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

Кафедра: Електроніки, інформаційних систем та програмного забезпечення

Практичне заняття №3

з __дисципліни **Цифрові логічні автомати**____

Синтез комбінаційних цифрових автоматів з урахуванням обмежень

Студента (ки) __4___ курсу, групи____________

____
(прізвище та ініціали)

Викладач __________Верьовкін Л.Л.__________

____
посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Національна шкала _____________________________

Кількість балів: ____________ Оцінка: ECTS _______

м. Запоріжжя – 2022 рік

Метою вивчення теми є засвоєння методів синтезу схем комбінаційних цифрових логічних автоматів з урахуванням обмежень.

Ключові терміни та поняття: функціонування, вхідні змінні, комбінаційна схема, модульний принцип, метод послідовної декомпозиції, швидкодія, складність схеми, форма представлення логічної функції.

План самостійного опрацювання теми.

1. Засвоїти методику синтезу схем які реалізують функцію управління.

2. Засвоїти методику аналізу комбінаційних схем методом декомпозиції.

3. Засвоїти методику аналізу параметрів синтезованих схем цифрових автоматів управління.

Для отримання максимальної оцінки рішення пунктів завдання повинно бути виконано у повному обсязі з відповідними поясненнями і оформлено стилістично і технічно грамотно.

Методика виконання завдань

Приклад 1. На інтегральних схемах 1533ЛА1 (таблиця 3.1) побудувати схему комбінаційного цифрового автомата, який реалізує функцію управління (рис. 3.2). Визначити складність N (кількість ІС), швидкодію Т (максимальний час перемикання схеми) і споживаний струм $I_{спож}$ отриманої схеми за умови, що вхідні змінні і їх інверсії задані.

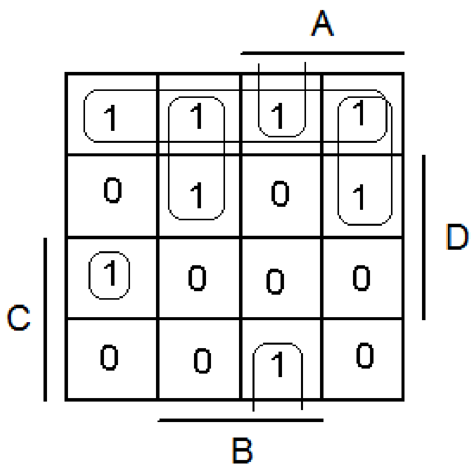


Рисунок 3.2 – Реалізація функції управління

Оскільки для побудови КС використовуються ЛЕ 4І-НІ, то слід виходити з інверсно-кон'юнктивної форми (НІ)–І–НІ–І–НІ (табл. 3.3).

Таблиця 3.3 – Різні форми представлення логічної функції

№	Форми представлення	Приклад
1а	Диз’юнктивна (МДНФ): (НІ–І–АБО)	$A\overline{B}C\overline{D}+A\overline{B}C+ABC\overline{D}$
1б	Інверсно - кон'юнктивна: (НІ)–І–НІ–І–НІ	$\overline{\overline{A\overline{B}C\overline{D}}\cdot\overline{\overline{A}BC}\cdot\overline{ABC\overline{D}}}$
1в	Інверсно - кон'юнктивна: (НІ)–АБО–І–НІ	$\overline{(A+D)\cdot(\overline{A}+C)\cdot(C+\overline{D})}$
1г	Диз'юнктивно-інверсна: (НІ)–АБО–НІ–АБО	$\overline{(A+\overline{B})}+\overline{(\overline{C}+D)}+\overline{(D+B)}$
2а	Кон’юнктивна (МКНФ): (НІ)–АБО–І)	$(\overline{A}+D)\cdot(\overline{B}+\overline{C})\cdot(A+C)$
2б	Інверсно - диз'юнктивна: (НІ)–АБО–НІ–АБО–НІ	$\overline{\overline{(\overline{A}+B)}+\overline{(C+D)}+\overline{(\overline{D}+B)}}$
2в	Інверсно - диз'юнктивна: (НІ)–І–АБО–НІ	$\overline{\overline{A}B\overline{C}+\overline{A}B\overline{C}D+\overline{B}C}$
2г	Кон'юнктивно-інверсна: (НІ)–АБО–НІ–АБО	$\overline{(A\overline{B}CD)}\cdot\overline{(\overline{B}C\overline{D})}\cdot\overline{(AB\overline{C}D)}$

