

**МІНІСТЕРСТВО ВНУТРІШНІХ СПРАВ УКРАЇНИ  
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ВНУТРІШНІХ СПРАВ  
КРЕМЕНЧУЦЬКИЙ ЛЬОТНИЙ КОЛЕДЖ**

**Циклова комісія авіаційного і радіоелектронного обладнання**

## **ТЕКСТ ЛЕКЦІЇ**

навчальної дисципліни  
«Основи електрики та електроніки, електричні вимірювання та їх  
стандартизація»  
обов'язкових компонент  
освітньо-професійної програми  
освітньо-професійної програми першого (бакалаврського) рівня вищої освіти

***272 Авіаційний транспорт  
(Оператор безпілотних літальних апаратів)***

**за темою № 20 - Алгебра логіки. Цифрові мікроелектронні пристрої**

**Кременчук 2023**

### **ЗАТВЕРДЖЕНО**

Науково-методичною радою  
Харківського національного  
університету внутрішніх справ  
Протокол від 30.08.2023 № 7

### **СХВАЛЕНО**

Методичною радою  
Кременчуцького льотного коледжу  
Харківського національного  
університету внутрішніх справ  
Протокол від 28.08.2023 № 1

### **ПОГОДЖЕНО**

Секцією Науково-методичної ради  
ХНУВС з технічних дисциплін  
Протокол від 29.08.2023 № 7

Розглянуто на засіданні циклової комісії авіаційного і радіоелектронного обладнання, протокол від 28.08.2023р № 1

**Розробник:** викладач циклової комісії Авіаційного і радіоелектронного обладнання, к.т.н., доцент, спеціаліст вищої категорії, Юрко О.О.

### **Рецензенти:**

1. К.т.н., спеціаліст вищої категорії, викладач-методист циклової комісії авіаційного і радіоелектронного обладнання Шмельов Ю.М.
2. Заступник директора з ОЛР, командир авіаційного загону ТОВ «ЕЙР ТАУРУС» Гетьман Ю.Ю.

### **План лекції:**

1. Алгебра логіки.
2. Реалізація простих логічних функцій. Логічні елементи.
3. Загальні відомості про тригери та їх призначення.
4. Тригери на логічних елементах.
5. RS-тригер
6. Поняття про цифрові мікроелектронні пристрої.
7. Дешифратори.
8. Мультиплексори.
9. Лічильники імпульсів
10. Регістри.
11. Програмовані логічні контролери.

### **Рекомендована література (основна, допоміжна), інформаційні ресурси в Інтернеті**

#### **Основна:**

1. Болюх В. Ф., Данько В. Г., Гончаров Є. В. Основи електротехніки, електроніки та мікропроцесорної техніки. Харків: Планета-Прінт, 2019. 248 с.
2. Васильєва Л. Д., Медведенко Б. І., Якименко Ю. І. Напівпровідникові прилади: Підручник. Київ: ІВЦ Видавництво “Політехніка”, 2003. 338 с.
3. Кармазін В.В., Семенець В.В. Курс загальної фізики. Навчальний посібник для вищих навчальних закладів. Київ: Кондор, 2016. 786 с.
4. Коваль Ю. О., Гринченко Л. В., Милютченко І. О., Рибін О. І. Основи теорії кіл. Ч. 1. Харків: Компанія СМІТ, 2008. 432 с.
5. Колонтаєвський Ю. П., Сосков А. Г. Промислова електроніка та мікросхемотехніка: Теорія і практикум: навч. посіб. Київ: Каравела, 2004. 432 с.
6. Лавренова Д. Л., Хлистов В. М. Основи метрології та електричних вимірювань: навч. посіб. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. 133 с.

#### **Допоміжна:**

1. Андріяшик М. В., Вербицький Б. І., Король А.М. Курс фізики. Київ: Фламенко, 2008. 530 с.
2. Готра З. Ю., Лопатинський І. Є., Лукіянець Б. А., Микитюк З. М., Петрович І. В. Фізичні основи електронної техніки: Підручник. Львів: Видавництво “Бескид Бит”, 2004. 880 с.
3. Гумен Б. М., Гуржій А. М., Співак В. М. Основи теорії електричних кіл: у 3 кн. Київ: Вища шк., 2003.
4. Дмитрієва В. Ф. Фізика: Навч. посіб, Київ: Техніка, 2008. 648 с.

