FRI-2G.302-1-CSNT-04

SYNTHESIS AND IMPLEMENTATION OF CONVOLUTIONAL ENCODERS WITH TTL LOGIC [3]

Assist. Prof. Adriana Borodzhieva, PhD
Department of Telecommunications
"Angel Kanchev" Univesity of Ruse
Phone: 082 888 734
E-mail: aborodzhieva@uni-ruse.bg

Abstract: *The material presented in the paper is used in the educational process in the courses "Digital Circuits" and "Pulse and Digital Devices" included in the curriculum of the specialties "Computer Systems and Technologies", "Electronics", "Internet and Mobile Communications", "Computer Management and Automation", and „Information and Communication Technologies" for the students of the Bachelor degree in the University of Ruse "Angel Kanchev". In order to better perception and absorption of the material taught active learning methods are applied. An individual assignment is given to each student and he/she has to solve the task during the practical exercises and present it at the end of the classes to the lecturer. The student should synthesize digital communication devices, such as a convolutional encoder via TTL circuits (NAND gates and flip-flops).*

Keywords: *Active learning, convolutional encoders, TTL logic, digital electronics.*

ВЪВЕДЕНИЕ

Дисциплините „Импулсна и цифрова схемотехника", „Импулсни и цифрови устройства" и „Цифрова схемотехника" имат за цел да запознаят студентите с основните въпроси на цифровата електроника. Основният принцип е да се свържат функционалните възможности на цифровите елементи с тяхната микроелектронна база от една страна, а от друга – с приложението им при изграждането на импулсни и цифрови устройства. С практическите упражнения се цели да се създадат у студентите умения за синтез и анализ на цифрови схеми, както и експериментално изследване на съвременните цифрови схеми. Придобитите знания се използват в специализиращите дисциплини от областта на цифровата техника, включени в учебния план на изброените по-горе специалности [4].

Целта на технологията на обучение по време на практическите упражнения с използване на активните методи за обучение е студентите да се мотивират за самостоятелна работа и да се възпита в тях сериозно отношение към дисциплината.

По време на практическите упражнения всеки студент получава индивидуално задание по разглежданата тема, което трябва да реши, попълвайки бланката за упражнението, предварително публиквана в сайта за електронно обучение на Русенски университет „Ангел Кънчев" [4], и да представи на преподавателя в края на учебния час. Оценяването на отчетите оказва влияние и върху оформянето на крайната оценка по дисциплината.

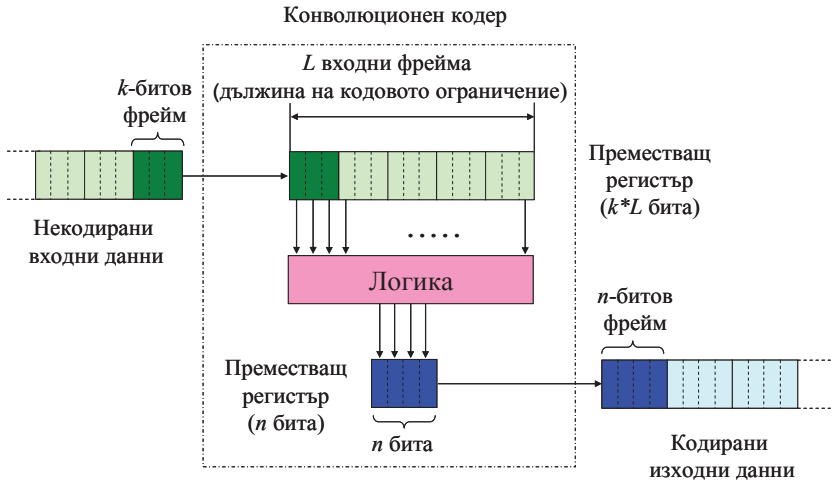
ИЗЛОЖЕНИЕ

Конволюционен кодер – принцип на действие и приложения на конволюционните кодери в комуникациите

Конволюционният кодер е илюстриран на фиг. 1. Във всеки момент от време k бита (един входен фрейм) постъпва в кодера и едновременно с това n бита (един изходен фрейм) се извеждат от кодера, като $n > k$. Следователно, всеки k-битов входен фрейм създава n-битов изходен фрейм. Излишъкът в изхода се осигурява, защото $n > k$. Също така, кодерът има памет, тъй като изходният фрейм зависи от предходните L входни фрейма, където $L > 1$.

