Змістовий модуль 6. Оптоелектронні елементи дискретної схемотехніки

Лекція 13. Оптоелектронні елементи дискретної схемотехніки

13.1 Теоретичні основи дискретної логіки

Пристрої дискретної логіки виконують арифметичні і логічні операції, при цьому використовується два класи змінних: числа і логічні змінні.

Числа несуть інформацію про кількісні характеристики системи; над ними здійснюються арифметичні дії.

Логічні змінні визначають стан системи або приналежність її до певного класу станів (комутація каналів, управління роботою ЕОМ за програмою і т. п.).

Для формального опису логічної сторони процесів в пристроях дискретної схемотехніки використовується алгебра логіки. Алгебра логіки має справу з логічними змінними, які можуть набувати лише два значення (1 і 0). При цьому 1 і 0 не можна трактувати як числа, над ними не можна виконувати арифметичні дії.

Логічні змінні добре описують стани таких об’єктів, як оптичні реле, тумблери, кнопки, тобто об’єктів, які можуть знаходитися в двох чітко помітних станах: включено – вимкнено. До таких об’єктів відносяться і напівпровідникові логічні елементи, на виході яких може бути лише один з двох чітко помітних рівнів напруги. Частіше ВИСОКИЙ (HIGH) рівень береться за логічну одиницю, а НИЗЬКИЙ (LOW) – за логічний нуль.

13.2 Основні операції дискретної схемотехніки

<u>Інверсія</u> (заперечення, доповнення) є однією з основних логічних функцій, використовуваних в пристроях цифрової обробки інформації.

<u>Функція НЕ</u> – це функція одного аргументу. Вона дорівнює 1, коли її аргумент дорівнює 0, і навпаки.

Рівняння функції:

$$F = \overline{A}.$$

Схему, яка забезпечує виконання такої функції, називають інвертором або схемою НЕ (рис. 13.1).

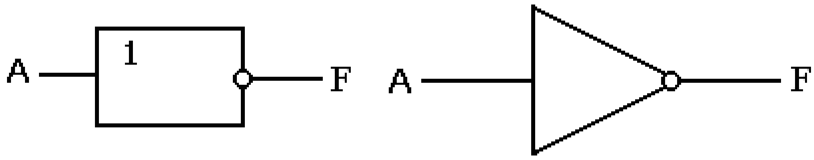


Рисунок 13.1 - Позначення схеми інвертора

Таблиця істинності інвертора

A	$F = \overline{A}$
0	1
1	0

<u>Функція І</u> (інші назви: кон'юнкція, логічне множення, AND) – це функція двох або більшого числа аргументів.

Рівняння функції:

$$F = AB;\ F = A \cdot B;\ F = A \& B;\ F = A \wedge B.$$

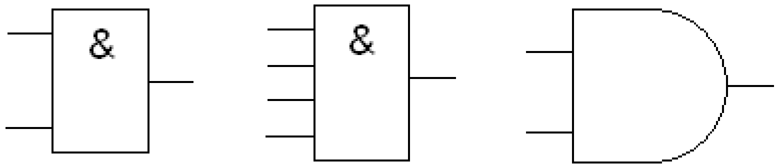
Схему, яка забезпечує виконання такої функції, називають кон'юнктором або схемою І. Таблиця істинності кон'юнктора:

AB	$F = A \cdot B$
00	0
01	0
10	0
11	1

Елемент І часто використовують для управління потоком інформації. При цьому на один його вхід поступають логічні сигнали, які несуть деяку інформацію, а на іншій – сигнал керування: пропускати – 1, не пропускати – 0. Елемент І, який використовується таким чином, називають вентиль (gate).

Таблиця істинності переконливо показує тотожність операцій звичайного і логічного множень. Тому, як знак логічного множення, можливе використання знаку звичайного множення у вигляді крапки.

Функцію I можна побудувати для будь-якого числа аргументів. На рисунку 13.3 показані умовні зображення двох- і чотирьохвходового кон’юнкторів.



а б в

а) умовне зображення двохвходового кон’юнктора 2I (AND2); б) умовне зображення чотирьохвходового кон’юнктора 4I (AND4); в) умовне зображення двохвходового кон’юнктора в американській символіці

Рисунок 13.3 – Кон’юнктор

Функція АБО (інші назви: диз’юнкція, логічне складання, OR) – це функція двох або більшого числа аргументів.

Рівняння функції:

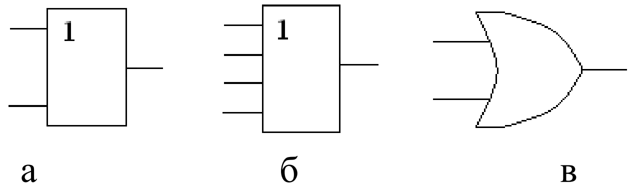
$$F = A + B;\ F = A \vee B.$$

Читається «F є А або В». Функція АБО дорівнює 0 тоді і лише тоді, коли всі її аргументи дорівнюють 0.

Схему, яка забезпечує виконання такої функції, називають диз’юнктором або схемою АБО. Таблиця істинності диз’юнктора:

AB	$F = A + B$
00	0
01	1
10	1
11	1

Використовувати знак «плюс» можна в тих випадках, коли диз’юнкцію не можна сплутати з арифметичним підсумовуванням і складанням по модулю 2. Функцію АБО можна побудувати для будь-якого числа аргументів. На рисунку 13.5 показані умовні зображення диз’юнкторів.