#### **Інформаційні ресурси в Інтернеті**

1. <https://www.youtube.com/channel/UCWfhBu4fAt126ZbxREz3IBw>

## Текст лекції

### 1. Алгебра логіки

Аналіз роботи цифрових пристроїв базується на використанні апарату математичної логіки - алгебри Джорджа Буля (1815 - 1864).

Обробка інформації ведеться у двійковій системі числення. Вона має тільки дві цифри: 0 і 1.

Величина, котра може приймати тільки ці два значення, називається двійковою (логічною) змінною.

Складна подія, що залежить від декількох двійкових змінних, називається двійковою (логічною, перемикальною) функцією:

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_n), \text{ де } x = \{1, 0\}.$$

Алгебра логіки дозволяє виконувати математичний запис логічних подій і зв'язків між ними, а це дає можливість аналітично описувати будову і роботу цифрових пристроїв.

В алгебрі логіки є три основних логічних дії (операції, функції):

- операція НІ - логічне заперечення:

функція має зворотне значення до змінної, від якої вона залежить

$$y = \bar{x}$$

- операція АБО - логічне додавання (диз'юнкція):

функція істинна, якщо істинна хоча б одна з незалежних змінних, що до неї входять

$$y = x_1 + x_2$$

- операція І - логічне множення (кон'юнкція):

функція істинна, якщо істинні усі незалежні змінні, що до неї входять

$$y = x_1 \cdot x_2$$

Порядок дій в алгебрі логіки такий: перш за все виконується операція НІ, потім І й насамкінець АБО.

Для зміни порядку дій, як і в звичайній алгебрі, застосовують дужки. Для алгебри логіки справедливі закони:

- переставний (комутативний)

$$x_1 + x_2 = x_2 + x_1 \text{ та } x_1 \cdot x_2 = x_2 \cdot x_1;$$

- сполучний (асоціативний)

$$x_1 + x_2 + x_3 = x_1 + (x_2 + x_3) = (x_1 + x_2) + x_3 \text{ та } x_1 \cdot x_2 \cdot x_3 = x_1(x_2 \cdot x_3) = (x_1 \cdot x_2) \cdot x_3;$$

- розподільний (дистрибутивний)

$$x_1(x_2 + x_3) = x_1 \cdot x_2 + x_1 \cdot x_3.$$

(зазначимо, що такі ж закони діють і в звичайній алгебрі).

Тотожності алгебри логіки:

$$x + x = x \text{ та } x \cdot x = x;$$

$$x + \bar{x} = 1 \text{ та } x \cdot \bar{x} = 0;$$

$$x + 0 = x \text{ та } x \cdot 0 = 0;$$

$$\overline{\overline{x}} = x;$$

$$x_1 + x_1 \cdot x_2 + x_1 \cdot x_3 = x_1;$$

$$x_1 + \overline{x_1 \cdot x_2} = x_1 + x_2;$$

$$x_1 \cdot x_2 + \overline{x_1 \cdot x_2} = x_1;$$

$$x_1(x_1 + x_2) = x_1;$$

$$\overline{x_1(x_1 + x_2)} = \overline{x_1} \cdot \overline{x_2};$$

$$\overline{x_1 + x_2}(x_1 + x_3) = \overline{x_1} \cdot x_2 \cdot x_3.$$

До основних законів алгебри логіки також відносяться закони інверсії для логічних додавання та множення - правила де Моргана:

$$\overline{x_1 + x_2} = \overline{x_1} \cdot \overline{x_2} \text{ та } \overline{x_1 \cdot x_2} = \overline{x_1} + \overline{x_2}$$

## 2. Реалізація простих логічних функцій. Логічні елементи

Отже, однією з найпростіших логічних функцій є функція заперечення НІ, яку ще називають операцією інверсії.

