Лекція 7

ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ ТА ВИКОРИСТАННЯ КОМБІНАЦІЙНИХ ПРИСТРОЇВ

7.1. Використання базових логічних елементів

Серед задач, які часто зустрічаються при проектуванні логічних схем, слід виділити наступні:

- реалізація функцій у базисах **І-НІ**, **АБО-НІ**;
- розширення логічних можливостей елементів.

.

Приклад 7.1. Використовуючи елементи **І-НІ**, реалізувати функцію:

$$y = x_1 \cdot \overline{x_2} + (\overline{x_2} + \overline{x_3}) \cdot \overline{x_1}. \qquad (7.1)$$

Розв'язання. На основі правила подвійного заперечення функція (7.1) може бути зображена у вигляді:

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

Враховуючи, що $\overline{x_2} + \overline{x_3} = \overline{x_2 \cdot x_3}$, логічну схему можемо зобразити у вигляді, приведеному на рис. 7.1.

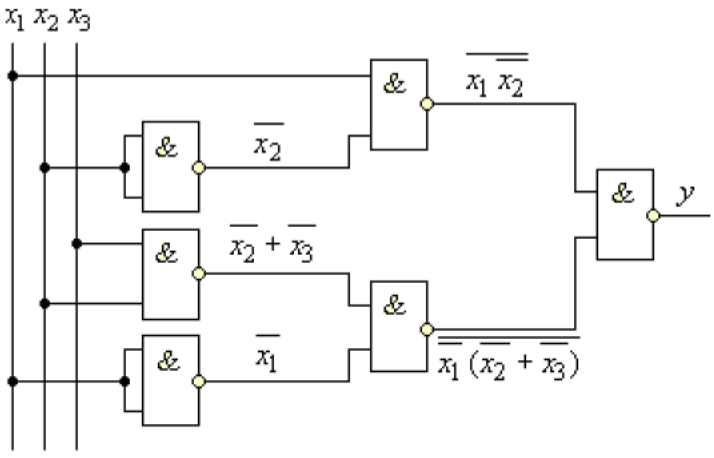


Рис. 7.1

Приклад 7.2. Використовуючи елементи **АБО-НІ**, реалізувати функцію:

$$y = x_1 \cdot (\overline{x_1} + \overline{x_2}) \cdot (x_2 + \overline{x_3} \cdot x_4). \qquad (7.2)$$

Розв'язання. За аналогією з попереднім прикладом, вираз зобразимо у вигляді:

$$y = x_1 \cdot (\bar{x}_1 + \bar{x}_2) \cdot (x_2 + \bar{x}_3 \cdot x_4) = \overline{\overline{x_1 \cdot (\bar{x}_1 + \bar{x}_2) \cdot (x_2 + \bar{x}_3 \cdot x_4)}} = \overline{\overline{x_1 \cdot (\bar{x}_1 + \bar{x}_2)} + \overline{(x_2 + \bar{x}_3 \cdot x_4)}}.$$

Реалізація функції (7.2) приведена на рис. 7.2. Враховано, що

$$x_1 \cdot (\bar{x}_1 + \bar{x}_2) = x_1 \cdot \bar{x}_1 + x_1 \cdot \bar{x}_2 = x_1 \cdot \bar{x}_2 = \overline{\bar{x}_1 + x_2}\,; \qquad \bar{x}_3 \cdot x_4 = \overline{x_3 + \bar{x}_4}\,.$$

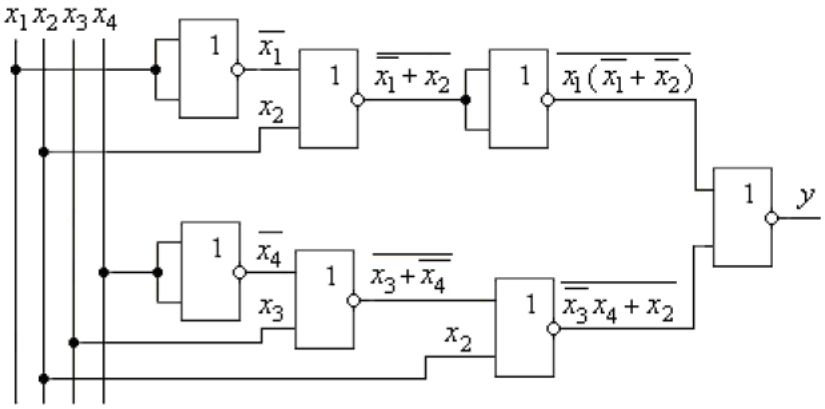


Рис. 7.2

Приклад 7.3. Збільшити коефіцієнт розгалуження по виходу $K_р$ на величину, перевищуючу значення стандартного елемента.

Розв'язання. У залежності від величини необхідного коефіцієнта розгалуження, використовуються три варіанти схем, приведені на рис. 7.3, ***а***, ***б***, ***в***.

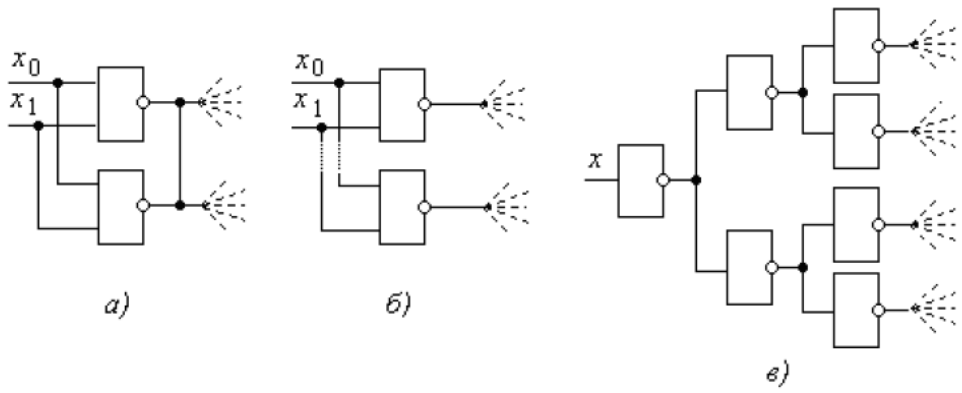


Рис. 7.3

Приклад 7.4. Використовуючи елементи ТТЛ ІС, розробити схему **І** на 9 входів.