Мінімальна диз’юнктивна нормальна форма функції (МДНФ) (рис. 3.2) має вигляд

$$F=\overline{C}\,\overline{D}+AB\overline{D}+A\overline{B}\,\overline{C}+\overline{A}\,\overline{B}CD+\overline{A}B\overline{C}$$

1. Для операторної форми F над правою частиною отриманої формули ставиться два знаки інверсії і за допомогою теореми де Моргана здійснюється перехід в базис І-НІ.

$$F=\overline{C}\,\overline{D}+AB\overline{D}+A\overline{B}\,\overline{C}+\overline{A}\,\overline{B}CD+\overline{A}B\overline{C}=\overline{\overline{\overline{C}\,\overline{D}=AB\overline{D}+A\overline{B}\,\overline{C}+\overline{A}\,\overline{B}CD+\overline{A}B\overline{C}}}=$$

$$=\overline{\overline{\overline{C}\,\overline{D}+AB\overline{D}+A\overline{B}\,\overline{C}+\overline{A}\,\overline{B}CD+\overline{A}B\overline{C}}}=\overline{\overline{\overline{C}\,\overline{D}}\cdot\overline{AB\overline{D}}\cdot\overline{A\overline{B}\,\overline{C}}\cdot\overline{\overline{A}\,\overline{B}CD}\cdot\overline{\overline{A}B\overline{C}}}$$

Для реалізації функції необхідно використати 8 логічних елементів або 4 інтегральні схеми.

$$F=\overline{\overline{\overline{C}\,\overline{D}}\cdot\overline{AB\overline{D}}\cdot\overline{A\overline{B}\,\overline{C}}\cdot\overline{\overline{A}\,\overline{B}CD}\cdot\overline{\overline{A}B\overline{C}}}$$

2. Простішу реализацию цієї функції можна отримати шляхом винесення за дужки змінної $\overline{D}$ з перших двох термів.

$$F=\overline{C}\,\overline{D}+AB\overline{D}+A\overline{B}\,\overline{C}+\overline{A}\,\overline{B}CD+\overline{A}B\overline{C}=\overline{D}(\overline{C}+AB)+A\overline{B}\,\overline{C}+\overline{A}\,\overline{B}CD+\overline{A}B\overline{C}=$$

$$= \overline{\overline{\overline{D}(\overline{C}+AB)+A\overline{B}\overline{C}+\overline{A}\overline{B}CD+\overline{A}B\overline{C}}} = \overline{\overline{\overline{D}(\overline{C}+AB)}\cdot\overline{A\overline{B}\overline{C}}\cdot\overline{\overline{A}\overline{B}CD}\cdot\overline{\overline{A}B\overline{C}}} =$$

$$=\overline{[\overline{\overline{D}}+\overline{(\overline{C}+AB)}]\cdot\overline{A\overline{B}\overline{C}}\cdot\overline{\overline{A}\overline{B}CD}\cdot\overline{\overline{A}B\overline{C}}} = \overline{[D+(C\cdot\overline{AB})]\cdot\overline{A\overline{B}\overline{C}}\cdot\overline{\overline{A}\overline{B}CD}\cdot\overline{\overline{A}B\overline{C}}} =$$

$$=\overline{\overline{\overline{[D+(C\cdot\overline{AB})]}}\cdot\overline{A\overline{B}\overline{C}}\cdot\overline{\overline{A}\overline{B}CD}\cdot\overline{\overline{A}B\overline{C}}} = \overline{\overline{[\overline{D}\cdot\overline{(C\cdot\overline{(AB)})}]}\cdot\overline{A\overline{B}\overline{C}}\cdot\overline{\overline{A}\overline{B}CD}\cdot\overline{\overline{A}B\overline{C}}}$$

3. Метод послідовної декомпозиції функції.

