

Лабораторна робота № 5

Тема. Дослідження логічних елементів та комбінаційних цифрових схем

Мета роботи – вивчення принципів роботи, методів синтезу та особливостей функціонування загальних типів комбінаційних схем, надбання навиків реалізації їх на реальних інтегральних елементах.

Вступ. Логічні елементи

Комп'ютерна схемотехніка – це науково-технічна дисципліна, яка вивчає теоретичні методи аналізу і синтезу схем комп'ютерів (електронних обчислювальних машин) і засоби їхньої технічної реалізації. Розвиток комп'ютерної схемотехніки є основою удосконалення архітектури комп'ютерів, якісного підвищення їхньої продуктивності та надійності, істотного зменшення масових та габаритних показників. Комп'ютери широко використовують у цивільній авіації та інших галузях господарства.

Поняття елементів, вузлів і пристроїв комп'ютерної схемотехніки

Технічні засоби комп'ютерної схемотехніки залежно від функцій, які вони виконують, поділяють на елементи, функціональні вузли і пристрої, а також мікропроцесори та комп'ютери (рис. 1.1). Вони призначені для оброблення дискретної інформації і тому називаються цифровими.

Технічні засоби комп'ютерної схемотехніки в даний час основані на інтегральних мікросхемах (ІМС) різного ступеня складності.

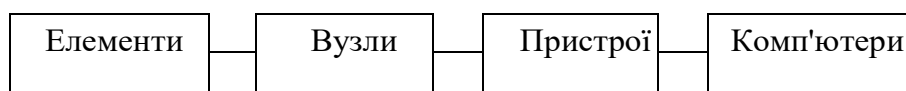


Рис.1.1. Склад технічних засобів комп'ютерної схемотехніки

Елементами в комп'ютерній схемотехніці називаються найменші неподільні мікроелектронні схеми (вироби), призначені для виконання логічних операцій або зберігання біта інформації. До елементів умовно відносяться і допоміжні схеми – підсилювачі, повторювачі, формувачі та ін.

Елементи будуються на основі двопозиційних ключів, що технічно реалізується найпростіше. Елементи з двома станами називаються двійковими.

На входах і виходах двійкового елемента діють напруги, які набувають у сталому режимі двох значень – високого U_H і низького U_L рівнів (індекси від англійських слів *High* і *Low*). Ці напруги відображають електричні сигнали. Сигнал з двома станами називається двійковим. Перехід елемента з одного стану в інший називається його перемиканням. На основі елементів будують типові функціональні вузли.

Елементарні дії, які виконуються в комп'ютерах за один машинний такт, називаються мікроопераціями.

Наприклад, інкремент або декремент слова, зсув, інверсія, додавання та ін.

У комп'ютерах команди виконують послідовністю мікрооперацій над двійковими словами (числами). Типовими функціональними вузлами комп'ютерів називаються мікроелектронні схеми, призначені для виконання однієї або декількох мікрооперацій.

За логікою роботи функціональні вузли розподіляються на комбінаційні та послідовнісні схеми.

У комбінаційних схемах логічний стан виходів елементів залежить тільки від комбінації вхідних сигналів у даний момент часу. До функціональних вузлів комбінаційного типу відносяться суматори, дешифратори, шифратори, мультиплексори і демультиплексори, схеми порівняння (компаратори) і контролю за парністю, кодоперетворювачі.

У послідовнісних схемах логічне значення виходів визначають як комбінацією вихідних сигналів, так і станом пам'яті схеми в даний момент часу. До функціональних вузлів послідовнісного типу відносяться регістри, лічильники, генератори чисел і керуючі автомати. На основі типових функціональних вузлів будують різноманітні пристрої комп'ютерів.

Універсальність комп'ютерів забезпечує можливість приймання і видавання інформації, її зберігання та арифметико-логічне опрацювання, а також керування усім обчислювальним процесом. Ці функції реалізуються відповідними пристроями введення, виведення, запам'ятовування, арифметико-логічними і керування.

В усіх комп'ютерах використовують генератор тактових імпульсів (ГТІ), що виробляє періодичну послідовність прямокутних імпульсів, які називаються тактовими (C). Початок кожного імпульсу C називається тактовим моментом. Часовий інтервал між двома сусідніми імпульсами C називається машинним тактом T_C . На початку кожного імпульсу C відбувається зміна інформації на входах елементів і вузлів машини (рис. 1.2).

