

КОМП'ЮТЕРНІ СИСТЕМИ ТА КОМПОНЕНТИ

УДК 681.325.5

О. Д. АЗАРОВ, О. І. ЧЕРНЯК, О. Г. МУРАЩЕНКО

Вінницький національний технічний університет

ШВИДКОДІЮЧИЙ РЕВЕРСИВНИЙ ФІБОНАЧЧІЄВИЙ ЛІЧИЛЬНИК

Анотація. У вступі описано застосування швидкодіючих фібоначчєвих лічильників для систем прямого цифрового синтезу періодичних аналогових сигналів, принципи їх організації та переваги. Сформульовано задачі досліджень для даної статті. Проаналізовано властивості фібоначчєвої системи числення, що дозволяють виконувати швидко пряму і обернену лічбу на основі інформаційної надлишковості. Наведено таблицю переходів швидкодіючого реверсивного фібоначчєвого лічильника. Визначено логічні вирази для побудови лічильника на основі лічильних тригерів, який має лінійне зростання апаратних витрат при нарощуванні розрядності. Наведено схему структурної організації лічильника та часову діаграму його роботи. Даний лічильник був промодельований в ActiveHDL. В кінці статті наведено список відомих наукових публікацій по даній темі.

Ключові слова: реверсивний лічильник, фібоначчєва система числення, адитивне співвідношення, перенесення.

Аннотация. Во введении описано использование быстродействующих фибоначчєвых счетчиков в системах непосредственного цифрового синтеза аналоговых сигналов, принципы их организации и преимущества. Сформулированы задачи исследований для данной статьи. Проанализированы свойства фибоначчєвой системы счисления, которые позволяют выполнять быстрый прямой и обратный счет на основе информационной избыточности. Приведена таблица переходов быстродействующего реверсивного фибоначчєвого счетчика. Определены логические выражения для построения счетчика на основе счетных триггеров, который имеет линейный рост апаратных затрат при наращивании разрядности. Приведена схема структурной организации счетчика и временная диаграмма его работы. Данный счетчик был промоделирован в ActiveHDL. В конце статьи наведен список известных научных публикаций по данной теме.

Ключевые слова: реверсивный счетчик, фибоначчєвая система счисления, адитивное соотношение, перенос.

Abstract. Using the high-speed reversible Fibonacci counters for systems of direct digital synthesis of periodical analog signals, the principles of their organization and advantages are described in introduction. Research problems for this article are formulated. The properties of Fibonacci numerical system, which allow the direct and return count based on information redundancy, are analyzed. The transitions table for high-speed reversible Fibonacci counter is suggested. The logic relationships for building counter based on counting flip-flops, which have linear hardware increasing when orders is adding, is defined. The circuit of counter structural organization and time diagram of work are suggested. This counter was modeling in ActiveHDL. The all known scientific publications list for this problem are suggested in end of article.

Keywords: reversive counter, fibonacci numerical system, additive relationship, carries.

Вступ

Останнім часом набувають популярності системи прямого цифрового синтезу аналогових сигналів за допомогою цифро-аналогових перетворювачів [1]. При цьому до ЦАП висуваються вимоги високої швидкодії та зменшення так званих глічів – завад, що виникають при перемиканні розрядів у процесі зміни коду. Відомі публікації, в яких вказується, що використання фібоначчєвих ЦАП дозволяє зменшити вплив глічів [2]. Одним з важливих елементів системи прямого цифрового синтезу аналогових сигналів з фібоначчєвим ЦАП є швидкодіючий фібоначчєвий лічильник.

Авторами було запропоновано метод швидкої лічби у фібоначчєвій системі числення, оснований на інформаційно-структурному підході до побудови лічильників [3]. Суть його полягає у використанні інформаційної надлишковості і схемотехнічних рішень, що у сукупності дозволяє будувати лічильники з високою швидкодією і малими апаратними витратами. Такі характеристики фібоначчєвих лічильників досягаються завдяки можливості виконання у цій системі числення елементарних адитивних перетворень (ЕА-перетворень). На даний момент відсутні наукові публікації, що стосуються розробки методів швидкої реверсивної лічби з малими апаратними витратами.

