# Изследване на основния процес при кодирането на цифровия комуникационен канал „Изравняване на енергията на сигнала”

Боян Карапенев

***Study of the main process of coding the digital communication channel: Levelling the signal energy dispersal:*** *This paper presents the main process in the coding of the digital communication channel: Levelling the signal energy dispersal. The basic processes in the coding of the digital communication channel and also the nature of the first process which is the subject of the study are presented. Two synthesized models for simulation studies of the main process in the coding of the digital communication channel: Levelling the signal energy dispersal with different initial conditions are presented. The results were obtained using Electronics Workbench Pro software.*

***Key words:*** *Levelling the Signal Energy Dispersal, Coding Digital Communication Channel, Main Process, Model, Simulation Study, Results.*

## ВЪВЕДЕНИЕ

Цифровото пренасяне на информацията по канала за връзка включва процесите на: кодиране и декодиране на източника, кодиране и декодиране на канала, и модулация и демодулация [4], [3]. В предавателната страна кодирането на източника, кодирането на канала и модулацията имат за цел да преобразуват входния сигнал така, че да се постигне най-оптималното му предаване по канала за връзка. Той се характеризира със следните параметри [5]: съотношение сигнал/шум (S/N), амплитудночестотна, фазовочестотна и шумова характеристика, мощност на предавания сигнал, коефициент на цифрова грешка (BER) и др.

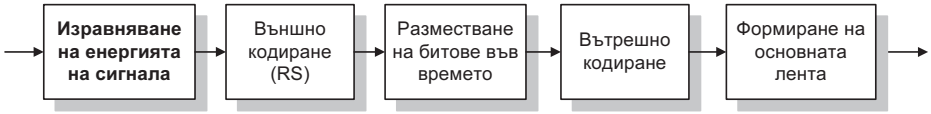
Целта на кодирането на канала е да се осигури „квазибезпогрешно приемане” на цифровата информация, което означава не повече от една грешка в течение на приемане един час. Това се решава с избора на съответни средства за защита от грешки.

## ИЗЛОЖЕНИЕ

### *1. Основни процеси при кодирането на цифровия комуникационен канал. Същност на процеса „Изравняване на енергията на сигнала”*

Обобщената блокова схема на основните процеси, които се извършват последователно при кодирането на наземен цифров комуникационен канал, е представена на фиг. 1 [3], [4] и включва:

- Изравняване (равномерно разпределяне) на енергията на сигнала;
- Външно (Рийд-Соломон) кодиране (RS);
- Разместване на битове във времето;
- Вътрешно (конволюционно) кодиране;
- Формиране на основната лента на сигнала.



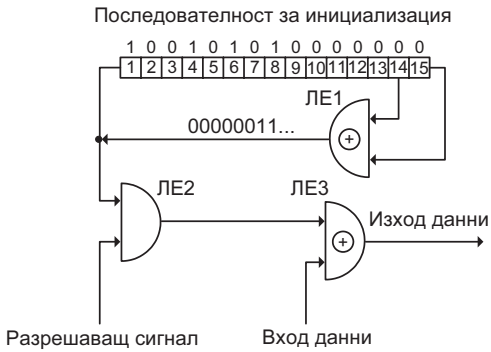

**Фиг. 1 - Основни процеси при кодирането на наземен цифров комуникационен канал**

При **изравняването на енергията на сигнала** се извършва разбъркване (скремблиране) на битовете по псевдослучаен закон. Целта е, енергията на сигнала да се разпредели максимално ефективно и равномерно по честотната лента. Ако във входния сигнал в даден момент се предават много на брой еднакви поредици

(от единици или нули), то в определена област от спектъра на този сигнал ще се натрупа много повече енергия в сравнение с останалите. Оптималното разпределение на енергията е равномерното. Сигнал с изравнена енергия, по-малко е податлив на външни смущения.

Функционалната схема на процеса **Изравняване на енергията на сигнала** е показана на фиг. 2 [4], [3]. Принципът на действие е: след като се отдели синхронизиращият байт от заглавието на рамката, неподлежащ на разместване, сигналът постъпва на петнадесет разряден преместващ регистър, в обратната връзка на който към 14- и 15- тригер е включен логически елемент ЛЕ1 „сума по модул две”. Всеки осми синхронизиращ байт се инвертира и става равен на B8(HEX), т.е. 10111000, и така се предава „указание” на приемното устройство, че предаваната информация е скремблирана. Склембира се само полезната информация в рамката. Полиномът, който описва действието на генератора на псевдо-случайната цифрова поредица има вида