$$F = \underline{\overline{C}\overline{D}} + AB\overline{D} + A\overline{B}\overline{C} + \overline{A}\overline{B}CD + \underline{\overline{A}B\overline{C}} = AB\overline{D} + A\overline{B}\overline{C} + \overline{A}\overline{B}CD + (\overline{C}\overline{D} + \overline{A}B\overline{C}) =$$

$$= AB\overline{D} + A\overline{B}\overline{C} + \overline{A}\overline{B}CD + [\overline{C}(\overline{D} + \overline{A}B)] = \overline{\overline{AB\overline{D} + A\overline{B}\overline{C} + \overline{A}\overline{B}CD + [\overline{C}(\overline{D} + \overline{A}B)]}} =$$

$$= \overline{\overline{AB\overline{D}}\cdot\overline{A\overline{B}\overline{C}}\cdot\overline{\overline{A}\overline{B}CD}\cdot\overline{[\overline{C}(\overline{D}+\overline{A}B)]}} = \overline{\overline{AB\overline{D}}\cdot\overline{A\overline{B}\overline{C}}\cdot\overline{\overline{A}\overline{B}CD}\cdot[\overline{\overline{C}}+\overline{(\overline{D}+\overline{A}B)}]} =$$

$$\overline{\overline{AB\overline{D}}\cdot\overline{A\overline{B}\overline{C}}\cdot\overline{\overline{A}\overline{B}CD}\cdot[C+D(A+\overline{B})]} = \overline{\overline{AB\overline{D}}\cdot\overline{A\overline{B}\overline{C}}\cdot\overline{\overline{A}\overline{B}CD}\cdot[C+AD+\overline{B}D]} =$$

$$= \overline{\overline{AB\overline{D}}\cdot\overline{A\overline{B}\overline{C}}\cdot\overline{\overline{A}\overline{B}CD}\cdot\overline{\overline{[C+AD+\overline{B}D]}}} = \overline{\overline{AB\overline{D}}\cdot\overline{A\overline{B}\overline{C}}\cdot\overline{\overline{A}\overline{B}CD}\cdot\overline{[\overline{C}\cdot\overline{AD}\cdot\overline{\overline{B}D}]}} =$$

$$= \overline{f1\cdot f2\cdot f3\cdot f4} = \overline{f1\cdot f2\cdot f3\cdot(\overline{f_{41}\cdot f_{42}\cdot f_{43}})}.$$

Простішу схему можна отримати шляхом послідовних декомпозицій функції F. Для цього представимо комбінаційну схему у вигляді трьох блоків (L1, L2, L3, L4), які реалізовують функції f1, f2, f3, f4 (рис. 3.3), кожну з яких визначаємо з умов: якщо на якому-небудь з наборів значень аргументів функції f1 = f2 = f3 = f4 = 1, то на цих наборах аргументів функція F = 0; функція F = 1 якщо або f1 = 0, тоді f2, f3, f4 – можуть набувати при цьому довільного значення; або f2 = 0, тоді f1, f3, f4 – можуть приймати при цьому довільне значення; або f3 = 0, тоді f1, f2, f4 можуть набувати при цьому довільного значення; або f4 = 0, тоді f1, f2, f3 можуть набувати при цьому довільного значення.

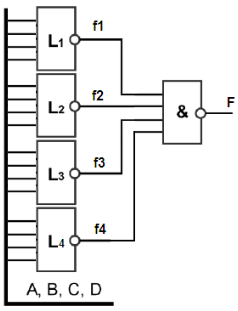


Рисунок 3.3 – Блочний вигляд комбінаційної схеми

Пояснення. У результаті перетворень функція повинна дорівнювати 1 (F=1).

$$F=\overline{f1\cdot f2\cdot f3\cdot f4}=\overline{f1\cdot f2\cdot f3\cdot \overline{(f_{41}\cdot f_{42}\cdot f_{43})}}=\overline{0\cdot 0\cdot 0\cdot 0}=\overline{0\cdot 0\cdot 0\cdot \overline{(1\cdot 1\cdot 1)}}=1.$$

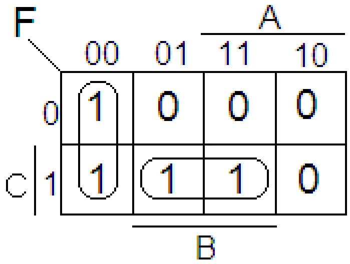
Якщо для реалізації f1, f2 і f3 буде потрібно по одному логічному елементу, то розробляєма схема буде найбільш простою.

