

## Секція 3. Спеціалізовані комп'ютерні системи

УДК.681.215

### СТРУКТУРА ТА СИСТЕМНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВИСОКОПРОДУКТИВНОГО АЦП У ТЕОРЕТИКО-ЧИСЛОВИХ БАЗИСАХ РАДЕМАХЕРА ТА ХААРА-КРЕСТЕНСОНА

**Заставний О.М.<sup>1)</sup>, Возна Н.Я.<sup>2)</sup>, Круліковський Б.Б.<sup>3)</sup>**

*Тернопільський національний економічний університет*

<sup>1)к.т.н., <sup>2)к.т.н., доцент</sup></sup>

<sup>3) Національний університет водного господарства та природокористування, к.т.н., доцент</sup>

#### I. Постановка проблеми

Аналого-цифрові перетворювачі (АЦП) є базовими компонентами сучасних мікроелектронних засобів цифрового опрацювання сигналів, програмно-апаратних засобів кореляційного та спектрального аналізу у засобах розпізнавання образів.

Важливою та актуальною проблемою є вдосконалення структурних та схемотехнічних рішень такого класу пристроїв згідно системних критеріїв часової, апаратної, структурної, функціональної та ентропійної складності. Успішне вирішення комплексу задач у середовищі названої проблеми, враховуючи надзвичайно масове тиражування та застосування АЦП паралельного типу, ставить теоретичну та науково-прикладну задачу синтезувати на базі САПР їх мікроелектронну схемотехніку з максимальною швидкодією, зменшеною структурною та апаратною складністю.

#### II. Мета роботи

Метою наукового дослідження є оптимізація характеристик АЦП паралельного типу з підвищеною надійністю, швидкодією та зменшеною апаратною складністю.

#### III. Розробка алгоритмів перетворення кодів в АЦП паралельного типу

Проблема забезпечення структурної, функціональної та арифметико-логічної сумісності швидкодіючих АЦП паралельного типу потребує глибокого теоретичного опрацювання схемотехнічних рішень синтезу їх вихідних паралельних цифрових кодів у кодових системах числення різних теоретико-числових моно-базисів: Унітарному (U), Хаара (H), Радемахера (R), Уолша (W), Крестенсона (C), Галуа (G) та мультибазисів: Радемахера-Крестенсона (R-C), Хаара-Крестенсона (H-C) та ін.

На рис.1 показані приклади класичного формалізованого структурного рішення формування паралельних кодів на виході досліджуваних АЦП у двійковій системі числення ТЧБ Радемахера.

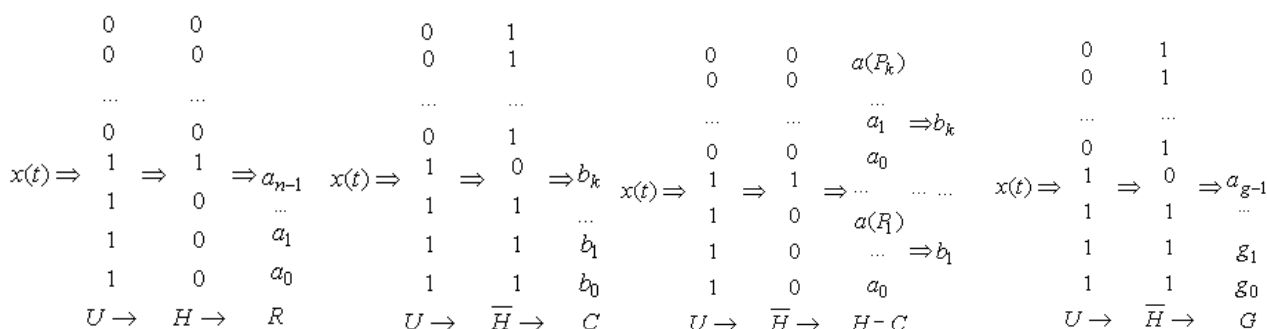


Рис.1. Приклади формування вихідних кодів паралельних АЦП у кодових системах різних ТЧБ

Очевидно, що збільшення числа конвейерних перетворень при формуванні вихідного паралельного коду АЦП приводить до зростання апаратної складності, зменшення швидкодії, зміни розрядності вихідних кодів та функціональної сумісності з іншими цифровими пристроями.