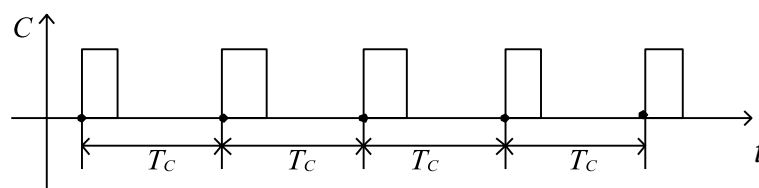


Рис. 1.2. Часова діаграма ГТІ

Частота ГТІ вимірюється десятками і сотнями мегагерц. У літературі ГТІ часто називають генераторами синхронізуючих імпульсів, а самі імпульси називають синхронізуючими або синхроімпульсами. Амплітуда і полярність імпульсу C залежить від фізичних принципів побудови машини. Принцип подачі інформації на входи елементів і вузлів у тактові моменти називається дискретизацією сигналів у часі.

У комп'ютерній схемотехніці застосовуються два основних види двійкових сигналів: потенціальні й імпульсні (рис. 1.3). Сигнал, який змінюється тільки в тактові моменти часу, називається потенціальним. Сигнал, що наростає в тактовий момент, а спадає в границях даного такту, називається імпульсним. Тривалість потенціального сигналу дорівнює або кратна тривалості машинного такту.

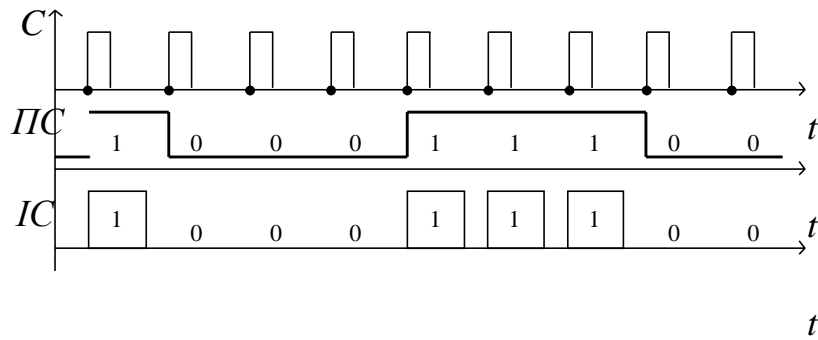


Рис. 1.3. Діаграми потенціальних (ПС) та імпульсних (ІС) сигналів

У логіці значення двійкового сигналу і відповідної змінної X кодуються символами 0 (лог. 0) і 1 (лог. 1). Напругу, що відображає символ 1, позначимо через U^1 , а символ 0 – через U^0 . Розрізняють два способи кодування логічних сигналів X_i потенціальними сигналами – позитивний та негативний. При позитивному кодуванні (позитивна логіка чи угода) більший рівень напруги U_H з урахуванням знака відображає лог. 1, а менший U_L – лог. 0, тобто $X = 1$, якщо $U^1 = U_H$, та $X = 0$ при $U^0 = U_L$ (рис. 1.4, а). При негативному кодуванні (негативна логіка чи угода) більший рівень напруги U_H з урахуванням знаку відображає лог. 0, а менший U_L – лог. 1, тобто $X = 1$, якщо $U^1 = U_L$, та $X = 0$ при $U^0 = U_H$ (рис. 1.4, б).

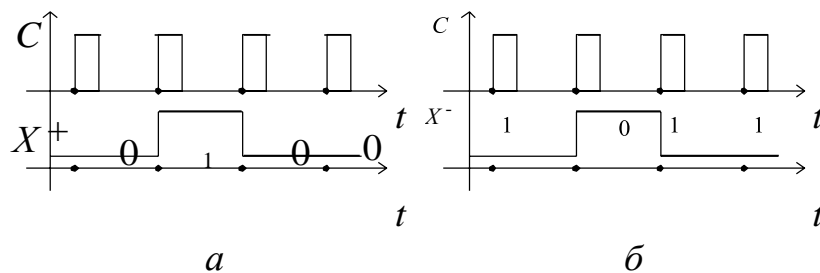


Рис. 1.4. Логічні угоди: а – позитивна X^+ ; б – негативна X^-

Для імпульсних сигналів розрізняють два роди кодування (рис. 1.5): перший – наявність імпульсу відображає лог. 1, відсутність – лог. 0; другий – наявність імпульсу однієї полярності відображає лог. 1, а іншої полярності – лог. 0.

