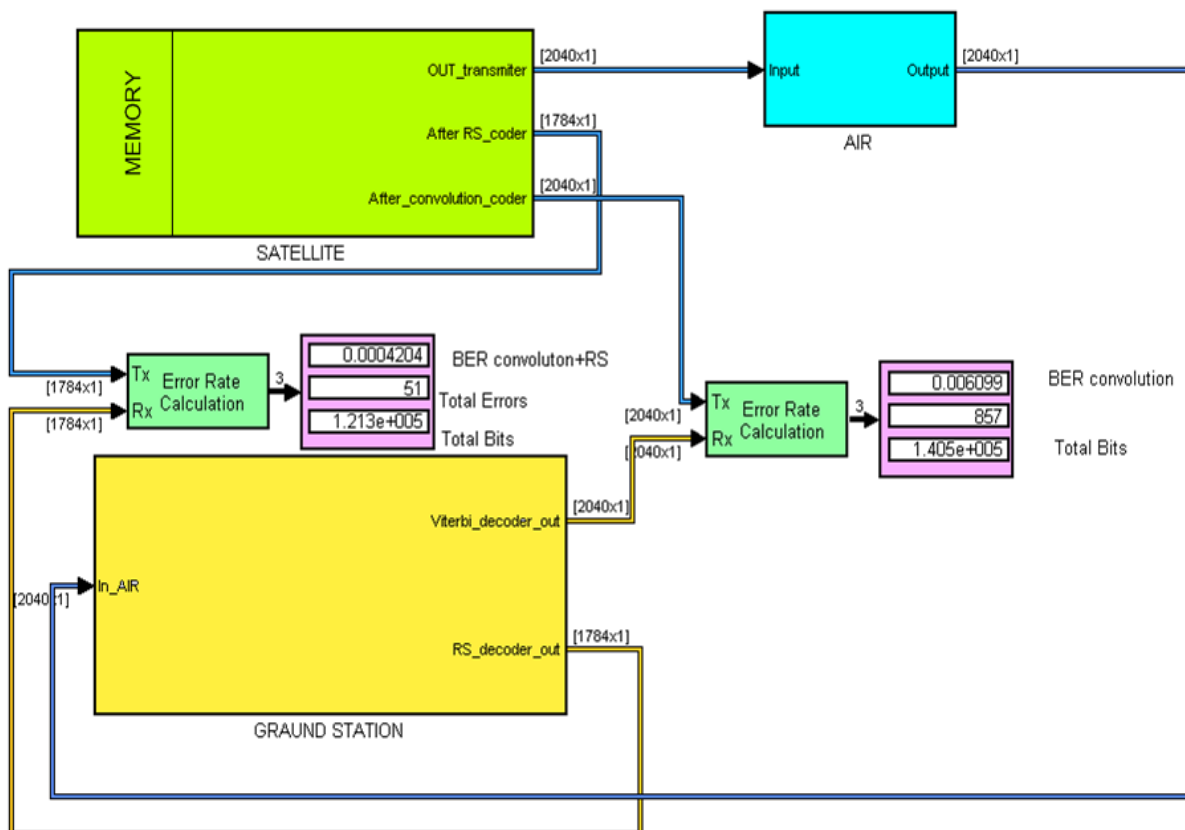


Рис. 2. Модель супутникового каналу зв'язку

Модель каналу зв'язку "супутник – наземна станція" складається із наступних блоків: передавача супутника (Sattelite), який містить блок пам'яті (Memory), пристрій кодування, QPSK модулятор (QPSK Modulator Baseband block); каналу зв'язку з адитивним білим гаусовським шумом (AIR-AWGN Channel block) та приймача наземної станції (Graund Station), який містить QPSK демодулятор (QPSK Demodulator Baseband block) і пристрій декодування (рис. 2).