[3] Докладът е представен на сесията на 27 октомври 2017 с оригинално заглавие на български език: СИНТЕЗ И РЕАЛИЗАЦИЯ НА КОНВОЛЮЦИОННИ КОДЕРИ С TTL ИНТЕГРАЛНИ СХЕМИ

Скоростта на кода е $R_c = k/n$, която в случая на илюстрацията е 3/4. Дължината на кодовото ограничение L е броят на входните фреймове, които се съхраняват в kL-битовия преместващ регистър. В зависимост от конволюционния код, който ще се генерира, данните от kL-те разряда (стъпала) на регистъра се събират (по модул 2) и се използват за фиксирането на битовете в n-разрядния изходен регистър. Типични стойности за k и n са в диапазона от 1 до 8, а на L – в диапазона от 2 до 60. Диапазонът на R_c е между 1/4 и 7/8. Малката стойност на R_c показва висока степен на излишък, което осигурява по-ефективен контрол на грешките за сметка на увеличаване на честотната лента на кодирания сигнал. Конволюционното кодиране с декодиране по алгоритъма на Viterbi се използва широко в съвременните комуникационни системи. Конволюционните кодове често се използват с цел подобряване на характеристиките на цифровото радио, мобилните телефони, сателитните комуникации и Bluetooth реализациите. Някои от тези приложения са посочените в Таблица 1, Таблица 2 и Таблица 3 (Borodzhieva, A., 2008).



Фиг. 1. Конволюционно кодиране ($k = 3$, $n = 4$, $L = 5$ и $R_c = 3/4$)

Таблица 1. Параметри на кодери, използвани в системата GSM

Комуникационен канал	Параметри на използвания конволюционен кодер
В системата GSM	
Пълноскоростни трафични канали за предаване на реч	$R_c = 1/2$, $L = 5$; $g_1(D) = 1 \oplus D^2 \oplus D^3 \oplus D^4$, $g_2(D) = 1 \oplus D \oplus D^4$
Пълноскоростни канали за предаване на данни със скорост 9,6 kbit/s, TCH/F 9,6	$R_c = 1/2$, $L = 5$; $g_1(D) = 1 \oplus D^2 \oplus D^3 \oplus D^4$, $g_2(D) = 1 \oplus D \oplus D^4$
Пълноскоростни канали за предаване на данни със скорост 4,8 kbit/s, TCH/F 4,8	$R_c = 1/2$, $L = 5$; $g_1(D) = 1 \oplus D^3 \oplus D^4$, $g_2(D) = 1 \oplus D^2 \oplus D^3 \oplus D^4$
Трафични канали за предаване на данни с „половин“ скорост 4,8 kbit/s, TCH/H 4,8	$R_c = 1/2$, $L = 5$; $g_1(D) = 1 \oplus D^2 \oplus D^3 \oplus D^4$, $g_2(D) = 1 \oplus D \oplus D^4$
Трафични канали за предаване на данни с „половин“ скорост 2,4 kbit/s, TCH/H 2,4	$R_c = 1/2$, $L = 5$; $g_1(D) = 1 \oplus D^3 \oplus D^4$, $g_2(D) = 1 \oplus D \oplus D^3 \oplus D^4$
Канали за управление	$R_c = 1/2$, $L = 5$; $g_1(D) = 1 \oplus D^3 \oplus D^4$, $g_2(D) = 1 \oplus D \oplus D^2 \oplus D^4$

Таблица 2. Параметри на кодери, използвани в системата IS-95

Комуникационен канал	Параметри на използвания конволюционен кодер
В системата IS-54	
Информационни (трафични) канали	$R_c = 1/2$, $L = 6$; $g_1(D) = 1 \oplus D^2 \oplus D^3 \oplus D^4 \oplus D^5$, $g_2(X) = 1 \oplus D \oplus D^3 \oplus D^5$
Канали за управление	$R_c = 1/4$, $L = 6$; $g_1(D) = D^3 \oplus D^4 \oplus D^5$, $g_2(D) = 1 \oplus D \oplus D^2 \oplus D^3 \oplus D^4 \oplus D^5$, $g_3(D) = 1 \oplus D \oplus D^2 \oplus D^5$, $g_4(D) = 1 \oplus D^2 \oplus D^5$

