УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ

Факультет інформаційно-керуючі системи та технології

Кафедра спеціалізованих комп'ютерних систем

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до практичних занять

з дисциплін

«*КОМП'ЮТЕРНА ЕЛЕКТРОНІКА ТА СХЕМОТЕХНІКА*», «*ЕЛЕКТРОНІКА ТА МІКРОСХЕМОТЕХНІКА*»

Харків – 2020

Методичні вказівки розглянуто і рекомендовано до друку на засіданні кафедри спеціалізованих комп’ютерних систем 17 лютого 2020 р., протокол № 9.

Методичні вказівки призначено для студентів спеціальностей 123 «Комп’ютерна інженерія» та 151 «Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології», які вивчають дисципліни «Електроніка та мікросхемотехніка», «Комп’ютерна електроніка та схемотехніка» денної та заочної форм навчання.

Методичні вказівки орієнтовані на засвоєння студентами принципів синтезу комбінаційних схем.

Укладач

доц. Л. А. Клименко

Рецензент

проф. М. А. Мірошник

ЗМІСТ

ВСТУП

Успіхи в галузі інтегральної технології не зняли з порядку денного питання про синтез комбінаційних схем, які є важливою складовою частиною всіх обчислювальних пристроїв і багатьох засобів залізничної автоматики та телемеханіки.

У цих методичних вказівках розглядаються питання синтезу комбінаційних схем у різних базисах і на комутаторах, розв'язується задача оптимізації структури функціональної схеми комбінаційної логіки методом карт Карно. Для закріплення теоретичних знань щодо синтезу комбінаційних схем у методичних вказівках подано порядок виконання завдань для практичних занять і контрольні питання з кожної теми, що вивчається.

1 ФУНКЦІЇ АЛГЕБРИ ЛОГІКИ ТА СПОСОБИ ЇХ ЗАДАННЯ

Поняття функції алгебри логіки (ФАЛ) є базовим в алгебрі логіки — математичному апараті, який використовується для опису умов функціонування, а також при перетворенні структур дискретних автоматів.

Головні аксіоми алгебри логіки, а також тотожні співвідношення, отримані на їх основі, дають змогу перетворювати логічні формули, не порушуючи еквівалентності ФАЛ.

Булева алгебра базується на кількох аксіомах, з яких одержують основні закони для перетворень ФАЛ. Кожна аксіома може бути подана у двох формах, що пов'язано із принципом дуальності (двоїстості) логічних операцій, згідно з яким операції кон'юнкції (логічного множення) та диз'юнкції (логічного додавання) дозволяють взаємну заміну, якщо одночасно замінити логічну 1 на 0, 0 на 1, знак «+» на «·», а «·» на «+» [3].

Аксіоми функції алгебри логіки

Аксіоми операції заперечення:

а) $\overline{0} = 1$;

б) $\overline{1} = 0$.

Аксіоми операцій кон'юнкції *а – в* та диз'юнкції *г – е*:

а) $0 \cdot 0 = 0$;
б) $1 \cdot 0 = 0 \cdot 1 = 0$;
в) $1 \cdot 1 = 1$;
г) $1 + 1 = 1$;
д) $0 + 1 = 1 + 0 = 1$;
е) $0 + 0 = 0$.

На відміну від інших, аксіома *г* не має аналога у двійковій арифметиці, де 1+1=10 (тут цифри мають звичайний арифметичний зміст).

Закони булевої алгебри пов'язані з аксіомами, а також мають дві форми виразів: для кон'юнкції та диз'юнкції. Тут вони подані без доведення. Їх правильність можна легко перевірити за таблицями дійсності або шляхом підстановки 0 та 1 замість відповідних значень змінних [1].

Закони функції алгебри логіки:

1 Комутативний (переставний (рос. переместительный) закон):
а) $x_1 \cdot x_2 = x_2 \cdot x_1$;
б) $x_1 + x_2 = x_2 + x_1$.

2 Асоціативний (сполучний (сочетательный) закон):
а) $x_1 \cdot (x_2 \cdot x_3) = (x_1 \cdot x_2) \cdot x_3 = x_1 \cdot x_2 \cdot x_3$;
б) $x_1 + (x_2 + x_3) = (x_1 + x_2) + x_3 = x_1 + x_2 + x_3$.

3 Ідемпотентності (повторення (повторения), тавтології):
а) $x \cdot x = x$;
б) $x + x = x$.

4 Звернення (обращения):
якщо $x_1 = x_2$, то $\overline{x_1} = \overline{x_2}$.

5 Подвійної інверсії (заперечення):
$\overline{\overline{x}} = x$.

6 Нульової множини (нулевого множества):
а) $x \cdot 0 = 0$;
б) $x + 0 = x$.

7 Універсальної множини (универсального множества):
а) $x \cdot 1 = x$;
б) $x + 1 = 1$.

8 Доповнення (дополнения):

а) $x \cdot \overline{x} = 0$;

б) $x + \overline{x} = 1$.

9 Дистрибутивний (розподільний (распределительный)):

першого роду: $x_1 \cdot (x_2 + x_3) = x_1 \cdot x_2 + x_1 \cdot x_3$;

другого роду: $x_1 + x_2 \cdot x_3 = (x_1 + x_2) \cdot (x_1 + x_3)$.

10 Поглинання (поглощения):

а) $x_1 + x_1 \cdot x_2 = x_1$;

б) $x_1 \cdot (x_1 + x_2) = x_1$.

11 Склеювання (склеивания):

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

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

12 Інверсії (правило де Моргана):

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

б) $\overline{x_1 + x_2} = \overline{x_1} \cdot \overline{x_2}$,

або після інвертування лівих та правих частин:

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

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

У практиці перетворювання логічних формул існує чіткий порядок виконання дій. У разі відсутності у виразі дужок першими мають виконуватися операції інверсії (заперечення), потім — операції кон’юнкції (логічного множення) і останніми — операції диз’юнкції (логічного додавання). Наявність у виразі дужок змінює порядок дій, і тоді в першу чергу виконуються операції в дужках.

Способи задання функції алгебри логіки

Існує ряд способів задання ФАЛ [5].

1 При **словесному описі** логічної функції мають бути перелічені сукупності одиничних і нульових наборів або вказані їх характерні властивості. *Набором* називають сукупне значення змінних. Кожному набору змінних відповідає певне значення функції. Набори змінних, на яких логічна функція набуває

значення 1, називаються *одиничними наборами*, а набори, на яких функція набуває значення 0, називають *нульовими наборами*.

Приклад словесного опису функції:

Функція трьох змінних задана одиничними і нульовими наборами. Одиничні набори містять дві або більше змінних, що дорівнюють одиниці (ці набори 011, 110, 101, 111), а решта наборів (000, 001, 010, 100) виявляються нульовими.

2 При **табличному способі** ФАЛ задають таблицею її значень залежно від значень змінних.

Кожному набору змінних відповідає певне значення функції. При трьох змінних можна утворювати вісім наборів. Отже, функція, подана в таблиці 1.1, визначена на 8 наборах. Кожний набір являє собою трирозрядне двійкове число. Коли ФАЛ містить n змінних, двійкові числа будуть n-розрядні, і загальне число наборів буде $N = 2^n$.

Таблицю, в якій для усіх наборів змінних наведено значення ФАЛ, називають *таблицею істинності*. При n змінних таблиця містить 2^nрядків (за числом наборів), n стовпців (за числом змінних) і один стовпець значень функції. Крайній лівий стовпець (номер набору) є десятковим еквівалентом двійкового набору змінних. Наприклад, у таблиці 1.1 задано ФАЛ трьох змінних: $f(x_1, x_2, x_3)$.

Таблиця 1.1

Номер набору	x_1	x_2	x_3	f
0	0	0	0	0
1	0	0	1	1
2	0	1	0	0
3	0	1	1	1
4	1	0	0	0
5	1	0	1	0
6	1	1	0	0
7	1	1	1	1

3 При **графічному (геометричному) способі** наборам значень змінних ФАЛ ставлять у відповідність точки N-вимірного простору. Множина 2^N наборів визначить множину вершин N-вимірного одиничного куба, який утворить область визначення

ФАЛ. Позначимо колами вершини одиничного куба. У колах проставляються 1 або 0 залежно від значень функції на відповідному наборі значень змінних.

4 При **координатному способі** функцію задають у вигляді координатної карти стану, яку називають «карта Карно». Карти являють собою прямокутні таблиці, розділені горизонтальними і вертикальними лініями на клітинки. Загальне число клітинок відповідає числу наборів функції. Все змінні функції розбивають на дві групи. Одна група змінних визначає вибір рядка, друга – стовпця. На перетині рядка і стовпця є клітинка, в яку записують значення функції при відповідному наборі змінних. Поділ змінних на групи здійснюється так, щоб у сусідніх клітинках набори розрізнялися тільки значенням однієї змінної. Функція f (x_1, x_2, x_3), задана таблицею істинності 1.1, може бути задана за допомогою карти Карно (рисунок 1.1).

x_1 \ x_2x_3	00	01	11	10
0		1	1	
1			1	

Рисунок 1.1 – Функція f (x_1, x_2, x_3), задана таблицею істинності, подана картою Карно

5 При **числовому способі** кожному набору змінних ставлять у відповідність певне число у двійковій системі і присвоюють десятковий номер, що дорівнює еквіваленту двійкового числа. Функцію задають у вигляді десяткових номерів тих наборів змінних, на яких вона набуває значення 1.

Функція f (x_1, x_2, x_3), подана в таблиці 1.1, може бути задана числовим способом так: f = {1, 3, 7} x_1 x_2 x_3. Звернути особливу увагу на порядок послідовності змінних.

6 При **аналітичному (алгебраїчному) способі** функцію задають у вигляді алгебраїчного виразу, що показує, які і в якій послідовності мають виконуватися логічні операції над аргументами. Алгебраїчний вираз може бути складено з наборів аргументів, на яких функція набуває значення 1, або з наборів

аргументів, на яких вона набуває значення 0. Аналітичний вираз для функції f (x_1, x_2, x_3), заданої таблицею 1.1, має вигляд:

$$f = \bar{x}_1 \ \bar{x}_2 \ x_3 \ + \bar{x}_1 \ x_2 \ x_3 \ + x_1 \ x_2 \ x_3 \ .$$

Для синтезу схем, що реалізують різні ФАЛ, найбільш зручним є аналітичний спосіб задання ФАЛ, при якому ФАЛ має вигляд алгебраїчного виразу, який отримують у результаті використання будь-яких логічних операцій до змінних функції алгебри логіки.

2 НОРМАЛЬНІ ФОРМИ ФАЛ

Існує декілька нормальних форм подання ФАЛ. Розглянемо дві з них: досконалу диз’юнктивну нормальну форму (ДДНФ) та досконалу кон’юнктивну нормальну форму (ДКНФ).