У свою чергу система кодування/декодування (рис. 3) складається з пристрою кодування, який містить кодер Ріда – Соломона (RS-encoder), перемішувач (Interleaver), згортковий кодер (Convolutional Encoder) та пристрою декодування, який складається із декодера Вітербі (Viterbi Decoder), зворотного перемішувача (De-Interleaver) та декодера Ріда – Соломона (RS-decoder).

Розглянемо принципи роботи основних блоків моделі (рис. 2, 3).

В блоці пам'яті (Memory) зберігається інформація, яка взята за основу як кадр (послідовність розміром 223 байти) інформації, яка передається з супутника і сформована за специфікацією [2]. Блок пам'яті реалізований в MATLAB/SIMULINK/COMMUNICATIONS SYSTEM TOOLBOX за допомогою двох блоків: Constan та Buffer. Отримана з блоку пам'яті інформація зі швидкістю 15 Мбіт/с поступає на кодер Ріда – Соломона (RS-Encoder). Відомо [3], що коди Ріда – Соломона є блоковими циклічними кодами з генеруючим поліномом:

$$g(x) = \prod_{i=1}^{n-k} (x - b^i), \quad (1)$$

де b – один із елементів поля $GF(q)$.

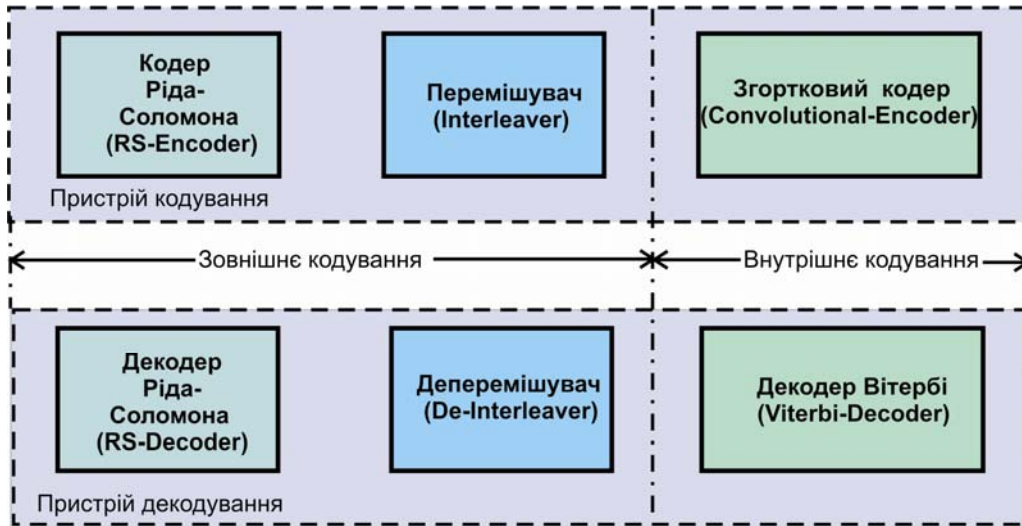


Рис. 3. Схема системи кодування/декодування

Кодер Ріда – Соломона (RS-Encoder) складається із регістрів зсуву, суматорів та помножувачів (рис. 4). Регістр зсуву, в свою чергу, містить комірки пам'яті, в кожній із яких знаходиться один елемент поля Галуа.

При операції кодування в кодері Ріда – Соломона інформаційний поліном перемножується з породжуючим багаточленом [3].