Таблица 3. „История“ на космическите изследвания

Космическа мисия	Параметри на използваните конволюционни кодери
Pioneer 9 (Слънце)	Модифицирана версия на систематичен конволюционен код със скорост $R_c = 1/2$, конструиран от Lin и Lyne
Pioneer 10 (Юпитер, 1972 г.), Pioneer 11 (Сатурн, 1973 г.)	$(2,1,32)$ несистематичен конволюционен код със скорост $R_c = 1/2$ и с дължина на кодовото ограничение $L = 32$, конструиран от Massey и Costello, с генератори, представени в осмична бройна система: $\mathbf{g}^{(1)} = 73353367672$ и $\mathbf{g}^{(2)} = 53353367672$; $d_{free} = 21$; декодер с последователно декодиране по алгоритъма с претърсване на дървото, предложен от Fano, с 3-битови меки решения.
Voyager 1 (Юпитер, 1977 г.), Voyager 2 (Сатурн, 1977 г.)	$(2,1,7)$ несистематичен конволюционен код със скорост $R_c = 1/2$ и с дължина на кодовото ограничение $L = 7$, с $d_{free} = 10$ и с генератори: $G_1(D) = 1 \oplus D \oplus D^3 \oplus D^4 \oplus D^6$, $G_2(D) = 1 \oplus D^3 \oplus D^4 \oplus D^5 \oplus D^6$; декодер на Viterbi с 3-битови меки решения по алгоритъма на максималното правдоподобие*.

* този код, заедно с конволюционен $(3,1,7)$ код с генераторни полиноми: $G_1(D) = 1 \oplus D \oplus D^3 \oplus D^4 \oplus D^6$, $G_2(D) = 1 \oplus D^3 \oplus D^4 \oplus D^5 \oplus D^6$ и $G_3(D) = 1 \oplus D^2 \oplus D^4 \oplus D^5 \oplus D^6$, $d_{free} = 15$, са приети като Стандарт за планетарни кодове на NASA/ESA (NASA/ESA Planetary Standard Codes) от Консултативна комисия за системи за обработка на космически данни (Consultative Committee on Space Data Systems, CCSDS). $(2,1,7)$-кодът се използва в много други приложения, включващи сателитни комуникации и клетъчни телефони, и е станал индустриален стандарт.

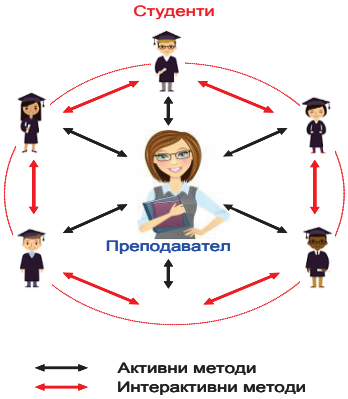
Поради широкото приложение на конволюционните кодери в областта на телекомуникациите е предвидено разглеждането на синтеза и реализацията на тези устройства чрез TTL (транзисторно-транзисторна логика) интегрални схеми.

Приложение на активните методи за обучение в учебния процес

Терминът активно обучение (active learning) е въведено от Revans. Bonwell посочва, че при активното обучение, студентите участват в процеса, когато те извършват нещо друго, освен пасивно слушане. Активното учене е метод за обучение, при който студентите активно участват в процеса на обучение, като има различни нива на активно учене, в зависимост от участието на студентите. Това е модел на обучение, който се фокусира върху отговорността за обучението на учащите се. Популяризиран е през 1991 г. от Bonwell и Eison, които обсъждат различни методологии за насърчаване на активното обучение. Те цитират литературни източници, които показват, че за да се научава нещо, студентите трябва да правят нещо повече от това просто да слушат: те трябва да четат, да пишат, да обсъждат или да се занимават с решаването на проблеми (фиг. 2). Активното обучение се отнася до трите

области, посочени като знания, умения и нагласи. Тази таксономия на учебно поведение може да се разглежда като цел на учебния процес. По-конкретно, студентите трябва да се занимават с такива високомисловни задачи като анализ, синтез и оценка. Активното учене ангажира студентите в два аспекта – те правят неща и мислят за нещата, които правят (фиг. 3) [5, 6, 7].

Фиг. 2. Пирамида на ученето – пасивни и активни форми



Фиг. 3. Използване на активни и интерактивни методи

По време на практическите упражнения по дисциплините „Импулсна и цифрова схемотехника", „Импулсни и цифрови устройства" и „Цифрова схемотехника" всеки студент получава индивидуално задание, което трябва да реши, попълвайки бланката за упражнението, и да представи на преподавателя до края на учебния час. Задачата е формулирана както следва:

Задача: Да се кодира съобщението …, представено в ...-битовия ..... код, като се използва конволюционен кодер с дължина на кодовото ограничение $L = 3$ и с генератори ..... и ..... Задачата да се реши таблично и да се начертае схемата на конволюционния кодер. Да се запишат съобщението за кодиране и получените кодови символи в двоичен (BIN) и в шестнадесетичен (HEX) формат.