а) умовне зображення двохвходового диз’юнктора 2АБО (OR2); б) умовне зображення чотирьохвходового диз’юнктора 4АБО (OR4); в) умовне зображення двохвходового диз’юнктора в американській символіці

Рисунок 13.5 – Диз'юнктор

<u>Функція І-НЕ</u> (NAND) здійснює інвертування отриманого результату операції І. Вона складається з схеми І і інвертора на її виході.

Рівняння функції:

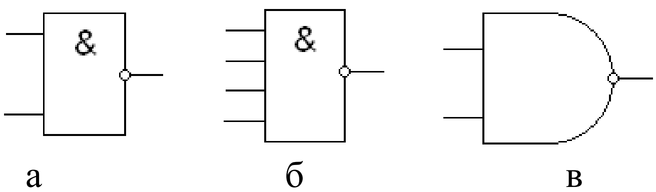
$$F=\overline{AB};\ F=\overline{A\cdot B};\ F=\overline{A\,\&\,B};\ F=\overline{A\wedge B}.$$

Читається «F є інверсія A і B». Функція І-НЕ дорівнює 0 тоді і лише тоді, коли всі її аргументи дорівнюють 1.

Схему, яка забезпечує виконання такої функції, називають кон’юнктором з інверсією або схемою І-НЕ. Таблиця істинності елемента І-НЕ:

AB	$F=\overline{A\cdot B}$
00	1
01	1
10	1
11	0

Функцію І-НЕ можна побудувати для будь-якого числа аргументів. На рисунку 13.7 показані умовні зображення двох- і чотирьохвходового елементів І-НЕ.



а) умовне зображення двохвходового кон’юнктура 2І-НЕ (NAND2); б) умовне зображення чотирьохвходового кон’юнктура 4І-НЕ (NAND4); в) умовне зображення двохвходового елементу І-НЕ в американській символіці

Рисунок 13.7 – Елементи І-НЕ

Функція АБО-НЕ (NOR) здійснює інвертування отриманого результату операції АБО. Вона складається з схеми АБО і з'єднаного з її виходом інвертора. Рівняння функції:

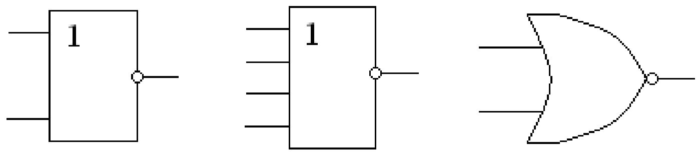
$$F = \overline{A + B}\ ;\ F = \overline{A \vee B}.$$

Читається «F є інверсія A або B». Функція АБО-НЕ дорівнює 1 тоді і лише тоді, коли всі її аргументи дорівнюють 0.

Схему, яка забезпечує виконання такої функції, називають диз'юнктором з інверсією або схемою АБО-НЕ. Таблиця істинності елементу АБО-НЕ:

AB	$F = \overline{A + B}$
00	1
01	0
10	0
11	0

Функцію АБО-НЕ можна побудувати для будь-якого числа аргументів. На рисунку 13.8 показані умовні зображення двох- і чотирьохвходового елементів АБО-НЕ.



а б в

а) умовне зображення двохвходового диз'юнктора 2АБО-НЕ (NOR2); б) умовне зображення чотирьохвходового диз'юнктора 4АБО-НЕ (NOR4); в) умовне зображення двохвходового елементу АБО-НЕ в американській символіці

Рисунок 13.8 – Елементи АБО-НЕ

Функція «Виключне АБО» (XOR). Складання по модулю 2.

Рівняння функції:

$$F = A \oplus B;\ F = A\overline{B} + \overline{A}B.$$

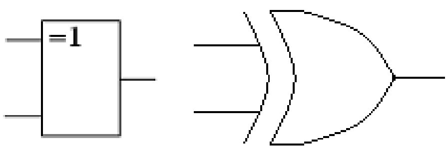
Читається «F є A «Виключне АБО» B».

Функція «Виключне АБО» набуває значення 0, якщо змінні в наборі рівні між собою і набуває значення 1, якщо змінні в наборі різні між собою.

Таблиця істинності функції «Виключне АБО»:

AB	$F = A \oplus B$
00	0
01	1
10	1
11	0

Ця операція аналогічна операції арифметичного підсумовування, але, як і інші логічні операції, без утворення перенесення. Тому вона має іншу назву складання по модулю 2 і позначення $\oplus$, схоже з позначенням арифметичного підсумовування. На рисунку 13.9 показані умовні графічні зображення елементів «Виключне АБО». Напис на позначенні елементу «Виключне АБО» «=1» (рис. 13.9, а) якраз і означає, що виділяється ситуація, коли на входах одна і лише одна одиниця.



а б

а) умовне зображення двохвходового елемента «Виключне АБО»; б) умовне зображення двохвходового елемента «Виключне АБО» в американській символіці

Рисунок 13.9 – Елементи «Виключне АБО»

<u>Функція «Виключне АБО» - НЕ (XNOR).</u> Функція дорівнює 1, якщо змінні рівні між собою. Функція дорівнює 0, якщо змінні відрізняються.