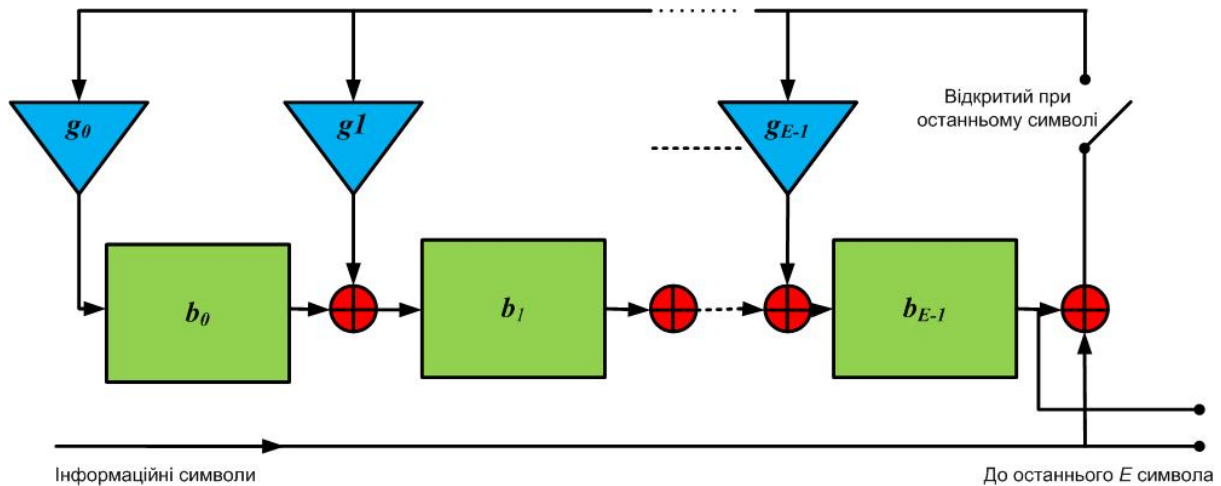


Рис. 4. Структура кодера Ріда – Соломона PC (n,k)

Коди Ріда - Соломона PC застосовуються в якості зовнішніх кодів у каскадній кодовій конструкції. У даних конструкціях q -і символи коду PC кодуються внутрішніми згортковими кодами.

Для моделі (рис. 2) задані параметри коду Ріда - Соломона RS (255, 223) з 8-бітними символами. Отже, кожне кодове слово містить 255 байт, або 2040 біт з яких 223 є інформаційними й 32 є байтами парності. Для даного коду: $n=255$; $k=223$; $q=8$; $2t=32$, $t=16$. Це означає, що кодер Ріда –Соломона отримує $k=223$ інформаційних символів по $q=8$ бітів кожний і додає $2t$ символів парності для формування $n=255$ символного кодового слова. При розмірі символу q , максимальна довжина кодового слова n для коду Ріда – Соломона дорівнює $n = 2^q - 1$, а отже, для нашого випадку, 255 байт.

Структура кодового слова після операції кодування за допомогою кодера Ріда – Соломона представлена на рис. 5.

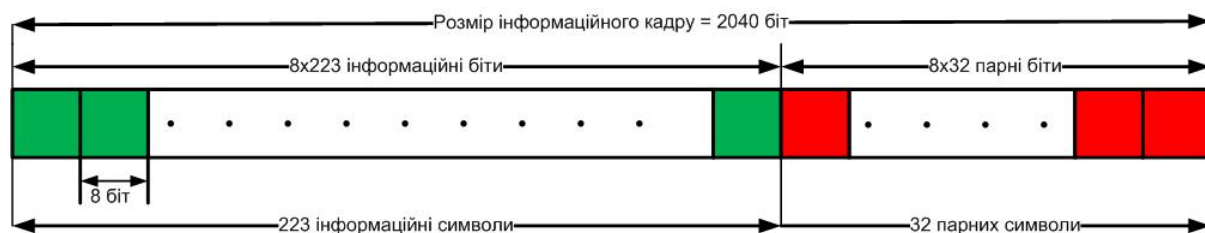


Рис. 5. Структура кодового слова після операції кодування кодером Ріда – Соломона

Код Ріда – Соломона забезпечує безпомилкову передачу інформації на мінімальній кодовій відстані d , яка визначається з виразу $d=n-k+1$ і становить $d=33$. Звідси, кількість виправлених помилок E , які може коректувати кодер Ріда – Соломона, з виразу $E=(d-1)/2$, становить $E=16$ символів на кадр інформації.

