

## Р а з д е л 3

## ЕЛЕКТРОТЕХНИКА, ЕЛЕКТРОНИКА И АВТОМАТИЗАЦИЯ

## Section 3

## ELECTRICAL ENGINEERING, ELECTRONICS AND AUTOMATION

## СИНТЕЗ И СИМУЛАЦИЯ НА ПРЕКОДЕР ОТ ДВОИЧЕН NRZ В HDB3 КОД

## SYNTESIS AND SIMULATION OF PRECODER FROM BINARY NRZ TO HDB3 CODE

Боян Карапенев \*

Технически университет - Габрово

Статията е постъпила на 20.09.2013 г.; приета за отпечатване на 01.10.2013 г.

**Abstract**

This paper presents the essence of the primary binary codes of the digital signal and also of quasi-ternary AMI and HDB3. A block and structural-functional diagram of precoder from binary NRZ to HDB3 code are presented and described in detail. A circuit (model) of precoder with TTL integrated circuits (ICs) has been synthesized. The obtained simulation results are shown using Electronics Workbench Pro software.

**Keywords:** цифров сигнал; първични кодове; NRZ, HDB3 код; прекодер; синтез; симулация.

**ВЪВЕДЕНИЕ**

Развитието на комуникациите изисква постоянно усъвършенстване на системите за събиране, обработване и предаване на информацията. На преден план възниква въпросът за постигане на голямо бързодействие, точна и стабилна работа на устройствата, възможност за използване на стандартни градивни елементи, както и отсъствието на настройващи такива. Това налага широкото използване на цифрови сигнали и на съответните системи за тяхната обработка. Чрез цифровизацията се заменя безкрайното количество от символи, постъпващи от даден източник, с крайно множество такива, най-често двоичен код. В процеса на предаване на сигналите се налага те да бъдат представени като различни двоични кодове или получени от други такива.

**ИЗЛОЖЕНИЕ**

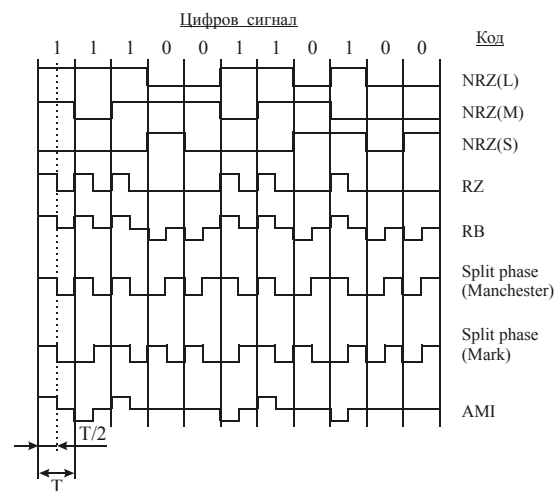
Сигналят е физически процес, който отразява предаваната информация чрез своите изменения. Той протича във времето и се описва графично или аналитично като негова функция. Съобразно параметъра време, сигналите се разделят на аналогови (непрекъснати) и дискретни (прекъснати).

Дискретизацията по време и квантуването по ниво преобразуват непрекъснатия сигнал в цифров. Цифровизацията е важна предпоставка, която дава възможност за обработване на предаваната информация.

Най-често цифровият сигнал се представя в двоичен вид, тъй като цифровите комуникационни устройства имат две устойчиви състояния. Това е предпоставка за осигуряването на висока шумозащитеност.

Полученият цифров сигнал се преобразува в един от т.нар. първични кодове, при които се променя вида на импулсите – амплитуда, полярност, или брой. Тези кодове обикновено се използват за подобряване на параметрите на предавания сигнал с цел по-добра синхронизация между приемника и предавателя, стесняване на честотния спектър, премахване на постоянната съставляща от енергийния спектър на кодирания сигнал, както и за осигуряване на възможности за откриване и коригиране на грешки.

На фиг. 1 са представени едни от най-важните и намерили широко приложение първични кодове на цифровия сигнал – NRZ (L, M и S), RZ, RB, Split-phase Manchester, Split-phase Mark и двуполярния AMI.