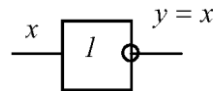


Рисунок 1 – Елемент НІ

Функцію, що її виконує логічний пристрій, часто представляють у вигляді таблиці, яку називають таблицею істинності.

Об'єднана таблиця істинності деяких основних логічних функцій, що залежать від двох змінних (усього таких функцій шістнадцять), наведена на рис. 2. На рисунку також представлено інформацію про математичний запис функцій, їхні назви, графічне позначення, можливу реалізацію.

За елементною базою, на якій виконано логічні елементи, їх підрозділяють на резисторно-діодні (РДЛ-резисторно-діодна логіка), резисторно-транзисторні (РТЛ), резисторно-діодно-транзисторні (РДТЛ), транзисторно-транзисторні (ТТЛ), на К-МОН комплементарних транзисторах (К-МОН-логіка) і деякі інші.

Схеми двовходових резисторно-діодних елементів 2АБО та 2І наведені на рис 3,а і рис. 3,б відповідно.

Вхідні змінні		Функція $y$			
$x_1$	$x_2$	АБО	АБО-НІ	I	I-НІ
0	0	0	1	0	1
0	1	1	0	0	1
1	0	1	0	0	1
1	1	1	0	1	0
Математичний запис (формула)		$y = x_1 + x_2 = x_1 \vee x_2$	$y = \overline{x_1 + x_2}$	$y = x_1 \cdot x_2 = x_1 \wedge x_2$	$y = \overline{x_1 \cdot x_2}$
Назва функції		Логічне додавання (диз'юнкція) – функція АБО	Заперечення логічного додавання (стрілка Пірса) – функція АБО-НІ	Логічне множення (кон'юнкція) – функція I	Заперечення логічного множення (штрих Шеффера) – функція I-НІ
Графічне позначення елемента, що реалізує функцію					
Можлива реалізація					
		Резисторно-діодна логіка (РДЛ)	Резисторно-транзисторна логіка (РТЛ)	Резисторно-діодна логіка (РДЛ)	Резисторно-діодно-транзисторна логіка (РДТЛ)

Рисунок 2 – Деякі логічні функції двох змінних

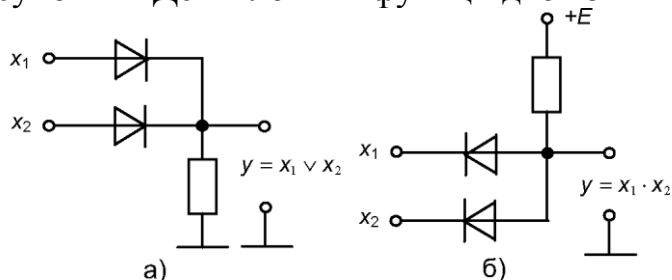


Рисунок 3 – Резисторно-діодні елементи 2АБО та 2І

При своїй схемній простоті вони мають суттєвий недолік: падіння напруги на діодних ключах не дозволяє реалізовувати складні логічні функції з послідовним вмиканням великого числа елементів за прийнятних значень напруги джерела живлення. Необхідно забезпечувати проміжне підсилення

Широке розповсюдження знайшли елементи ТТЛ. Схема двоходового ТТЛ елемента 2І- НІ наведена на рис. 4.

Відмінною його рисою є наявність на вході багатомірного транзистора VT1, що є набуток інтегральної технології і заміняє вхідний діодний вузол елементів РДТЛ.

