

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
**КАФЕДРА ОБЧИСЛЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ**

**ПЕРЕТВОРЮВАЧІ ФОРМИ ІНФОРМАЦІЇ З ВАГОВОЮ  
НАДЛИШКОВІСТЮ**

**Лабораторний практикум**

**Вінниця ВНТУ 2014**

**Міністерство освіти і науки України**  
**Вінницький національний технічний університет**  
**Кафедра обчислювальної техніки**

**ПЕРЕТВОРЮВАЧІ ФОРМИ ІНФОРМАЦІЇ З ВАГОВОЮ  
НАДЛИШКОВІСТЮ**

**Лабораторний практикум**

Затверджено Методичною радою Вінницького національного технічного університету як методичні вказівки для студентів напряму підготовки 7.050102 Комп'ютерна інженерія

Протокол № від „ ” 2014 р.

Вінниця ВНТУ 2014

Перетворювачі форми інформації з ваговою надлишковістю. Лабораторний практикум. / Методичні вказівки для студентів спеціальності 7.050102 Комп'ютерні мережі і системи

/Уклад. О.Д. Азаров, Л.В.Крупельницький, О.В. Дудник– Вінниця: ВНТУ, 2014 – с. /

Рекомендовано до видання Методичною радою Вінницького національного технічного університету Міністерства освіти і науки України

Лабораторний практикум передбачає: ознайомлення з структурними та схемотехнічними основи аналого-цифрового перетворення сигналів, з основними методами калібрування і самокорекції, алгоритмами цифрової обробки сигналів та спеціалізованими пристроями, що їх реалізують.

Укладачі: Олексій Дмитрович Азаров, д.т.н., професор,  
Леонід Віталійович Крупельницький, к.т.н., доцент,  
Олександр Вікторович Дудник, к.т.н., асистент

Редактор

Відповідальний за випуск

Рецензенти: , доктор технічних наук, професор  
, кандидат технічних наук, доцент

## Зміст

Вступ	4
Лабораторна робота №1. Розрахунок статичних параметрів передатної характеристики АЦП і ЦАП	5
Лабораторна робота №2 Розрахунок динамічних параметрів АЦП і ЦАП	16
Лабораторна робота №3 Компаратори напруги та схеми порівняння струмів.	21
Лабораторна робота №4 Дослідження мультиплексорів сигналів	30
Лабораторна робота №5 Вивчення пристроїв вибірки та зберігання	38
Лабораторна робота №6 Дослідження АЦП порозрядного кодування	44

## ВСТУП

Метою дисципліни є формування знань і навичок, необхідних для проектування апаратних і програмних засобів перетворювачів форми інформації з ваговою надлишковістю (ПФІ з ВН). Дисципліна дає структурні та схемотехнічні основи аналого-цифрового перетворення сигналів, ознайомлює з основними методами калібрування і самокорекції, алгоритмами цифрової обробки сигналів та спеціалізованими пристроями, що їх реалізують.

Основні завдання вивчення дисципліни полягають у тому, щоб навчити студентів розумінню структурних методів корекції, процесів аналого-цифрового і цифроаналогового перетворення, ознайомити їх з основними методами перетворення і задачами, для розв'язання яких вони використовуються, а також галузями застосування ПФІ з ВН.

Згідно з вимогами освітньо-професійної програми студенти повинні:

- *знати*: методи, математичні, алгоритмічні та апаратні основи перетворення аналогових сигналів в цифрові, основи вимірювання і обробки сигналів, коригування результатів;
- *вміти*: розробляти апаратні та програмні засоби для розв'язання задач перетворення сигналів у різних галузях науки та техніки, виконувати інженерні розрахунки вимірювальних систем, аналізувати отримані результати та приймати рішення за результатами цих розрахунків, користуватись науковою та довідковою літературою, знаходити раціональні методи розв'язання практичних задач.

Основними розділами дисципліни є: високоточні АЦП і ЦАП як перетворювачі форми інформації системного застосування; статичні та динамічні характеристики ПФІ; методи підвищення точності та швидкодії ПФІ з ВН та систем на їх основі; проектування високоточних швидкодіючих цифрових систем вимірювання і обробки аналогових сигналів; застосування методів та апаратних засобів ПФІ з ВН в різних галузях техніки.

## Лабораторна робота №1

### Розрахунок статичних параметрів передатної характеристики АЦП і ЦАП

Мета роботи: набути навички розрахунку статичних параметрів передатної характеристики АЦП і ЦАП. Засвоїти способи обчислення вказаних параметрів.

#### Короткі теоретичні відомості

##### ЦАП та їх параметри

Цифроаналогові перетворювачі це пристрої, що генерують вихідну аналогову величину відповідну цифровому коду, котрий надходить на вхід перетворювача.

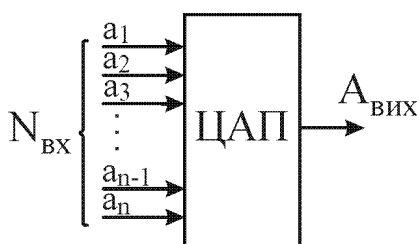


Рис.1. Загальна структура ЦАП

Узагальнена структурна схема ЦАП зображена на рис.1. Вхідний сигнал становить собою цифровий код ( $N_{\text{ВХ}}=a_{n-1}a_{n-2}\dots a_2a_1a_0$ ), а вихідний - являє собою аналогову величину ( $A_{\text{ВІХ}}$ ) таку, що сигнал на виході ЦАП визначається співвідношенням:

$$A_{\text{ВІХ}}=k_0 \cdot (a_{n-1} \cdot 2^{n-1} + a_{n-2} \cdot 2^{n-2} + \dots + a_1 \cdot 2^1 + a_0 \cdot 2^0).$$

Як правило  $a_i \in \{0,1\}$  чи  $a_i \in \{0,1\}$ . Чим вища розрядність вхідного коду для даного перетворювача тим вища точність зображення довільної величини.

ЦАП використовують для узгодження ЕОМ з аналоговими пристроями, а також як внутрішній вузол АЦП або цифрового вимірювального приладу.

##### Параметри ЦАП

Сукупність значень вихідних аналогових величин  $X_i$  в залежності від значень вхідного коду  $A_i$  називається характеристикою перетворення (ХП). Така сукупність може бути наведена у вигляді графика, формули чи таблиці.

Значення вихідної аналогової величини  $X_i$  відповідають мінімальному й максимальному значенню вхідного коду  $A_i$  і є початковою та кінцевою точками ХП. Інтервал значень вихідної аналогової величини від початкової до кінцевої точки називається діапазоном вихідної величини, а різниця між

максимальним та мінімальним значенням цієї величини - амплітудою її змінення.

Значення дискретного змінення вихідної аналогової величини при змінненні значення вхідного коду на одиницю називається **ступінню квантування**. У випадку двійкового лінійного ЦАП для номінальної ХП всі сходинки дорівнюють

$$n=(X_{\max} - X_{\min})/(b-1)=X_{\text{орн}}/(b-1),$$

де  $X_{\min}$ ,  $X_{\max}$  - номінальне значення вихідної аналогової величини у початковій та кінцевій точках ХП,

$X_{\text{орн}}$  - номінальне амплітудне значення змінення вихідної аналогової величини,  $b$  - число можливих значень коду.

Номінальне значення сходинки квантування, що становить найменше змінення вихідної аналогової величини, є роздільною здатністю перетворювача.

Дану характеристику часто плутають з точністю перетворювача. У дійсності це дві вкрай слабо зв'язані одна з одною характеристики.

**Точність** - сумарне відхилення вихідної величини перетворювача від свого ідеального значення для даної кодової комбінації. Плутанина, яка виникає пов'язана з тим, що точність зазвичай визначають у частках ОМР, це говорить про те, що точність знаходиться десь у межах роздільної здатності перетворювача.

В дійсності амплітуди квантів у різних точках відрізняються, у цьому випадку підраховується середнє значення сходинки квантування, це значення може служити одиницею виміру вихідних аналогових величин і його називають одиницею молодшого розряду (ОМР).

Ступінь співпадіння реальної ХП з ідеальною визначає точність, котра характеризується рядом відхилень реальної ХП від ідеальної і кількісно відображається такими параметрами:

- \* нелінійністю;
- \* диференційною нелінійністю;
- \* зсувом початкової точки ХП;
- \* відхиленням значення аналогової величини від номінальної у кінцевій точці.

**Нелінійність** у даній точці ХП - це відхилення точки реальної ХП від прямої проведеної певним чином:

- \* нелінійність відносно прямої, проведеної через початкову і кінцеву точки ХП;

\* нелінійність відносно прямої, проведеної таким чином, щоб мінімізувати значення нелінійності. Наприклад відносно прямої середньоквадратичного відхилення.

Для ЦАП нелінійність як правило визначається нелінійністю у точці ХП, де вона за абсолютним значенням максимальна. Нелінійність виражається у частках ОМР, чи в процентах від значення аналогової величини у кінцевій точці ХП:

де  $\delta_L$  - нелінійність у даній точці ХП,

$\Delta x$  - абсолютне значення нелінійності у даній точці ХП,

$h$  - значення ОМР,

$x_k$  - значення вихідної аналогової величини у кінцевій точці ХП.

ХП, що ілюструє різні типи нелінійності зображена на рис.2.



**Рис.2. ХП ЦАП, що демонструє різні види нелінійності**

**Диференційна нелінійність** - це відхилення дійсних значень сходінок квантів від їх середнього значення. Диференційна нелінійність  $i$ -тої сходінки квантів:

Для ЦАП вказують значення диференційної нелінійності тієї точки характеристики, де воно за абсолютним значенням максимальне.



Під **монотонністю** приймається незмінність знаку приросту вхідної величини при послідовному зміні значення вхідного коду. Умова монотонності

Якщо побудувати дві ХП для ЦАП з відмінними, хоча й незначно, середніми сходишками квантування, то відхилення буде помітне внаслідок різної крутизни характеристик. Параметр, що характеризує середню крутизну ХП називається **коефіцієнтом перетворення**.

Вказане відхилення дійсної ХП від номінальної зазвичай оцінюють у кінцевій точці ХП чи в тій точці ХП, де це відхилення набуває максимального значення та називають **максимальним відхиленням** вихідної величини у співвідношенні до номінального значення або **похибкою масштабу**.

Можливо також відхилення ХП від номінальної у вигляді **паралельного зсуву**. Паралельний зсув оцінюється відносно початку координат і називається похибкою зміщення нуля вихідної аналогової величини. Це дійсне значення вихідної величини для вхідного коду при котрому номінальне значення вихідної величини дорівнює нулю.

**Код вхідного сигналу** - цифровий вхідний код, що використовується як двійковий (з розрядними коефіцієнтами  $\{0,1\}$  чи  $\{-1,1\}$ ), двійково-десятковий, код надлишкових позиційних систем числення та ін.

**Стабільність** - здатність ЦАП зберігати значення вихідного сигналу протягом обумовленого проміжку часу.

### **Параметри спряження**

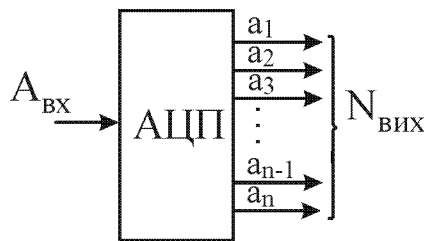
Перетворювачі є не абстрактними схемами, а є реальними пристроями, котрі потрібно застосовувати на практиці, тому суттєве значення мають такі параметри, як параметри спряження, без знання котрих, домогтися правильного функціонування пристрою не вдається. До них відносяться:

- \* напруги джерел живлення;
- \* струми споживання;
- \* вхідні й вихідні напруги й струми;
- \* тип і припустимі значення опору навантаження, вихідний повний опір;
- \* число розрядів (роздільна здатність);

- \* вхідний опір чи струм по входу для зовнішніх джерел опорної напруги;
- \* діапазон робочих температур.