Фиг. 1. Първични кодове на цифровия сигнал

Използването на първичните кодове на цифровия сигнал улеснява предаването на информацията по канала за връзка, тъй като се извършва с краен брой символи.

Груповият мултиплексен цифров сигнал най-често е двоичен – NRZ (Non-Return to Zero). Обикновено източникът на информация и устройствата, в които тя се обработва, са отдалечени, а връзката между тях - кабелна линия. Предаването на двоичния сигнал по кабел е свързано с изкривявания, които могат значително да се намалят, ако той предварително се прекодира в квази-троичен код, например AMI или HDB3.

За предаване на груповия цифров поток по кабелна линия е необходимо той да се прекодира в код, отговарящ на следните условия:

- Предаваният по кабелната линия цифров поток трябва да осигурява възможност за отделяне на тактовия сигнал (примерно в регенераторите);
- Кодираният цифров поток трябва да дава възможност за непрекъснат контрол на достоверността на предаваната информация;
- Енергийният спектър на кодирания сигнал не трябва да съдържа постоянна съставяща, а височестотните съставки трябва да са минимални;
- Използуваният код не трябва да внася грешки в предавания цифров сигнал при произволна промяна на структурата му.

При AMI (Alternate Mark Inversion) кода амплитудата на логическите единици на цифровия сигнал е еднаква, но полярността им се редува последователно, а нулите интерпретират логическите нули. Това означава, че кодът притежава възможности да открива някои грешки. Например, ако две поредни единици постъпват с еднаква полярност, това означава, че е налице грешка. Недостатък на кода е, че при по-дълги поредици от нули се нарушава синхронизацията, а основното предимство - по-тесния честотен спектър, от този на непрекъснатия сигнал. HDB3 кодът също двуполярен, в който се избягват недостатъците на AMI, тъй като не може да има повече от три последователни нули. Всички комбинации, състоящи се от по четири нули се заместват с подходящи кодови групи като се спазва алгоритъма: ако  $V$  е импулс, чиято полярност е обратна на тази на предходния импулс, а  $V$  е импулс с полярност, повтаряща тази на предходния, тогава всяка група от четири последователни нули се замества от кодова група, както следва:

- 0000 се замества с 000V, ако между предишния символ  $V$  и настоящия има нечетен брой  $V$  символи;

- 0000 се заместват с V00V, когато броят на  $V$  символите, разположен между предишния и настоящия  $V$  символи, е четен.

Това заместване с различни кодови групи се прави за осигуряване на редуващата се смяна на полярността на  $V$ - импулсите, с което се компенсира постоянната съставка на кодирания сигнал. Максималният брой последователни нули в кода HDB3 е три, а въвеждането на импулс, които нарушават правилото за редуване на полярността, дава възможност за възстановяване на първоначалния код NRZ и за откриване на грешки в предаваната информация.

В кодовете AMI и HDB3 липсва постоянна съставка и енергийният им спектър е съсредоточен в околността на  $0,5f_T$ . Тези кодове не носят никаква информация за тактовия сигнал, но този сигнал, може да се отдели (на пример в регенератора) чрез преобразуване на квази-троичния код в двоичен, като за целта може да се използва например двупътено изправяне.

Псевдотроичните кодове отговарят на следните основни изисквания, поставени към линейните сигнали:

1) Липсата на постоянно-токова съставка и малки нива на височестотните съставки. Отсъствието на постоянно-токова съставка позволява дистанционно захранване на регенераторите с постоянен ток, а намалените нива на височестотните съставки облекчават изискванията към входния и изходния трансформатор в регенератора;

2) Висока и постоянна плътност на импулсите в цифровия линейен сигнал, т.е. сигналът не трябва да съдържа дълги поредици от нули, както и дълги поредици от еднакви единици (само 1 или -1), а трябва да има достатъчно преходи от една полярност в друга, с което изискванията към тактова синхронизация намаляват;

