

Вінницький національний технічний університет

(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет Інформаційних електронних систем

(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра Інформаційних радіоелектронних технологій і систем

(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до бакалаврської дипломної роботи на тему:

«МІКРОХВИЛЬОВІ ПАСИВНІ ЛОГІЧНІ ЕЛЕМЕНТИ НА ОСНОВІ МІКРОСМУЖКОВИХ ЛІНІЙ ПЕРЕДАЧІ»

Виконав: студент 2 (4)-го курсу, групи ТКР-22мс,
спеціальності 172 – Телекомунікації та радіотехніка

(шифр і назва напряму підготовки, спеціальності)

Горовенко Д.О.

(прізвище та ініціали)

Керівник: д.т.н., проф., професор каф. ІРТС

Семенов А.О.

(прізвище та ініціали)

«13» 08 2024 р.

Рецензент: д.т.н., доц., професор каф. ІКСТ

Михалевський Д.В.

(прізвище та ініціали)

«13» 08 2024 р.

Допущено до захисту

Завідувач кафедри ІРТС

д.т.н., проф. Осадчук О.В.

(прізвище та ініціали)

«14» 08 2024 р.

Вінниця ВНТУ - 2024 рік

Вінницький національний технічний університет
Факультет Інформаційних електронних систем
Кафедра Інформаційних радіоелектронних технологій і систем
Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)
Галузь знань – 17 Електроніка та телекомунікації
Спеціальності 172 – Телекомунікації та радіотехніка
Освітньо-професійна програма – Радіотехніка

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ІРТС

Олександр ОСАДЧУК

2024 року

ЗАВДАННЯ НА БАКАЛАВРСЬКУ ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Горовенку Дмитру Олександровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Мікрохвильові пасивні логічні елементи на основі мікросмужкових ліній передачі»
керівник роботи Семенов Андрій Олександрович, д.т.н., проф., проф. каф. ІРТС

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від “11”03 2024 року № 80

2. Строк подання студентом роботи 07 06 2024 року

3. Вихідні дані до роботи: центральна частота 10 ГГц; діапазон робочих частот 9,6 ГГц 10,4 ГГц; нестабільність частоти 5 МГц; максимальна потужність 700 мкВт; хвильовий опір 50 Ом; коефіцієнт стоячої хвилі не більше 1,4; рівень зворотних втрат не більше 15,6 дБ; коефіцієнт корисної дії 97%.

4. Зміст текстової частини: Вступ. Аналіз фізичних основ побудови логічних елементів. Розроблення і моделювання пасивних логічних елементів на основі мікросмужкових ліній передачі. Розробка конструкцій імітансних логічних елементів. Надійність та теплове моделювання. Охорона праці. Висновки. Список використаних джерел. Додатки.

5. Перелік ілюстративного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): Елемент Шеффера І-НЕ. Базовий елемент ЕЗЛ. Логічний елемент 2І-НІ. Базовий елемент ТТЛШ. Оптоімітансний LC-логічний елемент "НІ". Оптоімітансний логічний елемент "І". Оптоімітансний логічний елемент "АБО". Бактеріальний логічний елемент І. Бактеріальний логічний елемент І-НІ. Пасивний імітансний логічний елемент НІ. Пасивний імітансний LC логічний елемент "АБО". Імітансний елемент НІ у об'ємному вигляді. Розподілення температур по конструкції елемента НІ. Зображено імітансний елемент АБО у об'ємному вигляді. Розподілення температур по конструкції елемента АБО. Зображено імітансний елемент RS-тригер у об'ємному вигляді. Розподілення температур по конструкції елемента RS-тригер.

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	виконання прийняв
Основна частина	д.т.н., професор, професор каф. ІРТС Семенов А.О.		
Охорона праці	професор кафедри БЖДПБ, професор, д.п.н., Дембіцька С.В.		

7. Дата видачі завдання 17.03. 2024 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів бакалаврської дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	При- мітка
1.	Вибір, узгодження та затвердження теми БДР	14.02.2024-28.02.2024	
2.	Огляд та аналіз літературних джерел.	01.03.2024-10.03.2024	
3.	Затвердження теми. Розробка завдання на БДР.	11.03.2024-31.03.2024	
4.	Попередня розробка основних розділів. Аналіз вирішення поставленої задачі. Розроб- ка структурної схеми та технічних рішень.	01.04.2024-06.05.2024	
5.	Математичне моделювання та електричні ро- зрахунки . Експериментальне дослідження.	07.05.2024-18.05.2024	
6.	Розробка графічної частини БДР	19.05.2024-22.05.2024	
7.	Охорона праці (ОП)	23.05.2024-28.05.2024	
8	Оформлення пояснювальної записки та гра- фічної частини.	29.05.2024-05.06.2024	
9.	Нормоконтроль	06.06.2024-07.06.2024	
10.	Попередній захист БДР, доопрацювання, ре- цензування БДР	08.06.2024-10.06.2024	
11.	Захист БДР ЕК	11.06.2024-17.06.2024	

Студент  Горовенко Д.О.
(підпис)

Керівник роботи  Семенов А.О.
(підпис)

АНОТАЦІЯ

УДК 621.372.54

Горовенко Д.О. Мікрохвильові пасивні логічні елементи на основі мікросмужкових ліній передачі. Бакалаврська дипломна робота. – Вінниця: ВНТУ, 2024. – 85 с. Українською мовою. Бібліогр.: 28 . назв; Рис.: 25.

У бакалаврській дипломній роботі здійснено розроблення та дослідження пасивних мікрохвильових пасивних логічних елементів на основі мікросмужкових ліній передачі. Розроблені принципи побудови пасивних логічних елементів НІ, АБО, RS-тригер, проведене їх моделювання та виконаний розрахунок ефективності для цих елементів. Розраховано топологію мікрохвильових пасивних логічних елементів на основі мікросмужкових ліній передачі, здійснено розрахунок надійності та тепловий розрахунок, проведено вибір корпусу для запропонованих схем пасивних логічних елементів. Отримано результати комп'ютерного моделювання за допомогою пакетів програм MathCad 2014 та Thermal Desktop 4.8. Розроблені та досліджені мікрохвильові пасивні логічні елементи на основі мікросмужкових ліній передачі мають малий час затримки, низьку споживана потужність та досить високий коефіцієнт розгалуження.

Ключові слова: мікрохвильовий, логічний елемент, мікросмужкова лінія, моделювання.

ABSTRACT

Horovenko D.O. Microwave passive logic elements on the basis of microstrip transmission lines. Bachelor's thesis. - Vinnytsia: VNTU, 2024. 85 p. In Ukrainian. Bibliography: 28. titles; Figures: 25.

In the bachelor's thesis, the development and research of passive microwave passive logic elements based on microstrip transmission lines was carried out. The principles of construction of passive logic elements NO, OR, RS-trigger were developed, their modelling was carried out and the efficiency of these elements was calculated. The topology of microwave passive logic elements based on microstrip transmission lines is calculated, reliability and thermal calculations are performed, and the case for the proposed schemes of passive logic elements is selected. The results of computer modelling were obtained using MathCad 2014 and Thermal Desktop 4.8 software packages. The developed and investigated micro-wave passive logic elements based on microstrip transmission lines have a short delay time, low power consumption, and a sufficiently high branching factor.

Keywords: microwave, logic element, microstrip line, modelling.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1 АНАЛІЗ ФІЗИЧНИХ ОСНОВ ПОБУДОВИ ЛОГІЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ	9
1.1 Визначення, класифікація та параметри логічних елементів	9
1.2 Відеоімпульсні логічні елементи	16
1.3 Оптоелектронні логічні елементи	23
1.4 Пневматичні логічні елементи	26
1.5 Оптоімітансні логічні елементи	28
1.6 Бактеріальні логічні елементи	31
1.7 Порівняльний аналіз та розрахунок ефективності імітансних логічних елементів та відеоімпульсних логічних елементів	32
2 РОЗРОБЛЕННЯ І МОДЕЛЮВАННЯ ПАСИВНИХ ЛОГІЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ НА ОСНОВІ МІКРОСМУЖКОВИХ ЛІНІЙ ПЕРЕДАЧІ	35
2.1 Принцип роботи логічного елемента НІ	35
2.2 Принцип роботи логічного елемента АБО	37
2.3 Імітансний RS-тригер.....	40
3 РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЙ ІМІТАНСНИХ ЛОГІЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ	45
3.1 Розробка конструкції імітансного логічного елемента НІ	45
3.2 Розробка конструкції імітансного логічного елемента АБО	47
3.3 Розробка конструкції імітансного RS-тригера	49
4 НАДІЙНІСТЬ ТА ТЕПЛОВЕ МОДЕЛЮВАННЯ	52
4.1 Розрахунок надійності пасивних імітансних елементів НІ, АБО, RS-тригер	52
4.2 Теплове моделювання пасивних імітансних елементів НІ, АБО, RS-тригер.....	54
5 ОХОРОНА ПРАЦІ.....	59
5.1 Технічні рішення щодо безпечного виконання роботи.....	59
5.2 Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії.....	62
5.3 Пожежна безпека.....	67
ВИСНОВКИ.....	70
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	71
Додаток А (обов'язковий) Ілюстративний матеріал.....	74
Додаток Б (обов'язковий) Протокол перевірки навчальної (бакалаврської) дипломної роботи.....	84

ВСТУП

Актуальність теми. Оброблення інформації, яка надходить від багатьох рухомих й нерухомих об'єктів, рознесених у просторі, потребує виконання попередніх процедур, таких як приймання сигналів, їх демодуляція та аналого-цифрове перетворення.

Якщо інформативними параметрами, які характеризують стан об'єкта, є радіочастотні чи частотно-імпульсні сигнали, тоді для використання такого підходу доцільно застосування частотно-імпульсних логічних й операційних елементів, які здатні здійснювати обробку інформаційних і відтворення управляючих сигналів безпосередньо на носійній частоті. Також здійснюється кодування інформації у вигляді стрибків постійного струму або напруги. Враховуючи, що такі сигнали отримали найменування - відеосигнали, логічні схеми, які їх використовують, можна розглядати як відеоімпульсні логічні схеми. Одночасно з логічними відеоімпульсними схемами, створювалися радіочастотні логічні схеми, що використовують як інформаційний параметр частоту, фазу і амплітуду гармонійних сигналів [1-5]. Їх ефективність теоретично, за швидкодією і апаратними витратам, в випадку реалізації багатозначної логіки, перевищила логічні відеоімпульсні схеми двійкової логіки.

Сучасна обчислювальна техніка заснована на використанні відеоімпульсних сигналів зіткнулась з проблемами тепловідводу та низької енергетичної ефективності елементів використовуючих ключовий режим роботи транзисторів. Також недоліком логіки на транзисторах є те, що спостерігаються сильні сплески струмів, особливо на виході, які можуть створювати паразитні наведення на колах живлення, приводячи до збоїв у ТТЛ елементах. Менш значна ця проблема при реалізації імітансних логічних схем, використовуючих транзистор у лінійному режимі. Проте піти шляхом підвищення енергетичної ефективності логічних елементів залишається актуальною задачею. Один із шляхів її рішення полягає у тому, щоб реалізувати пасивні імітансні логічні елементи на відрізках лінії передачі. У зв'язку з цим необхідно розробити принципи побудо-

ви і дослідити основні базові логічні елементи I, АБО, RS-тригер на відрізках лінії передачі [6]..

Метою роботи є розроблення та дослідження мікрохвильових пасивних логічних елементів на основі мікросмужкових ліній передачі.

Об'єктом дослідження є процес перетворення енергії спектрального складу електричних сигналів мікрохвильових пасивних логічних елементів на основі мікросмужкових ліній передачі.

Предмет дослідження – частотні та часові параметри і характеристики сигналів мікрохвильових пасивних логічних елементів на основі мікросмужкових ліній передачі.

Для досягнення поставленої мети в бакалаврській дипломній роботі розв'язуються наступні задачі:

- провести аналіз сучасних досягнень;
- обґрунтувати структурну схему пристрою;
- розробити електричні схеми пристроїв;
- здійснити аналіз математичної моделі пристрою;
- здійснити комп'ютерне моделювання;
- виконати розділ безпеки життєдіяльності.

Методи дослідження ґрунтуються на використанні: методи завадостійкого кодування; основних положень теорії функції комплексної змінної; теорії розрахунку нелінійних електричних кіл; теорії комп'ютерного моделювання пристроїв і систем.