Розв'язання. У серіях ТТЛ використовуються багатовхідні елементи **І** 4(**2І**), 3(**3І**), 2(**4І**), а також елементи 2**І-НІ** – 2(**4І-НІ**), 1(**8І-НІ**), 3(**3І-НІ**) (позначення 2(**4І-НІ**) говорить про те, що в одному корпусі мікросхеми наявні два чотирьохвходові логічні елементи **І-НІ**).

При використанні елементів 3(**3І**) (наприклад, мікросхеми К555ЛИ3 (зарубіжні аналоги – 74LS11, 74LS11N, DL011D, UCY74LS11N)) використовується каскадне з'єднання елементів.

При використанні елементів 3(**3І-НІ**) логічну функцію:

$$y = x_0 \cdot x_1 \cdot x_2 \cdot x_3 \cdot x_4 \cdot x_5 \cdot x_6 \cdot x_7 \cdot x_8$$

перетворимо до виду:

$$y = \overline{\overline{x_0 \cdot x_1 \cdot x_2} + \overline{x_3 \cdot x_4 \cdot x_5} + \overline{x_6 \cdot x_7 \cdot x_8}}. \qquad (7.3)$$

З (7.3) витікає, що необхідна схема може бути створена на базі мікросхеми 3(**3І-НІ**) (К1533ЛА4), виходи яких об'єднуються елементом 3(**АБО-НІ**) (К1533ЛЕ4).

Приклад 7.5. Використовуючи елементи ТТЛ ІС, розробити 9-входову схему **АБО**.

Розв'язання. У серіях ТТЛ ІС наявні мікросхеми 4(**2АБО-НІ**) (7402DC, 7402FC, Т7428В1), 3(**3АБО-НІ**) (7427DC, 7427PC, SN7427N), 2(**5АБО-НІ**).

При використанні елементів 3(**3АБО-НІ**) логічну функцію:

$$y = x_0 + x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6 + x_7 + x_8$$

перетворимо до виду:

$$y = \overline{\overline{y}} = \overline{\overline{(x_0 + x_1 + x_2)} \cdot \overline{(x_3 + x_4 + x_5)} \cdot \overline{(x_6 + x_7 + x_8)}}. \qquad (7.4)$$

Функцію (7.4) на практиці можна реалізувати шляхом використання трьох елементів **3АБО-НІ** (мікросхема К1533ЛЕ4 (зарубіжні аналоги – 7427PC, MC7427N, SN7427N)), виходи яких об'єднуються одним елементом **3І-НІ** (К1533ЛА4).

Приклад 7.6. Побудувати схему знаходження суми за модулем **2** на вісім входів, використовуючи двовходові елементи ТТЛ, які реалізують таку функцію.

Розв'язання. У серіях ТТЛ ІС використовуються мікросхеми з двома входами К555ЛП5 (зарубіжні аналоги – 74LS86N, SN74LS86J), КР1533ЛП5 (аналог – 74ALS86) та

К555ЛЛ3 (вихід останньої – з відкритим колектором). Вони реалізують наступну логічну функцію:

$$y = x_1\overline{x_0} + \overline{x_1}\,x_0 = x_1 \oplus x_0.$$

Логічна функція, реалізацію якої поставлено задачею, має вигляд:

$$y = x_0 \oplus x_1 \oplus x_2 \oplus x_3 \oplus x_4 \oplus x_5 \oplus x_6 \oplus x_7. \tag{7.5}$$

$$y = (...((((x_0 \oplus x_1) \oplus x_2) \oplus x_3) \oplus x_4) \oplus x_5) \oplus x_6) \oplus x_7); \tag{7.6}$$

$$y = ((x_0 \oplus x_1) \oplus (x_2 \oplus x_3)) \oplus ((x_4 \oplus x_5) \oplus (x_6 \oplus x_7)). \tag{7.7}$$

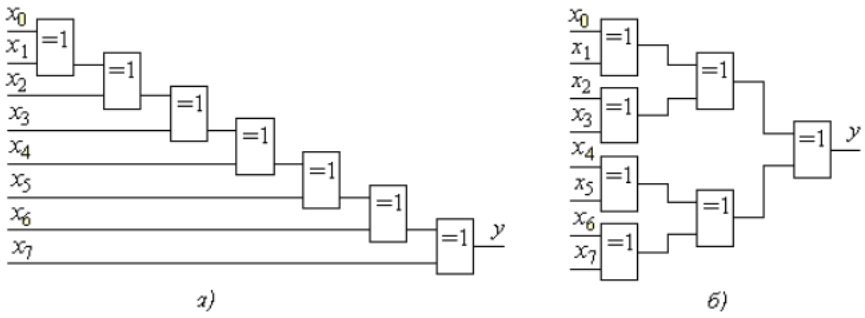


Рис. 7.4

$$t_З = t_{З0}\left(m-1\right).$$

$$t_З = t_{З0}\log_2 m.$$

$$t_З = 3t_{З0}$$

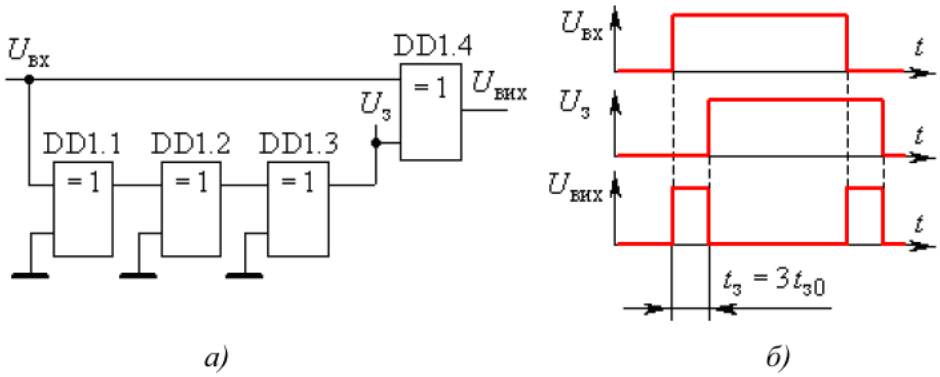


Рис. 7.5

Приклад 7.7. Використовуючи елементи **ВИКЛ. АБО**, розробити схему пристрою для вмикання (вимикання) освітлення в приміщенні з трьома входами, біля кожного з яких повинен розміщуватись вимикач.