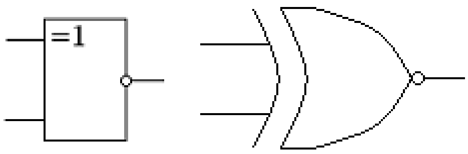
Рівняння функції:

$$F = \overline{A \oplus B};\ F = AB + \overline{A}\overline{B}.$$

Таблиця істинності функції «Виключне АБО» - НЕ

AB	$F = \overline{A \oplus B}$
00	1
01	0
10	0
11	1

Ця операція використовується при побудові схем в яких на виході завжди має бути логічна 1, якщо на входи подані однакові логічні сигнали – або обидва 0, або обидва 1. На рисунку 13.10 показані умовні графічні зображення елементів. Функція «Виключне АБО» - НЕ.



а б

а) умовне зображення двохвходового елемента «Виключне АБО» - НЕ; б) умовне зображення двохвходового елемента «Виключне АБО» - НЕ в американській символіці

Рисунок 13.10 – Елементи «Виключне АБО» - НЕ

13.3 Оптоелектронні логічні елементи

В оптоелектронних функціональних пристроях керування може здійснюватися як оптичними, так і електричними сигналами. Оскільки електричний сигнал може бути легко перетворений в оптичний за допомогою світлодіода, то оптоелектронні логічні елементи з електричним та оптичним керуванням будуть розрізнятися тільки вхідним колом: логічні вентилі з електричним керуванням будуть містити на вході світлодіод, оптично зв'язаний оптично керованим комутуючим елементом, наприклад з фотодіодом.

На рисунку 13.11 зображені діодні оптоелектронні компоненти, які дозволяють реалізовувати основні логічні операції в цифрових оптоелектронних пристроях. Схема наведена на рисунку 13.11 а реалізує операцію НЕ, на рисунку 13.11 б – операції І / І-НЕ, на рисунку 13.11 в – операції АБО / АБО-НЕ г – «Виключне» АБО / «Виключне» АБО-НЕ

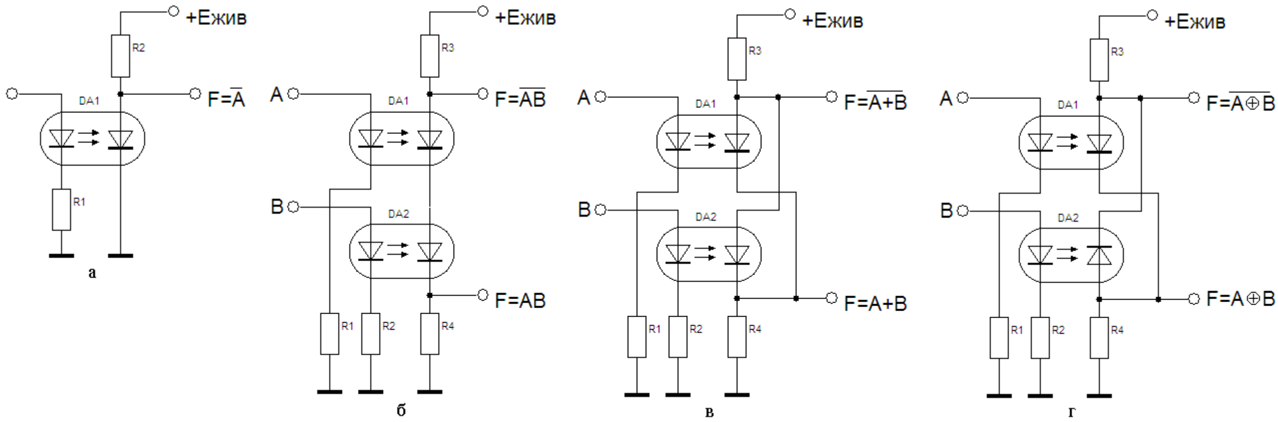
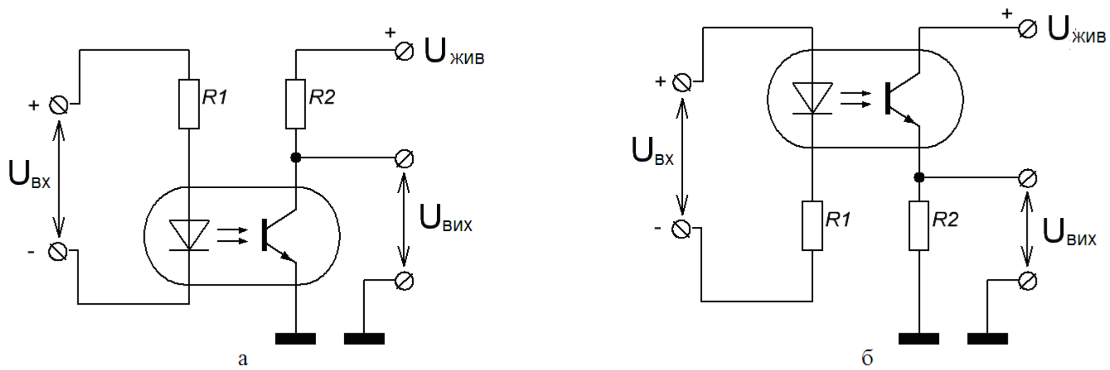