### АЦП та їх параметри

**Аналого-цифровим перетворювачем** називається пристрій призначений для перетворення вхідної аналогової величини в еквівалентний їй цифровий код.



**Рис.3. Загальна структура АЦП**

АЦП це пристрій на рис.3, вхідна інформація котрого задається невідомою аналоговою величиною  $A_{ВХ}$  (напругою, струмом та ін.), а вихідна інформація є сукупністю  $n$  логічних рівнів  $(a_n a_{n-1} \dots a_3 a_2 a_1)$   $N_{ВІХ}$ - цифровий код  $(N_i = a_n a_{n-1} \dots a_3 a_2 a_1)$  такий, що

$$A_{ВХ} \cong k_0 \cdot (a_{n-1} \cdot 2^{n-1} + a_{n-2} \cdot 2^{n-2} + \dots + a_1 \cdot 2^1 + a_0 \cdot 2^0) \quad (*)$$

Як правило  $a_i \in \{0,1\}$  чи  $a_i \in \{0,1\}$ . Значення  $N_{ВІХ}$  визначає роздільну здатність перетворювача. Чим воно більше, тим більш точно виконується співвідношення (\*).

АЦП використовуються у пристроях зв'язку комп'ютерів з об'єктами. Внаслідок широкого впровадження цифрової обробки сигналів вони є важливою складовою частиною багатьох комп'ютерних систем.

### Параметри АЦП

При поданні на вхід АЦП напруги, що лінійно змінюється на виході АЦП, має місце послідовне змінення кодів. Залежність між значеннями вхідної аналогової напруги та вихідного коду називається **характеристикою перетворення (ХП)** АЦП. Характеристика перетворення може бути подана у вигляді таблиць, графіків чи формул.

Під **напругою міжкодового переходу** розуміють таке значення вхідної напруги, статистична ймовірність перетворення котрої в задане і попереднє заданому значення вихідного коду є однаковою.

**Зона невизначенності міжкодових переходів**. Ширина зони є ймовірнісною величиною. Зона невизначенності міжкодових переходів характеризує нестабільність точок ХП.

Різниця значень напруг заданого й наступного за ним міжкодових переходів визначають **крок квантування** ХП АЦП. Наявність кроку квантування породжує **похибку квантування** АЦП, обумовлену цифровою природою вихідної інформації АЦП, тобто кінцевим числом кодових комбінацій, котрі можуть існувати на виході АЦП.

**Точнісні параметри АЦП:**

- \* напруга зміщення нуля;
- \* відхилення коефіцієнта перетворення від номінального значення;
- \* нелінійність (інтегральна нелінійність);
- \* диференційна нелінійність;
- \* зона невизначеності міжкодових переходів;
- \* монотонність ХП.

Дійсне значення вхідної напруги у точці ХП, що відповідає номінальному нульовому значенню цієї напруги, визначає **напругу зміщення нуля**. Графічно ця напруга показується паралельним зсувом ХП уздовж осі абсцис.

У окремому випадку відхилення коефіцієнта перетворення від номінального значення можливо характеризувати **похибкою перетворення в кінцевій точці ХП**. Ця похибка показує змінення нахилу прямої, проведенної через початкові та кінцеві точки дійсної ХП.

**Нелінійність** АЦП - відхилення дійсних значень вхідної напруги, відповідної заданій точці ХП, від значення, що визначається по лінеаризованій ХП у тій самій точці.

**Диференційна нелінійність** АЦП - відхилення дійсних значень кроків квантування ХП від їх середнього значення.

Під **монотонністю** характеристики перетворення розуміють існування всіх кодових комбінацій на його виході при поданні на вхід сигналу, що змінюється. При цьому знак нахилу монотонної ХП змінюватися не повинен.

## Виконання роботи

1. Виконати побудову характеристики перетворення ЦАП (відповідно до варіанту завдання табл. 1).
2. На основі характеристики перетворення та даних з табл. 1 визначити:
  - a) чи виконується умова монотонності;
  - b) похибку зміщення нуля;
  - c) інтегральну нелінійність;
  - d) диференційну нелінійність;
  - e) похибку перетворення в кінцевій точці ХП або похибку масштабу.

## Контрольні запитання

1. Дати визначення понять АЦП, ЦАП, ПФІ.
2. Що таке інформація, які бувають форми інформації?
3. Наведіть перелік статичних характеристик ЦАП?
4. Наведіть перелік статичних характеристик АЦП?
5. Охарактеризуйте статичні характеристики ЦАП?
6. Охарактеризуйте статичні характеристики АЦП?
7. Охарактеризуйте способи оцінювання статичних характеристик АЦП?
8. Охарактеризуйте способи оцінювання статичних характеристик ЦАП?

## Література

1. Крупельницький Л.В., Азаров О.Д. Аналого-цифрові пристрої систем, що самокалібруються, для вимірювань і оброблення низькочастотних сигналів : монографія / під заг. ред О. Д. Азарова. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2005.– 167с.
2. Орнатский Е. П. Автоматические измерения и приборы / Орнатский Е. П. – 5-е изд. перераб. и доп. – К. : Вища школа, 1986. – 504 с.
3. Азаров О. Д. Основи теорії аналого-цифрового перетворення на основі надлишкових позиційних систем числення : монографія / Азаров О. Д. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2004. – 260 с.
4. Уолт Кестер. Аналого-цифровое преобразование. Москва: Техносфера, 2007. – 1016с.

Таблиця 1. Ваги розрядів ЦАП

№ варіанту	Номер розряду							
	7	6	5	3	4	2	1	0
0	24,686	18,375	12,75	7,682	3,965	2,59	1,464	0,903
1	29,427	15,304	9,531	6,677	2,575	1,529	0,52	0,114
2	27,863	18,412	11,26	6,541	3,908	2,062	0,43	-0,027
3	26,482	17,599	9,34	5,649	3,88	1,804	0,924	0,085
4	26,455	17,676	11,015	5,839	3,016	1,998	0,481	0,087
5	26,791	18,899	10,111	5,451	3,293	1,705	0,497	-0,007
6	26,354	16,536	10,154	6,056	2,754	1,826	0,864	0,087
7	29,194	17,691	10,477	5,257	3,794	1,565	0,914	-0,04
8	28,422	15,656	11,231	5,602	3,476	1,426	0,409	0,021
9	26,812	15,682	9,444	5,408	3,398	1,614	0,693	-0,017
10	26,725	17,554	10,227	5,722	3,155	1,341	0,606	-0,118
11	30,396	14,929	10,753	5,718	3,247	2,016	0,689	0,067
12	32,633	20,137	9,063	5,532	2,888	2,055	0,899	0,005
13	24,152	13,787	10,717	4,716	3,802	1,728	0,521	0,058
14	23,372	15,889	9,458	5,902	3,434	1,846	0,423	0,064
15	29,231	15,247	10,616	6,717	3,387	2,036	0,804	-0,016
16	32,175	13,595	8,305	5,514	2,993	1,364	0,685	0,021
17	23,403	15,982	10,66	6,563	2,861	1,724	0,473	-0,002
18	26,364	16,033	9,857	6,696	3,06	1,777	0,793	0,037
19	23,497	14,147	9,628	5,312	3,141	1,778	0,834	0,051
20	29,593	18,182	10,807	6,001	3,096	1,521	0,219	-0,113
21	29,499	15,355	8,775	5,994	3,111	1,425	0,796	-0,132
22	25,681	18,1	11,022	6,873	2,538	2,196	0,826	0,028
23	25,548	18,052	10,389	5,504	3,099	1,645	0,789	-0,025
24	31,349	16,716	11,486	5,66	3,669	1,246	0,667	-0,107
25	28,85	17,66	11,459	5,339	2,483	1,459	0,334	-0,112
26	26,519	14,785	7,691	5,581	2,998	1,798	0,361	0,066
27	27,73	16,699	9,886	5,375	3,453	2,05	0,471	-0,064
28	29,443	16,261	9,54	4,749	3,895	1,462	0,355	-0,099
29	27,871	20,342	10,728	5,97	3,785	1,959	0,427	-0,004

30	24,825	18,563	10,059	6,47	2,974	1,672	0,825	-0,073
31	29,318	17,695	10,697	6,884	2,943	1,697	0,729	0,009
32	27,888	17,294	10,652	6,111	2,867	1,905	0,739	0,02
33	28,043	17,821	9,12	4,995	2,959	1,805	0,405	0,048
34	29,03	17,406	9,226	6,437	3,032	1,622	0,615	-0,085
35	29,809	18,047	8,892	6,107	2,991	1,569	0,463	-0,078
36	28	18,384	10,989	6,495	3,527	1,52	0,514	-0,019
37	27,208	13,852	10,364	6,18	3,517	1,643	0,442	-0,038
38	27,324	18,696	9,794	5,38	3,199	1,225	0,454	-0,133
39	28,616	18,413	9,639	5,524	3,253	2,071	0,515	-0,081
40	27,08	17,569	11,555	6,434	3,622	1,831	0,353	-0,042
41	28,596	19,558	11,097	6,092	3,451	2,03	0,291	0,041
42	23,234	17,067	9,543	4,932	3,264	1,412	0,365	-0,108
43	22,04	15,576	9,556	6,476	3,343	1,674	0,853	-0,028
44	25,223	17,144	9,19	6,353	3,4	1,589	0,865	-0,048
45	26,963	17,994	9,042	5,735	2,927	1,803	0,69	-0,005
46	23,015	17,028	9,537	5,173	2,985	1,559	0,576	-0,049
47	27,249	17,001	8,342	5,592	3,684	1,599	0,733	0,001
48	31,938	18,271	9,51	5,687	3,431	1,57	0,856	0,08
49	26,103	17,394	9,628	5,867	3,117	1,229	0,378	-0,002
50	21,354	18,81	11,672	6,626	3,194	1,507	0,521	-0,074
51	27,637	18,336	10,527	6,206	2,291	1,386	0,59	-0,015
52	22,156	19,561	8,415	6,228	3,212	1,555	0,582	-0,084
53	25,668	17,021	9,028	5,419	2,713	1,787	0,607	0,021
54	30,985	16,892	8,522	6,217	2,707	1,725	0,514	-0,084
55	30,452	15,677	10,887	5,122	3,957	1,468	0,586	-0,131
56	25,409	16,953	8,99	6,75	2,762	1,421	0,659	-0,062
57	26,592	18,111	10,898	5,29	3,164	1,875	0,544	-0,046
58	24,939	17,874	10,681	7,389	3,216	1,845	0,918	0,117
59	30,285	18,966	12,079	6,341	3,051	1,56	0,627	0,123
60	23,437	15,884	9,869	6,827	3,363	1,853	0,845	-0,06
61	26,528	17,745	8,553	5,325	3,155	1,798	0,625	0,057
62	28,172	18,479	10,725	6,904	2,82	1,265	0,895	0,034
63	26,876	16,42	9,207	6,238	3,142	1,413	0,416	0,111
64	27,98	16,313	8,988	6,867	2,967	1,395	0,388	-0,02