Наукова новизна одержаних результатів

Отримав подальший розвиток метод побудови мікрохвильових пасивних логічних елементів на основі мікросмужкових ліній передачі.

Практичне значення одержаних результатів

Нові електричні схеми мікрохвильових пасивних логічних елементів на основі мікросмужкових ліній передачі.

Нові результати модельних досліджень мікрохвильових пасивних логічних елементів на основі мікросмужкових ліній передачі

Структура і обсяг роботи. Бакалаврська дипломна робота складається зі вступу, 5-ти розділів, висновків, додатків та списку використаних джерел.

1 АНАЛІЗ ФІЗИЧНИХ ОСНОВ ПОБУДОВИ ЛОГІЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ

1.1 Визначення, класифікація та параметри логічних елементів

Логічні елементи – пристрої, призначені для обробки інформації в цифровій формі (послідовності сигналів високого - «1» і низького - «0» рівнів у двійковій логіці). Фізично логічні елементи можуть бути виконані механічними, електромеханічними (на електромагнітних реле), електронними (на діодах і транзисторах), пневматичними, гідравлічними, оптичними та інш.

З розвитком електротехніки від механічних логічних елементів перейшли до електромеханічних логічних елементів (на електромагнітних реле), а потім до електронних логічних елементів на електронних лампах, пізніше – на транзисторах. Після доказу в 1946 р. теореми Джона фон Неймана про економічність позиційних систем числення стало відомо про переваги двійкової і трійкової систем числення в порівнянні з десятковою системою числення. Від десяткових логічних елементів перейшли до двійкових логічних елементів.

Логічні елементи виконують логічну функцію (операцію) над вхідними сигналами (операндами, даними).

Всього можливо така кількість логічних функцій і відповідних їм логічних елементів [7]

$$X^{(x^n) \cdot m}, \quad (1.1)$$

де x – основа системи числення;

n – число входів (аргументів);

m – число виходів.

За формулою 1.1 можна розрахувати кількість логічних елементів для двійкової логіки

$$2^{(2^2) \cdot 1} = 16.$$

Отже, всього можливо 16 двійкових двоховодових логічних елементів.

У пристроях обчислювальної техніки і автоматики використовують три основних типів логічних елементів: І, АБО, НІ, за допомогою яких можна реалізувати будь-який алгоритм керування.

Розглянемо реалізацію логічних елементів за допомогою контактно-релейних схем. Розглянемо логічний елемент І. Він виконує операцію логічного множення. На малюнку 1.1, а приведена контактно-релейна схема логічного елемента І для режиму позитивної логіки.

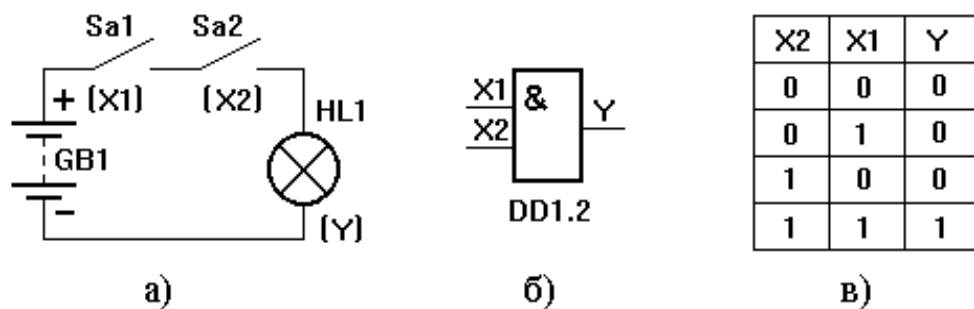


Рисунок 1.1 – Логічний елемент І:

а – еквівалентна схема; б – умовне позначення; в – таблиця істинності

Функціонування логічного елемента зазвичай задають таблицею істинності. Контактна – релейна схема логічного елемента І (режим позитивної логіки) дозволяє легко скласти таблицю істинності цього елемента. Так як мікросхема має для подачі вхідних сигналів два входи, то можливі 4 різних комбінації вхідних сигналів. Необхідно проаналізувати стан лампочки при різних положеннях тумблерів Sa1, Sa2, тобто розглянути 4 різних комбінації станів тумблерів (рис. 1.1, в). Сигнал на виході логічного елемента І з'явиться тільки тоді, коли на всі його входи подається сигнал [8].

Введення поняття активного логічного рівня істотно полегшує аналіз функціонування складних цифрових пристроїв. Активним логічним рівнем на вході елемента (логічний нуль, логічна одиниця) називається такий рівень, який однозначно задає стан на виході елемента незалежно від логічних рівнів на ін-

ших входах елемента. Активний логічний рівень на одному з входів елемента визначає рівень на його виході. Рівні, зворотні активним, називаються пасивними логічними рівнями. Активним логічним рівнем для елементів І є логічний нуль. Нехай, наприклад, маємо логічний елемент 8І. Необхідно проаналізувати 256 різних станів для складання таблиці істинності цього елемента. Якщо хоча б на одному з входів цього елемента буде активний логічний рівень, то стан на виході елемента визначено однозначно і немає необхідності аналізувати стан на інших входах елемента.

Таким чином, таблицю істинності логічного елемента 8І можна звести до двох рядків: на виході цього елемента буде логічна одиниця, якщо на всіх входах будуть сигнали логічної одиниці і на виході буде логічний нуль, якщо хоча б на одному з входів елемента буде сигнал логічного нуля.

Логічний елемент АБО виконує логічну операцію логічного додавання $y = x_1 + x_2$. Контактно – релейна схема елемента приведено рисунку 1.2, а, а його умовне позначення на рисунку 1.2, б. Знання контактної-релейної схеми елемента дозволяє скласти таблицю істинності зображену на рис.1.2, в. Лампочка буде горіти, якщо замкнуті контакти хоча б одного тумблера, тобто активним логічним рівнем для елементів АБО є рівень логічної одиниці.

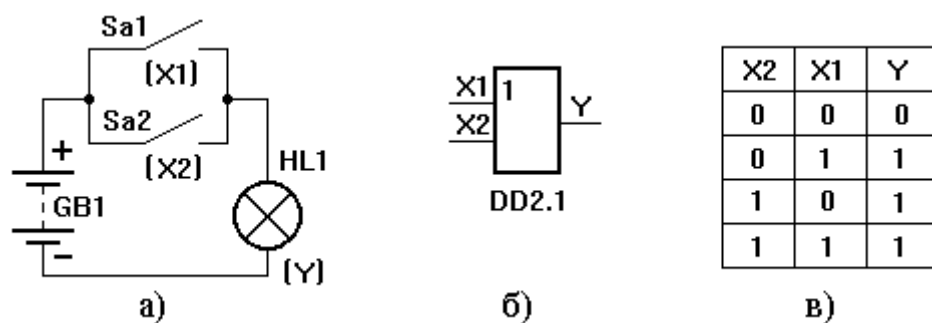


Рисунок 1.2 – Логічний елемент АБО: а – еквівалентна схема; б – умовне позначення; в – таблиця істинності

Логічний елемент НІ виконує операцію заперечення, і для цього елемента простіше скласти відразу таблицю істинності, а не викреслювати спочатку контактну-релейну схему, а потім по ній складати таблицю істинності. Для логіч-

них елементів І та АБО простіше спочатку викреслити контактну-релейну схему, а вже потім складати таблицю істинності.

Алгоритм роботи електромагнітного реле з нормально замкнутими контактами є таким: при відсутності електричного струму через обмотку реле контакти реле замкнуті, а при протіканні достатнього струму через обмотку реле контакти реле розімкнуті. Контактна релейна схема елемента НІ приведено на рисунку 1.3а, а його умовне позначення – на рисунку 1.3б.

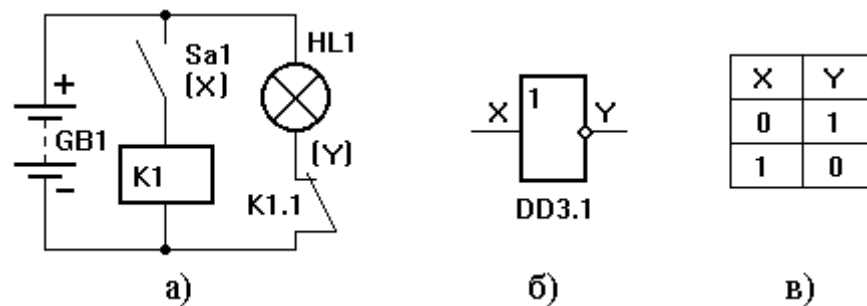


Рисунок 1.3 – Логічний елемент НІ: а – еквівалентна схема; б – умовне позначення; в – таблиця істинності

Проаналізуємо роботу контактно – релейної схеми логічного елемента НІ (рис. 1.3а). Якщо контакти ключа Sa1 розімкнуті, то через обмотку до електромагнітного реле струм протікати не буде. Контакти K1.1 будуть замкнуті (електромагнітне реле з нормально замкнутими контактами). Електрична лампочка HL1 в цьому випадку буде горіти, що для режиму позитивної логіки означатиме логічну одиницю. При замкнутих контактах ключа Sa1 (на вході елемента логічна одиниця) через обмотку реле протікає струм, достатній для розмикання контактів K1.1, тому лампочка перестає горіти (логічний нуль). У результаті аналізу ми отримали, що сигнал на виході елемента протилежний сигналу на вході, тобто якщо на вході елемента сигнал логічної одиниці, то на виході елемента сигнал логічного нуля і навпаки (рис. 1.3, в).

При аналізі роботи логічних елементів слід пам'ятати про режим їх роботи (режим позитивної або негативної логіки). Логічні елементи, що реалізують

для режиму позитивної логіки операцію І, для режиму негативної логіки виконують операцію АБО і навпаки.

На даний момент розроблена велика кількість типів функціонально повних систем логічних мікросхем. Різноманітність принципів які використовуються при їх побудові, призводить до необхідності класифікації логічних мікросхем по ряду основних принципів, визначаючих одну з особливостей їх побудови і функціонування[9].

Першою класифікаційною ознакою логічних мікросхем можна вважати принцип побудови базової схеми, за допомогою якої виконуються логічні операції над входними змінними. При побудові базової логічної мікросхеми використовуються різні напівпровідникові пристрої: біполярні та уніполярні транзистори, діоди та інші. Особливо широке розповсюдження отримали логічні мікросхеми на біполярних транзисторах. Ці мікросхеми по першій класифікаційній ознаці можна розділити на п'ять основних схем: транзисторна логіка (ТЛ), резистивно-транзисторна логіка (РТЛ), діодно-транзисторна логіка (ДТЛ), транзисторно-транзисторна логіка (ТТЛ), емітерно-зв'язна логіка (ЕЗЛ).

Другою класифікаційною ознакою можна вважати спосіб з'єднання напівпровідникових приладів у логічну мікросхему. По цій ознаці розділяють наступні види: зі зв'язаними емітерами, зі зв'язаними колекторами, зі зв'язаними додатними електродами.

Третьою класифікаційною ознакою є вид зв'язку між елементарними логічними схемами, по схеми ділять на класи: з безпосередніми зв'язками, з резистивно-ємнісними зв'язками, з діодними зв'язками, з транзисторними зв'язками.

Не всі з перерахованих класів логічних мікросхем знайшли широкий вжиток. Разом з тим в сучасних логічних мікросхемах реалізуються нові схемотехнічні рішення. До їх числа можна віднести використання комплементарних МОН структур, схем з діодами Шоткі, інтегральної інжекційної логіки.

Окрім перерахованих класифікаційних ознак всі логічні мікросхеми діляться на: надшвидкодіючі (затримка сигналу не більше 5нс), швидкодіючі (5-10 нс), середньої швидкодії (10-15 нс), повільної дії (понад 50 нс).

По виду сигналів на входах і виходах логічні мікросхеми діляться на імпульсні, потенціальні та потенціально-імпульсні.

Велику кількість логічних мікросхем можна охарактеризувати єдиною системою основних параметрів до яких відносяться [9-10]:

- коефіцієнт об'єднання по входу $K_{об}$ – число входів, за допомогою яких реалізується логічна функція;

- коефіцієнт розгалуження по виходу $K_{роз}$ показує, яке число логічних входів пристроїв цієї ж серії може бути одночасно приєднано до виходу даного логічного елемента;

- швидкодія характеризується часом затримки поширення сигналів через ЛЕ і визначається з графіків залежності від часу вхідного і вихідного сигналів (рис 1.4). Розрізняють час затримки поширення сигналу при включенні ЛЕ $t_{зат.н.}^{1,0}$, час затримки сигналу при виключенні $t_{зат.н.}^{0,1}$ і середній час затримки поширення $t_{зат.н.сер.}^{1,0}$.