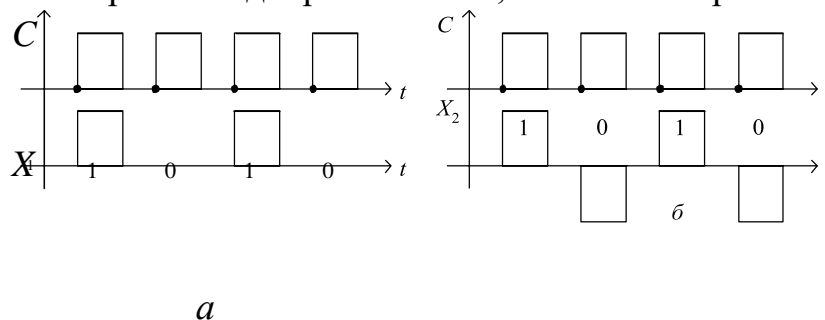


Рис. 1.5. Імпульсне кодування: а – першого роду; б – другого роду

Елементи комп'ютерів класифікуються за такими ознаками:

- використовуваними фізичними приладами;
- видом інформаційних сигналів;
- функціональним призначенням;
- конструкційно-технологічним виготовленням;
- рівнем і ступенем складності.

За типом фізичних приладів розрізняють такі елементи: побудовані на

електронних лампах – перше покоління; на транзисторах – друге покоління; на ІМС малого і середнього ступеня інтеграції – третє покоління; на великих і надвеликих ІМС – четверте покоління.

За видом інформаційних сигналів виділяють:

- потенціальні елементи – використовуються тільки потенціальні сигнали;
- імпульсні елементи – використовуються тільки імпульсні сигнали;
- потенціально-імпульсні елементи – використовуються потенціальні й імпульсні сигнали.

За функціональним призначенням елементи комп'ютерної схемотехніки поділяють на такі класи:

- логічні елементи, призначені для виконання логічних операцій – НЕ, І, ЧИ, НЕ І, НЕ ЧИ, НЕ І ЧИ та ін.;
- елементи, які запам'ятовують – тригери, призначені для зберігання значення однієї двійкової змінної – нуля або одиниці, тобто одного біта інформації;
- допоміжні елементи (підсилювачі, формувачі, перетворювачі сигналів, схеми часового узгодження, генератори імпульсів та ін.), призначені для забезпечення роботи елементів перших двох класів.

За конструкційно-технологічним виготовленням елементна база сучасної комп'ютерної схемотехніки складається з інтегральних мікросхем. Це – мікроелектронні вироби з високою щільністю упакування електрорадіоелементів (резисторів, діодів, транзисторів) і з'єднань між ними. З погляду специфікації, випробування, постачання та експлуатації ІМС розглядаються як єдине ціле.

В ІМС електрорадіоелементи називаються елементами, якщо вони невіддільні від схеми, і компонентами, якщо їх можна використовувати самостійно. Надалі, щоб уникнути плутанини з елементами комп'ютерів, електрорадіоелементи називають просто компонентами.

Мікросхеми класифікують за такими головними ознаками:

- технологією виготовлення – напівпровідникові, гібридні, плівкові;
- конструкційним оформленням – корпусні та безкорпусні;
- формою оброблення інформації – аналогові, цифрові й аналого-цифрові;
- ступенем інтеграції (складності) – малі, середні, великі, надвеликі й ультравеликі;
- типом активних елементів – побудованих на біполярних і МОН-транзисторах;
- областю застосування – широкого застосування, спеціалізовані, у тому числі замовлені і напівзамовлені;
- використовуваними матеріалами – кремнієві, арсенід-галієві;
- перспективними напрямками – кріомікроелектронні, акустоелектронні, оптоелектронні, молекулярної електроніки та ін.

Набір цифрових мікросхем із спільними конструкційно-технологічними і схемотехнічними ознаками утворює серію ІМС. У комп'ютерній схемотехніці широко застосовуються цифрові напівпровідникові корпусні ІМС на основі кремнію і арсеніду галію.

