

ФАКУЛЬТЕТ АВТОМАТИКИ, ТЕЛЕМЕХАНІКИ ТА ЗВ'ЯЗКУ

Кафедра «Транспортний зв'язок»

**РОЗРОБКА І ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕСТОВИХ МЕТОДІВ
КОНТРОЛЮ ТА ДІАГНОСТУВАННЯ
ДИСКРЕТНИХ ПРИСТРОЇВ ЗВ'ЯЗКУ**

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до розрахунково-графічної та лабораторної роботи

з дисципліни

***“СПЕЦІАЛЬНІ ВИМІРЮВАННЯ ТА ТЕХНІЧНА
ДІАГНОСТИКА У СИСТЕМАХ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ”***

Харків 2009

Методичні вказівки розглянуто та рекомендовано до друку на засіданні кафедри "Транспортний зв'язок" 24 січня 2008 р., протокол № 7.

Наведено теоретичні відомості про тестовий метод контролю (діагностування), методику розробки та дослідження тестового методу контролю (діагностування) дискретних пристроїв зв'язку. На основі виконання індивідуального завдання, поданого в методичних вказівках, базується розрахунково-графічна робота та лабораторна робота, сутність якої полягає у перевірці правильності розробленого тестового методу контролю (діагностування) на лабораторних стендах.

Рекомендуються для студентів факультету “Автоматика, телемеханіка і зв'язок” усіх форм навчання.

Укладач

доц. М.О.Колісник

Рецензент

проф. В.Ф. Кустов

РОЗРОБКА І ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕСТОВИХ МЕТОДІВ
КОНТРОЛЮ ТА ДІАГНОСТУВАННЯ
ДИСКРЕТНИХ ПРИСТРОЇВ ЗВ'ЯЗКУ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до розрахунково-графічної та лабораторної роботи
з дисципліни

*“СПЕЦІАЛЬНІ ВИМІРЮВАННЯ ТА ТЕХНІЧНА
ДІАГНОСТИКА У СИСТЕМАХ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ”*

Відповідальний за випуск Колісник М.О.

Редактор Буранова Н.В.

Підписано до друку 02.12.08 р.

Формат паперу 60x84 1/16 . Папір писальний.

Умовн.-друк.арк. 2,5. Обл.-вид.арк. 2,75.

Замовлення № Тираж 150. Ціна

Видавництво УкрДАЗТу, свідоцтво ДК № 2874 від. 12.06.2007 р.

Друкарня УкрДАЗТу,
61050, Харків - 50, пл. Фейєрбаха, 7

УКРАЇНСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ
ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ

ФАКУЛЬТЕТ АВТОМАТИКИ, ТЕЛЕМЕХАНІКИ ТА ЗВ'ЯЗКУ

Кафедра “Транспортний зв’язок”

**РОЗРОБКА І ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕСТОВИХ МЕТОДІВ
КОНТРОЛЮ ТА ДІАГНОСТУВАННЯ
ДИСКРЕТНИХ ПРИСТРОЇВ ЗВ'ЯЗКУ**

методичні вказівки для студентів всіх форм навчання
до розрахунково-графічної та лабораторної роботи з дисципліни
“Спеціальні вимірювання та технічна діагностика у системах
телекомунікацій”

для студентів факультету
“Автоматика, телемеханіка і зв’язок” усіх форм навчання

Харків 2008

Колісник М.О. Розробка і дослідження тестових методів контролю та діагностування дискретних пристроїв зв’язку: методичні вказівки для студентів всіх форм навчання до розрахунково-графічної та лабораторної роботи з дисципліни “Спеціальні вимірювання та технічна діагностика у системах телекомунікацій”. – Харків, УкрДАЗТ, 2008. – с.

Наведено теоретичні відомості про тестовий метод контролю (діагностування), методику розробки та дослідження тестового методу контролю (діагностування) дискретних пристроїв зв'язку. На основі виконання індивідуального завдання, приведеного в методичних вказівках, базується розрахунково-графічна робота та лабораторна робота, сутність якої заключається в перевірці правильності розробленого тестового методу контролю (діагностування) на лабораторних стендах.

Методичні вказівки розглянуто та рекомендовано до друку на засіданні кафедри “Транспортний зв'язок” 24 січня 2008 р., протокол № 7

Призначено для студентів факультету АТЗ всіх форм і термінів навчання.

Іл. 6 , табл. 5, бібліогр.: 9

Рецензент:
проф. В.Ф. Кустов

МЕТА РОБОТИ

Закріпити теоретичні знання і набути практичних навичок і умінь в розробці, оптимізації і дослідженні методів і алгоритмів контролю і діагностування дискретних комбінаційних пристроїв.

ЗАВДАННЯ НА РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНУ РОБОТУ

1 За літературою, конспектом лекцій і даними методичними вказівками вивчити принципи, методи і практичні прийоми

розробки, оптимізації і експериментального дослідження методів і алгоритмів контролю і діагностування дискретних комбінаційних пристроїв.

2 Ознайомитися з описом лабораторної установки УМ11М.

3 За заданою схемою дискретного комбінаційного пристрою встановити і проаналізувати її елементну базу, визначити список несправностей. Обґрунтувати еквівалентні несправності елементів. Виділити і скласти таблицю класів еквівалентних станів досліджуваної комбінаційної схеми.

4 Описати за допомогою логічних функцій роботу працездатної схеми і, за наявності, згрупованих в класи несправностей.

5 Отримати і мінімізувати таблицю істинності (таблицю функцій несправностей) для даної схеми. Встановити необхідність введення додаткових виходів у схему.

6 Отримати тривіальний і елементарні тести для контролю і діагностування досліджуваної схеми.

7 Побудувати діагностичні таблиці для організації контролю і діагностування схеми. Розробити безумовний і умовний алгоритми (тести) контролю і діагностування.

ПРОГРАМА РОБОТИ В ЛАБОРАТОРІЇ

1 Ознайомитися з набірним полем і роботою лабораторної установки УМ11М.

2 Провести експериментальне дослідження роботи елементної бази в працездатному стані і при моделюванні виділених константних несправностей. Експериментально перевірити наявність еквівалентних несправностей, зіставити їх з результатами теоретичного дослідження.

3 За допомогою комутаційних шнурів зібрати задану схему комбінаційного пристрою. Експериментально за допомогою моделювання встановити функції, що реалізуються схемою в працездатному стані, і за наявності константних несправностей відповідно до таблиці класів еквівалентних несправностей. Експериментально переконатися в правильній побудові цієї таблиці, а також таблиці функцій несправностей (ТФН).

4 Експериментально дослідити роботу безумовного алгоритму контролю і діагностування відповідно до діагностичної таблиці.

5 Експериментально дослідити роботу декількох умовних алгоритмів контролю і діагностування, зіставляючи результати з дослідженням безумовного алгоритму.

6 Експериментально дослідити роботу і ефективність розроблених безумовного і умовного алгоритмів контролю і діагностування при моделюванні у схемі за наявності більш однієї несправності.

7 Оформити звіт про виконану роботу.

ЗМІСТ ЗВІТУ

1 Структурна схема досліджуваного пристрою і його елементної бази.

2 Обґрунтування за допомогою таблиць істинності еквівалентних несправностей використовуваної елементної бази. Таблиця класів еквівалентних станів схеми.

3 Логічні формули, що описують роботу працездатної схеми і за наявності одиночних константних несправностей.

4 Початкова і мінімізована таблиця функцій несправностей. Обґрунтування шляхів мінімізації таблиці.

5 Матеріали розробки елементарного безумовного і умовного тестів контролю і діагностування. Діагностична таблиця.

6 Матеріали експериментальних досліджень з аналізом отриманих результатів за всіма пунктами програми роботи в лабораторії.

7 Висновки за підсумками розробки, оптимізації і експериментальних досліджень методів тестового контролю і діагностування дискретного комбінаційного пристрою.

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1 Що розуміють під тестовим контролем працездатності пристрою і його діагностуванням? Що в цих різновидах контролю загальне, а в чому їх відмітна особливість?

2 Що таке тест контролю (діагностування), тривіальний і елементарний тест?

3 Основні характеристики методів контролю і діагностування.

4 Найбільш часто використовувана модель несправностей типової елементної бази дискретних пристроїв. Константні несправності.

5 Початкові дані розробки тестових методів контролю і діагностування дискретних пристроїв. Класи еквівалентних несправностей дискретних пристроїв.

6 Методи опису роботи дискретних комбінаційних пристроїв. Правила отримання такого опису. Переваги і недоліки методів.

7 Відмітні особливості ТФН, що отримуються при допущенні можливості виникнення в схемі не більш однієї несправності.

8 Зміст аналізу і мінімізації ТФН. Характерні особливості мінімізованої ТФН.

ВСТУП

Важливою ознакою сучасного етапу розвитку науки і техніки, сфери виробництва та споживання є стрімкий розвиток і впровадження цифрових технологій. Цифрові пристрої є основою комп'ютерної техніки, радіотехнічної апаратури, систем телекомунікацій та ін.

До засобів телекомунікацій ставляться такі вимоги [1]:

1) забезпечення передачі необхідного обсягу інформації, відомостей;

2) заданий час передачі;

3) передача з необхідною якістю.

Для забезпечення таких вимог необхідне надійне функціонування засобів телекомунікацій. Забезпечення високої надійності цифрових систем, у першу чергу, безвідмовності, ремонтпридатності та готовності, неможливе без розвинутих засобів контролю і діагностування. Цей висновок справедливий як для систем, що відновлюються автоматично, так і для систем, працездатність яких відновлюється шляхом їх вилучення та ремонту. Для систем постійної готовності, таких як цифрові системи комутації, цифрові системи передачі інформації,

найважливішими є висока достовірність, оперативність та безвідмовність засобів контролю і діагностування. Таким чином, досконалість засобів контролю і діагностування є важливою характеристикою цифрових систем телекомунікацій, значення якої зростає внаслідок ускладнення їх елементної бази, структури та функцій, що виконуються.

ОСНОВНІ ТЕРМІНИ

Об'єкт технічного діагностування (контролю технічного стану) – виріб і (або) його складові частини, що підлягають контролю (діагностуванню).

Технічний стан об'єкта – стан, що характеризується у певний момент часу, при визначених умовах навколишнього середовища значеннями параметрів, установлених технічною документацією на об'єкт. В загальному випадку технічний стан – сукупність значень параметрів, що характеризують якість, ефективність функціонування засобів зв'язку.

Технічне діагностування – визначення технічного стану об'єкта з визначеною (заданою) точністю. Задачами технічного діагностування є:

- контроль технічного стану;
- пошук місця та визначення причин відмови (несправності);
- прогнозування технічного стану.

Термін “технічне діагностування” використовують у найменуваннях і назвах понять, коли задачі технічного діагностування, що вирішуються, рівнозначні або основним завданням є пошук місця і визначення причин відмови (несправності).

Контроль технічного стану – перевірка відповідності значень параметрів об'єкта вимогам технічної документації і визначення на цій основі одного з заданих видів технічного стану в даний момент часу.

Видами технічного стану є, наприклад, справний, несправний, працездатний, непрацездатний, в залежності від значень параметрів у даний момент часу.

Працездатний стан – технічний стан, при якому всі основні параметри знаходяться в межах норм, визначених у нормативно-технічній документації (НТД).

Непрацездатний стан – технічний стан, при котрому значення хоча б одного основного параметра виходить за межі норм, визначених у нормативно-технічній документації (НТД).

Відмова – порушення працездатності системи зв'язку, тобто невиконання заданих функцій системою зв'язку.

Пошкодження – технічний стан, при якому за межі норм, установлених НТД, виходять значення неосновних параметрів.

Дефект – жодна невідповідність вимогам у процесі експлуатації.

Справний стан – технічний стан, при якому всі параметри знаходяться в межах норм, визначених у нормативно-технічній документації (НТД).

В залежності від того, який з параметрів (основний або неосновний) виходить за межі норм НТД, виникає або відмова системи зв'язку, або її пошкодження.

Повнота контролю – характеристика, що визначає можливість виявлення відмов (несправностей) в об'єкті при обраному методі діагностування. Оцінюється імовірністю виявлення дефекту (відмови, несправності).

Глибина діагностування (пошуку дефекту) – характеризує рівень складової частини об'єкта діагностування, з точністю до якого визначається місце дефекту (елемент, плата, пристрій, канал, блок і т.д.).

Прогнозування технічного стану – визначення технічного стану об'єкта з заданою ймовірністю на майбутній проміжок часу. Метою прогнозування технічного стану може бути визначення з заданою ймовірністю проміжку часу, упродовж якого збережеться працездатний (справний) стан об'єкта, або ймовірністю збереження працездатного (справного) стану об'єкта на заданий проміжок часу.

МЕТОДИКА РОЗРОБКИ І ДОСЛІДЖЕННЯ КОНТРОЛЮЮЧИХ І ДІАГНОСТИЧНИХ ТЕСТІВ ДИСКРЕТНИХ КОМБІНАЦІЙНИХ ПРИСТРОЇВ

В процесі експлуатації технічних засобів виникає задача визначення, правильно чи неправильно функціонує згідно з поставленою метою система зв'язку в цілому або окремі її частини. Під **контролем** розуміють сукупність операцій вирішення цього завдання. При цьому може контролюватися як

правильність роботи апаратури, так і правильність передачі, переробки і зберігання інформації, що циркулює в системі зв'язку. Якщо стоїть задача визначення місця і характеру дефекту (відмови, несправності), в результаті якого об'єкт контролю повністю або частково втратив працездатність і функціонує неправильно, то здійснюється діагностування. Контроль працездатності (справності) є діагностичним контролем, при якому місце знаходження дефекту вказується з точністю до об'єкта в цілому.