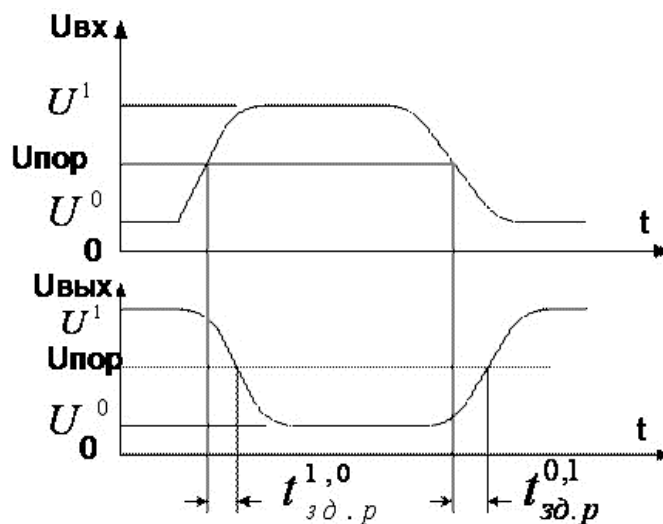


Рисунок 1.4 – Час затримки розповсюдження сигналу ЛЕ

Середнім часом затримки поширення сигналу називають інтервал часу, рівний напівсумі часів затримки поширення сигналу при включенні і виключенні логічного елемента;

- Напруга високого U_1 і низького U_0 рівнів (вхідні $U_{1\text{вх}}$ і вихідні $U_{0\text{вих}}$) та їх допустима нестабільність. Під U_1 і U_0 розуміють номінальні значення напруг «лог.1» і «лог.0»; нестабільність виражається у відносних одиницях або у відсотках;

- Порогові напруги високого $U_{1\text{пор}}$ і низького $U_{0\text{пор}}$ рівнів. Під граничною напругою розуміють найменше ($U_{1\text{пор}}$) або найбільше ($U_{0\text{пор}}$) значення відповідних рівнів, при якому починається перехід логічного елемента в інший стан. Ці параметри визначаються з урахуванням розкиду параметрів відповідної серії в робочому діапазоні температур, в довідниках часто наводиться одне усереднене значення $U_{\text{пор}}$;

- Вхідні струми $I_{0\text{вх}}$, $I_{1\text{вх}}$ відповідно при вхідних напругах низького і високого рівнів;

- Завадостійкість. Статична завадостійкість оцінюється за передавальними характеристиками логічного елемента як мінімальна різниця між значеннями вихідного і вхідного сигналів щодо порогового значення з урахуванням розкиду параметрів в діапазоні робочих температур

$$U_{\text{зав}}^- = U_{\text{вих.min}}^1 - U_{\text{ПОР}}, \quad (1.2)$$

$$U_{\text{зав}}^+ = U_{\text{ПОР}} - U_{\text{вих.min}}^0 \quad (1.3)$$

- Споживана потужність $P_{\text{пот}}$ або струм споживання $I_{\text{пот}}$;

- Енергія перемикавання – робота, яка витрачається на виконання одиничного перемикавання. Це інтегральний параметр, який використовується для порівняння між собою мікросхем різних серій і технологій. Він знаходиться як добуток споживаної потужності і середнього часу затримки поширення сигналу.

1.2 Відеоімпульсні логічні елементи

Кодування інформації також здійснюється у вигляді стрибків постійного струму або напруги. Враховуючи, що такі сигнали отримали найменування - відеосигнали, логічні схеми, які їх використовують, можна розглядати як відеоімпульсні логічні схеми. Сучасна обчислювальна техніка заснована на використанні відеоімпульсних сигналів [11].

Зазвичай вхідний каскад логічних елементів ТТЛ являє собою найпростіші компаратори, які можуть бути виконані різними способами (на многоеміттерному транзисторі або на діодній збірці). У логічних елементах ТТЛ вхідний каскад, крім функцій компараторів, виконує і логічні функції. Далі слід вихідний підсилювач з двотактним (двохключовим) виходом. Базовим елементом стандартної ТТЛ є елемент Шеффера І-НЕ. Його принципова схема представлена на рисунку 1.5

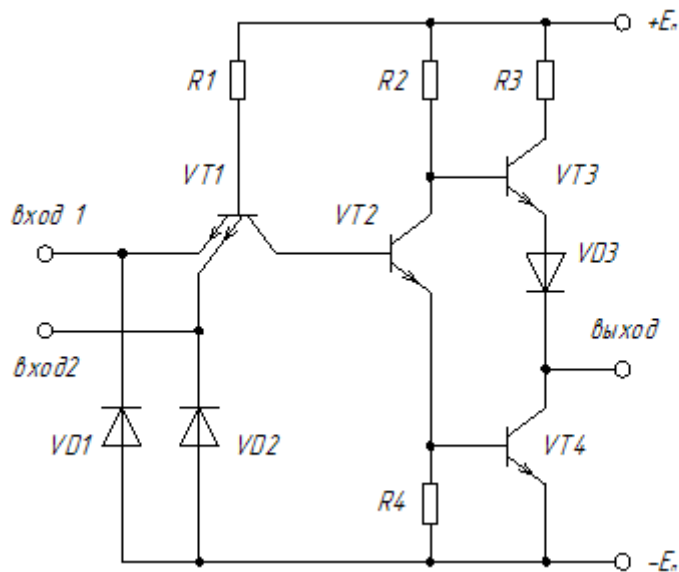


Рисунок 1.5 – Елемент Шеффера І-НЕ

Поява ЛЕ ЕЗЛ пов'язано з підвищенням швидкодії цифрових пристроїв за рахунок використання в них схмотехнічного рішення, абсолютно відмінного від ТТЛ. До основних причин інерційності ключів, виконаних на біполярних транзисторах, слід віднести час розсмоктування неосновних носіїв з базової об-

ласті і постійну часу перезарядки вихідний ємності. Якщо час розсмоктування транзистора при роботі останнього в активній області може бути повністю виключено, то від впливу постійної часу перезарядження вихідний ємності транзистора повністю позбутися не представляється можливим. При незмінному постійному струмі перезарядка вихідний ємності транзистора, тривалість переходу якого зі стану, класифікуємого як логічний « 0 », у стан, класифікуємий як логічна « 1 » і назад, може бути зменшена тільки за рахунок зниження логічного перепаду. Таке рішення дозволяє підвищити швидкодію. Однак досягається воно за рахунок зниження завадостійкості ЛЕ, що вимагає створення схем (за інших рівних умов), менш схильних до дії перешкод. Цей принцип і використаний при побудові ЛЕ ЕЗЛ.

Основою ЛЕ ЕЗЛ є струмовий ключ, виконаний на двох транзисторах представлений на рисунку 1.6.

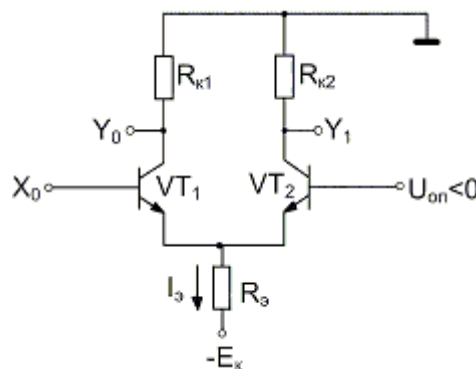


Рисунок 1.6 – Базовий елемент ЕЗЛ

На базу одного з них, наприклад VT_2 , подано деяку постійну опорну напругу $U_{оп}$. Зміна напруги, що подається на вхід X_0 нижче або вище $U_{оп}$, призводить до перерозподілу постійного струму I_e , заданого струмостабілізуючим резистором R_e , між транзисторами VT_1 і VT_2 . При цьому транзистори не потрапляють в режим насичення, отже, в ключі принципово відсутній інтервал розсмоктування їх неосновних носіїв. Таким чином, особливість БЛЕ ЕЗЛ полягає в сталості споживаного струму, незалежно від вихідного сигналу ключа.

Цей фактор вигідно відрізняє БЛЕ ЕЗЛ від БЛЕ ТТЛ, в якому в момент перемикання струм, споживаний елементом, різко зростає, створюючи внутрішні завади, що погіршують завадозахищеність цифрового пристрою.

Швидкодія такого ключа вельми велика, так як, по-перше, транзистори принципово не заходять в область насичення, а по-друге, логічний перепад напруг між значеннями логічного нуля і логічної одиниці малий. Останнє реалізовано вибором малих опорів резисторів R_{K1} і R_{K2} схеми, що вкрай корисно з точки зору зменшення постійної часу перезарядження вихідний ємності транзистора.

Слід зазначити, що схемотехнічно струмовий ключ (рис. 1.6) повторює схему диференціального підсилювача постійного струму.

Вихідна напруга, що знімається з виходів $Y1$ і $Y0$ завжди більше $U_{оп}$, так як транзистори $VT1$ і $VT2$ працюють в ненасиченому режимі. Тому послідовне включення декількох таких ключів неможливо. Для цього необхідний узгоджувальний каскад. В якості такого узгоджувального каскаду використовуються схеми емітерних повторювачів, включених між виходами токового ключа і виходами елемента.

КМОП (К-МОП; комплементарна логіка на транзисторах метал-оксид-напівпровідник; КМДП; англ. CMOS, Complementary-symmetry/metal-oxide semiconductor) - технологія побудови електронних схем. У технології КМОП використовуються польові транзистори з ізольованим затвором з каналами різної провідності. Відмінною особливістю схем КМОП в порівнянні з біполярними технологіями (ТТЛ, ЕЗЛ та ін.) є дуже мале енергоспоживання в статичному режимі (в більшості випадків можна вважати, що енергія споживається тільки під час перемикання станів). Відмінною особливістю структури КМОП в порівнянні з іншими МОП-структурами (N-МОП, P-МОП) є наявність як n-, так і р-канальних польових транзисторів; як наслідок, КМОП-схеми володіють вищою швидкістю і меншим енергоспоживанням, проте при цьому характеризуються складнішим технологічним процесом виготовлення і меншою щільніс-

тю упаковки. Переважна більшість сучасних логічних мікросхем, в тому числі, процесорів, використовують схемотехніку КМОП.

На рисунку 1.7 представлено схему логічного елемента, що виконує логічну функцію 2І-НІ[11]

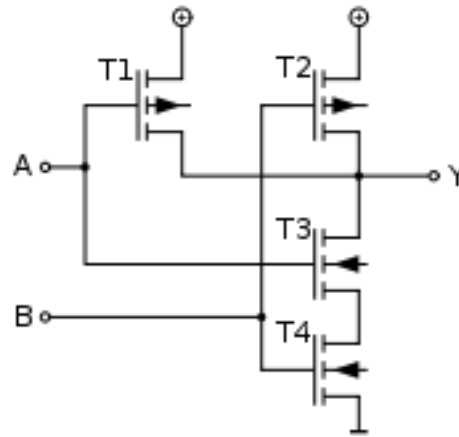


Рисунок 1.7 – Логічний елемент 2І-НІ

Проаналізуємо схему вентиля 2І-НІ, побудованого за технологією КМОП.

- Якщо на обидва входи А і В подано високий рівень, то обидва транзистора знизу на схемі відкриті, а обидва верхніх закриті, тобто вихід з'єднаний із землею.
- Якщо хоча б на один з входів подати низький рівень, відповідний транзистор зверху буде відкритий, а знизу закрито. Таким чином, вихід буде з'єднаний з напругою живлення і від'єднаний від землі.

У схемі немає ніяких навантажувальних опорів, тому в статичному стані через КМОП-схему протікають тільки струми витоку через закриті транзистори, і енергоспоживання дуже низьке. При перемиканнях електрична енергія витрачається в основному на заряд ємностей затворів і провідників, так що споживана потужність пропорційна частоті цих перемикань (наприклад, тактовій частоті процесора).

На рисунку з топологією мікросхеми 2І-НІ можна помітити, що в ній використовуються два двухзатворном польових транзистора різних конструкцій.