У напівпровідникових ІМС усі компоненти і з'єднання між ними виконані в об'ємі і на поверхні кристала площею від 4 до 100 мм². У гібридних ІМС навісні

компоненти кріпляться на поверхні діелектричної підкладки. У плівкових ІМС усі компоненти і з'єднання між ними виконані у виді тонких плівок на діелектричній підкладці.

Складність мікросхем характеризується рівнем інтеграції N , ступенем інтеграції $K = \lg N$ і ступенем функціональної складності $F = \lg L$, де N – число компонентів, комп.; L – число двовходових логічних елементів (вентилів); значення десяткового логарифма округляється до більшого цілого числа. Промисловість виготовляє ІМС від першого (менше 10 комп.) до шостого (менше 1 млн комп.) і вище ступеня інтеграції.

Можливості інтегральної технології визначає щільність упакування: відношення числа компонентів до об'єму (іноді до площі) кристала. Щільність упакування в напівпровідникових ІМС складає 10^7 комп./см³, а для гібридних – 100–200 комп./см³.

Мала інтегральна схема (МІС) вміщує до 100 комп. включно, середня мікросхема (СІС) – 100–1000 комп., велика інтегральна схема (ВІС) – до 100000 комп., надвелика інтегральна мікросхема (НВІС) – до 1 млн комп., а ультравелика (ультра-ВІС) – до 10 млн комп. і більше. На МІС будують елементи, на СІС реалізують типові вузли, на ВІС, НВІС і ультра-ВІС забезпечують побудову мікропроцесорів і мікрокомп'ютерів.

Кожна елементарна логічна функція реалізується відповідно логічним елементом: ЧИ (диз'юнктор), І (кон'юнктор), НЕ (інвертор). Для реалізації складних функцій логічні елементи об'єднуються у логічну схему.

Функціонально повна система логічних елементів дозволяє побудувати будь-яку складну логічну схему. Такі системи утворюються такими наборами логічних елементів: 1) ЧИ, НЕ; 2) І, НЕ; 3) НЕ ЧИ; 4) НЕ І та іншими.

У технічно повній системі елементів забезпечується значення електричних параметрів двійкових сигналів, для цього використовуються допоміжні елементи – підсилювачі, повторювачі, формувачі та ін.

З урахуванням вищевикладеного можна сказати, що система елементів являє собою функціонально і технічно повний набір елементів, який використовує однакові способи представлення інформації, а також має спільні конструктивно-технологічні характеристики.

Характеристики логічних елементів

Логічні, схемотехнічні й експлуатаційні властивості логічних елементів визначаються сукупністю характеристик і параметрів, до яких відносяться:

1) функції логічних елементів; 2) логічні угоди; 3) коефіцієнти об'єднання за входом і виходом; 4) коефіцієнт розгалуження; 5) швидкодія; 6) потужність споживання; 7) робота перемикачів; 8) вхідні й вихідні напруги і струми; 9) статична і динамічна стійкість до перешкод; 10) надійність елементів; 11) допустимі розміри механічних впливів, діапазони тиску і температури навколишнього середовища, стійкість до радіаційних впливів; 12) маса, вартість і конструктивне оформлення. У більшості випадків зазначені характеристики і параметри відносяться і до ІМС, на яких реалізовані логічні елементи.

Розглядаючи серії мікросхем з різними технологіями виготовлення та різних фірм-виробників, легко встановити високий рівень уніфікації наборів типових логічних елементів та їх технічних характеристик.

Разом з *однофункціональними* елементами (**НІ**, **І**, **АБО**), широко використовуються *двофункціональні* (**І-НІ**, **АБО-НІ**, **ВИКЛ. АБО**). Більш обмежено використовуються *трёхфункціональні* (**І-АБО-НІ**) з різним рівнем розширення. Вказаний набір комбінаційних мікросхем з повного набору серії, що зветься *бібліотекою*, є базовим набором або базовими логічними елементами. Більш того, проєктовані матричні великі інтегральні схеми (**ВІС**) орієнтуються також на використання логічних функцій, тотожних базовим логічним елементам.