65	30,771	19,243	9,573	6,845	3,212	1,772	0,737	0,054
66	28,135	18,617	10,786	6,681	3,576	1,718	0,447	0,087
67	28,345	16,125	11,138	5,377	3,647	1,768	0,55	-0,11
68	28,126	16,245	9,966	6,609	2,821	0,999	0,599	-0,095
69	28,629	17,25	9,716	7,426	2,861	1,566	0,646	0,028
70	29,069	16,613	10,238	5,889	3,346	1,659	0,558	-0,089
71	30,996	15,966	10,061	5,693	3,362	1,351	0,677	-0,073
72	27,262	19,831	10,876	5,527	3,233	1,514	0,493	-0,003
73	29,86	17,028	10,577	5,607	3,074	1,411	0,468	0,072
74	28,608	13,767	10,591	5,503	3,683	1,741	0,466	0,059
75	25,156	15,025	10,622	5,569	2,958	1,968	0,562	-0,169
76	27,209	16,062	8,673	4,639	3,556	1,725	0,633	-0,046
77	28,166	16,143	8,713	5,647	3,111	1,839	0,488	-0,028
78	30,183	17,299	9,819	6,349	2,977	1,9	0,57	-0,099
79	24,439	14,453	10,703	6,503	3,855	1,599	0,713	-0,086
80	29,162	17,949	10,677	4,448	3,561	1,181	0,385	-0,164
81	32,239	15,689	10,482	6,538	2,746	1,619	0,551	0,096
82	31,54	16,308	11,208	6,415	3,869	1,311	0,585	-0,157
83	29,015	17,035	9,692	6,027	3,016	1,695	0,79	0,152
84	27,471	16,98	10,107	4,851	3,051	1,519	0,712	-0,104
85	28,152	19,307	10,06	6,612	3,203	1,554	0,504	0,032
86	25,492	15,935	8,866	6,065	3,181	1,93	0,626	0,005
87	28,107	14,384	9,968	5,041	2,807	1,861	0,448	0,049
88	28,253	18,962	11,396	5,558	2,797	2,083	0,773	0,076
89	27,814	13,62	11,27	5,817	3,334	1,504	0,687	0,116
90	22,252	13,314	8,687	5,757	2,724	1,783	0,439	0,151
91	25,706	16,193	9,782	6,105	3,799	1,681	0,48	-0,005
92	28,827	15,601	10,943	5,873	2,542	1,718	0,79	-0,089
93	30,494	17,742	10,514	6,365	3,872	1,642	0,571	0,029
94	29,565	14,604	11,925	6,165	4,049	1,4	0,574	-0,114
95	28,186	18,803	11,888	5,529	2,829	1,708	0,877	0,091
96	25,321	19,667	12,27	5,372	3,326	1,583	0,452	-0,032
97	30,34	15,683	8,539	5,915	2,654	1,596	0,46	0,119
98	25,777	16,919	9,671	5,339	3,01	1,841	0,73	-0,004
99	29,13	16,192	8,538	5,226	3,284	1,412	0,849	0,078

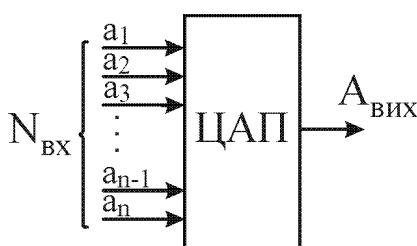
## Лабораторна робота №2

### Розрахунок динамічних параметрів АЦП і ЦАП

Мета роботи: набути навички розрахунку динамічних параметрів АЦП і ЦАП. Засвоїти способи обчислення вказаних параметрів.

#### Короткі теоретичні відомості

Цифроаналогові перетворювачі це пристрої, що генерують вихідну аналогову величину відповідну цифровому коду, котрий надходить на вхід перетворювача.



Узагальнена структурна схема ЦАП зображена на рис.1. Вхідний сигнал становить собою цифровий код ( $N_{\text{ВХ}} = a_{n-1}a_{n-2}\dots a_2a_1a_0$ ), а вихідний - являє собою аналогову величину ( $A_{\text{ВІХ}}$ ) таку, що сигнал на виході ЦАП визначається співвідношенням:

**Рис.3.** Загальна структура ЦАП

$$A_{\text{ВІХ}} = k_0 \cdot (a_{n-1} \cdot 2^{n-1} + a_{n-2} \cdot 2^{n-2} + \dots + a_1 \cdot 2^1 + a_0 \cdot 2^0).$$

Як правило  $a_i \in \{0,1\}$  чи  $a_i \in \{0,1\}$ . Чим вища розрядність вхідного коду для даного перетворювача тим вища точність зображення довільної величини.

ЦАП використовують для узгодження ЕОМ з аналоговими пристроями, а також як внутрішній вузол АЦП або цифрового вимірювального приладу.

#### Динамічні параметри ЦАП

Час перехідних процесів в ЦАП визначає його швидкодію.

Час встановлення вихідного сигналу - час від моменту подачі вхідного коду на входи ЦАП до моменту, коли значення вихідної аналогової величини відрізняється від усталеного на задане значення. У більшості випадків вказане значення аналогової величини повинно відрізнятися від усталеного значення не більш як на  $0.5 \text{ ОМР}(t_1$  на рис.5.1.3).



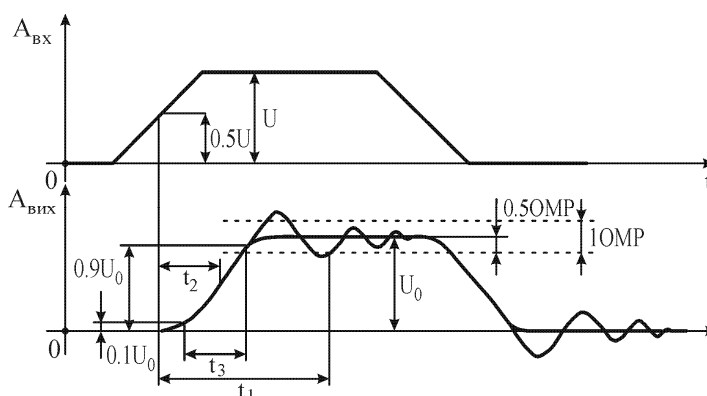
**Час затримки розповсюдження** - час від моменту досягнення вхідним цифровим сигналом половини амплітуди до моменту досягнення вихідною аналоговою величиною половини усталеного значення ( $t_2$  на рис.5.1.3).

Поруч із цим може використовуватися **час затримки** - час від моменту змінення коду до досягнення вихідною величиною 0.1 усталеного значення.

**Час зростання** - час, за котрий вихідна аналогова величина змінюється від 0.1 до 0.9 усталеного значення ( $t_3$  на рис.2)

**Швидкість зростання** - відношення значення приросту аналогової величини до часу  $t_3$ , за котрий цей приріст відбувся.

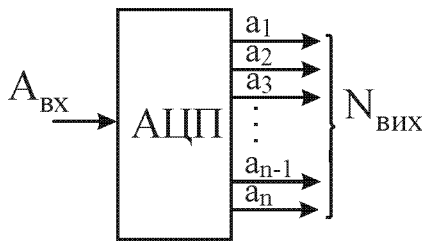
**Час перемикання** - час від моменту подачі вхідного коду до моменту досягнення вихідною аналоговою величиною 0.9 усталеного значення.



**Рис.2** Залежність вихідного сигналу ЦАП від змінення коду на його входах

**Викиди** - короткочасні підйоми чи провали вихідного сигналу в момент змінення значення вхідного коду. Критерієм викиду є значення коливальної енергії. (Якщо викид зобразити у вигляді графіка, то енергія викиду пропорційна площині кривої з урахуванням її "знаку"). Часто викид характеризують амплітудою й тривалістю. Вважається, що найгірша ситуація для викиду виникає при переключенні найбільшого числа розрядів. Викиди можуть бути пов'язані з неоднаковим часом переключення різних розрядів, неоднаковим часом "вмикання" й "вимикання" розрядів.

**Аналого-цифровим перетворювачем** називається пристрій призначений для перетворення вхідної аналогової величини в еквівалентний їй цифровий код.



**Рис.3** Загальна структура АЦП

АЦП це пристрій рис.3, вхідна інформація котрого задається невідомою аналоговою величиною  $A_{ВХ}$  (напругою, струмом та ін.), а вихідна інформація є сукупністю  $n$  логічних рівнів  $(a_n a_{n-1} \dots a_3 a_2 a_1)$   $N_{ВІХ}$ -цифровий код  $(N_i = a_n a_{n-1} \dots a_3 a_2 a_1)$  такий, що

$$A_{ВХ} \cong k_0 \cdot (a_{n-1} \cdot 2^{n-1} + a_{n-2} \cdot 2^{n-2} + \dots + a_1 \cdot 2^1 + a_0 \cdot 2^0) \quad (*)$$

Як правило  $a_i \in \{0,1\}$  чи  $a_i \in \{0,1\}$ . Значення  $N_{ВІХ}$  визначає роздільну здатність перетворювача. Чим воно більше, тим більш точно виконується співвідношення (\*).

АЦП використовуються у пристроях зв'язку комп'ютерів з об'єктами. Внаслідок широкого впровадження цифрової обробки сигналів вони є важливою складовою частиною багатьох комп'ютерних систем.

**Динамічні параметри :**

- \* час перетворення, частота перетворення;
- \* апертурний час, апертурна невизначенність;
- \* монотонність характеристики перетворення при максимально припустимій швидкості змінення вхідного сигналу;
- \* співвідношення сигнал-шум.

**Час перетворення** - час від початку змінення сигналу на вході АЦП до появи на виході відповідного сталого коду.

**Час затримки запуску** - максимальний час з моменту подачі стрибкоподібного сигналу на аналоговий вхід АЦП до моменту подачі сигналу запуску АЦП, при котрому вихідний код відрізняється від номінального не більше ніж на значення статичної похибки.

**Час циклу кодування** - час, впродовж котрого здійснюється безпосереднє перетворення усталеного значення вхідного сигналу.

**Максимальна частота перетворення** - частота дискретизації вхідного сигналу, при котрому обраний параметр АЦП не виходить за задані межі. Обраний параметр може бути монотонністю АЦП чи нелінійністю.

Коли на вході АЦП не використовується ПВЗ, динамічні параметри АЦП характеризуються такими величинами:

- \* апертурний час;
- \* апертурна невизначенність.

Строго кажучи під апертурним часом розуміють час, впродовж котрого зберігається невизначенність між значенням вибірки та часом, до якого воно відноситься. Таким чином для виключення впливу апертурного часу на точність параметрів АЦП змінення сигналу на аналоговому вході повинно бути набагато меншим 1 ОМР за час, що дорівнює апертурному.

Апертурна невизначенність - випадкове змінення апертурного часу, найбільш часто визначається в конкретній точці ХП. Апертурна невизначенність виникає через випадкові змінення часу затримки. Вплив апертурної невизначенності полягає в появі різних кодових комбінацій при кодуванні одного значення сигналу, що швидко змінюється. Закон розподілу близький до нормального, причому найбільша частота появи припадає на код, відповідний обраному значенню сигналу.

Вхідна ємність АЦП - впливає на смугу пропускання АЦП, на розкид апертурного часу по ХП, і т.ч. на точнісні параметри АЦП. Смуга пропускання буде обмежуватися по рівню 3дБ добутком  $R_o \cdot C_i$ , де  $R_o$  - вихідний опір джерела сигналу в діапазоні робочих частот,  $C_i$  - вхідна ємність АЦП.

Співвідношення сигнал-шум є динамічним параметром АЦП. Шум як вхідного сигналу та вхідного кола, так і самого перетворювача фактично збільшує розмір зони квантування та може надавати вихідним числам статистичні властивості. Співвідношення сигнал-шум є інтегральним параметром АЦП, що дозволяє в цілому оцінити спотворення, що вносяться перетворювачем. Співвідношення сигнал-шум ідеального АЦП розраховується за формулою :

$$6 \cdot b + 1.8 \text{ (дБ)},$$

де  $b$  - розрядність АЦП.

## Виконання роботи

1. Згідно варіанту завдання скласти рівняння основного сигналу  
$$x = Af(0) * \sin(2 * \pi * F_0 * t).$$
2. Розрахувати параметри та згідно варіанту завдання скласти рівняння сигналу завади  
$$z = K * Af(0) * \sin(2 * \pi * F_c * t).$$
3. Розрахувати параметри та згідно варіанту завдання скласти рівняння шуму  
$$y = n * rand() \Rightarrow S / N = 20 \lg \frac{Af(0)}{n}.$$
4. Скласти рівняння та відобразити сигнал із завадою та шумами  
$$x = x + z + y.$$
5. Дискретизувати вказаний сигнал із частотою дискретизації згідно варіанту.
6. Виконати зворотне перетворення сигналу. Відобразити на графіку спектр сигналу та спектральну густину потужності.
7. Виконати зворотній обрахунок параметрів  $K_{нс}$  та  $S/N$

$$K_{нс} = \frac{\sqrt{\sum a^2(f_i)}}{a(f_0)}$$

$$S / N = 20 \lg \frac{\sqrt{\sum a^2(f_i)}}{a(f_0)}$$

## Контрольні запитання

1. Дати визначення понять АЦП, ЦАП, ПФІ.
2. Що таке інформація, які бувають форми інформації?
3. Наведіть перелік динамічних характеристик ЦАП?
4. Наведіть перелік динамічних характеристик АЦП?
5. Охарактеризуйте динамічні характеристики ЦАП?
6. Охарактеризуйте динамічні характеристики АЦП?
7. Охарактеризуйте способи оцінювання динамічних характеристик АЦП?
8. Охарактеризуйте способи оцінювання динамічних характеристик ЦАП?