Верхній двухзатворном польовий транзистор виконує логічну функцію АБО, а нижній двухзатворном польовий транзистор виконує логічну функцію І.

В елементах ТТЛШ, на відміну від елементів ТТЛ, замість звичайних транзисторів використовуються транзистори Шоткі, в яких паралельно колекторному переходу включений діод Шоткі. Шунтування колекторного переходу діодом Шоткі призводить до виключення режиму насичення відкритого транзистора і тим самим до прискорення його замикання. Застосування транзисторів Шоткі дозволяє підвищити швидкодію елементів і одночасно поліпшити їх роботу перемикавання. Схема елемента ТТЛШ показана на рисунку 1.8.

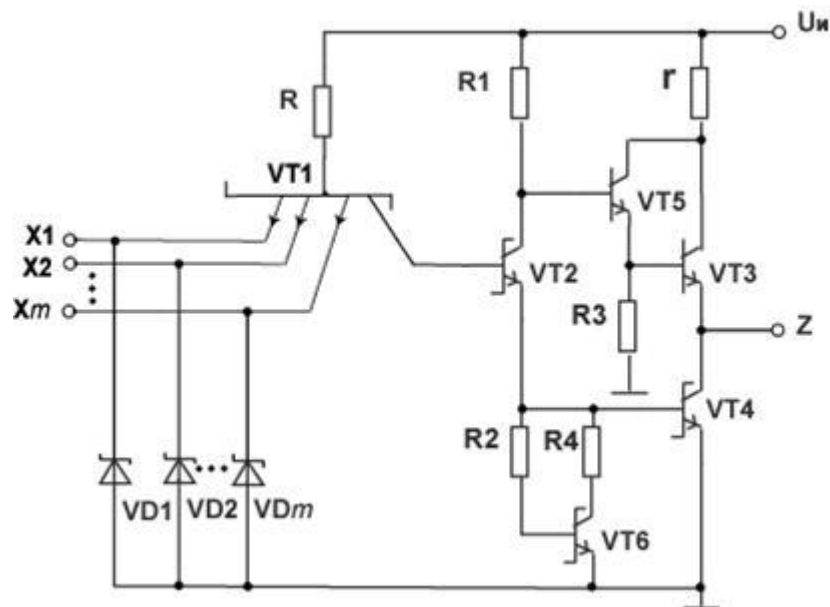


Рисунок 1.8 – Базовий елемент ТТЛШ

Багатоємітерний транзистор також є транзистором Шоткі, але це пояснюється іншими міркуваннями – шунтування колекторного переходу транзистора діодом Шоткі робить досить малим ефективне значення інверсного коефіцієнта передачі струму, що сприятливо впливає на функціонування елементів ТТЛ. Особливість транзисторів Шоткі, пов'язана з відсутністю у них режиму насичення – підвищене значення напруги на відкритому транзисторі (близько 0,3 В).

Поряд з описаними вище схемами в системах ТТЛ зустрічаються і поліпшені в тому чи іншому відношенні модифікації.

В елементах ТТЛШ насичення транзисторів усунуто, їх швидкодія висока і за цим показником елементи ТТЛШ займають серед елементів, реалізованих на основі кремнію, друге місце (після елементів типу ЕЗЛ).

Логічні елементи I^2L мають назву інтегрально-інжекційна логіка або суміщена транзисторна логіка. I^2L представляють собою фізично об'єднані р-п-р та п-р-п транзистори. На рисунку 1.9 представлено елемент I^2L [12].

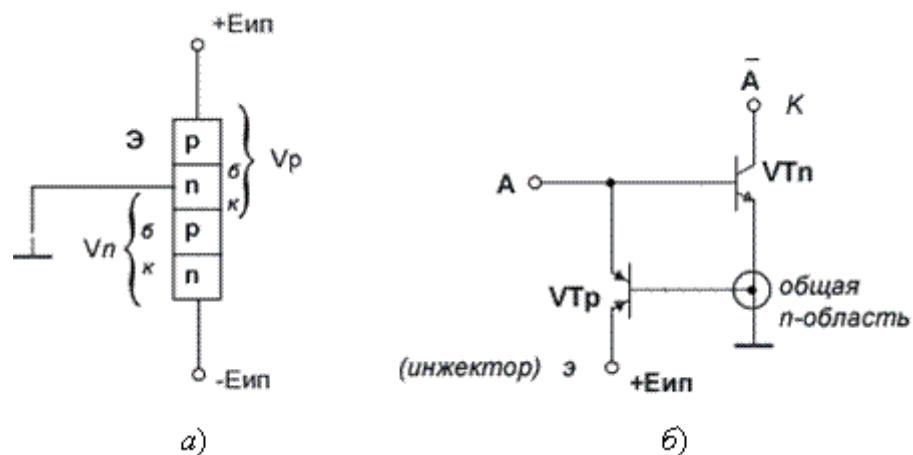


Рисунок 1.9 – Елемент I^2L : а – структура, б – схема

Емітерна область VT_p називається інжектором і підключається до $+E_{ip}$. Загальна п - область база VT_p і емітер VT_n і заземлюється. Колектор VT_p і база VT_n представляють єдину область р-типу. Обидва транзистора можуть бути багатокотекторними.

ІМС типу I^2L є перспективними ЦІМ нового покоління на біполярних транзисторах.

За допомогою схем типу I^2L вдалося подолати традиційні недоліки біполярних ІС: малу щільність компонування і високу розсіюваність потужності на венти́ль. За ступенем інтеграції схеми I^2L навіть перевершують МОП- схеми, а за рівнями розсіювання потужності порівнюються з КМОП -схемами, за швидкістю - з біполярними ІС ($t_{з,сер} = 5\text{нс}$). Невелика розсіюваність потужності I^2L - схеми пояснюється відсутністю резисторів, а велику швидкість при малих

потужностях споживання – незначними паразитними ємностями, відсутністю накопичення заряду і невеликою різницею логічних рівнів.

Принцип інжекційного живлення полягає в тому, що за допомогою бокового р-п-р транзистора - інжектора (ТІ) реалізується ланцюг генератора струму (де n - число колекторів ТІ) багатоколекторного вертикального п-р-п транзистора, що виконує функцію інвертора логічного сигналу. Така конфігурація будується на безрезисторній структурі, в яких резистори замінюють генераторами постійного струму I_0 . На рисунку 1.10 представлено схему елемента АБО-НІ[13].

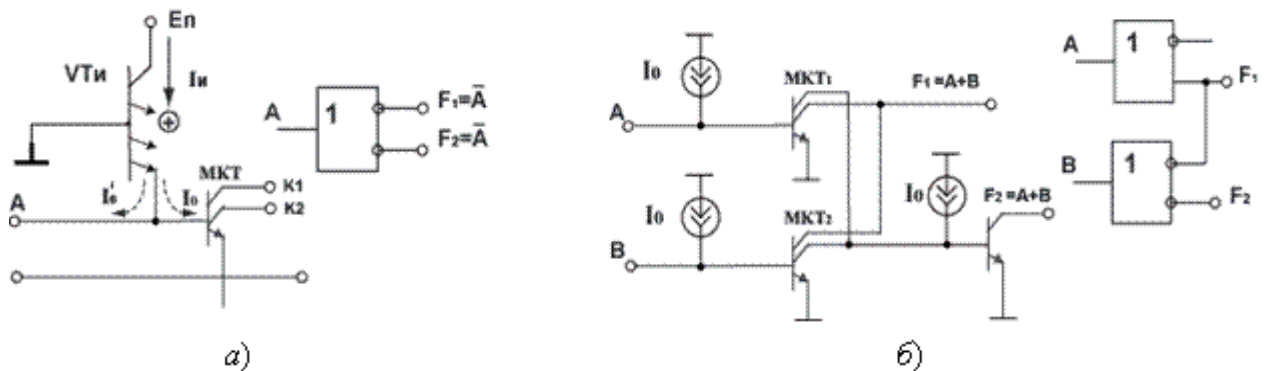


Рисунок 1.10 – Схема елемента АБО-НІ

Робота вентиля заснована на тому, що логічний сигнал A змінює напрямки і ток I_H . При $A = 1$ струм тече по шляху I_0 . При $A = 0$ струм тече по шляху I_0 . У першому випадку здійснюється інжекція неосновних носіїв (дірок) для V_{TI} в базу V_{TI} або, що те ж саме, в емітер MKT , це викликає зсув переходу Б-Е та переходу К-Б. MKT в прямому напрямку, MKT переходить в режим насичення, при цьому напруга між К-Б мало, тобто $U_{KB} = 0,01 \dots 0,06$ В (вентиль MKT замкнутий). При подачі на вхід $A = 0$ струм інжекції припиняється, оскільки база V_{TI} виявляється під потенціалом колектора TI , а струм визначається витоком назад зміщеного переходу Е-Б V_{TI} . При цьому струм перестає текти по шляху I_0 , що викликає різке збільшення вихідного опору MKT , що потрапляє на кордон активного режиму та режиму відсічення. Вентиль MKT виявляється розі-

мкненим, при цьому $U_{KE} = 0,6 \text{ В}$, що відповідає рівню логічної 1 (при $E_p = 1,5 \text{ В}$).

З точки зору схемотехніки $I^2Л$ мають ряд особливостей. Одна з основних полягає в тому, що МКТ $I^2Л$ мають малий нормальний ($K = 2 \dots 20$) і великий інверсний ($K_{\text{и}} > 100$) коефіцієнти підсилення на противагу звичайним біполярним МЕТ. Слід зазначити, що для збільшення бажано створити не однокolleкторний транзистор з великою площею колекторного переходу, а МКТ з паралельним з'єднанням колектора. Однак збільшення числа колекторів призводить до погіршення динамічних характеристик схеми через збільшення ємності колекторного переходу.

Наступна особливість $I^2Л$ - схем полягає в тому, що в них робочі струми I_K можуть змінюватися в широкому діапазоні (від мкА до мА) залежно від площ транзисторів і їх коефіцієнтів підсилення. Завдяки цьому на одній і тій же підкладці можна реалізувати як мікропотужну $I^2Л$ - схему, так і схему з робочими струмами в кілька міліампер.

Третя особливість $I^2Л$ полягає в тому, що вони мають малі робочі сигнали. Через малу товщини бази і емітера $I^2Л$ - схеми мають найбільші напруги пробою ($2 \dots 5 \text{ В}$) в обернено зміщених колекторних переходах транзисторів.

При виконанні операції АБО - НІ два вентиля інвертора МКТ1 і МКТ2 об'єднують по колекторних ланцюгах (рис 1.19, б). Для утворення операції АБО застосовується додатковий інжекційний інвертор. Переваги $I^2Л$ - відсутність резисторів (і пов'язані з цим економія площі, зменшення потужності, зменшення E_p і часу затримки), мала ємність колектора і мала залишкова напруга на насичених транзисторах.

1.3 Оптиелектронні логічні елементи

Застосування оптиелектронних елементів – це один з шляхів створення багатофункціональних однорідних обчислювальних середовищ, швидкодія яких була б порядку 10^{-10} с . Для збереження однорідності при побудові керую-

чих пристроїв різних оптоелектронних операційних систем обробки інформації необхідні оптоелектронні логічні схеми[14].

Для рішення задач проектування цифрових пристроїв на базі оптоелектронної техніки необхідно добре знати математичний апарат, який адекватно описує перемикальну функцію елементів і вузлів оптоелектронної схемотехніки. Вибір математичних методів аналізу та синтезу оптоелектронних перемикальних схем в основному визначається принципами функціонування оптоелектронних базисних елементів, а також вибраної логіки при реалізації тих чи інших арифметичних і логічних функцій.

Логіка виконання елементарних обчислень в оптоелектронних некогерентних процесорах в основному десяткова. Необхідно замітити, що двійкова логіка в оптоелектронних некогерентних процесорах використовується в основному для керування багатьма арифметичними і логічними операціями. Часто використовується для встановлення істинності чи хибності різних висловлювань, наприклад, якщо вислів, що обчислювальний модуль ОЕ МФМ знаходиться в нульовому стані істинно, воно обозначається через «1», якщо ні, то – «0».

Для збереження однорідності в пристроях керування цифрові мережі будуються на базі оптоелектронної схемотехніки. Ці оптоелектронні кола при аналізі і синтезі операційних пристроїв можуть бути описані як в термінах оптоелектронних компонентів так і в термінах логічної поведінки базисних елементів. Входи і виходи оптоелектронних логічних елементів також приймають одно з двох значень (0 чи 1).