Під час **тестового контролю та діагностування** для визначення технічного стану об'єкта на його входи подають спеціальні впливи (тести, тестові послідовності), які для прийняття необхідного рішення повинні відповідати певним співвідношенням і (або) умовам: якщо ці співвідношення і (або) умови використовуються для оцінки, чи є контрольований об'єкт (система або окреме її обладнання) працездатним або непрацездатним, то вони мають назву функцій та умов працездатності. Сукупність (послідовність) вхідних дій, що подаються на досліджуваній об'єкт (систему, блок, пристрій) з метою визначення його технічного стану, називають тестом контролю або діагностування залежно від необхідності встановлення працездатності об'єкта або характеру і місця дефекту при втраті ним працездатності. При діагностуванні здійснюється деталізація технічного стану із наданим ступенем визначення місця (можливо, і характеру) дефекту, який є причиною виникнення несправності або відмови об'єкта і підлягає перевірці. Для цього необхідні додаткові відомості, які дають можливість встановити характер і місце дефекту (відмови) із потрібною глибиною діагностування. Тобто при тестовому контролі (діагностуванні) використовуються не спеціальні вхідні дії, а заздалегідь встановлені відповідні ним реакції (норми), необхідні для визначення технічного стану об'єкта, що перевіряється. Таким чином, при тестовому контролі і діагностуванні технічний стан досліджуваного об'єкта визначається шляхом подачі на його входи випробувальних сигналів (тестів) і порівняння отриманих реакцій з наявним набором при відповідних станах (дефектах). Тестові методи перевірки добре пристосовані до діагностичного контролю,

виявлення стійких відмов, можуть застосовуватися періодично при припиненні об'єктом виконання основної задачі.

Так, наприклад, дискретний комбінаційний прилад повинен реалізувати деяку функцію F_0 , яка і є функцією працездатності. Якщо прилад, що контролюється, реалізує функцію F , то він працездатний при $F=F_0$, а непрацездатний – при $F \neq F_0$. Очевидно, що для діагностування необхідно також завчасно знати, які функції F_i , $i = 1, 2, \dots, n$ реалізуються приладом при відповідних відмовах (дефектах). Отже, для здійснення контролю та діагностування (пряма задача) необхідно мати певну тестову послідовність та відповідну до неї сукупність реакцій. А для цього вони мають бути попередньо розроблені, тобто мусить бути розв'язана зворотна задача контролю та діагностування і синтезовано певний алгоритм контролю та діагностування для прийнятої моделі несправностей і наданих повноти і глибини. Вибір моделі несправностей залежить від призначення та мети контролю і діагностування, етапу життєвого циклу (виготовлення, експлуатація і т.д.) об'єкта, особливостей принципів побудови, роботи та технології виготовлення як системи і її приладів, так і їхньої елементної бази.

Під час тестового контролю та діагностування (КД) для розпізнавання технічного стану здійснюється повне або часткове (часове) вимкнення об'єкта контролю та діагностування (ОКД) від виконання основних функцій і використовуються спеціальні тестові впливи (рисунки 1, 2).

Увімкнення ОКД до засобів тестового КД (ЗТКД) здійснюється за допомогою комутаторів $K1$ і $K2$, які можуть керуватися як зовнішніми сигналами, так і сигналами, що створені ОКД або ЗТКД.

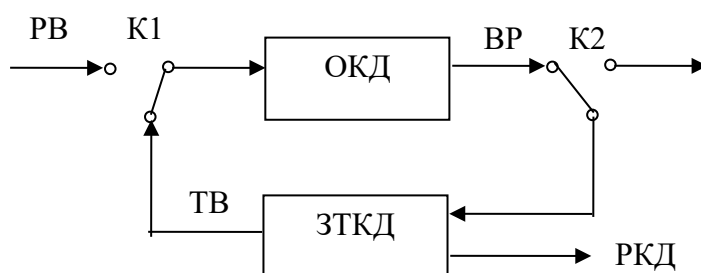


Рисунок 1 – Загальна структурна схема системи тестового КД

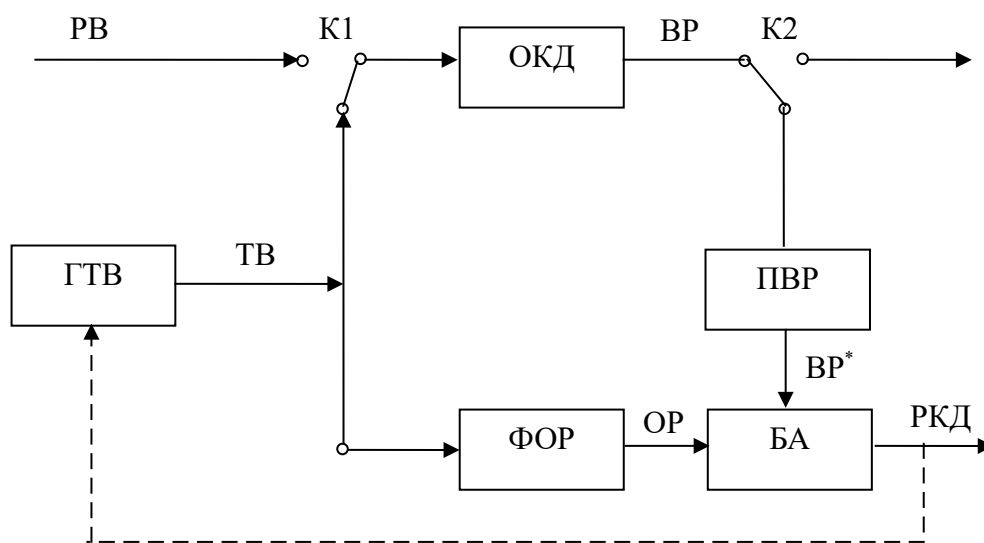


Рисунок 2 – Розгорнута структурна схема системи тестового КД

На рисунку 2 подано докладну структурну схему системи тестового КД, яка має блоки:

ФОР – формувач очікуваної реакції, призначений для генерації сигналів, які відповідають працездатному об'єкту під час подачі на нього відомих робочих впливів РВ (ОР);

ПВР – перетворювач вихідних реакцій, який здійснює перетворення вихідних сигналів ОКД на вид ВР, необхідний для порівняння з ОР;

ГТВ – генератор тестових впливів;

БА – блок аналізу, призначений для порівняння (зіставлення та аналізу) кодів, очікуваної реакції та реформованої вихідної реакції ОКД і формування результату контролю та діагностування (РКД) – визначення номера технічного стану, в якому знаходиться об'єкт;

РВ – робочі впливи;

ВР – вихідні реакції;

ОР – очікувані реакції;

ТВ – тестові впливи.

Принциповою відмінністю тестового КД є наявність спеціального блока, який здійснює формування тестових впливів.

Цей блок має назву генератора тестових впливів (ГТВ), який за певним законом (програмою) видає ТВ, які надходять як на ОКД, так і на ФОР. У цілому робота цієї схеми, а саме її блоків ФОР, ПВР і БА, схожа з системою робочого КД, хоча в них, як правило, ці засоби потребують великих апаратурних затрат.

Таким чином, у системах тестового КД задача перевірки вирішується загалом шляхом введення часової надмірності. Апаратурні затрати на засоби тестового КД можуть бути суттєво знижені за рахунок програмної реалізації функції блоків ГТВ, ФОР, БА.

Системи тестового КД дозволяють виявляти та локалізувати лише відмови об'єкта перевірки.

В процесі розробки тестового методу контролю (діагностування) визначається мінімальна сукупність вхідних (тестових) дій, використовуваних входів і виходів (об'єкта), відповідних їм реакцій об'єкта, що перевіряється, а також оптимальний алгоритм організації і реалізації перевірки, яка завершується видачею відомостей про технічний стан об'єкта. Під вхідним набором розуміють відповідну конкретну вхідну дію на входи об'єкта перевірки. Кожен з вхідних наборів є одиничною тестовою дією. **Елементарною перевіркою** називають фізичний експеримент над об'єктом, що полягає в одиничній тестовій (або робочій) дії на об'єкт, отриманні і аналізі його реакції. В основі розробки методу контролю (діагностування) і оптимізації характеристик лежить мета і умови його практичного використання, структура, а також модель відмов елементної бази. Як свідчать статистичні дані експериментів і експлуатації, переважна більшість дефектів призводять до появи константних (логічних) відмов, яким еквівалентні відповідні константні значення 0 або 1 певних входів і виходів. Структури релейно-контактних дискретних приладів містять контакти реле, а також з'єднувальні ланцюги. Стійкі відмови контактів (хибне замикання або хибне розмикання), обмоток електромеханічних реле (обрив або коротке замикання), обриви або короткі замикання ланцюгів призводять до того, що порушується закономірність (логіка) роботи приладу у зв'язку із змінами його логічної структури. Такого виду **відмови** називаються **логічними**. Водночас вони належать до класу **константних несправностей**, тому що

відповідні до них змінні набувають фіксованого значення "константа 1" ($=1$) або "константа 0" ($=0$). До класу коротких замикань ланцюгів належать несправності, внаслідок яких одна або декілька змінних можуть набувати лише однакових значень, а до класу переплутань – несправності, через які декілька змінних переставляються місцями. Відмовами обмоток реле, як правило, нехтують.

При цьому найчастіше передбачається, що в об'єкті може бути не більш за одну стійку (константну) відмову. Взагалі ж вибрана при дослідженні їх кількість повинна забезпечити необхідну повноту контролю. Це визначає, які допустимі технічні стани (відмови) слід розглядати при розробці методу. Потім встановлюються контрольні точки, під якими розуміють місце знімання інформації (реакцій) для подальшого визначення технічного стану об'єкта. Раціональне їх число визначають у результаті вирішення завдання оптимізації. Доцільно спочатку при розробці методу використовувати тільки робочі виходи. Якщо трапиться, що при цьому не забезпечується необхідна повнота контролю і глибина діагностування, то вводяться відповідні додаткові виходи. Можна вирішувати задачу, використовуючи всі можливі робочі і додаткові виходи. Потім з їх числа обирається така мінімальна кількість, яка забезпечує вирішення завдання з необхідною ефективністю. Звичайно, додаткові виходи (можливо, і входи) передбачається використовувати лише ті, які допускає структура досліджуваного об'єкта.

За наявною структурою, з врахуванням вибраних входів і виходів робота схеми описується логічними формулами. На підставі цих формул отримують функції несправностей, надаючи конкретні константні значення входам і виходам елементів, відповідні отриманим допустимим відмовам (дефектам). Щоб полегшити і спростити подальшу роботу, доцільно згрупувати нерозрізнені (еквівалентні) несправності у відповідні класи. При цьому, природно, має бути забезпечена необхідна глибина діагностування.

Для наочного і більш зручного аналізу на підставі отриманих формул слід заповнити **таблицю істинності** (таблицю функцій несправностей, ТФН). Ця таблиця є табличним

списанням роботи схеми в працездатному стані і при допустимих відмовах (несправностях). З ТФН легше працювати, якщо в ній робити записи лише для тих наборів, при яких вихідна реакція схеми з відмовою відрізняється від значення виходу справної схеми. Такий запис наочно виділяє ознаку відповідного дефекту (відмови, несправності) при даному вхідному наборі.

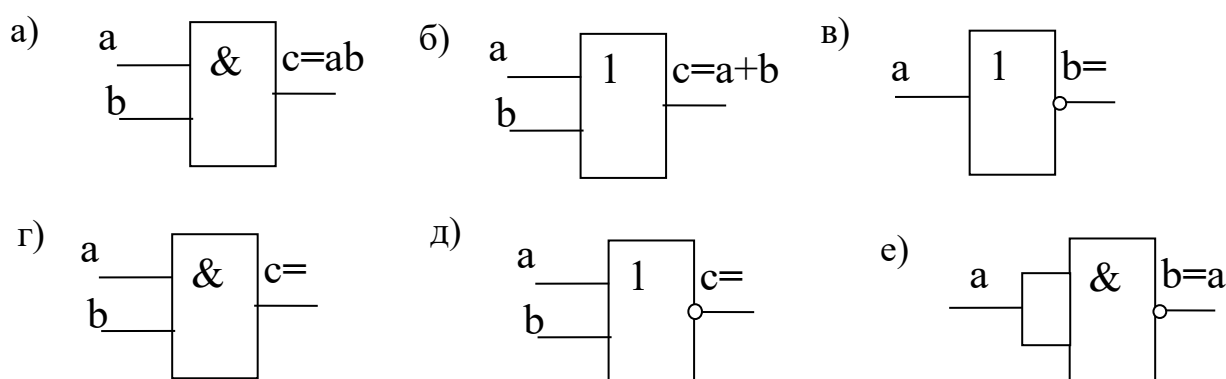
Як тест можна використовувати всі можливі вхідні дії при функціонуванні об'єкта. Проте під час контролю (діагностування) деякі з цих дій можуть бути надлишковими з огляду на те, що реакції схеми при цьому будуть однаковими. Тому з таких вхідних дій доцільно включити в тест лише один набір. У тест також не слід включати набори, на яких не проявляє себе жодна з відмов. З ТФН видаляються також стовпці, відповідні відмовам, що не проявляють себе при контролі, а з відповідних **еквівалентним відмовам** залишається лише один. Таблиця істинності, що не містить однакових і незаповнених стовпців і рядків, є **мінімізованою**. Сукупність вхідних наборів, що входять в таку таблицю, утворює тривіальний тест. Він може бути надлишковим. **Тест**, що містить мінімальну кількість наборів, що дозволяє вирішити завдання контролю або діагностування, називають **елементарним**. Елементарний тест можна визначити за допомогою такого методу. Визначається мінімальна кількість наборів, при якій всі функції несправностей попарно помітні. Попарна помітність забезпечує їх повну помітність. Наявність елементарного тесту і ТФН дозволяє побудувати **діагностичну таблицю**. Ця таблиця вказує відповідність вхідних наборів, вихідних реакцій об'єкта контролю і відповідних їм технічних станів. Вона дає можливість встановити технічний стан об'єкта, що перевіряється. На підставі цієї таблиці розробляється алгоритм контролю (діагностування) як сукупність розпоряджень про технічну реалізацію контролю (діагностування).