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

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

Задача реалізації логічних функцій розв'язується шляхом використання правила подвійного заперечення та теореми де Моргана. Проілюструємо це на наступних прикладах.

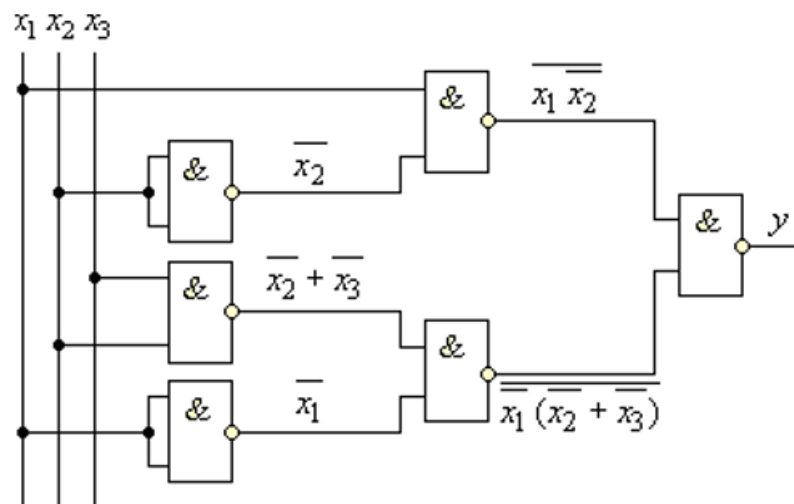
Приклад 3.1. Використовуючи елементи **І-НІ**, реалізувати функцію:

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

Розв'язання. На основі правила подвійного заперечення функція (3.1) може бути зображена у вигляді:

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

Враховуючи, що $\overline{\overline{x_2} + \overline{x_3}} = x_2 \cdot x_3$, логічну схему можемо зобразити у вигляді, приведеному на рис. 3.1.



Приклад 3.2. Використовуючи елементи АБО-НІ, реалізувати функцію:

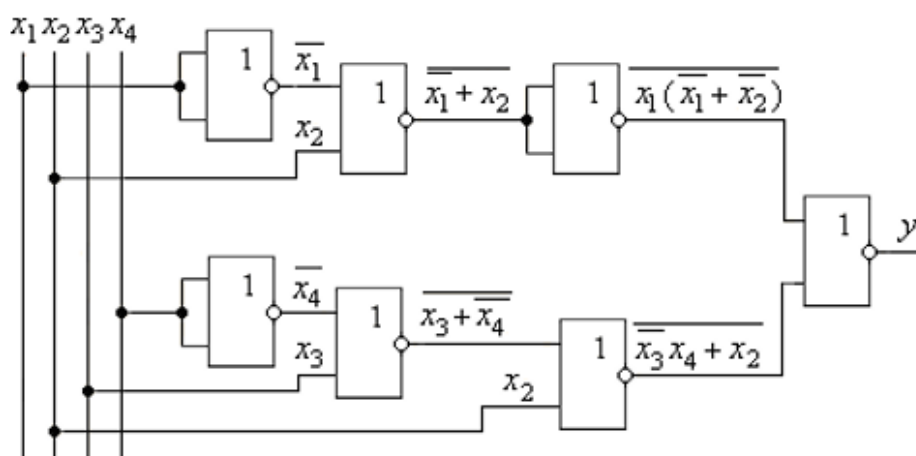
$$y = x_1 \cdot (\bar{x}_1 + \bar{x}_2) \cdot (x_2 + x_3 \cdot x_4) .$$

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

$$y = x_1 \cdot (\bar{x}_1 + \bar{x}_2) \cdot (x_2 + x_3 \cdot x_4) = x_1 \cdot (\overline{x_1 \cdot x_2}) \cdot (x_2 + x_3 \cdot x_4) = x_1 \cdot (\overline{x_1 \cdot x_2}) + (x_2 + x_3 \cdot x_4) \cdot \overline{x_1 \cdot x_2} .$$