В оптоелектронних функціональних пристроях керування відбувається як оптичними так і електричними сигналами. Для цього необхідні відповідні логічні елементи. Логічні схеми побудовані на оптронах, мають високу швидкодію і інформаційну ємність.

В оптоелектронній схемотехніці можуть застосовуватись оптоелектронні логічні елементи:

- 1) з електричними входами і виходами;
- 2) з електричними входами і оптичними виходами;

- 3) з оптичними входами і електричними виходами;
- 4) з оптичними входами і виходами;
- 5) перераховані типи суміщені з підсилювальними електронними елементами.

На рисунку 1.11 зображено схему оптоелектронного інвертора яка реалізує операцію логічного заперечення вхідних електричних сигналів.

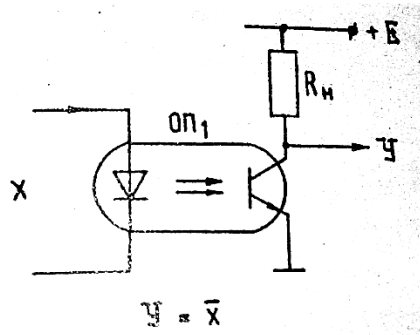


Рисунок 1.11 – Оптоелектронний логічний елемент НІ з електричним входом і виходом

На рисунку 1.12 представлено схему оптоелектронного диз'юнктера.

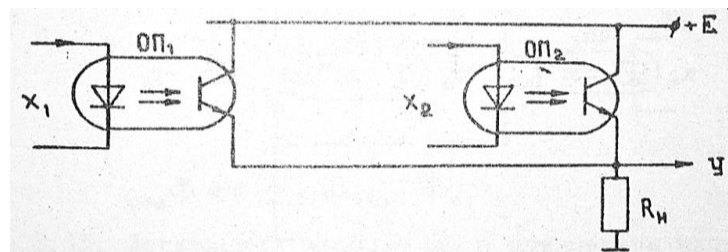


Рисунок 1.12 – Оптичний логічний елемент АБО

На рисунку 1.13 зображено схему оптоелектронного кон'юнктера реалізує функцію множення вхідних електричних сигналів.

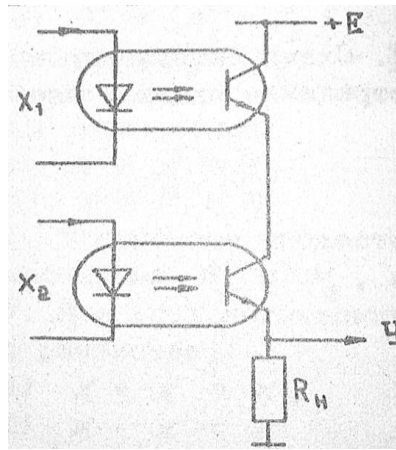


Рисунок 1.13 – Оптиелектронний логічний елемент I з електричними входами и виходом

В залежності від схеми включення базисних елементів окрім розглянутих схем можуть бути побудовані більш оптимальні варіанти оптиелектронних логічних елементів.

1.4 Пневматичні логічні елементи

Пневмоавтоматику в пристроях дискретної дії застосовували дуже обмежено. В загальному комплексі задач керування вирішувались тільки деякі дуже прості дискретні задачі. Для цього конструювались спеціальні пневматичні пристрої, наприклад в системі АУС розроблені реле сигналізації і реле переключення, за допомогою яких персонал оповіщали про недозволені відхилення від нормального режиму. Більш складні задачі дистанційного керування, пуска, зупинки, блокувань або взагалі не вирішували, або вирішували за допомогою електричних релейних пристроїв, якщо це дозволяло виробництво[15].

Поява універсального пневмореле в системі відкрило нові можливості пневмоавтоматики: з його допомогою стало можливим вирішувати більш складні задачі релейної техніки.

Незалежно від способу реалізації пристрою дискретної дії всі вони описуються відповідно з положеннями алгебри логіки і теорії кінцевих автоматів.

Типові релейні схеми, реалізуючі перетворення над дискретними змінними, можна розділити на комбінаційні, значення яких визначається значенням

тільки значенням незалежних змінних, та послідовністі, значення яких залежить не тільки від значення незалежних змінних, а і від послідовності їх появи, а також від часу їх появи.

Пневмореле з підпором дозволяє за рахунок схем включення реалізувати елементарні логічні операції.

На рисунку 1.14 представлено схему реалізації логічного елемента НІ на пневмореле з підпором.

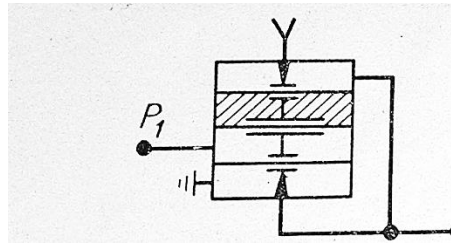


Рисунок 1.14 - Логічний елемент НІ на пневмореле з підпором

На рисунку 1.15 представлено схему реалізації логічного елемента АБО на пневмореле з підпором:

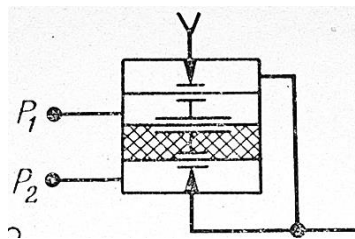


Рисунок 1.15 – Логічний елемент АБО на пневмореле з підпором

На рисунку 1.4.3 представлено схему реалізації логічного елемента І на пневмореле з підпором:

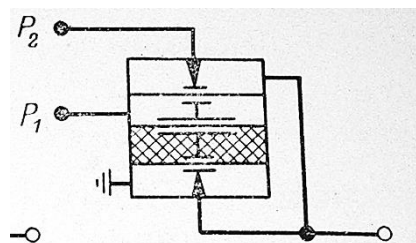


Рисунок 1.16 – Логічний елемент І на пневмореле з підпором

На цьому можливості пневмореле не закінчуються, так як на ньому також можна реалізувати елементарні операції повторення, імплікація, заборона.

1.5 Оптоімітансні логічні елементи

Оптоімітансний LC-логічний елемент "НІ" містить оптрон, анод якого з'єднаний вхідною клемою, катод та емітер оптрона з'єднаний з загальною шиною, колектор оптрона з'єднаний з катодом світлодіода, анод якого з'єднаний з шиною живлення [16].

Схема оптоімітансного логічного елемента НІ зображена на рисунку 1.17.

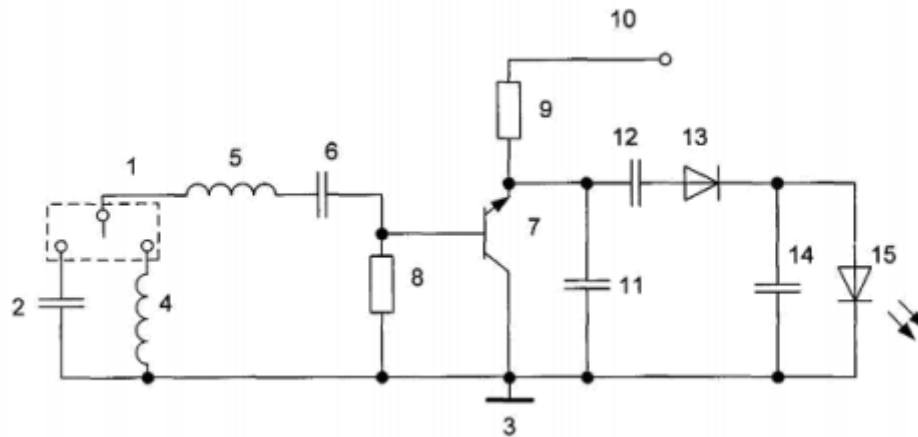


Рисунок 1.17 - Оптоімітансний LC-логічний елемент "НІ"

Пристрій працює наступним чином: коли підключається індуктивний імпеданс $Z_{вх} = j\omega L_4$, що відповідає логічному "0", схема генерує і діод 13 світиться, що відповідає логічній "1". Коли підключається ємнісний імпеданс $Z_{вх} = \frac{1}{j\omega C_4}$, що відповідає логічному "1" генерація відсутня і діод 13 не світиться, що відповідає логічному "0".

Біполярного транзистор 7 працює в режимі перетворювача імпеданса. Комутатор служить для імітації появи на вході індуктивного або ємнісного імпеданса. Перший резистор 8 забезпечує постійний струм бази, другий резистор 9 обмежує струм колектора та є навантаженням. Конденсатор 11 є резонуючим. Конденсатори 12 та 6 виконують функцію розділового конденсатора. Конденсатор 14 та діод 13 це амплітудний детектор. Діод 13 виконує функцію 25 високочастотного випрямляча. Друга котушка індуктивності 5 використовується як підстроювальна індуктивність.

На рисунку 1.18 представлено схему оптоімітансного логічного елемента І [17].

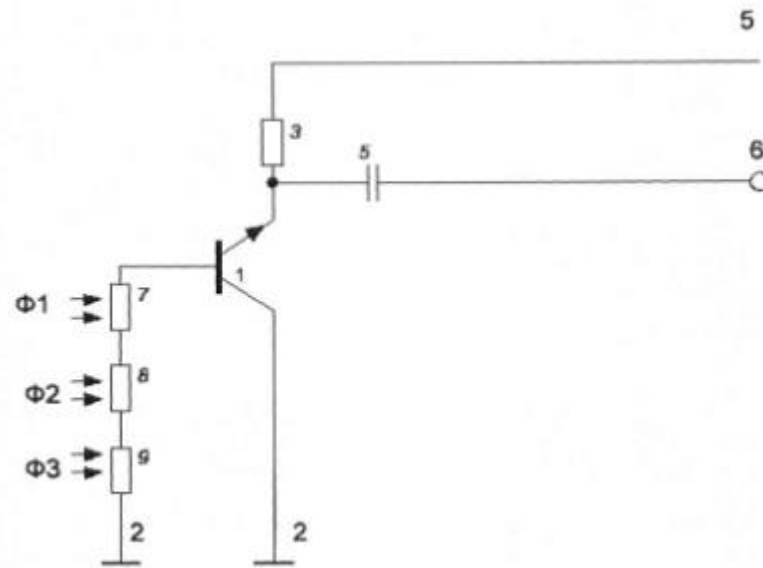


Рисунок 1.18 - Оптоімітансний логічний елемент "І"

Пристрій працює наступним чином. Як вхідний інформаційний параметр використовується світловий потік Φ . Отже як вхідний логічний рівень, що відповідає логічній одиниці (1) використовується наявність світлового потоку, тобто $\Phi \neq 0$, як логічний 0 використовується відсутність світлового потоку, $\Phi = 0$. Як вихідний параметр використовуються характер реактивної складової повного імпедансу. Індуктивний $\text{Im}Z_{\text{вих}} > 0$ (L) імпеданс відповідає логічній одиниці, а ємнісний $\text{Im}Z_{\text{вих}} < 0$ (C) імпеданс відповідає логічному 0. Послідовне з'єднання фоторезисторів 7-9, підімкнене між спільною шиною 2 та базою біполярного транзистора виступає перетворюваним імпедансом узагальненого перетворювача імітансу на біполярному транзисторі 1, між вихідною клемою та спільною шиною якого утворюється перетворений імпеданс. Схема працює на частотах, вищих за f_0 .

Перетворений імпеданс оптоімітансного логічного елемента залежить від наявності або відсутності оптичного опромінювання на фоторезисторах 7-9.