С помощта на преподавателя (при необходимост) и съгласно нагледно представените в цветови кодове методически указания (фиг. 4), всеки студент изчертава схемата на дадения в индивидуалното задание конволюционен кодер, записва функциите на възбуждане на тригерите и изходните функции на кодера, и попълва таблицата, илюстрираща действието на кодера във времето при зададеното съобщение за кодиране (голяма латинска буква). В методическите указания е даден пример за конволюционен кодер с генератори 111 и 101, като съобщението за кодиране е символът "e" (малка латинска буква). Нагледно чрез цветови кодове е пояснено попълването на таблицата, илюстрираща действието на кодера, и записването на съобщението за кодиране и получените кодови символи в двоичен (BIN) и в шестнадесетичен (HEX) формат при използване на 7-битовия ASCII код.

Всеки студент трябва да начертае структурната схема на синтезирания конволюционен кодер (фиг. 5), като за улеснение на студентите и поради ограничението във времето е зададена първоначалната схема и студентът трябва само да удебели линиите за реализацията на зададения му конволюционен кодер.

Впоследствие функциите на възбуждане на тригерите, записани посредством функцията „сума по модул 2" следва да се представят в базис И-НЕ (фиг. 6), поради указаната елементна база – предвидените за изучаване по дисциплините интегрални схеми (SN7400 – четири двувходови И-НЕ логически елементи, SN7410 – три тривходови И-НЕ логически елементи, SN7420 – два четиривходови И-НЕ логически елементи, SN7474 – D тригер и SN7472 – JK тригер). Използвайки особеностите на функциониране на тригерите в интегрално изпълнение (фиг. 7), студентът трябва да опише действието на кодера във времето и да посочи съединенията, които трябва да направи в схемата на задания лабораторен макет (фиг. 8, фиг. 9) (Tsonev, V, et al., 2003), (Todorova, S., et al, 1998).

КОНВОЛЮЦИОНЕН КОДЕР

дължина на кодовото ограничение:

$L = 3 \Rightarrow$ триразряден преместващ регистър

скорост на кодиране:

$R_c = 1/2 \Rightarrow$ два генератора $\quad g_1 = 111,\ g_2 = 101$

Функции на възбуждане на тригерите

$$\begin{cases} D_1 = m \\ D_2 = Q_1 \\ D_3 = Q_2 \quad \text{или} \quad J_3 = Q_2, K_3 = \overline{Q}_2 \end{cases}$$

Изходни функции на кодера

$$\begin{cases} u_1 = Q_1 \oplus Q_2 \oplus Q_3 \quad \text{или} \quad u_1 = s_1 \oplus s_2 \oplus s_3 \\ u_2 = Q_1 \oplus Q_3 \quad \text{или} \quad u_2 = s_1 \oplus s_3 \end{cases}$$

ASCII printable code char

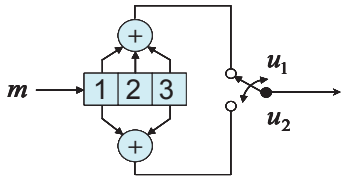
Binary	Oct	Dec	Hex	Glyph
110 0000	140	96	60	`
110 0001	141	97	61	a
110 0010	142	98	62	b
110 0011	143	99	63	c
110 0100	144	100	64	d
110 0101	145	101	65	e

Съобщение за кодиране (BIN):	
Съобщение за кодиране (HEX):	
Кодови символи (BIN):	
Кодови символи (HEX):	
Състояния на регистъра (DEC):	

DEC	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
BIN	0000	0001	0010	0011	0100	0101	0110	0111	1000	1001	1010	1011	1100	1101	1110	1111
HEX	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F