Реалізація функції (3.2) приведена на рис. 3.2. Враховано, що

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



Завдання

- Дослідити базові елементи логічних мікросхем та зрівняти результати вимірювань з відповідними таблицями істинності:
 - Скласти схему, що складається з двох входів;
 - Сформувати вхідні сигнали, які б забезпечували перебір усіх можливих двійкових комбінацій на входах схеми та провести імітаційне моделювання схеми;
 - Отримати в результаті моделювання схеми часові діаграми її роботи для всіх входів та виходів. Зіставити результати симуляції з таблицями істинності відповідних логічних функцій та впевнитись у тому, що вони співпадають.
- Для заданої функції згідно з варіантами завдання №3 з лабораторної 4 побудувати комбінаційну схему з використанням елементів 2АБО-НЕ, 2І-НЕ. Змоделювати роботу схеми у програмі Logisim та перевірити, склавши таблицю істинності.
- Виконати мінімізацію за допомогою карт Карно та одержати ДНФ і КНФ для функції згідно з варіантами. Для обох форм побудувати комбінаційні схеми.

№ варіанта	Функція $f(x_1, x_2, x_3, x_4)$
1	$V(0,1,7,8,11,14,15); \wedge(2,3,4,5,6,9,10,12,13)$
2	$V(1,4,8, 9, 10,13, 14); *$
3	$V(2,6,7,8,10,12,13,15) *$
4	$V(0,3,4,5,9,11,13,15) *$
5	$V(1,3,5,6,10,12,14) *$
6	$V(6,7,8,9,10,12,14,15) *$
7	$V(2,3,6,8,9,11,14) *$
8	$V(3,5,6,7,8,10,11) *$
9	$V(6,8,9,10,11,12,15) *$
10	$V(0,4,7,8,11,14,15) *$
11	$V(3,4,5,7,8,11,12,15) *$
12	$V(3,6,7,8,9,10,14,15) *$
13	$V(1,2,4,5,9,11,12) *$
14	$V(2,4,6,9,11,13,14) *$
15	$V(1,2,5,7,8,11,15) *$
16	$V(1,2,4,7,11,13,14) *$
17	$V(0,6,10,12,13,15) *$
18	$V(0,4,8,10,12,13) *$
19	$V(0,2,5,6,9,11,14) *$
20	$V(3,5,6,7, 8, 9,12,13) *$
21	$V(0,4,7,8,9,15) *$
22	$V(2,5,6,8,9,10,14) *$
23	$V(2,3,6,9,11,12,14) *$
24	$V(0,2,3,6,9,11,12) *$
25	$V(0,4,5,6,10,7,15) *$
26	$V(0,2,3,5,7,11,13) *$
27	$V(0,1,3,4,8,12,15) *$
28	$V(3,4,6,7,10,11,13,15,) *$
29	$V(0,4,6,7,9,11,12,) *$
30	$V(1,2,4,6,7,10,15) *$

* ДКНФ побудувати відповідно даних функції у ДДНФ

Зміст звіту

У звіті необхідно представити:

- назву і мету роботи;
- назви та умовні позначення логічних елементів, що досліджуються;
- таблиці істинності елементів, що моделювалися;
- функціональну схему для моделювання роботи заданих логічних елементів, створену в середовищі Logisim, яку було складено в процесі виконання роботи;
- часові діаграми роботи схеми;
- висновки.

Контрольні запитання та завдання

Для успішного виконання та захисту роботи необхідно знати відповіді на такі запитання:

1. Поняття логічної змінної в алгебрі Дж. Буля. Які значення вона може приймати?
2. Поняття позитивної та негативної логіки.
3. Основні операції в алгебрі логіки: диз'юнкція, кон'юнкція, інверсія. Позначення, таблиці істинності.
4. Основні закони алгебри логіки.
5. Широковживані логічні функції: операції І-НЕ, АБО-НЕ, функції рівнозначності та нерівнозначності. Позначення, таблиці істинності.
6. Що таке логічний елемент? Умовні позначення на схемах логічних елементів, що відповідають основним та широковживаним логічним функціям.
7. Що таке функціонально-повна система (ФПС) логічних функцій? Що таке логічний базис? Які ФПС та логічні базиси існують?

Для успішного виконання та захисту роботи необхідно вміти виконувати такі завдання:

1. Вміти здійснювати перетворення над логічними функціями, записаними в алгебричній формі, застосовуючи основні закони алгебри логіки.
2. Вміти реалізовувати логічну функцію в певному базисі.
3. Вміти зображувати функціональну схему цифрового вузла на основі алгебричного запису функцій його виходів.