На рисунку 1.19 представлено схему оптоімітансного логічного елемента АБО[18]:

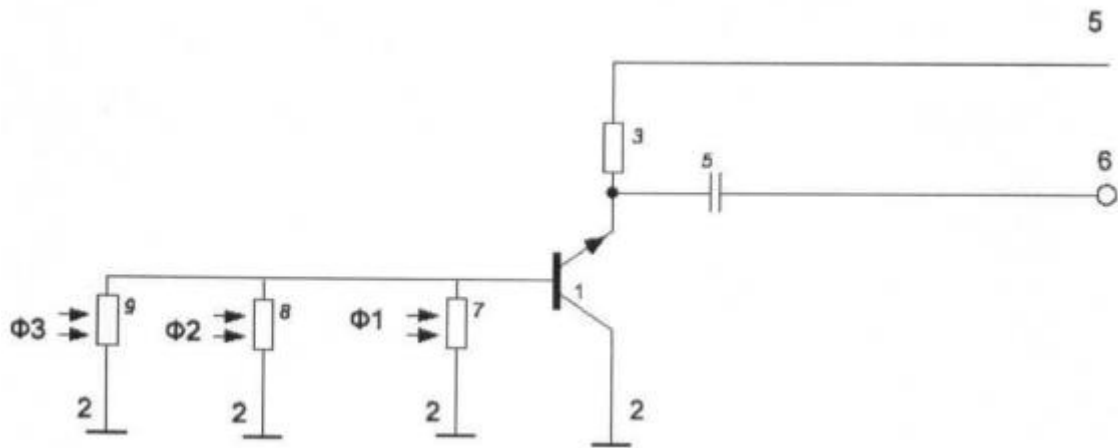


Рисунок 1.19 - Оптимітансний логічний елемент "АБО"

Пристрій працює наступним чином. Як вхідний інформаційний параметр використовується світловий потік Φ . Отже як вхідний логічний рівень, що відповідає логічній одиниці (1) використовується наявність світлового потоку, тобто $\Phi \neq 0$, як логічний 0 використовується відсутність світлового потоку, $\Phi = 0$. Як вихідний параметр використовуються характер реактивної складової повного імпедансу. Індуктивний $\text{Im}Z_{\text{вих}} > 0$ (L) імпеданс відповідає логічній одиниці, а ємнісний $\text{Im}Z_{\text{вих}} < 0$ (C) імпеданс відповідає логічному 0. Послідовне з'єднання фоторезисторів 7-9, підімкнене між спільною шиною та базою біполярного транзистора виступає перетворюваним імпедансом узагальненого перетворювача імітансу на біполярному транзисторі 1, між вихідною клемою та спільною шиною якого утворюється перетворений імпеданс. Схема працює на частотах, вищих за f_0 .

Перетворений імпеданс оптимітансного логічного елемента залежить від наявності або відсутності оптичного опромінювання на фоторезисторах 7-9. Отже, якщо на усіх фоторезисторах 7-9 опромінювання відсутнє $\Phi = 0$, що відповідає логічному 0 на трьох входах пристрою, то між емітером та колектором біполярного транзистора 1 з'явиться перетворений імпеданс з ємнісним характером реактивної складової, що відповідає також логічному 0. Якщо на один з фоторезисторів 7 діятиме оптичне опромінювання, що відповідатиме логічній одиниці (1) на одному з входів (наприклад $\Phi 1 \neq 0$, $\Phi 2 = 0$, $\Phi 3 = 0$), опір опроміненого фоторезистора 7 зменшиться, і оскільки фоторезистори 7-9 з'єднані пара-

лельно, сумарний опір трьох фоторезисторів 7-9 буде малим, тому перетворений імпеданс логічного елемента матиме індуктивний характер реактивної складової, тобто відповідатиме логічній 1.

1.6 Бактеріальні логічні елементи

Використовуючи бактерії *E. Coli* з штучно зміненою ДНК, створили базові логічні елементи, які в майбутньому мають перспективу стати основою біологічних процесорів. Створені логічні елементи поводяться, повністю копіюючи роботу їх електронних аналогів[19].

Крім цього, нові бактеріальні логічні елементи мають спеціальну структуру, яка дозволить їх використовувати як модулі для побудови більш складних елементів, що виконують складні логічні операції.

На першому етапі було взято звичайні бактерії виду *E. Coli* і змінено їх ДНК таким чином, що бактерія почала працювати як логічний елемент 2І. Структурна схема представлена на рисунку 1.20.

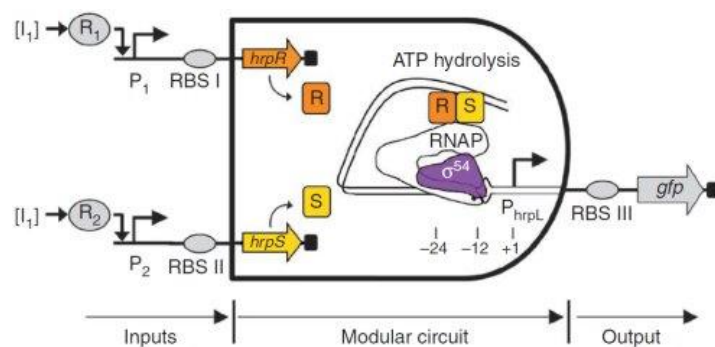


Рисунок 1.20 – Бактеріальний логічний елемент І

В якості вхідних сигналів служили спеціальні збудники, в ролі яких виступали певні хімічні сполуки. Після цього вдалося поєднати розрізнені біологічні логічні елементи в більш складні схеми, точно так як це роблять при складанні електронних схем. Комбінуючи елемент 2І з елементом НІ, був отриманий один з базових логічних елементів, елемент 2І-НІ, його структурна схема представлена на рисунку 1.21.

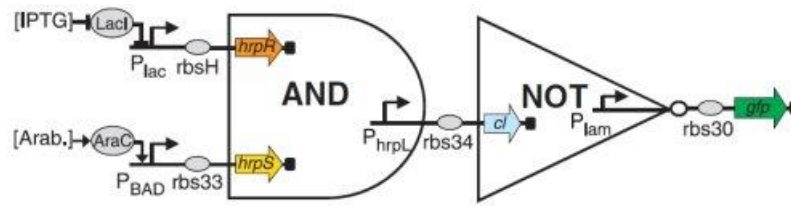


Рисунок 1.21 – Бактеріальний логічний елемент I-NI

1.7 Порівняльний аналіз та розрахунок ефективності імітансних логічних елементів та відеоімпульсних логічних елементів

Для того, щоб задовільнити потребам, які виникають з умов застосування, при виборі найбільш підходящого типу схем необхідно шукати найкраще співвідношення між граничними значеннями параметрів серій мікросхем і умовами, які накладають вирішувані задачі. До числа параметрів, які слід брати до уваги при виборі типу мікросхеми належать: напруга живлення, завадостійкість, коефіцієнт розгалуження по виходу, споживана потужність, швидкодія (час затримки розповсюдження сигналу), фактор якості (добуток $\text{ніть} \times \text{затримка}$), ступінь інтеграції, вартість [20].

У таблиці 1.1 зведені значення робочих параметрів логічних мікросхем.

Таблиця 1.1 Основні параметри логічних мікросхем

Робочий параметр	Біполярні				МДН		Імітансні
	ТТЛ	ТТЛ Ш	ЕЗЛ	I ² Л	n-МДН	КМДН	
Завадостійкість, %	8	6	3,27	6,7	Залежить від типу процесу виробництва	26	5
Коефіцієнт розгалуження по виходу	10	10	25	1	25	50	40
Споживана потужність на елемент, мВт	10	20	25	0,05	0,1 – 1,0	0,05	0,1
Час затримки, нс	10	3	0,5	5	1	10	0,03
Показник потужності $\times$ затримка, пДж	100	20	25	0,5	1	0,1	0,003

Використовуючи дані таблиці 1.1 розрахуємо ефективність по кожному з параметрів для імітансних логічних елементів.

Коефіцієнт ефективності по параметрам має бути менше одиниці $\eta < 1$, та визначається за виразом

$$\eta = \frac{\text{мінімальне значення}}{\text{максимальне значення}} \quad (1.1)$$

Отже проведемо розрахунки та занесемо результати в таблицю 1.2.

Таблиця 1.2 Ефективність імітансних логічних елементів

Коефіцієнт ефективності по параметру	Біполярні				МДН	
	ТТЛ	ТТЛШ	ЕЗЛ	І ² Л	n-МДН	КМДН
Ефективність по завадостійкості	0,625	0,83	0,654	0,75	Залежить від типу процесу виробництва	0,19
Ефективність по коефіцієнту розгалуження по виходу	0,25	0,25	0,625	0,025	0,625	0,8
Ефективність по споживаній потужності	0,01	0,005	0,04	0,2	0,1	0,5
Ефективність по часу затримки	0,003	0,01	0,06	0,006	0,03	0,003
Ефективність по показнику потужність×затримка	0,0003	0,00015	0,00015	0,006	0,003	0,03

Проаналізувавши отримані результати можна зробити висновки, що імітансні логічні елементи мають більшу ефективність у порівнянні з відеоімпульсними логічними елементами особливо по таким параметрам як час затримки, показник потужність×затримка, споживана потужність та коефіцієнт розгалуження. Враховуючи, що робота всіх вищерозглянутих ЛЕ базується на використанні нелінійних властивостей транзисторів, їх швидкодія практично знаходиться на рівні швидкодії відеоімпульсних ЛЕ. Крім того, відеоімпульсні та оп-

тоелектронні ЛЕ у процесі роботи вимагають комутації великих значень струму (декілька мА), що, зі зростанням ступеня інтеграції, призводить до проблеми тепловідведення. Це питання може бути вирішене шляхом використання імітансних ЛЕ, що використовують принцип нечіткого імітансу і працюючих у діапазоні НВЧ, з потужністю інформаційного сигналу, що не перевищує 10^{-5} Вт.

2 РОЗРОБЛЕННЯ І МОДЕЛЮВАННЯ ПАСИВНИХ ЛОГІЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ НА ОСНОВІ МІКРОСМУЖКОВИХ ЛІНІЙ ПЕРЕДАЧІ

2.1 Принцип роботи логічного елемента НІ

Пристрій містить ключ 5, вихідну клему 6, загальну шину 4, індуктивний імітансний двополюсник 1, ємнісний імітансний двополюсник 2 та відрізок лінії передачі 3, з'єднаний з вихідною клемою 6 та ключем 5, який з'єднаний через ємнісний імітансний двополюсник 2 або індуктивний імітансний двополюсник 1 з загальною шиною 4. Схема пристрою наведена на рисунку 2.1

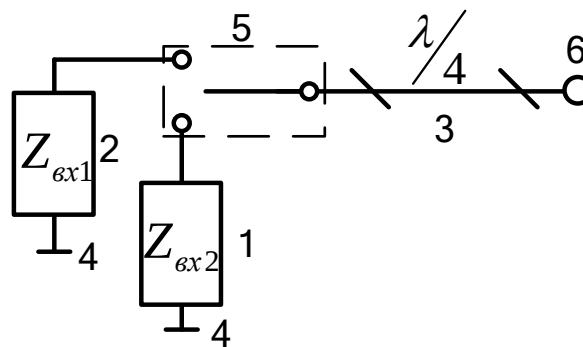


Рисунок 2.1 – Пасивний імітансний логічний елемент НІ

Пристрій працює наступним чином. Відрізок лінії передачі 3 можна розглядати як перетворювач опору, вихідний опір $Z_{\text{вих}}$ якого залежить від вхідного опору $Z_{\text{вх}}$, і визначається виразом

$$Z_{\text{вих}} = -Z_0 \cdot \frac{Z_{\text{вх}} + j \cdot Z_0 \cdot \tan \beta}{Z_0 + j \cdot Z_{\text{вх}} \cdot \tan \beta}, \quad (2.1)$$

де Z_0 – хвильовий опір відрізка лінії передачі 3;

$\tan \beta = 2\pi l / \lambda$, l – довжина відрізка лінії передачі 3;

λ – довжина хвилі.

Якщо довжина відрізка лінії передачі $l = \lambda/4$, тоді вихідний опір буде визначатись за виразом

$$Z_{вих} = Z_0^2 / Z_{вх} \quad (2.2)$$

З даного виразу видно, що чвертьхвильовий відрізок лінії передачі 3 при підключенні до його входу через ключ 5 індуктивного іммітансного двополюсника 1 з позитивним іммітансом $Z_{вх1}$ (що відповідає логічному нулю) або ємнісного іммітансного двополюсника 2 з позитивним іммітансом $Z_{вх2}$ (що відповідає логічній одиниці) інвертує характер реактивності і на вихідній клемі 6 буде відповідно ємнісний іммітанс $Z_{вих1}$ (що відповідає логічній одиниці) або індуктивний іммітанс $Z_{вих2}$ (що відповідає логічному нулю), що подано в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Таблиця істинності іммітансного логічного елемента НІ

$Z_{вх}$	Логічний рівень	$Z_{вих}$	Логічний рівень
$Z_{вх1} = j\omega L$	0	$Z_{вих1} = \frac{Z_0^2}{j\omega L}$	1
$Z_{вх2} = \frac{1}{j\omega C}$	1	$Z_{вих2} = Z_0^2 j\omega C$	0
$Z'_{вх1} = -j\omega L$	0	$Z'_{вих1} = -\frac{Z_0^2}{j\omega L}$	1
$Z'_{вх2} = -\frac{1}{j\omega C}$	1	$Z'_{вих2} = -Z_0^2 j\omega C$	0

При підключенні до входу чвертьхвильового відрізка лінії передачі 3 через ключ 5 індуктивного іммітансного двополюсника 1 з від'ємним іммітансом $Z'_{вх1}$ (що відповідає логічному нулю) або ємнісного іммітансного двополюсника 2 з від'ємним іммітансом $Z'_{вх2}$ (що відповідає логічній одиниці) на вихідній клемі 6

буде відповідно від'ємний ємнісний імпеданс $Z'_{\text{вих}1}$ (що відповідає логічній одиниці) або від'ємний індуктивний імпеданс $Z'_{\text{вих}2}$ (що відповідає логічному нулю), що подано в табл. 2.1.