Кодиране на съобщението "*e*", използвайки ASCII-кодовете на символите

Кодиране на съобщение с конволюционен кодер



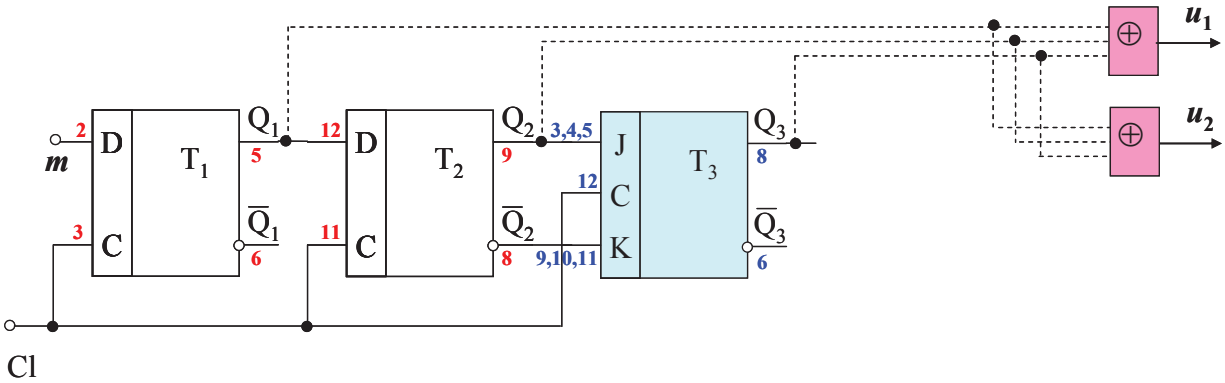
Вектори на съединенията:	g_1	g_2
	1	1
	1	0
	1	1

Вектор на съобщението: m = 1100101

№	Съобщение, бит m	Състояние на регистъра s_1,s_2,s_3	Изходна кодова дума u_1,u_2
t_0	1	0 0 0	0 0
t_1	1	1 0 0	1 1
t_2	0	1 1 0	0 1
t_3	0	0 1 1	0 1
t_4	1	0 0 1	1 1
t_5	0	1 0 0	1 1
t_6	1	0 1 0	1 0
t_7	0	1 0 1	0 0
t_8	0	0 1 0	1 0
t_9	0	0 0 1	1 1
t_{10}	0	0 0 0	0 0

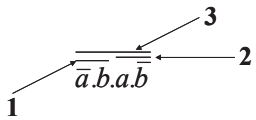
Предавана изходна последователност: 11010111111000101100

Фиг. 4. Методически указания за решаване на индивидуалното задание от всеки студент

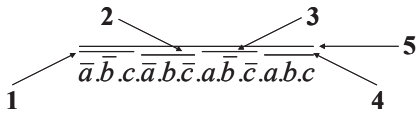


Фиг. 5. Структурна схема на конволюционния кодер

$$f = a \oplus b = \overline{a}.b \vee a.\overline{b} = \overline{\overline{\overline{a}.b \vee a.\overline{b}}} = \overline{\overline{\overline{a}.\overline{b}}.\overline{a.\overline{b}}}$$



$$f = a \oplus b \oplus c = \overline{a}.\overline{b}.c \vee \overline{a}.b.\overline{c} \vee a.\overline{b}.\overline{c} \vee a.b.c = \overline{\overline{\overline{a}.\overline{b}.c \vee \overline{a}.b.\overline{c} \vee a.\overline{b}.\overline{c} \vee a.b.c}} = \overline{\overline{\overline{a}.\overline{b}.c}.\overline{\overline{a}.b.\overline{c}}.\overline{a.\overline{b}.\overline{c}}.\overline{a.b.c}}$$

