

Синтез на симулационни модели за изследване на основни процеси от кодирането на канала за връзка при системата DVB-T

Боян Карапенев, Станимир Садинов, Панайотис Когкас, Йордан Кънев

Synthesis of Simulation Models for the Study of Principal Processes of Coding of the Communication Channel in the System DVB-T: This paper presents the fundamental processes of coding of the communication channel in the system DVB-T. There are presented essence of two processes - leveling of energy signal and displacement of domestics, and also their functional diagrams and synthesized simulation models. The results were obtained using Electronics Workbench Pro and Multisim software.

Key words: *Synthesis, Simulation Models, Study, Fundamental Processes, Channel Coding, DVB-T.*

ВЪВЕДЕНИЕ

Цифровото пренасяне на информацията по канала за връзка включва процесите на: кодиране и декодиране на източника, кодиране и декодиране на канала, и модулация/демоулация. В предавателната страна кодирането на източника, кодирането на канала и модулацията имат за цел да преобразуват сигнала на входната информация така, че да се постигне най-оптималното му предаване по канала за връзка, който се характеризира със следните параметри: съотношение сигнал/шум (S/N), амплитудночестотна, фазовочестотна и шумови характеристики, 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 един час приемане. Това се решава с избора на съответни средства за защита от грешки. При кодирането на канала се формира цифрова поредица, която се подава на модулатора и е съгласувана с параметрите на канала за пренос – наземен, спътников или кабелна разпределителна мрежа, за да се пренесе цифровият сигнал с максимална възможна скорост при минимален брой грешки.

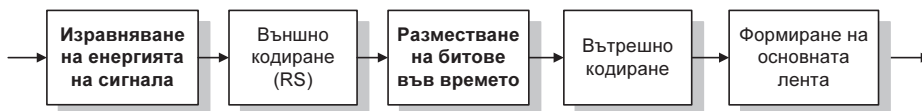
ИЗЛОЖЕНИЕ

За цифрово наземно разпространяване на телевизионни програми е разработена и стандартизирана европейската система DVB-T. За да се постигне максимално възможно съответствие със стандартите за кабелно и спътниково пренасяне на цифрови телевизионни програми трябва да се изберат същите методи за корекция на грешките (изравняване на енергията на сигнала, вътрешно и външно кодиране, разместване на битове и др.). Изискването с DVB-T да се осъществят едночестотни предавателни мрежи определя използването на OFDM модулация, което позволява да се работи в условия на многолъчево разпространяване на сигнала и при едночестотни мрежи, а освен това се характеризира с добро използване на честотната лента на канала за пренос.

1. Основни процеси при кодирането на канала при системата DVB-T

Обобщената блокова схема на основните процеси, които се извършват при кодирането на канала при системата DVB-T, е представена на фиг. 1 [1, 2] 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.

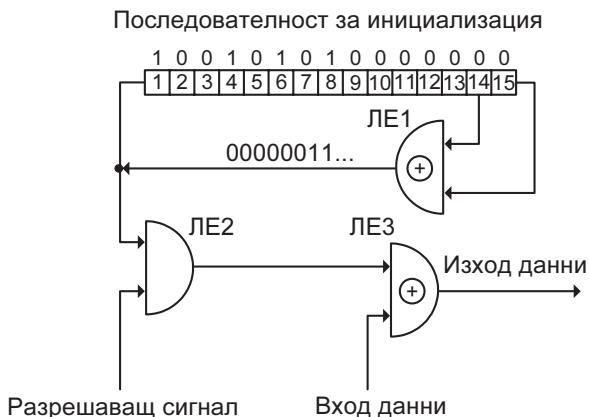


Фиг. 1 – Основни процеси при кодирането на канала

В блока за **Изравняване 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. Например, 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 другите. 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 [1, 2]. 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 „сума по модул две“ ЛЕ1. Всеки осми синхронизиращ байт се инвертира и става равен на В8(HEX), т.е. 10111000, и така се предава „указание“ на приемното устройство, че предаваната информация е скремблирана. Скрембира се само полезната информация в рамката. Полиномът, който описва действието на генератора на псевдо-случайната цифрова поредица има вида

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



Фиг. 2 – Функционална схема за Изравняване на енергията на сигнала

Входният поток постъпва на ЛЕ3 „сума по модул две“, а скремблираният се формира на неговия изход. Логическият елемент „И“ (ЛЕ2) 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 за системата DVB-T е 100101010000000.