В табл. 2.1 позначено: L – індуктивність індуктивного імпедансного двополюсника 1; C – ємність ємнісного імпедансного двополюсника 2.

Отже, з таблиці видно, що представлені логічні рівні відповідають таблиці істинності імпедансного логічного елемента НІ.

Проведено моделювання імпедансного логічного елемента НІ. Для цього дослідимо залежність $Z_{\text{вих}} / Z_0$ в області від $-j1$ до $+j1$.

2.2 Принцип роботи логічного елемента АБО

В основу такого імпедансного LC логічного елемента “АБО”, внесено зміни характеру імпедансу на вході логічного елемента та використання відрізків лінії передачі, що призводить до підвищення надійності та економічності. На рисунку 2.2 представлено схему даного елемента.

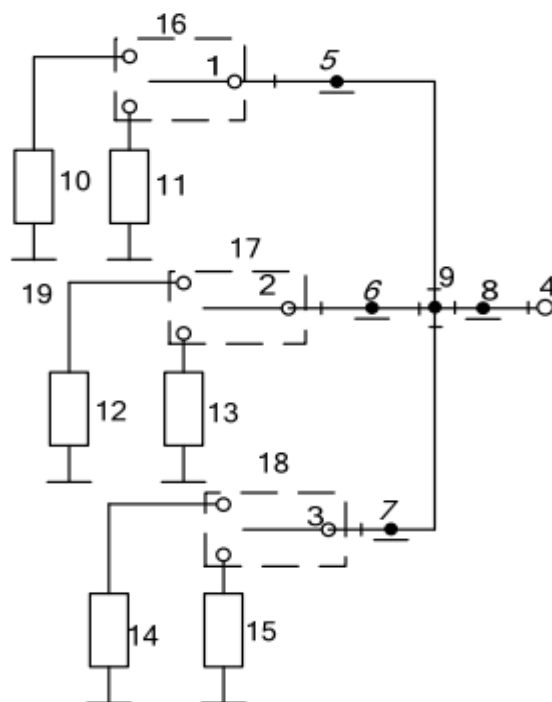


Рисунок 2.2 – Пасивний імпедансний LC логічний елемент “АБО”

В іммітансний LC логічний елемент “АБО”, який містить першу, другу, третю входні клеми, вихідну клему, спільний вузол зв’язку, загальну шину, введено перший, другий та третій ключі, з’єднані через перший, другий та третій індуктивні іммітансні двополюсники (з іммітансом jB_L) або перший, другий та третій ємнісні іммітансні двополюсники (з іммітансом jB_C) з загальною шиною, а також чотири відрізки ліній передачі, з’єднані з першою, другою та третьою входніми клемами та з вихідною клемою в спільному вузлі зв’язку, при цьому $B_L > B_C$, а довжина відрізків ліній передачі, які з’єднані з першою, другою та третьою входніми клемами та з спільним вузлом зв’язку, менша чверті робочої довжини хвилі в лініях передачі, їх хвильовий опір сталий і дорівнює Z_0 , а довжина відрізка лінії передачі, що з’єднує вихідну клему з спільним вузлом зв’язку, дорівнює чверті довжини хвилі та має хвильовий опір $Z_0 / \sqrt{3}$.

Пристрій містить першу 1, другу 2, третю 3 входні клеми, вихідну клему 4, перший 16, другий 17 та третій 18 ключі, з’єднані через перший 10, другий 12 та третій 14 індуктивні іммітансні двополюсники або перший 11, другий 13 та 15 ємнісні іммітансні двополюсники з загальною шиною 19, а також чотири відрізки ліній передачі 5, 6, 7, 8 з’єднані з першою 1, другою 2, третьою 3 входніми клемами та з вихідною клемою 4 в спільному вузлі зв’язку 9, при цьому довжина відрізків ліній передачі 5, 6, 7, що з’єднують першу 1, другу 2 та третю 3 входні клеми з спільним вузлом зв’язку 9, менша чверті робочої довжини хвилі електромагнітного сигналу в лініях передачі, їх хвильовий опір сталий і дорівнює Z_0 , а довжина відрізка лінії передачі 8, що з’єднує вихідну клему 4 з спільним вузлом зв’язку 9, дорівнює чверті довжини хвилі та має хвильовий опір $Z_0 / \sqrt{3}$.

Пристрій працює наступним чином. До першої 1, другої 2 або третьої 3 входних клем іммітансного LC логічного елемента “АБО” можуть підключатися через перший 16, другий 17 та третій 18 ключі ємнісні іммітанси 11, 13, 15 з провідністю jB_C або індуктивні іммітанси 10, 12, 14 з провідністю $-jB_L$, які з’єднані з загальною шиною 19.

При використанні відрізків лінії передачі 5, 6, 7 з хвильовим опором Z_0 (зазвичай 50 Ом) в точці їх з'єднання, тобто в спільному вузлі зв'язку 9, відбувається дворазове зменшення вихідного опору іммітансного логічного елементу “АБО”, що призводить до неузгодженості його виходу з подальшими компонентами. Для виключення такої неузгодженості використовується чвертьхвильовий трансформатор, у вигляді відрізка лінії передачі 8, довжина якого дорівнює чверті довжини хвилі та має хвильовий опір $Z_0/\sqrt{3}$.

Співвідношення між вихідною провідністю $Y'_{\text{вих}}$ відрізка довгої лінії і провідністю, що підключається до його входу Y_r має вигляд

$$Y'_{\text{вих}} = \frac{Y_r + j \cdot \operatorname{tg} \Theta}{1 + j \cdot Y_r \cdot \operatorname{tg} \Theta}, \quad (2.3)$$

де $Y'_{\text{вих}} = Z_0/Z_{\text{вих}}$, $\Theta = 2\pi l/\lambda$,

l – довжина відрізка довгої лінії,

λ – довжина хвилі.

Якщо іммітанс кола, що підключається до входу лінії передачі, є чисто реактивним (або має високу добротність $Q > 100$), можна вважати $Y_r = j \cdot B_r$.

Тоді

$$\operatorname{Im} Y'_{\text{вих}} = \frac{B_r + \operatorname{tg} \Theta}{1 + (B_r \cdot \operatorname{tg} \Theta)^2}. \quad (2.4)$$

З (2.4) випливає, що довжина відрізків лінії передачі 5, 6, 7 повинна бути менша $\lambda/4$. Приймаючи, що логічному нулю відповідає ємнісний іммітанс jB_C , а логічній одиниці – індуктивний іммітанс $-jB_L$, отримуємо таблицю істинності, подану в табл. 2.2.

Таблиця 2.2 – Таблиця істинності для іммітансного логічного елемента АБО

X_1	X_2	Y
B_C 0	B_C 0	B_C 0
B_L 1	B_C 0	B_L 1
B_C 0	B_L 1	B_L 1
B_L 1	B_L 1	B_L 1

Отже, з таблиці 2.2 видно, що представлені логічні рівні відповідають таблиці істинності іммітансного логічного елемента “АБО” коли довжина відрізків ліній передачі 5, 6, 7 буде однаковою та менша чверті робочої довжини хвилі електромагнітного сигналу в лініях передачі, а також коли буде виконуватись умова $B_L > B_C$.

Проведемо моделювання іммітансного логічного елемента АБО. Дослідимо залежність $Z_{\text{вих}} / Z_{\text{вх}}$. Дослідження показали, що вплив ємнісного та реактивного імпедансів на вихідний перетворений іммітанс різний та залежить від коефіцієнту Θ . При $\Theta = 0$ спостерігається лінійна залежність. Коли $\Theta \neq 0$, спостерігається нелінійна залежність яка збільшується зі збільшенням Θ .

2.3 Імітансний RS-тригер

В основу такого імітансного RS-тригера, введено нові елементи та зв'язки і тому досягається можливість реалізації RS-тригера шляхом використання відрізків лінії передачі, що призводить до підвищення його надійності, енергетичної ефективності та економічності. На рисунку 2.3 представлено імітансний RS-тригер.

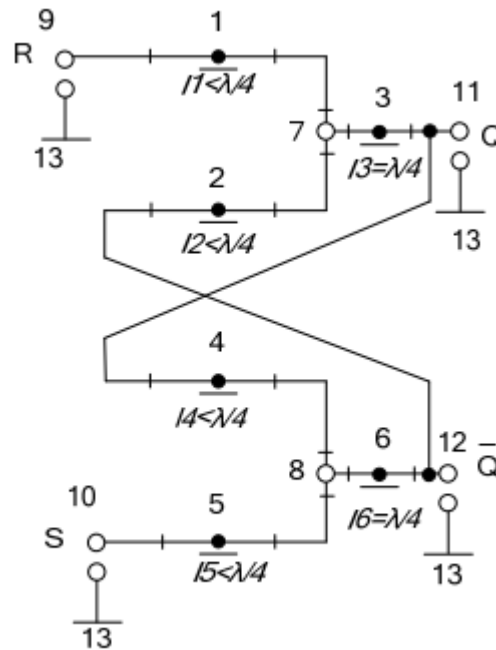


Рисунок 2.3 - Імітансний RS-тригер

В імітансний RS-тригер, який містить загальну шину, R та S входи RS-тригера, прямий та інверсний виходи RS-тригера, введено шість відрізків лінії передачі, при цьому перший, другий та третій відрізки лінії передачі з'єднані між собою в першому спільному вузлі, а третій відрізок лінії передачі, довжина якого дорівнює чверті робочої довжини хвилі в лініях передачі та має хвильовий опір $Z_0 / \sqrt{2}$, з'єднаний з прямим виходом RS-тригера, перший відрізок лінії передачі, довжина якого менша чверті робочої довжини хвилі, з'єднаний з R входом RS-тригера, другий відрізок лінії передачі, довжина якого менша чверті робочої довжини хвилі, з'єднаний з четвертим відрізком лінії передачі, довжина якого менша чверті робочої довжини хвилі, четвертий, п'ятий та шостий відрізки лінії передачі також з'єднані між собою в другому спільному вузлі, а шостий відрізок лінії передачі, довжина якого дорівнює чверті робочої довжини хвилі та має хвильовий опір $Z_0 / \sqrt{2}$, з'єднаний з інверсним виходом RS-тригера, п'ятий відрізок лінії передачі, довжина якого менша чверті робочої довжини хвилі, з'єднаний з S входом RS-тригера, R і S входи RS-тригера та прямий і інверсний виходи RS-тригера з'єднані з загальною шиною. Пристрій містить загальну шину 13, R та S входи RS-тригера 9 та 10, прямий 11 та інверсний

12 виходи RS-тригера, введено шість відрізків лінії передачі 1, 2, 3, 4, 5, 6, при цьому перший 1, другий 2 та третій 3 відрізки лінії передачі з'єднані між собою в першому спільному вузлі 7, а третій відрізок лінії передачі, довжина якого дорівнює чверті робочої довжини хвилі в лініях передачі та має хвильовий опір $Z_0 / \sqrt{2}$, з'єднаний з прямим 11 виходом RS-тригера, перший 1 відрізок лінії передачі, довжина якого менша чверті робочої довжини хвилі, з'єднаний з R входом 9 RS-тригера, другий 2 відрізок лінії передачі, довжина якого менша чверті робочої довжини хвилі, з'єднаний з четвертим 4 відрізком лінії передачі, довжина якого менша чверті робочої довжини хвилі, четвертий 4, п'ятий 5 та шостий 6 відрізки лінії передачі також з'єднані між собою в другому спільному вузлі 8, а шостий 6 відрізок лінії передачі, довжина якого дорівнює чверті робочої довжини хвилі та має хвильовий опір $Z_0 / \sqrt{2}$, з'єднаний з інверсним 12 виходом RS-тригера, п'ятий 5 відрізок лінії передачі, довжина якого менша чверті робочої довжини хвилі, з'єднаний з S входом 10 RS-тригера, R і S входи 9 і 10 RS-тригера та прямий 11 і інверсний 12 виходи RS-тригера з'єднані з загальною шиною 13.