Разом з кодуванням Ріда – Соломона використовується блок, який виконує операцію перемішування символів (Interleaving) за допомогою блоку перемішувача (Interleaver) – пристрою, що змінює порядок передачі символів детермінованим способом і який призначений для придушення пакетних помилок [3].

У якості перемішувача в моделі SIMULINK (рис. 3) використаний матричний перемішувач (Matrix Interleaver) з параметрами матриці 17×15 , в яку запис даних здійснюється по горизонталі, а їх зчитування – по вертикалі.

Після операцій кодування РС з перемішуванням бітова послідовність поступає до внутрішнього згорткового кодера з відносною швидкістю коду $1/2$ та з довжиною слова $K=7$ та породжуючими поліномами згортки $G1(x)=x^7+x^6+x^5+x^4+1$ і $G2(x)=x^7+x^5+x^4+x^2+1$. Блок-схема внутрішнього згорткового кодера зображена на рис. 6.

При завадостійкому згортковому кодуванні перетворення інформаційних послідовностей у вихідні й кодові відбувається безупинно. Кодер двійкового згорткового коду містить 6-розрядний регістр зсуву і суматори по модулю 2 для утворення кодових символів у вихідній послідовності. Входи суматорів з'єднані з відповідними розрядами регістру. Комутатор на виході встановлює черговість послілки кодових символів у каналі зв'язку [4].

Використання кодів Ріда – Соломона та згорткового кодування утворює каскадну кодову конструкцію, яка у блоці QPSK модулятора (QPSK modulator Baseband block) блоку SIMULINK перетворюється на модульоване коливання.

В розробленій моделі (рис.2) співвідношення С/Ш змінюється в діапазоні від 0 дБ до 8 дБ і задається в блоці SIMULINK AWGN Chanеl разом з іншими параметрами радіолінії [5].

Фазовий портрет, що отриманий за допомогою блоку SIMULINK Scatter plot block представлений на рис. 7. Шуми, що виникають на вході приймача, пошкоджують декілька сусідніх байтів інформації. Декодер Вітербі (Viterbi Decoder) (рис. 3) не може відновити повністю передану супутником ДЗЗ інформацію, так як шуми займають величину більшу від мінімальної кодової відстані.

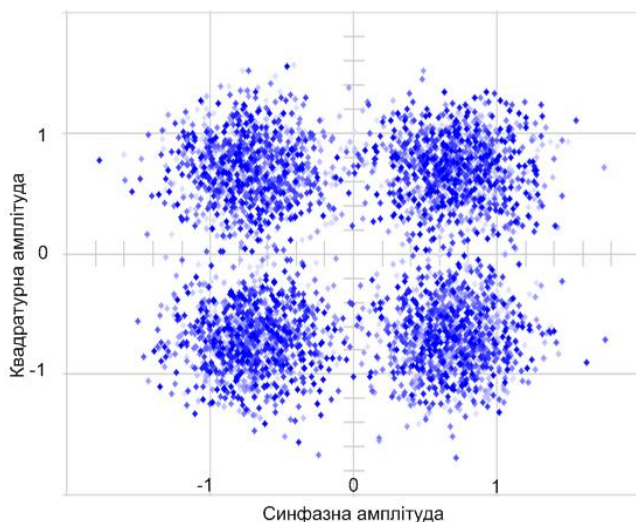


Рис. 7. Фазовий портрет AWGN каналу супутникового зв'язку

Результат використання завадостійких каскадних кодових конструкцій при декодуванні сигналу представлений на зображенні рис. 9.

Як видно з рис. 9 каскадні кодові конструкції достатньо ефективні під час прийому інформації в системах ДЗЗ. Так як роздільна здатність систем ДЗЗ обмежена, кожний «вбитий» піксель містить важливу інформацію про Земну поверхню та перешкоджає отриманню дійсної інформації про об'єкти які знаходяться на поверхні Землі (льодова обстановка, переміщення суден, стан лісового насадження, прогноз врожайності сільськогосподарських культур та ін.). Відповідно до даних представлених у [2] для систем ДЗЗ при коефіцієнті $BER=10^{-6}$, на мільйон переданих символів лише один з них може бути невірним.