#### IV. Дослідження структур АЦП паралельного типу

У структурі паралельного АЦП (рис.1) [1] вхідний аналоговий сигнал на виходах компараторів перетворюється у прямий паралельний код унітарного ТЧБ, який на виходах лінійки логічних

елементів "Виключаюче АБО" (рис.2) [2] перетворюється у прямий розрядно-позиційний код ТЧБ Хаара, який на виході діодного шифратора перетворюється у прямий позиційний двійковий код ТЧБ Радемахера.

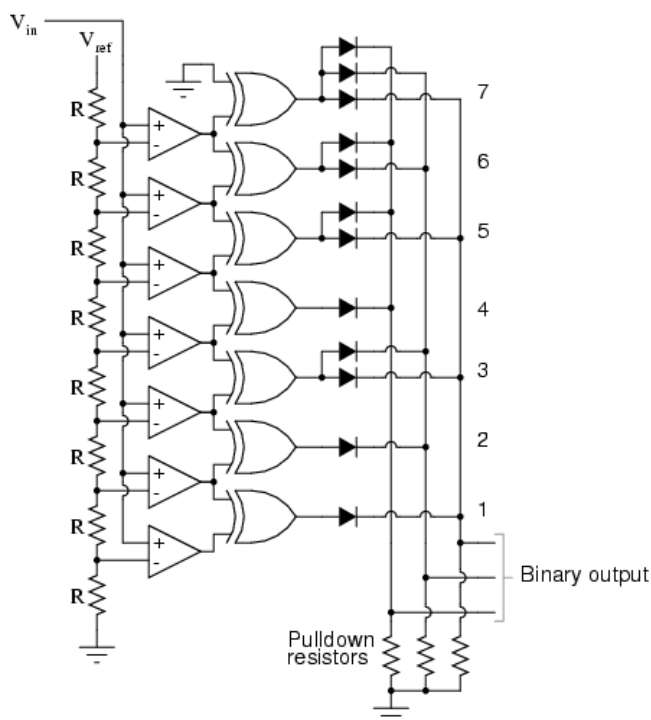


Рисунок 1 – АЦП паралельного типу у ТЧБ Радемахера.

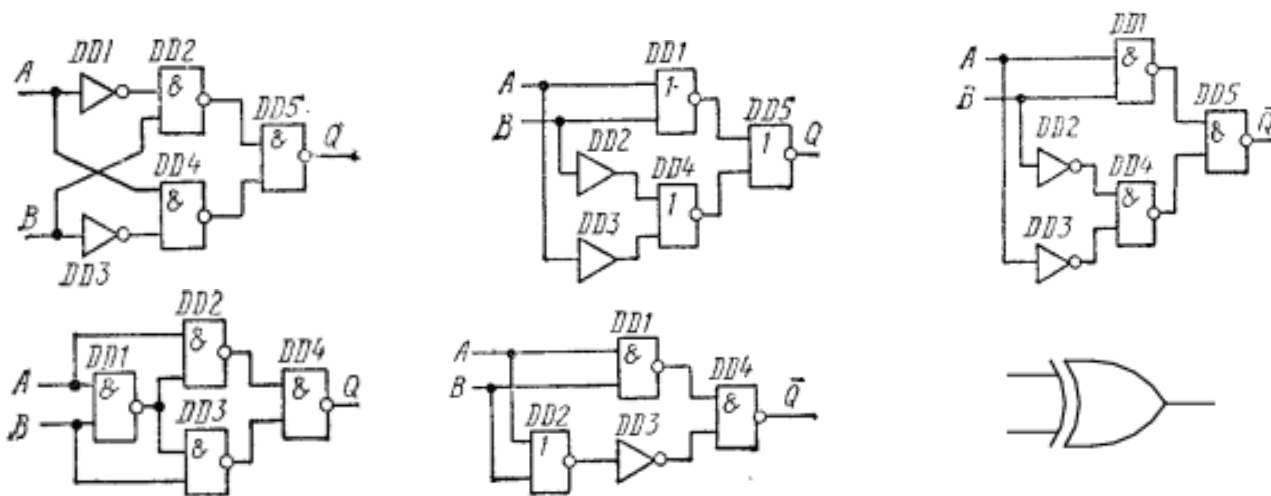


Рисунок 2 – Структури логічного елемента "Виключаюче АБО".