## Література

1. Крупельницький Л.В., Азаров О.Д. Аналого-цифрові пристрої систем, що самокалібруються, для вимірювань і оброблення низькочастотних сигналів : монографія / під заг. ред О. Д. Азарова. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2005.– 167с.
2. Орнатский Е. П. Автоматические измерения и приборы / Орнатский Е. П. – 5-е изд. перераб. и доп. – К. : Вища школа, 1986. – 504 с.
3. Азаров О. Д. Основы теории аналого-цифрового перетворення на основі надлишкових позиційних систем числення : монографія / Азаров О. Д. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2004. – 260 с.
4. Уолт Кестер. Аналого-цифровое преобразование. Москва: Техносфера, 2007. – 1016с.

Таблиця 1. Завдання

№ варіанту	$f_0, \text{кГц}$	$f_d, \text{кГц}$	$A(f_0), \text{В}$	$f_c, \text{кГц}$	$K_{нс}, \%$	$S/N, \text{дБ}$
1	1	10	10	2	10	50
2	2	15	14	3	50	12
3	4	13	11	3	40	45
4	5	16	15	3	20	26
5	3	23	23	2	30	67
6	4	22	21	4	50	23
7	1	14	18	5	60	11
8	3	11	19	3	20	45
9	2	15	25	2	10	23
10	4	23	12	4	20	18
11	3	21	10	5	40	32
12	2	18	15	2	20	25
13	1	19	13	4	30	36
14	3	25	16	3	10	52
15	4	12	23	5	20	29

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА N3

Тема: Компаратори напруги та схеми порівняння струмів.

### 3.1. ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

В аналогових та цифро-аналогових ЕОМ, пристроях автоматики, схемах обробки аналогової інформації широке застосування знаходять схеми порівняння (СП) аналогових величин. Найбільш чисто в якості СП використовуються компаратори напруги (КН) ні схеми порівняння струмів (СПС).

Компаратор – елемент, що виконує логічну операцію порівняння аналогових величин, представлених електричними сигналами напруги або струму.

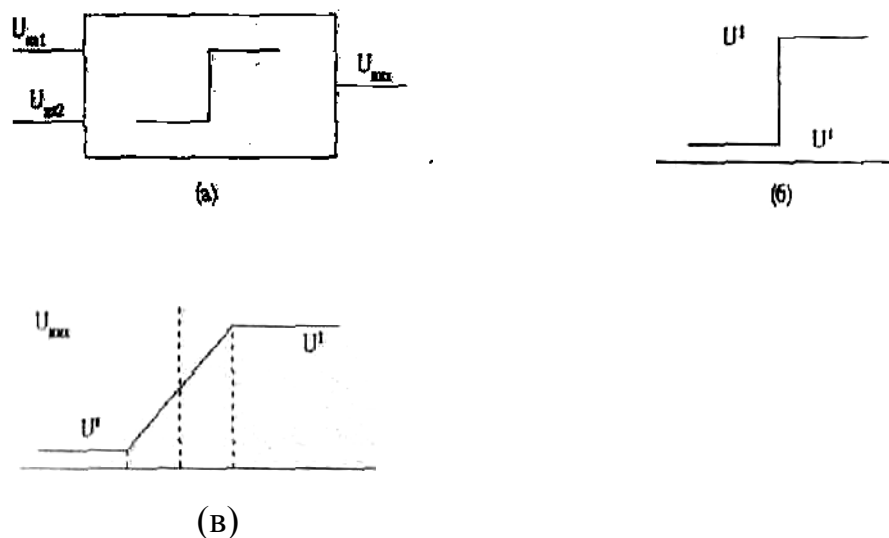


Рис. 1 Умовні графічні позначення компаратора а) та характеристики ідеального б) та реального в) компараторів.

Компаратор має два рівнозначних входи, на котрі подаються довільні напруги постійного або змінного струму  $U_{вх1}$  та  $U_{вх2}$ . Вихідна напруга  $U_{вих}$  приймає одне із двох логічних значені, «0» або «1» в залежності від вхідних напруг:

$$\begin{cases} U_{вих} = U_{вх2} & \text{якщо } U_{вх1} \geq U_{вх2} \\ U_{вих} = 0 & \text{якщо } U_{вх1} < U_{вх2} \end{cases}$$

Характеристика «вхід-вихід» ідеального компаратора показана на рис.19. Компаратор є аналогово-цифровим елементом, що має аналогові входи та цифровий вихід. Рівні вихідної напруги  $U''0$  та  $U''1$  можна розглянути як нульовий та одиничні рівні вихідної логічної змінної  $S$ .

$$1 \left\{ \begin{array}{l} \text{якщо } \Delta = U_{\text{вх1}} - U_{\text{вх2}} \\ < S = \end{array} \right.$$

При цьому компаратор за своїми функціями відповідає одно-розрядному перетворювачу «напруга-код».

Для зручності безпосереднього зв'язку компараторів з підключеними до них ключами та цифровими елементами значення  $U_0, U_1$ , як правило, відповідають аналоговим рівням напруг ТТЛ -або ЕЗЛ-схем.

На характеристиці «вхід-вихід» ідеального компаратора можна виділити ділянки, що відображають різні стани схеми. При від'ємних, або додатних значеннях  $\Delta = U_{\text{вх1}} - U_{\text{вх2}}$  напруга  $U_{\text{вих}}$  компаратора зберігає постійне значення  $U''0$  та  $U''1$ , а значення  $\Delta = U_{\text{вх1}} - U_{\text{вх2}} = 0$  відповідає моменту переходу компаратора з одного стану в інший. Вертикальний нахил характеристики, що дає скачкоподібну зміну вхідної напруги при нескінченно малому прирості вхідного сигналу, дозволяє розглядати ідеальний компаратор як схему, що володіє нескінченно великим коефіцієнтом підсилення по напрузі  $A$ .

Ідеальний компаратор повинен переходити із одного стану в інший практично миттєво, без часових затримок, що відповідає нескінченно широкому частотному діапазону схеми. Окрім цього, схема компаратора не повинна вносити зміщень «вихід-вхід» при зміні температури та живлячих напруг. Таким чином, параметри ідеального компаратора співпадають з основними параметрами ідеального операційного підсилювача (ОП). Компаратор та ОП є різновидом підсилювача напруги постійного струму. Їх відмінність полягає в тому, що ОП працює в лінійному режимі підсилювача малих сигналів в схемі із зворотним зв'язком (33), а компаратор - без 33 в режимі обмеження вихідної напруги.

### 3.2. ПАРАМЕТРИ КОМПАРАТОРІВ

*Роздільна здатність (чутливість)  $\Delta U_{\text{вх}}$*  – це мінімальний вхідний сигнал  $\Delta = U_{\text{вх1}} - U_{\text{вх2}}$ , котрий може бути виявлений компаратором і може дати на виході «0» або «1». Роздільна здатність зв'язана із значенням коефіцієнта підсилення компаратора  $A$  та рівня вихідної напруги  $U_0$  та  $U_1$ . Обмежене значення  $A$  призводить до утворення зони нечутливості компаратора, коли стан схеми на виході не визначений

*Напруга зміщення  $U_{\text{зм}}$*  - це різниця вхідних напруг, котра повинна бути прикладена до входів компаратора, щоб отримати вихідний сигнал, що відповідає рівності вхідних сигналів. Відмінне від нуля значення  $U_{\text{зм}}$  зміщує характеристику «вхід-вихід» компаратора.

Напруга  $U_{зм}$  визначає мінімальну зону нечутливості компаратора. В реальних компараторах завжди компенсують зміщення нуля (настроюють компаратор).

Вхідний струм  $I_{вх}$  та різниця вхідних струмів  $-I_{вх}$ . Ці параметри мають ту ж саму суть, що і для операційних підсилювачів. Присутність вхідного струму викликає додаткову напругу зміщення, внаслідок падіння напруги на вихідних опорах джерел сигналів, та вхідних резисторах компаратора, якщо вони підключені.

Час відліку - це основний параметр, що характеризує динамічні властивості компараторів. Визначається як час з моменту по дачі вхідного перемикаючого сигналу до моменту, коли вхідна напруги пересікає «0» або «1». Час відліку для різних схем компараторів знаходиться в межах від одиниць наносекунд, до одиниць мікросекунд.

Компаратори додатково характеризуються температурним та часовим дрейфом  $U_{зм}$  і  $I_{вх}$ , вхідним опором, коефіцієнтом ослаблення синусоїдного сигналу та інше.

### 3.3 КОМПАРАТОРИ НА ОП

Компаратори на ОП використовують для порівняння напруг.

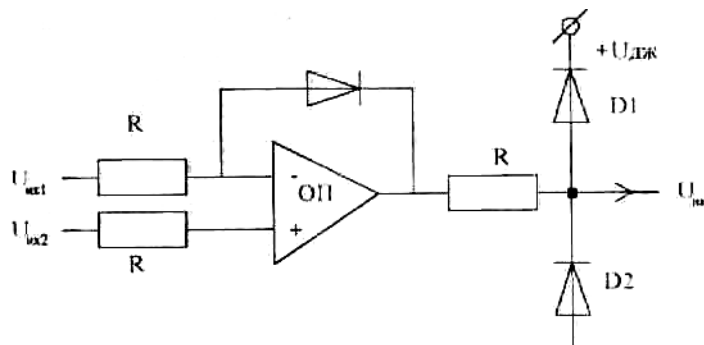


Рис.2 - Схема компаратора на ОП.

Схема компаратора на ОП, що показана на рис.20, використовується для порівняння вхідних напруг одного і того ж знаку. Вхідний сигнал  $U_{вх1}-U_{вх2}$ , підсилений підсилювачем без зворотного зв'язку в Араз, утворює на виході максимальну додатну, або від'ємну напругу близьку до напруги живлення схеми.



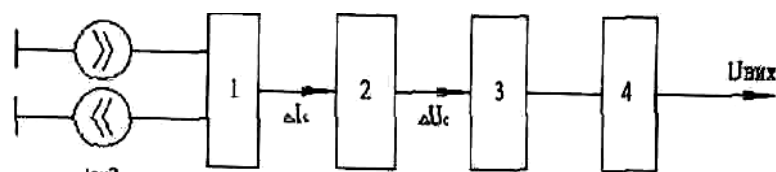
Для обмеження шкали вихідної напруги в коло зворотного зв'язку ОП інколи ставлять кремнієвий стабілітрон. При додатній вхідній напрузі  $U_{\text{вх1}}$ - $U_{\text{вх2}}$  вихідна напруга ОП від'ємна, стабілітрон ввімкнений в прямому напрямку, а  $U_{\text{вих}}$  ОП обмежується на рівні, що близький до нуля. При зміні знаку вхідної напруги, додатна вихідна напруга обмежується напругою стабілізації стабілітрона КС. Для узгодження  $U_{\text{вих}}$  ОП надалі з логічними ТТЛ та ЕЗЛ схемами, до виходу ОП може підключатися спеціальна схема формування рівнів «0» або «1». Параметри компаратора на ОП визначаються перепадом напруг  $U_1$  і  $U_0$  на виході схеми, коефіцієнтом підсилення ОП і максимальною швидкістю наростання вхідної напруги.

