

**Міністерство освіти і науки України**  
**Запорізький національний університет**  
**Інженерний навчально-науковий інститут ім Ю. М. Потєбні**

**Кафедра: Електроніки, інформаційних систем та програмного**  
**забезпечення**

## **Лабораторна робота №8**

з дисципліни Аналогова та оптикоелектроніка

### **Дослідження цифро-аналогових та аналого-цифрових перетворювачів**

Студента (ки) 2 курсу, групи \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
(прізвище та ініціали)

Викладач \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Національна шкала \_\_\_\_\_

Кількість балів: \_\_\_\_\_ Оцінка: ECTS \_\_\_\_\_

м. Запоріжжя – 2024 рік

Мета роботи: дослідити різні типи перетворювачів, закріпити теоретичні знання про різні типи ЦАП і АЦП, їх призначення і принципи роботи.

### 8.1 Короткі теоретичні відомості

Цифро-аналогові перетворювачі використовуються для перетворення цифрового коду на аналоговий сигнал, наприклад, у мікроелектронних автоматизованих системах для керування виконавчими приладами.

Найбільш простий ЦАП з ваговими резисторами (рис. 8.1) складається з двох блоків. Резистивна схема (матриця) виконана на резисторах  $R1...R4$ . Підсумовуючий підсилювач включає в себе операційний підсилювач і резистор зворотного зв'язку  $R0$ . Опорна напруга  $U_{оп}$  (3 В) підключається до резисторів матриці перемикачами D, C, B і A, керованими однойменними кнопками клавіатури, та імітувальними кодами перетворення.

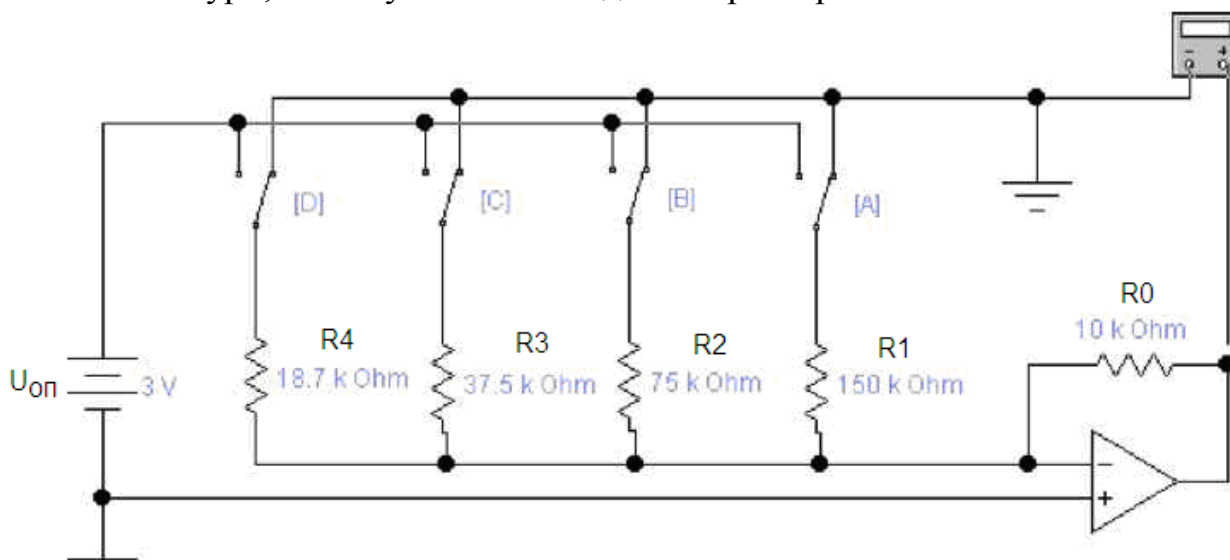


Рисунок 8.1 - ЦАП з ваговими резисторами

### 8.2 Описання віртуального стенду EWB

Якщо усі перемикачі замкнуті на «землю», як показано на рисунку 8.1, то напруга на вході та виході ОП дорівнює 0 В. Припустимо, що перемикач A установлений в положення, відповідне логічній 1. Тоді на вхід ОП через резистор  $R1$  подається напруга 3 В. Розрахуємо для цього випадку коефіцієнт посилення напруги за формулою:

$$K = R0/R1 = 10000/150000 = 0,066. \quad (8.1)$$

Звідси отримуємо, що вихідна напруга визначається з виразу:

$$U_{вих} = 0,066 \cdot 3 = 0,2 \text{ В},$$

що відповідає двійковій комбінації 0001 на вході цифро-аналогового перетворювача.