Недоліком такого АЦП є висока апаратна складність та низька швидкодія, обумовлена наявністю великого числа ( $2^k$ , де  $k$  - розрядність АЦП) структурно-складних елементів "Виключаюче АБО", які містять 4-5 логічних елементів І, АБО, НЕ [2], в яких не менше трьох логічних елементів з'єднані послідовно, тому вихідний сигнал формується не менше, як за три мікротакти переключення логічних вентилів. Тобто апаратна та часова складність лінійки логічних елементів "Виключаючого АБО" у такому АЦП відповідає оцінкам:  $A_1 = 2^k(4 \div 5)V$ ;  $\tau_1 = 3v$ , де  $V$  - апаратна складність одного мікроелектронного вентиля, а  $v$  - тривалість мікротакту його переключення.

Велика апаратна складність такого АЦП обумовлена також великим числом вентильних діодів у шифраторі розрядно-позиційного коду ТЧБ Хаара у вихідний двійковий код ТЧБ Радемахера, кількість яких складає  $2^k \cdot k/2$ .

Наприклад, для 10-ти бітного АЦП відомого аналога, число елементів у лінійці логічних елементів "Виключаюче АБО" складає  $1024(4 \div 5) = 4096 \div 5120$  логічних вентилів, а діодних вентилів у шифраторі двійкових кодів  $1024 \cdot 5 = 5120$ .

Відома структура АЦП паралельного типу, що додатково містить шифратор, який перетворює паралельний унітарний код у паралельний двійковий код базису Радемахера (рис.3) [3].

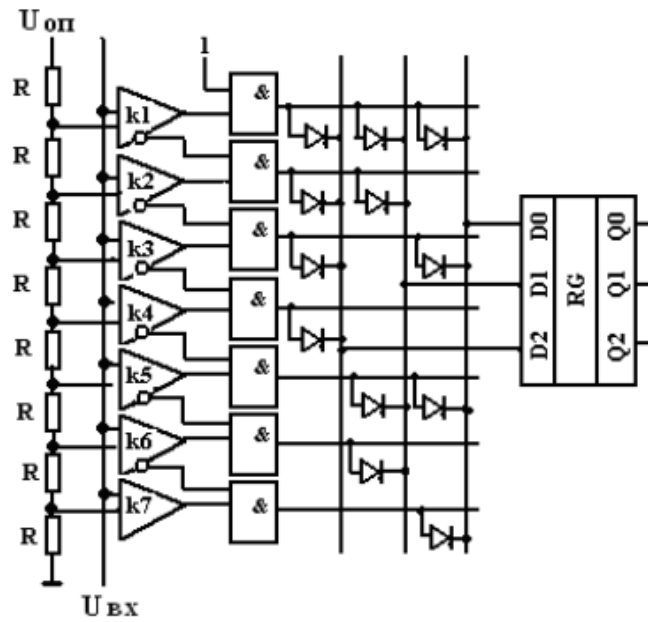


Рисунок 3 – АЦП паралельного типу з вихідним шифратором.

Недоліком такого АЦП є велика апаратна та структурна складність, обумовлена наявністю діодного шифратора з великим числом вентиляно-діодних елементів та складною структурою.

Відомий високопродуктивний АЦП паралельного типу з вихідним кодом у ТЧБ Хаара-Крестенсона, структура якого показана на рис.4 [4].