Роздільна здатність  $\Delta U_{\text{вх}}$  та час відліку  $S$  оцінюються за формулами

$$\Delta U_{\text{вх}} = \frac{U_1 - U_0}{A} \qquad S = \frac{U_1 - U_0}{p}$$

де  $p$  - швидкість відгуку ОП

Наприклад, для ОП з  $A=40000$  та  $p=1$  В/мкс,  $U_1-U_2=4$  компаратор має  $\Delta U_{\text{вх}}=0.1$  мВ та  $S=4$  мкс. При використанні високоякісних ОП можна побудувати компаратори підвищеної точності. Недоліком таких схем в порівнянні з монолітними інтегральними компараторами є їх обмежена швидкодія та необхідність включення великого числа зовнішніх елементів. Функціональна схема порівняння струмів (СПС) в загальному випадку може бути показана за допомогою структурної схеми рис. 3



де 1-схема віднімання струмів, 2-перетворювач струм-напруга, 3-підсилювач напруги, 4-формує вихідних логічних рівнів.

Рис.3 Функціональна схема СПС

Вхідні струми, що мають бути порівняні, поступають на схему, яка виконує функцію віднімання струмів, та утворюють різницю струмів

$$\pm \Delta I_c = I_{\text{вх1}} - I_{\text{вх2}}$$

Виділена різниця перетворюється перетворювачем струм-напруга в пропорційну величину напруги

$$\pm U_c = R_{II} (\pm \Delta I_c)$$

де  $R_{II}$  - коефіцієнт пропорційності, який має розмірність опору.

Отримана напруга підсилюється підсилювачем напруги з коефіцієнтом підсилення  $K$  та поступає на схему формування логічних рівнів, яка функціонує згідно з використаною елементною базою логічних схем АЦП.

Основні характеристики СПС, як і СПН, перш за все визначаються такими параметрами компараторів напруги як точність та швидкодія. Ідеальні СПС повинні мати похибки, що прямують до мінімальних значень. Реальні СПС характеризуються такими параметрами: чутливість за струмом, діапазон вхідних струмів, затримка спрацьовування та відновлення, еквівалентний струм початкового зміщення нуля, коефіцієнт температурного та часового дрейфу, вхідні опори, навантажувальна здатність, робочий діапазон температур. Одним з основних параметрів СПС є її чутливість за струмом, тобто та мінімальна різниця струмів, яка, будучи прикладена до входу, викличе на виході перепад напруг відповідного логічного рівня.

Для отримання перехідної характеристики на один із входів СПС подається перепад струму (близько 1 мА), а на другий - постійний рівень струму з заданим перезбудженням, який змінюється на всьому робочому діапазоні вхідних струмів від  $I_{c \min}$  до  $I_{c \max}$ . Діапазон вхідних струмів характеризує рівень струмів, які можуть бути прикладені по входах СПС. Звичайно розглядають максимально допустиму різницю вхідних струмів

$$\Delta I_{c \max} = I_{c1} - I_{c2} = I_{c \max} - I_{c \min}$$

та мінімальну різницю –  $I_{\min}$ , що ще розрізняється в СПС. Вхідний опір в загальному випадку є комплексним опором підключеним до джерела сигналу зі сторони СПС, та впливає на статичну і динамічну точність порівняння. Вихідні логічні рівні відображають можливість узгодження СПС з існуючими серіями логічних ІС та визначають рівні напруги, що відповідають «0» та «1» і гарантовані на визначених опорах навантаження.

Робочий діапазон температур охоплює ту область температур, в які СПС ще зберігає задані параметри в межах допустимих відхилень. Розглянемо особливості побудови СПС. Спрощена принципова схема СПС на базі КН зображена на рис. 4.

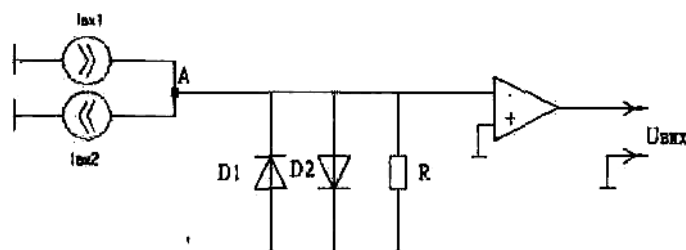


Рис.4. Схема порівняння струмів на основі КН.

Для її реалізації не потрібно особливих схемотехнічних рішень. Вхідні струмові сигнали  $I_{c1}$  та  $I_{c2}$ , алгебраїчно складаючись в точці А, утворюють різницю  $I_c$ . Ця різниця проходить через резистор R, виділяючи на ньому напругу, мінімальний рівень якої достатній для управління схемою компаратора напруги (КН) та формувача логічних рівнів.

Діодний обмежувач (Д1,2) в деякій мірі реалізує режим обмеження вхідного каскаду КН. Чутливість за струмом такого СПС можна визначити з виразу.

$$I_c = \frac{U_{\min}''}{K_0 \cdot R}$$

де  $K_0$  - коефіцієнт передачі КН,

R - підсумовуючий резистор, що виконує функції елемента виділення різниці струмів.

З метою збільшення чутливості та поліпшення завадостійкості в схему вводять нуль-орган струму та суміщають його з серійним компаратором напруги (рис.5)

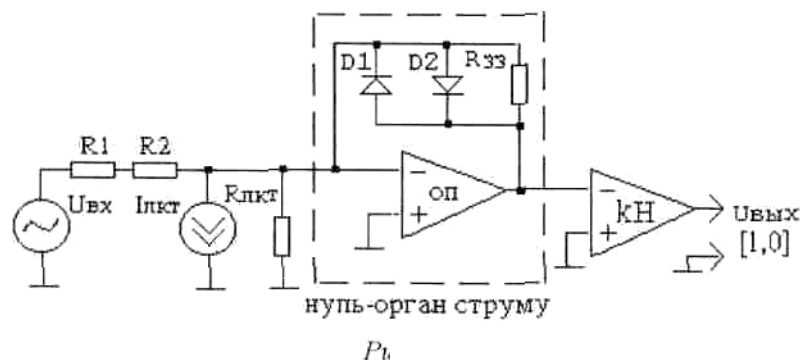


Рис. 5

Ця схема знайшла практичне використання при розробці високоточних швидкодіючих АЦП.

Чутливість такої схеми визначається з виразу

$$\Delta I_c = \frac{U_{\min}''}{K_0 R_{зз}}$$

### 3.4 ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

## Завдання 1

Дослідження компаратора напруги.

а) Зібрати схему, зображену на рис.6 з використанням мікро-макету N42

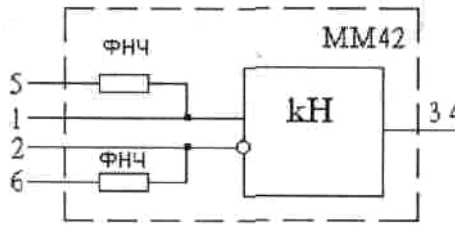


Рис.6. Схема дослідження КН.

б) На вхід 1 подати напругу  $+2,5\text{В}$ , на вхід 2 - імпульсний сигнал з генератора імпульсів стенда частотою  $f \geq 10 \text{ кГц}$ . На виході отримати імпульсний сигнал, накреслити перехідну характеристику.

в) Виміряти напругу зміщення КН, подавши на один із входів компаратора заземлену шину землі, а на інший - постійну напругу з джерела стенда  $0:10 \text{ В}$  через подільник  $1:10$ , або  $1:100$  з ММ44.

## Завдання 2

Дослідження схеми порівняння струмів.

1) Зібрати схему, зображену на рис 25.

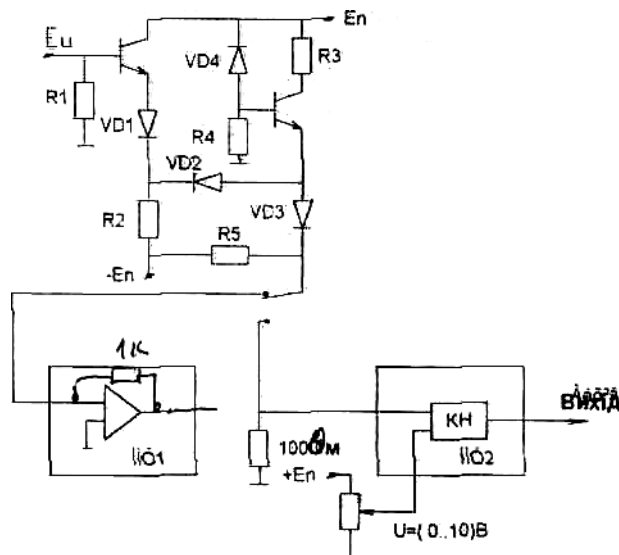


Рис.7. Схема дослідження СПС.

а) На СПС, зібраний по схемі 7, подається сигнал з виходу джерела струму  $I_{\text{вих}}$ . На виході отримати імпульсний сигнал на різних значеннях  $R$  зв'язку

( $R_{зз}$ )- 100; 1К; 100К- Визначити чутливість СПС для різних значень  $R$ , задавшись значенням  $K_0=1000$ .

б) Дослідити нуль-орган СПС по схемі рис. 25 при різних значеннях  $R_{зз}$  і коефіцієнтах корекції С1-С4. Зняти часові діаграми на імпульсному сигналі при частотах 1 кГц, 10 кГц, 100 кГц по виході ММ 45 і ММ 42 окремо. Подати сигнал постійної напруги від джерела стенда, що змінюється в межах від 0 до 10В та за допомогою цифрового вольтметра зняти статичні характеристики. Характеристики зняти окремо з виходу ММ 45 та окремо з виходу ММ 42.

### **3.5. ЗМІСТ ЗВІТУ**

Звіт складається студентом після виконання роботи та перевірки викладачем отриманих результатів.

- 3.5.1. Мета та методика виконання роботи.
- 3.5.2. Функціональна схема лабораторної установки.
- 3.5.3. Варіант завдання.
- 3.5.4. Результати виконання.
- 3.5.5 Висновки.

### **3.6 КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ**

- 3.6.1. Призначення компараторів напруги.
- 3.6.2. Призначення схеми порівняння напруги.
- 3.6.3. Наведіть характеристики «вхід-вихід» ідеального реального компаратора.
- 3.6.4. Параметрикомпараторів.
- 3.6.5. Схема компаратор а на ОП.
- 3.6.6. Структурна схема СПС.
- 3.6.7. Параметри схем порівняння струмів.
- 3.6.8. Принципова схема СПС.

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №4

### Тема: "Дослідження мультиплексорів сигналів".

Мета роботи: Закріплення теоретичних знань і отримання практичних навичок роботи з селекторами-мультиплексорами.

### 1. ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

*Мультиплексор* - пристрій, що забезпечує підключення декількох незалежних каналів до одного каналу. Мультиплексор аналогічний комутатору і служить для комутації аналогових або цифрових сигналів в обчислювальній техніці. Під терміном "Мультиплексування" розуміють використання однієї і тієї ж шини в різні проміжки часу для передачі по ній різної інформації. Аналогові мультиплексори, частіше всього, використовують в якості елементів комутації польові транзистори з р-п переходом, МОН-транзистори. Еквівалентна схема аналогового комутатора представлена на рис 1.

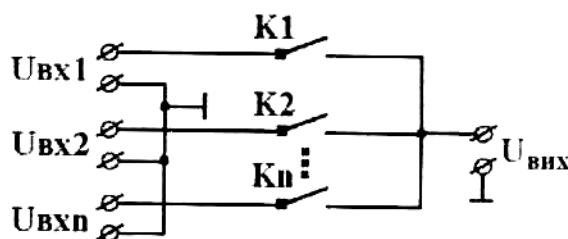


Рис.1. Еквівалентна схема аналогового комутатора.