Пояснення. Приклад з курсу «Цифрова схемотехніка»

Функція задана у вигляді ДДНФ:

$$F=ABC+\overline{A}BC+\overline{A}\overline{B}C+\overline{A}\overline{B}\overline{C}$$

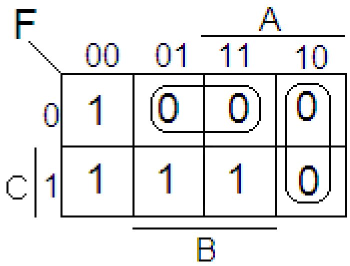
Мінімізація функції методом карт Карно:



Отримана МДНФ функції (F^1 – одиничне покриття):

$$F=\overline{A}\overline{B}+BC$$

1. Клітки карти Карно, не заняті 1, відповідають мінтермам, які входять до складу ДДНФ інверсії $\overline{F}$заданої функції. Тому, об'єднуючи клітки, не зайняті 1, можна отримати МДНФ для інверсії функції (F^0 – нульове покриття).



$$\overline{F}=A\overline{B}+B\overline{C}$$

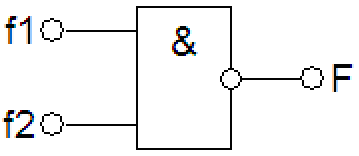
Якщо необхідно перейти до кон'юнктивної форми представлення функції МКНФ, проводимо інвертування і перетворення за теоремою де Моргана отриманої функції (F^1 – одиничне покриття):

$$F=\overline{A\overline{B}+B\overline{C}}=\overline{A\overline{B}}\cdot\overline{B\overline{C}}=(\overline{A}+B)\cdot(\overline{B}+C)$$

2. Представимо МДНФ заданої функції у інверсно-кон'юнктивній формі (НІ)–І–НІ–І–НІ:

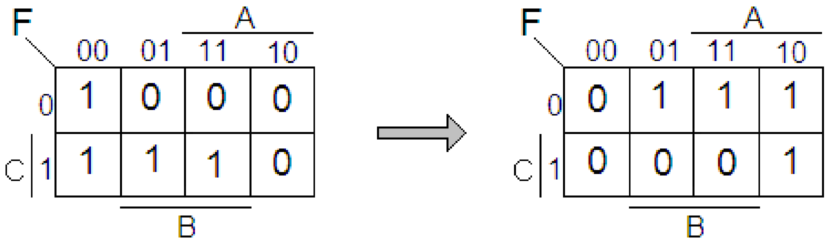
$$F = \overline{A}\,\overline{B} + BC = \overline{\overline{\overline{A}\,\overline{B} + BC}} = \overline{\overline{\overline{A}\,\overline{B}} \cdot \overline{BC}} = \overline{f1 \cdot f2}$$

Функція F дорівнює 1 коли f1 або f2 дорівнюють 0. Функція F дорівнює 0 тільки коли f1 = f2 = 1.

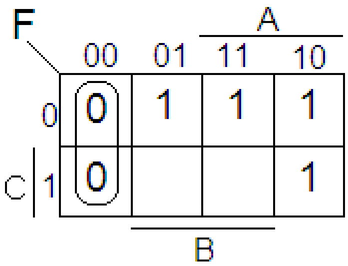


f1	f2	F
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

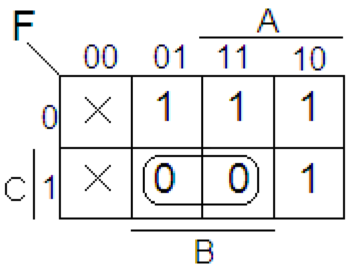
У представленому рівнянні: $f1 = \overline{\overline{A}\,\overline{B}}$, $f2 = \overline{BC}$. Так як мінтерми входять в функцію у інверсному вигляді на карті Карно змінюємо нулі на одиниці, а одиниці на нулі (принцип дуальності логічних операцій).



Представимо таблично функцію $f1 = \overline{\overline{A}\,\overline{B}}$ у вигляді нульового покриття. Для цього у відповідних клітках діаграми розміщуємо нулі, а в останніх клітках – одиниці (на рисунку вони умовно не показані).



Аналогічно визначаємо значення $f2 = \overline{BC}$. У ті клітки діаграми функцій f2, які відповідають кліткам з нулями функції f1, записуємо символи × (довільне значення).