Мета

Розробка методу і структурної організації реверсивного фібоначчєвого лічильника з високою незалежною від розрядності швидкодією та лінійним зростанням апаратних витрат при нарощуванні розрядності.

Задачі

- Розробити швидкодіючий метод реверсивної лічби у фібоначчєвій системі числення.
- Визначити тип тригерів що забезпечують найменші апаратні витрати при побудові лічильника.
- Розробити вирази для логічних функцій комбінаційної частини.
- Побудувати схему структурної організації лічильника на обраних тригерах і логічних елементах.
- Перевірити працездатність, оцінити швидкодію та апаратні витрати розробленої схеми.

Розробка лічильника

Розробка швидкодіючого реверсивного фібоначчєвого лічильника базується на трьох властивостях фібоначчєвої системи числення:

1. Можливості реалізації перенесення і запозичення за допомогою EAL-перетворень.
2. Симетричності визначення умов виконання EAL- та EAR-перетворень.
3. Подібності виконання EAL- та EAR-перетворень

Перша властивість впливає з відомого співвідношення [4]: у фібоначчєвій системі числення для будь-якої тріади сусідніх розрядів виконується адитивне співвідношення $100=011$. Це дозволяє виконувати над ними EAL- та EAR-перетворення, які є умовними арифметичними операціями і описані в [5]. Хоча ці перетворення у фібоначчєвій системі числення співпадають з відомими раніше операціями згортки і розгортки [4], проте використання терміну "адитивні перетворення" замість термінів "згортка" і "розгортка" більш достовірно описує сутність цих операцій у контексті загальної теорії систем числення та зв'язок їх з перенесенням і запозиченням. Елементарне адитивне перетворення з перенесенням у старші розряди (EAL-перетворення) фібоначчєвого коду полягає у відніманні одиниць від двох молодших розрядів тріади і додаванні одиниці у старший розряд даної тріади при умові, що у цій тріаді записано код 011. Значення результату $EAL_i(A)$ -перетворення деякого фібоначчєвого коду А обчислюється за допомогою виразу:

$$EAL_i(A)=A+\varphi_{n-i}-\varphi_{n-i-1}-\varphi_{n-i-2} \text{ при } (a_{n-i}=0)\wedge(a_{n-i-1}=1)\wedge(a_{n-i-2}=1),$$

де φ_i – вага і-го розряду фібоначчєвого коду, що є і-м числом Фібоначчі, a_i – значення і-го розряду цього коду. Таке перетворення не змінює число, яке представляє код А, оскільки віднімаються і додаються еквівалентні значення. В арифметиці віднімання деякого значення від молодших розрядів і додавання еквівалентного йому значення у старші розряди називається перенесенням. Отже, EAL-перетворення виконує роль перенесення при прямій лічбі.

Аналогічно можна виконувати елементарне адитивне перетворення з перенесенням у молодші розряди (EAR-перетворення) тріади розрядів фібоначчєвого коду, яке полягає у відніманні одиниці від старшого розряду тріади і додаванні одиниць у два молодших її розряди за таким виразом:

$$EAR_i(A)=A-\varphi_{n-i}+\varphi_{n-i-1}+\varphi_{n-i-2} \text{ при } (a_{n-i}=1)\wedge(a_{n-i-1}=0)\wedge(a_{n-i-2}=0).$$

EAR-перетворення виконує роль запозичення при оберненій лічбі.

Основною відмінністю EAL- та EAR-перетворень від перенесень і запозичень є те, що їх можна виконувати раніше, ніж з'явиться переповнення чи від'ємне значення у розрядах. Більш раннє виконання адитивних перетворень призводить до неможливості появи у лічильнику кодів типу 01...1 (всі одиниці після нуля) при прямій лічбі, чи кодів типу 10...0 (всі нулі після одиниці) при оберненій лічбі, оскільки в режимі прямої лічби коду 01...1 буде передувати код 0110..., який призведе до виконання відповідного EAL-перетворення і переходу до коду 1000.... Аналогічно у режимі оберненої лічби коду 10...0 буде передувати код 1001..., який призведе до відповідного EAR-перетворення і переходу до коду 0111...