Розв'язання.

Табл. 7.1

N	x_2	x_1	x_0	y
0	0	0	0	0
1	0	0	1	1
2	0	1	0	1
3	0	1	1	0
4	1	0	0	1
5	1	0	1	0
6	1	1	0	0
7	1	1	1	1

Прийнявши, що при вимкнених вимикачах лампочка освітлення не горить, тобто $y = 0$ при $x_0 = 0$, $x_1 = 0$, $x_2 = 0$, істинні значення функції будуть лише при непарній кількості ввімкнених вимикачів, тобто для мінтермів з порядковими номерами 1, 2, 4, 7.

$$y = \vee 1,\ 2,\ 4,\ 7 = \overline{x_2}\,\overline{x_1}\,x_0 + \overline{x_2}\,x_1\,\overline{x_0} + x_2\,\overline{x_1}\,\overline{x_0} + x_2\,x_1\,x_0 =$$

$$= \overline{x_2}\left(\ \overline{x_1}\,x_0 + x_1\,\overline{x_0}\ \right) + x_2\left(x_1\,x_0 + \overline{x_1}\,\overline{x_0}\right) = x_2 \oplus x_1 \oplus x_0\ ,$$

$$\overline{\overline{x_1}\ x_0 + x_1\ \overline{x_0}} = x_1\ x_0 + \overline{x_1}\ \overline{x_0}\ .$$

7.2. Комутатори

Комутатором (у загальному випадку на n входів та m виходів – скорочено $n \times m$) називають цифровий пристрій, який забезпечує передачу сигналів з i-го вхідного на j-ий вихідний виводи.

У цифровій схемотехніці найбільшого поширення набули такі комутуючі пристрої, як *мультиплексори*, *селектори-мультиплексори* (з організацією $n \times 1$) та *пристрої зсуву* ($n \times n$).

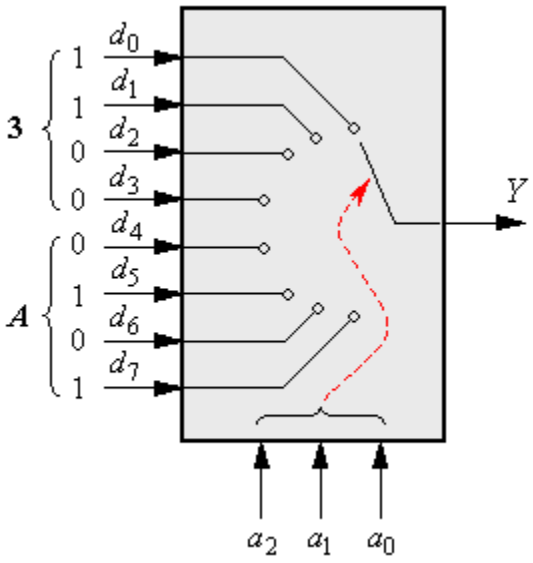


Рис. 7.6

Табл. 7.2

N	a_2	a_1	a_0	Y	Код слова
0	0	0	0	d_0	1
1	0	0	1	d_1	1
2	0	1	0	d_2	0
3	0	1	1	d_3	0
4	1	0	0	d_4	0
5	1	0	1	d_5	1
6	1	1	0	d_6	0
7	1	1	1	d_7	1

$$Y = \overline{a_2}\ \overline{a_1}\ \overline{a_0}\ d_0 + \overline{a_2}\ \overline{a_1}\ a_0\ d_1 + \overline{a_2}\ a_1\ \overline{a_0}\ d_2 + \overline{a_2}\ a_1\ a_0\ d_3 +$$

$$+ a_2\ \overline{a_1}\ \overline{a_0}\ d_4 + a_2\ \overline{a_1}\ a_0\ d_5 + a_2\ a_1\ \overline{a_0}\ d_6 + a_2\ a_1\ a_0\ d_7\ .$$

Мультиплексор – це цифровий комбінаційний пристрій, який забезпечує перетворення інформації, що задана на входах $d_7 \ldots d_0$ у паралельному форматі, в послідовний формат на виході Y.

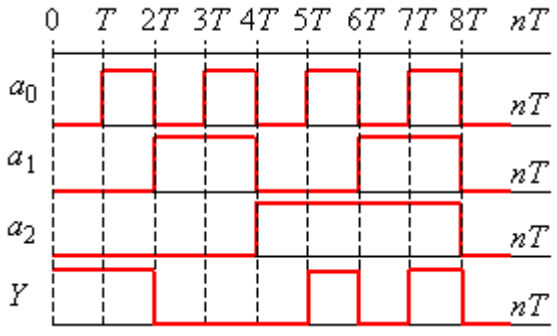


Рис. 7.7

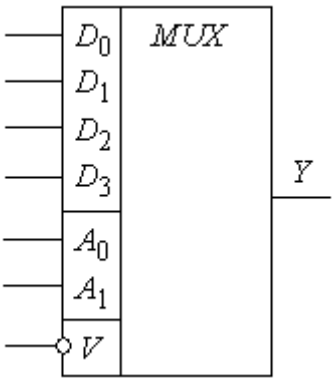


Рис. 7.8

$$Y = \overline{v} \cdot (\overline{a_1}\ \overline{a_0}\ d_0 + \overline{a_1}\ a_0\ d_1 + a_1\ \overline{a_0}\ d_2 + a_1\ a_0\ d_3)\ . \qquad (7.8)$$