Рисунок 13.11 – Оптоелектронні логічні елементи: а – НІ, б – І / І-НІ, в – АБО / АБО-НІ, г – «Виключне» АБО / «Виключне» АБО-НІ

Типові схеми включення транзисторних оптопар представлені на рисунку 13.12. Резистор навантаження оптопари може бути підключений як до колектора так і до емітера. При підключенні до колектора вихідний сигнал оптопари інвертується, при підключенні до емітера - ні. З використанням даних схем можна передавати як цифровий, так і аналоговий сигнал. Швидкодія визначається перш за все типом використовуваних оптопар і величинами резисторів в обв'язуванні. Із зменшенням їх опору швидкість перемикання зростає за рахунок зменшення постійною часу утвореною паразитними ємкостями світлодіода і фототранзистора і резисторами зовнішнього кола.



а б

Рисунок 13.12 - Схема цифрового інвертора (а) та повторювача вхідної напруги з гальванічною розв’язкою (б) на оптотранзисторах

За допомогою декількох оптопар можна реалізувати схему логічного «І» або аналогового суматора (рис. 13.13). Ця схема може знайти застосування при побудові кіл зворотного зв'язку джерел живлення, коли необхідно забезпечити зворотний зв'язок (причому аналоговий) по декількох параметрах одночасно – наприклад, по струму і по напрузі.

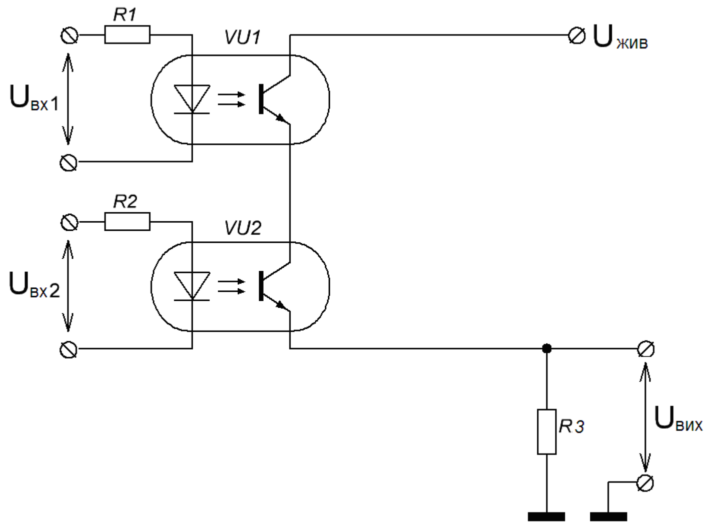


Рисунок 13.13 – Схема логічного елемента І

Вихідна напруга $U_{вих}$ підтримується на високому рівні, близькому до напруги $U_{жив}$, лише якщо обидва фототранзистора оптопар VU1 і VU2 включено і через них йде струм, близький до насичення.

Паралельне включення оптопар реалізує логічний елемент АБО (рис. 13.14). Вихідна напруга $U_{вих}$ підтримується на високому рівні, близькому до напруги $U_{жив}$, при виході на насичення вольт-амперної характеристики будь-якого з фототранзисторів VU1 або VU2.

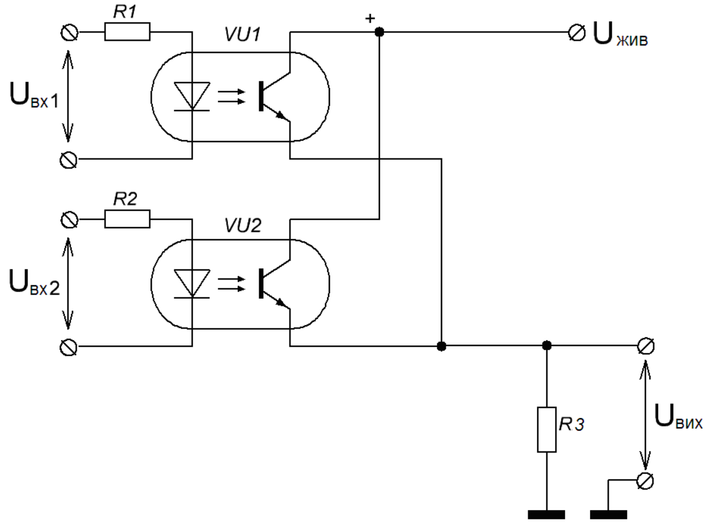


Рисунок 13.14 - Схема логічного елемента АБО

13.4 Моделювання схем комбінаційного типу на оптоелектронних логічних компонентах

Логічні функції можуть мати різні форми представлення: словесне, табличне, алгебраїчне, графічне.

1. Словесне описання – найскладніший, але дуже поширений на практиці спосіб завдання схеми. Це пояснення її роботи на понятійному рівні у вигляді набору фраз звичайної мови. Складність етапу пов’язана з тим, що завдання описується неформальними термінами, які допускають неоднозначне його тлумачення. Основна мета етапу – формалізація завдання, у процесі якого потрібно проаналізувати значення функції для кожної комбінації значень аргументів. Результат етапу – таблиця істинності.

Приклад. Функція F приймає значення логічної «1», якщо змінні A і B відрізняються між собою і приймає значення логічного «0», якщо змінні A і B однакові між собою.