Якщо алгоритм передбачає реалізацію заздалегідь встановленої черговості операцій, то його називають безумовним. При такому алгоритмі вміст чергової дії не залежить від виду вхідних дій, що подавалися, і отриманих на них реакцій. Для визначення технічного стану на вхід об'єкта не завжди слід подавати всі набори, створюючи елементарний тест. У подібних випадках число наборів, що подаються, може бути скорочено за

допомогою раціональної їх послідовності. У подачі подальших наборів немає необхідності, якщо отриманої інформації вистачає для ухвалення рішення про технічний стан об'єкта, що перевіряється. При цьому вхідні набори можуть використовуватися в послідовності, яка залежить від раніше реалізованих наборів і отриманої на них реакції. Така організація контролю здійснюється за допомогою **умовного алгоритму**. Алгоритм контролю (діагностування) називають умовним, якщо вибір чергового розпорядження визначається результатами попередніх чергових перевірок. У результаті поетапної розробки тестового методу контролю (діагностування) в послідовності, що розглядається, здійснюється оптимізація її характеристик. Розробляється метод, що реалізовує контроль (діагностування) з необхідною ефективністю. Як елементну базу досліджуваних дискретних комбінаційних пристроїв передбачається використовувати логічні елементи І, АБО, НІ, І-НІ, АБО-НІ (рисунок 3). У двовходових вентилях a і b – входи, c – вихід; для вентиля НІ a – вхід, b – вихід. Їм властиві **константні несправності**, що моделюють постійні 0 і 1 на входах або виході. Позначаються відповідно константа “0” (K0) і константа “1” (K1). Такі несправності на вході (лінії) a позначаються $a/0$ і $a/1$. Для інших входів і виходів позначення аналогічні. Передбачаємо, що в кожному елементі (а також у подальшому в схемі) може бути не більше за одну несправність. Опис роботи справних модулів при вказаних несправностях подано в таблиці 1. З аналізу цієї таблиці виходить, що у вентилях є еквівалентні несправності.

При розробці методу контролю та діагностування оптимізуються його характеристики згідно з поставленою метою, умовами практичного використання для приладу з конкретною структурою і елементною базою, а також прийнятою моделлю несправностей цієї бази. Як показано вище, дуже часто більша кількість дефектів спричиняє виникнення константних несправностей, еквівалентних сталим значенням “ $\equiv 1$ ” або “ $\equiv 0$ ” сигналів на входах і виходах елементів і схем приладу. Розроблена тестова послідовність повинна забезпечити потрібні повноту контролю та глибину діагностування при мінімальній кількості вхідних впливів. У цьому випадку розпізнавання технічного стану об'єкта буде досить коротким.

Щоб скоротити наступний обсяг роботи, перш за все доцільно скоротити кількість несправностей розглядуваних елементів, враховуючи еквівалентні серед тих, що виділені для виявлення та діагностування. Оцінка технічного стану об'єкта, що контролюється, здійснюється на основі аналізу реакцій його на тестову послідовність. Із цього випливає, що несправності, які дають одні й ті самі реакції на виході елемента (схеми), є нерозрізненими, тобто еквівалентними. Припустимо для певності, що як елементну базу досліджуваних дискретних комбінаційних приладів є намір використовувати логічні елементи І, АБО, НІ, І-НІ, АБО-НІ (рисунки 3, 4).



а - логічний елемент І; б - логічний елемент АБО;
 в, е - логічний елемент НІ; г - логічний елемент І-НІ;
 д - логічний елемент АБО-НІ

Рисунок 3 – Основні логічні елементи для оцінки технічного стану об'єкта

Таблиця 1 – Опис роботи елементів при зазначених несправностях для прикладу, поданого на рисунку 3

а)

a	b	$c = a \blacksquare b$	$a/0$	$a/1$	$b/0$	$b/1$	$c/0$	$c/1$
0	0	0	0	0	0	0	0	1
0	1	0	0	1	0	0	0	1
1	0	0	0	0	0	1	0	1
1	1	1	0	1	0	1	0	1

б)

a	b	$c = a \square b$	$a/0$	$a/1$	$b/0$	$b/1$	$c/0$	$c/1$
0	0	0	0	1	0	1	0	1

0	1	1	1	1	0	1	0	1
1	0	1	0	1	1	1	0	1
1	1	1	1	1	1	1	0	1

в)

a	b	$c = \overline{a \cdot b}$	$a/0$	$a/1$	$b/0$	$b/1$	$c/0$	$c/1$
0	0	1	1	1	1	1	0	1
0	1	1	1	0	1	1	0	1
1	0	1	1	1	1	0	0	1
1	1	0	1	0	1	0	0	1

г)

a	b	$c = \overline{a + b}$	$a/0$	$a/1$	$b/0$	$b/1$	$c/0$	$c/1$
0	0	1	1	0	1	0	0	1
0	1	0	0	0	1	0	0	1
1	0	0	1	0	0	0	0	1
1	1	0	0	0	0	0	0	1

д)

a	$b = \overline{a}$	$a/0$	$a/1$	$b/0$	$b/1$
0	1	1	0	0	1
1	0	1	0	0	1

У двовходових вентилях a і b – входи, а c – вихід. Для вентиля НІ a – вхід, b – вихід, їм притаманні константні несправності “ $\equiv 1$ ” і “ $\equiv 0$ ”. Такі несправності на вході (лінії) a позначимо $a/1$, $a/0$. Для інших входів і виходів позначення — аналогічні. Припустимо, що в кожному елементі може бути не більше однієї несправності: опис роботи елементів при зазначених несправностях подано в таблиці 1. З таблиці виходить, що еквівалентні несправності такі: для елемента І – $c/0$, $a/0$, $b/0$; АБО – $c/1$, $a/1$, $b/1$; І-НІ – $c/1$, $a/0$, $b/0$; АБО-НІ – $c/0$, $a/1$, $b/1$; НІ – $a/1$, $b/0$; $a/0$, $b/1$. Очевидно, що будуть еквівалентними і стани досліджуваної схеми.

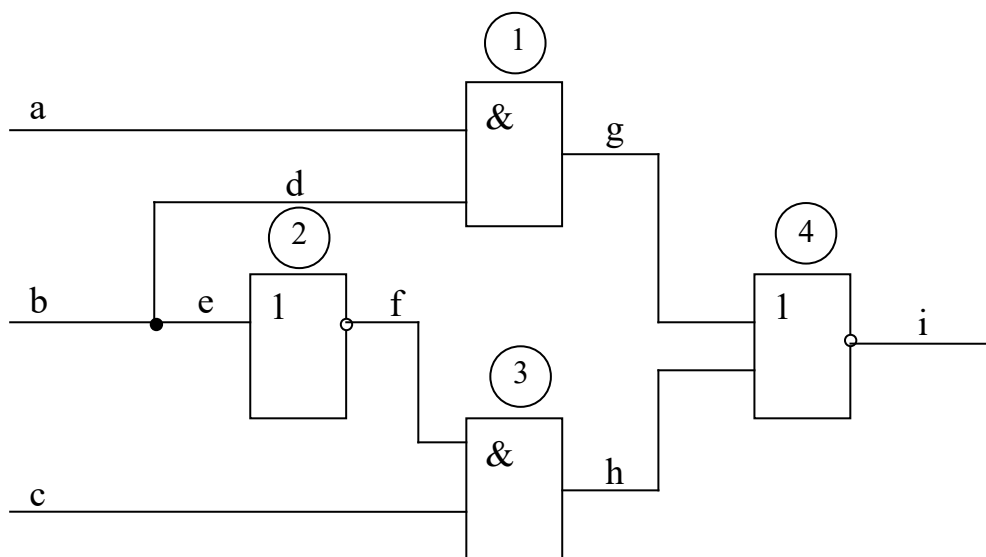


Рисунок 4 – Приклад схеми для опрацювання тестів КД

Нехай необхідно опрацювати тести контролю та діагностування схеми, зображеної на рисунку 4. Всього в окремих елементах схеми можуть бути 22 одиничні константні несправності. Але слід урахувувати, що в мережі зв'язку між елементами відповідні несправності на їх кінцях стають еквівалентними.

Схема має 3 основних входи: a , b , c . Тому в схемі, що розглядається, повний список нараховує 16 константних несправностей: $a/0$, $a/1$, $d/0$, $d/1$, $g/0$, $g/1$, $e/0$, $e/1$, $f/0$, $f/1$, $c/0$, $c/1$, $h/0$, $h/1$, $i/0$, $i/1$. Ще можуть бути одиничні несправності $b/0$, $b/1$. Але внаслідок особливостей з'єднання в схемі вони еквівалентні подвійним несправностям, тобто $d/0$, $e/0$ і $d/1$, $e/1$. Несправності $b/0$ і $b/1$ зарахуємо до загального переліку константних станів схеми, але враховуватимемо їх при розробці тестів лише при відповідному застереженні.

Основний матеріал викладатимемо за умови, що в схемі може бути не більше однієї несправності. Далі зазначимо, як поставлена задача розв'язується, якщо в схемі кількість несправностей може бути більше однієї.

Для розглядуваної схеми відповідно до зазначеного вище еквівалентні несправності для всіх вентилів такі: $a/0$, $d/0$, $g/0$; $c/0$, $f/0$, $h/0$; $e/0$, $f/1$; $e/1$, $f/0$; $g/1$, $h/1$, $i/0$. Отже, в схемі може бути всього 8 класів несправностей. З урахуванням працездатного

стану всього необхідно врахувати 9 різних технічних станів (таблиця 2).

Якщо врахувати несправності $b/0$ та $b/1$, то буде 11 технічних станів. Тестові послідовності та відповідні їм реакції для реалізації контролю та діагностування опрацьовуються завдяки використанню одного з розглянутих нижче методів. При контролі та діагностуванні перші з цих послідовностей формуються ГТВ, а другі - ФОР. Блок аналізу на основі порівняння сигналів, які видаються ПВР та ФОР, формує результат контролю і діагностування, а саме: в якому технічному стані перебуває об'єкт.

Таблиця 2 - Опис несправностей схеми рисунка 4

Клас станів	Функція	Несправність
0	F_0	немає
1	F_1	$a/0, d/0, g/0$
2	F_2	$a/1$
3	F_3	$d/1$
4	F_4	$q/1, h/1, i/0$
5	F_5	$e/0, f/1$
6	F_6	$e/1, f/0, h/0, c/0$
7	F_7	$c/1$
8	F_8	$i/1$
9	F_9	$b/0(d/0 \text{ і } e/0)$
10	F_{10}	$b/1(d/1 \text{ і } e/1)$

МЕТОД ТАБЛИЦЬ ФУНКЦІЙ НЕСПРАВНОСТЕЙ

Для розробки тестів контролю та діагностування необхідно мати опис роботи досліджуваного комбінаційного цифрового приладу як у працездатному стані, так і за наявності відповідних несправностей. Робота працездатної схеми за відомою її структурою описується в диз'юнктивно-кон'юнктивній формі, кожен член якої відповідає певному ланцюгу проходження сигналів. У розрахунково-графічній роботі необхідно проводити операції з логічними функціями, тому нижче наведені основні закони та вирази, притаманні таким функціям.