Разместването на битовете се налага от факта, че обикновено грешно приетите символи са групирани по няколко в група и това може да надхвърли функционалните възможности на Рийд-Соломон кодирането за извършването на корекции. При стандарта за цифрова телевизия DVB-T се използва съкратеният код

RS(204,188,T=8), където 188 са информационните байтове, 16 - допълнителните и възможности за корекция на 8 байта.

Разместването на битовете се осъществява чрез N преместващи регистъра от типа „първи бит на входа – първи бит на изхода“ (FIFO). Превключването се осъществява чрез N+1 „позиционен ключ“, като при всеки такт той превключва на следващата позиция. За да може грешните битове да се открият и коригират от Рийд-Соломон декодера, те се разместват с дълбочина (закъснение) M. Общата дължина на блока, върху който се извършва разместването, е

$$L = (N+1) \cdot M \quad (2)$$

На фиг. 3 е представена функционалната схема за **Разместване на битове във времето** при кодирането на канала в системата DVB-T [1, 2].



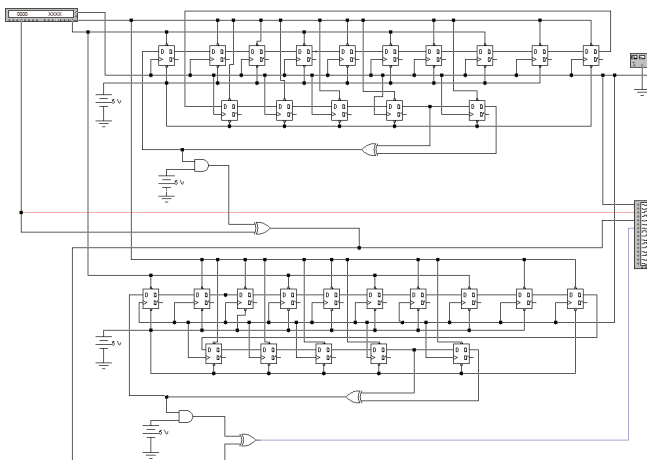
Фиг. 3 – Функционална схема за Разместване на битове във времето

Началният синхронизиращ байт се пропуска директно без закъснение, който не се и кодира от Рийд-Соломон кодера.

Функционалната схема в приемната страна е огледална спрямо хоризонталната ос на тази в предавателната като ключовете се превключват синхронно. Битът, който в предавателя е закъснял във времето с $[i \times M]$ позиции, в приемника ще закъснее с $[(N-i) \times M]$ и следователно всички битове от една рамка ще имат еднакво закъснение във времето.

2. Симулационни модели за изследване на основни процеси от кодирането на канала за връзка при системата DVB-T

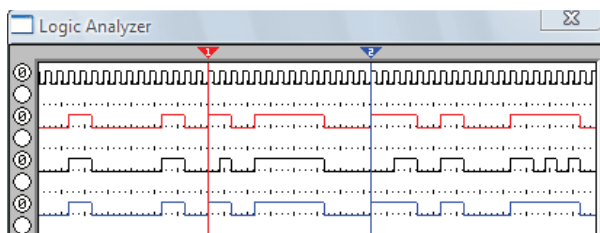
Въз основа на функционалната схема от фиг. 2 на фиг. 4 е представена синтезираната схема на кодер и декодер за **Изравняване на енергията на сигнала**, реализирана с 15 синхронни D-тригера. В случая инициализацията се извършва за един такт, в който във всеки D-тригер се зарежда (задава) нужната двоична стойност (0 или 1) от кодиращия полином. След този такт тези 15 тригера започват да работят като един 15-битов преместващ регистър.



Фиг. 4 – Принципна схема за Изравняване на енергията на сигнала, реализирана с 15 синхронни D-тригера

На фиг. 5 са представени получените резултати на Логическия анализатор от извършеното симулационно изследване на синтезираната принципна схема от фиг. 4. Изобразените сигнали са както следва:

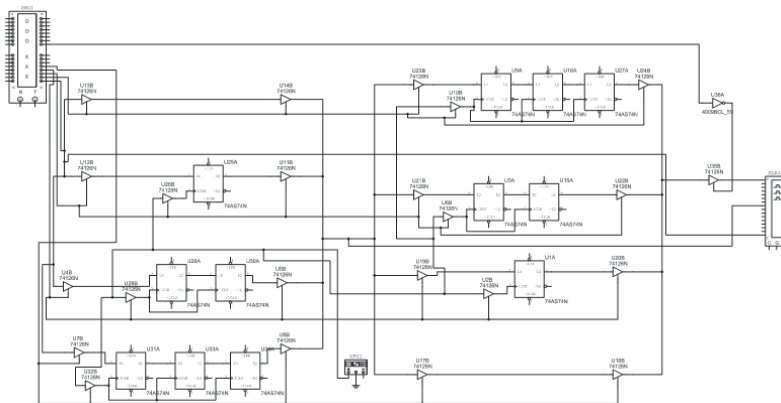
- първи - тактовият сигнал;
- втори - входната поредица на информационния сигнал;
- трети - сигналът на изхода на кодиращото устройство;
- четвърти - сигналът от изхода на декодиращото устройство.



Фиг. 5 – Симулационни резултати, получени с Логическия анализатор

Въз основа на структурната схема от фиг. 3 е синтезирана принципната схема от фиг. 6, илюстрираща процеса от кодирането на канала в системата DVB-T **Разместване на битове във времето**. Използваните D-тригери имат ролята на закъснителна линия като техният брой определя продължителността на съответното закъснение. За конкретната схемна реализация се приема, че една входна комбинация (рамка) се състои от един синхро-бит и три информационни бита – общо 4 бита. Всеки съставен бит от една рамка се подава поотделно на четирите закъснителни линии. Първата линия няма закъснение и там винаги се подава синхро-бита от всяка рамка. Втората линия се състои от един D-тригер, третата от два и последната (четвъртата) от три D-тригера. Буферите на входа и на изхода на всяка верига имат ролята на ключ. При подаване на разрешаващ сигнал „1“ входният се пропуска на изхода. Входните и изходните буфери са синхронизирани и се управляват от един и същ разрешаващ сигнал. „Първата“ част от схемата

размества битовете, а „втората“ - ги възстановява. Схемата за възстановяване е аналогична на тази на разместването и е огледална по хоризонталната ос. Там, където разместващата схема има най-малко закъснение, подреждащата има най-голямо и обратното.

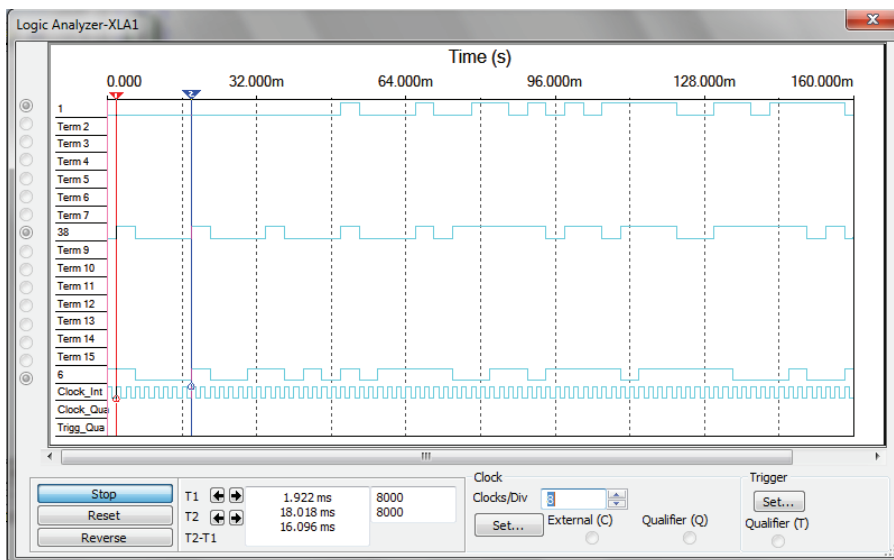


Фиг. 6 – Синтезирана принципна схема за Разместване на битове във времето

При приетата размерност на една рамка (1 синхро бит и 3 информационни) дълбочината на разместването е 4 рамки. Принципът на работа на схемата е следния: на входа на разместващата схема постъпва информационната поредица 1000,1001,.....,1111, на буферите на първата линия се получава разрешаващ сигнал и те пропускат първия бит от входната комбинация (синхро-бита на първата рамка). Тази линия няма закъснение и синхро-битът се пропуска директно. Следващият бит се подава на втората линия, която се състои от един D-тригер. Линиите, съдържащи D-тригери, имат по още един буфер, който е свързан на тактовия вход на тригерите. Той е синхронизиран с входните и изходните буфери на закъснителната линия, т.е. когато има разрешаващ сигнал за пропускане на информационен сигнал, се пропуска и тактовия сигнал към тригера. Така постъпилният бит от входната комбинация се зарежда. След „забрана“ на тактовия сигнал, този бит се запомня до следващото постъпване на входен и тактов сигнал. По същия начин работят и следващите закъснителни вериги, като при тях закъснението, което се получава, е по-голямо.