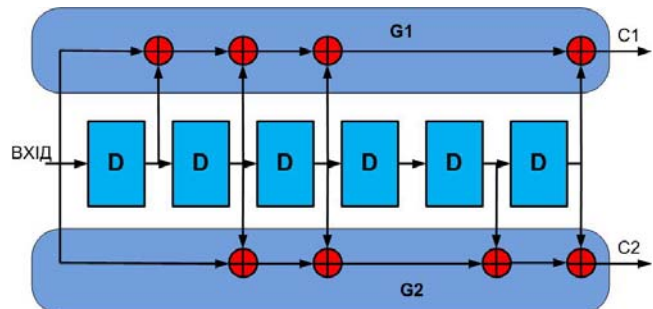


Рис. 6. Блок-схема згорткового кодера з відносною швидкістю $1/2$

На рис. 8 представлений результат обробленої інформації на виході декодера Вітербі (зображення збільшене за рахунок виникнення смуг знизу при введенні надлишковості сигналу пристроєм кодування), отриманого за допомогою блоків SIMULINK моделі (рис. 2) Image Video Viewer.

В приймачі наземної станції q -і символи декодуються жорстким алгоритмом Вітербі, який вважається ефективним у каналах з AWGN. Такий декодер буде виправляти одиночні помилки в q -х символах. Якщо виникнуть пакетні помилки й деякі пакети q -х символів будуть декодовані неправильно, тоді зовнішній декодер Ріда – Соломона (RS-decoder) спільно з зворотнім перемішувачем (De - Interleaver) виправить пакети цих помилок. Таким чином, буде досягнута необхідна надійність передачі інформації в супутниковій лінії зв'язку [5].

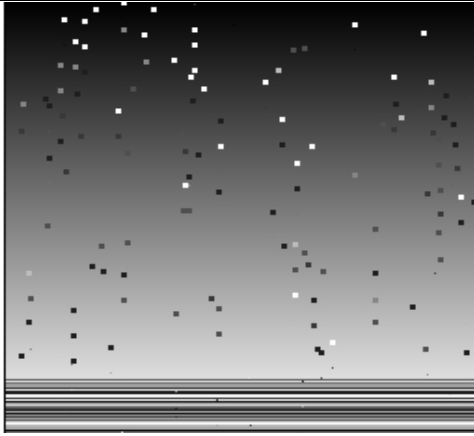


Рис. 8. Результат декодування інформації декодером Вітербі



Рис. 9. Результат декодування інформації декодером Вітербі, та декодером Ріда – Соломона

За допомогою розробленої моделі супутникового каналу зв'язку проведено дослідження характеристик супутникового каналу від співвідношення С/Ш, при якому $BER < 10^{-6}$ (згідно зі специфікацією CCSDS 131.0-B-1) для двох випадків:

1) випадок 1. Використання для обробки інформації прийнятої з супутника згорткового завадостійкого кодування й декодера Вітербі.

2) випадок 2. Використання каскадних кодових конструкцій (згорткового завадостійкого кодування, використання декодера Вітербі та декодера Ріда – Соломона).

Визначення BER здійснювалась за допомогою блоків моделі SIMULINK (рис. 2) Error rate calculation на виході декодера Вітербі (Viterbi Decoder) та декодера Ріда – Соломона (RS-decoder) при порівнянні прийнятої бітової інформаційної послідовності з виходів передавача та приймача каналу зв'язку.

За результатами моделювання побудовані графіки залежності BER від відношення С/Ш, заданого в каналі AWGN (рис. 10), з яких видно, що при вірогідності виникнення помилки на біт $BER < 10^{-6}$ на наземній станції у першому випадку (крива 1, рис. 10) необхідно забезпечити мінімальне співвідношення С/Ш $> 7,2$ дБ в супутниковому каналі зв'язку, а для другого випадку (крива 2, рис.10.) – С/Ш $> 4,8$ дБ відповідно.