Подамо тепер на входи ЦАП двійкову комбінацію 0010. Для цього установимо перемикач  $B$  у положення, відповідне логічній одиниці, унаслідок чого подамо на ОП через резистор  $R2$  напругу 3 В. Для коефіцієнта посилення отримуємо:  $K = R0/R2 = 10000/75000 = 0,535$ .

Помноживши цей коефіцієнт посилення на величину вхідної напруги, знайдемо, що вихідна напруга дорівнює 0,4 В.

Отже, під час переходу до кожного чергового двійкового числа, імітованого ключами, вихідна напруга ЦАП збільшується на 0,2 В. Це забезпечується завдяки збільшенню коефіцієнта посилення напруги ОП у разі підключення різних за опором резисторів. Якщо у схемі на рисунку 8.1 підключити тільки один резистор  $R4$  (за допомогою перемикача  $D$ ), то установиться коефіцієнт посилення:  $K = 10000/18700 = 0,133$ . При цьому вихідна напруга ОП складе близько 1,6 В.

Якщо всі перемикачі у схемі на рисунку 8.1 установлені в положення, які відповідають логічним одиницям, вихідна напруга ОП рівна  $U_{OP} = 3$  В, оскільки коефіцієнт передачі у цьому разі рівний 1.

Схема цифро-аналогового перетворювача на рисунку 8.1 має два недоліки: по-перше, у ній опори резисторів можуть змінюватися у широких межах, по-друге, точність перетворення невисока через вплив кінцевого опору транзисторних ключів у відкритому та закритому станах.

Схема ЦАП сходиноквого типу наведена на рисунку 8.2. Вона складається з резистивної матриці  $R - 2R$ , що нагадує сходи, і підсумовувального підсилювача. Перевага такого з'єднання резисторів полягає в тому, що використовуються резистори лише двох номіналів. Опір кожного з резисторів  $R1...R5$  дорівнює 20 кОм, а резисторів  $R6...R8, R0$  - 10 кОм.