При роботі реверсивного фібоначчєвого лічильника у режимі прямої лічби потрібно крім додавання одиниці в молодший розряд виконувати всі можливі EAL-перетворення коду. Це унеможливить появу у ньому довгих послідовностей одиниць, через які можливе виникнення перенесення. При роботі реверсивного фібоначчєвого лічильника у режимі оберненої лічби потрібно крім віднімання одиниці від молодшого розряду виконувати всі можливі EAR-перетворення коду. Це унеможливить появу у ньому довгих послідовностей нулів після одиниці, через які можливе виникнення запозичення. При зміні режиму лічби з прямого на обернений спочатку у режимі прямої лічби виконується додавання одиниці у молодшому розряді і EAL-перетворення коду, а потім у режимі оберненої лічби виконується віднімання одиниці у молодшому розряді і EAR-перетворення коду, як це показано у таблиці 1, у якій перші 26 тактів виконується пряма лічба (керуючий сигнал $P=0$), а решту тактів виконується обернена лічба (керуючий сигнал $P=1$).

Друга властивість фібоначчєвої системи числення, що полягає у симетричності визначення умов EAL- та EAR-перетворень, дозволяє визначати ці умови за допомогою одних і тих самих логічних елементів. Дійсно, умовою виконання EAL-перетворення є код 011 у тріаді, а умовою виконання EAR-перетворення є обернений йому код 100 у тріаді. Тобто, визначення умови виконання EAR-перетворення реалізується за допомогою тієї самої кон'юнкції, що і визначення умови для EAL-перетворення, якщо проінвертувати сигнали на вході цієї кон'юнкції. Для цього потрібен логічний елемент, який здійснює керовану інверсію логічного сигналу в залежності від режиму лічби. Таку функцію виконує логічний елемент "ВИКЛЮЧНЕ АБО". Якщо на одному із входів цього елемента (який будемо вважати керуючим) присутній одиничний сигнал, то сигнал, що поступає на інший вхід (який будемо вважати

інформаційним) буде проінвертовано на виході. Якщо ж на керуючому вході присутній нульовий сигнал, то інвертування інформаційного сигналу не відбудеться.

Таблиця 1 – Коды послідовних станів лічильника при зміні режиму лічби

P	Код							№ стану	P	Код							№ стану
	Q7	Q6	Q5	Q4	Q3	Q2	Q1			Q7	Q6	Q5	Q4	Q3	Q2	Q1	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	1	0	0	26
0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	0	0	1	0	27
0	0	0	0	0	0	1	0	2	1	0	1	0	1	1	0	1	28
0	0	0	0	0	0	1	1	3	1	0	1	0	1	1	0	0	29
0	0	0	0	0	1	0	1	4	1	0	1	0	1	0	1	0	30
0	0	0	0	0	1	1	0	5	1	0	1	0	1	0	0	1	31
0	0	0	0	1	0	0	1	6	1	0	1	0	0	1	1	0	32
0	0	0	0	1	0	1	0	7	1	0	0	1	1	1	0	1	33
0	0	0	0	1	0	1	1	8	1	0	0	1	1	1	0	0	34
0	0	0	0	1	1	0	1	9	1	0	0	1	1	0	1	0	35
0	0	0	1	0	0	1	0	10	1	0	0	1	1	0	0	1	36
0	0	0	1	0	0	1	1	11	1	0	0	1	0	1	1	0	37
0	0	0	1	0	1	0	1	12	1	0	0	1	0	1	0	1	38
0	0	0	1	0	1	1	0	13	1	0	0	1	0	1	0	0	39
0	0	0	1	1	0	0	1	14	1	0	0	1	0	0	1	0	40
0	0	1	0	0	0	1	0	15	1	0	0	0	1	1	0	1	41
0	0	1	0	0	0	1	1	16	1	0	0	0	1	1	0	0	42
0	0	1	0	0	1	0	1	17	1	0	0	0	1	0	1	0	43
0	0	1	0	0	1	1	0	18	1	0	0	0	1	0	0	1	44
0	0	1	0	1	0	0	1	19	1	0	0	0	0	1	1	0	45
0	0	1	0	1	0	1	0	20	1	0	0	0	0	1	0	1	46
0	0	1	0	1	0	1	1	21	1	0	0	0	0	1	0	0	47
0	0	1	0	1	1	0	1	22	1	0	0	0	0	0	1	0	48
0	0	1	1	0	0	1	0	23	1	0	0	0	0	0	0	1	49
0	1	0	0	0	0	1	1	24	1	0	0	0	0	0	0	0	50
0	1	0	0	0	1	0	1	25	1	0	0	0	0	0	0	0	51