Перехід від табличного задання ФАЛ до її запису у вигляді ДДНФ проілюструємо прикладом.

Нехай функція F(x_1, x_2, x_3) задана таблицею істинності (таблиця 2.1).

Таблиця 2.1

Номер	x_1	x_2	x_3	F(x_1,x_2,x_3)
0	0	0	0	0
1	0	0	1	0
2	0	1	0	0
3	0	1	1	1
4	1	0	0	1
5	1	0	1	0
6	1	1	0	1
7	1	1	1	0

Для знаходження ДДНФ з таблиці вибирають тільки ті рядки, де стоять набори змінних, які перетворюють функцію в 1. Це 3-й, 4-й та 6-й набори. Виписують кон’юнкції, які відповідають вибраним рядкам. При цьому, якщо аргумент x_i входить до даного набору як 1, він записується в кон’юнкцію без змін. А якщо x_i входить до даного набору як 0, то у відповідну кон'юнкцію записується його заперечення: $\overline{x_1}\, x_2\, x_3$, $x_1\, \overline{x_2}\, \overline{x_3}$, $x_1\, x_2\, \overline{x_3}$.

З'єднуючи ці кон'юнкції знаками диз'юнкції, остаточно маємо:

$$F(x_1, x_2, x_3) = \overline{x_1}\, x_2\, x_3 \vee x_1\, \overline{x_2}\, \overline{x_3} \vee x_1\, x_2\, \overline{x_3}.$$

Цю саму функцію можна записати у вигляді ДКНФ. Для цього із таблиці істинності вибирають набори аргументів, на яких значення функції дорівнює 0. Виписують диз'юнкції, які відповідають названим наборам аргументів. При цьому, якщо аргумент x_i входить у даний набір як 0, він вписується у диз'юнкцію, яка відповідає набору, без змін. А якщо x_i входить у набір як 1, то у відповідну диз'юнкцію вписують його заперечення.

З таблиці 2.1 для утворення ДКНФ можна записати такі диз'юнкції: $x_1 + x_2 + x_3$, $x_1 + x_2 + \overline{}$ $x_1 + \overline{x}_2 +$ $\overline{x_1} + x_2 + \overline{}$ $\overline{x_1} + \overline{x_2} + \overline{x_3}$.

Усі отримані диз'юнкції поєднують між собою знаками кон'юнкції:

$$F_{\text{ДКНФ}} = (x_1 + x_2 + x_3)(x_1 + x_2 + \bar{x}_3)(x_1 + \bar{x}_2 + x_3)(\bar{x}_1 + x_2 + \bar{x}_3)(\bar{x}_1 + \bar{x}_2 + \bar{x}_3).$$

Вибір тієї чи іншої форми аналітичного запису визначається виглядом таблиці істинності функції. Якщо більшість значень нульові, то зручніше записувати її у вигляді ДДНФ, в іншому випадку — у ДКНФ.

3 МЕТОД КАРТ КАРНО

При розв'язанні задач мінімізації ФАЛ, які залежать від невеликої кількості змінних $(i \le 6)$, широко застосовуються графічні методи. Найбільш поширеним серед них є метод карт Карно.

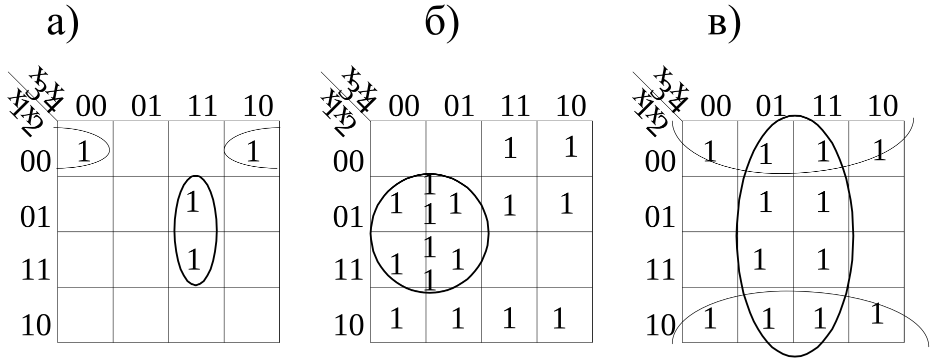
Карта Карно являє собою двокоординатну таблицю, в якій кожній клітинці поставлені у відповідність набори значень змінних логічної функції. Набори, подані сусідніми клітинками, відрізняються значенням тільки однієї змінної. Сусідніми вважаються дві клітинки, які є поряд і розташовані в одному стовпці або рядку. Нижня клітинка у будь-якому стовпці є сусідньою по відношенню до верхньої клітинки того самого стовпця, а права клітинка будь-якого рядка є сусідньою відносно лівої клітинки того самого рядка [6].

Між поданням ФАЛ у табличній (таблиця істинності), алгебраїчній (у вигляді ДДНФ та ДКНФ) та координатній (карта Карно) формах є однозначна відповідність: карта Карно має $k=2^i$ клітинок (і – кількість змінних даної ФАЛ), що дорівнює кількості рядків у таблиці істинності функції, або ж — кількості одиничних наборів змінних ДДНФ і нульових наборів змінних ДКНФ, узятих разом.

Прийнято називати клітинки карти Карно, у яких подані одиничні значення функції, одиничними, а клітинки, відповідні нульовим і невизначеним значенням функції, — нульовими і невизначеними клітинками. На карті Карно нульові значення функції звичайно не відмічаються.

Властивість сусідства у карті Карно зручно використовувати для групування окремих одиничних наборів (кон'юнктивних термів) у так звані «підкуби», або об'єднання з 2^n одиничних наборів (n = = 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6).

Підкуби утворюються з метою виключення однієї, двох або кількох змінних одиничного набору, оскільки при склеюванні кон'юнктивних термів, які входять у будь-який підкуб, здійснюється виключення однієї або кількох змінних. На рисунку 3.1 показані приклади підкубів.



а – двоклітинкові; б – чотириклітинкові;
в – восьмиклітинкові підкуби

Рисунок 3.1 – Типові підкуби на картах Карно чотирьох змінних

Щоб визначити внесок підкуба в мінімальну ФАЛ, потрібно взяти диз'юнкцію одиничних наборів змінних, що входять до підкуба. При цьому змінні, які змінюють своє значення в різних наборах, виключаються за правилом склеювання. Так, внески двоклітинкових підкубів, поданих у карті Карно (рисунок 3.1, а), будуть такі:

1-й підкуб: $\overline{x_1}\,\overline{x_2}\,\overline{x_3}\,\overline{x_4} + \overline{x_1}\,\overline{x_2}\,x_3\,\overline{x_4} = \overline{x_1}\,\overline{x_2}\,\overline{x_4}(x_3 + \overline{x_3})$, де $x_3 + \overline{x_3} = 1$;

2-й підкуб: $\overline{x_1}\,x_2\,x_3\,x_4 + x_1\,x_2\,x_3\,x_4 = x_2\,x_3\,x_4(x_1 + \overline{x_1})$, де $x_1 + \overline{x_1} = 1$.

При утворенні одиничних підкубів у карті Карно мінімальне значення функції отримується у вигляді мінімальної диз'юнктивної нормальної форми (МДНФ). Отже, для кожного підкуба записують тільки ті значення змінних, які однакові для кожного елемента підкуба (для першого підкуба x_3 різне для кожної одиниці підкуба, тому його не записують).

$$F_{МДНФ} = \overline{x_1}\,\overline{x_2}\,\overline{x_4} + x_2\,x_3\,x_4.$$

Видно, що будь-який двоклітинковий підкуб дає змогу виключити одну змінну.

Аналогічно виконується виключення змінних у чотириклітинковому та восьмиклітинковому підкубах. Для чотириклітинкових підкубів (рисунок 3.1, б):

- внесок 1-го підкуба: $\overline{x_1}\,x_3$;
- внесок 2-го підкуба: $x_2\overline{x_3}$;
- внесок 3-го підкуба: $x_1\,\overline{x_2}$.

Мінімальна функція має вигляд

$$F_{МДНФ} = \overline{x_1}\,x_3 + x_2\overline{x_3} + x_1\,\overline{x_2}.$$

Утворення восьмиклітинкового підкуба дозволяє виключити три змінні (рисунок 3.1, в):

$$F_{МДНФ} = \overline{x_2} + x_4.$$

Перелічені приклади не вичерпують усіх можливих варіантів утворення двоклітинкових, чотириклітинкових та восьмиклітинко-вих підкубів.

Утворення підкубів для отримання мінімального значення функції проводиться за таким правилом:

1) утворити двоклітинкові підкуби з наборів, які мають тільки одного сусіда;

2) із наборів, що залишились, утворити підкуби максимального розміру (величини), які не перетинаються (якщо це можливо);

3) із наборів, що залишились, утворити підкуби максимального розміру (величини), які перетинаються;

4) із наборів, які не мають жодного сусіда, утворити одноклітинкові підкуби;

5) закінчити утворення підкубів, якщо всі набори задіяні.

При використанні цього правила потрібно строго дотримуватися послідовності виконання пунктів. Для ілюстрації правила мінімізації за допомогою карт Карно розглянемо таку задачу.

Задача. Мінімізувати ФАЛ методом карт Карно

$$F=\{0, 1, 4, 5, 8, 9, 13, 15\} x_1 x_2 x_3 x_4.$$

Спочатку заповнимо карту Карно заданими одиничними наборами (рисунок 3.2, а). Дотримуючись першого пункту правила мінімізації, утворимо двоклітинковий підкуб та визначимо його внесок у мінімальну ФАЛ. Отримаємо кон’юнктивний терм: $x_1 x_2 x_4$.

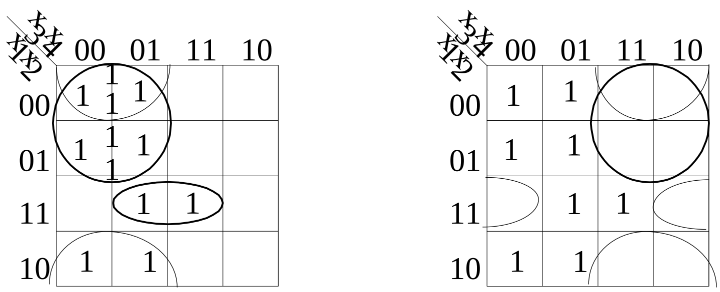
Із наборів, що залишились, неможливо утворити підкуби максимального розміру (величини), які не перетинаються. Тому пропускаємо другий пункт правила мінімізації. Однак із наборів, що залишились, можна організувати підкуби максимального розміру (величини), які перетинаються, що відповідає пункту 3 правила мінімізації. Внески чотириклітинкових підкубів у мінімальну ФАЛ такі: $\overline{x_2}\,\overline{x_3}$, $\overline{x_1}\,\overline{x_3}$.