$$G = 1+x^{14}+x^{15} \qquad (1)$$



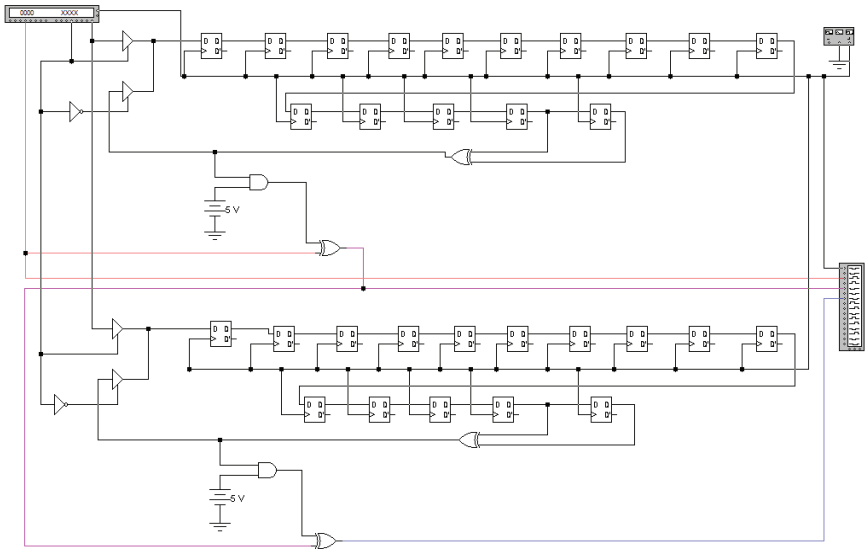

**Фиг. 2 - Функционална схема на процеса Изравняване на енергията на сигнала**

Входният поток постъпва на ЛЕ3 „сума по модул две”, а скремблираният се формира на неговия изход. Логическият елемент ЛЕ2 „И” прекъсва скремблирането по времето на всеки пореден синхронизиращ байт. В началото на всеки цикъл в преместващия регистър се зарежда началното състояние на кодиращия полином, което при системите за предаване на цифрова телевизия DVB е 100101010000000 [4]. Кодерът и декодерът имат една и съща структура.

***2. Модели за изследване на основния процес при кодирането на цифровия комуникационен канал Изравняване на енергията на сигнала. Симулационни резултати***

Въз основа на функционалната схема от фиг. 2 на фиг. 3 е представена синтезирана схема (модел) на кодер-декодер за **Изравняване на енергията на сигнала**, реализирана с 15 асинхронни D-тригера. В случая, първоначалната инициализация се извършва през първите 15 такта, през който във всеки D-тригер последователно се зарежда (задава) съответната двоичната стойност (0 или 1) от кодиращия полином, подадена от най-младшия разряд. От шестнадесетия такт тригерите започват да работят като един петнадесет битов преместващ регистър.

Получените резултати от извършеното симулационно изследване на представения модел с помощта на продукта Electronics Workbench Pro са показани на фиг. 4.

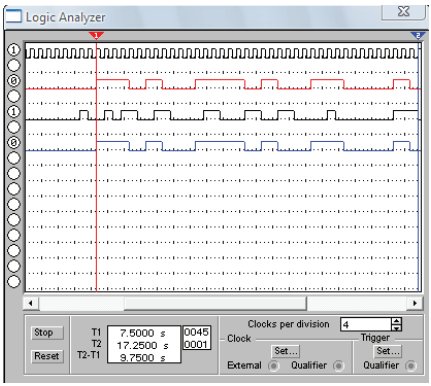



**Фиг. 3 - Схема (модел) на кодер-декодер за Изравняване на енергията на сигнала, реализирана с петнадесет асинхронни D-тригера**

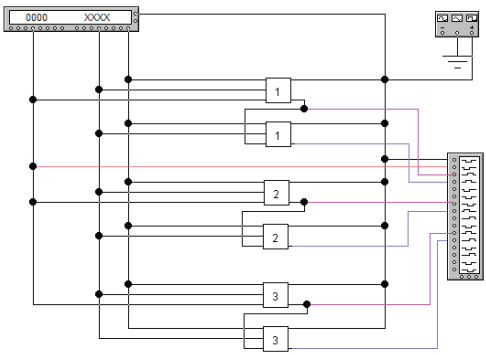
За оценка на ефективността на процеса Изравняване на енергията на сигнала са извършени симулационни изследвания и при:

- **различно свързване** на елемента ЛЕ1 „сума по модул две” от веригата на обратната връзка към съответните D-тригери в кодера и декодера. Това е отразено чрез стойността на първата (най-старшата) цифра от номера на реализирания вариант
  - варианти **1**xx - елементът „сума по модул две” е свързан към 1- и 15- тригер;
  - варианти **2**xx - елементът „сума по модул две” е свързан към 10- и 15- тригер;
  - варианти **3**xx - елементът „сума по модул две” е свързан към 13- и 15- тригер.
- пет **различни входни поредици** (комбинации на входния сигнал), които според втората цифра от номера на реализирания вариант са както следва
  - x**1**x 0110010111001011 (произволна);
  - x**2**x 1111111111111111 (само логически „1”);
  - x**3**x 0000000000000000 (само логически „0”);
  - x**4**x 1010101010101010 (последователно редуване на логическа „1” и „0”);
  - x**5**x 1111000011110000 (последователно редуване на 4 логически „1” и „0”).
- три **различни кодиращи полинома**, които предварително се зареждат през първите 15 такта в D-тригерите. Това е означено със стойността на третата (най-младшата) цифра от номера на варианта
  - xx**1** 100101010000000 (използван в системите DVB);
  - xx**2** 011010101111111 (инверсният полином на xx1);
  - xx**3** 101001010110110 (произволен).