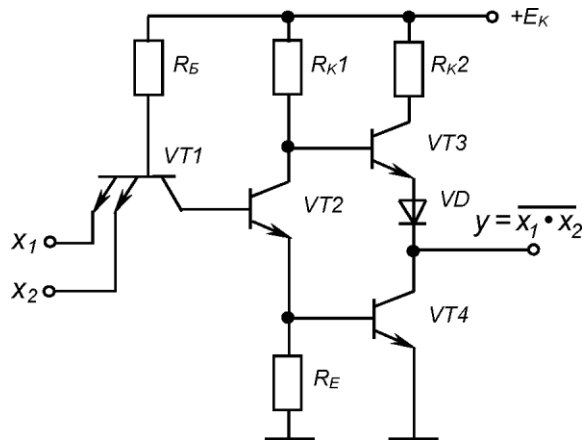


Рисунок 4 – ТТЛ елемент 2І-НІ

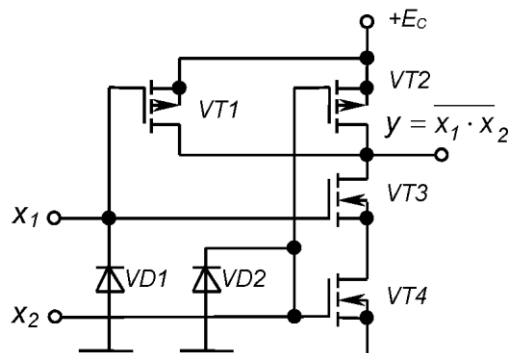


Рисунок 5 – Елемент 2І-НІ К-МОН-логіки

На рис. 5 наведена схема двовходового елемента І-НІ, виконаного на комплементарних К-МОН транзисторах. Як видно з рисунку, елемент складається тільки з чотирьох МОН-транзисторів, що одночасно виконують і роль резисторів, бо опір їхнього каналу становить від десятків до сотень ом.

Елементи К-МОН прості у виготовленні (а значить дешеві), мають більшу завадостійкість ніж елементи ТТЛ.

Перевагою К-МОН логіки є ще й те, що вона працездатна у широкому діапазоні змін напруги живлення. Так, якщо для ІМС ТТЛ типове значення напруги живлення становить  $5\text{ В} \pm 5\%$ , то для ІМС К-МОН вона може становити від 3 до 15 В.

### 3. Загальні відомості про тригери та їх призначення

Основою цифрових (логічних) пристроїв з пам'яттю є тригери. Тригер забезпечує запам'ятовування елементарного об'єму інформації - 1 біт.

Тригери (від англійського trigger - заскок) - це спускові імпульсні пристрої з ПЗЗ, що мають два сталих стани рівноваги і можуть переходити із одного стану у інший під дією сигналу, що перевищує деякий рівень - поріг спрацьовування пристрою.

Тригери можуть бути побудовані на напівпровідникових приладах, що мають ділянку з негативною крутизною характеристики (наприклад, на тиристорах). Сучасні тригери, як правило, будують на основі двокаскадних підсилювачів з ПЗЗ. Тригери в інтегральному виконанні будують на логічних цифрових елементах.

Використовують тригери для таких цілей:

- 1) перетворення імпульсу довільної форми у прямокутну;
- 2) створення електронних реле;
- 3) створення пристроїв підрахунку імпульсів і ділення частоти надходження імпульсів (лічильників);
- 4) зберігання інформації у двійковому коді.

## 5. Тригери на логічних елементах

Тригери у інтегральному виконанні будуються з простих логічних елементів типу АБО-НІ, І-НІ. Зазвичай мікросхема вміщує 1,4 тригери із спільними колами живлення, а інколи і спільними колами синхронізації або керування.

У загальному випадку тригер складається з логічного пристрою керування та власне тригера як елемента пам'яті. Є велика кількість різноманітних схем тригерів із різними функціональними можливостями.

Узагальнена структурна схема тригера зображена на рис. 6.

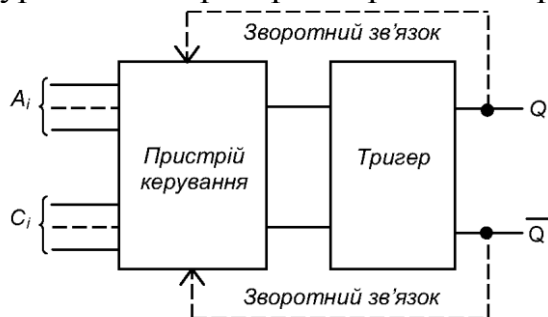


Рисунок 6 – Структурна схема тригера

Пристрій керування призначений для перетворення сигналів, що надходять до входів  $A_i$ , у вигляд, придатний для керування власне тригером, що виконує функцію елемента пам'яті.