Розглянемо варіант коли функція F дорівнює 0.

$$F=\overline{A}\,\overline{B}+BC=\overline{\overline{\overline{\overline{A}}\,\overline{\overline{B}}\cdot\overline{BC}}}=0$$

Тоді $\overline{\overline{A}}\,\overline{\overline{B}}\cdot\overline{BC}=0\cdot0=0 \;\rightarrow\; \overline{\overline{\overline{A}}\,\overline{\overline{B}}\cdot\overline{BC}}=\overline{0\cdot0}=\overline{0}=1 \;\rightarrow\; \overline{\overline{\overline{\overline{A}}\,\overline{\overline{B}}\cdot\overline{BC}}}=\overline{\overline{0\cdot0}}=\overline{\overline{0}}=\overline{1}=0.$

При цьому карта Карно має попередній не інверсний вигляд:

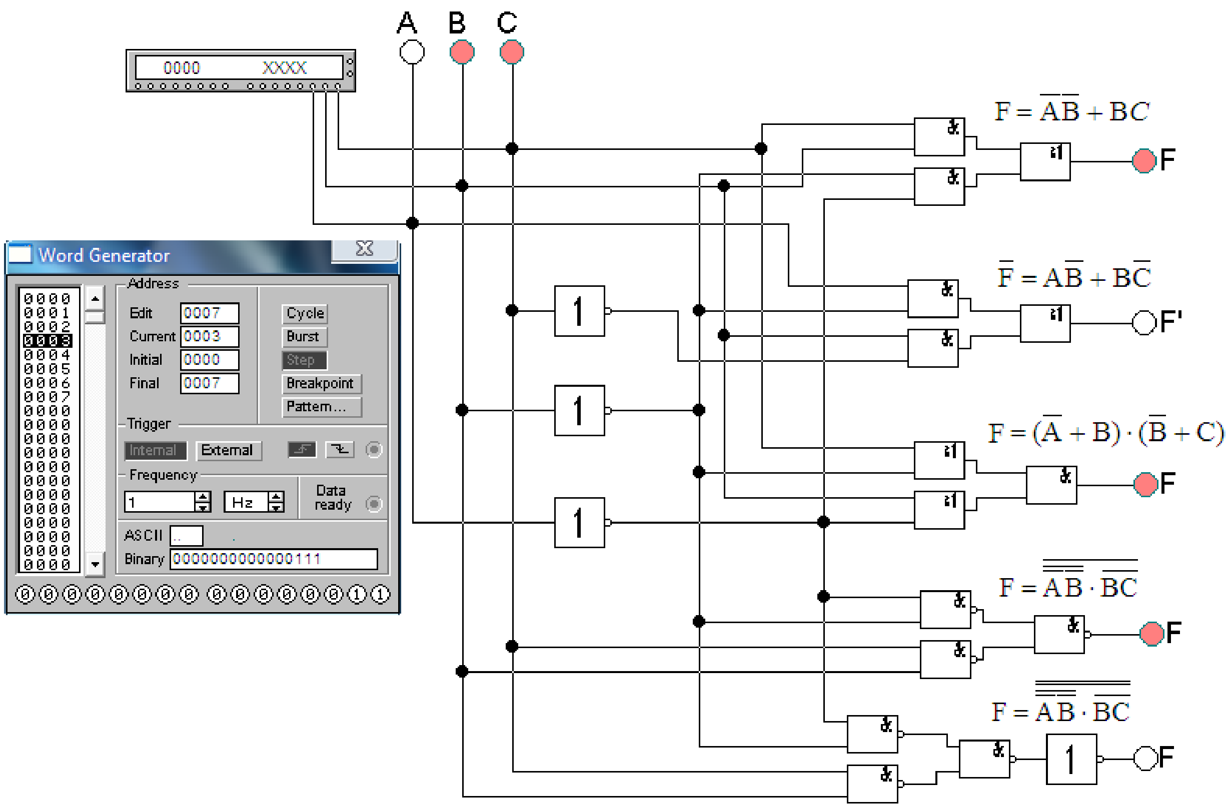
F: C \ AB	00	01	11	10
0	1	0	0	0
1	1	1	1	0

Представляємо на карті Карно інверсії мінтермів $f1=\overline{\overline{A}}\,\overline{\overline{B}}$ і $f2=\overline{BC}$

F: C \ AB	00	01	11	10
0	1	0	0	0
1	1	1	1	0

F: C \ AB	00	01	11	10
0	1	0	0	×
1	1	1	1	×

Проведемо аналіз функції у програмному забезпеченні EWB:



Функція F = 0, якщо f1 = f2 = f3 = f4 = 1, **функція F = 1, якщо хоча би одна з функцій: f1 = 0, або f2 = 0, або f3 = 0, або f4 = 0**.