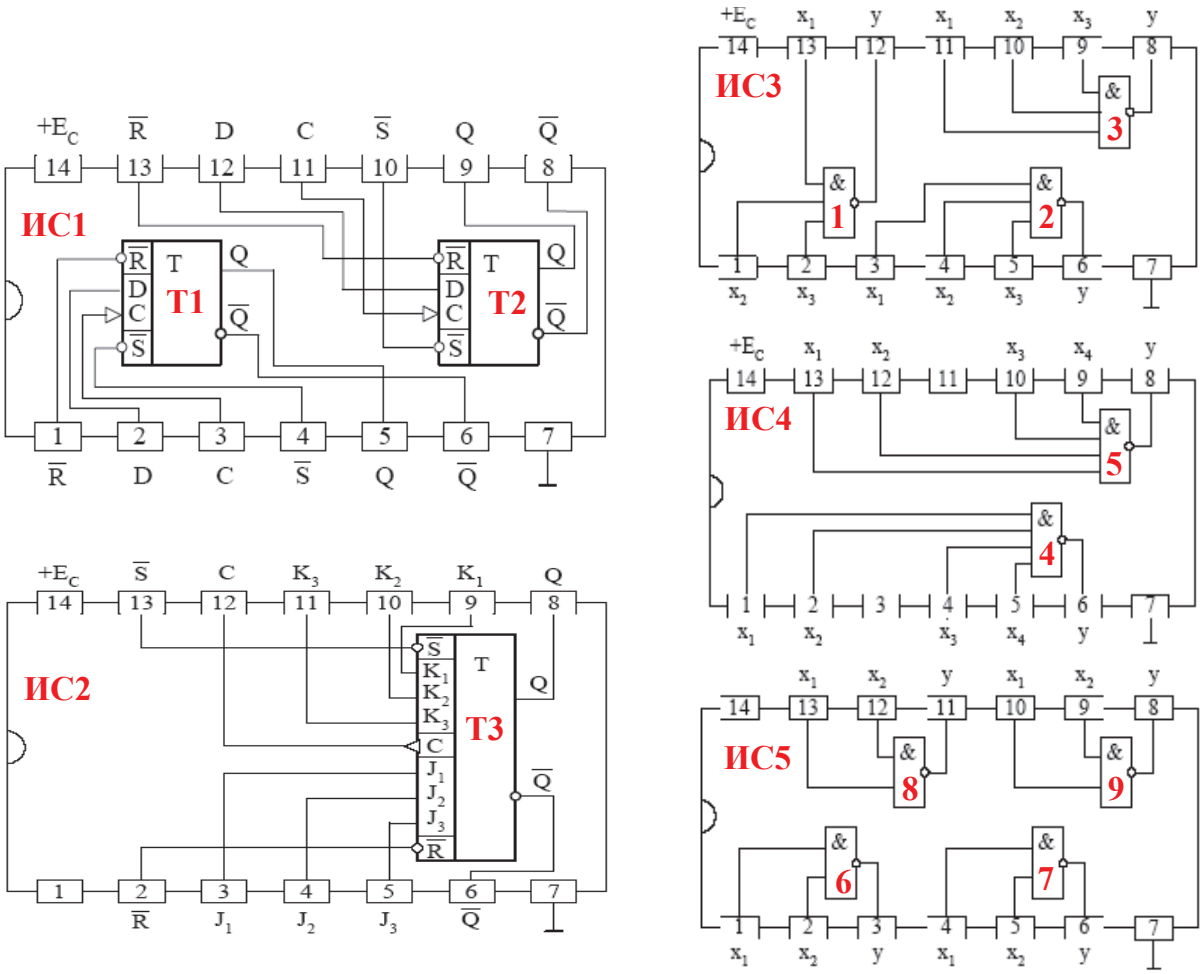


Фиг. 6. Изразяване на „сума по модул 2" чрез И-НЕ логически елементи

Входове				Изходи	
$\overline{S}^t$	$\overline{R}^t$	C^t	D^t	Q^{t+1}	$\overline{Q}^{t+1}$
1	0	x	x	0	1
0	1	x	x	1	0
0	0	x	x	1	1
1	1	↑	0	0	1
1	1	↑	1	1	0
1	1	↓	x	Q^t	$\overline{Q}^t$
1	1	0	x	Q^t	$\overline{Q}^t$
1	1	1	x	Q^t	$\overline{Q}^t$

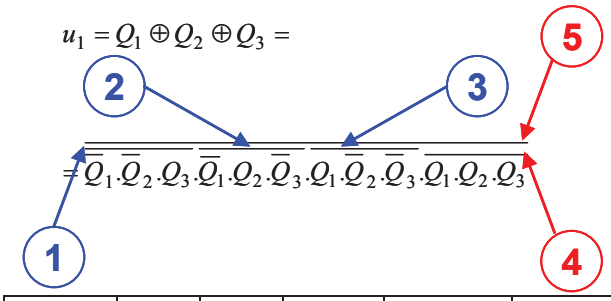
Входове					Изходи	
$\overline{S}^t$	$\overline{R}^t$	C^t	J^t	K^t	Q^{t+1}	$\overline{Q}^{t+1}$
1	0	x	x	x	0	1
0	1	x	x	x	1	0
0	0	x	x	x	1	1
1	1	↓	0	0	Q^t	$\overline{Q}^t$
1	1	↓	0	1	0	1
1	1	↓	1	0	1	0
1	1	↓	1	1	$\overline{Q}^t$	Q^t
1	1	↑	x	x	Q^t	$\overline{Q}^t$
1	1	0	x	x	Q^t	$\overline{Q}^t$
1	1	1	x	x	Q^t	$\overline{Q}^t$

Фиг. 7. Функциониране на елементите памет (тригери) в интегрално изпълнение: интегрални схеми SN7474 (D тригер) и SN7472 (JK тригер, като трите J входа се свързват накъсо и трите K входа се свързват накъсо, и се разглеждат като единични входове)



Фиг. 8. Реализация на конволюционния кодер с елементна база, включваща интегрални схеми SN7474, SN7472, SN7400, SN7410 и SN7420