Опір замкненого ключа досягає тисяч мОм. Відкритий ключ подібний лінійному омичному резистору номіналу від декілька десятків до декількох сотень Ом. Динамічні характеристики аналогових мультиплексорів визначаються часом переключення. Цей час для ключів на МОН-транзисторах складає сотні наносекунд. Під впливом паразитних ємностей ключів, час встановлення може бути досить великим. Тому при включенні каналу комутатора сигнал на його виході повторює сигнал на вході з деяким запізненням. При подальшій обробці сигналу (наприклад, аналого-цифровому перетворенні) це запізнення необхідно враховувати. Для побудови аналогових мультиплексорів раціонально використовувати не окремі ключі, а багато входів інтегральні комутатори, наприклад, із серії 590. Умовне графічне зображення аналогового мультиплексора типу К590 КНб приведено на рис. 26.

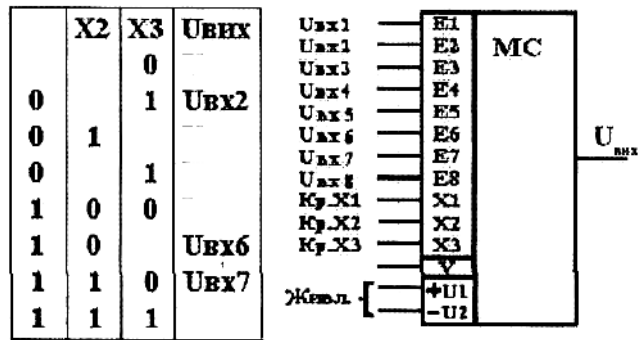


Рис. 2 Функціональне зображення мультиплексора K590KH6

На рис.2 .  $U_{вх1}, U_{вх2}, \dots, U_{вх8}$  – це аналогові входи;  $Кр1, Кр2, Кр3$  – це логічні входи (керуючі).

Для побудови мікромакету мультиплексорів доцільно використати мікросхему серії K590 KH5, яка являє собою чотиріканальні аналогові ключі зі схемою керування. Функціональна схема та умовні зображення аналогового мультиплексора типу K590KH5 приведена на рис. 3

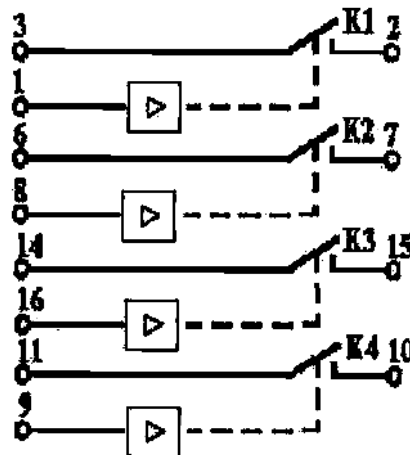


Рис.3. Функціональна схема K590KH5

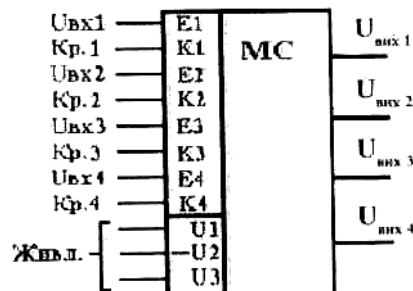


Рис. 4. Умовне зображення мультиплексора K590KH5

На рис. 4:  $U_{вх1} - U_{вх2}$  – це аналогові входи;

Кр1 – Кр4 – логічні (керуючі) входи;

$U_{\text{вих1}} - U_{\text{вих2}}$  – аналогові виходи.

Ключі замкнуті при низькому рівні вхідного керуючого сигналу.

Граничні експлуатаційні дані мікросхеми К590КН5:

*Напруга живлення*  $U_1 = 9...16 \text{ В}; U_2 = -16.7...-9 \text{ В};$

$U_3 = 4.5... 6.7 \text{ В}$

*Вхідна напруга низького рівня* –  $0...0.8 \text{ В}.$

*Вхідна напруга високого рівня* –  $4...16 \text{ В}.$

*Напруга, яка комутується* –  $\pm 15 \text{ В}.$

*Температура навколишнього середовища*  $-45...+85^\circ\text{C}.$

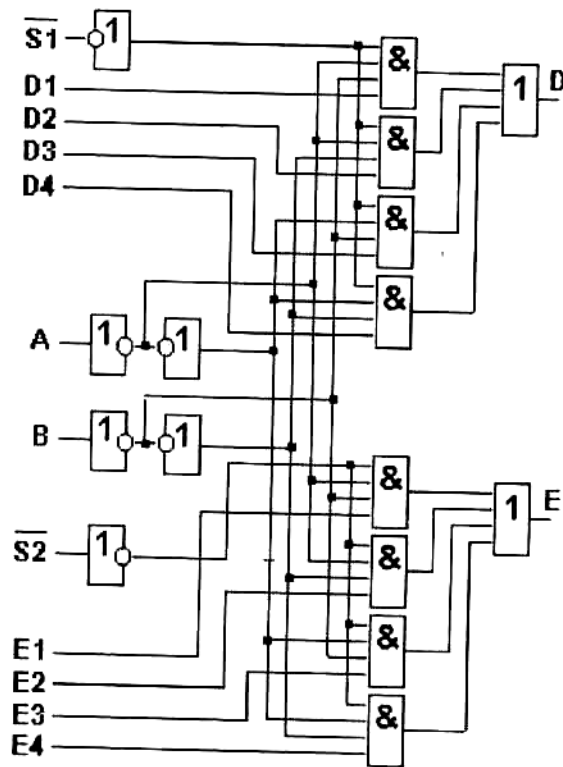
При необхідності побудови цифрових мультиплексорів з великим числом каналів використовують різні конфігурації багатоступінчастих комутаторів.

Прикладом схеми цифрового мультиплексора може бути мікросхема К155КП2 (рис. 29), яка виконує логічну операцію, що забезпечує автоматичну комутацію електричних сигналів з будь-якого інформаційного каналу.

Вона дозволяє здійснювати наступні функції:

- вибір одного з інформаційних каналів;
- реалізація логічної функції паралельно-последовного кодоперетворювача;
- здійснення мультиплексування з N-ліній на 1;
- виконання каскадування з N-ліній на n з допомогою стробування.





*Рис.5. Цифровий мультиплексор на базі мікросхеми K155K12*

Логічна структура мікросхеми 155КП2 являє собою два селектора-мультиплексора, кожен з яких має по чотири інформаційних входи Д1-Д4 і Е1-Е4 відповідно.

Два адресних входи А і В керують одночасно двома селекторами-мультиплексорами. Кожний селектор-мультиплексор має свій стробуючий вхід (S1 і S2). Таблиця істинності приведена в таблиці 1.

Таблиця істиності

Таблиця 1

Входи		Інформаційні				Стробуючі	
В	А	Д1,Е	Д2,Е	Д3,Е	Д4,Е	S1,S2	Д,Е
X	X	X	X	X	X	1	0
0	0	0	X	X	X	0	0
0	0	1	X	X	X	0	1
0	1	X	0	X	X	0	0
0	1	X	1	X	X	0	1
1	0	X	X	0	X	0	0
1	0	X	X	1	X	0	1
1	1	X	X	X	0	0	0
1	1	X	X	X	1	0	1

Код, набраний на адресних входах А і В, дозволяє роботу тільки одного з інформаційних входів кожного селектора-мультиплексора. Сигнал з вибраного інформаційного входу з'являється на виході тільки при наявності на стробуючому вході низького рівня напруги.

2. ДОСЛІДЖЕННЯ СЕЛЕКТОРА-МУЛЬТИПЛЕКСОРА

2.1. Дослідження динамічного режиму роботи селектора-мультиплексора. Для виконання роботи складаємо схему лабораторного макета згідно з рис. 6.

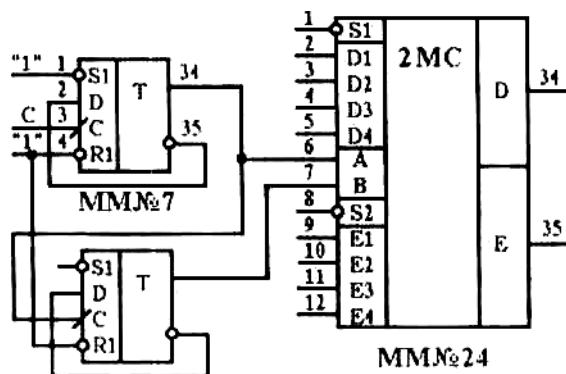


Рис. 6. Схема лабораторного макета (схема цифрового мультиплексора)

Дослідження проводимо наступним чином:

На вході Д1-Д4 з допомогою комутації провідників під'єднуються потенціали згідно з варіантами завдань. При цьому на вході S1 повинен бути логічний нуль. На вхід С<sub>3</sub> мікромaketу 7 підключається генератор імпульсів частотою 1 кГц. З виходу мультиплектора необхідно зняти часову діаграму роботи (накреслити в звіті )

**Приклад:** вхідна комбінація: **1110**

Варіанти завдань вказані в таблиці 2:

Таблиця 2

Вхід/№вар	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Д1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1
Д2	0	0	1	0	1	1	0	1	0	0
Д3	0	1	0	1	1	0	0	0	1	0
Д4	1	0	0	1	0	1	1	0	0	0

Для побудови мультиплектора на мікросхемі К590 КН5 зберемо схему лабораторного макету згідно з рис.33. На рис.32. зображена схема керування мультиплексором, завдяки якій по черзі включаються ключі К1...К4. На елементах "і" реалізований дешифратор на 4 виходи (F1...F4).

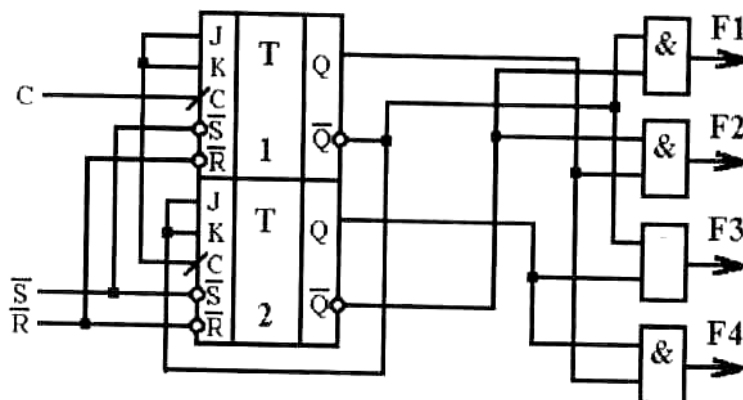


Рис. 7 Схема керування роботою

JK-тригери, що працюють в режимі лічильних тригерів (об'єднані J та K входи), задають потрібні комбінації для дешифратора. Для правильного функціонування схеми на вхід S подаємо "1", а на вході R –

„0”, чим встановимо тригери T1 та T2 в нульовий стан. Потім на входи R і S подамо логічну „1”. Отримуючи сигнали на тактуючий вхід C, система виконує керування включенням ключів.

Таблиця 3. Таблиця істинності роботи дешифратора.

X1	X2	Y1	Y2	Y3	Y4
0	0	0	0	0	0
0	1	0	0	1	0
1	0	1	1	0	0
1	1	0	0	0	0

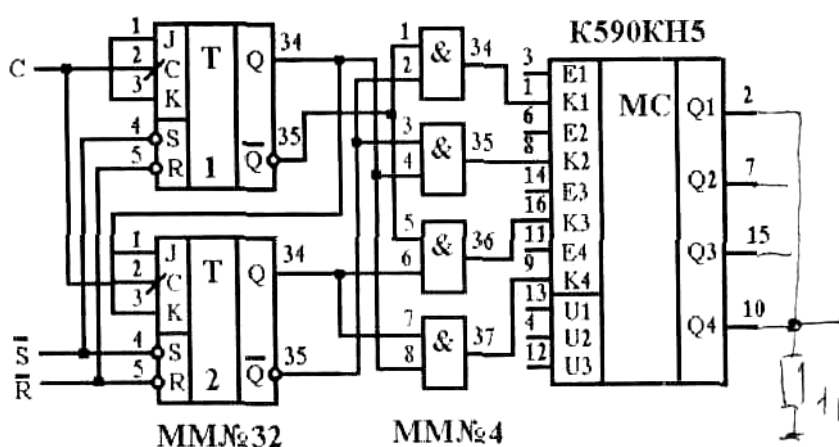


Рис. 8. Схема лабораторного макету для реалізації мультиплексора на базі мікромакету серії K590KH5.