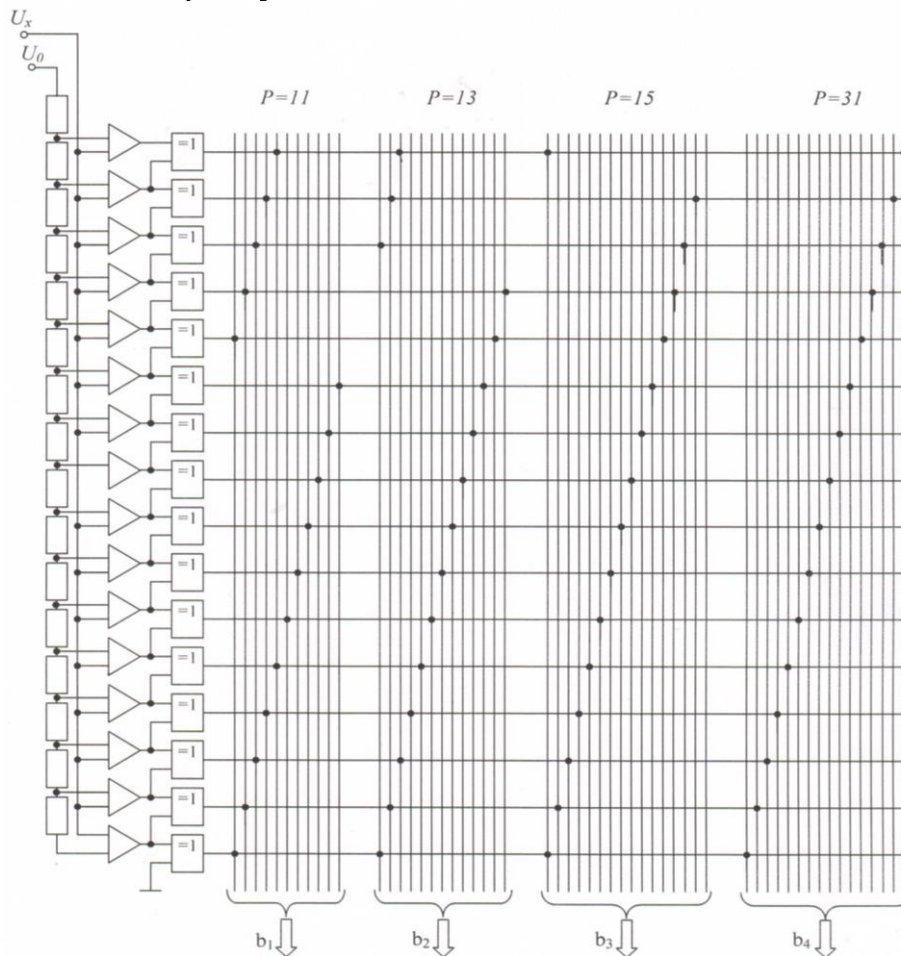


Рисунок 4 - Структура АЦП з матричним шифратором для формування вихідних кодів Хаара-Крестенсона

Запропонований АЦП ілюструється рисунком 5. АЦП включає в себе: 1 – вхідна шина аналогового потенціалу; 2 – парафазні компаратори; 3 – вхідна шина еталонного потенціалу; 4 – взірцеві резистори; 5 – перші логічні елементи "І-НЕ"; 6 – другі логічні елементи "І-НЕ", 7 – вихідна шина АЦП [5].

АЦП працює наступним чином: вхідний аналоговий потенціал  $U(x)$  подається на першу вхідну шину 1, яка з'єднана з першими входами парафазних компараторів 2; еталонний потенціал  $U_0$  подається на вхід другої шини 3, яка з'єднана з входом лінійки взірцевих резисторів 4, на виходах яких формуються квантовані значення взірцевого потенціалу, які у компараторах 2 порівнюються з потенціалом  $U(x)$  першої вхідної шини. При цьому на прямих виходах компараторів формується прямий паралельний унітарний код Хаара, а на інверсних виходах компараторів формується зворотній паралельний унітарний код Хаара, який відповідає вимірному цифровому значенню вхідного потенціалу  $U(x)$ , а на виходах перших логічних елементів "І-НЕ" відповідно формується зворотній паралельний код Хаара, який поступає на відповідні входи других логічних елементів "І-НЕ", на виходах яких формується прямий паралельний код Хаара-Крестенсона системи залишкових класів.