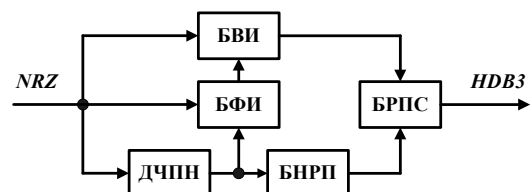
3) Възможност за контрол на достоверността на предаваната информация, т.е. откриване на грешки. Приемането на два поредни импулса с еднаква полярност е указание за наличие на грешка в приема-ния сигнал;

4) По възможност линейният сигнал трябва да позволява ограничаването на широчината на честотната лента, необходима за предаване на сигнала. Такова ограничение може да се постигне чрез увеличаване броя на нивата (2, 1, 0, -1 и -2) - общо 5 - това са кодове с повече от две нива и водят до усложняване на регенераторните устройства. Тяхното използване е целесъобразно при системи с по-висока скорост на предаване – импулсно-кодово модулирани системи със скорост на предаване до 140 Mbit/s.

#### Синтез и симулационни изследвания на прекодер на двоичен NRZ в HDB3 код

Преобразувателят на двоичен NRZ в HDB3 код трябва не само да регистрира наличието на четири последователни нули в цифровия поток и да ги замени с една от възможните комбинации, но и да осъществи необходимото редуване на полярността на импулсите.

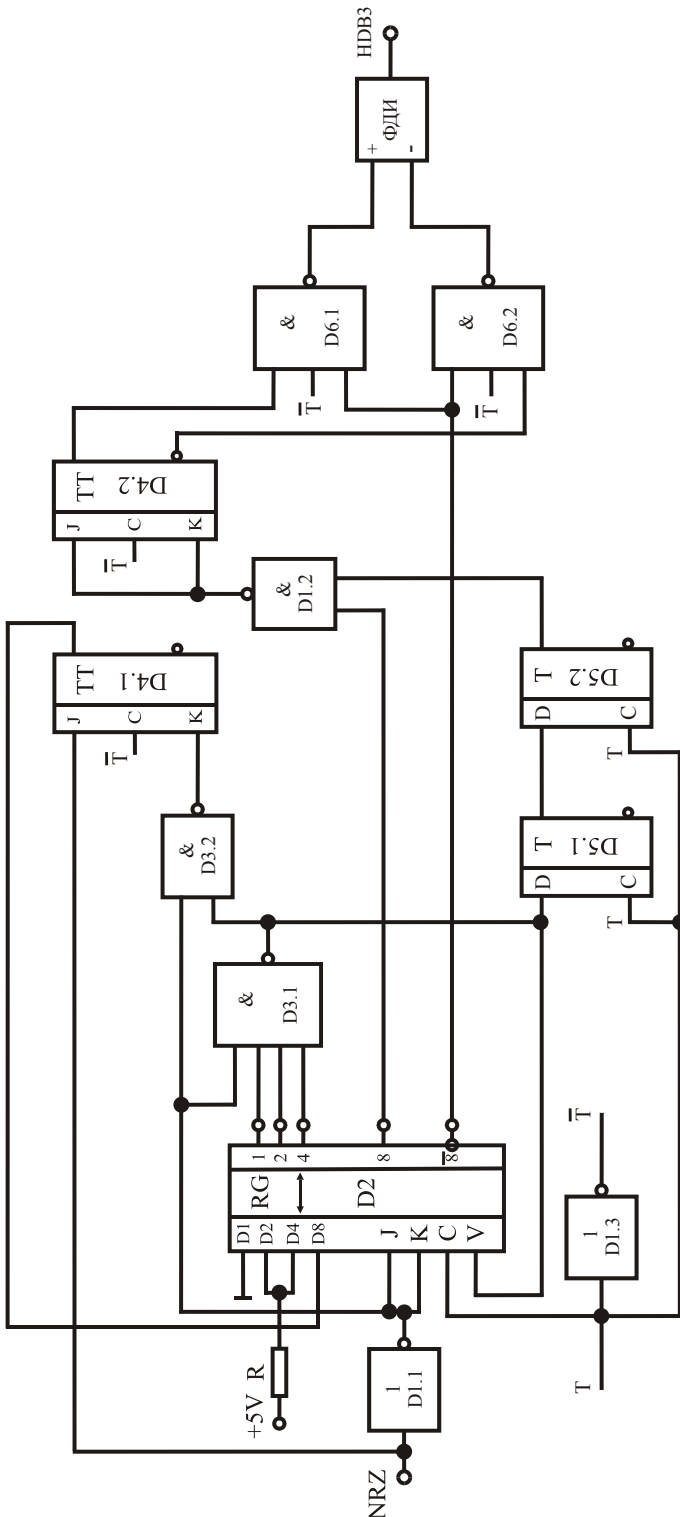
На фиг. 2 е показана блоковата схема на прекодер от двоичен NRZ в HDB3 код. Детекторът на четири последователни нули (ДЧПН) управлява блока за формиране на „излишък“ (БФИ) и блока за нарушаване редуването на полярността (БНПП). Цифровият сигнал се подава към блока за формиране на „излишък“, като видът на този „излишък“ се определя от изискването за нечетен брой на единичните символи, разположени между два  $V$ -импулса. Формираният „излишък“ се добавя към цифровия сигнал в блока за въвеждане на „излишък“ (БВИ) и от неговия изход сигналът постъпва