Тригер має два виходи:  $Q$  - прямий (одиничний),  $\bar{Q}$  - інверсний (нульовий). Входи  $A_i$  називаються інформаційними, а входи  $C_i$  - тактовими або синхронізуючими.

За способом занесення інформації тригери поділяються на асинхронні, що змінюють свій стан одразу після надходження сигналу на певний інформаційний вхід, і синхронні (тактовані), що спрацьовують не тільки за наявності сигналів на інформаційних входах, а лише після надходження синхронізуючого (тактового) сигналу на певний вхід синхронізації.

Описують роботу тригерів (і цифрових пристроїв з пам'яттю взагалі) також за допомогою логічних функцій або частіше задля наочності за допомогою таблиць переходів. У таблицях вказують усі можливі комбінації сигналів на інформаційних входах у даний момент часу ( $t^i$ ) і стан, у який перейде тригер під дією цих сигналів в наступний момент часу ( $t^{i+1}$ ). Причому, наступний момент часу у асинхронного тригера настає одразу після зміни комбінації сигналів на інформаційних входах, а у синхронного - після надходження тактового сигналу (як правило, це імпульс) на відповідний вхід синхронізації.



Стани тригера в таблицях переходів зазвичай вказують так:

0 – тригер має сигнал на виході  $Q = 0$  (нульовий стан);

1 – тригер має сигнал на виході  $Q = 1$  (одичний стан);

$Q_i$  – стан тригера не змінюється при зміні сигналів на входах;

$\overline{Q}_i$  – стан тригера змінюється на протилежний при зміні сигналів на входах;

X – невизначений стан тригера, коли він після зміні сигналів на входах рівноможливо може опинитися в нульовому ( $Q = 0$ ) або у одичному ( $Q = 1$ ) стані.

Найбільш розповсюджені з них RS-тригери, D-тригери, T-тригери, JK-тригери. Часто тригери будують як комбіновані: RSD-тригер, RST- тригер і т.п.

## 6. RS-тригер

Умовні позначення двовходових асинхронних RS-тригерів з прямими (такими, що реагують на наявність 1) і інверсними (такими, що реагують на наявність 0) входами наведено на рис. 7.

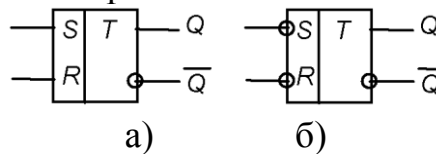


Рисунок 7 – Умовні позначення RS-тригера з прямими (а) й інверсними (б) входами

Свою назву RS-тригер одержав від перших літер англійських слів to set – встановлювати (S) та to reset – відновлювати (R).

S- інформаційний вхід, призначений для установлення тригера в одичний стан ( $Q=1$ ), а R – вхід, призначений для повернення тригера у нульовий стан ( $Q=0$ ).

Роботу тригерів описують відповідні таблиці переходів, наведені у табл. 11.1.

Таблиця 1 – Таблиці переходів RS-тригерів

а) з прямими входами

$t^i$		$t^{i+1}$
S	R	$\underline{Q}$
1	0	1
0	1	0
0	0	$\underline{Q}^i$
1	1	X

б) з інверсними входами

$t^i$		$t^{i+1}$
S	R	$\underline{Q}$
1	0	0
0	1	1
1	1	$\underline{Q}^i$
0	0	X

Схеми таких RS-тригерів, побудованих на елементах І-НІ та АБО-НІ зображені на рис. 8.