Отже, виділення умови виконання EAL- та EAR-перетворення у тріаді описується виразом

$$(\overline{Q_i} \oplus P) \wedge (Q_{i-1} \oplus P) \wedge (Q_{i-2} \oplus P),$$

де Q_i – інверсний вихід тригера старшого розряду тріади, Q_{i-1} , Q_{i-2} – прямі виходи молодших розрядів тріади, P – режим лічби (0 – пряма лічба, 1 – обернена лічба).

Третя властивість фібоначчєвої системи числення, що полягає у подібності виконання EAL- та EAR-перетворень, дозволяє реалізувати ці перетворення за допомогою одних і тих самих елементів. Дійсно, у фібоначчєвій системі числення умовою EAL-перетворення є код 011, а результатом є код 100. І навпаки, умовою EAR-перетворення є код 100, а результатом є код 011. Якщо для побудови лічильника використовувати синхронні лічильні тригери, то обидві операції можна реалізувати за допомогою інвертування розрядів у тріадах.

Враховуючи описані особливості фібоначчєвої системи числення та переходи станів лічильника, представлених у таблицях, і використовуючи синхронні лічильні тригери, можна побудувати комбінаційну частину схеми N -розрядного швидкодіючого реверсивного фібоначчєвого лічильника за такими логічними виразами:

$$\begin{aligned}
 A1_i &= P \oplus Q_i \text{ при } 0 \leq i \leq N-2; \\
 A2_i &= P \oplus \overline{Q_i} \text{ при } 1 \leq i \leq N-1; \\
 B_0 &= \overline{A1_0 \wedge A1_1}; \\
 B_1 &= \overline{A1_0 \wedge A2_1}; \\
 B_i &= \overline{A2_{i-2} \wedge A2_{i-1} \wedge A1_i} \text{ при } 2 \leq i \leq N-1; \\
 T_0 &= B_0 \wedge B_2; \\
 T_i &= \overline{B_{i-2} \wedge B_{i-1} \wedge B_i} \text{ при } 1 \leq i \leq N-3; \\
 T_{n-2} &= B_{n-2} \wedge B_{n-1}; T_{n-1} = B_{n-1}.
 \end{aligned}$$

На рис. 1 подано схему семи-розрядного лічильника, побудованого за даними виразами. Часові діаграми роботи запропонованого лічильника при зміні режиму лічби відповідно до табл.3 зображено на рис. 2.