### 3. ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

3.1. Вивчення опису лабораторної роботи по методичних вказівках, рекомендованій літературі (виконати самостійно, до початку лабораторної роботи).

3.2. Отримати у викладача допуск до виконання роботи і завдання.

3.3. Отримати необхідні мікромакети і підготувати їх до роботи.

3.4. Провести комутацію схем, що досліджуються, з допомогою з'єднуючих провідників (комутація схем виконується тільки при виключеному електроживленні лабораторної установки).

3.5. Зібрати схему для дослідження у відповідності з заданим варіантом.

3.6. Зняти і накреслити часові діаграми роботи мультиплексора.

3.7. Відключити живлення, розібрати схеми.

3.8. Мікромакети та з'єднуючі провідники здати лаборанту.

3.9. Здати викладачу оформлений звіт.

#### **4. ЗМІСТ ЗВІТУ**

Звіт оформлюється після виконання лабораторної роботи і перевірки викладачем отриманих результатів. Звіт включає:

4.1. Мета роботи.

4.2. Методику виконання роботи (основні пункти).

4.3. Функціональну схему лабораторної установки.

4.4. Варіант завдання.

4.5. Результати виконання операцій (часові діаграми).

4.6. Висновки.

#### **5. КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ**

5.1. Призначення мультиплексорів.

5.2. Накресліть еквівалентну схему аналогового комутатора.

5.3. Чим визначаються динамічні характеристики аналогових мультиплексорів?

5.4. Назвіть функції мікросхеми 155КП2.

5.5. Логічна структура 1С КП2.

5.6. Логічна структура та функції мікросхем 590КН6(5)

#### **Література:**

1. Аналоговые и цифровые интегральные схемы. Справочное пособие. Под ред. С.В. Якубовского. - М.: Радио связь, 1984.

2 Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни "Аналого-цифрова техніка" для студентів спеціальності 7.091501 - "Комп'ютерні системи та мережі" / Уклад. Марценюк В.П. - Вінниця, ВДТУ-, 2007. 52с. Укр. мовою/

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №5

### Тема: «Вивчення пристроїв вибірки та зберігання»

Мета роботи: закріплення теоретичних відомостей і отримання практичних навиків роботи з схемою вибірки-зберігання та дослідження її характеристик.

### 1. ПРИСТРОЇ ВИБІРКИ ТА ЗБЕРІГАННЯ

*Пристрої вибірки – зберігання інформації* призначені для зменшення динамічної похибки 1-го роду при високоточному перетворенні в код змінних аналогових сигналів. Вони також застосовуються для побудови АЦП, які працюють з багатьма джерелами сигналів. В таких АЦП ці пристрої використовуються для паралельного знімання (запам'ятовування) інформації з подальшим її аналізом. В цифро-аналогових перетворювачах передача інформації на багатоканальне навантаження може також здійснюватися через пристрої вибірки та зберігання (ПВЗ).

Принцип дії ПВЗ в складі АЦП можна пояснити за допомогою діаграм, які показані на рис. 34. Через обмежену швидкість роботи АЦП необхідно на деякий час запам'ятовувати інформацію, відключаючи вхідний сигнал  $U_0(t)$  (а) від перетворювача. Під впливом керуючих імпульсів  $U_y$  (б) ПВЗ відкривається, приймаючи на себе ту інформацію, яка є на його вході. По закінченні керуючого імпульсу ПВЗ переходить в режим зберігання інформації, при цьому його вхідна напруга  $U$  (рис. ів) подається на один із входів АЦП, на другий вхід якого подається лінійно зростаюча напруга. З плином часу збережена напруга перевищує лінійно зростаючу і на виході компаратора АЦП виробляється імпульс, який заповнюють імпульсами опорної частоти (г). Отримана кількість імпульсів пропорційна амплітуді досліджуваного сигналу і може бути перетворено в цифровий код за допомогою відповідного лічильника.

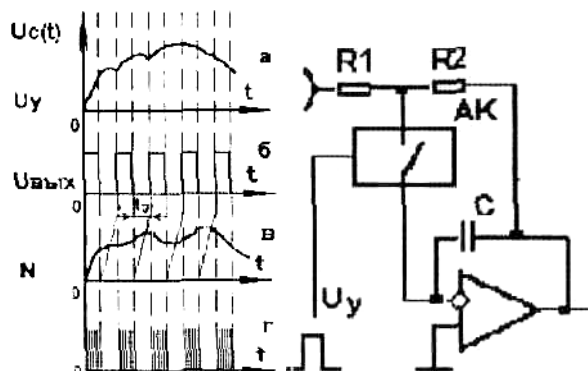


Рис. 1. Діаграми роз'яснюючі Рис.2. Схема найпростішого ПВЗ.

При надходженні наступного керуючого імпульсу ПВЗ відкривається знову і переписує інформацію на свій накопичуючий елемент. Процеси в АЦП повторюються.

Розглянуті ПВЗ можуть бути реалізовані на різних елементах. Однак при схемотехнічному проектуванні даних пристроїв найбільшого використання знаходять польові транзистори (ПТ) та операційні підсилювачі (ОП). Для ПВЗ з ПТ характерним є те, що вони можуть виконувати операцію вибірки – зберігання інформації не тільки для зростаючих, а і для спадаючих сигналів. Розряд накопичувального елемента під час роботи вибірки проходить через відкритий ПТ до рівня вибірки. Схеми, які оснащені пристроями примусового розряду конденсатора, отримали назву схем вибірки-зберігання-скиду.

Найпростіший варіант реалізації ПВЗ на вказаній елементній базі приведено нарис.35. При замиканні аналогового комутатора (АК) під дією керуючого сигналу  $U$  у вигляді прямокутного імпульсу виконується відносно швидкий заряд конденсатора  $C$  від джерела сигналу  $U_0(t)$  через резистор  $R1$  і малий опір відкритого АК ( $r_{вкл.}$ ). Конденсатор  $C$ , включений в коло зворотного зв'язку ОП, заряджається з постійною часу

$$T_3 = (R1 + r_{вих}) \cdot C$$

При замиканні АК ( $R_{вкл.}$ ) подільник, який складається з резисторів  $R1$  і  $R2$ , відключається від ОП і постійна часу розряду конденсатора став, виключно великою  $\tau_p = (1 + A) \cdot C \cdot R_{вкл.}$ , що і визначає достатню довжину часу зберігання  $t_{зб}$  інформації на виході ОП, яка в даній схемі приймає протилежну полярність відносно початкового сигналу  $U_0(t)$ .

Якість будь-якого ПВЗ визначається величиною дрейфу (швидкістю зміни) фіксуєної напруги

$$\Delta U_{вих} / \Delta t = I_0 / C$$

де  $I$  – сумарний струм розряду накопичуючого конденсатора  $C$ . Він складається із струмів втікання конденсатора, АК та вхідного струму ОП. При проектуванні ПВЗ намагаються цей струм зменшити будь-якими способами.

При заданому струмові розряду величину дрейфу вихідної напруги ПВЗ можна зменшити шляхом збільшення ємності  $C$ . Але це призводить до погіршення одного з найважливіших параметрів ПВЗ часу встановлення  $t_{вст}$ , яке характеризує наскільки довго при найбільш екстремальних умовах продовжується процес заряду конденсатора з моменту подачі керуючого

імпульсу. Для зменшення часу встановлення (необхідно працювати з малоопірними джерелами сигналу або передбачати в схемі УВХ повторювач сигналів, наприклад на основі ОП (рис.36). При використанні в якості АК ПТ, в момент запирання через кінцеву величину його ємності затвір-витік  $C_{з-в}$  відбирається частина заряду з накопичувального конденсатора, що визначає похибку фіксації напруги:

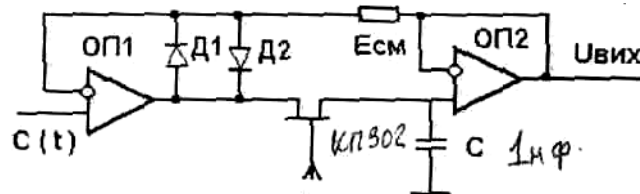


Рис. 3 Низькодрейфуючий ПВЗ на двох ОП.

З метою зниження цієї похибки до величини приблизно в 0.1% необхідно вибирати ємність накопичувального конденсатора не менш, як 1 нФ.

Іншим важливим параметром  $U_{вх}$  є час запізнення (апертурна затримка)  $C_z$ , яка визначається часом затримки між моментом зняття керуючої напруги  $U$  і фактичним запиранням послідовного АК. Ця затримка піддається значним флуктуаціям, які визначають похибку запізнення  $t_z$ , при цьому момент фіксації напруги виявляється невизначеним. Дана похибка тим менша, чим крутіші фронти керуючого імпульсу.

## 2. РЕАЛІЗАЦІЯ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СХЕМИ ПВЗ

Реалізацію функціональних схем УВХ приведемо у відповідності до рис. 2 [1].

ПВЗ характеризується трьома основними параметрами:

- а) *час вибірки* – час від моменту подачі сигналу на вибірку до моменту встановлення вихідного сигналу ( $t_b$ );
- б) *час зберігання* – час, необхідний для перетворення сигналу з заданою точністю ( $t_{зб}$ );
- в) *апертурний час* ( $t_a$ );

При виборі схеми ПВЗ необхідно довизначити час вибірки, виходячи із того, що для вибірки сигналу з точністю краще 0,1 %, потрібно 8 - 9 постійних часу встановлення зв'язку заряду ємності  $C$ , отже

$$\tau_s = 8\tau_y \quad \text{де} \quad \tau_y = R3 \cdot C3$$



(при 8-розрядному АЦП максимальна точність каналу не перевищує 0.25%).

В свою чергу  $R_3 = R_{\text{вих}}$ , де  $R_{\text{вих}}$  - вихідний опір ОП, наприклад, на базі ОП 140 УД7 (складає значення декількох десятків Ом, візьмемо, наприклад, 20 Ом).

$R_{\text{вкл}}$  - опір відкритого ключа (відповідно табл. 1.5 [1] для 590КН5 складає 70 ом), тоді при

$$C_3 = 0.1 \cdot 10^{-6} \text{ Ф}$$

$$t_b = 8 \cdot C_3 \cdot (R_{\text{вкл}} + R_{\text{вих}}) = 8 \cdot 0.1 \cdot 10^{-6} \cdot (70 + 20) = 72 \cdot 10^{-6} = 72 \text{ мкс}$$

отримане значення  $t_b$  значно перебільшує час, який може бути виділено на вибірку (5-10 мкс)

Цей час може бути отриманий у випадку, якщо зменшити  $C_3$  на порядок. Можливість зменшення  $t_b$  перевіряється на виконання умови

$$t_{\text{пр2}} < t_{\text{зб.вих}}, \quad \text{де} \quad t_{\text{зб}} = \frac{10^{-3} \cdot A_{\text{max}} \cdot C_3}{I_{\text{ох}}}$$

при точності зберігання не менше 0.1 %.

Для 140 УД7  $I_{\text{ох}} = 200 \text{ нА}$ , тоді

$$t_{\text{зб}} < \frac{10 \cdot 10^{-3} \cdot 0.01 \cdot 10^{-6}}{0.2 \cdot 10^{-6}} = \frac{10^{-2} \cdot 10^{-2}}{0.2} = 5 \cdot 10^{-4}$$

Умова виконується, і тому  $C_3$  може бути вибране менше ніж 0,01 мкф

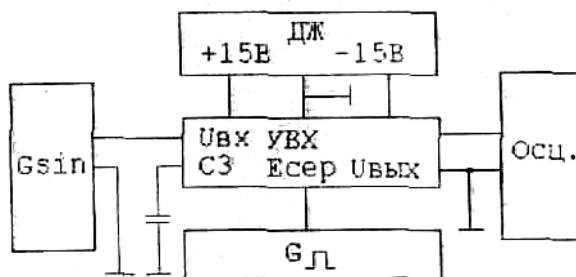


Рис. 4. Схема дослідження ПВЗ.