Фиг. 2. Блокова схема на прекодер от NRZ в HDB3 код

в блока за редуване на полярността на сигнала (БРПС). При въвеждане на „излишък“ редуването на полярността се нарушава целесъобразно чрез блока за нарушаване на редуването на полярността (БНРП). За тази цел при предаване на нулев символ от „излишъка“ БНРП извършва допълнително превключване на блока за редуване полярността на сигнала.

На фиг. 3 е показана структурно-функционалната схема на прекодер от NRZ в HDB3 код, реализирана с TTL интегрални схеми, която може да се използва при скорости на предаване до 2 Mbit/s [1].



Фиг. 3. Структурно-функционална схема на прекодер от NRZ в HDB3 код, с възможности за реализиране с TTL ИС

Детекторът на четири последователни нулеви символа (ДЧПНС) е реализиран с преместващия регистър D2, четириходовата И-НЕ схема D3.1 и инвертора D1.1. Изходният сигнал на ДЧПНС се използва за формиране на импулс за нарушаване на редуването на полярността на символите след закъснението му с два такта. За реализиране на това закъснение се използват двата тригера D5.1 и D5.2. И за двата вида „излишък“, с който се заместват четирите нулеви символа на код NRZ при прекодирането му в HDB3, вторият символ е нулев. Това дава възможност да се извършва допълнително превключване на JK тригера D4.2 при предаване на втория (винаги нулев) символ и по този начин се нарушава правилото за редуване полярността на следващия символ (V- символа).