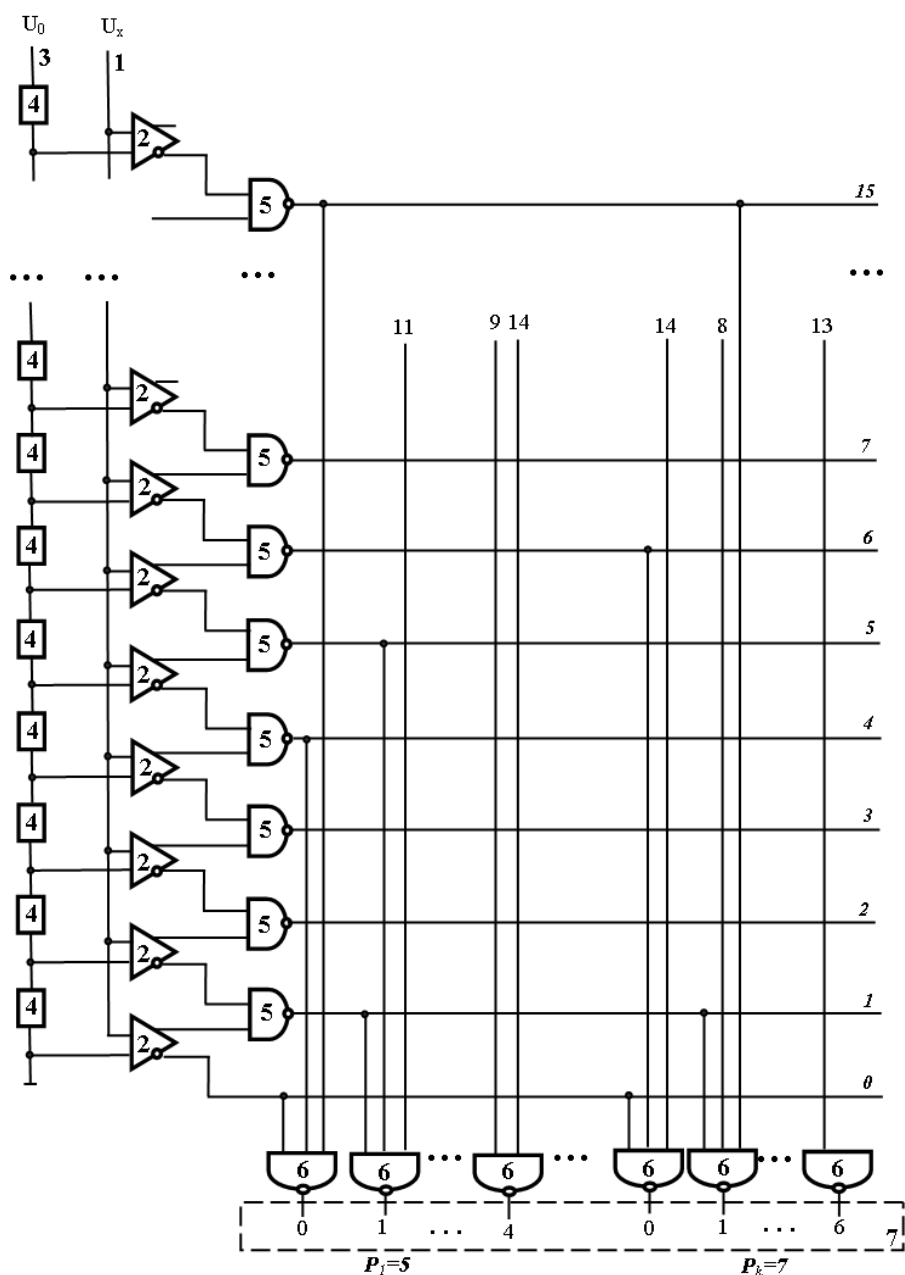


Рисунок 5 – Структурна схема удосконаленого АЦП паралельного типу з вихідними кодами у базисі Хаара-Крестенсона.