На фиг. 5 е представен модел за симулационно изследване на процеса Изравняване на енергията на сигнала, съдържащ подсхеми със структурата на кодера-декодер, представен на фиг. 3, съответно с начините на свързване на елементите „сума по модул две” към D-тригерите, описани със стойността на първата (най-старшата) цифра от номера на съответния вариант.

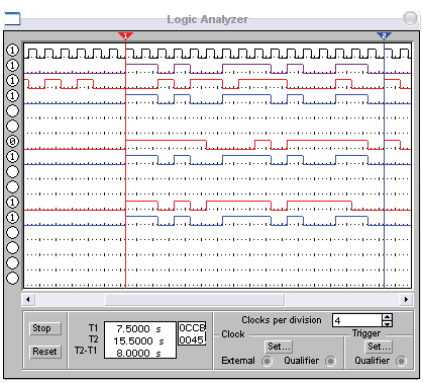



**Фиг. 4 - Резултати, получени с Логическия анализатор**

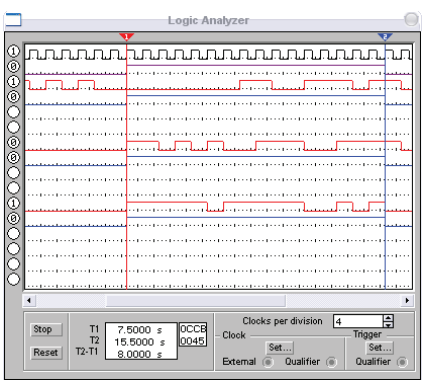



**Фиг. 5 - Модел на кодер-декодер за симулационно изследване на процеса Изравняване на енергията на сигнала, реализирана за варианти 1xx, 2xx и 3xx**

На фиг. 6 и фиг. 7 са представени съответно получените резултати на логическия анализатор от симулационното изследване на схемата от фиг. 5 при подаване на произволна входна поредица 1 „0110010111001011” и кодиращ полином 1 „100101010000000” (варианти 111, 211, 311) и при подаване на входна поредица 2 „1111111111111111” и кодиращ полином 1 „100101010000000” - варианти 121, 221, 321.




**Фиг. 6 - Резултати при подаване на произволна входна поредица 1 „0110010111001011” и кодиращ полином 1 „100101010000000”**




**Фиг. 7 - Резултати при подаване на входна поредица 2 „1111111111111111” и кодиращ полином 1 „100101010000000”**

За оценка на ефективността на процеса Изравняване енергията на сигнала при отделните изследвани случаи (варианти) в таблица 1 е представен броят на логическите „1” и „0” в кодирания полином, а също така и тяхното съотношение.

Анализът на разпределението на логическите стойности във времето е извършен в границите на първите 16 работни такта.

**Табл. 1 - Резултати от извършените симулационни изследвания на процеса Изравняване на енергията на сигнала с продукта Electronics Workbench Pro**

| Вариант № | Брой „1” | Брой „0” | Брой „1”/Брой „0” |
|---|---|---|---|
| Вариант 111 | 7 | 9 | 0,78 |
| Вариант 211 | 11 | 5 | 2,20 |
| Вариант 311 | 11 | 5 | 2,20 |
| Вариант 121 | 6 | 10 | 0,60 |
| Вариант 221 | 10 | 6 | 1,67 |
| Вариант 321 | 12 | 4 | 3,00 |
| Вариант 131 | 10 | 6 | 1,67 |
| Вариант 231 | 6 | 10 | 0,60 |
| Вариант 331 | 4 | 12 | 0,34 |
| Вариант 141 | 6 | 10 | 0,60 |
| Вариант 241 | 6 | 10 | 0,60 |
| Вариант 341 | 8 | 8 | 1,00 |
| Вариант 151 | 6 | 10 | 0,60 |
| Вариант 251 | 10 | 6 | 1,67 |
| Вариант 351 | 10 | 6 | 1,67 |
| Вариант 112 | 6 | 10 | 0,60 |
| Вариант 212 | 6 | 10 | 0,60 |
| Вариант 312 | 11 | 5 | 2,20 |
| Вариант 132 | 9 | 7 | 1,29 |
| Вариант 232 | 7 | 9 | 0,78 |
| Вариант 332 | 4 | 12 | 0,34 |
| Вариант 142 | 5 | 11 | 0,45 |
| Вариант 242 | 5 | 11 | 0,45 |
| Вариант 342 | 10 | 6 | 1,67 |
| Вариант 113 | 8 | 8 | 1,00 |
| Вариант 213 | 8 | 8 | 1,00 |
| Вариант 313 | 7 | 9 | 0,78 |
| Вариант 133 | 9 | 7 | 1,29 |
| Вариант 233 | 7 | 9 | 0,78 |
| Вариант 333 | 8 | 8 | 1,00 |
| Вариант 143 | 7 | 9 | 0,78 |
| Вариант 243 | 7 | 9 | 0,78 |
| Вариант 343 | 10 | 6 | 1,67 |