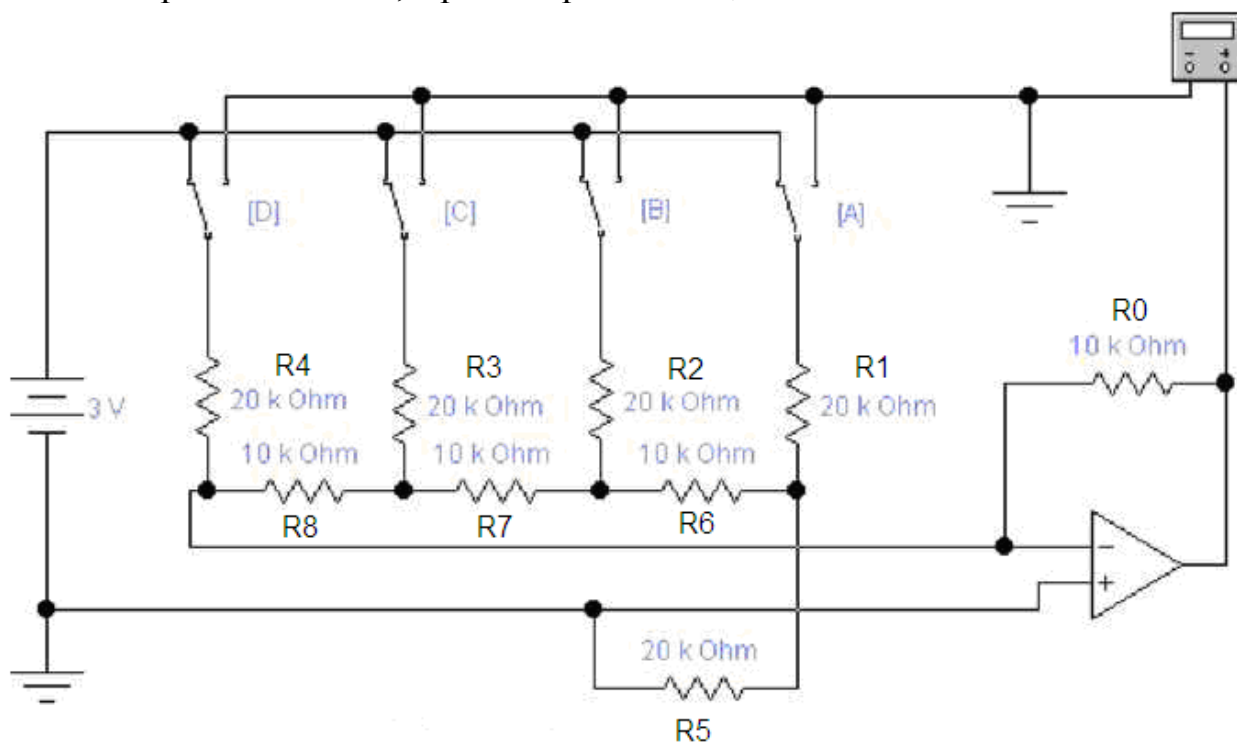


Рисунок 8.2 - ЦАП сходиноквого типу

ЦАП сходиноквого типу аналогічний ЦАП з ваговими резисторами. Якщо у розглянутому прикладі використовується опорна напруга 3,75 В, то перехід до кожної наступної двійкової послідовності на входах призводить до збільшення аналогового вихідного сигналу на 0,25 В. Опорну напругу вибрано рівною 3,75 В з міркування зручності сполучення з ІМС сімейства ТТЛ у разі заміни ключів *A...D* такими ІМС.

Вихідна напруга ЦАП на рисунку 8.2 визначається за формулою

$$U_{\text{вих}} = U_{\text{он}} R_0 \left[ S_1 2^{n-1} + S_2 2^{n-2} + \dots + S_i 2^{n-i} + S_n 2 \right] / R 2^n, \quad (8.2)$$

де  $S_i$  - значення цифрового сигналу (0 або 1) на  $i$ -тому вході,  $n$  - число розрядів перетворення (для схеми на рисунку 8.2  $n = 4$ ),  $R$  - опір резистора матриці  $R - 2R$  ( $R = 10$  кОм для схеми на рисунку 8.2).

Варіант ЦАП з використанням як комутувального пристрою двійково-десятькового лічильника 74160 (К155ІЕ9) показаний на рисунку 8.3.