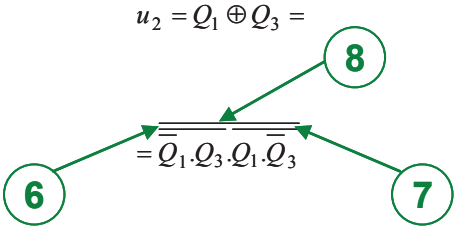
$u_1 = Q_1 \oplus Q_2 \oplus Q_3 =$



ИС1 SN7474	**T1**	1_1	$\overline{R}_1$	$\perp / +E_c$	
		4_1	$\overline{S}_1$	$+E_c$	
		3_1	C_1	Cl	
		2_1	D_1	m	m
		5_1	Q_1	$11_3, 1_4, 4_5$	
		6_1	$\overline{Q}_1$	$13_3, 3_3, 1_5$	
	T2	13_1	$\overline{R}_2$	$\perp / +E_c$	
		10_1	$\overline{S}_2$	$+E_c$	
		11_1	C_2	Cl	
		12_1	D_2	Q_1	5_1
		9_1	Q_2	$4_3, 2_4$	
		8_1	$\overline{Q}_2$	$1_3, 10_3$	
		7_1	$\perp$	$\perp$	$\perp$
		14_1	$+E_c$	$+E_c$	$+E_c$

ИС2 SN7472	**T3**	2_2	$\overline{R}_3$	$\perp / +E_c$	
		13_2	$\overline{S}_3$	$+E_c$	
		12_2	C_3	Cl	
		3_2	J_1	J_2	4_2
		4_2	J_2	J_3	5_2
		5_2	J_3	Q_2	9_1
		9_2	K_1	K_2	10_2
		10_2	K_2	K_3	10_2
		11_2	K_3	$\overline{Q}_2$	8_1
		8_2	Q_3	$2_3, 4_4, 5_4, 2_5$	
		6_2	$\overline{Q}_3$	$5_3, 9_3, 5_5$	
		1_2	NA		
		7_2	$\perp$	$\perp$	$\perp$
		14_2	$+E_c$	$+E_c$	$+E_c$

$u_2 = Q_1 \oplus Q_3 =$



ИС3 SN7410	**ЛЕ1**	13_3	x_1	$\overline{Q}_1$	6_1
		1_3	x_2	$\overline{Q}_2$	8_1
		2_3	x_3	Q_3	8_2
		12_3	y	**ЛЕ1$_o$**	13_4
	ЛЕ2	3_3	x_1	$\overline{Q}_1$	6_1
		4_3	x_2	Q_2	9_1
		5_3	x_3	$\overline{Q}_3$	6_2
		6_3	y	**ЛЕ2$_o$**	12_4
	ЛЕ3	11_3	x_1	Q_1	5_1
		10_3	x_2	Q_2	8_1
		9_3	x_3	$\overline{Q}_3$	6_2
		8_3	y	**ЛЕ3$_o$**	10_4
		7_3	$\perp$	$\perp$	$\perp$
		14_3	$+E_c$	$+E_c$	$+E_c$

ИС4 SN7420	**ЛЕ4**	1_4	x_1	Q_1	5_1
		2_4	x_2	Q_2	9_1
		4_4	x_3	Q_3	8_2
		5_4	x_4	Q_3	8_2
		6_4	y	**ЛЕ4$_o$**	9_4
	ЛЕ5	13_4	x_1	**ЛЕ1$_o$**	12_3
		12_4	x_2	**ЛЕ2$_o$**	6_3
		10_4	x_3	**ЛЕ3$_o$**	8_3
		9_4	x_4	**ЛЕ4$_o$**	6_4
		8_4	y	**ЛЕ5$_o$**	u_1
		3_4	NA		
		11_4	NA		
		7_4	$\perp$	$\perp$	$\perp$
		14_4	$+E_c$	$+E_c$	$+E_c$

ИС5 SN7400	**ЛЕ6**	1_5	x_1	$\overline{Q}_1$	6_1
		2_5	x_2	Q_3	8_2
		3_5	y	**ЛЕ6$_o$**	13_5
	ЛЕ7	4_5	x_1	Q_1	5_1
		5_5	x_2	$\overline{Q}_3$	6_2
		6_5	y	**ЛЕ7$_o$**	12_5
	ЛЕ8	13_5	x_1	**ЛЕ6$_o$**	3_5
		12_5	x_2	**ЛЕ7$_o$**	6_5
		11_5	y	**ЛЕ8$_o$**	u_2
	ЛЕ9	10_5	x_1		
		9_5	x_2		
		8_5	y	**ЛЕ9$_o$**	
		7_5	$\perp$	$\perp$	$\perp$
		14_5	$+E_c$	$+E_c$	$+E_c$