Разместените битове се подават на входа на възстановяващата схема. Първият бит (синхро-битът), който се пропуска без закъснение, се подава на линията с най-голямо закъснение. Следващият бит се подава на следващата закъснителна линия (с два тригера) и така докато четвъртият бит не се подаде на последната линия, която няма закъснение. По този начин закъсненията на битовете се изравняват и поредността на входните битове се възстановява.

На фиг. 7 са показани сигналите, получени при симулационното изследване на синтезираната схема от фиг. 6 за Разместване на битове във времето. Тук първият сигнал е сигнала, получен след декодера, вторият сигнал е междинния (след кодера), а третият – подадената входна комбинация (информационния сигнал). На изхода на кодера битове от различните рамки закъсняват във времето по следния начин – $1/x/x/x$, $5/2/x/x$, $9/6/3/x$, $13/10/7/4$, $17/14/11/8$, $21/18/15/12$ и т.н. Битовете „X“ не са част от входната комбинация. Тези битове са нули, и зависят от първоначалното състояние на D-тригерите, които в този случай имат начално състояние 0.



Фиг. 7 – Резултати на Логическия анализатор от изследването на синтезираната схема за Разместване на битове във времето

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Процесът **Изравняване на енергията на сигнала** позволява честотната лента да бъде използвана възможно най-ефективно. Затова предаваният цифров сигнал трябва да се преобразува (кодира) така, че честотният му спектър да има шумоподобен характер.

Разместването на битовете намалява възможността за поява на групови грешки при предаването на информацията и осигурява възможността на външното (Рийд-Соломон) кодиране да открива и коригира възникналите грешки. Това се осъществява чрез закъснение на битовете във времето и тяхното разпределяне в различни рамки. В представената синтезирана схема (фиг. 6) разместването се извършва с дълбочина 3 рамки като битовете от една рамка се разпределят след разместването в три последователни. При евентуално използване на схеми, които да разместват битовете от една в няколко не последователно разположени рамки би увеличило ефективността на този процес, с което ще се увеличи и шумозащитеността на предаваната информация.

Съвкупността от всички процеси, извършвани при кодирането на канала, 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 възстановена. По такъв начин при кодирането на канала се достига до стойност на цифровата грешка BER от 10^{-2} на 10^{-11} .

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Конов К., Цифрова телевизия, ДИОС, София, 2004 г.
- [2] Конов К., Цифрово радио и телевизионно разпръскване, ДИОС, София, 2011 г.
- [3] Локшин Б. А., Цифровое вещание: от студии к телезрителю, Москва, ISBN 5-88230-049-5, 2000 г.
- [4] Серов А., Эфирное цифровое телевидение DVB-T/H, БХВ-Петербург, ISBN 978-5-9775-0538-3, 2010 г.

[5] Benoit H. Digital Television, Second Edition: MPEG-1, MPEG-2 and Principles of the DVB System, 2002.

[6] <http://www.stariy.com/2008/09/15/dvb-t-digital-video-broadcasting-terrestrial-tv/>

За контакти:

доц. д-р инж. Боян Димитров Карапенов, Катедра “Комуникационна техника и технологии”, Технически университет - Габрово, тел.: 066/827-415, e-mail: bkarapenev@tugab.bg

доц. д-р инж. Станимир Михайлов Садинов, Катедра “Комуникационна техника и технологии”, Технически университет - Габрово, тел.: 066/827-388, e-mail: murgu@tugab.bg

маг. инж. Панайотис Григориос Когкас, докторант в катедра “Комуникационна техника и технологии”, Технически университет – Габрово, e-mail: rkogias@teikav.edu.gr

маг. инж. Йордан Христов Кънев, докторант в катедра “Комуникационна техника и технологии”, Технически университет – Габрово, e-mail: danchokanev@gmail.com

Докладът е рецензиран.