Апаратна складність АЦП прототипу розраховується згідно виразу:

$$A_1 = 2^k [(A_{k_1} + A_{\dot{E}A_1}) + (p_1 + p_2 + \dots p_n)V],$$

де  $k$  - розрядність АЦП;

$A_{k_1}$  - апаратна складність компаратора з однофазним виходом ( $A_{k_1}=3$ );

$A_{\dot{E}A_1}$  - апаратна складність логічного елемента "Виключаюче АБО" ( $A_{\dot{E}A_1}=1$ );

$p_1 + p_2 + \dots p_n$  - взаємнопрості модулі системи залишкових класів.

Апаратна складність удосконаленого АЦП розраховується згідно виразу:

$$A_2 = 2^k (A_{k_2} + A_{\dot{E}A_2}) + (p_1 + p_2 + \dots p_n)\ddot{E}E_3,$$

де  $A_{k_2}$  - апаратна складність компаратора з парафазними виходами ( $A_{k_2}=4$ );

$A_{\dot{E}A_2}$  - апаратна складність двохвходового логічного елемента "І-НЕ" ( $A_{\dot{E}A_2}=1$ );

$A_{\ddot{E}A_3}$  - апаратна складність багатовходового логічного елемента "І-НЕ" ( $A_{\ddot{E}A_3}=2$ ).

При розрахунках апаратної складності відомого (рис.4) та запропонованого (рис.5) АЦП враховується, що апаратна складність парафазного компаратора на 25% вища за апаратну складність однофазного компаратора оскільки його структурна схема додатково містить інверсний вихід, а апаратна складність багатовходового логічного елемента "І-НЕ" у два рази перевищує відповідну складність двохвходового елемента "І-НЕ" ( $A_{\ddot{E}A_3} = 2 \cdot A_{\dot{E}A_2}$ ) при їх реалізації на ЕЗЛ мікроелектронній технології.

Швидкодія удосконаленого АЦП оцінюється згідно виразу:

$$\tau_{\dot{A}O\ddot{I}_2} = \tau_{k_2} + \tau_{\dot{E}A_2} + \tau_{\ddot{E}A_3},$$

де  $\tau_{k_2} = 2\nu$  - тривалість переключення парафазного компаратора;

$\tau_{\dot{E}A_2} = 1\nu$  - тривалість переключення двохвходового логічного елемента "І-НЕ";

$\tau_{\ddot{E}A_3} = 1\nu$  - тривалість переключення багатовходового логічного елемента "І-НЕ".

Тобто швидкодія удосконаленого АЦП визначається сумарною затримкою сигналів.

При розрахунках часової складності компонентів АЦП враховано, що тривалість переключення парафазного компаратора у 2,5 рази менша у порівнянні з однофазним за рахунок позитивного тригерного зворотнього зв'язку між прямим та інверсним виходами.

### Висновок

Досягнуто підвищення швидкодії удосконаленого АЦП у 2 рази у порівнянні з відомим АЦП, який формує вихідні паралельні коди Хаара-Крестенсона..

### Список використаних джерел

1. <http://radiomaster.ru/articles/view/100/>
2. Шило В.Л. Популярные цифровые микросхемы: Справочник. - М: Радио и связь, 1987. – 352 с.
3. <http://refdb.ru/look/2134312-pall.html>
4. Албанський І.Б., Николайчук Я.М., Волинський О.І. Цифровий автокорелятор. Патент України на корисну модель №76622, бюл.№1, 2013.
5. System Complexity Criteria and Synthesis of High-Performance Multifunctional Parallel ADC in Rademacher's and Haar-Krestenson's Theoretical and Numerical Bases / N.Vozna, Ya.Nykolaichuk, O.Zastavnyy, V.Pikh // Proceedings of the 14<sup>th</sup> International Conference The Experience of Designing and Application of CADSM'2017. - PP. 218-221.