Четвертий пункт правила мінімізації опускаємо, оскільки відсутні набори, що не мають жодного сусіда. За п'ятим пунктом правила закінчуємо процес утворення підкубів, оскільки усі набори задіяні.

Кінцевий вираз для $F_{МДНФ}$ визначається як диз'юнкція внесків усіх підкубів:

$$F_{МДНФ} = x_1\,x_2\,x_4 + \overline{x_2}\,\overline{x_3} + \overline{x_1}\,\overline{x_3}.$$

а) б)



а – підкуби для ДНФ; б – підкуби для КНФ

Рисунок 3.2 – Карта Карно

Крім мінімальної ДНФ, можна отримати мінімальну КНФ. Для цього в підкуби об'єднуються не одиничні, а нульові набори заданої ФАЛ за описаним вище правилом. Внески підкубів у мінімальну КНФ записують у вигляді диз'юнктивних термів, зв'язаних знаком кон'юнкції. Диз'юнктивний терм містить у собі диз'юнкцію змінних для відповідного набору, при цьому змінні набору беруться в інверсному вигляді. Для отримання мінімальної КНФ розглянемо ФАЛ, подану в задачі (дивись рисунок 3.2, б).

Використовуючи правило мінімізації, можна утворити один двоклітинковий та два чотириклітинкових підкуби. Їх внески в мінімальну ФАЛ будуть являти собою диз’юнктивні терми, об’єднані знаком кон’юнкції:

$$F_{МКНФ} = (\overline{x_1} + \overline{x_2} + x_4)(x_2 + \overline{x_3})(x_1 + \overline{x_3}).$$

При мінімізації методом карт Карно ФАЛ п’яти та більше змінних труднощі виникають у зв’язку з тим, що на цих картах підкуби можуть зазнавати розривів не тільки по краях, але й у середині карти Карно, оскільки кожна клітинка цієї карти має одну сусідню клітинку, яка розташована окремо (рисунок 3.3).

Карта Карно на рисунку 3.4 зображена одиничними наборами, з яких можна утворити два восьмиклітинкових підкуби, які допускають розрив не тільки по краях, але й у середині карти Карно.

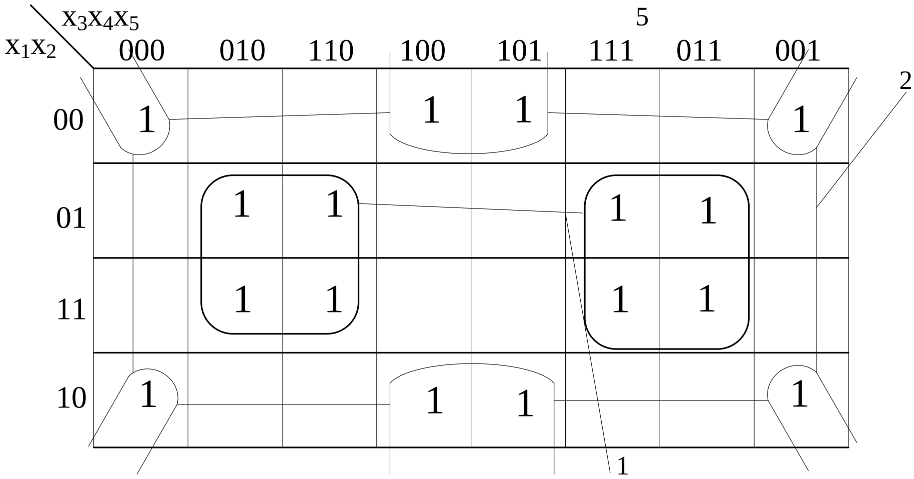
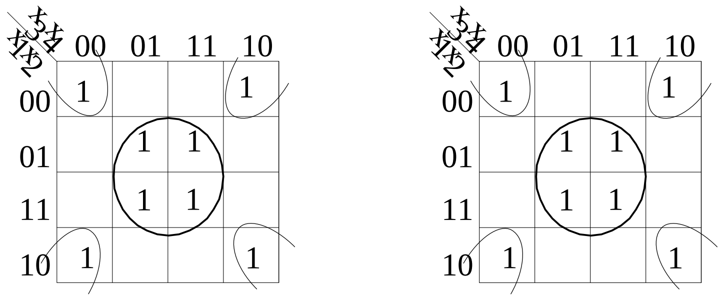


Рисунок 3.3 – Карта Карно для п’яти змінних

$$F_{МДНФ} = x_2\, x_4 + \overline{x_2}\, \overline{x_4}.$$

Цю задачу можна розв’язати іншим способом, використовуючи дві шістнадцятиклітинкові карти, а не одну тридцятидвоклітинкову (дивись рисунок 3.4). Карта, розташована на рисунку 3.4, б, відповідає дійсному значенню змінної x_5, а карта, розташована на рисунку 3.4, а, — доповненню x_5, тобто $\bar{x}_5$.

а) б)



а – x_5 (1); б – $\overline{x}_5$ (0)

Рисунок 3.4 – Карта Карно

МДНФ для першого випадку дорівнює $\overline{x_2}\,\overline{x_4}\,x_5 + x_2\,x_4\,x_5$, а для другого — $\overline{x_2}\,\overline{x_4}\,\overline{x_5} + x_2\,x_4\,\overline{x_5}$.

Загальне значення МДНФ функції п'яти змінних, наведене на рисунку 3.4, дорівнює диз'юнкції отриманих частин, що збігається зі значенням тієї самої функції, поданої на рисунку 3.3.

$$(\overline{x_2}\,\overline{x_4} + x_2\,x_4)x_5 + (\overline{x_2}\,\overline{x_4} + x_2\,x_4)\overline{x_5} =$$
$$= (\overline{x_2}\,\overline{x_4} + x_2\,x_4)(x_5 + \overline{x_5}) = \overline{x_2}\,\overline{x_4} + x_2\,x_4,$$

У випадку шести змінних для розміщення 64 наборів потрібно вже чотири шістнадцятиклітинкових карти.

4 СИНТЕЗ КОМБІНАЦІЙНИХ СХЕМ У РІЗНИХ БАЗИСАХ

У пристроях залізничної автоматики та телемеханіки, обчислювальної техніки, в тому числі у мікропроцесорах, існує багато комбінаційних схем. Під комбінаційними схемами розуміють логічні схеми, сигнал на виході яких у кожний момент часу визначається комбінацією вхідних сигналів у той самий момент часу.

Синтез комбінаційних схем полягає у визначенні таких способів поєднання деяких найпростіших схем, названих логічними елементами (таблиця 4.1), при яких побудований пристрій реалізує поставлену задачу з перетворення вхідної двійкової інформації.

Синтез комбінаційних схем поділяють на чотири етапи [2].

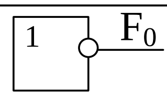
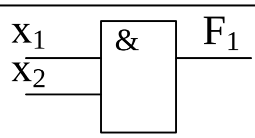
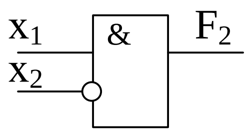
1 Утворення таблиці істинності для ФАЛ, яка описує роботу проектованої логічної схеми (найчастіше на підставі словесного опису принципу роботи).

2 Утворення математичної формули для ФАЛ, що описує роботу схеми, яку синтезують, у вигляді ДДНФ або ДКНФ (на підставі таблиці істинності) .

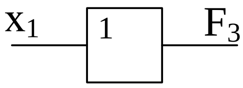
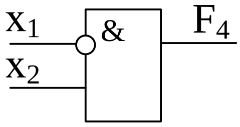
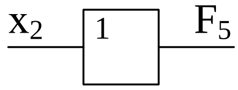
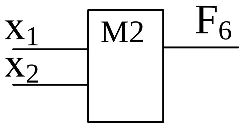
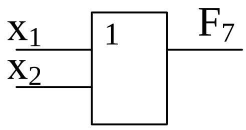
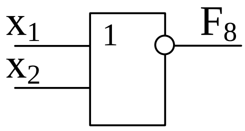
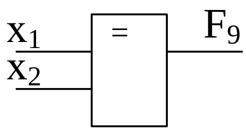
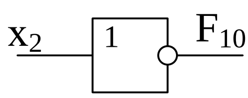
3 Аналіз отриманої ФАЛ з метою побудови різних варіантів її математичного виразу (на основі законів булевої алгебри) та знаходження найкращого з них відповідно до того чи іншого критерію. На цьому етапі здійснюється мінімізація ФАЛ.

4 Утворення функціональної (логічної) схеми пристрою з елементів, які складають вибраний базис.

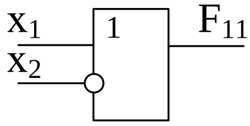
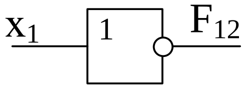
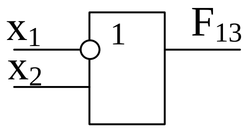
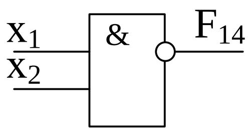
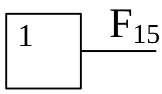
Таблиця 4.1

Логічні аргументи та функції	Значення аргументів та функцій				Найменування функції та її запис за допомогою операцій І, АБО, НІ	Найменування логічних елементів
Аргумент x_1	0	0	1	1		
Аргумент x_2	0	1	0	1		
1	2	3	4	5	6	7
F_0	0	0	0	0	Константа нуль $F_0 = 0$	 Генератор нуля
F_1	0	0	0	1	Кон'юнкція $F_1 = x_1 \cdot x_2$	 Кон'юнктор
F_2	0	0	1	0	Заборона 2-го аргументу $F_2 = x_1 \cdot \overline{x_2}$	 Елемент заборони

Продовження таблиці 4.1

1	2	3	4	5	6	7
F_3	0	0	1	1	Повторення 1-го аргументу $F_3 = x_1$	 Повторювач
F_4	0	1	0	0	Заборона 1-го аргументу $F_4 = \overline{x}_1 \cdot x_2$	 Елемент заборони
F_5	0	1	0	1	Повторення 2-го аргументу $F_5 = x_2$	 Повторювач
F_6	0	1	1	0	Нерівнозначність $F_6 = \overline{x}_1 x_2 + x_1 \overline{x}_2 = x_1 \oplus x_2$	 Суматор за модулем 2
F_7	0	1	1	1	Диз'юнкція $F_7 = x_1 + x_2$	 Диз'юнктор
F_8	1	0	0	0	Операція Пірса $F_8 = \overline{x_1 + x_2}$	 Елемент Пірса
F_9	1	0	0	1	Еквівалентність (рівнозначність) $F_9 = x_1 x_2 + \overline{x}_1 \overline{x}_2$	 Еквівалентор
F_{10}	1	0	1	0	Заперечення (інверсія) 2-го аргументу $F_{10} = \overline{x}_2$	 Інвертор

Продовження таблиці 4.1

1	2	3	4	5	6	7
F_{11}	1	0	1	1	Імплікація від 2-го аргументу до 1-го $F_{11} = x_1 + \overline{x_2}$	 Імплікатор
F_{12}	1	1	0	0	Заперечення 1-го аргументу $F_{12} = \overline{x_1}$	 Інвертор
F_{13}	1	1	0	1	Імплікація від 1-го аргументу до 2-го $F_{13} = \overline{x_1} + x_2$	 Імплікатор
F_{14}	1	1	1	0	Операція Шеффера $F_{14} = \overline{x_1 \cdot x_2}$	 Елемент Шеффера
F_{15}	1	1	1	1	Константа одиниця $F_{15}=1$	 Генератор одиниці

Синтез логічних пристроїв у різних базисах розглянемо на прикладі.