2. Укладання таблиці істинності – це вже завдання, неоднозначне тлумачення якого неможливе. Тільки якщо таблиця через значне число змінних виявляється занадто громіздкою або якщо функція проста і зміст її абсолютно зрозумілий, можна починати безпосередньо з написання аналітичної формули.

Функція F у вигляді табличного представлення:

A	B	F
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

3. Якщо функція визначена не на всіх наборах аргументів, то потрібно ліквідувати неоднозначність таблиці. У разі малого числа невизначених значень краще розглянути кілька варіантів. Якщо число умовних значень або

самих аргументів велике, то, можливо, доведеться повністю довизначити функцію всіма нулями або всіма одиницями – так, щоб у результаті зменшити число членів прямої функції або її інверсії.

4. За цілком визначеною таблицею скласти функцію. Якщо розглядається кілька варіантів або якщо є сподівання, що інверсія функції реалізовуватиметься краще, то в подальшій роботі братимуть участь кілька варіантів функцій.

Аби здійснити перехід від табличного представлення до алгебраїчного, кожному набору змінних ставиться у відповідність мінтерм (конституєнта одиниці) - кон'юнкція всіх змінних, які входять в прямому вигляді, якщо значення даної змінної в наборі дорівнює 1, або в інверсному вигляді - якщо значення змінної дорівнює 0.

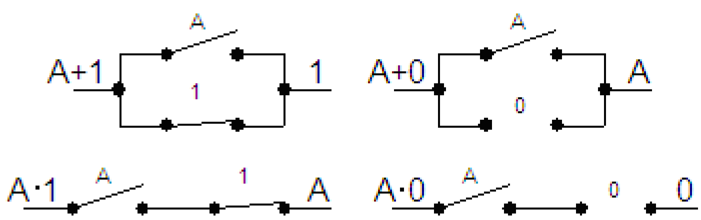
A	B	Мінтерми	Значення функції F
0	0	$m_0 = \overline{A}\overline{B}$	$f_0 = 0$
0	1	$m_1 = \overline{A}B$	$f_1 = 1$
1	0	$m_2 = A\overline{B}$	$f_2 = 1$
1	1	$m_3 = AB$	$f_3 = 0$

У загальному випадку алгебраїчний вираз будь-якої логічної функції можна представити в наступній формі:

$$F_6 = \sum_{i=0}^{n-1} f_i m_i = f_0 m_0 + f_1 m_1 + f_2 m_2 + f_3 m_3 = 0 \cdot (\overline{A}\overline{B}) + 1 \cdot (\overline{A}B) + 1 \cdot (A\overline{B}) + 0 \cdot (AB) =$$
$$= 0 + \overline{A}B + A\overline{B} + 0 = \overline{A}B + A\overline{B},$$

де f_i, m_i - значення функції (0 або 1) і мінтерм, які відповідають i-му набору змінних. Таке представлення функції називається її досконалою диз'юнктивною нормальною формою (ДДНФ).

<u>Пояснення</u>:



5. Мінімізувати ДДНФ будь-якими доступними методами. На цьому етапі іноді потрібна рішучість, щоб припинити пошук кращого варіанта (якого, можливо, і не існує).

6. Реалізувати знайдені диз'юнктивні форми на логічному базисі заданої серії елементів. Спробувати варіанти реалізації на І-АБО-НЕ і на І-НЕ, АБО-НЕ.

Графічне представлення у вигляді структурної схеми дає можливість попередньо провести аналіз функціонування схеми (рис. 13.15 - 13.16).

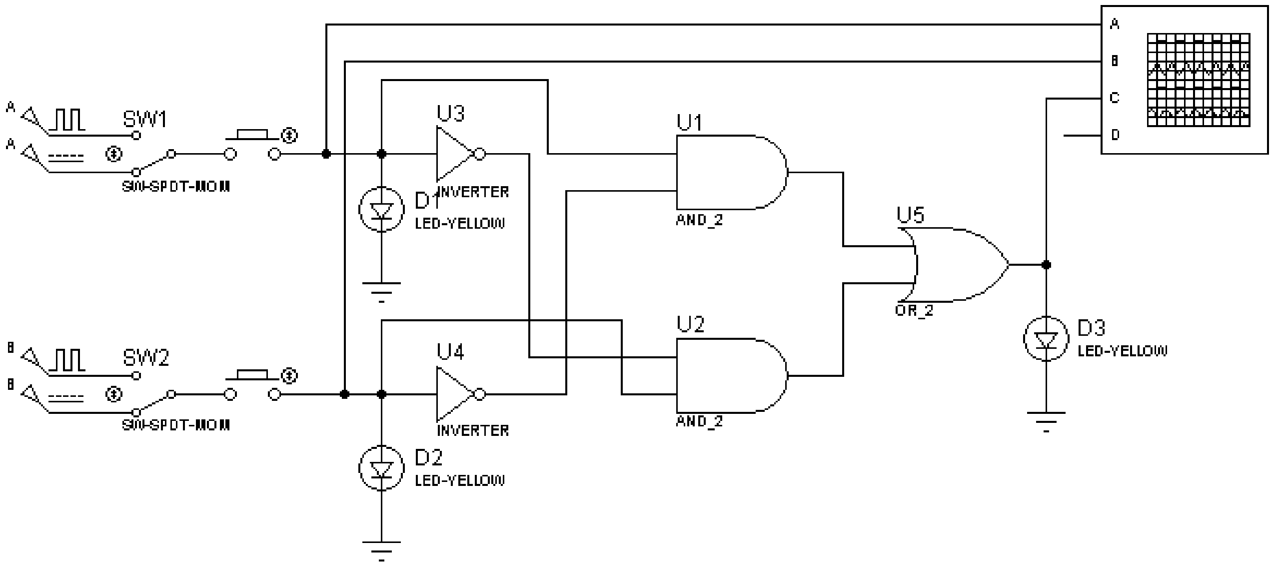


Рисунок 13.15 – Графічне представлення заданої функції (Proteus)