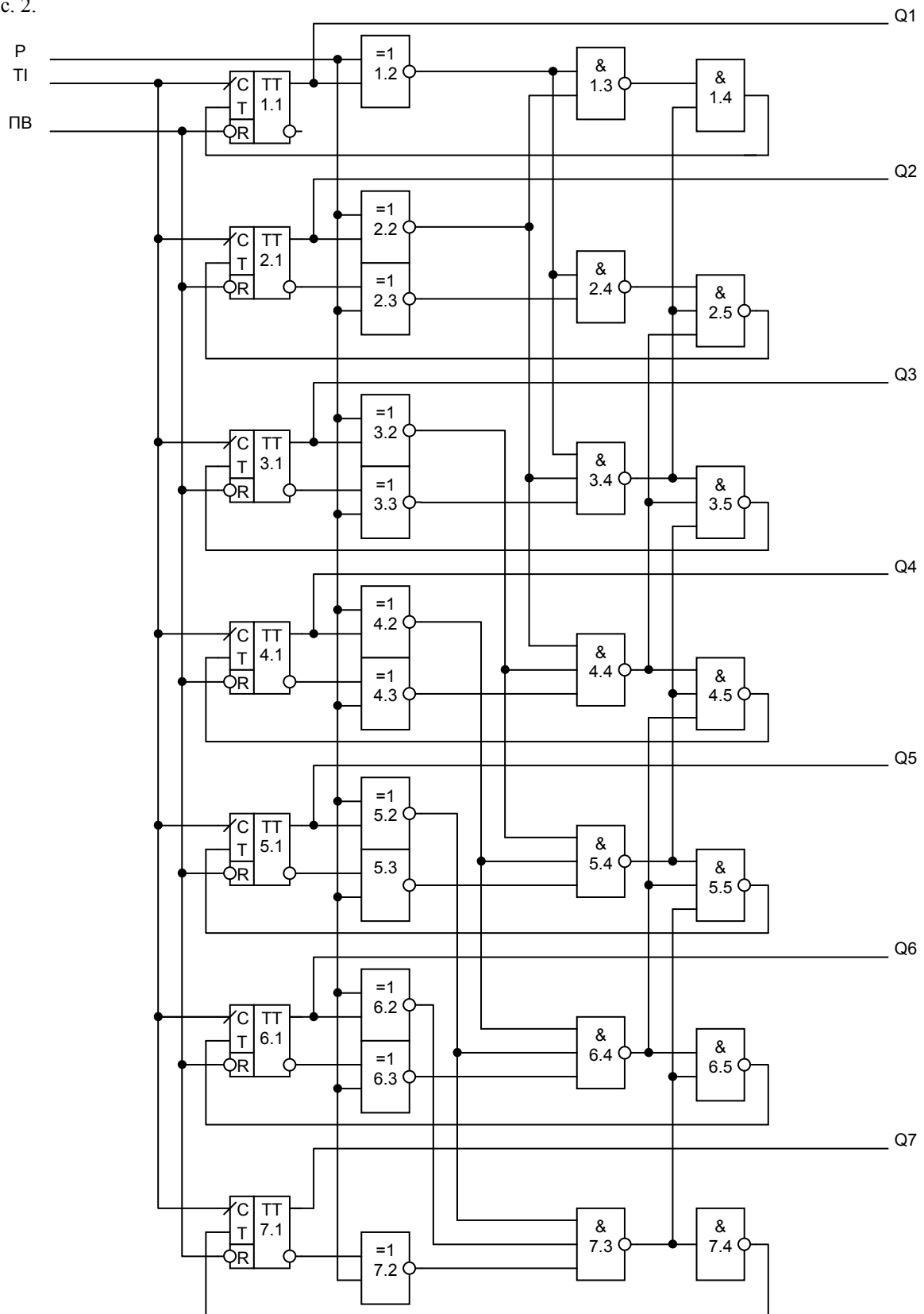


Рисунок 1 – Схема семи-розрядного лічильника

З рис. 1 видно, що максимальна затримка комбінаційної схеми дорівнює часу переключення трьох логічних елементів і не залежить від розрядності, а витрати обладнання зростають лінійно при збільшенні розрядності.

Запропонований лічильник був промодельований у середовищі ActiveHDL. Результати моделювання підтвердили працездатність лічильника.

Висновки

Розроблено метод швидкої реверсивної лічби у фібоначчівій системі числення, що базується на властивостях цієї системи числення.

Побудована схема структурної організації лічильника, що має однорідну структуру зв’язків і однотипні логічні елементи.

Перевірена працездатність лічильника у середовищі ActiveHDL.

Розроблений метод оберненої лічби дозволяє будувати лічильники з високою незалежною від розрядності швидкістю та лінійним зростанням апаратних витрат при нарощуванні розрядності.