Функцію f1 визначаємо так, щоб вона реалізувалася на одному логічному елементі, тобто $f1=\overline{AB\overline{D}}$. Для цього у відповідних клітках діаграми (рис. 3.4) розміщуємо нулі, а в останніх клітках – одиниці (на рисунку 3.4 вони умовно не показані). У ті клітки діаграм функцій f2. f3 і f4, які відповідають кліткам з нулями функції f1, записуємо символи × (довільне значення). Аналогічно визначаємо значення $f2=\overline{A\overline{B}\overline{C}}$ и $f3=\overline{\overline{A}\overline{B}CD}$.

Функцію f4 на одному елементі реалізувати не можна. Внаслідок цього здійснюємо її розкладання на функції f_{41}, f_{42}, f_{43} (рис. 3.4), аналогічно розкладанню F.

$$f4=\overline{\overline{C}\cdot\overline{(D\cdot\overline{\overline{A}B})}}=\overline{\overline{C}\cdot\overline{(D\cdot(A+\overline{B})}}=\overline{\overline{C}\cdot(\overline{D}+\overline{(A+\overline{B})}}=\overline{\overline{C}}+\overline{(\overline{D}+(\overline{A}\cdot B)}=$$
$$=C+(D\cdot\overline{\overline{A}B})=C+D(A+\overline{B})=\overline{\overline{C+AD+\overline{B}D}}=\overline{\overline{C}\cdot\overline{AD}\cdot\overline{\overline{B}D}}$$

F4 визначається з умови: при **f4 = 0, f_{41} = f_{42} = f_{43} = 1**, при f4 = 1, складові f_{41}, f_{42}, f_{43} можуть набувати довільне значення.

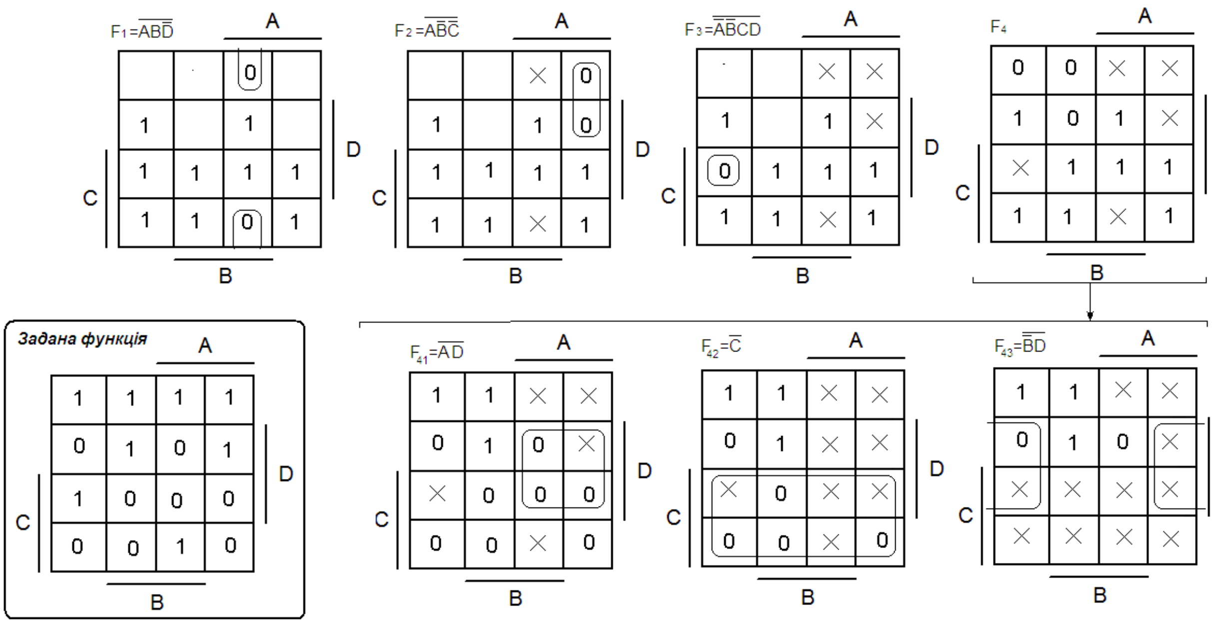


Рисунок 3.4 – Декомпозиція функції

Таким чином рівняння комбінаційного цифрового автомата:

$$F=\overline{f1f2f3f4}=\overline{f1f2f3(f_{41}f_{42}f_{43})}=\overline{\overline{(AB\overline{D})}\cdot\overline{(A\overline{B}\overline{C})}\cdot\overline{(\overline{A}\overline{B}CD)}\cdot\overline{[\overline{C}\cdot\overline{(AD)}\cdot\overline{(\overline{B}D)}]}}$$

Структурна схема комбінаційного цифрового автомата побудована на чотирьохвходових елементах І-НІ (рис. 3.5).