Фиг. 9. Съединения, реализирани в схемата (с проводници) за кодера с генератори 111 и 101

Функционирането на схемата съдържа следните етапи: **1.** Първоначално нулиране на регистъра, реализиращ конволюционния код: $\overline{S}_1 = 1$; $\overline{R}_1 = 0$; $\overline{S}_2 = 1$; $\overline{R}_2 = 0$; $\overline{S}_3 = 1$; $\overline{R}_3 = 0$; **2.** Функциониране на конволюционния кодер (функциониране на интегралните схеми SN7474 като синхронни D тригери и SN7472 като синхронен JK тригер): $\overline{S}_1 = 1$; $\overline{R}_1 = 1$; $\overline{S}_2 = 1$; $\overline{R}_2 = 1$; $\overline{S}_3 = 1$; $\overline{R}_3 = 1$. **3.** С цел имплементиране на зададения кодер се описват съединенията, реализирани в схемата на лабораторния макет от фиг. 8. На фиг. 9 е даден пример относно описването на съединенията, реализирани в схемата за конволюционен кодер с генератори 111 и 101.

Представената в доклада методика намира приложение в учебния процес за практическите упражнения по дисциплините „Импулсна и цифрова схемотехника", „Импулсни и цифрови устройства" и „Цифрова схемотехника" за студентите редовно и задочно обучение, от специалности „Електроника", „Компютърно управление и автоматизация" и „Компютърни системи и технологии" от учебната 2013/2014 година, но оценка относно успеваемостта на студентите по темата все още не е правена поради липса на мотивировка на преподавателя (недостатъчна тежест на оценките от практическите упражнения при формирането на крайната оценка по дисциплините). Очаква се от тази учебна 2017/2018 година да се извърши и анализ относно полезността на темата и анализ на постигнатите резултати от студентите.

ИЗВОДИ

Резултатите от досегания опит на автора потвърждават ползите от активните методи на обучение: 1) дават обратна връзка на обучаемите за техните пропуски в изучавания материал и ги насърчават да „поправят" това, като например си помагат взаимно; 2) дават обратна връзка на преподавателя за това какво разбират обучаващите и кой има нужда от помощ; 3) те развиват умения за мислене, като решаване на проблеми за анализ и оценка; 4) помагат на учащите да използват наученото по реален и полезен начин, и да видят неговата важност и значение; 5) те са по-забавни и, разбира се, те дават на преподавателя малко време за почивка. Материалът намира приложение в учебния процес за практическите упражнения по дисциплините „Импулсна и цифрова схемотехника", „Импулсни и цифрови устройства" и „Цифрова схемотехника" и е предназначено за студентите редовно и задочно обучение, от специалности „Електроника", „Компютърно управление и автоматизация" и „Компютърни системи и технологии", но може да се използва и от студентите от специалности „Интернет и мобилни комуникации" и „Информационни и комуникационни технологии" на факултет „Електротехника, електроника и автоматика" при Русенския университет „Ангел Кънчев".

REFERENCES

Borodzhieva, A. *Teoriya i prilozheniya na konvolyutsionnoto kodirane v komunikatsionnite sistemi*. Ruse, Pechatna baza na Rusenski universitet "Angel Kunchev", 2008 (***Оригинално заглавие:*** Бороджиева, А. *Теория и приложения на конволюционното кодиране в комуникационните системи.* Русе, Печатна база на Русенски университет „Ангел Кънчев", 2008).

Tsonev, V., N. Bencheva, Y. Ruseva, S. Todorova. Impulsni i tsifrovi ustroystva, Rakovodstvo za uprazhneniya. Ruse, 2003 (***Оригинално заглавие:*** Цонев, В., Н. Бенчева, Й. Русева, С. Тодорова. *Импулсни и цифрови устройства, Ръководство за упражнения.* Русе, 2003).

Todorova, S., Y. Ruseva. *Sintez i analiz na logicheski shemi, Rakovodstvo za laboratorni uprazheniya*. Ruse, 1998. (***Оригинално заглавие:*** Тодорова, С., Й. Русева. *Синтез и анализ на логически схеми, Ръководство за лабораторни упражения*. Русе, 1998).

ecet.ecs.uni-ruse.bg/else.

https://www.heacademy.ac.uk/system/files/active-learning.pdf (Accessed on July 2017).

https://teachingcommons.stanford.edu/resources/learning-resources/promoting-active-learning (Accessed on July 2017).

http://teaching.berkeley.edu/active-learning-strategies (Accessed on July 2017).