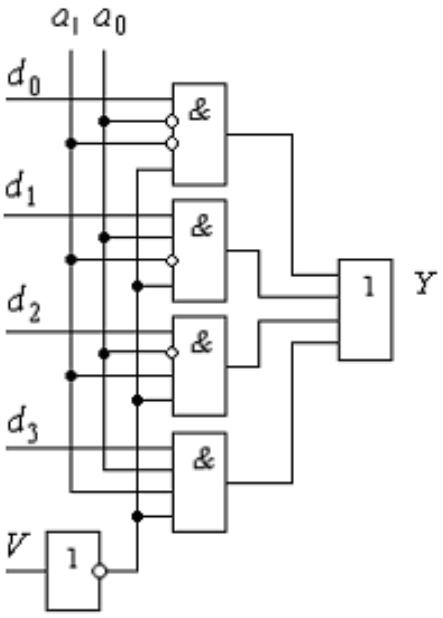


Рис. 7.9

$$y = x_0 \cdot x_1 + \overline{x_0} \cdot \overline{x_1}. \qquad (7.9)$$

$d_1 = d_2 = 0$, $d_0 = d_3 = 1$, $v = 0$,

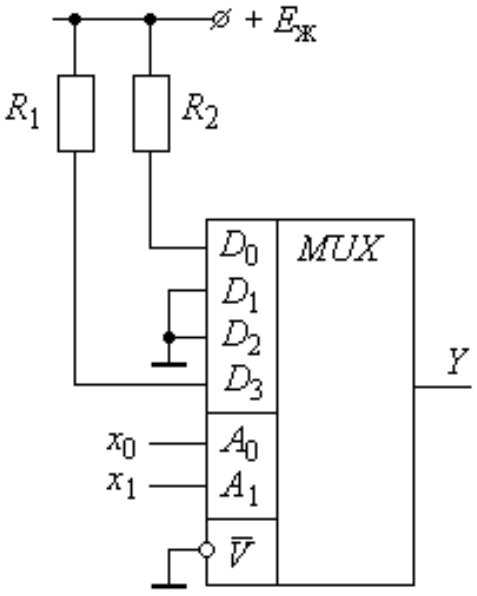


Рис. 7.10

$$1 = x + \overline{x};$$

Приклад 7.8. Функцію п’яти змінних:

$$y = x_0 \cdot x_1 \cdot \bar{x}_3 \cdot \bar{x}_4 + \bar{x}_0 \cdot \bar{x}_3 \cdot x_4 + x_0 \cdot \bar{x}_2 \cdot x_3 + x_2 \cdot \bar{x}_3 + \bar{x}_1 \cdot x_2$$

реалізувати з використанням мультиплексора **“з 4-х в 1”**.

Розв’язання. У використовуваному мультиплексорі наявні два адресні входи – отже, вибираємо дві змінні з найбільшими рангами. Ранги змінних приведені в Табл. 7.3.

Таблиця 7.3

x_0	x_1	x_2	x_3	x_4
3	2	3	4	2

Вибираємо змінні x_2 та x_3.

Виконуємо перетворення функції:

$$y = x_0 \cdot x_1 \cdot \bar{x}_3 \cdot \bar{x}_4 \cdot (x_2 + \bar{x}_2) + \bar{x}_0 \cdot \bar{x}_3 \cdot x_4 \cdot (x_2 + \bar{x}_2) + x_0 \cdot \bar{x}_2 \cdot x_3 + x_2 \cdot \bar{x}_3 + \bar{x}_1 \cdot x_2 \cdot (x_3 + \bar{x}_3) =$$
$$= \bar{x}_2 \cdot \bar{x}_3 \cdot (x_0 \cdot x_1 \cdot \bar{x}_4 + \bar{x}_0 \cdot x_4) + \bar{x}_2 \cdot x_3 \cdot (x_0) + x_2 \cdot x_3 \cdot (\bar{x}_1) + x_2 \cdot \bar{x}_3 \cdot (x_0 \cdot x_1 \cdot x_4 + \bar{x}_0 \cdot x_4 + 1 + \bar{x}_1) =$$
$$= \bar{x}_2 \cdot \bar{x}_3 \cdot (x_0 \cdot x_1 \cdot \bar{x}_4 + \bar{x}_0 \cdot x_4) + \bar{x}_2 \cdot x_3 \cdot (x_0) + x_2 \cdot x_3 \cdot (\bar{x}_1) + x_2 \cdot \bar{x}_3 \cdot (1)$$

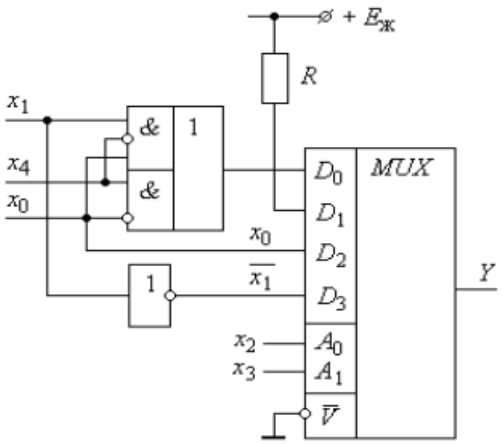


Рис. 7.11

Але така схема є лише прикладом і на практиці не піддається реалізації, оскільки в серіях мікросхем відсутні мультиплексори **4:1**, а спарений мультиплексор К1533КП2 (зарубіжні аналоги – 74153PC, SN74153N) має об’єднані адресні входи.

Практично задача може бути розв’язана при використанні мультиплексора **8:1**.

:

$$y = \overline{x_0} \cdot \overline{x_2} \cdot \overline{x_3} \cdot (x_4) + x_0 \cdot \overline{x_2} \cdot \overline{x_3} \cdot (x_1 \overline{x_4}) + \overline{x_0} \cdot x_2 \cdot \overline{x_3} \cdot (1) +$$
$$+ x_0 \cdot x_2 \cdot \overline{x_3} \cdot (1) + \overline{x_0} \cdot \overline{x_2} \cdot x_3 \cdot (0) + x_0 \cdot \overline{x_2} \cdot x_3 \cdot (1) + \overline{x_0} \cdot x_2 \cdot x_3 \cdot (\overline{x_1}) + x_0 \cdot x_2 \cdot x_3 \cdot (\overline{x_1}).$$