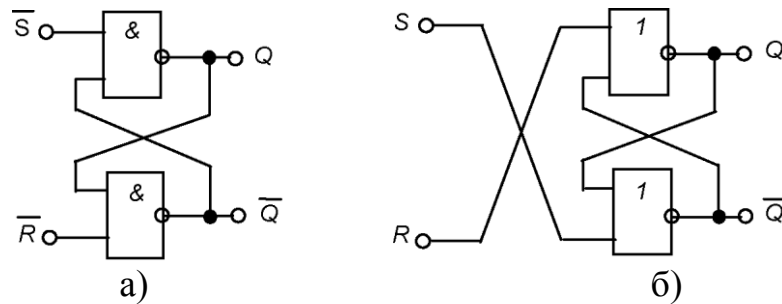


Рисунок 8 – RS-тригер з інверсними входами на елементах І-НІ (а) та з прямими входами на елементах АБО-НІ (б)

## 7. Поняття про цифрові мікроелектронні пристрої

Цифрові мікроелектронні пристрої являють собою дискретні цифрові автомати, виконані на ІМС і призначені для обробки інформації, що представлена у вигляді цифрового коду. Вони використовуються для створення цифрових інформаційних, вимірювальних систем та систем керування.

Усі цифрові пристрої поділяються на два великих класи: комбінаційні і послідовнісні.

Комбінаційні пристрої реалізують функції, які залежать тільки від комбінації змінних, що до них входять, у даний момент часу і не залежать від стану пристрою у попередній момент часу. Найпростішими прикладами таких пристроїв є логічні елементи.

Послідовнісні (від слова «послідовність») пристрої реалізують функції, що залежать не тільки від комбінації вхідних змінних у даний момент часу, а ще й від стану пристрою у попередній момент часу: вони мають пам'ять. Найпростішими прикладами таких пристроїв є тригери.

Основними (найбільш вживаними) мікроелектронними цифровими пристроями є:

- 1) дешифратори;
- 2) мультиплексори;
- 3) лічильники імпульсів;
- 4) регістри;
- 5) цифро-аналогові та аналого-цифрові перетворювачі.

Складні логічні функції реалізують на ІМС простих логічних елементів.

Мінімальний набір логічних елементів, що реалізують деякі прості логічні функції і за наявності необмеженої кількості яких можна реалізувати наскільки завгодно складну логічну функцію, називають функціонально повною системою логічних елементів, або базисом. Найбільш відомими функціонально повними системами є:

- 1) елементи, що реалізують функції алгебри Буля - І, АБО, НІ;
- 2) елемент, що реалізує функцію штрих Шеффера - І-НІ;
- 3) елемент, що реалізує функцію стрілка Пірса - АБО-НІ.

Нехай треба реалізувати функцію

$$y = (x_1 + x_2 + x_3) \cdot x_4 + x_4 + x_5.$$

У загальному випадку це можна зробити за допомогою схеми, наведеної на рис. 9.

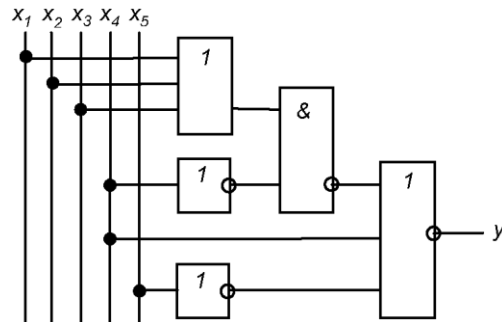


Рисунок 9 – Приклад схемної реалізації логічної функції

Для забезпечення отримання простої (економічної в реалізації), швидкодіючої схеми, складні комбінаційні пристрої спочатку описують за допомогою логічних функцій (у вигляді математичних формул або таблиць істинності). Потім ці функції мінімізують на основі законів алгебри логіки з урахуванням специфіки стандартних ІМС логічних елементів, що будуть використані для схемної реалізації.

## 8. Дешифратори

Дешифратори (декодери) є комбінаційними пристроями, призначеними для перетворення кодованих двійкових входних сигналів у сигнали керування виконавчими пристроями, пристроями відображення інформації і т.п.