Відомо [1], що потужність передавача супутників призначених для задач ДЗЗ складає 13-15 Вт, а отже отриманий енергетичний вииграш від використання завадостійкого каскадного кодування при прийомі супутникової інформації дає змогу зменшити потужність випромінення супутниками у 1,7 разів, при цьому розрахункова мінімальна потужність передавача супутника становитиме від 7,65 до 8,85 Вт.

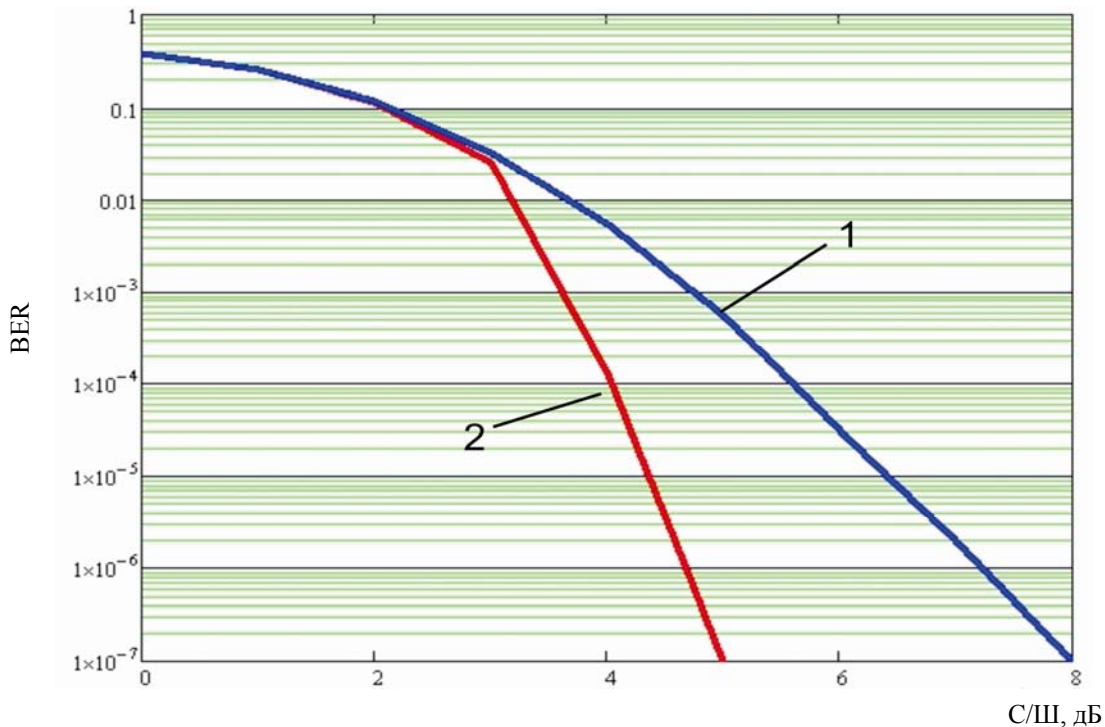


Рис. 10. Залежність BER від відношенні С/Ш в каналі супутникового зв'язку

Висновок

Таким чином, використання завадостійкого каскадного кодування забезпечує зменшення вимог

щодо співвідношення С/Ш у каналі супутникового зв'язку в межах 2,5 дБ, що надає можливість по зменшенню потужності випромінення КА до 1,7 разів, при потужності передавача супутника на рівні від 7,65 до 8,85 Вт. Розроблена імітаційна модель супутникового каналу зв'язку може бути використана при проектуванні приймальних трактів наземних станцій.