1 Сполучний закон:

$$(a + b) + c = a + (b + c);$$

$$(a \cdot b) \cdot c = (c \cdot b) \cdot a.$$

2 Переставний закон:

$$(a + b) = (b + a);$$

$$(a \cdot b) = (b \cdot a).$$

3 Розподільний закон:

$$a \cdot (b + c) = a \cdot b + a \cdot c;$$

$$c \cdot (a + b) = a \cdot c + b \cdot c.$$

Для логічних функцій справедливі такі вирази:

$$a + a = a; a + b = b, \text{ якщо } a \leq b;$$

$$a \cdot a = a; a \cdot b = b, \text{ якщо } a \leq b;$$

$$a + a \cdot b = a; a \cdot b = b, \text{ якщо } a \geq b;$$

$$a + b = a, \text{ якщо } a \geq b;$$

$$a + \bar{a} = 1; a \cdot \bar{a} = 0; \bar{\bar{a}} = a;$$

$$\bar{0} = 1; \bar{1} = 0;$$

$$\overline{a + b} = \bar{a} \cdot \bar{b};$$

$$\overline{a \cdot b} = \bar{a} + \bar{b}.$$

Схема, яка аналізується (рисунок 4) в працездатному стані реалізує функцію

$$\begin{aligned} F_0 = i &= (\overline{g+h})^4 = (\bar{g} \cdot \bar{h})^4 = \\ &= [(\overline{a \cdot d})^1]^4 (\overline{e^{23} \cdot c^3})^4 = (\bar{a}^{14} + \bar{d}^{14}) \odot (e^{234} + \bar{c}^{34}) = \\ &= b^{234} \bar{a}^{14} + \bar{c}^{34} \cdot \bar{a}^{14} + \bar{b}^{14} b^{234} + \bar{c}^{34} \cdot \bar{b}^{234}. \end{aligned}$$

Індекси біля дужок і змінних у вигляді степеня означають номер елемента, через який проходить відповідний сигнал на вихід схеми. Під кожним доданком зазначено двійкову вхідну комбінацію і її десятковий еквівалент, при якому доданок, а отже, і функція F_0 , дорівнюють 1. Номер вхідної комбінації визначається співвідношенням

$$[2^2c + 2^1b + 2^0a],$$

де a, b, c — вхідні змінні, що дорівнюють 0 або 1.

Наприклад, при $a = 0, b = 1, c = 1$ комбінація, яка відповідає першому доданку, має вигляд 110_2 . Це відповідає десятинному числу 6. Із запису під виразом для F_0 випливає, що працездатна схема реалізує функцію, яка дорівнює “1” при вхідних наборах 0, 1, 2, 6, і “0” – при 3, 4, 5, 7. Звернемо увагу на те, що формулою повинні описуватися всі ланцюги, навіть несправні для працездатної схеми. Робота схеми при відповідних константних несправностях описується конкретними функціями, які легко можуть бути отримані на основі виразу для F_0 , який маємо. Розглянемо приклади одержання таких функцій. Нехай $a = a/0 \equiv 0$. Тоді, поклавши у F_0 $a = 0$, отримаємо

$$F_1 = \bar{b} + \bar{c} + \bar{c} \cdot \bar{b}.$$

При $a = a/1 \equiv 1$ дістанемо

$$F_2 = \bar{c} \cdot \bar{b}.$$

При $h = h/0 \equiv 0$ маємо:

$$F_6 = \bar{g} = \bar{a} \cdot \bar{b} = \bar{a} + \bar{e} = \bar{a} + \bar{b}.$$

Більш наочно робота схеми описується за допомогою таблиці істинності, яка при описі роботи за наявності несправностей називається таблицею функцій несправностей (ТФН) (таблиця 3). Стовпець, який описує роботу працездатної схеми, заповнюється цілком. При цьому вхідні набори доцільно згрупувати так, щоб один за одним в одній групі були записані набори, при яких F_0 дорівнює 1, а в другій - дорівнює 0.

Таблицю функцій несправностей заповнюють на основі отриманих функцій несправностей $F_1 \dots F_8$. Схарактеризуємо специфіку заповнення цієї таблиці. На пересіченні рядка з певним набором і стовпцем, який відповідає певній функції несправностей (певному класу стану), ставлять 0 або 1 лише в тому випадку, якщо цей клас несправностей призводить до

порушення провідності працездатної схеми. Так, при несправності $a/0$ функція $F_1 = 1$ на п'яти наборах: 0, 1, 2, 3, 6, 7.

Таблиця 3 – Таблиця несправностей для розглядуваного прикладу

Набори	2^2	2^1	2^0	Функції										
	c	b	a	F_0	F_2	F_3	F_4	F_5	F_7	F_1	F_6	F_8	F_9	F_{10}
2	0	1	0	1			0		0					
3	0	1	1	1		0	0		0					0
5	1	0	1	1	0		0							
6	1	1	1	1	0		0	0					0	
7	1	1	1	0						1		1	1	
0	0	0	0	0							1	1		1
1	0	0	0	0							1	1		
4	1	0	0	0						1		1		

У таблицю 3 записують 1 лише для наборів 3 і 7, оскільки при цих наборах $F_0 = 0$, а при наборах 0, 1, 2, 6 $F_0 = 1$. Отже, провідність схеми змінюється лише на наборах 3 і 7. При несправності $a/1$ функція $F_2 = 1$ при наборах 0 і 1, а при інших наборах дорівнює 0. Отже, провідність порушується при наборах 2 і 6. Ось чому нулі записують лише для цих наборів. Аналогічно заповнюють ТФН для всіх інших класів несправностей. Доцільно такі функції несправностей згрупувати так, як це подано в таблиці 3: в одній з частин згруповані функції тих несправностей, які порушують провідність працездатної схеми "1", а в другій – провідність "0" (без урахування функцій F_9 і F_{10}). Чіткий розподіл ТФН на дві частини є не випадковістю, а закономірним наслідком прийнятого припущення про можливість виникнення в схемі не більше однієї несправності.

На основі використання ТФН легко розробляти тести контролю і діагностування. Як такий тест можна використовувати всю сукупність можливих вхідних наборів. При кількості входів схеми n таких наборів – 2^n . Але в багатьох випадках такий тест буває надмірним. Щоб визначити тест з мінімальною кількістю наборів, доцільно завчасно **мінімізувати** отриману ТФН. Це здійснюється на основі її аналізу в такому порядку. Спочатку виявляють, чи немає в ТФН незаповнених рядків і стовпців. Незаповнений рядок свідчить про те, що на відповідному наборі не виявляє себе жодна з певних несправностей. На цьому наборі реакція схеми при будь-якій

несправності не відрізняється від реакції працездатної схеми. Ось чому цей набір недоцільно включати в тест. Відповідний рядок вилучають з ТФН.

Незаповнений стовпець свідчить про те, що відповідна до нього несправність (клас несправностей) не виявляє себе на жодному з можливих вхідних наборів. Така несправність є невиявленою, вона не порушує логіки роботи схеми, можливо, маскується іншим елементом схеми, який є надмірним. Якщо надмірність є необхідною, то для виявлення таких несправностей до схеми має бути введений додатковий вихід. В іншому випадку такий стовпець з ТФН вилучають. Для розглядуваної схеми в ТФН таких стовпців і рядків немає.

Потім треба встановити, чи немає в ТФН однакових стовпців і рядків. Однакові стовпці свідчать про наявність нерозрізнених еквівалентних несправностей, їх наявність є наслідком невдалого введення класів еквівалентних несправностей. Якщо нерозрізненість може бути допустимою, то такі стовпці об'єднують в один із доповненням до відповідного класу еквівалентних станів. В іншому випадку для виявлення таких несправностей до схеми має бути введений додатковий вихід. У ТФН, що розглядається, однакових стовпців немає, тобто групування еквівалентних станів виконано вдало. Однакові рядки свідчать про те, що відповідні до них набори є еквівалентними: при їх подачі на вхід схеми їхні реакції при всіх розглядуваних станах однакові. Ось чому із кожної групи однакових рядків достатньо залишити лише по одному. У ТФН, що аналізується, є еквівалентними рядки, які відповідають наборам 3 і 7, а також 4 і 5. Із них для подальшої роботи будемо використовувати лише набори 3 і 4, а рядки з наборами 7 і 5 вилучимо з таблиці (можна зробити і навпаки). Таблиця функцій несправностей є **мінімальною**, якщо вона не містить в собі однакових стовпців і однакових рядків, а також незаповнених рядків і стовпців. До мінімізованої ТФН, що розглядається, надходять набори 0, 1, 2, 6, 3 і 4. Ці набори створюють так званий **тривіальний тест**. У загальному випадку тривіальний тест також є надмірним: для КД можна використовувати меншу кількість наборів. Мінімальна кількість наборів, яка дозволяє розв'язати поставлену задачу контролю або діагностування, називається елементним тестом. Такий тест може

бути визначений за допомогою будь-якого методу виявлення мінімального покриття мінімізованої ТФН.

Розглядувана ТФН поділена, як уже зазначалось, на дві незалежні частини. Ось чому тести доречно визначати для контролю і діагностування окремо для перевірки порушення провідності "1" і провідності "0" працездатної схеми. Визначати набори, які входять до тесту, можна за допомогою приблизного простого методу, який, проте, не дає гарантії мінімальності довжини тестової послідовності. Опишемо цей метод на розглядуваній мінімізованій ТФН для визначення контролюючого тесту.

Визначимо тест контролю порушення провідності "1". Для кожного набору ТФН визначаємо число, яке оцінює, скільки на ньому функцій несправностей F_i відрізняється від F_0 , і вибираємо набір, який відповідає максимальній кількості. В розглядуваному прикладі таких наборів два: 1 і 6. До тесту зарахуємо набір 1, який відрізняє від F_0 функції F_3 , F_4 і F_7 . Тепер потрібно вибрати набір, який відрізняє від F_0 функції F_2 і F_5 . Обидві ці функції відрізняються набором 6. Набори 0 і 2 відрізняють за однією із цих функцій. Так послідовно вибираються набори доти, доки не будуть виділені всі функції несправностей. Отже, до тесту зараховуємо набори 1 і 6: $T_k^1 = 1 \odot 6$. Для контролю порушення провідності 0 до тесту входять набори 3 і 4: $T_k^0 = 3 \odot 4$. Повний тест контролю працездатності має вид:

$$T_k = T_k^1 T_k^0 = 1 \odot 6 \odot 3 \odot 4.$$

Нижче переконаємося, що в даному випадку тест мінімальний.

При діагностуванні необхідно вибрати таку мінімальну кількість наборів, яка забезпечує також розрізненість функцій несправності між собою. Це може бути здійснено за допомогою розглянутого методу. Так, для розрізнення функцій F_3 , F_4 , F_7 слід використовувати набори 0 і 2, а для функцій F_2 і F_5 – набір 2.

Отже, частковий діагностичний тест порушення "1" має вид $T_d^1 = 1 \odot 6 \odot 0 \odot 2$. Другий частковий діагностичний тест містить попередні набори: $T_d^0 = 3 \odot 4$. Повний діагностичний тест подається такими наборами:

$$T_{\delta} = T_{\delta}^1 \star T_{\delta}^0 = 1 \odot 6 \odot 0 \odot 2 \odot 3 \odot 4.$$

Очевидно, що для даного прикладу контролюючий тест є коротшим за тривіальний, а діагностичний – ні.

Розглянемо метод визначення тестів, який є досить громіздким, але дає гарантії їх мінімальності. Визначимо елементарний тест контролю і діагностування одиничної провідності для прикладу, що розглядається. Із ТФН випливає, що для розрізнення функцій F_0 і F_2 необхідно використати набір 2 або 6, F_0 і F_3 – набір 1, F_0 і F_4 – набір 0, або 1, або 2, або 6; F_0 і F_5 – набір 6, F_0 і F_4 – набір 0 або 1. Якщо знаком "+" позначити сполучник "або", то висловлювані твердження для всіх можливих пар функцій зручно записати в такому вигляді:

$$\begin{aligned} F_0 \sim F_1 &- 2+6; \\ F_0 \sim F_5 &- 6; \\ F_0 \sim F_3 &- 1; \\ F_0 \sim F_7 &- 0+1; \\ F_0 \sim F_4 &- 0+1+2+6. \end{aligned}$$

Розрізненість всіх функцій несправностей від F_0 буде забезпечена, якщо тест отримати із добутку (логічної операції Π) сум, записаних вище. Запишемо і мінімізуємо зазначене логічне співвідношення (добуток сум):

$$\Pi \Sigma_{\kappa} = (2+6) \cdot 1 \cdot (0+1+2+6) \cdot 6 \cdot (0+1).$$

Поводячись з номерами наборів як з логічними змінними, розкриваючи дужки з урахуванням еквівалентності логічного виразу $y_1 \star (y_1 + y_2) = y_1$ – добуток сум ($\Pi \Sigma$) перетворимо на суму добутків ($\Sigma \Pi$), доданки якої являють собою в загальному випадку сукупність наборів, що утворюють елементарний тест. Для практичної реалізації доцільно вибрати тест, який подано доданком з мінімальною кількістю наборів. Для прикладу, що розглядається, отримаємо

$$\Sigma \Pi = 1 \odot 6.$$

Результат містить лише один доданок. Отже, елементарний тест контролю працездатності з перевірки одиничної провідності схеми має вид

$$T_{\kappa}^1 = 1 \times 6.$$

Для визначення діагностичного тесту додатково аналогічно запишемо умови визначення розрізненості функцій несправностей між собою:

$$\begin{aligned} F_2 \sim F_3 &- 1+2+6; \\ F_3 \sim F_4 &- 0+2+6; \\ F_4 \sim F_5 &- 0+1+2; \\ F_2 \sim F_4 &- 0+1; \\ F_3 \sim F_5 &- 1+6; \\ F_4 \sim F_7 &- 2+6; \\ F_2 \sim F_5 &- 2; \\ F_3 \sim F_7 &- 0; \\ F_5 \sim F_7 &- 0+1+6; \\ F_2 \sim F_7 &- 0+1+2+6. \end{aligned}$$

Визначимо елементарний тест діагностичного контролю:

$$\begin{aligned} \Pi \Sigma_{\circ}^1 &= (2 + 6) \cdot (0 + 1 + 2 + 6) \cdot (0 + 1) \cdot (1 + 2 + 6) \cdot 2 \cdot (0 + 1 \\ &\quad + 2 + \\ &\quad + 6) \cdot 0 \cdot (0 + 2 + 6) \cdot (1 + 6) \cdot (0 + 1 + 2); \\ \Pi \Sigma_{\circ}^1 &= 0 \odot 1 \odot 2 \odot 6; \\ T_{\circ}^1 &= 0 \odot 1 \odot 2 \odot 6. \end{aligned}$$