Като критерий за най-голяма ефективност на процеса Изравняване на енергията на сигнала може да се считат случите, когато броят на логическите „1” и „0” в кодирания полином за определен интервал от време е равен или се различава най-много с ±1. При варианти 341, 113, 213 и 333 броят на логическите „1” и „0” е равен (по осем) и тяхното разпределение в границите на първите 16 работни такта е най-равномерно.

От получените резултати за варианти 111, 112 и 113, 211, 212 и 213, и 311, 312 и 313 се установява, че съответно при вариантите 113, 213 и 313 процесът Изравняване на енергията на сигнала има най-голяма ефективност като броят на логическите „1” и „0” е равен при варианти 113 и 213, следвани от вариант 313, където той се различава с ±1.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Процесът **Изравняване на енергията на сигнала** позволява честотната лента на цифровия комуникационен канал да бъде използвана максимално ефективно. Затова предаваният сигнал трябва да се преобразува така, че честотният му спектър да има шумоподобен характер. При повтарящи се цикли в определени участъци на спектъра се получават натрупвания на енергия, а в други – наличие на честотни интервали с по-малка енергия. Изравняването на енергията на сигнала е един от основните процеси при кодирането на канала и се извършва с кодиране (скремблиране, scrambling) на битовете в цифровия поток по псевдослучаен закон.

Реализирани са симулационни изследвания на синтезираните модели на кодер-декодер за Изравняване на енергията на сигнала, представящи визуално получените резултати, при:

- различно свързване на ЛЕ1 „сума по модул две" от веригата на обратната връзка към съответните *D*-тригери в кодера и декодера;
- зададени входни последователности - произволен сигнал, сигнал само от единици и сигнал само от нули, и поредици от единици и нули („1010...." и „11110000....");
- различни стойности на кодиращия полином.

Ефективността на процеса Изравняване на енергията на сигнала може да бъде оценена и по броя на нулите и единиците в кодирания полином (таблица 1) през продължителността на определен брой работни такта. Алгоритъмът обработва входната информационна поредица по сходен начин като номерата на тригерите, от които се вземат сигналите за обратната връзка, реализирана с ЛЕ1 „сума по модул две", стойността на кодиращия полином, като е задължително той да бъде един и същ в кодера и декодера, и входната поредица не са от значение.

Съвкупността от всички процеси, извършвани при кодирането на цифровия комуникационен канал, имат за цел да подобрят шумоустойчивостта и да намалят вероятността за появата на грешки, а при тяхното възникване, те да бъдат ефективно открити и коригирани като предаваната информация да бъде напълно възстановена. По такъв начин стойността на коефициента на цифровата грешка BER от $10^{-2}$ достига до $10^{-11}$.

## ЛИТЕРАТУРА

[1] Карапенев Б., Изравняване на енергията на сигнала и разместване на битове – едни от основните процеси при кодирането на канала, Известия на Техническия университет Габрово, ISSN 1310-6686, том 41, 2011 г., стр. 70-73.

[2] Карапенев Б., С. Садинов, П. Когиас, Й. Кънев. Синтез на симулационни модели за изследване на основни процеси от кодирането на канала за връзка при системата DVB-T, Научни трудове на Русенския университет, ISSN 1311-3321, том 51, серия 3.2, 2012 г., стр. 78-84.

[3] Конов К., Цифрова телевизия, ДИОС, София, ISBN 954-8405-35-0, 2004 г.

[4] Конов К., Цифрово радио и телевизионно разпръскване, ДИОС, София, ISBN 976-954-8405-65-2, 2011 г.

[5] Proakis J., M. Salehi. Digital Communications, 5th Edition, McGraw-Hill, ISBN-13: 978-0072957167, 2007.

**За контакти:**

доц. д-р Боян Карапенев, Катедра "Комуникационна техника и технологии", Технически университет - Габрово, тел.: 066/827-415, e-mail: bkarapenev@tugab.bg

**Докладът е рецензиран.**