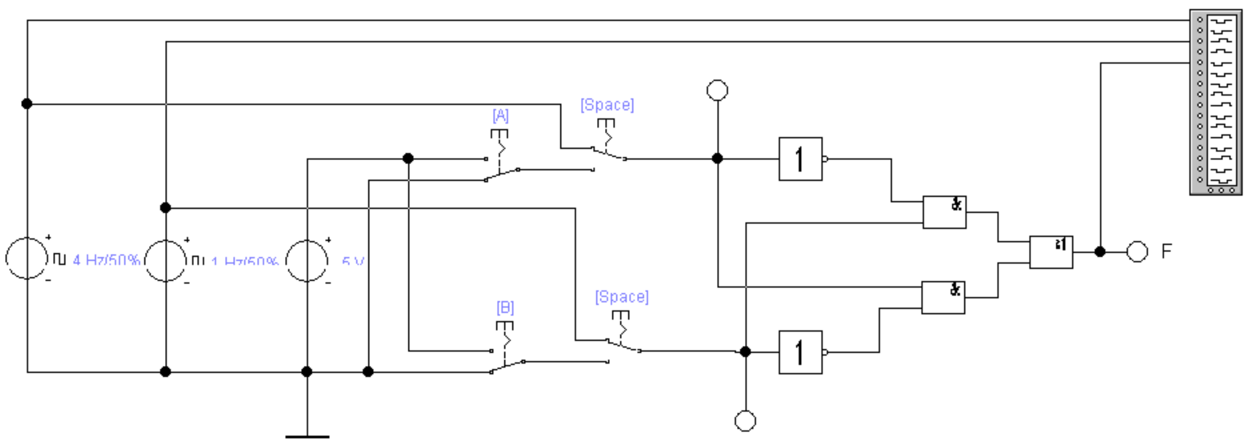


Рисунок 13.16 – Графічне представлення заданої функції (EWB)

Аналіз функціонування схеми виконується на логічному аналізаторі (рис. 13.17).

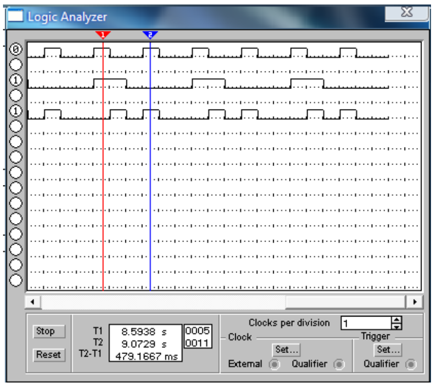


Рисунок 13.17 - Аналіз функціонування схеми

Функціонування схеми аналізується за допомогою індикаторів осцилографа та логічного аналізатора. На входи А і В подаються статичні та динамічні сигнали відповідною комутацією перемикачів.

Схему логічної функції можна реалізувати згідно з рівнянням;

$$F_6 = A\overline{B} + \overline{A}B = \overline{\overline{A\overline{B} + \overline{A}B}} = \overline{\overline{A\overline{B}} \cdot \overline{\overline{A}B}}$$

Наступним кроком моделюється схема на оптоелектронних логічних компонентах (рис. 13.18).