Для контролю та діагностування нульової провідності схеми елементарні тести визначаються таким чином:

$$\begin{aligned} F_0 \sim F_1 &- 3; & F_1 \sim F_6 &- 3+4; \\ F_0 \sim F_6 &- 4; & F_1 \sim F_8 &- 4; \\ F_0 \sim F_8 &- 3+4; & F_6 \sim F_8 &- 3; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Pi \Sigma_{\kappa}^0 &= 3 \odot 4(3 + 4); & \Sigma \Pi_{\kappa}^0 &= 3 \odot 4; & T_{\kappa}^0 &= 3 \odot 4; \\ \Pi \Sigma_{\circ}^0 &= 3 \odot 4(3 + 4); & \Sigma \Pi_{\circ}^0 &= 3 \odot 4; & T_{\circ}^0 &= 3 \odot 4. \end{aligned}$$

Для повного контролю працездатності та діагностування схеми, що розглядається, елементарні тести мають вид:

$$T_{\kappa} = T_{\kappa}^1 \cdot T_{\kappa}^0 = 1 \times 6 \times 3 \times 4;$$

$$T_{\delta} = T_{\delta}^1 \cdot T_{\delta}^0 = 1 \times 6 \times 0 \times 2 \times 3 \times 4.$$

За розробленим елементарним тестом складають діагностичну таблицю, на основі якої за результатами перевірки встановлюють стан схеми (працездатний, непрацездатний), характер і місце несправності. Цю таблицю складають на основі ТФН. У діагностичній таблиці зазначають, якій сукупності реакцій на стимулюючі тестові впливи елементарного тесту відповідає певний її стан. Для розглядуваного прикладу при контролі працездатності та діагностуванні подані відповідно діагностичні таблиці 4 і 5.

Таблиця 4 – Діагностична таблиця контролю працездатності дискретного пристрою

F_I	Набори				Стан
	1	6	3	4	
F_0 $F_I \neq F_0$	1	1	0	0	працездатний непрацездатний

Таблиця 5 – Діагностична таблиця діагностування дискретного пристрою

F_i	Набори						Стан
	0	1	2	6	3	4	
F_0	1	1	1	1	0	0	працездатний
F_2	1	1	0	0	0	0	$a/1$
F_3	1	0	1	1	0	0	$b/1$
F_4	0	0	0	0	0	0	$g/1, h/1, i/0$
F_5	1	1	1	0	0	0	$e/0, f/1$
F_7	0	0	1	1	0	0	$c/1$
F_1	1	1	1	1	1	0	$a/0, d/0, g/0$
F_6	1	1	1	1	0	1	$e/1, f/0, h/0, c/0$
F_8	1	1	1	1	1	1	$i/1$
F_9	1	1	1	0	1	1	$b/0$
F_{10}	1	0	1	1	0	1	$b/1$

Цими таблицями користуються таким чином. Припустимо, що при контролі працездатності на стимулюючі впливи 1, 6, 3, 4 отримано реакції 1, 1, 0, 0. З таблиці 4 виходить, що $F = F_0$. Отже, схема працездатна. Якщо ж отримано реакції 1, 0, 0, 0, то $F \neq F_0$. Отже, схема непрацездатна. При діагностуванні на впливи 0, 1, 2, 6, 3, 4 отримано реакції 1, 0, 1, 1, 0, 0. З таблиці 5 випливає, що схема непрацездатна ($F \neq F_0$), причому $F = F_3$. Має місце константна несправність $d/1$.

Алгоритми контролю та діагностування розробленими тестами можуть бути сформульованими таким чином:

1 Подати на вхід схеми один за одним стимулюючі впливи, які утворюють тест.

2 Зафіксувати реакцію на виході схеми при кожному вхідному наборі.

3 Всю сукупність отриманих реакцій зіставити з діагностичною таблицею.

4 За результатом зіставлення зробити висновок про стан приладу, який перевіряється.

Сформульований алгоритм є безумовним тому, що вхідні впливи, які передбачені тестом, на вхід приладу подаються в передбаченому порядку, без урахування попередніх дій і їх результату, а рішення про технічний стан об'єкта приймається на основі аналізу всієї сукупності отриманих реакцій.

У багатьох випадках одержана інформація при безумовних алгоритмах контролю і діагностування надмірна: висновок про стан об'єкта, що перевіряється, можна зробити, отримавши реакції лише на частину вхідних впливів, передбачених тестом. Наприклад, з таблиці 2 випливає, що якщо на вхідні впливи "0" і "1" схема видала реакції "1" і "0", то, не здійснюючи подальшої перевірки, можна твердити не лише про непрацездатність схеми, але й про те, що вона має несправність $d/1$ (за умови, що в схемі може бути не більше однієї несправності). В іншому випадку в непрацездатній схемі є несправність $d/1$ або $b/1$. Цей факт свідчить, що час перевірки може бути скорочено за допомогою подачі на вхід об'єкта раціональної послідовності наборів, які надходять до тесту, і припинення їх подачі, якщо отриманої інформації достатньо для прийняття остаточного рішення про технічний стан об'єкта. При цьому вхідні набори

використовуються в послідовності, яка може залежати не лише від раніше реалізованих наборів, але й отриманих на них реакцій. При такій організації перевірок реалізується умовний алгоритм (тест). Цей алгоритм може бути сформульований таким чином:

1 Подати на вхід об'єкта перший набір тесту і зафіксувати його реакцію. Якщо отримана реакція є достатньою для прийняття рішення, то перевірку припинити і прийняти рішення. Якщо ж інформації недостатньо, то перейти до пункту 2.

2 Подати на вхід схеми наступний набір, від якого визначається раніше одержаною інформацією, і зафіксувати реакцію об'єкта.

3 Якщо отриманої інформації для прийняття рішення недостатньо, то повторити пункт 2.

4 Якщо інформації достатньо, то припинити перевірку і подати рішення про технічний стан об'єкта.

Умовний алгоритм (тест) зручно зображувати графічно: кружком позначається перевірка набором, номер якого зазначено в цьому кружку. Подвійна стрілка, яка виходить з кружка, означає реакцію об'єкта, що дорівнює 1, а одинарна – відповідає 0. Біля цих стрілок зазначаються номери станів об'єкта, у тупикової – конкретний стан (вид несправності), в якому перебуває об'єкт, що перевіряється. Одну з можливих схем умовного алгоритму перевірки розглядуваної схеми подано на рисунку 5. Очевидно, що послідовність наборів, що подаються, доцільно вибирати такою, щоб математичне очікування кількості вхідних наборів, які реалізуються, під час перевірки було мінімальним. Це вже другий етап оптимізації алгоритму перевірки, перший був здійснений раніше, коли мінімізувалась ТФН і розроблявся елементарний тест.

Якщо m – кількість прийнятих припустимих непрацездатних станів об'єкта, P_i – імовірність i -го стану ($i = 0, 1, 2, \dots, m$), l_i^t – кількість вхідних наборів послідовності з номером t , яка визначає стан I , то математичне очікування числа вхідних наборів, що реалізуються, оцінюється виразом

$$L^t = \sum_{i=0}^m l_i^t \cdot P_i .$$

Із можливих послідовностей вхідних наборів слід вибирати таку, яка забезпечує мінімум цього виразу (L_{min}). Із аналізу цього співвідношення виходить, що для забезпечення L_{min} стан з більшою вірогідністю повинен виявлятися більш короткими послідовностями наборів. Нехай для розглядуваного прикладу маємо $p_0 = 0.80$, а $p_i = 0.01$, $I = 1.8$. Тоді

$$L = 4 \cdot 0.80 + 75 \cdot 0.01 = 3.95.$$

Схема, що перевіряється, звичайно, частіше перебуває в працездатному стані. Ось чому послідовність вхідних наборів доцільно вибирати так, щоб якомога швидше (можливо, меншою кількістю наборів) перевірялась працездатна схема.

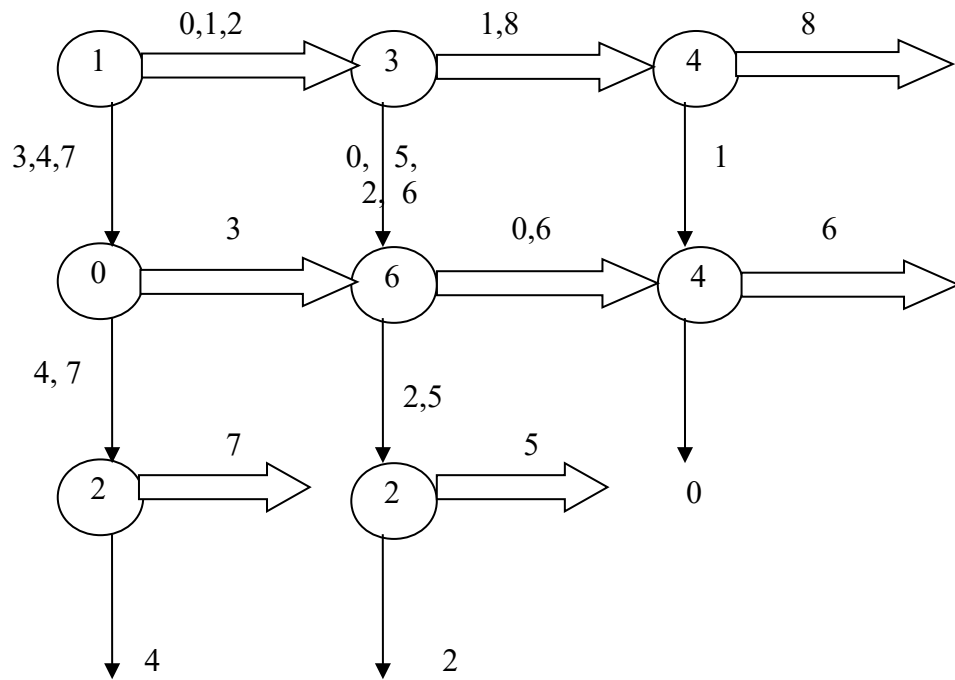


Рисунок 5 – Умовний алгоритм перевірки схем

Час перевірки пропорціональний кількості вхідних наборів, які утворюють тест. Ось чому під час реалізації умовного алгоритму порівняно з безумовним отримують вигравш у часі перевірки. Але в цьому випадку логіка роботи, а отже, і структурна реалізація приладу, що контролює, складніша, ніж при застосуванні безумовного алгоритму.

Метод розробки тесту розглянуто за умови, що в об'єкті може бути не більше однієї несправності. Якщо в схемі може бути (припускається) одночасно дві та більше несправностей, то тестову послідовність розробляють аналогічно. Лише в цьому випадку отримують відповідні функції несправностей і на їх основі - більш складну ТФН. Тепер уже, як правило, ТФН не може бути поділена на дві незалежні частини, а одержані тести не складаються з двох незалежних частин. Ось чому необхідно аналізувати і мінімізувати ТФН загалом.

Завдяки використанню всієї ТФН розробляють також контролюючий і діагностичний тести, що, звичайно, складніше. Доведемо це конкретним прикладом. Для розглядуваної схеми було показано, що несправності $b/0$ та $b/1$ еквівалентні двом одночасним несправностям - відповідно $d/0$, $e/0$ і $d/1$, $e/1$.

При $b = b/0$ ($d = d/0$ і $e = e/0$)

$$F_9 = \overline{ca} + \overline{c}.$$

При $b = b/1$ ($d = d/1$ і $e = e/1$)

$$F_{10} = \overline{a} + \overline{ca}.$$

Результат уже записано в таблицю 3, з аналізу якого виходить, що ТФН підлягає використанню в подальшій роботі в цілому. Легко показати, що отримані раніше тестові послідовності дають можливість реалізувати контроль і діагностування схеми з урахуванням можливих несправностей лінії b .

Відповідні дані занесено до діагностичної таблиці 5. Оскільки додалося два можливих стани, то умовний алгоритм діагностування також змінився (рисунок 6).

Вище було розглянуто метод розробки тестів для одновихідних об'єктів. На практиці також застосовуються пристрої багатовихідні. В цьому випадку робота приладу описується функціями за кожним виходом, які при їх спільному використанні являють собою так звану вектор-функцію. Дві вектор-функції є різними, якщо вони відрізняються хоча б одним елементом (значенням хоча б по одному виходу) на можливих

вхідних наборах. У загальному випадку під час розробки тестів задачу розв'язують аналогічно до розглянутої вище методики, оперуючи вектор-функцією. Очевидно, що розв'язання задачі для багатовихідних об'єктів буде складнішим. Для спрощення її розв'язання можуть використовуватися різні підходи та прийоми залежно від специфіки досліджуваного об'єкта.

Як уже зазначалось, для ліквідації небажаної нерозрізненості станів в одновихідній схемі доцільно застосовувати відповідні виходи (а, можливо, і входи) і розв'язувати задачі для багатовихідної схеми. Для усунення нерозрізненості при діагностуванні задача може бути розв'язаною в одній із двох постановок. Для першої з них характерно те, що для розв'язання діагностичної задачі до схеми залучають всі можливі додаткові виходи. Після отримання розв'язку визначають мінімальну їх кількість при умові забезпечення потрібної глибини та повноти діагностування вибраним мінімальним тестом. Перевага цього підходу полягає в тому, що відразу може бути отримано остаточний розв'язок поставленої задачі, але саме розв'язання є трудомістким і громіздким.