Приклад. Синтез функції, яка задана числовим способом F=*(1,2,3,5,8,10,12,14,15,20,21,22,29)*$x_1x_2x_3x_4x_5$ у базисі Шеффера. Для вихідної функції побудуємо таблицю істинності 4.2, в якій для всіх наборів змінних подано значення ФАЛ.

Таблиця 4.2 – Таблиця істинності для заданої функції

Номер	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	F
0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	1	1
2	0	0	0	1	0	1
3	0	0	0	1	1	1
4	0	0	1	0	0	0
5	0	0	1	0	1	1
6	0	0	1	1	0	0
7	0	0	1	1	1	0
8	0	1	0	0	0	1
9	0	1	0	0	1	0
10	0	1	0	1	0	1
11	0	1	0	1	1	0
12	0	1	1	0	0	1
13	0	1	1	0	1	0
14	0	1	1	1	0	1
15	0	1	1	1	1	1
16	1	0	0	0	0	0
17	1	0	0	0	1	0
18	1	0	0	1	0	0
19	1	0	0	1	1	0
20	1	0	1	0	0	1
21	1	0	1	0	1	1
22	1	0	1	1	0	1
23	1	0	1	1	1	0
24	1	1	0	0	0	0
25	1	1	0	0	1	0
26	1	1	0	1	0	0
27	1	1	0	1	1	0
28	1	1	1	0	0	0
29	1	1	1	0	1	1
30	1	1	1	1	0	0
31	1	1	1	1	1	0

Для вихідної функції запишемо ДДНФ і ДКНФ:

$$F_{сднф} = \overline{X}_1\overline{X}_2\overline{X}_3\overline{X}_4X_5 + \overline{X}_1\overline{X}_2\overline{X}_3X_4\overline{X}_5 + \overline{X}_1\overline{X}_2\overline{X}_3X_4X_5 + \overline{X}_1\overline{X}_2X_3\overline{X}_4X_5 + \overline{X}_1X_2\overline{X}_3\overline{X}_4\overline{X}_5 + \overline{X}_1X_2\overline{X}_3X_4\overline{X}_5 +$$
$$+\overline{X}_1X_2X_3\overline{X}_4\overline{X}_5 + \overline{X}_1X_2X_3X_4\overline{X}_5 + \overline{X}_1X_2X_3X_4X_5 + X_1\overline{X}_2X_3\overline{X}_4\overline{X}_5 + X_1\overline{X}_2X_3\overline{X}_4X_5 + X_1\overline{X}_2X_3X_4\overline{X}_5 + X_1X_2X_3\overline{X}_4X_5\ ; \quad (4.1)$$

$$
\begin{aligned}
F_{скнф} = {} & (X_1+X_2+X_3+X_4+X_5)(X_1+X_2+\overline{X_3}+X_4+X_5)(X_1+X_2+\overline{X_3}+\overline{X_4}+X_5)\times \\
& \times(X_1+X_2+\overline{X_3}+\overline{X_4}+\overline{X_5})(X_1+\overline{X_2}+X_3+X_4+\overline{X_5})(X_1+\overline{X_2}+X_3+\overline{X_4}+\overline{X_5})\times \\
& \times(X_1+\overline{X_2}+\overline{X_3}+X_4+\overline{X_5})(\overline{X_1}+X_2+X_3+X_4+X_5)(\overline{X_1}+X_2+X_3+X_4+\overline{X_5})\times \\
& \times(\overline{X_1}+X_2+X_3+\overline{X_4}+X_5)(\overline{X_1}+\overline{X_2}+X_3+X_4+\overline{X_5})(\overline{X_1}+\overline{X_2}+X_3+\overline{X_4}+X_5)\times \\
& \times(\overline{X_1}+\overline{X_2}+X_3+\overline{X_4}+\overline{X_5})(\overline{X_1}+\overline{X_2}+\overline{X_3}+X_4+X_5)(\overline{X_1}+\overline{X_2}+\overline{X_3}+\overline{X_4}+X_5)\times \\
& \times(\overline{X_1}+\overline{X_2}+\overline{X_3}+\overline{X_4}+\overline{X_5})\ .
\end{aligned}
\qquad (4.2)
$$

Відповідно до третього етапу складаємо карту Карно (рисунок 4.1).

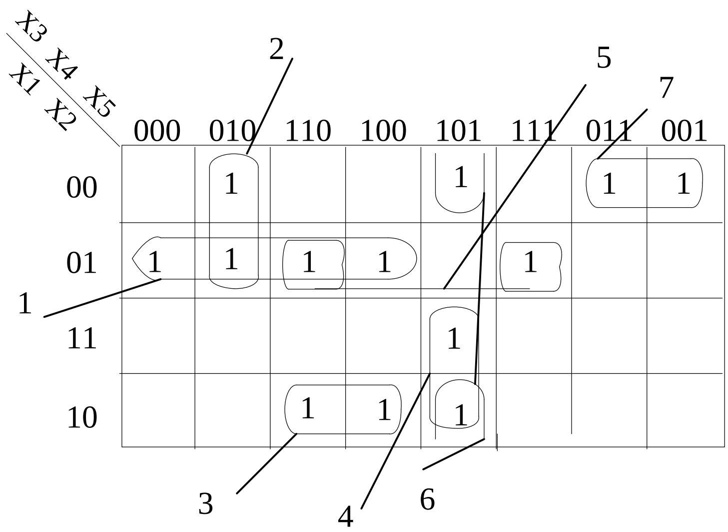


Рисунок 4.1 – Карта Карно з утвореними підкубами по одиницях

Аналітичний вираз для ФАЛ записується у вигляді диз’юнкції усіх внесків підкубів:

$$
F_{МДНФ} = \bar{x}_1 x_2 \bar{x}_5 + \bar{x}_1 \bar{x}_3 x_4 \bar{x}_5 + x_1 \bar{x}_2 x_3 \bar{x}_5 + x_1 x_3 \bar{x}_4 x_5 + \bar{x}_1 x_2 x_3 x_4 + \bar{x}_2 x_3 \bar{x}_4 x_5 + \bar{x}_1 \bar{x}_2 \bar{x}_3 x_4 \, . \qquad (4.3)
$$

Для того щоб одержати МКНФ, необхідно за ДКНФ заповнити карту Карно та у підкуби об’єднати «0». Для всіх підкубів записати аналітичний вираз їх внесків. Внесок – це диз’юнкція незалежних змінних, загальних для всіх клітинок карти Карно, що утворять підкуб. Причому, змінна в диз’юнкції записується без інверсії, якщо в координатах клітинки вона записана як «0», і з інверсією, якщо записано як «1».

Заповнена карта Карно по нулях подана на рисунку 4.2.

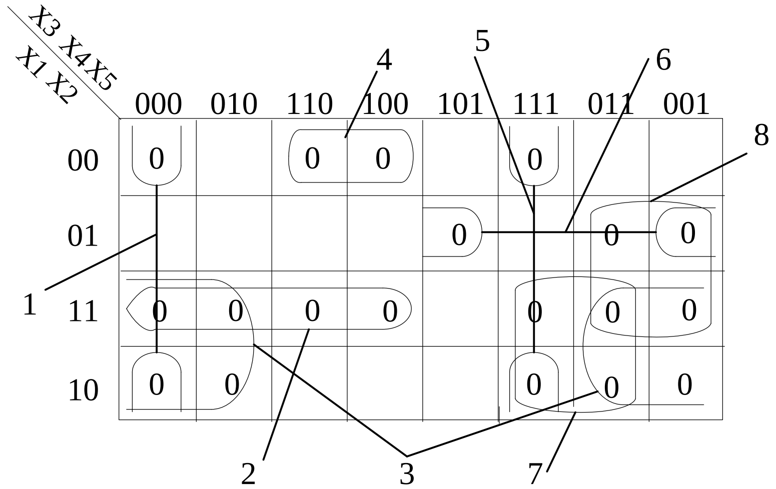


Рисунок 4.2 – Карта Карно з утвореними підкубами по нулях

Аналітичний вираз для ФАЛ записується у вигляді кон’юнкції всіх внесків підкубів:

$$F_{\text{МКНФ}} = (x_2 + x_3 + x_4 + x_5)(\bar{x}_1 + \bar{x}_2 + x_5)(\bar{x}_1 + x_3)(x_1 + x_2 + \bar{x}_3 + x_5)(x_2 + \bar{x}_3 + \bar{x}_4 + \bar{x}_5)$$
$$(x_1 + \bar{x}_2 + x_4 + \bar{x}_5)(\bar{x}_1 + \bar{x}_4 + \bar{x}_5)(\bar{x}_2 + x_3 + \bar{x}_5) \quad . \tag{4.4}$$

Відповідно до четвертого етапу складаємо функціональну схему пристрою з елементів, що утворять базис Шеффера. Базис – це сукупність елементів, функціонування яких описується елементарними функціями, що відповідають вимогам теореми про функціональну повноту. Використовуючи теорему де Моргана і беручи подвійне заперечення, одержано МДНФ.

$$F_{МДНФ} = \overline{\overline{\bar{x}_1 x_2 \bar{x}_5} \cdot \overline{\bar{x}_1 \bar{x}_3 x_4 \bar{x}_5} \cdot \overline{x_1 \bar{x}_2 x_3 \bar{x}_5} \cdot \overline{x_1 x_3 \bar{x}_4 x_5} \cdot \overline{\bar{x}_1 x_2 x_3 x_4} \cdot \overline{\bar{x}_2 x_3 \bar{x}_4 x_5} \cdot \overline{\bar{x}_1 \bar{x}_2 \bar{x}_3 x_4}} \, . \tag{4.5}$$

Складаємо схему заданої ФАЛ (рисунок 4.3).