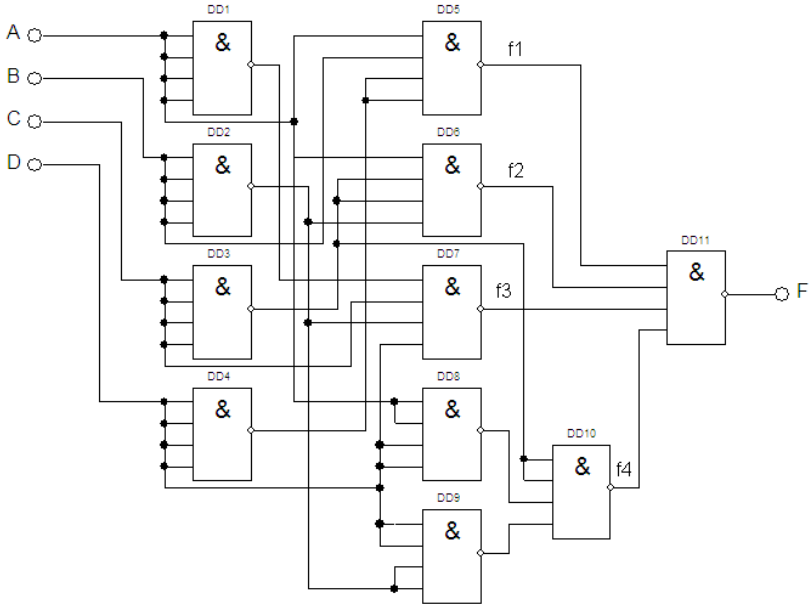


Рисунок 3.5 - Структурна схема комбінаційного цифрового автомата

Схема на інтегральних схемах 1533ЛА1 представлена на рисунку 3.6.