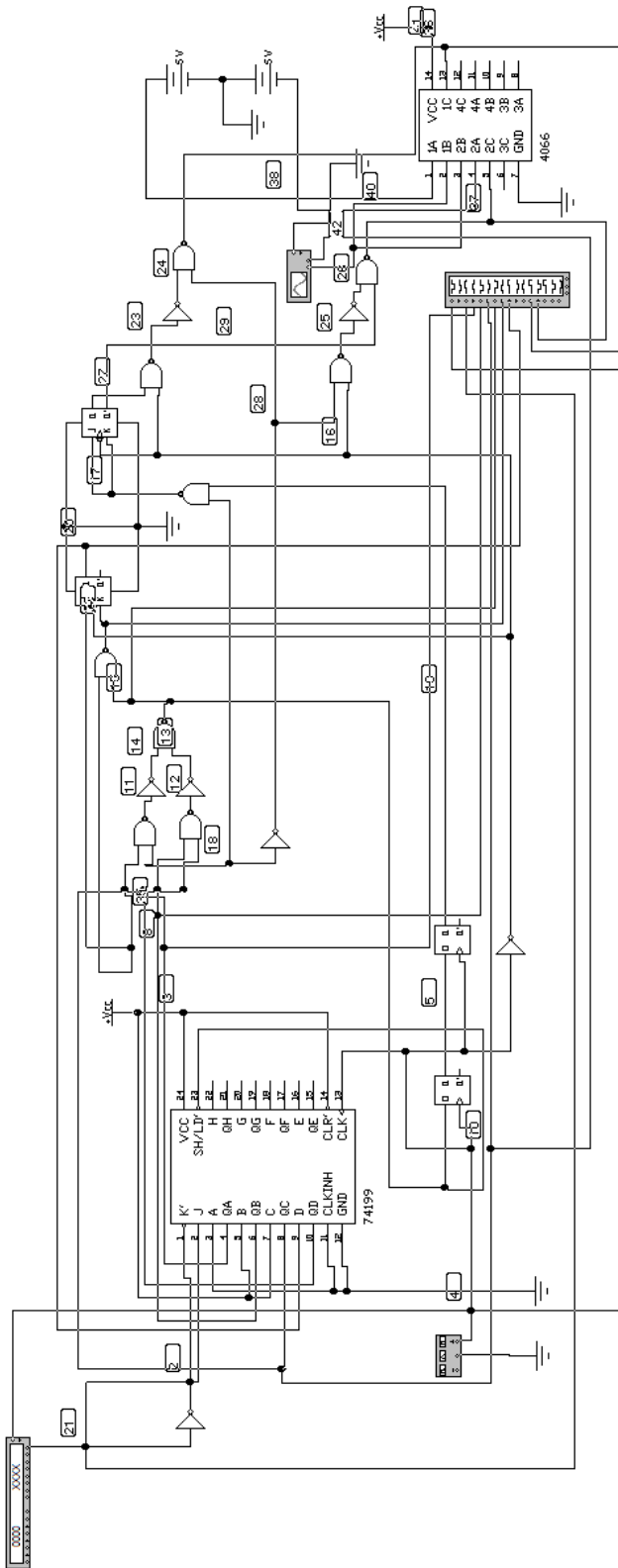
Изходният сигнал на ДЧПНС се използва и за управление на работата на блока за формиране на „излишък“, който съдържа преместващия регистър D2, двуходовата И-НЕ схема D3.2 и JK-тригера D4.1. Когато потенциалът на изхода на D3.1 е висок (не са детектирани четири последователни нули), JK-тригерът D4.1 се превключва от всеки входен импулс и с това той разделя импулсите на четни и нечетни. За нечетните входни импулси изходът на тригера има висок потенциал, а за четните – нисък. Състоянието на този изход се подава към паралелния вход D8 на регистъра D2. По този начин се формират двата вида комбинации на „излишъка“ 000V и 000V. Тъй като регистърът работи с инвертираните входни сигнали, при висок потенциал на D8 се формира комбинацията 000V, а при нисък - 000V. По този начин след всеки входен импулс на паралелните входове на регистъра се подава едната или другата комбинация на „излишъка“. Тази комбинация се записва в регистъра само тогава, когато на изхода на ДЧПНС се получи нисък потенциал. Същевременно се нулира JK-тригерът D4.1, за да започне той отново да разделя входните импулси на четни и нечетни, т.е. да продължи процесът на непрекъснато формиране на едната или другата комбинация на „излишъка“. В следващия такт започва четене на комбинацията от изходите на регистъра.

Блокът за редуване на полярността на сигнала е реализиран с JK-тригера D4.2, двуходовата И-НЕ схема D1.2, инвертора D1.3, тривходовите И-НЕ схеми D6.1 и D6.2, и формирателя на двуполарни импулси (ФДИ). Всяко превключване на JK-тригера D4.2 води до смяна на полярността на следващия импулс. Чрез съпоставяне на тактовия и предавания сигнал в схемите D6.1 и D6.2 се постига намаляване на продължителността на импулсите до T/2, т.е. те се прекодират в RZ код.

Формирателят на двуполарни импулси (ФДИ) сменя полярността на една от поредиците в изхода на D6.1 или D6.2 и осигурява съгласуване на прекодера с външното съпротивление на кабелната линия. Като ФДИ може да се използва например трансформатор, операционен усилвател и др. В случая той е реализиран с аналогови ключове ИС4066 и два постояннотокови захранващи източника. Поради възникването на състезания между сигналите, интегралните схеми на логическите функции И-НЕ могат да бъдат реализирани чрез двуходови такива елементи и инвертори.