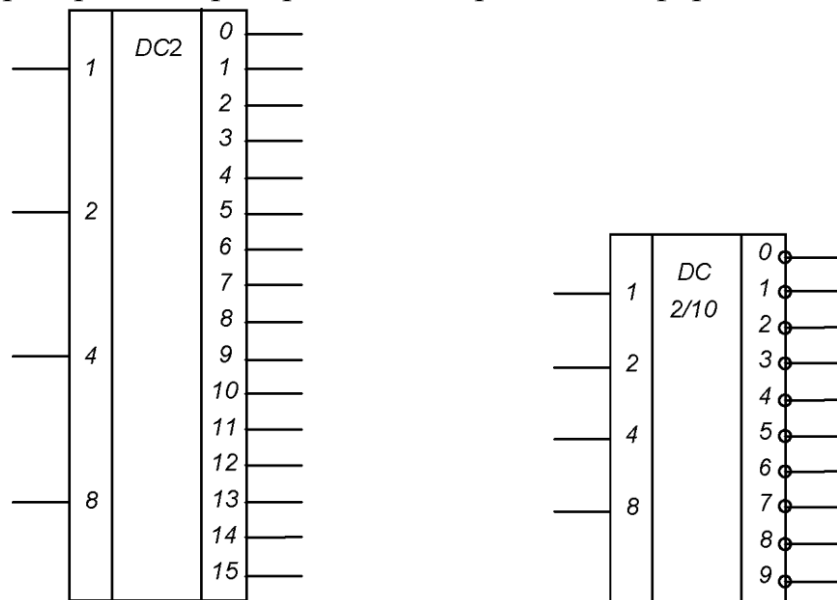


Рисунок 10 – Двійковий та двійково- десятиковий дешифратори

У загальному випадку дешифратор має декілька входів (за кількістю розрядів двійкових чисел, що необхідно декодувати) і декілька виходів.

Кожній комбінації входних сигналів відповідає певна комбінація вихідних.

Наприклад, двійковий дешифратор, умовне позначення якого наведене

на рис. 10, має чотири входи ( $n=4$ ) з ваговими коефіцієнтами 1, 2, 4, 8, що відповідає чотирьом розрядам послідовного двійкового коду ( $2^0, 2^1, 2^2, 2^3$ ) і шістнадцять виходів: від 0 до 15 ( $N=2^n=2^4=16$ ). Кожній комбінації нулів і одиниць на входах відповідає одиниця на відповідному виході.

Наприклад,

$$y_5 = x_1 \cdot \overline{x_2} \cdot x_4 \cdot \overline{x_8}$$

$$(5=1 \cdot 2^0 + 0 \cdot 2^1 + 1 \cdot 2^2 + 0 \cdot 2^3).$$

У двійково-десятькового дешифратора з інверсними виходами, умовне позначення якого наведене на рис. 12.2, кожній із перших десяти двійкових комбінацій (двійково-десятьковий код) відповідає нуль на відповідному виході.

## 9. Мультиплексори

Мультиплексори (комутатори) - це комбінаційні пристрої, що підмикають до виходу вхід (передають на вихід інформацію з входу), номер якого задає комбінація нулів і одиниць на адресних входах.

Схема чотиривходового мультиплексора та його таблиця істинності наведені на рис. 11.

Логічна функція, що її реалізує цей мультиплексор, така:

$$F = Ax\overline{y} + Bx\overline{y} + Cx\overline{y} + Dxy.$$

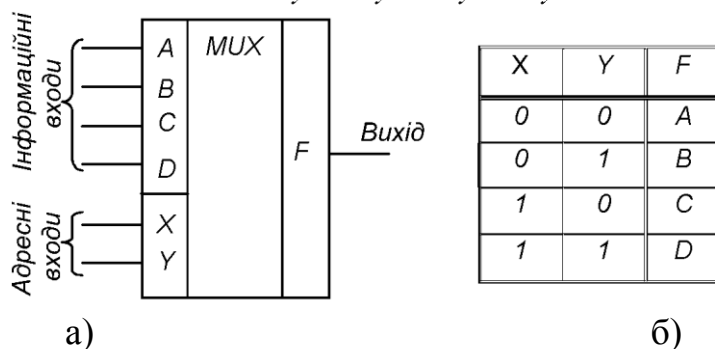


Рисунок 11 – Чотиривходовий мультиплексор (а) та його таблиця істинності (б)

К-МОН мультиплексори забезпечують комутацію не тільки цифрових, а й аналогових сигналів.