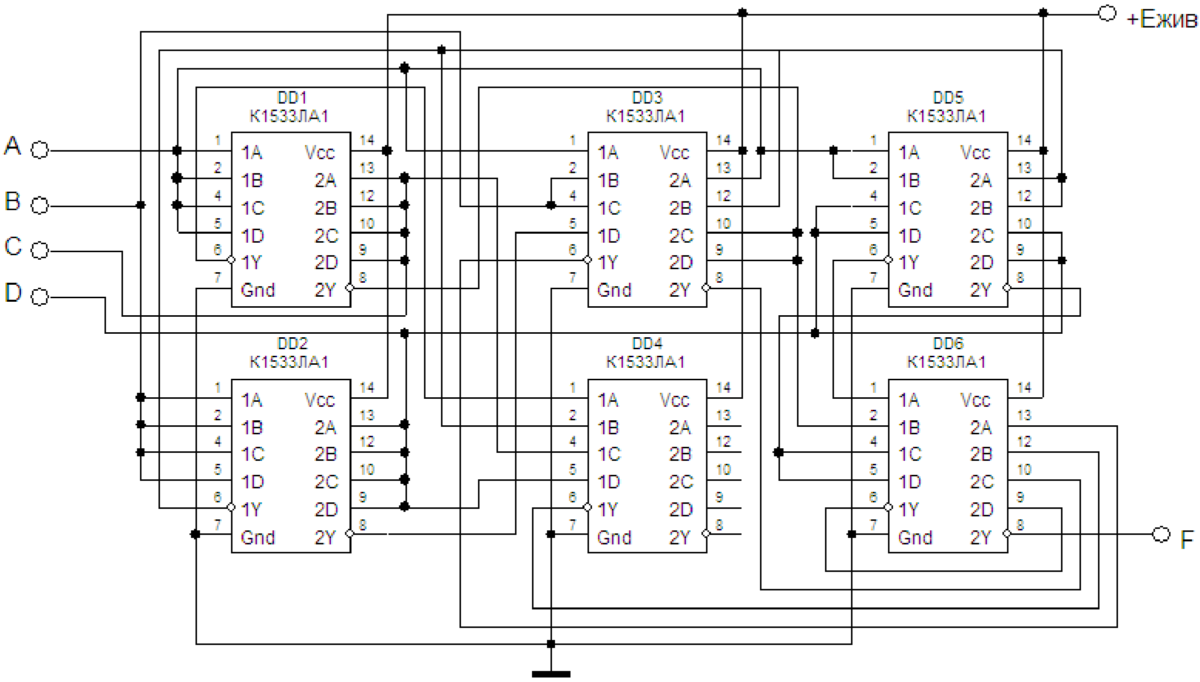


Рисунок 3.6 – Комбінаційна схема цифрового автомата, яка реалізує функцію управління

Отже, N = 4, T^{10} = 80 нс, оскільки найбільш довге коло містить 4 логічних елемента (F, f4, $\overline{B}D$, $\overline{B}$). Для підрахунку споживаного струму складемо функціональну схему (рис. 3.7), з якої виходить, що лише 2 логічних елемента можуть знаходитися в стані 0.

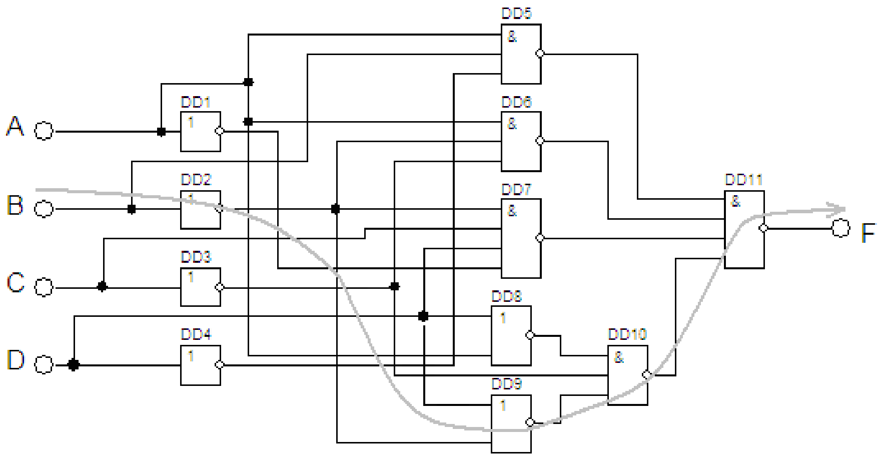


Рисунок 3.7 - Функціональна схема для розрахунку струму $I_{спож}$

Отже, максимальний струм $I_{спож}$, споживаний КС, рівний

$$I_{спож} = 2 \times I^0 + 2 \times I^1 = 2\times1{,}1+2\times0{,}4 = 3{,}0 \text{ мА.}$$

<u>Варианти завдань</u>

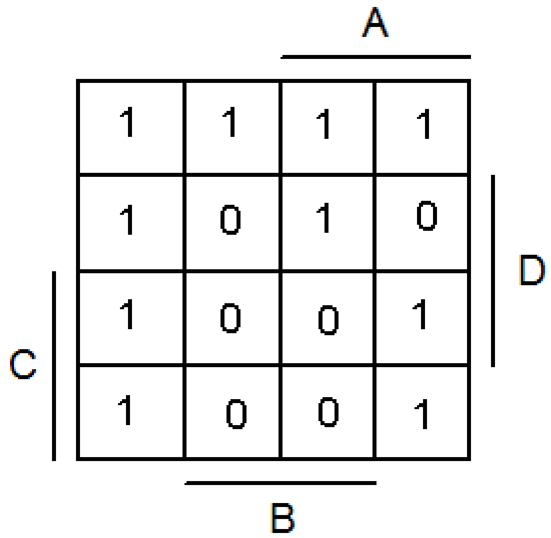
<u>Вариант 1.</u>

На інтегральних схемах 1533ЛА1 побудувати схему комбінаційного цифрового автомата, який реалізує функцію управління

			A	A	
	1	1	0	1	
	1	0	1	0	D
C	1	0	0	0	D
C	0	0	0	0	
		B	B		

Вариант 2.

На інтегральних схемах К1533ЛА3 побудувати схему комбінаційного цифрового автомата, який реалізує функцію управління



Вариант 3.

На інтегральних схемах К1533ЛА2 побудувати схему комбінаційного цифрового автомата, який реалізує функцію управління