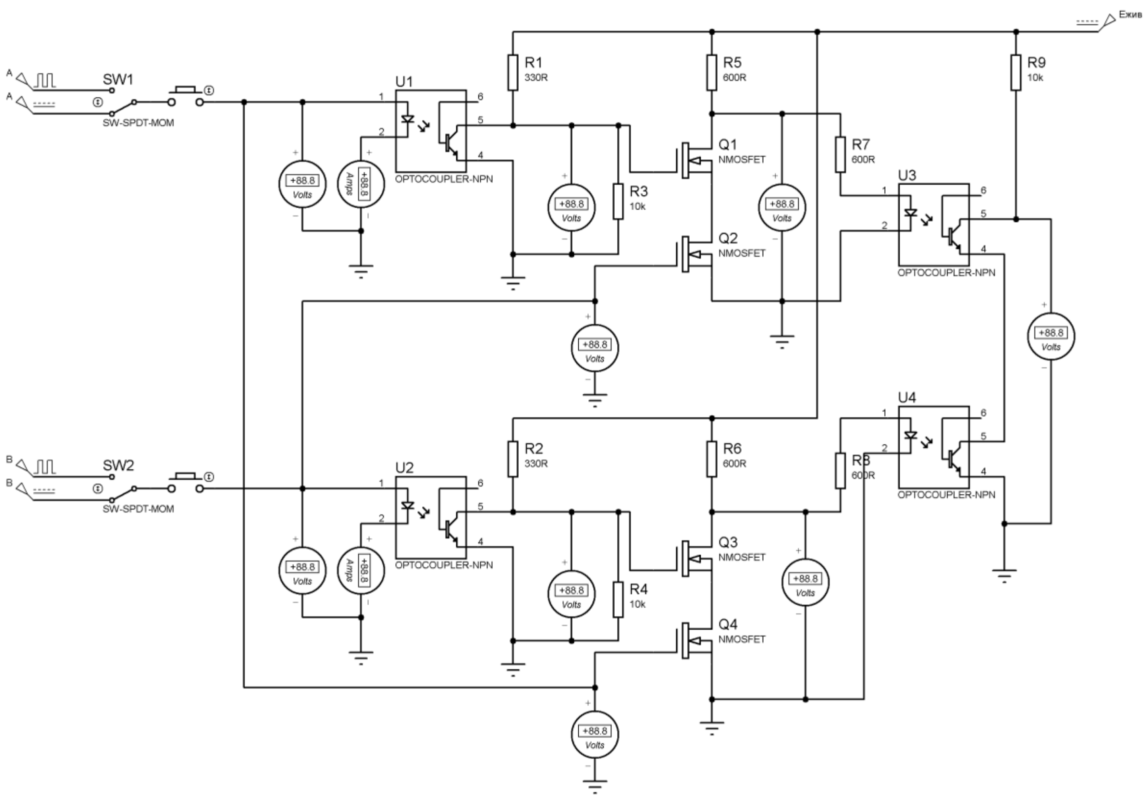


Рисунок 13.18 – Схема заданої функції на оптоелектронних логічних елементах

Приклад. Функція F приймає значення, яке дорівнює значенню, що приймає більшість вхідних сигналів.

2. Функція F у вигляді табличного представлення.

A	B	C	F
0	0	0	0
0	0	1	0
0	1	0	0
0	1	1	1
1	0	0	0
1	0	1	1
1	1	0	1
1	1	1	1

3. Якщо функція визначена не на всіх наборах аргументів, то потрібно ліквідувати неоднозначність таблиці.

4. За цілком визначеною таблицею скласти функцію. Аби здійснити перехід від табличного представлення до алгебраїчного, кожному набору змінних ставиться у відповідність мінтерм (конституєнта одиниці) - кон'юнкція всіх змінних, які входять в прямому вигляді, якщо значення даної змінної в наборі дорівнює 1, або в інверсному вигляді - якщо значення змінної дорівнює 0 (табл. 13.1).

Таблиця 13.1 – Таблиця мінтермів

A	B	C	Мінтерми	Функція F
0	0	0	$m_0 = \overline{A}\overline{B}\overline{C}$	$f_0 = 0$
0	0	1	$m_1 = \overline{A}\overline{B}C$	$f_1 = 0$
0	1	0	$m_2 = \overline{A}B\overline{C}$	$f_2 = 0$
0	1	1	$m_3 = \overline{A}BC$	$f_3 = 1$
1	0	0	$m_4 = A\overline{B}\overline{C}$	$f_4 = 0$
1	0	1	$m_5 = A\overline{B}C$	$f_5 = 1$
1	1	0	$m_6 = AB\overline{C}$	$f_6 = 1$
1	1	1	$m_7 = ABC$	$f_7 = 1$

У загальному випадку алгебраїчний вираз будь-якої логічної функції можна представити в наступній формі:

$$F=\sum_{i=0}^{n-1} f_i m_i = f_0 m_0 + f_1 m_1 + f_2 m_2 + f_3 m_3 + f_4 m_4 + f_5 m_5 + f_6 m_6 + f_7 m_7 =$$
$$= 0\cdot\overline{A}\overline{B}\overline{C} + 0\cdot\overline{A}\overline{B}C + 0\cdot\overline{A}B\overline{C} + 1\cdot\overline{A}BC + 0\cdot A\overline{B}\overline{C} + 1\cdot A\overline{B}C + 1\cdot AB\overline{C} + 1\cdot ABC =$$
$$= 0+0+0+\overline{A}B\overline{C} + 0 + A\overline{B}C + AB\overline{C} + ABC = \overline{A}B\overline{C} + A\overline{B}C + AB\overline{C} + ABC =$$
$$= AB + AC + BC$$

де $f_i m_i$ - значення функції (0 або 1) і мінтерми, які відповідають і-му набору змінних. Таке представлення функції називається її досконалою диз'юнктивною нормальною формою (ДДНФ).

5. Мінімізувати ДДНФ будь-якими доступними методами. На цьому етапі іноді потрібна рішучість, щоб припинити пошук кращого варіанта (якого, можливо, і не існує).

6. Реалізувати знайдені диз’юнктивні форми на логічному базисі заданої серії елементів. Спробувати варіанти реалізації на І-АБО-НІ і на І-НІ, АБО-НІ.

Графічне представлення у вигляді структурної схеми дає можливість попередньо провести аналіз функціонування схеми.

Схема мажоритарного елемента, який працює за законом «2 з 3» і побудованого з логічних елементах І і АБО має вигляд, представлений на рисунку 13.19, а діаграма функціонування у динамічному режимі на рисунку 13.20.