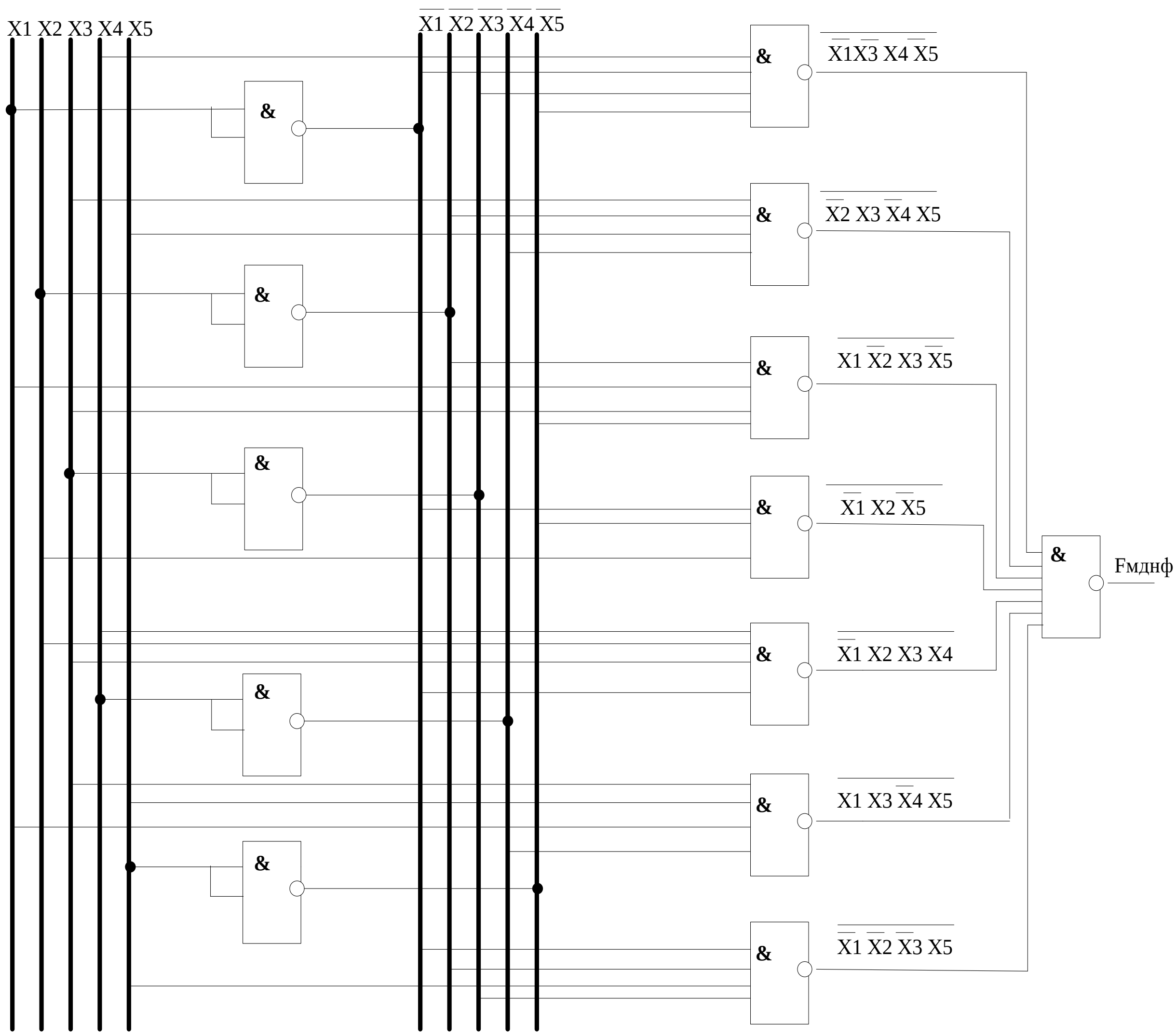


Рисунок 4.3 – Схема заданої функції на логічних елементах базису Шеффера

ПИТАННЯ І ЗАДАЧІ

1 Назвіть основні закони алгебри логіки для перетворення ФАЛ.

2 Які існують способи задання ФАЛ?

3 Які нормальні форми ФАЛ вам відомі?

4 Використання закону інверсії для перетворення однієї нор- мальної форми ФАЛ в іншу.

5 Чим відрізняється ДНФ від ДДНФ?

6 Як перейти від табличного задання ФАЛ до ДДНФ або ДКНФ і навпаки?

7 Яка роль мінімізації?

8 Які особливості мінімізації за допомогою карт Карно?

9 Яким чином формуються підкуби?

10 Назвіть основні етапи мінімізації логічних функцій методом карт Карно.

11 Чим відрізняється запис мінімальних ФАЛ при групуванні одиничних наборів ФАЛ у підкуби від нульових?

12 Доцільність використання дужкових форм ФАЛ.

13 Перетворіть задані вирази, використовуючи відомі вам теореми:

а) $F = \overline{A + B} + \overline{ABC} \cdot \overline{\overline{A}C}$;

б) $F = \overline{(AB + \overline{B}C) + (BC + \overline{A}B)}$;

в) $F = \overline{(A\,B + \overline{B}\,C)(AC + \overline{A}\,\overline{C})}$.

14 Доведіть твердження:

а) $\overline{a}b + a\overline{b} = (\overline{a} + \overline{b})(a + b)$;

б) $(ab + c)b = ab\overline{c} + \overline{a}bc + abc$;

в) $bc+ad=(a+b)(b+d)(a+c)(c+d)$;

г) $ab + abc + a\overline{b} = a$;

д) $ab + \overline{b}c = ab + \overline{b}c + ac$.

15 Використовуючи аксіоми алгебри логіки, отримайте ДНФ логічних функцій:

а) $F = \overline{\overline{\overline{x_1 + x_2\,\overline{x_3}}\;x_2} + \overline{\overline{x_1}\;x_3}\,\overline{x_2}}$;

б) $F = (\overline{\overline{\overline{x_1}\;x_2}\;\overline{x_3} + \overline{x_3}} + x_1(\overline{x_2\,x_3 + x_1}))x_2$.

16 Отримайте ДДНФ логічної функції:

$F = x_1\,\overline{x_2} + x_2\,x_3$.

17 Отримайте ДКНФ логічної функції:

$F = x_1 + \overline{x_2}\,x_3$.

18 Укажіть помилку в даному перетворенні логічної функції та знайдіть правильне рішення:

$F = \overline{\overline{x_1}\;\overline{x_2} + x_1\,x_3} = \overline{x_1\,x_2}\,\overline{x_1}\;\overline{x_3} = \overline{x_1} + \overline{x_2}\,\overline{x_1}\;\overline{x_3} = \overline{x_1}$.

19 Перетворіть функцію, задану в деякій вільній формі, у ДДНФ та ДКНФ:

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

20 Який набір ФАЛ називається функціонально повним?

21 Назвіть основні властивості ФАЛ.

22 Сформулюйте теорему про функціональну повноту.

23 Що називається логічним базисом?

24 На основі яких елементів утворені базиси Пірса та Шеффера?

25 Назвіть етапи синтезу комбінаційних схем.

Порядок виконання синтезу комбінаційних схем у різних базисах

1 Закріплення теоретичних знань щодо синтезу комбінаційних схем у базисах І-НІ, АБО-НІ.

За варіантом з таблиці А.1 вибрати вихідну функцію алгебри логіки (ФАЛ), яка задана числовим способом.

2 Побудувати таблицю істинності та подати вихідну функцію у ДДНФ та ДКНФ.

3 Мінімізувати функцію за допомогою методу карт Карно і записати її у вигляді МДНФ та МКНФ.

4 Отримані МДНФ та МКНФ перетворити у форму, зручну для реалізації у потрібному базисі. (Базис, в якому будується ФАЛ і схема, задає викладач).

5 Побудувати комбінаційну схему у заданому базисі.

5 СИНТЕЗ КОМБІНАЦІЙНИХ СХЕМ НА БАЗІ КОМУТАТОРІВ (МУЛЬТИПЛЕКСОРІВ)

Комутатором або мультиплексором називається комбінаційний пристрій, що має декілька входів і один вихід, призначений для комутації в бажаному порядку сигналів з декількох вхідних шин на одну вихідну. За допомогою мультиплексора здійснюється часовий поділ інформації, що надходить різними каналами. Комутатор можна уподібнити до безконтактного багатопозиційного перемикача [3].

Входи мультиплексора діляться на інформаційні, адресні і дозвільні (стробувальні). На інформаційні входи подається інформація, передавана на вихід мультиплексора. Адресні входи допомагають вибирати потрібний інформаційний вхід, а на дозвільний вхід подається стробувальний сигнал, що дозволяє підключення вибраного входу на один загальний вихід [5].

Число інформаційних і адресних входів взаємозв'язане. Якщо число адресних входів n, то за їх допомогою можна комутувати 2n каналів, тобто число інформаційних входів 2n, а дозвільний вхід, як правило, один. За відсутності дозвільного сигналу, тобто C=0, а в деяких мультиплексорах при C=1, зв'язок між інформаційними входами і виходом відсутній.

Наявність дозвільного входу дає змогу синхронізувати роботу мультиплексора з роботою інших вузлів, а також нарощувати його розрядність.

Залежно від кількості інформаційних входів розрізняють комутатори: К4-1, К8-1 і К-16-1.

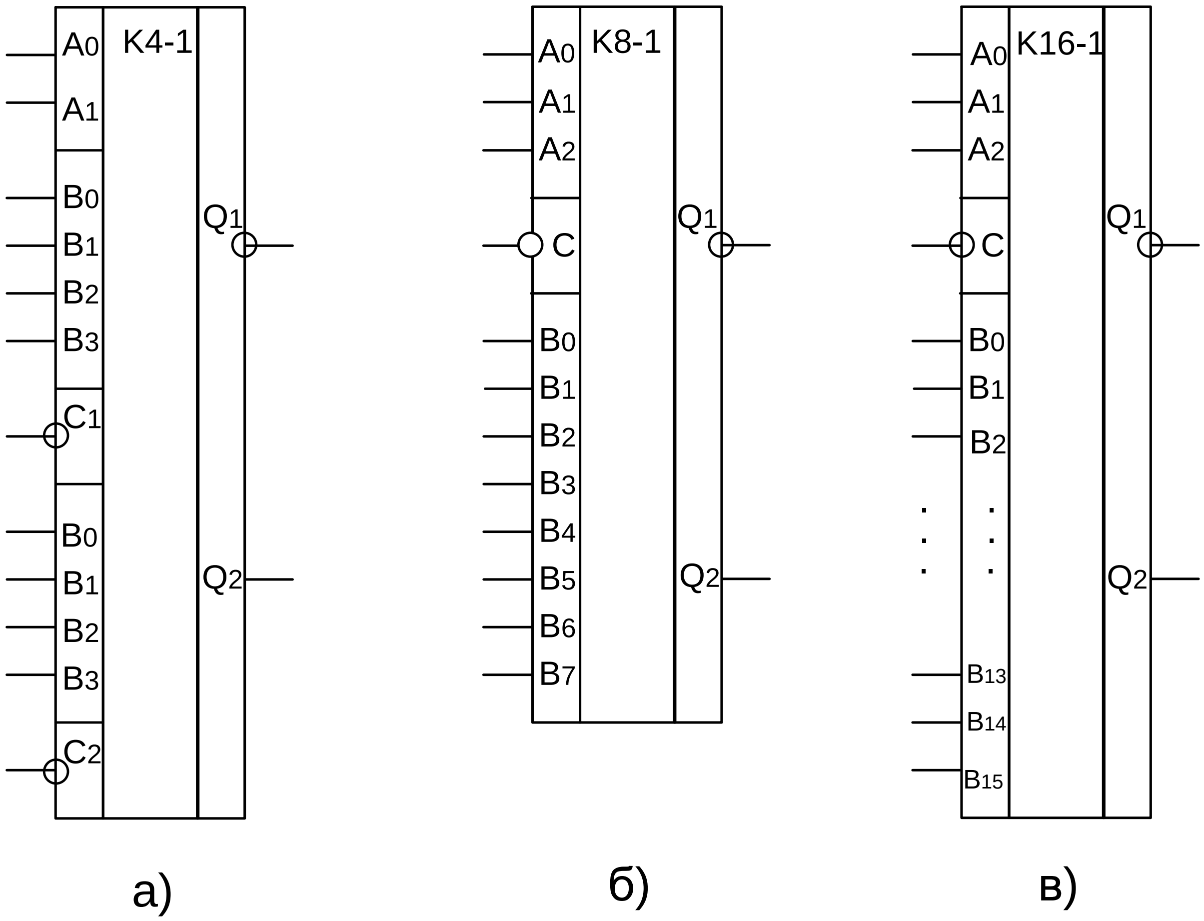
Рівняння комутаторів 1 з 4, 1 з 8, 1 з 16 можна записати таким чином:

$$F_{1\text{-}4} = \overline{A_1}\,\overline{A_0}B_0 + \overline{A_1}\,A_0B_1 + A_1\overline{A_0}B_2 + A_1A_0B_3; \tag{5.1}$$

$$\begin{aligned} F_{1\text{-}8} = {} & \overline{A_2}\,\overline{A_1}\,\overline{A_0}B_0 + \overline{A_2}\,\overline{A_1}\,A_0B_1 + \overline{A_2}\,A_1\,\overline{A_0}B_2 + \\ & + \overline{A_2}\,A_1\,A_0B_3 + A_2\,\overline{A_1}\,\overline{A_0}B_4 + A_2\,\overline{A_1}\,A_0B_5 + \\ & + A_2\,A_1\,\overline{A_0}B_6 + A_2\,A_1\,A_0B_7; \end{aligned} \tag{5.2}$$

$$\begin{aligned} F_{1\text{-}16} = {} & \overline{A_3}\,\overline{A_2}\,\overline{A_1}\,\overline{A_0}B_0 + \overline{A_3}\,\overline{A_2}\,\overline{A_1}\,A_0B_1 + \overline{A_3}\,\overline{A_2}\,A_1\,\overline{A_0}B_2 + \\ & + \overline{A_3}\,\overline{A_2}\,A_1\,A_0B_3 + \overline{A_3}\,A_2\,\overline{A_1}\,\overline{A_0}B_4 + \overline{A_3}\,A_2\,\overline{A_1}\,A_0B_5 + \\ & + \overline{A_3}\,A_2\,A_1\,\overline{A_0}B_6 + \overline{A_3}\,A_2\,A_1\,A_0B_7 + A_3\,\overline{A_2}\,\overline{A_1}\,\overline{A_0}B_8 + \\ & + A_3\,\overline{A_2}\,\overline{A_1}\,A_0B_9 + A_3\,\overline{A_2}\,A_1\,\overline{A_0}B_{10} + A_3\,\overline{A_2}\,A_1\,A_0B_{11} + \\ & + A_3\,A_2\,\overline{A_1}\,\overline{A_0}B_{12} + A_3\,A_2\,\overline{A_1}\,A_0B_{13} + A_3\,A_2\,A_1\,\overline{A_0}B_{14} + \\ & + A_3\,A_2\,A_1\,A_0B_{15}. \end{aligned} \tag{5.3}$$

Умовне позначення таких комутаторів наведено на рисунку 5.1.



а – комутатор К4-1; б – комутатор К8-1; в – комутатор К16-1

Рисунок 5.1 – Типи комутаторів

Приклад 1. Реалізувати функцію за допомогою комутатора 1 з 8.

$$F_4 = x_1 \overline{x_2} x_3 + \overline{x_1} x_2 \overline{x_3} + x_2 \overline{x_3} x_4 + \overline{x_2} x_3 \overline{x_4} + x_1 \overline{x_3} x_4 + x_1 x_2 \overline{x_4}.$$

Аналіз таблиці істинності цієї функції (таблиця 5.1) вказує, що вона буде реалізована за допомогою комутатора 1 з 8 у тому випадку, коли на керуючі входи A_2 A_1 A_0 подати змінні x_1 x_2 x_3, а на відповідні інформаційні входи — сигнали, які підключаються до виходу комутатора: B_0 - 0, B_1 - $\overline{x_4}$, B_2 - 1, B_3 - 0, B_4 - x_4, B_5 - 1, B_6 - 1, B_7 - $\overline{x_4}$, що показано на рисунку 5.1.

Таблиця 5.1

x_1	x_2	x_3	x_4	F_4	B
0	0	0	0	0	B_0
0	0	0	1	0	B_0
0	0	1	0	1 ($\overline{x_4}$)	B_1
0	0	1	1	0 ($\overline{x_4}$)	B_1
0	1	0	0	1	B_2
0	1	0	1	1	B_2
0	1	1	0	0	B_3
0	1	1	1	0	B_3
1	0	0	0	0 (x_4)	B_4
1	0	0	1	1 (x_4)	B_4
1	0	1	0	1	B_5
1	0	1	1	1	B_5
1	1	0	0	1	B_6
1	1	0	1	1	B_6
1	1	1	0	1 ($\overline{x_4}$)	B_7
1	1	1	1	0 ($\overline{x_4}$)	B_7

На підставі викладеного можна сформулювати правило.

Правило 1. Для реалізації ФАЛ трьох, чотирьох або п’яти змінних відповідно на комутаторі 1 з 4, 1 з 8, 1 з 16 необхідно:

1) скласти таблицю істинності ФАЛ;

2) сигнали, відповідні i–1 змінним (i=3, 4 або 5), подати на керуючі входи комутатора (i – індекс молодшої змінної);

3) на інформаційні входи комутатора відповідно до таблиці істинності ФАЛ подати сигнали з множини $\{0, 1, x_i, \overline{x_i}\}$.

Наявність у комутатора стробувального входу (вхід, позначений літерою С) дозволяє значно поширити їхні логічні можливості. Для ілюстрації (рисунок 5.2) цього положення перетворимо вираз (5.2) таким чином:

$$F_{1\text{-}8} = (B_0\,\overline{A_1}\,\overline{A_0} + B_2\,\overline{A_1}\,A_0 + B_4\,A_1\,\overline{A_0} + B_6\,A_1\,A_0)\overline{A_2} +$$
$$+(B_1\,\overline{A_1}\,\overline{A_0} + B_3\,\overline{A_1}\,A_0 + B_5\,A_1\,\overline{A_0} + B_7\,A_1\,A_0)A_2\,.$$

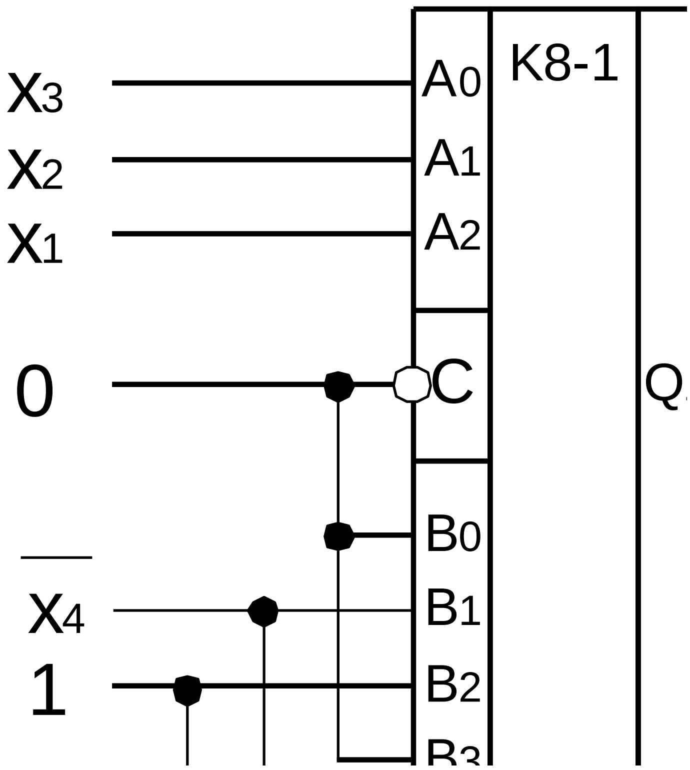


Рисунок 5.2 – Реалізація ФАЛ чотирьох змінних
на комутаторі 1 з 8

На підставі викладеного сформулюємо друге правило.

Правило 2. Для реалізації ФАЛ чотирьох, п’яти або шести змінних відповідно на двох комутаторах 1 з 4, 1 з 8, 1 з 16 необхідно [4]:

1) пронумерувати змінні від 1 до i, де i = 4, 5 або 6 (i – індекс молодшої змінної);

2) скласти таблицю істинності заданої функції;

3) сигнали, відповідні i–2 змінним, подати рівнобіжно на керуючі входи двох комутаторів;

4) сигнал, відповідний змінній з індексом i–1, подати на стробувальний вхід першого комутатора і через інвертор — на стробувальний вхід другого комутатора;

5) на інформаційні входи комутаторів відповідно до таблиці істинності ФАЛ подати сигнали з множини $\{0, 1, x_i, \overline{x_i}\}$;

6) прямі виходи комутаторів об’єднати елементом АБО.

Приклад 2. Реалізувати ФАЛ, що задана аналітичним способом, залежить від п'яти змінних і має вигляд:

$$f = x_2\bar{x}_5 + \overline{\bar{x}_1(\bar{x}_3 + x_4)} + \bar{x}_2\overline{(x_1 + x_5)}.$$

Синтез комбінаційних схем за допомогою комутаторів проводиться кількома етапами:

1 Словесний опис роботи пристрою. В нашому випадку функція задана аналітичним способом і словесного опису не потребує.