Табл. 7.34

N	x_3	x_2	x_0	D_i
0	0	0	0	x_4
1	0	0	1	$x_1 \cdot \overline{x_4}$
2	0	1	0	1
3	0	1	1	1
4	1	0	0	0
5	1	0	1	1
6	1	1	0	$\overline{x_1}$
7	1	1	1	$\overline{x_1}$

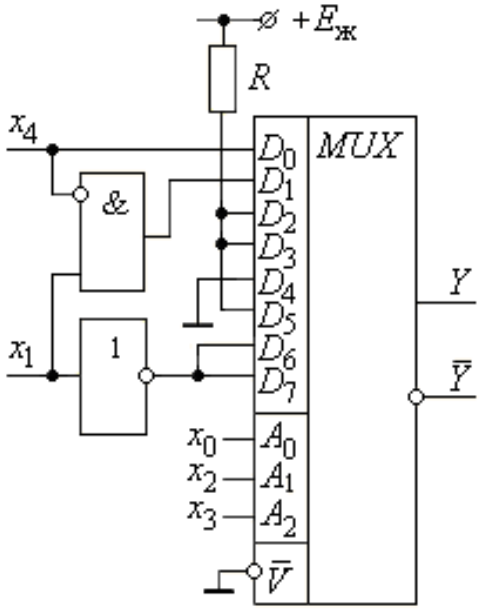


Рис. 7.12

Приклад 7.9. Використовуючи мультиплексор К564КП2 **8:1**, реалізувати логічну функцію:

$$y = \vee 0, 2, 3, 5, 7 .$$

Розв'язання. Оскільки ЛФ має три змінні, то вони повинні бути приєднані до адресних входів $A_0 \div A_2$ (рис. 7.13). Щоб дозволити роботу мультиплексора, вхід $\overline{V}$ повинен бути заземленим. Входи даних d_0, d_2, d_3, d_5, d_7 необхідно приєднати до шини живлення, а решту входів – заземлити. В результаті схема пристрою може бути реалізована на мультиплексорі К564КП2 (зарубіжні аналоги якого – 4051BDC, 4051BDM).