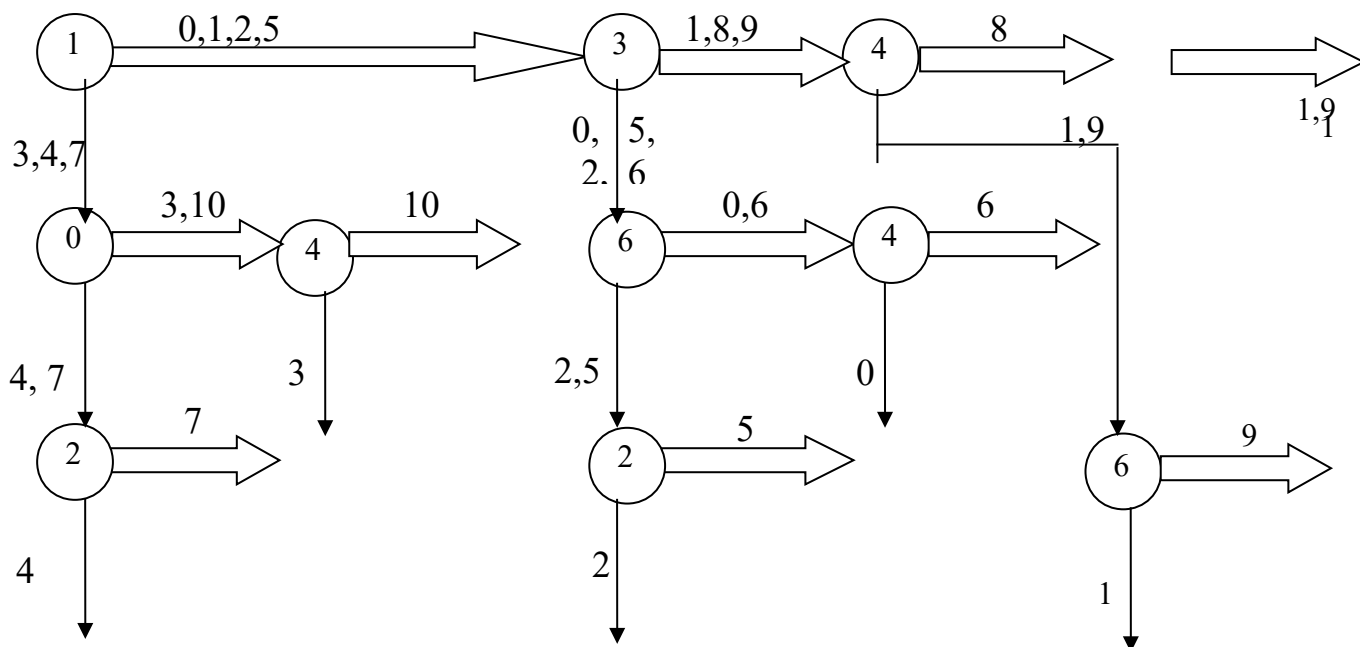


Рисунок 6 – Умовний алгоритм діагностування схем

При другій постановці задачу розв'язують при використанні лише існуючих входів і виходів. Після її розв'язання встановлюють, які нерозрізненості мають бути усунені і які додаткові виходи для цього треба застосовувати. Можна визначити, на яких наборах слід використовувати ці виходи спільно з основними. Очевидно, що такий шлях розв'язання задачі довший, але простіший.

ОПИС ЛАБОРАТОРНОЇ УСТАНОВКИ

Виконання лабораторної роботи здійснюється на установці УМ11М, призначеній для дослідження роботи схем, що містять типові елементи цифрової техніки. Установка містить набір різноманітних елементів, входи й виходи яких виведені на набірне поле. В її структуру входять дво-, три- і чотиривходові логічні елементи І-НІ, тривходові елементи АБО-НІ, двовходові елементи І й АБО, елементи "заперечення рівнозначності" (підсумовування по модулю 2) та інші, показані умовними зображеннями на лицьовій панелі.

Елементи установки складаються в схему, а вхідні впливи на їхні входи подаються за допомогою комутаційних шнурів. Вихідні сигнали можуть бути сприйняті з виходів відповідних елементів. Джерелами сигналів є блок живлення (плата ДЖ) і задавальний синхроімпульсів. На платі ДЖ знаходяться тумблер сіткової напруги, контрольні гнізда для перевірки живильної напруги, клема заземлення, запобіжник і індикатор мережної напруги.

Контрольні та комутаційні гнізда елементів і індикатори виведені на лицьові панелі, на яких нанесені мнемонічні зображення елементів і пристроїв установки. Індикатори загоряються при подачі на вхід рівня логічної одиниці (не менше 2,4 В) і гаснуть – при подачі рівня нуля (не більше 0,4 В). При незадіяних входах індикатори не горять. До гнізд, позначених "+", підведена напруга 5 В, а для "заземлення" – підключений вивід "загальний" ДЖ.

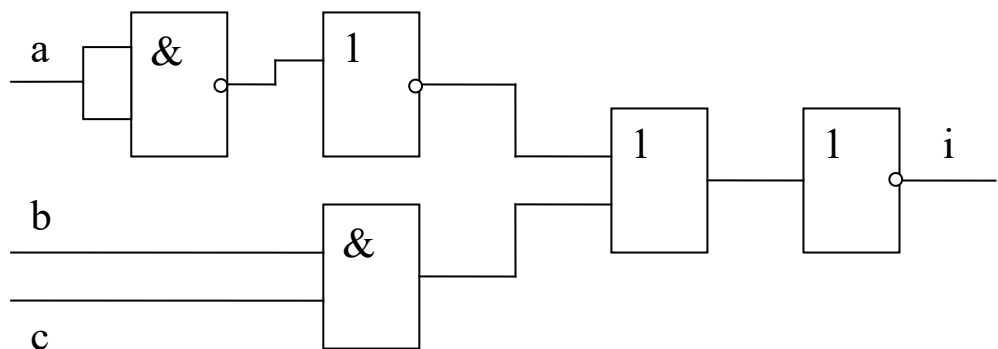
Перемикальні реєстри логічних блоків 1 і 2 виробляють на своїх гніздах потенційні рівні логічного 0 і логічної 1. При натиснутій кнопці на верхнім гнізді пари встановлюється рівень логічної 1, а на нижньому – логічного 0. Якщо кнопка не натиснута,

то значення сигналів на гніздах мають протилежне значення. Ці гнізда й кнопки розташовані в нижній частині панелей блоків. Зображені поруч із ними цифри вказують, якій парі гнізд відповідає певна кнопка. Усього є дві групи по чотири кнопки.

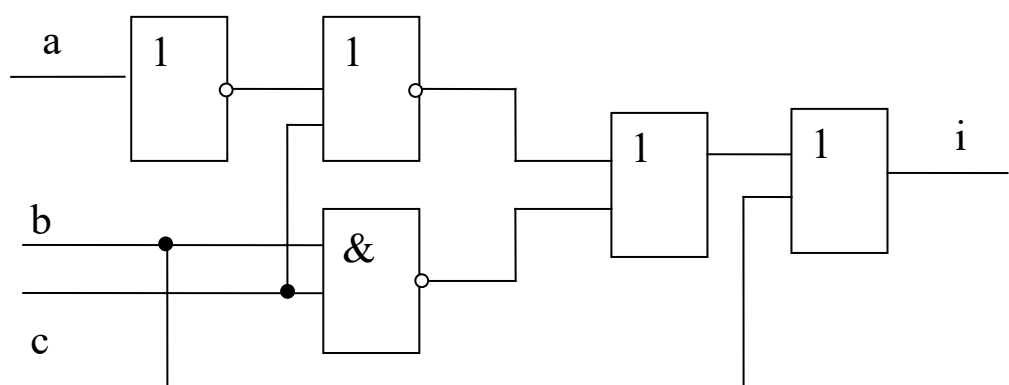
Установка живиться від мережі 220 В, 50 Гц. Після включення установки в мережу перевіряється наявність живлення 5 В на контрольних гніздах. За допомогою комутаційних шнурів здійснюється з'єднання елементів установки відповідно до заданої схеми для дослідження.