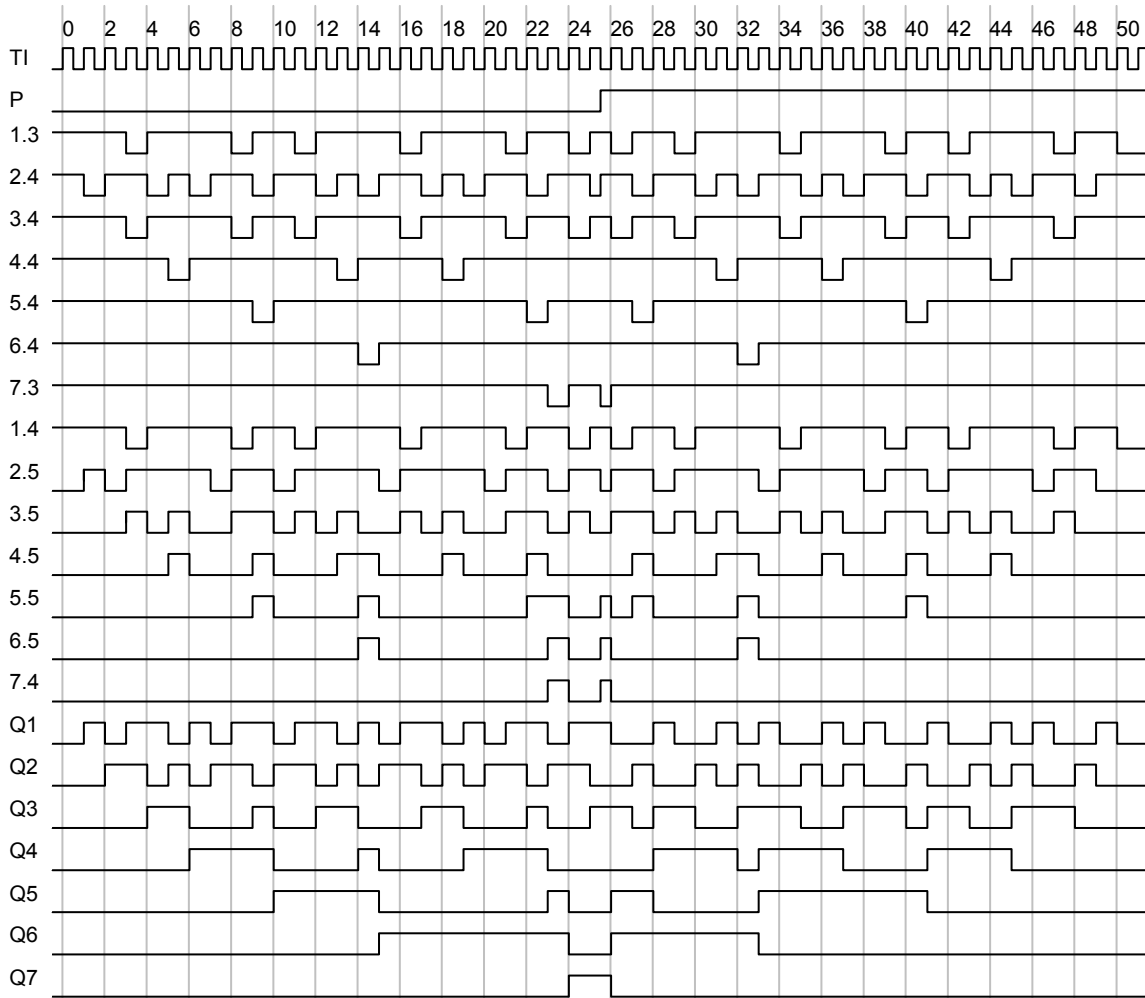


Рисунок 2 – Часові діаграми роботи семи-розрядного лічильника при зміні режиму лічби

Список літератури

1. Макаренко В. Синтезаторы частоты прямого цифрового синтеза // Электронные компоненты и системы. – 2004. – №1. – С. 3–7.
2. K. Hokazono, D. Kanemoto, R. Pokharel, A. Tomar, H. Kanaya, and K. Yoshida, “A Low-Glitch and Small-Logic-Area Fibonacci Series DAC,” Proc. International Midwest Symposium on Circuits and Systems (MWSCAS), pp. 1-4, Aug. 2011.
3. Азаров О. Д. Метод побудови швидкодіючих фібоначчівих лічильників / О. Д. Азаров, О. І. Черняк // Проблеми інформатизації та управління – 2014. – №2(46). – С 5-8.
4. Стахов А.П. Коды золотой пропорции. – М.: Радио и связь, 1983. – 152с., ил. – (Кибернетика).

5. Азаров О. Д. Повнофункціональна побітова потокова арифметика зі зменшеними витратами обладнання. : монографія / О. Д. Азаров, О. І. Черняк. – Вінниця : ВНТУ, 2013. 200 с.

Стаття надійшла:04.03.2015.

Відомості про авторів

Азаров Олексій Дмитрович, д.т.н., професор, декан факультету інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії Вінницького національного технічного університету, заслужений працівник освіти України.

Черняк Олександр Іванович, к.т.н., доцент кафедри обчислювальної техніки Вінницького національного технічного університету.

Муращенко Олександр Геннадійович, інженер ТОВ "Він-Інтерактив".