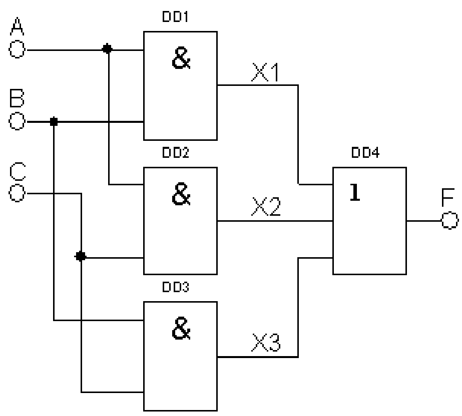


Рисунок 13.19 – Схема мажоритарного елемента

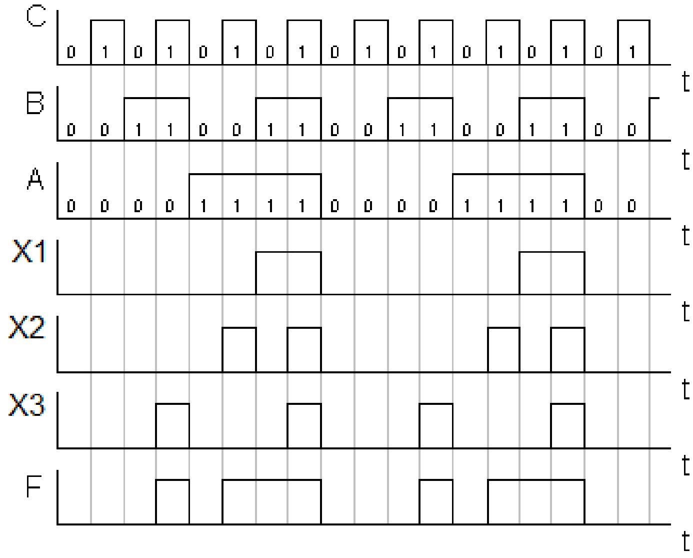


Рисунок 13.20 - Діаграма функціонування мажоритарного елемента в динамічному режимі

7. Моделювання схема на оптоелектронних логічних компонентах (рис. 13.21).

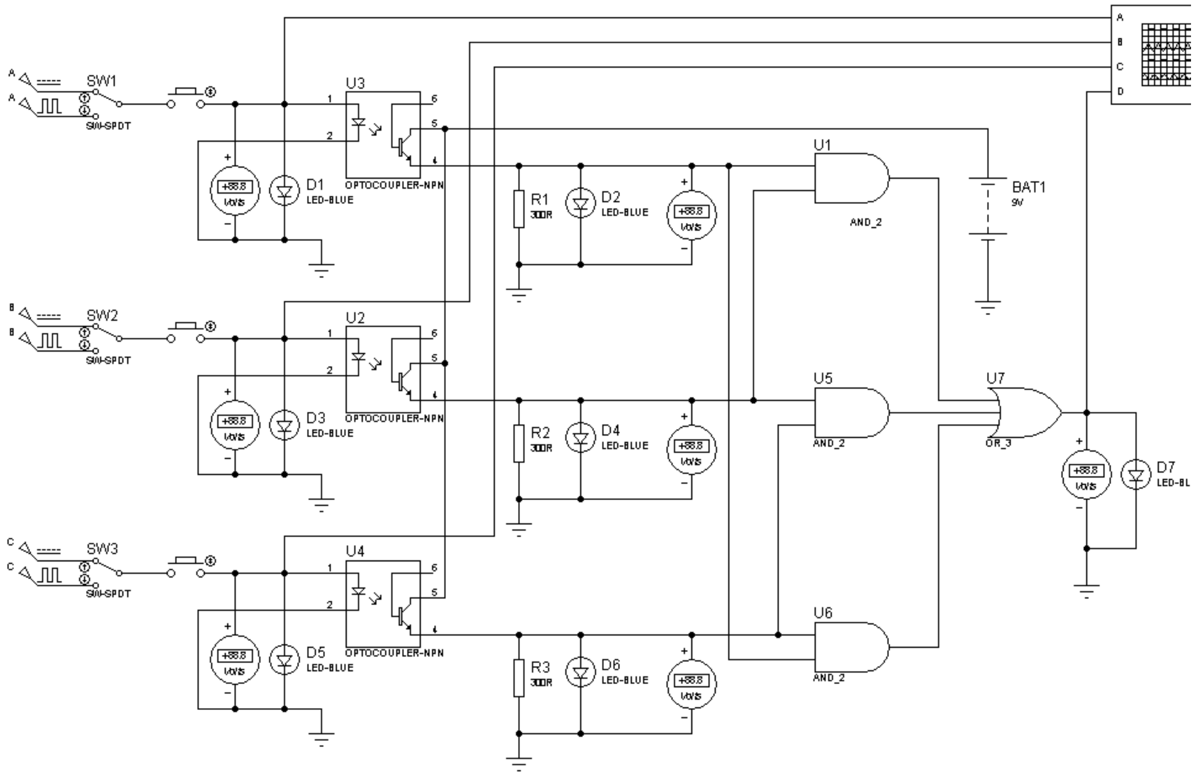


Рисунок 13.21 – Схема заданої функції на оптоелектронних логічних елементах