2 Складання таблиці істинності. Складемо для функції таблицю істинності 5.2. Для того щоб її скласти, спочатку необхідно надати функції однієї з нормальних форм, тобто позбутися загальних і групових інверсій з використанням аксіом та законів ФАЛ:

$$f = x_2\bar{x}_5 + \overline{\bar{x}_1(\bar{x}_3 + x_4)} + \bar{x}_2\overline{(x_1 + x_5)} = x_2\bar{x}_5 + x_1 + \overline{(\bar{x}_3 + x_4)} + \bar{x}_2(\bar{x}_1 \cdot \bar{x}_5) =$$
$$= x_2\bar{x}_5 + x_1 + x_3\bar{x}_4 + \bar{x}_2\bar{x}_1\bar{x}_5 \ .$$

Таблиця 5.2 – Таблиця істинності функції

N	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	F	B	N	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	F	B
0	0	0	0	0	0	1	$B=\bar{x}_5$	16	1	0	0	0	0	1	B=1
1	0	0	0	0	1	1		17	1	0	0	0	1	1	
2	0	0	0	1	0	1	$B=\bar{x}_5$	18	1	0	0	1	0	1	B=1
3	0	0	0	1	1	1		19	1	0	0	1	1	1	
4	0	0	1	0	0	0	B=1	20	1	0	1	0	0	1	B= 1
5	0	0	1	0	1	1		21	1	0	1	0	1	1	
6	0	0	1	1	0	0	$B=\bar{x}_5$	22	1	0	1	1	0	1	B= 1
7	0	0	1	1	1	0		23	1	0	1	1	1	1	
8	0	1	0	0	0	0	$B=\bar{x}_5$	24	1	1	0	0	0	1	B= 1
9	0	1	0	0	1	1		25	1	1	0	0	1	1	
10	0	1	0	1	0	0	$B=\bar{x}_5$	26	1	1	0	1	0	1	B= 1
11	0	1	0	1	1	0		27	1	1	0	1	1	1	
12	0	1	1	0	0	0	B=1	28	1	1	1	0	0	1	B=1
13	0	1	1	0	1	1		29	1	1	1	0	1	1	
14	0	1	1	1	0	0	$B=\bar{x}_5$	30	1	1	1	1	0	1	B=1
15	0	1	1	1	1	0		31	1	1	1	1	1	1	

За правилом 1 одержана схема, зображена на рисунку 5.3, де на керуючі входи комутатора К16-1 подані старші змінні (x_1 x_2 x_3 x_4) заданої ФАЛ, а на інформаційні – сигнали з множини {0, 1, x_5, $\overline{x_5}$ }.

Для реалізації цієї самої ФАЛ на двох комутаторах К8-1 необхідно скористатися правилом 2.

3 На підставі отриманих результатів будується комбінаційна схема на комутаторах, яка наведена на рисунку 5.3.

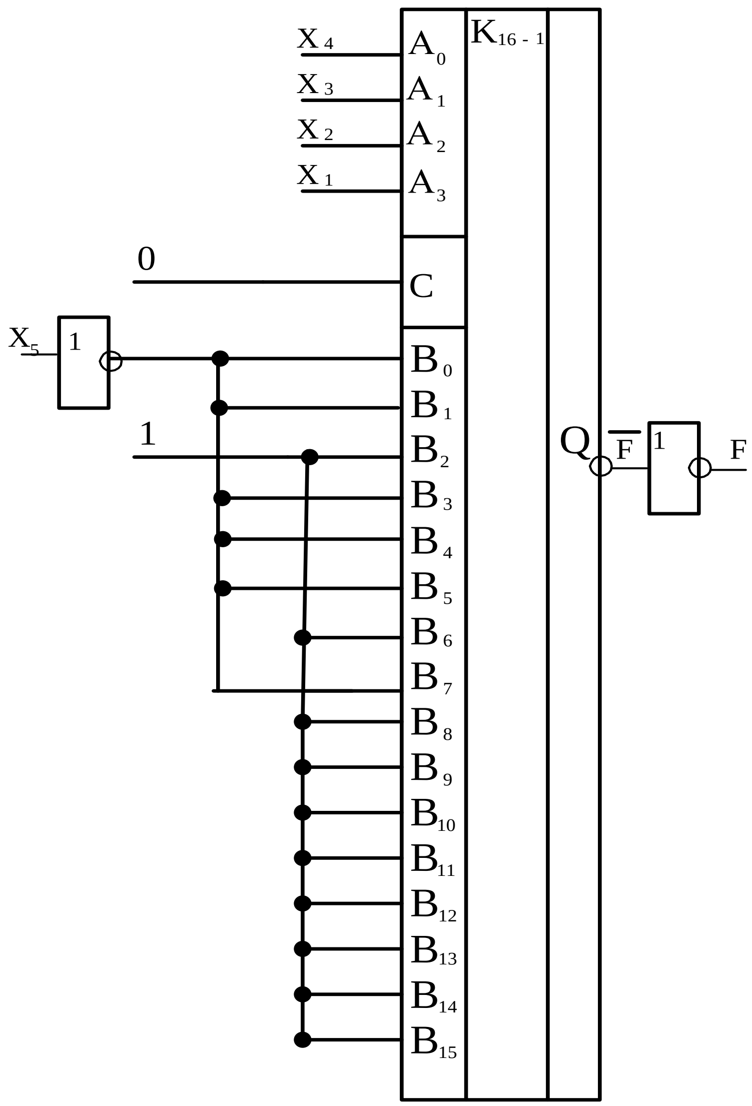


Рисунок 5.3 – Комбінаційна схема на комутаторі

Згідно з побудованою таблицею істинності (таблиця 5.2) старші змінні (x_1, x_2, x_3) подати рівнобіжно на керуючі входи двох комутаторів К8-1, сигнал x_4 надходить на стробувальний вхід С комутатора D1 і через інвертор D3 – на вхід С комутатора D2. Таким чином забезпечується почергова робота обох комутаторів. На інформаційні входи відповідно до таблиці 5.2 подаються сигнали з множини {0, 1, x_5, $\overline{x_5}$ }.

Щоб отримати сумарне значення функції F, треба виходи комутаторів об’єднати елементом АБО, реалізованим у базисі Пірса (D4, D5). Відповідну схему одержано на рисунку 5.4.

$$F = x_1 x_2 x_3 + x_1 x_2 x_4 + x_1 x_2 x_5 + x_1 x_3 x_4 + x_1 x_3 x_5 +$$
$$+ x_1 x_4 x_5 + x_2 x_3 x_4 + x_2 x_3 x_5 + x_2 x_4 x_5 + x_3 x_4 x_5 .$$

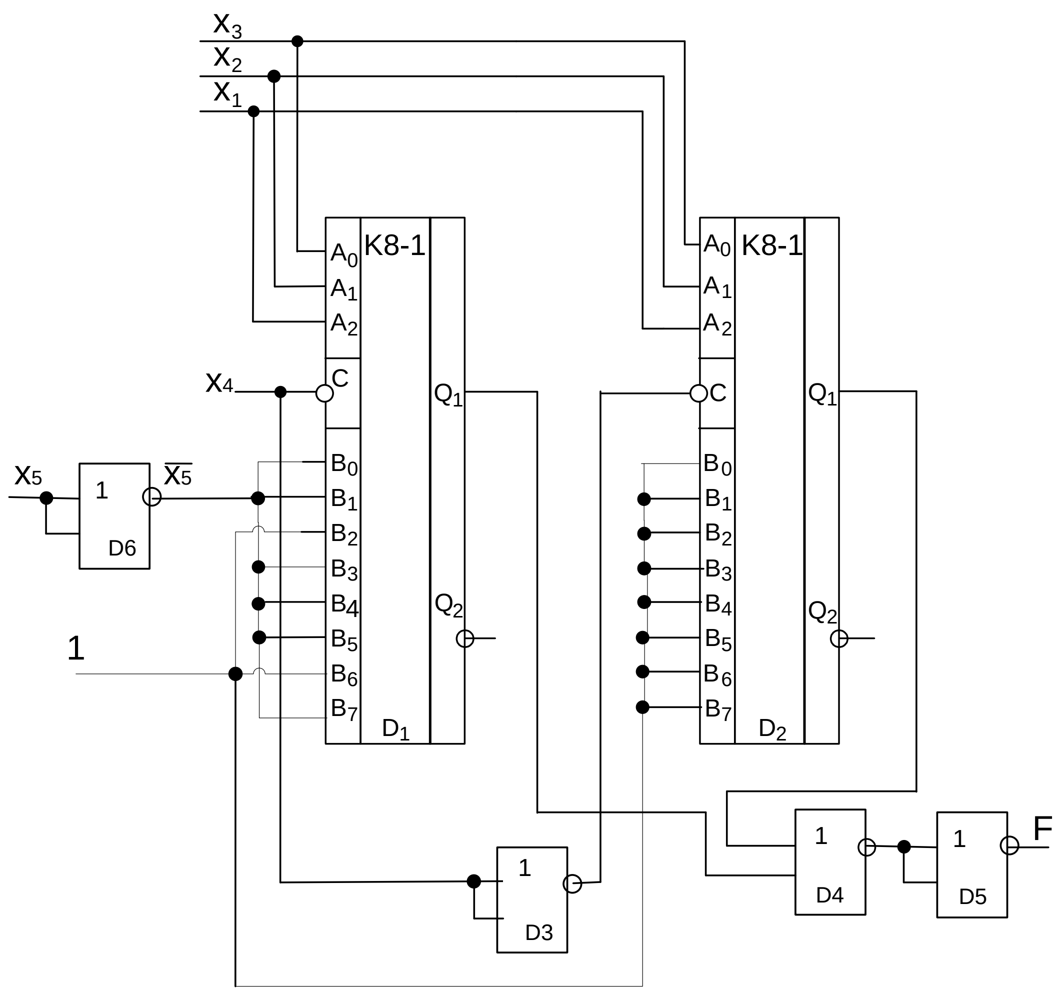


Рисунок 5.4 – Реалізація ФАЛ п’яти змінних на двох комутаторах 1 з 8 (приклад 2)

ПИТАННЯ І ЗАДАЧІ

1 Що називається комутатором?
2 Які входи має комутатор?
3 Принцип дії комутатора.
4 Правила реалізації схем на комутаторах
5 Використання формули розкладання при реалізації ФАЛ за допомогою двох комутаторів.
6 Чи застосовується мінімізація ФАЛ при побудові комбінаційних схем на комутаторах?
7 Яким чином використовується стробувальний вхід комутаторів?
8 Які типи комутаторів вам відомі?
9 Реалізувати ФАЛ на комутаторі 1 з 4:

$F = x_2 + \overline{x_1}\,\overline{x_2}$.

10 Реалізувати ФАЛ на комутаторі 1 з 8 та окремо на двох комутаторах 1 з 4:

$F=\{2, 4, 5, 6, 7, 9, 10\}x_1 x_2 x_3 x_4$.

11 Реалізувати ФАЛ на комутаторі 1 з 16:

$F=\{0, 1, 5, 6, 8, 10, 14, 15\}x_1 x_2 x_3 x_4$.

Порядок виконання синтезу комбінаційних схем на комутаторах

1 Закріплення теоретичних знань щодо синтезу комбінаційних схем на мікросхемах середнього ступеня інтеграції – комутаторах (мультиплексорах (MUX)).