## 10. Лічильники імпульсів

Лічильники забезпечують представлення інформації про кількість імпульсів у вигляді двійкового коду.

Лічильники бувають прості (підсумовуючі, у яких код збільшується на одиницю після надходження на вхід кожного імпульсу; віднімаючі, у яких код відповідно зменшується після надходження на вхід кожного імпульсу) і реверсивні (суміщують властивості підсумовуючих і віднімаючих - можуть працювати у тому або іншому режимі за зовнішньою командою).

Як правило, лічильники будують на основі тригерів.

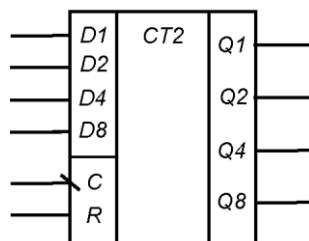


Рисунок 12 – Умовне позначення чотирирозрядного послідовного двійкового лічильника

Таблиця 2 – Таблиця переходів чотирирозрядного послідовного двійкового лічильника

Стан	Q <sub>8</sub>	Q <sub>4</sub>	Q <sub>2</sub>	Q <sub>1</sub>	Стан	Q <sub>8</sub>	Q <sub>4</sub>	Q <sub>2</sub>	Q <sub>1</sub>
0	0	0	0	0	8	1	0	0	0
1	0	0	0	1	9	1	0	0	1
2	0	0	1	0	10	1	0	1	0
3	0	0	1	1	11	1	0	1	1
4	0	1	0	0	12	1	1	0	0
5	0	1	0	1	13	1	1	0	1
6	0	1	1	0	14	1	1	1	0
7	0	1	1	1	15	1	1	1	1

## 5. Регістри

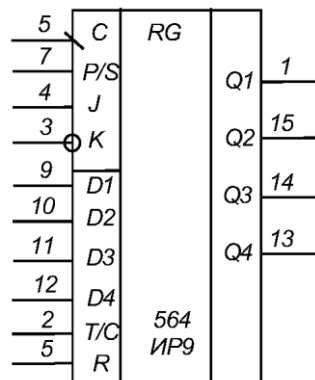


Рисунок 13 – Універсальний регістр 564ИР9

Регістри призначені для запам'ятовування і зберігання інформації, представленої у вигляді багаторозрядних двійкових чисел (двійкового коду) та їхньої видачі за зовнішньою командою - це елементи короткочасної (оперативної) пам'яті.

Залежно від способу запису і видачі інформації регістри бувають:

1) послідовні - запис інформації в них виконується послідовно одного двійкового розряду за іншим через один вхід;

2) паралельні - запис інформації в них виконується одночасно (паралельно) у всі розряди;

3) послідовно-паралельні - можуть працювати як послідовні або паралельні, залежно від сигналу на спеціальному вході керування.

## **11. Програмовані логічні контролери**

Цифрові пристрої керування реалізуються як автомати з жорсткою логікою або програмовані.

Програмовані пристрої будуються на основі процесорів, як правило, у мікрвиконанні - мікропроцесорів.

Програмований логічний контролер - це програмований логічний пристрій керування з мовою програмування, доступною для неспеціалістів з інформатики.

ПЛК монтуються на одній або декількох платах (у вигляді одного або декількох модулів) і доповнюються пристроями програмування і індикації з клавіатурою та цифровим дисплеєм.

Більшу універсальність мають багатоплатні ПЛК, що становлять собою набір модулів: процесора, ПЗП, ОЗП, ЦАП, АЦП, вводу та виводу даних, підсилення потужності, джерела живлення та ін. З цих модулів створюється необхідна у конкретному випадку конфігурація ПЛК.

Таким чином, багатоплатний ПЛК є універсальним конструктором для створення програмованих пристроїв керування.

З розвитком мікросхемотехніки стало можливим усі вузли контролера розміщувати у одній ВІС - одноплатному ПЛК. Силові елементи і джерело живлення при цьому розміщують на окремих платах. Одноплатні ПЛК мають значно менші габаритні розміри, простіші у виготовленні і дешевші.