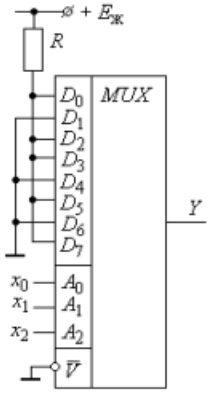


Рис. 7.13

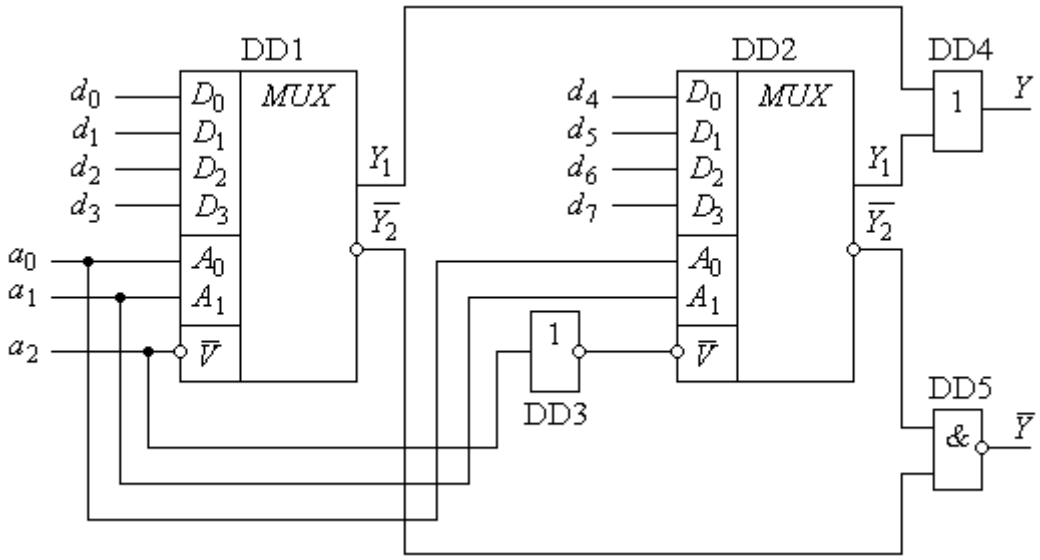


Рис. 7.14

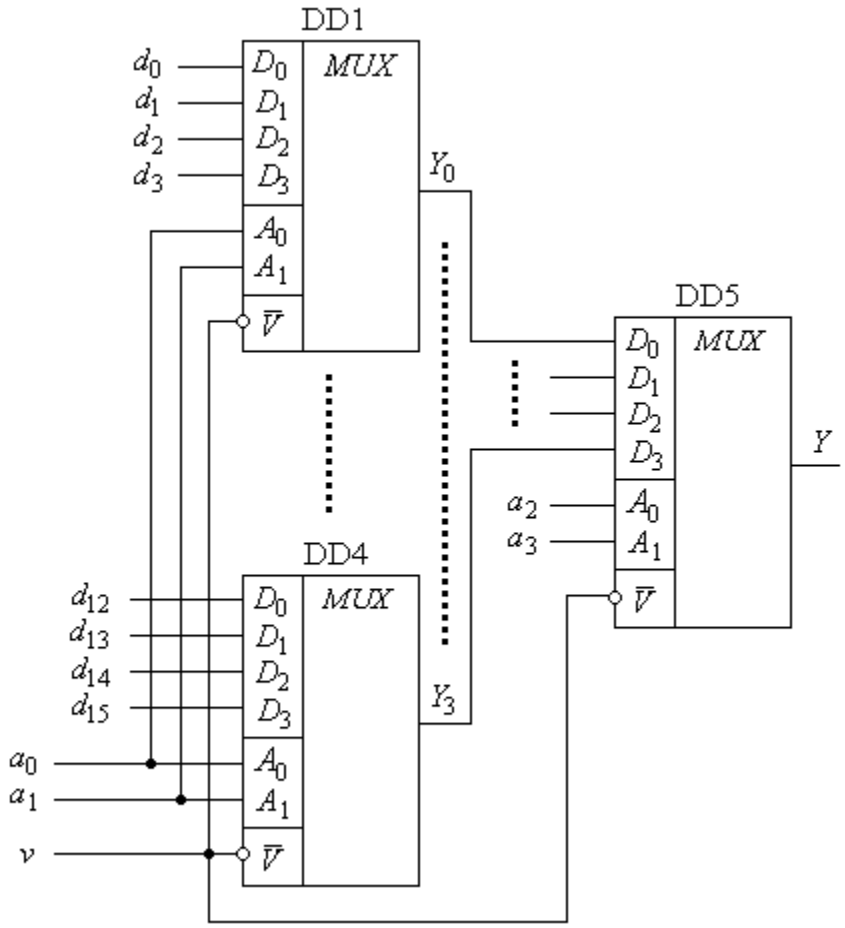


Рис. 7.15

Пристрої зсуву – це комбінаційні пристрої, призначені для забезпечення передачі вхідного коду на вихід зі зсувом на декілька розрядів у залежності від керуючого коду. Забезпечення зсуву двійкових слів необхідно при побудові арифметичних пристроїв, у задачах узгодження шин даних при формуванні заданих часових послідовностей сигналів та ін.

Припустимо, що нам необхідно спроектувати пристрій, на вхід якого подаються дані по лініях $d_3\, d_2\, d_1\, d_0$, котрі необхідно передавати на вихідні лінії $y_3\, y_2\, y_1\, y_0$ зі зсувом від **0** до **3** розрядів у залежності від значення адресного двійкового коду A

$A = a_1\, a_0$.

$$
\begin{aligned}
y_0 &= d_0\,\overline{a_1}\,\overline{a_0} + d_1\,\overline{a_1}\,a_0 + d_2\,a_1\,\overline{a_0} + d_3\,a_1\,a_0;\\
y_1 &= d_1\,\overline{a_1}\,\overline{a_0} + d_2\,\overline{a_1}\,a_0 + d_3\,a_1\,\overline{a_0} + d_0\,a_1\,a_0;\\
y_2 &= d_2\,\overline{a_1}\,\overline{a_0} + d_3\,\overline{a_1}\,a_0 + d_0\,a_1\,\overline{a_0} + d_1\,a_1\,a_2;\\
y_3 &= d_3\,\overline{a_1}\,\overline{a_0} + d_0\,\overline{a_1}\,a_0 + d_1\,a_1\,\overline{a_0} + d_2\,a_1\,a_2.
\end{aligned}
\qquad (7.10)
$$

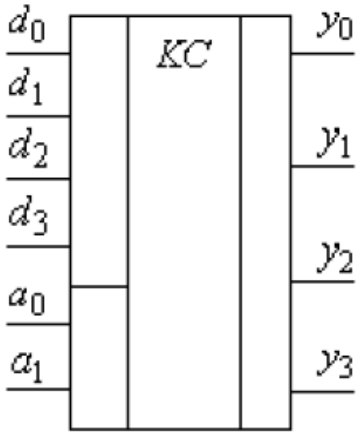


Рис. 7.16

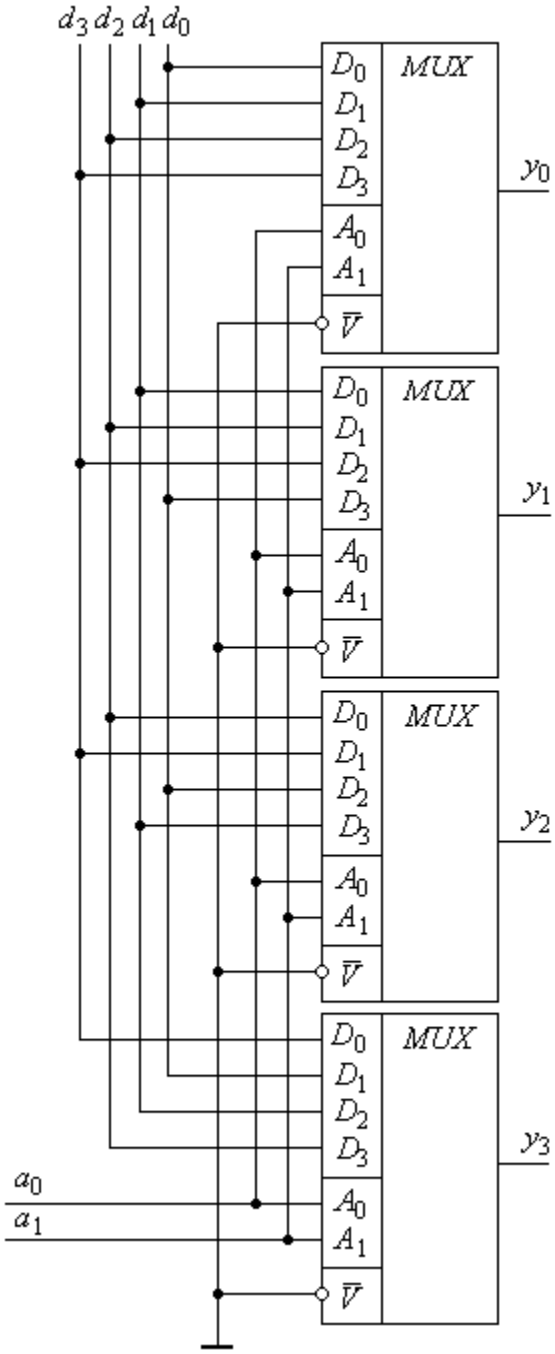


Рис. 7.17

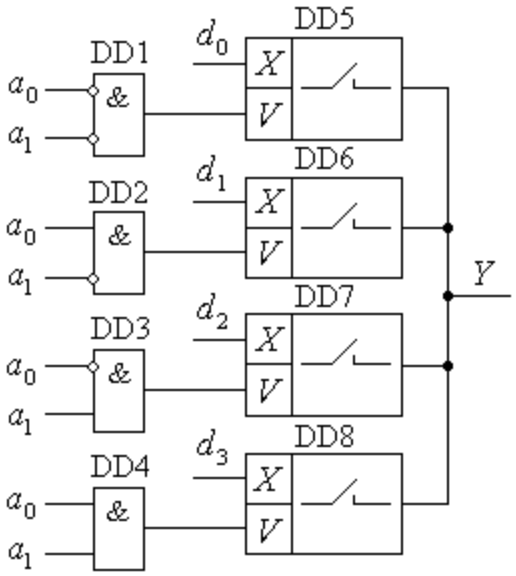


Рис. 7.18

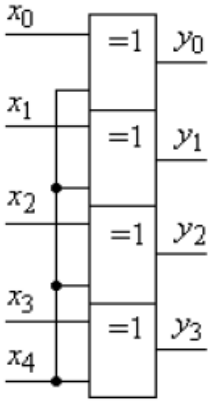


Рис. 7.19

Схема в кожному біті перетворювача реалізує операцію:

$$y_i = x_i \cdot \overline{x_4} + \overline{x_i} \cdot x_4,$$

у зв’язку з чим при наявності у знаковому розряді x_4 одиниці (від’ємне число) код порозрядно інвертується, а при $x_4 = 0$ передається без змін.

Приклад 7.10. Створити перетворювач двійкового коду в прямий код семисегментних індикаторів для відображення цифр десяткової системи числення.

Розв'язання. Умовне розміщення світлодіодів матриці семисегментного індикатора наведене на рис. 7.20.

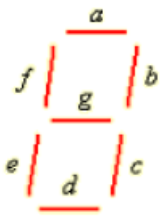


Рис. 7.20

Таблиця 7.5

N	x_3	x_2	x_1	x_0	a	b	c	d	e	f	g
0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0
1	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0
2	0	0	1	0	1	1	0	1	1	0	1
3	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	1
4	0	1	0	0	0	1	1	0	0	1	1
5	0	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1
6	0	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1
7	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
8	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1
9	1	0	0	1	1	1	1	1	0	1	1

$$a = \vee\, 0, 2, 3, 5, 6, 7, 8, 9 = \wedge 1, 4\,;$$

$$b = \vee\, 0, 1, 2, 3, 4, 7, 8, 9 = \wedge 5, 6\,;$$

$$c = \vee\, 0, 1, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 = \wedge 2\,;$$

$$d = \vee 0, 2, 3, 5, 6, 8, 9 = \wedge 1, 4, 7\,;$$

$$e = \vee\, 0, 2, 6, 8 = \wedge 1, 3, 4, 5, 7, 9\,;$$

$$f = \vee\, 0, 4, 5, 6, 8, 9 = \wedge 1, 2, 3, 7\,;$$

$$g = \vee\, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 9 = \wedge\, 0, 1, 7\,.$$

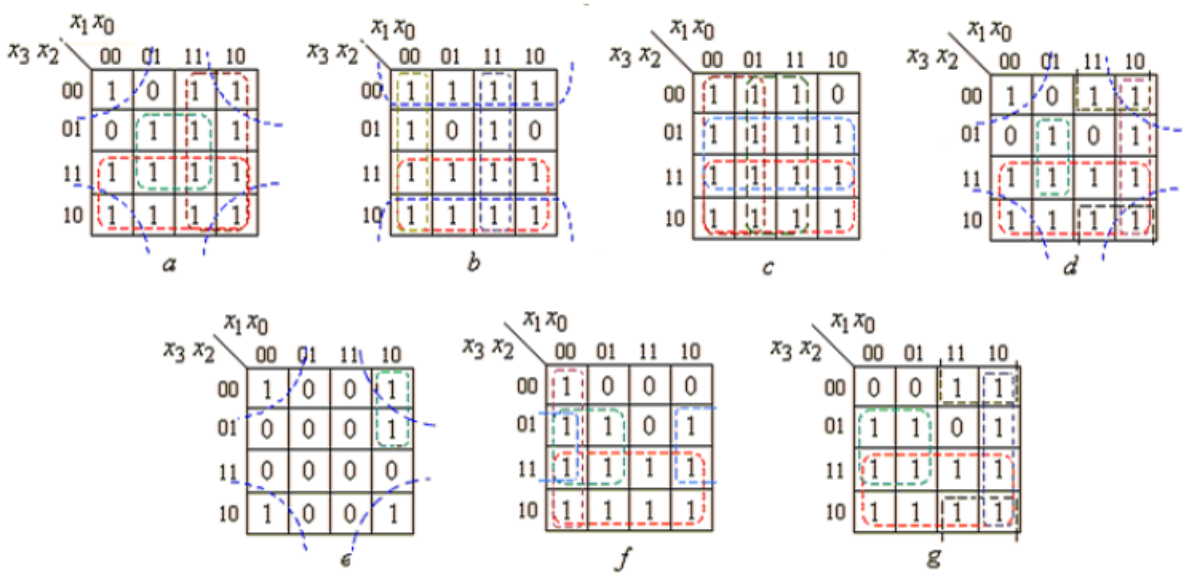


Рис. 7.21

Після мінімізації знаходимо:

$$a = x_1 + x_3 + \overline{x_2} \cdot \overline{x_0} + x_2 \cdot x_0$$

$$b = \overline{x_2} + x_3 + \overline{x_1} \cdot \overline{x_0} + x_1 \cdot x_0$$

$$c = x_3 + x_2 + \overline{x_1} + x_0$$

$$d = x_3 + \overline{x_2} \cdot \overline{x_0} + x_1 \cdot \overline{x_0} + \overline{x_3} \cdot \overline{x_2} \cdot x_1 + x_2 \cdot \overline{x_1} \cdot x_0$$

$$e = \overline{x_2} \cdot \overline{x_1} \cdot \overline{x_0} + \overline{x_3} \cdot x_1 \cdot \overline{x_0}$$

$$f = x_3 + \overline{x_1} \cdot \overline{x_0} + x_2 \cdot \overline{x_1} + x_2 \cdot x_1 \cdot \overline{x_0}$$

$$g = x_3 + x_1 \cdot \overline{x_0} + x_2 \cdot \overline{x_1} + \overline{x_3} \cdot \overline{x_2} \cdot x_1$$



Рис. 7.22

Приклад 7.11. Розробити логічну схему перетворювача прямого двійкового коду в доповнюючий.

Розв'язання. Доповнюючий код отримується інвертуванням кожного розряду прямого двійкового коду і додаванням до отриманого результату одиниці шляхом двійкової арифметики.