де  $G_{\text{sin}}$  - генератор синусоїдних сигналів частоти 1 кГц;

$G$  - генератор прямокутних імпульсів частоти від 2 до 100 кГц;

Осц.- осцилограф; ДЖ - лабораторне джерело живлення;

C - запам'ятовуюча частина: ПВЗ - досліджувана схема ПВЗ згідно рис.5.

Перехідна характеристика, знімається з екрана осцилографа при максимально можливій розгортці осцилографа, коли в екран вкладається по одному імпульсу додатної та від'ємної полярності. Орієнтовний вид перехідної характеристики приведений на рис. 34. Змінюючи частоту G, необхідно знайти параметри  $t_{3\delta}$ ,  $t_n$  при різних C.

#### **4. ПОРЯДОК ПІДГОТОВКИ і ВИКОНАННЯ РОБОТИ**

4.1. Підготовка до виконання лабораторної роботи.

4.1.1. Вивчити опис лабораторної роботи та рекомендовану літературу.

4.1.2. Ознайомитися з лабораторною установкою розміщенням елементів і схем на комутаційному полі мікромакетів.

4.1.3. Підготувати схеми до виміру параметрів.

4.2. Порядок виконання роботи.

4.2.1. Виконати комутацію досліджуваних схем за допомогою з'єднувальних провідників (комутація схем виконується тільки при увімкненому живленні лабораторної установки).

4.2.2. Зібрати схему вимірювання (рис. 37).

4-2.3. Зняти і замалювати на міліметровці перехідні характеристики роботи ПВЗ призначеннях  $C_c$  рівних 1нФ; 10нФ; 100нФ.

4.2.4. Знайти по перехідній характеристиці параметри  $t_{3\delta}$ ,  $t_n$  (в для кожного із вище перелічених значень  $C_3$  .

4.2.5. Відключити живлення, розібрати схему.

4.2.6. Мікромакети, прилади та з'єднувальні провідники віддати лаборанту.

4.2.7. Здати викладачу оформлений звіт.

4.3. Зміст звіту.

4.3.1. Мета і завдання роботи.

4.3.2. Креслення схеми вимірювання.

4.3.3. Результати.

4.3.4. Висновки по роботі.

#### **5. КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ**

5.1. Призначення та сфера використання ПВЗ.

5.2. Пояснити принцип дії ПВЗ-

5.3. Як працює ПВЗ з ПТ ?

5.4. Якими основними параметрами характеризується ПВЗ?

5.5. Приведіть функціональну схему ПВЗ.

### Література

1. Микропроцессоры. часть 2-я. «Средства сопряжения, контролирующей информационно-управляющие системы» подред. Преснухина. М.: Высшая школа. 1987.

2. Алексеенко А.Г., Коломбет Е.А., Стародуб Г.Н.. Применение прецизионных аналогових микросхем. -М,: Радио и связь. 1985.

3 Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни *"Аналогоцифрова техніка"* для студентів спеціальності 7.091501 - *"Комп'ютерні системи та мережі"* / Уклад. Марценюк В.П. - Вінниця, ВДТУ-,2007. 52с. Укр. мовою/

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №6

### Тема : Дослідження АЦП порозрядного кодування

Мета : дослідження АЦП порозрядного кодування в статичному і динамічному режимах роботи.

#### 1. ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Більшість змінних, інформаційних величин представлені в аналоговій формі, що зумовлено фізичною природою датчиків швидкості, температури, тиску і т.п. Зазначені змінні представляються безперервними сигналами струму і напруги, безпосередня обробка цих змінних цифровими пристроями неможлива без попереднього подання їх у вигляді дискретних двійкових сигналів, тобто цифрового: N-розрядного коду. Операцію перетворення безперервних аналогових сигналів в цифровий код здійснює аналогово-цифровий перетворювач (АЦП). Із великого числа відомих засобів побудови АЦП при їх виготовленні по інтегральній технології розповсюдження одержали тільки деякі, що задовольняють вимогам напівпровідникової технології. В АЦП, реалізованих на основі ІС, найбільше розповсюдження одержали перетворювачі послідовного наближення, чи порозрядного кодування. Функціональна схема перетворювача представлена на рис. 1.

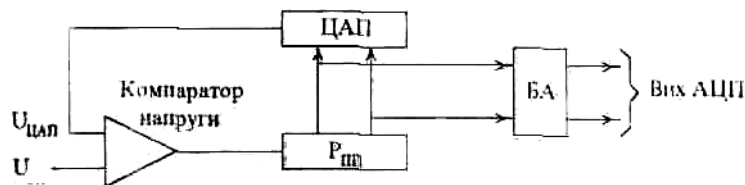


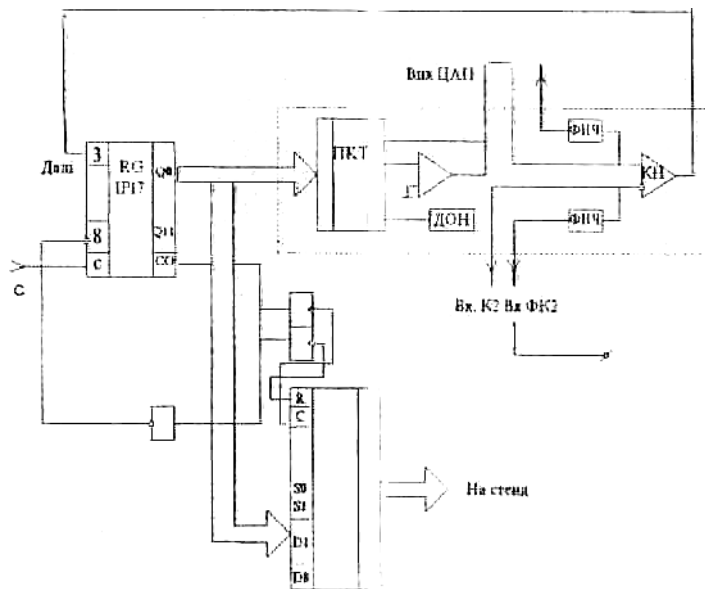
Рис. 1. Схема АЦП послідовного наближення

Одержавши команду на виконання перетворення від генератора тактових імпульсів, регістр послідовного наближення (РПН) встановлює логічну «1» в старшому розряді ЦАП. Якщо при цьому  $U_{вх} > U_{цап}$ , то компаратор напруги (КН) видає команду РПН залишити логічну «1» в старшому розряді ЦАП і подати логічну «1» на другий розряд ЦАП (слідуючий за старшим). Якщо при цьому знову  $U_{вх} > U_{цап}$ , КН подає команду РПН залишити в другому розряді лог. «1», подати лог. «1» в третій розряд. Якщо ж з'ясувалось, що  $U_{вх} > U_{цап}$ , то КН видає команду РПН встановити в даному розряді лог. «0», а в наступному більш молодшому розряді лог. «1». Описаний вище процес повторюється до наймолодшого розряду, після чого на виході буферного регістру (БР) з'явиться N - розрядний двійковий код, що є цифровим еквівалентом вхідного аналогового сигналу. Внаслідок необхідності еквівалентного перетворення АЦП повинен мати такі точнісні характеристики:

1. Точність в АЦП характеризується різницею між дійсною вхідною напругою і зваженим еквівалентом двійкового коду, вона включає в себе похибку квантування і всі інші види похибок. Похибка квантування-це відхилення під прямої лінії передатної функції АЦП. Оскільки АЦП квантує сигнал кінцевим числом вихідних кодів, то тільки нескінченна кількість вихідних кодів могла звести до нуля похибку квантування. Похибку квантування для ідеального АЦП приймають рівною  $+1/2$  МЗР (молодшого чи значущого розряду). Похибка масштабу визначається відхиленням дійсного значення вхідної напруги від необхідного значення вхідної напруги, при якому вихідний код максимальний. Похибка зміщення чи похибка нуля відповідає вихідному коду при нульовій вхідній напрузі. Похибка нелінійності описує відхилення від лінійної передатної функції АЦП. Похибка лінійності не включає в себе похибку квантування, масштабу і зміщення. Таким чином, похибка квантування нелінійності  $\pm 1/2$  МЗР припускає ще і наявність похибки квантування  $\pm 1/2$  МЗР. Похибка нелінійності виражається в частинах під МЗР або відсотках від повної шкали. Диференціальна нелінійність показує різницю між дійсною зміною вхідної напруги і ідеальною зміною вхідної напруги, що відповідає зміні вихідного коду на 1 МР, коду АЦП на одиницю МЗР.

## 2. Опис схеми лабораторної роботи:

Схема лабораторної роботи наведена на рис. 2. До її складу входять три мікромакети. В перший мікромакет входять цифровий комутатор, реалізований на ІС К155ПР1, і регістр послідовного наближення (РПП) на ІС К155ІР17. РПП становить 12-розрядний зсуваючий регістр, що забезпечує алгоритм порозрядного врівноваження. Входи мікросхеми мають наступне призначення; С - вхід синхронізації; Л - вхід даних; S - кінець перетворення; Q0, Q1 - інформаційні виходи регістру. Другий мікромакет включає в свій склад перетворювач код-струм(ПКС)на основі ІС К591ПА1 із струмовим входом і перетворювач (ПКТ) струм-напруга, реалізований на ОП К140УДба і буферному каскаді на 198КТ1 і НТ5. Крім того в даному мікромакеті розміщений компаратор напруги на основі 521СА3. Третій мікромакет виконує функції буферного регістру і виконаний на К155ІР13 і К155ЛН1.



*Рис. 2. Функціональна схема АЦП*

### 3. МЕТОДИКА ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Вивчити опис роботи за методичними вказівками за допомогою рекомендованої літератури.
2. Одержати допуск у викладача до виконання лабораторної роботи.
3. Одержати необхідні мікромакети.
4. Зібрати схему лабораторної установки в відповідності із схемою на рис. 39.

На вхід АЦП подати сигнал з генератора тактових імпульсів стенду. Подати напругу на Вх. К2 (Вхід К2). Підключити індикатори стенду на вихід АЦП.

5. Подати на вхід АЦП напругу  $0\text{ В} < U_{\text{ВХ}} < 10\text{В}$ .
6. Виконати врівноваження  $U_{\text{ВХ}}$  сигналом  $U_{\text{ЦАП}}$ . При цьому необхідно спостерігати по індикації за процесом врівноваження.
7. Шляхом зміни  $U_{\text{ВХ}}$  добитись наступних значень вихідного коду

10000...0  
 01000...0  
 00100...0  
 00000... 1

При кожному значенні коду заміряти і записати значення  $U_{\text{ВХ}}$ .

8. Визначити похибку нелінійності перехідної характеристики, подавши на вхід  $U_{\text{ВХ}} = 10\text{В}; 9\text{ В} \dots; 0\text{ В}$ .

9. Визначити похибку диференціальної нелінійності для трьох розрядів 3, 5, 8, визначивши величину  $U_{вх}$ . При вимірах

00000100 0000)00 10000000

00000001 0000011 01111111

10. Подати на вхід  $U_{вх} = 4, 5$  В. Записати одержаний код. Підключити вхід АЦП до КН через ФНЧ. Записати код сигналу. Пояснити одержані різниці.

11. Оформити звіт по роботі.

### Література

1. Алексеенко А.Г., Коломбет Е.А., Стародуб Г.Н.. Применение прецизионных аналогових микросхем. -М.: Радио и связь. 1985.

2 Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни "Аналого-цифрова техніка" для студентів спеціальності 7.091501 - "Комп'ютерні системи та мережі" / Уклад. Марценюк В.П. - Вінниця, ВДТУ-,2007. 52с. Укр. мовою/