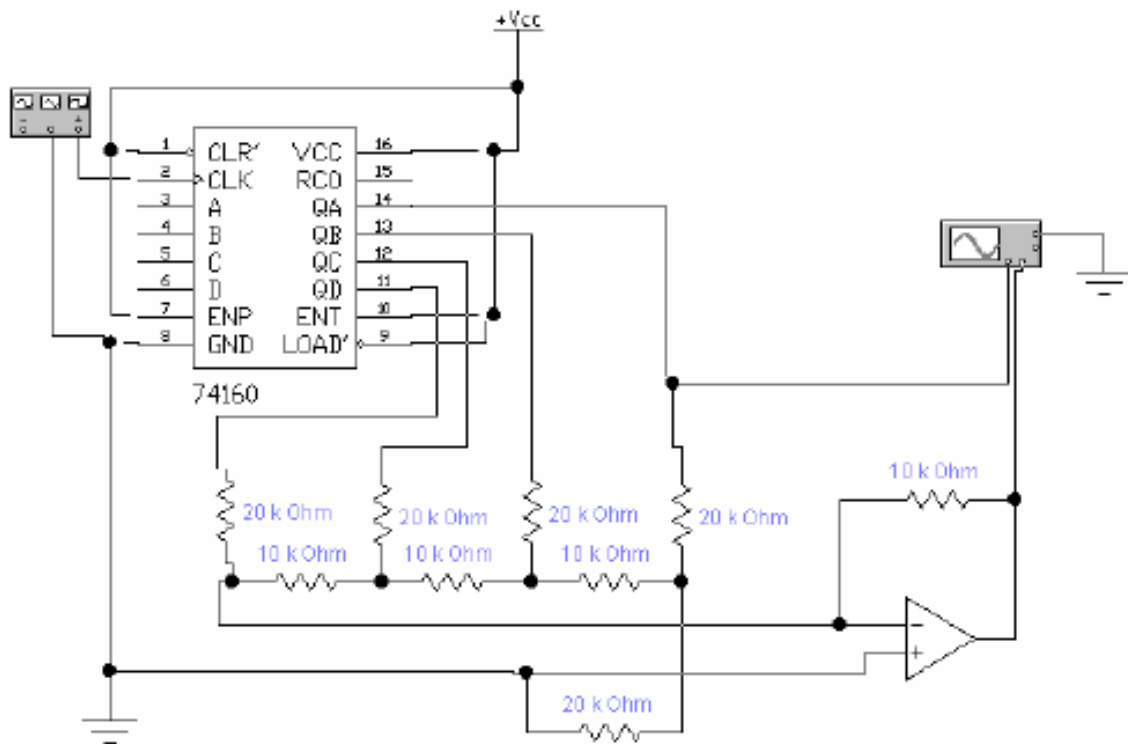


Рисунок 8.3 - Чотирьохрозрядний ЦАП сходиноквого типу на базі лічильника 74160

З порівняння ЦАП на рисунках 8.2 і 8.3 видно, що у другому випадку відсутнє джерело опорної напруги - його функцію виконує сам лічильник-комутатор. Еквівалентне значення  $U_{\text{он}}$  можна отримати на підставі формули (8.2) або результатів вимірювань.

АЦП прямого перетворення є найбільш простими та часто вбудовуються безпосередньо у датчики. Розглянемо як приклад перетворювач постійної позитивної напруги в частоту (рис. 8.4).

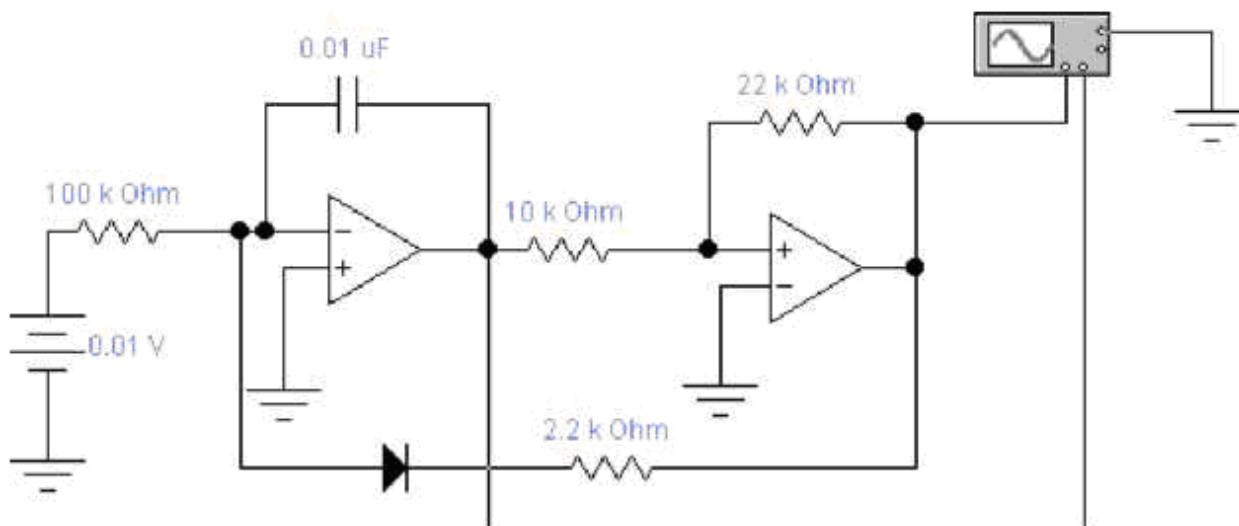


Рисунок 8.4 – ЦАП прямого перетворення

АЦП виконаний на двох ОП, підсилювач ОП1 уключений в режимі інтегратора, а підсилювач ОП2 - у режимі регенеративного компаратора з гістерезисом. Коли вихідна напруга компаратора  $U_f$  має максимальне позитивне значення  $U_1$ , діод  $VD$  зміщений у зворотному напрямку і напруга  $U_s$  на виході ОП1 зменшується за лінійним законом з швидкістю, яка визначається амплітудою вхідного позитивного сигналу  $U_i$ , доти, поки не досягне значення  $U_1 R1/R2$ . У цей момент компаратор перемикається в інший стан, за якого напруга на його виході дорівнює максимальному від'ємному значенню  $U_2$ , діод  $VD$  відкривається і вихідна напруга інтегратора швидко наростає до значення  $U_2 R1/R2$ . При цьому компаратор повертається до первинного стану і цикл повторюється.

Оскільки час наростання вихідної напруги інтегратора значно менший часу спаду, який обернено пропорційний амплітуді вхідного сигналу, частота циклів повторення  $F$  буде прямо пропорційна вхідній напрузі. Нехтуючи власним часом перемикування компаратора, можна записати такий вираз для визначення частоти вихідних імпульсів:

$$F = U_i R3 / [R1 C R4 (U_1 - U_2)]. \quad (8.3)$$

Насправді розмах напруги на виході ОП1 дещо більший за величину  $(R1/R2)(U_1 - U_2)$  через відмінне від нуля значення часу перемикування компаратора, а частота відповідно менша за значення, обумовлене виразом (8.3), до того ж ця розбіжність буде особливо значною за великих амплітуд вхідного сигналу.