На фиг. 4 е показана синтезираната принципна схема на прекодер от двоичен NRZ в HDB3 код.

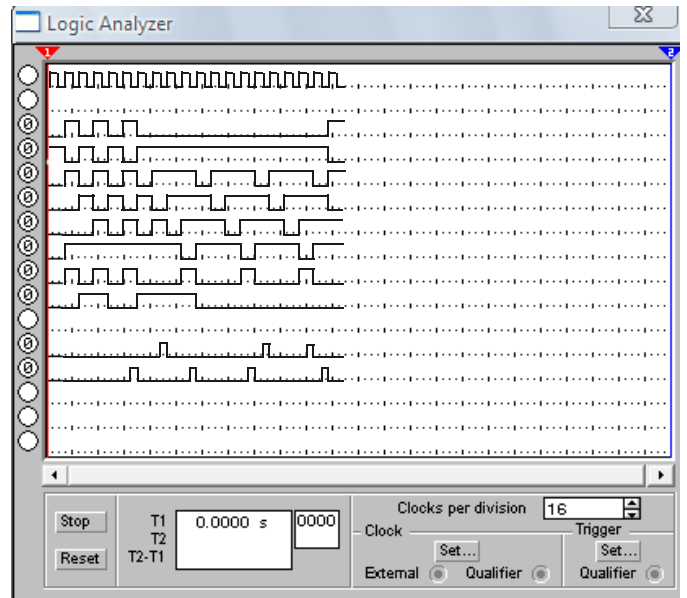
На фиг. 5 с помощта на продукта Electronics Workbench Pro и логическия анализатор са показани времедиagramите на сигналите в отделните възли на синтезираната схема на прекодер от двоичен NRZ в



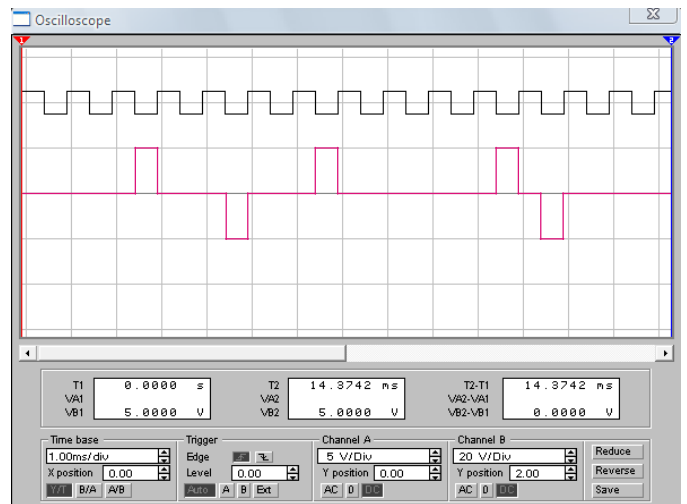
Фиг. 4. Синтезирана принципна схема на прекодер от двоичен NRZ в HDB3 код

HDB3 код. Възлите са в следната последователност: 4 (тактов сигнал), 21 (входен сигнал), 8, 10, 15, 22, 20, 36 (управляващ за „+“) и 37 (управляващ за „-“).

Тактовият сигнал и реализираният изходен дуполярен HDB3 код с помощта на електронно-лъчевия осцилоскоп са показани на фиг. 6.



Фиг. 5. Резултати, получени на Логическия анализатор



Фиг. 6. Резултати, получени на електронно-лъчевия осцилоскоп: тактов и изходен сигнал

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Синтезият и симулационно изследван вариант на модел на прекодер от двоичен NRZ в HDB3 код е реализиран с TTL елементна база – интегрални схеми и логически елементи, поради което може да бъде използван до скорости на предаване на информационния поток няколко Mbit/s, основно по кабелни линии. Скоростта може да бъде увеличена чрез използването на специализирани програмно-апаратни структури.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Добрев Д., Цифрови радиорелейни станции, Издателство „Техника“, София, 1989.
- [2] Ненов Г., Теория на сигналите, Издателство „Техника“, София, 1990.
- [3] Попов М., Кодирание в клетъчните комуникации, Издателство „Прокон“, София, 2000.