Література

1. Роскосмос [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.federspace.ru/>. – Названіе с екрана.
2. CCSDS 130.1-G-1. TM Synchronization and Channel Coding, Washington, DC, USA, June 2006. – 89 p.
3. Robert H. The Art of Error Correcting Coding / H. Robert, R. Morelos-Zaragoza. – First Edition, John Wiley & Sons, 2002. – 221 p.
4. Richard E. Blahut. Theory and Practice of Error Control Codes. – Addison-Wesley Publishing Company, Massachusetts, 1984. – 576 p.
5. William A. Geisel, Tutorial on Reed–Solomon Error Correction Coding, NASA, August 1990. – 144 p.

Надійшла 7.9.2012 р.

УДК 621.3.087.92

В.О. ВАРЕШКО

Хмельницький національний університет

ЛІНІЙНА РІВНОМІРНА ШКАЛА ДЛЯ АЦП ПРЯМОГО ПЕРЕТВОРЕННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ ДВОХ НАБОРІВ РЕЗИСТОРІВ, ЩО ВІДРІЗНЯЮТЬСЯ НА ОДИНИЦЮ

Розглядаються основні характеристики та типи АЦП. Описується можливість покращення АЦП прямого перетворення за рахунок двох наборів резисторів. Створена принципово нова лінійна шкала, що дозволяє позитивно впливати на розрядність перетворювача. За рахунок цього зменшується одиниця квантування і збільшується точність приладу.

Basic descriptions and types of ADC are considered. Possibility of improvement of ADC of direct conversion is described due to two sets of resistors. A new linear scale has been created on principle, that allows positively to influence on the digit capacity of the converter. It decreases the unit of quantization and increases the device precision.

Ключові слова: АЦП, квантування, шкала, рівномірна шкала.

Вступ

Сучасний етап розвитку комп'ютерних технологій, телебачення, радіомовлення, запису та відтворення звуку має на меті представлення інформації у цифровому форматі. Більшість інформації у первозданному вигляді є аналоговою, тому для її обробки за допомогою ЕОМ аналогова інформація перетворюється в багаторозрядний цифровий код. В цифровому вигляді вона зберігається. Пристрої, які перетворюють аналогову інформацію в цифрову, називаються аналого-цифровими перетворювачами (АЦП). Для її відтворення використовують пристрої зворотної дії – цифро-аналогові перетворювачі (ЦАП) [1].

Основними характеристиками ЦАП й АЦП є частота перетворення (швидкодія) та розрядність (точність). Частота перетворення зазвичай виражається у відліках в секунду (samples per second – SPS), розрядність – в бітах. Чим вищі вимоги до швидкості і розрядності, тим важче отримати необхідні характеристики, та тим дорожчий і складніший перетворювач [2]. Зрозуміло, що швидкість перетворення та розрядність пов'язані між собою – для підвищення точності жертвується швидкістю.

Аналіз першоджерел

За період існування АЦП створено багато їх типів. Ось деякі з них:

- 1) АЦП паралельного перетворення (прямого перетворення, flash ADC);
- 2) АЦП послідовного наближення;
- 3) сигма-дельта АЦП;
- 4) конвеєрні АЦП;
- 5) диференціального кодування.

Кожен з типів АЦП призначений для підвищення точності або швидкості, одні види дорожчі та складніші, інші – дешевші та відповідно простіші. Найшвидшим є АЦП паралельного перетворення. У ньому вхідний сигнал прикладається одночасно до входів всіх компараторів. У кожному компараторі він порівнюється з опорним сигналом, значення якого еквівалентно певній кодовій комбінації. Опорний сигнал U_{ref} знімається з вузлів резистивного дільника, що живиться від джерела опорної напруги. Число можливих кодових комбінацій (а, отже, число компараторів) рівне $2^m - 1$, де m є числом розрядів АЦП [5]. АЦП прямого перетворення володіють найвищою швидкодією серед інших типів АЦП, визначуваною швидкодією компараторів і затримками в логічному дешифраторі. Їх недоліком є необхідність у великій