Карти Карно для вихідних функцій перетворювача прямого двійкового коду в доповнюючий приведені на рис. 7.23.

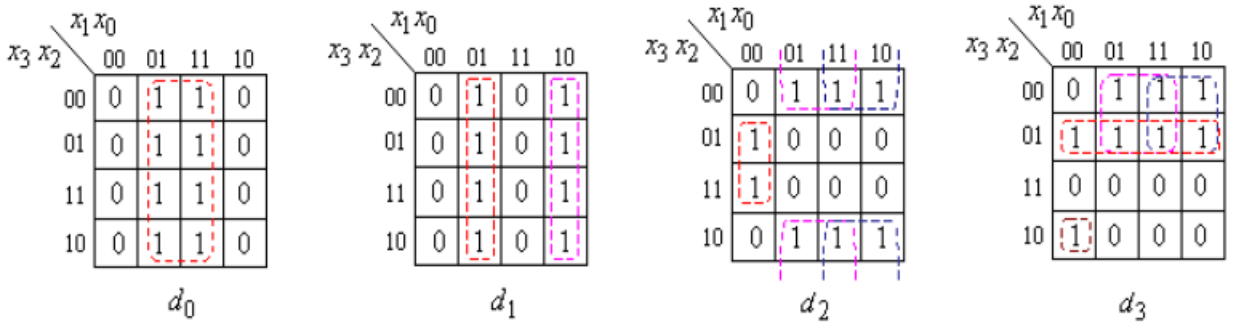


Рис. 7.23

Мінімізовані значення логічних функцій:

$$d_0 = x_0 = 0 \oplus x_0 \ ;$$

$$d_1 = \overline{x_0} \cdot x_1 + x_0 \cdot \overline{x_1} = x_0 \oplus x_1 \ ;$$

$$d_2 = x_0 \cdot \overline{x_2} + x_1 \cdot \overline{x_2} + \overline{x_0} \cdot \overline{x_1} \cdot x_2 = (x_0 + x_1) \oplus x_2 \ ;$$

$$d_3 = x_2 \cdot \overline{x_3} + x_0 \cdot \overline{x_3} + x_1 \cdot \overline{x_3} + \overline{x_0} \cdot \overline{x_1} \cdot \overline{x_2} \cdot x_3 = (x_0 + x_1 + x_2) \oplus x_3 \ .$$

$$d_i = (x_0 + x_1 + \ldots + x_{i-1}) \oplus x_i .$$

Приклад 7.12. Розробити схему шифратора для перетворення десяткового коду з клавіатури калькулятора в відповідний йому двійково-десятковий код.

Розв'язання. Приймемо, що при натисканні відповідної клавіші (0...9) низький рівень відповідного сигналу перетвориться в чотирьохрозрядний двійковий код від **0000** до **1001**. Таблиця шифратора "з 10 в 4" (і, відповідно, дешифратора "з 4 в 10") приводиться нижче (Табл. 7.6).

Таблиця 7.6

N	x_0	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9	y_3	y_2	y_1	y_0
0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1
2	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0
3	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1
4	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	0	0
5	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	0	1
6	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	0
7	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1
8	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0	0
9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	1

$$y_0 = \overline{x_1} + \overline{x_3} + \overline{x_5} + \overline{x_7} + \overline{x_9};$$
$$y_1 = \overline{x_2} + \overline{x_3} + \overline{x_6} + \overline{x_7};$$
$$y_2 = \overline{x_4} + \overline{x_5} + \overline{x_6} + \overline{x_7};$$
$$y_3 = \overline{x_8} + \overline{x_9}.$$

$$y_3 = x_3;$$
$$y_2 = x_2 \cdot \overline{x_3};$$
$$y_1 = x_1 \cdot \overline{x_2} \cdot \overline{x_3};$$
$$y_0 = x_0 \cdot \overline{x_1} \cdot \overline{x_2} \cdot \overline{x_3}.$$

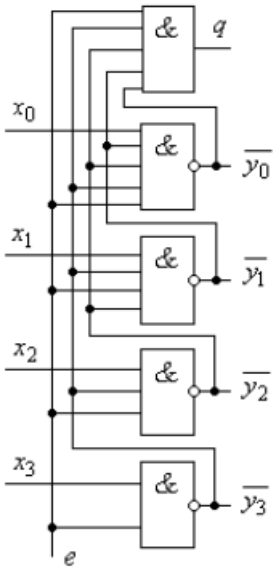


Рис. 7.24

$$y_3 = x_3 \cdot e$$

$$y_2 = x_2 \cdot e \cdot \overline{y_3} = e \cdot x_2 \cdot \overline{x_3}$$

$$y_1 = x_1 \cdot e \cdot \overline{y_2} \cdot \overline{y_3} = e \cdot x_1 \cdot \overline{x_2} \cdot \overline{x_3}$$

$$y_0 = x_0 \cdot e \cdot \overline{y_1} \cdot \overline{y_2} \cdot \overline{y_3} = e \cdot x_0 \cdot \overline{x_1} \cdot \overline{x_2} \cdot \overline{x_3}$$

$$q = e \cdot \overline{x_0} \cdot \overline{x_1} \cdot \overline{x_2} \cdot \overline{x_3}$$

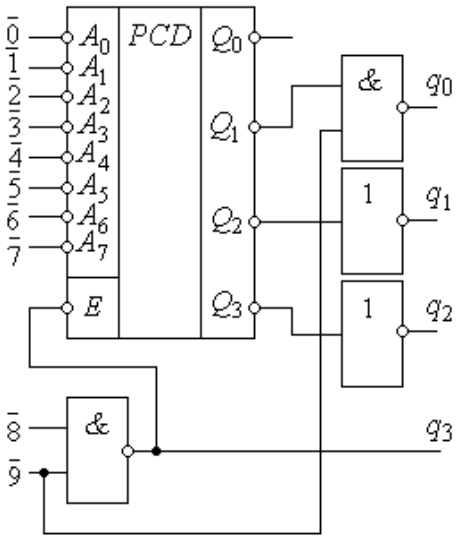


Рис. 7.25