Із зазначеними на рисеуге 8.4 номіналами елементів схема має забезпечувати лінійність перетворення не гірше  $\pm 1\%$  в діапазоні зміни вхідних напруг 20 мВ...10 В, при цьому частота вихідних імпульсів має змінюватися від 20 Гц до 10 кГц.

### 8.3 Порядок виконання роботи

Зібрати схему, показану на рисунку 8.1. Змінюючи положення перемикачів А, В, С, D, заповнити таблицю 8.1.

Таблиця 8.1 - Результати досліджень

D	C	B	A	$U_{вих}$
0	0	0	0	
0	0	0	1	
0	0	1	0	
0	0	1	1	
0	1	0	0	
0	1	0	1	
0	1	1	0	
0	1	1	1	
1	0	0	0	
1	0	0	1	
1	0	1	0	
1	0	1	1	
1	1	0	0	
1	1	0	1	
1	1	1	0	
1	1	1	1	

Зібрати схему, показану на рисунку 6.2. Заповнити таблицю 6.2, аналогічну таблиці 6.1.

Зібрати схему, показану на рисунку 6.3. Використовуючи формулу (6.1) і параметри схеми (рис. 6.3), розрахуйте значення еквівалентної вихідної напруги. Отримайте осцилограми сигналів на рахунковому вході лічильника та виході ЦАП і поясніть отримані результати.

Зібрати схему, показану на рисунку 6.4. Отримати осцилограми сигналів на виходах ОП1 і ОП2. Змінюючи напругу E1, виміряти частоту вихідного сигналу, дані занести до таблиці 6.3.

Таблиця 6.3 - Результати досліджень

$E_1, В$	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,1
$f_{вих}$										

На підставі результатів таблиці 6.3 побудувати графік залежності

$$F_{вих} = f(E1).$$

Занести пояснення щодо створення схем до звіту та зробити висновки.

## 8.4 Зміст звіту

1. Назва та мета лабораторної роботи.
2. Принципові електричні схеми всіх лабораторних установок.
3. Часові діаграми і таблиці з експериментальними даними.
4. Висновки щодо виконаної роботи.

## 8.5 Контрольні питання

1. Призначення АЦП і його місце в системі передачі цифрової інформації.
2. За яким законом вибираються опори в ЦАП з ваговими резисторами?
3. Розрахуйте коефіцієнт посилення напруги ОП і вихідну напругу ЦАП у схемі на рисунку 8.1 для випадку, коли в положення логічної одиниці установлений тільки перемикач С.
4. Отримайте вираз для розрахунку вихідної напруги ЦАП у загальному вигляді.
5. Чим відрізняється ЦАП сходиноквого типу від ЦАП з ваговими резисторами?
6. Розрахуйте вихідну напругу ЦАП на рисунку 8.2 для 8 комбінацій перемикачів А, В, С, D.
7. Охарактеризуйте методи схемної реалізації АЦП.
9. Надайте характеристику структурній схемі паралельного АЦП.
10. Що таке АЦП прямого перетворення, у яких пристроях його доцільно застосовувати?

## Література

1. Воробйова. О. М., Іванченко В. Д.. Основи схемотехніки: підручник. [2-е вид.]. Одеса : Фенікс, 2009. 388 с.
2. Бойко В. І., Гуржій А. М., Жуйков В. Я. Схемотехніка електронних систем: Аналогова схемотехніка та імпульсні пристрої: Підручник. Київ : Вища шк., 2004. 366 с.
3. Кожем'яко В. П., Павлов С. В., Тарновський М. Г. Оптоелектронна схемотехніка. Навчальний посібник. Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2008. 189 с.
4. Верьовкін Л. Л., Світанько М. В., Кісельов Є. М., Хрипко С. Л. Цифрова схемотехніка: підручник. Запоріжжя : ЗДІА, 2016. 214 с. ISBN 978-617-685-023-6.
5. Рябенський В.М., Жуйков В.Я., Гулий В.Д.. Цифрова схемотехніка: навчальний посібник. Львів : "Новий Світ-2000", 2019. 736 с. ISBN 978-966-418-067-9.