За варіантом з таблиці А.2 вибрати вихідну функцію алгебри логіки (ФАЛ), яка задана алгебраїчним способом.

2 За допомогою аксіом та законів ФАЛ перетворити та мінімізувати задану функцію.

3 Побудувати таблицю істинності та подати вихідну функцію і сигнали для входів мультиплексорів.

4 Побудувати комбінаційну схему на заданому мультиплексорі (комутаторі).

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1 Торба А. А. Аналогова та цифрова електроніка : навч. посіб. – Харків : СМІТ, 2010. 432 с.

2 Методичні вказівки до практичних занять з курсу «Аналогова та цифрова електроніка» /О. І. Чурілов, В. І. Бармін. Харків : ХТУРЕ, 2001. 56 с.

3 Комп’ютерна електроніка : навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. / А. П. Оксанич, С. Е. Притчин, О. В. Вашерук. Харків : «Компанія СМІТ», 2006. Ч. 1. 200 с.; Ч. 2. 256 с.

4 Загарій Г. І., Леонов С. Ю. Автоматизоване проектування складних систем у комп'ютерній схемотехніці : навч. посіб. Харків: ПП видавництво «Нове слово», 2012. 287 с.

5 Кравчук С. О., Шонін В. О. Основи комп’ютерної техніки: компоненти, системи, мережі : навч. посіб. Київ : ІВЦ «Вид-во Політехніка»; Вид-во «Каравела», 2005. 343 с.

6 Стахів П. Г., Коруд В. І., Гамала О. Є. Основи електроніки: функціональні елементи та їх застосування : підручник. Львів : «Магнолія 2006», 2010. 204 с.

7 Методичні вказівки «Студентська звітність» (до виконання й оформлення курсових і дипломних робіт). URL : http://library-kart.kh.ua

ДОДАТОК А

Таблиця А.1 – Функція, задана числовим способом

№ з/п	Функція алгебри логіки	Базис
1	2	3
1	f = 0,1,2,3,4,10,16,17,20,21,23 F = $\{1, 3, 4, 6, 7, 9\}x_1 x_2 x_3 x_4$	Шеффера
2	f = 1,2,4,9,10,15,18,21,25,29,30 F = $\{0, 2, 4, 5, 6, 7, 8\}x_1 x_2 x_3 x_4$	Пірса
3	f = 0,1,4,5,10,11,15,17,21,22,23,24,28 F = $\{0, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15\}x_1 x_2 x_3 x_4$	Шеффера
4	f = 0,1,2,11,15,16,17,18,21,23,24 F = $\{0, 1, 3, 5, 6, 8, 9, 11, 12, 13\}x_1 x_2 x_3 x_4$	Пірса
5	f = 2,3,5,8,9,10,12,14,15,18,19,21,22,25 F = $\{0, 1, 3, 5, 9, 10, 11, 13, 14, 15\}x_1 x_2 x_3 x_4$	Шеффера
6	f = 0,1,2,4,5,6,10,11,12,13,18,19,20,24,28 F = $\{0, 1, 2, 6, 14, 15\}x_1 x_2 x_3 x_4$	Пірса
7	f = 0,1,3,4,8,11,12,15,17,19,21,24,28 F = $\{0, 1, 8, 9, 10, 11, 12, 14, 15\}x_1 x_2 x_3 x_4$	Шеффера
8	f = 1,2,3,4,8,14,15,16,17,18,19,21,24,29,30 F = $\{0, 1, 3, 5, 9, 12, 15\}x_1 x_2 x_3 x_4$	Пірса
9	f = 0,3,5,7,8,9,10,15,16,19,20,24,25 F = $\{1, 8, 9, 10, 12, 13, 14, 15\}x_1 x_2 x_3 x_4$	Шеффера
10	f = 3,4,5,8,10,12,14,15,19,20,21 F = $\{3, 4, 8, 10, 11, 15\}x_1 x_2 x_3 x_4$	Пірса
11	f = 0,1,2,3,4,10,16,17,20,21,23 F = $\{2, 4, 6, 8, 10, 12\}x_1 x_2 x_3 x_4$	Шеффера

Продовження таблиці А.1

1	2	3
12	f = 0,1,4,5,8,10,14,15,17,18,21,22 $F = \{1, 2, 4, 5, 7, 8, 10, 12\}x_1 x_2 x_3 x_4$	Пірса
13	f = 1,3,6,9,11,12,15,17,18,19,21,22,25,28 $F = \{1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15\}x_1 x_2 x_3 x_4$	Шеффера
14	f = 0,1,2,4,5,8,10,11,15,25,28,29,30 $F = \{4, 5, 6, 8, 11, 12, 15\}x_1 x_2 x_3 x_4$	Пірса
15	f = 0,3,5,7,8,9,10,15,16,19,20,24,25 $F = \{1, 3, 8, 10, 12, 15\}x_1 x_2 x_3 x_4$	Шеффера
16	f = 0,1,2,3,4,10,16,17,20,21,23 $F = \{2, 3, 4, 5, 8, 10, 13\}x_1 x_2 x_3 x_4$	Пірса
17	f = 0,1,2,10,13,15,16,17,21,23,24 $F = \{1, 2, 3, 4, 5, 8, 9, 12, 13\}x_1 x_2 x_3 x_4$	Шеффера
18	f = 1,2,3,5,8,10,12,14,15,20,21,22,29 $F = \{1, 3, 8, 9, 10, 12, 14, 15\}x_1 x_2 x_3 x_4$	Пірса
19	f = 2,3,5,8,10,11,13,18,19,24,25,30 $F = \{0, 3, 6, 7, 9, 11, 15\}x_1 x_2 x_3 x_4$	Шеффера
20	f = 0,1,2,4,5,8,10,12,13,15,25,28,29,30 $F = \{0, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 12, 13\}x_1 x_2 x_3 x_4$	Пірса

Таблиця А.2 – Функція, задана алгебраїчним способом

№ з/п	Функція алгебри логіки	Комутатор
1	$f = \overline{x_1 \cdot x_2 \cdot \overline{x_3} + x_3 \cdot x_4} + \overline{\overline{x_1} + \overline{x_4} + \overline{x_5}}$	К8-1
2	$f = \overline{x_4} \cdot \left(\overline{\overline{x_5} + \overline{x_1 \cdot x_3}}\right) + \overline{x_1 \cdot (x_2 \cdot \overline{x_3} + \overline{x_4})}$	К16-1
3	$f = \overline{x_1 \cdot \overline{x_2} \cdot \overline{x_3} + x_4 \cdot \overline{x_5}} + x_2 \cdot x_5 + \overline{x_1}$	К8-1
4	$f = x_1 \cdot (\overline{x_5} + \overline{x_3 \cdot x_4}) + \overline{x_2 + \overline{x_4} + x_5} + x_1 \cdot x_2$	К16-1
5	$f = \overline{\overline{x_1} \cdot x_3 \cdot x_5 + x_1 \cdot \overline{x_3} \cdot \overline{x_4}} + x_2 \cdot \overline{x_3} \cdot x_4 + \overline{x_2 + x_3 + \overline{x_4}}$	К8-1
6	$f = x_1 \cdot \overline{x_2} + \overline{\overline{x_3} + \overline{x_4} + x_5} + \overline{(\overline{x_1} + x_4) \cdot \overline{x_5}}$	К16-1
7	$f = \overline{x_1 \cdot (\overline{x_2 + x_3})} + \overline{\overline{x_1} + \overline{x_4} + x_5}$	К8-1
8	$f = \overline{x_1 + x_2 + x_3} + \overline{\overline{x_1} \cdot (x_2 \cdot x_4 + \overline{\overline{x_4} \cdot x_5})}$	К16-1
9	$f = \overline{x_1} \cdot \overline{x_2} + \overline{x_2 \cdot x_5} + \overline{(x_1 \cdot x_2 \cdot (\overline{x_3} + x_4))}$	К8-1
10	$f = \overline{x_1(\overline{x_2} \cdot \overline{x_4} + \overline{x_3 \cdot \overline{x_5}})} + \overline{\overline{x_1} + \overline{x_3} + x_5} + x_4$	К16-1
11	$f = \overline{\overline{x_2} \cdot (\overline{\overline{x_3} + x_5})} + \overline{x_1} \cdot \overline{x_5} + \overline{x_1 + x_2 + x_3}$	К8-1
12	$f = \overline{x_1 + x_5} + \overline{x_2} \cdot x_3 + \overline{\overline{x_1} \cdot x_4 \cdot (\overline{x_2} + \overline{x_3})}$	К16-1
13	$f = \overline{x_5}(\overline{\overline{x_3} + \overline{\overline{x_1} x_2}}) + \overline{\overline{x_1}(x_2 x_3 + \overline{x_4})}$	К8-1
14	$f = \overline{x_1 + x_2 + \overline{x_5}} + \overline{(\overline{x_4 x_5 + \overline{x_2}}) \cdot \overline{x_3}}$	К16-1
15	$f = \overline{x_1 + x_2 + x_3 + x_4} + x_5(x_1 + \overline{x_2 x_3})$	К8-1
16	$f = \overline{\bar{x}_1 \cdot \bar{x}_5 (x_3 + \overline{\bar{x}_1 x_2 x_4})} + x_4(\overline{\bar{x}_2 \cdot \bar{x}_3 + x_5})$	К16-1
17	$f = \overline{x_2 (\bar{x}_4 + \bar{x}_1 x_5)} + x_1 x_3 x_4 + \overline{x_2 \bar{x}_3 x_4}$	К8-1
18	$f = x_2 \bar{x}_5 + \overline{\bar{x}_1 (\bar{x}_3 + x_4)} + \bar{x}_2 (\overline{x_1 + x_5})$	К16-1
19	$f = \overline{x_2 + \bar{x}_3 + x_5} + (\overline{x_2 \bar{x}_4 + \bar{x}_2}) x_1 x_3 + \bar{x}_1 \bar{x}_2 + \bar{x}_3 \bar{x}_5$	К8-1
20	$f = x_3 \bar{x}_4 x_5 + \overline{x_1 (\bar{x}_2 + \overline{\bar{x}_3 + \bar{x}_5})}$	К16-1

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до практичних занять

з дисциплін

«КОМП'ЮТЕРНА ЕЛЕКТРОНІКА ТА СХЕМОТЕХНІКА»,
«ЕЛЕКТРОНІКА ТА МІКРОСХЕМОТЕХНІКА»

Відповідальний за випуск Клименко Л. А.

Редактор Буранова Н. В.

Підписано до друку 19.06.20 р.

Формат паперу 60х84 1/16. Папір писальний.

Умовн.-друк.арк. 2,25. Тираж 5. Замовлення №

Видавець та виготовлювач Український державний університет залізничного транспорту,
61050, Харків-50, майдан Фейєрбаха, 7.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 6100 від 21.03.2018 р.