ВИХІДНІ ДАНІ ДЛЯ ВИКОНАННЯ ІНДИВІДУАЛЬНОГО ЗАВДАННЯ

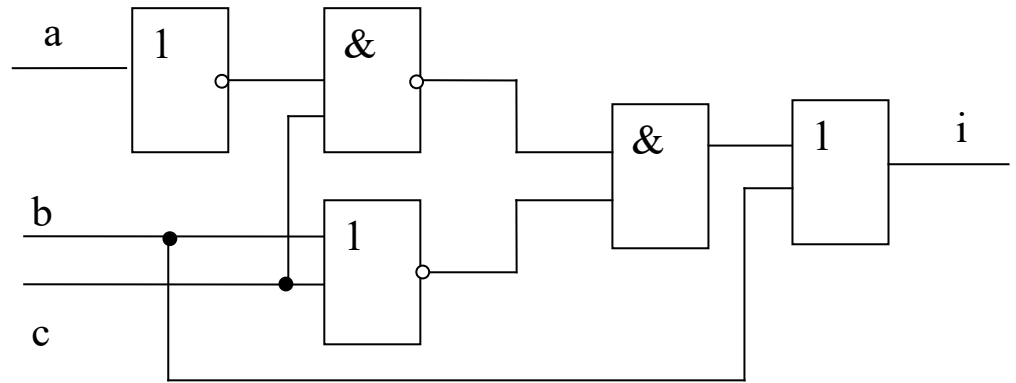
В - 1



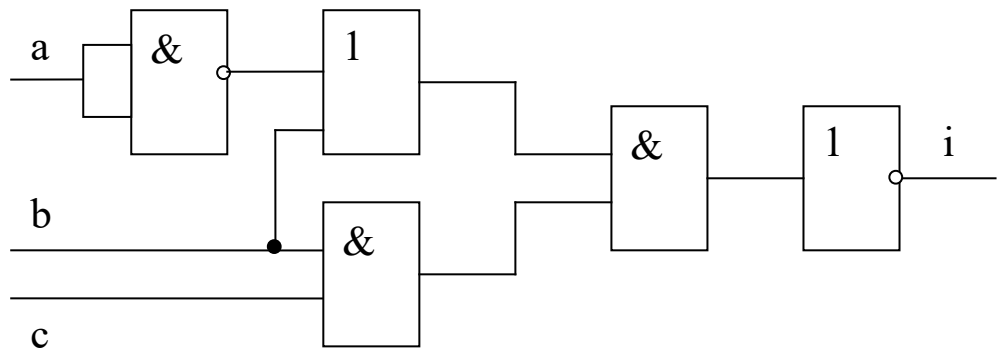
В - 2



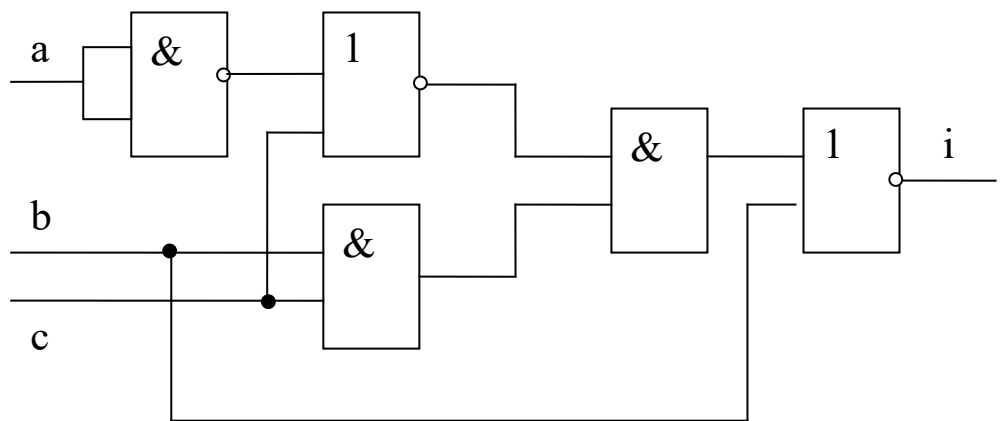
В - 3



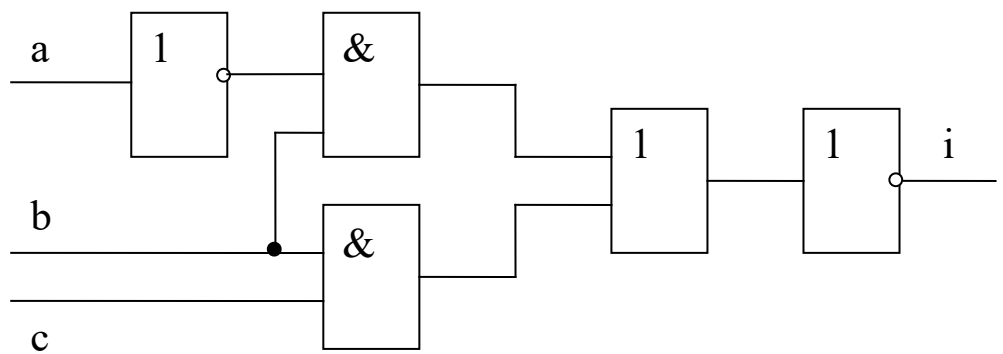
B - 4

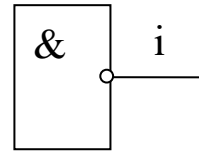


B - 5

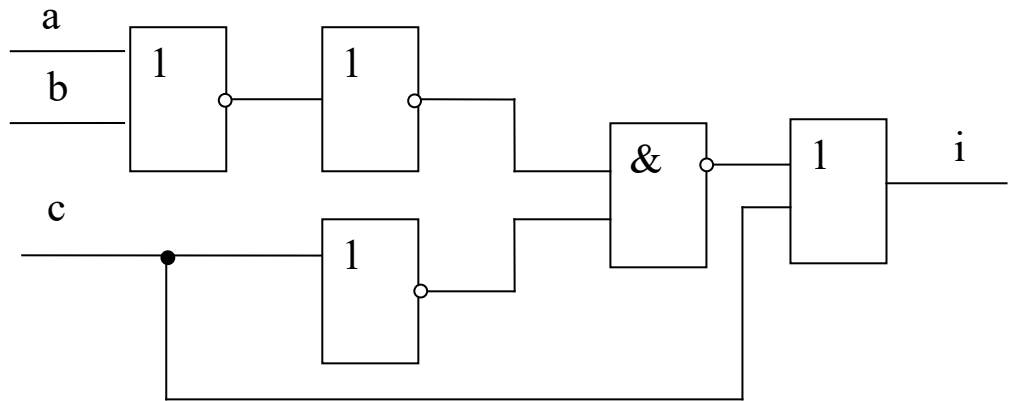


B - 6

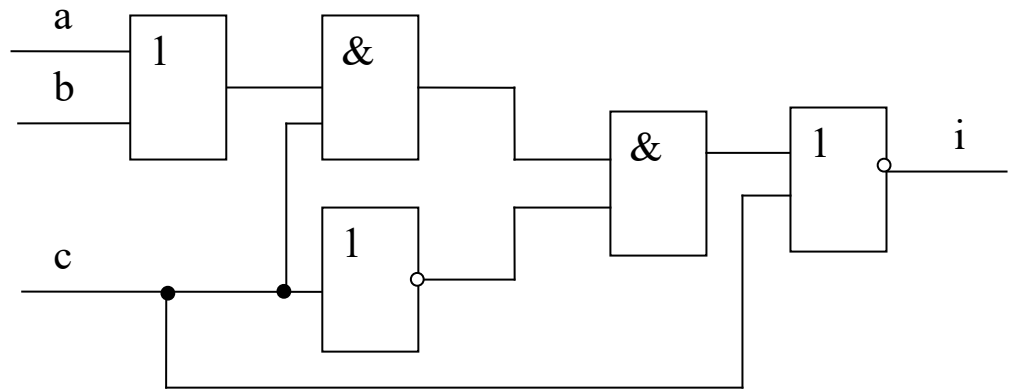




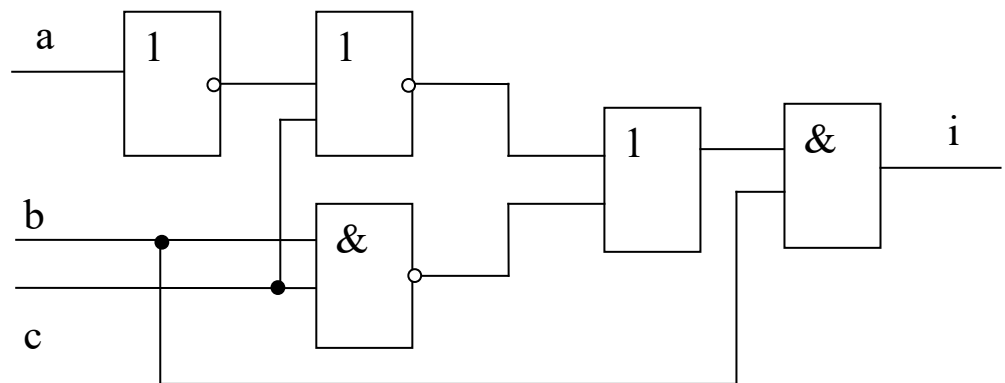
B - 7



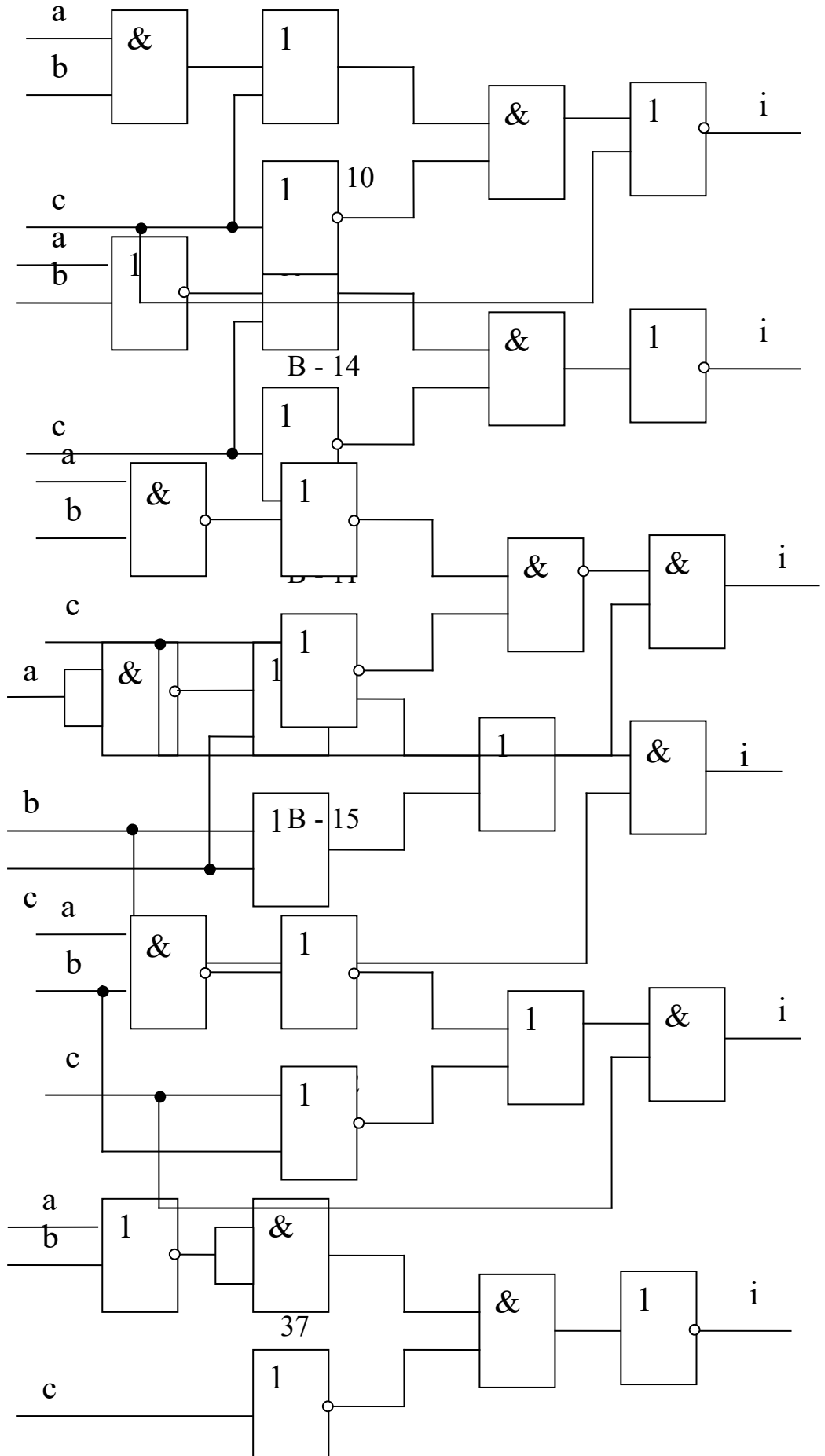
B - 8



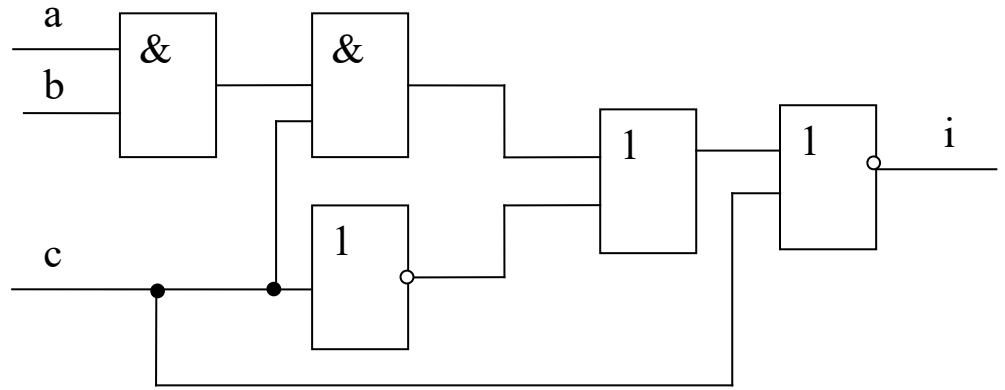
B - 9



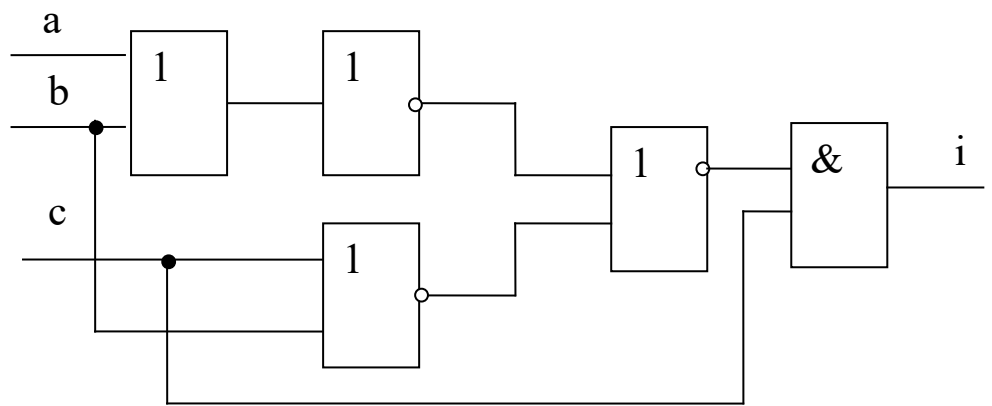
B - 13



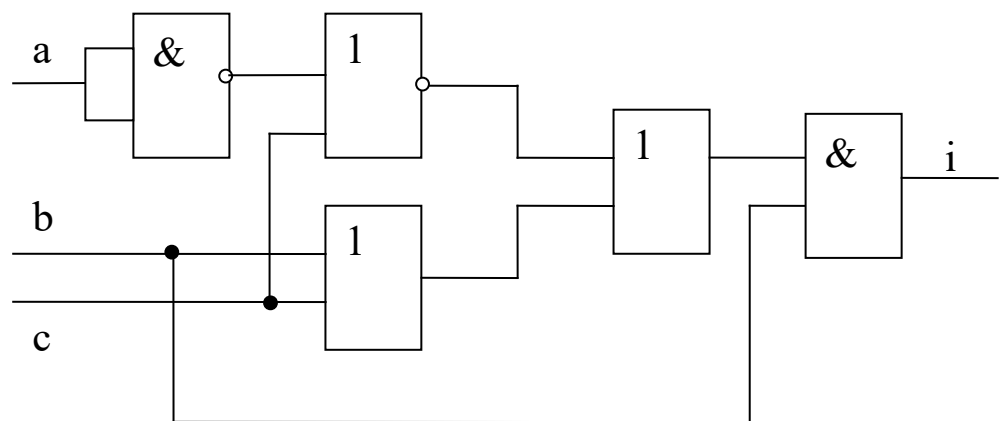
B - 16



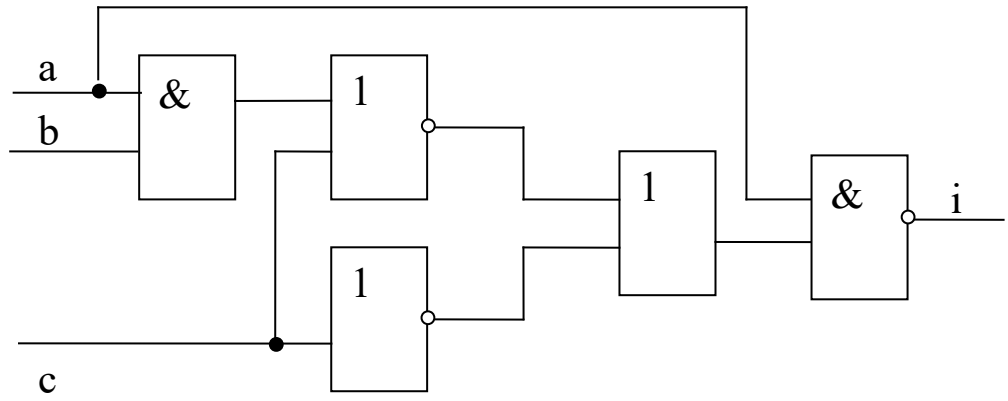
B - 17



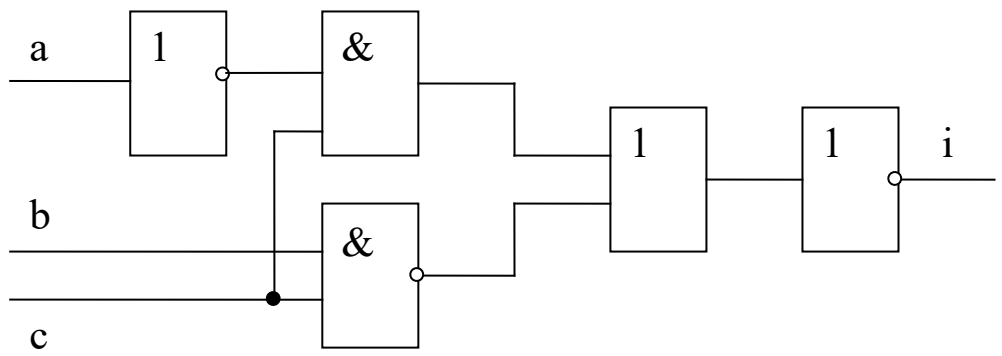
B - 18



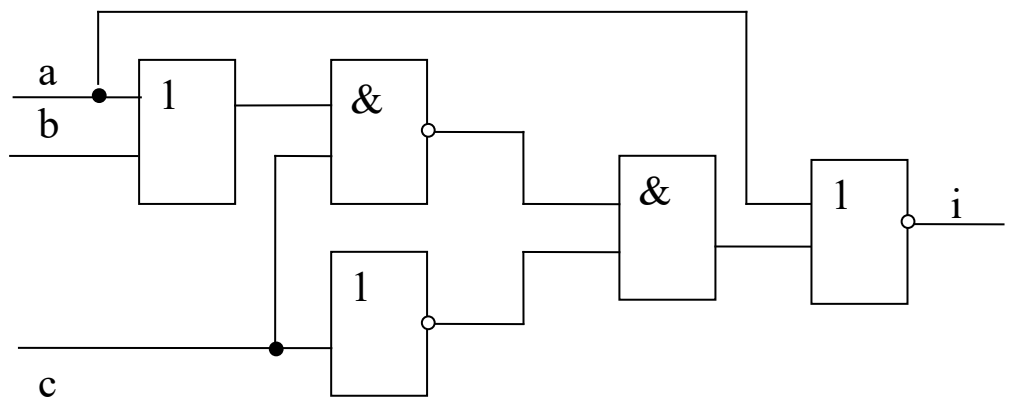
B - 19



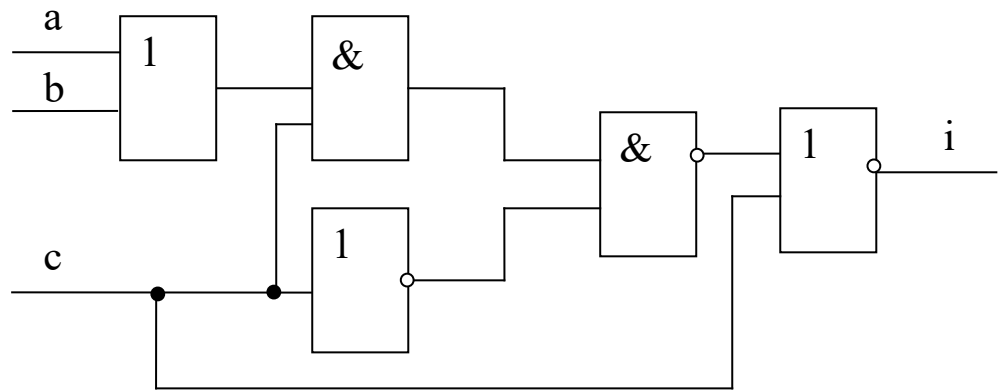
B - 20



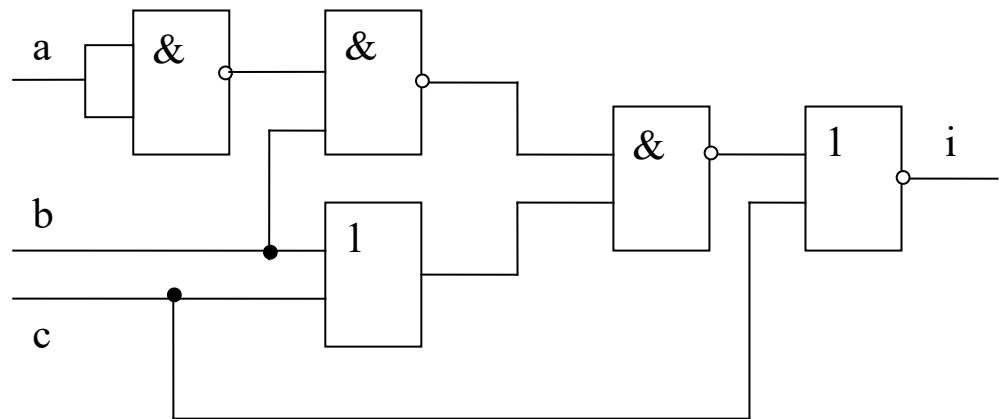
B - 21



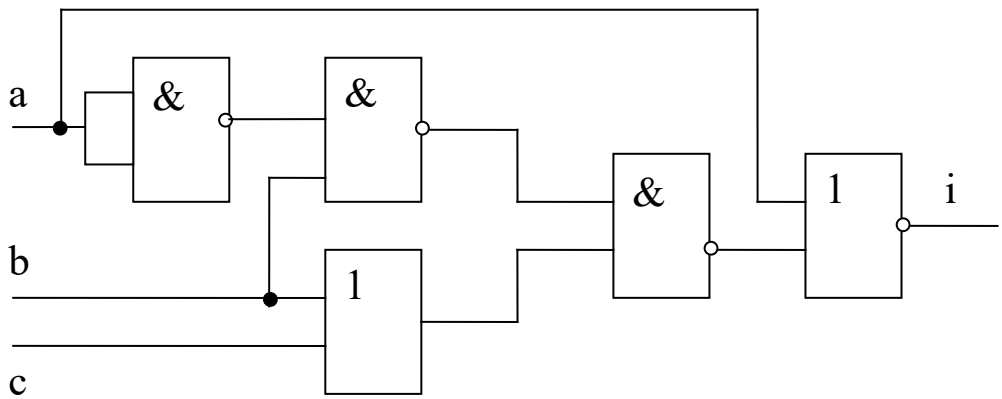
B - 22



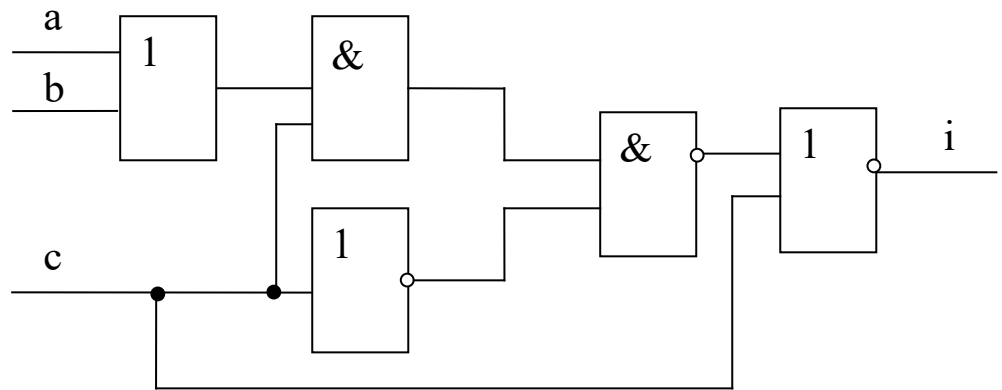
B - 23



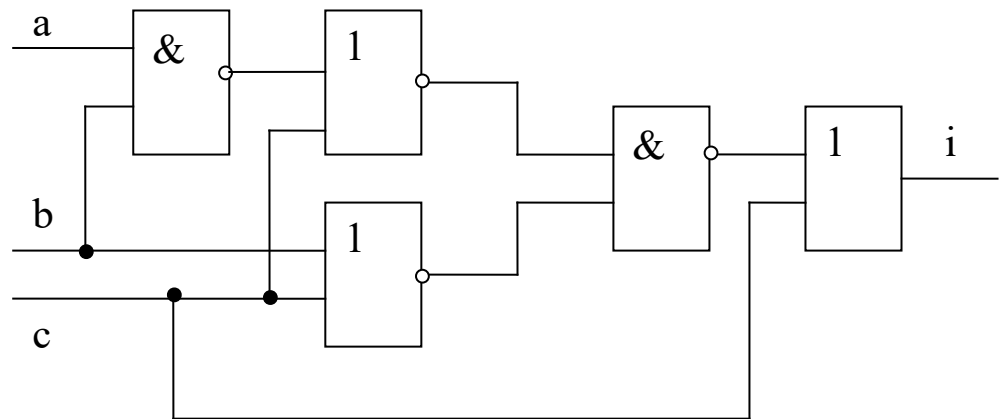
B - 24



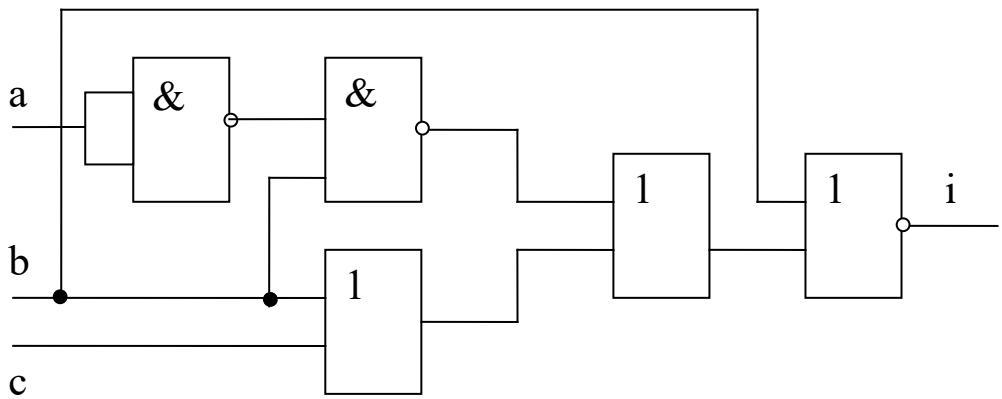
B - 25

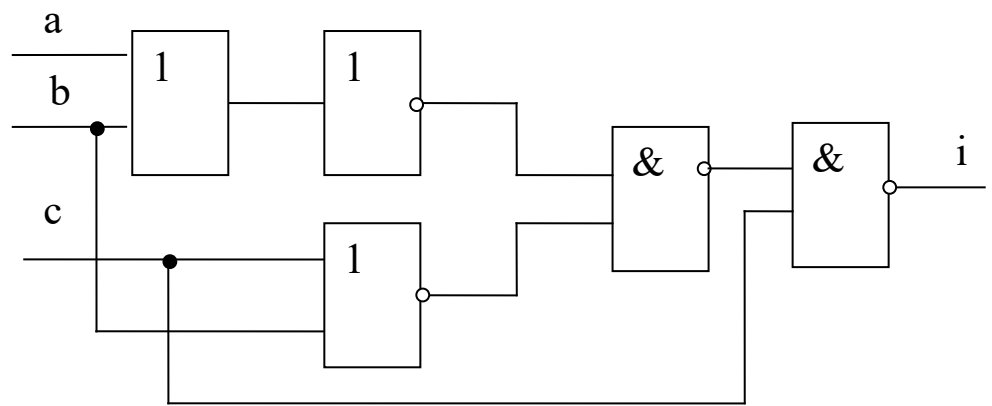


B - 26



B - 27





СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1 Артеменко Е.А. Основы построения автоматизированных систем контроля и управления сложными техническими объектами. – М.: МО СССР, 1975. – 304 с.

2 Дружинин Г. В. Процессы технического обслуживания автоматизированных систем. – М.: Энергия, 1973. – 226 с.

3 Основи діагностики цифрових систем: Підручник / В.С. Харченко, Є.А. Артеменко, М.П. Благодарний, В.Я. Жихарев та ін. – Харків: Нац. аерокосм. ун-т “ХАІ”, 2004. – 665 с.

4 Прогнозирование технического состояния систем управления / Ю.Т. Костенко, Л.Г. Раскин. – Харьков: Основа, 1996. – 303 с.

5 ДСТУ 2389 – 94. Технічне діагностування та контроль технічного стану. Терміни та визначення. – К.: Держстандарт України, 1994. – 48 с.

6 Иыуду К.А. Надежность, контроль и диагностика вычислительных машин и систем.– М.: Высшая школа, 1989.– 216 с.

7 Піскачова М.О. Аналіз методів контролю та діагностування цифрових систем комутації // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2005. – Вип. 6. – С. 74 – 81.

8 Локазюк В.М. Надійність, контроль, діагностика та модернізація ПК: Посібник / В.М.Локазюк, Ю.Г.Савченко. – К., 2003. – 376 с.

9 Колибін Ю.М., Кравець В.О., Рисований О.М., Хуторненко С.В. Мікропроцесорні системи. Контроль та діагностика: Навч. посібник. – Харків: ХВУ, 2000. – 174 с.