Пристрій працює наступним чином. Перший 1, другий 2 та третій 3 відрізки лінії передачі, з'єднані між собою в першому спільному вузлі 7, утворюють перший логічний елемент АБО-НІ. Четвертий 4, п'ятий 5 та шостий 6 відрізки лінії передачі, з'єднані між собою в другому спільному вузлі 8, утворюють другий логічний елемент АБО-НІ. Один з входів кожного логічного елемента АБО-НІ є R 9 або S 10 входом RS-тригера, що з'єднані з загальною шиною 13. Інший вхід одного логічного елемента АБО-НІ з'єднаний з аналогічним входом іншого логічного елемента АБО-НІ. Виходи логічних елементів АБО-НІ є першим 11 та другим 12 виходами RS-тригера, що з'єднані з загальною шиною 13.

У нульовий момент часу, коли ні на один вхід (R 9 і S 10) не подана логічна одиниця, прямий вихід 11 (Q) дорівнює 0, відповідно, інверсний 12 дорівнює 1. Якщо на S вхід 9 подати напругу, рівень якої відповідатиме одиниці, то прямий вихід 11 стрибкоподібно змінить своє значення на 1, а інверсний 10 вхід – на 0. Відбудеться запис інформації. Якщо забрати одиницю з S входу 9,

тоді виходи 11 та 12 не змінять свій стан, залишаться такими, якими були – проявлення властивості пам'яті. При подачі одиничного сигналу на S вхід 10 (вхід скидання), тобто $R = 1$, інверсний вихід 12 різко стане рівним 1, а прямий вихід 11 стане рівним 0. Не можна одночасно подавати одиничні сигнали на обидва входи 9 і 10, нормальна робота RS-тригера в цьому випадку неможлива.

В запропонованому імітансному RS-тригері в якості логічної змінної використовується характер імітанса електричного кола на змінному струмі. До R входу 9 або S входу 10 з входів RS-тригера можуть підключатися ємнісні імітанси з провідністю jBC або індуктивні імітанси з провідністю – jBL .

При використанні відрізків лінії передачі 1, 2, 4, 5 з хвильовим опором Z_0 (зазвичай 50 Ом) в точці їх з'єднання, тобто в спільному вузлі зв'язку 7 або 8, відбувається дворазове зменшення вихідного опору імітансного логічного елементу АБО, що призводить до неузгодженості його виходу з подальшими компонентами. Для виключення такої неузгодженості використовується чвертьхвильовий трансформатор, у вигляді відрізка лінії передачі 3 або 5, довжина якого дорівнює чверті довжини хвилі та має хвильовий опір $Z_0 / \sqrt{2}$. Довжина відрізків лінії передачі 1, 2, 4, 5 повинна бути менша $\lambda / 4$.

Приймаючи, що логічному нулю відповідає ємнісний імітанс jBC , а логічній одиниці – індуктивний імітанс – jBL , отримуємо таблицю істинності імітансного RS-тригера, подану в табл. 2.3. [13]

Таблиця 2.3 – Таблиця істинності для імітансного RS - тригера

<i>R</i>	<i>S</i>	<i>Q(t)</i>	<i>Q(t+1)</i>	<i>Пояснення</i>
<i>B_C</i> 0	<i>B_C</i> 0	<i>B_C</i> 0	<i>B_C</i> 0	Зберігання інформації
<i>B_C</i> 0	<i>B_C</i> 0	<i>B_L</i> 1	<i>B_L</i> 1	
<i>B_C</i> 0	<i>B_L</i> 1	<i>B_C</i> 0	<i>B_L</i> 1	Встановлення одиниці
<i>B_C</i> 0	<i>B_L</i> 1	<i>B_L</i> 1	<i>B_L</i> 1	
<i>B_L</i> 1	<i>B_C</i> 0	<i>B_C</i> 0	<i>B_C</i> 0	Встановлення нуля
<i>B_L</i> 1	<i>B_C</i> 0	<i>B_L</i> 1	<i>B_C</i> 0	
<i>B_L</i> 1	<i>B_L</i> 1	<i>B_C</i> 0	*	Заборонена комбінація
<i>B_L</i> 1	<i>B_L</i> 1	<i>B_L</i> 1	*	

Отже, з таблиці видно, що представлені логічні рівні відповідають таблиці істинності імітансного RS-тригера, за умови, що довжина відрізків ліній передачі 1, 2, 4, 5 буде однаковою та менша чверті робочої довжини хвилі електромагнітного сигналу в лініях передачі, а довжина відрізків лінії передачі 3 і 6 повинна дорівнювати чверті довжини хвилі та мати хвильовий опір $Z_0 / \sqrt{3}$, а також коли буде виконуватись умова $B_L > B_C$.

3 РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЙ ІМІТАНСНИХ ЛОГІЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ

3.1 Розробка конструкції імітансного логічного елемента НІ

Мікрополоскова лінія є неоднорідною лінією передачі, оскільки не всі силові лінії поля між полосковим провідником і заземленою пластиною проходять через підкладку. Тому хвиля, що розповсюджується уздовж мікрополоскового провідника, є не чистою Т-хвилею (є «квазі - Т-хвилею»). Ефективна діелектрична проникність ϵ_{ef} менше діелектричної проникності підкладки, так як вона враховує поле поза підкладкою. На відміну від несиметричної полоскової лінії з малим значенням діелектричної проникності підкладки, в МПЛ електромагнітне поле концентрується між мікрополоском і заземленою основою (екраном), тому втрати на випромінювання зменшуються [14]. Конфігурація мікрополоскової лінії зображена на рисунку 3.1.

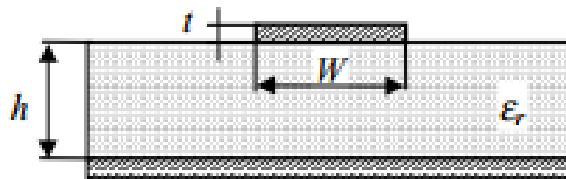


Рисунок 3.1 – Конфігурація мікрополоскової лінії

Користуємося вхідними даними з індивідуального завдання. Хвильовий опір полоска $Z_0 = 50$ Ом, довжина полоска $l = \lambda_\epsilon / 4$, частота коливань $f = 1$ ГГц. Знайдемо довжину хвилі в діелектрику (ситал марки СТ-32-1) за наступною формулою [14]

$$\lambda_\epsilon = \lambda / \sqrt{\epsilon}, \quad (3.1)$$

де λ – довжина хвилі ЕМ коливання заданої частоти;

ϵ - діелектрична проникність матеріалу ($\epsilon = 9,7$).

Знайдемо довжину хвилі для заданої частоти за формулою

$$\lambda = \frac{v}{f} \quad (3.2)$$

Підставивши значення у 3.2 отримаємо

$$\lambda = \frac{299792458}{10^9} = 0,299792 \text{ м}$$

Підставивши значення у 3.1 отримаємо

$$\lambda_{\varepsilon} = \frac{0,299792}{\sqrt{9,7}} = 0,09626 \text{ м}$$

Отримавши дані результати можемо обрахувати значення довжини лінії.

$$l = \frac{0,09626}{4} = 0,024 \text{ м}$$

Отже довжина відрізка лінії передачі елемента НІ становить 0,024 м.

Розрахуємо ширину відрізка за формулою

$$W/h = \frac{8 \exp(A)}{\exp(2A) - 2}, \quad (3.3)$$

де
$$A = \frac{Z_0}{60} \left(\frac{\varepsilon_r + 1}{2} \right)^{1/2} + \frac{\varepsilon_r - 1}{\varepsilon_r + 1} \left(0,23 + \frac{0,11}{\varepsilon_r} \right).$$

Підставивши дані отримуємо, що $W/h = 0,985$.

Тоді ширина відрізка може дорівнювати 1 мм, а товщина підкладки 1,015 мм. На рисунку 3.2 зображено топологію пасивного імітансного логічного елемента НІ.

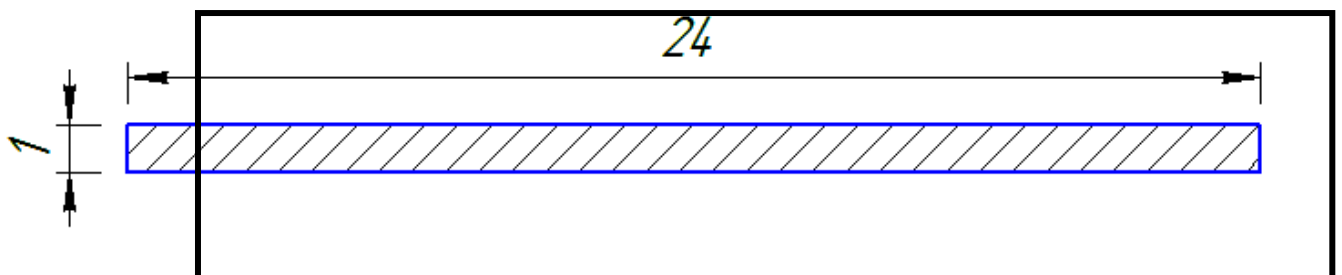


Рисунок 3.2 – Топологія для пасивного імітансного елемента НІ

Складальне креслення логічного елемента НІ у корпусі. На рисунку 3.3 представлено корпус для логічного елемента НІ [15].

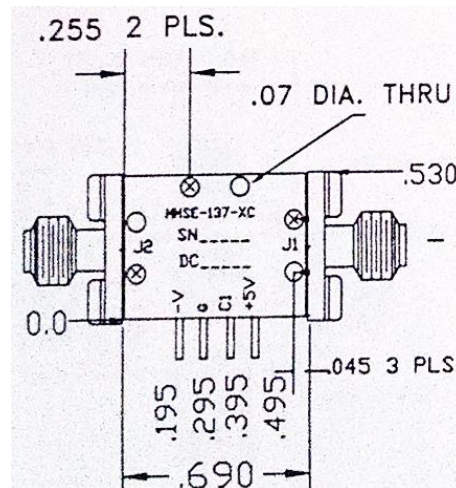


Рисунок 3.3 – Корпус логічного елемента HI

3.2 Розробка конструкції імітансного логічного елемента АБО

Для розрахунку ширини та довжини відрізків ліній передач імітансного логічного елемента АБО використаємо дані з індивідуального завдання та дані отримані в результаті розрахунків в розділі 3.1. Довжина хвилі $\lambda_\epsilon = 0,09626$ м, хвильовий опір ліній на вході $Z_1 = 50$ Ом, хвильовий опір лінії на виході $Z_2 = 50/\sqrt{3} = 28,87$ Ом, довжина ліній на вході $l_1 \approx 0,1\lambda_\epsilon \approx 9,626$ мм, довжина лінії на виході $l_2 = \lambda/4 = 24$ мм.

Отже довжина трьох відрізків лінії передачі елемента АБО становить 9,626 мм та одного 24 мм.

Розрахуємо ширину відрізків за формулою 3.3 та отримуємо, що $W/h = 0,985$.

Тоді ширина відрізків може дорівнювати 1 мм, а товщина підкладки 1,015 мм.

Розрахуємо ширину відрізка $\lambda_\epsilon/4$, враховуючи хвильовий опір 28,87 Ом.

Використовуємо формули, що наведені вище та отримуємо, що $W/h = 2,529$.

Тоді ширина відрізка буде дорівнювати 2,567 мм. На рисунку 3.4 представлено топологію для імітансного логічного елемента АБО.

3.3 Розробка конструкції імітансного RS-тригера

Для розрахунку ширини та довжини відрізків ліній передач імітансного RS-тригера використаємо дані з індивідуального завдання та дані отримані в результаті розрахунків в розділі 3.1. Довжина хвилі $\lambda_\epsilon = 0,09626$ м, хвильовий опір ліній на вході $Z_1 = 50$ Ом, хвильовий опір лінії на виході $Z_2 = 50/\sqrt{2} = 35,36$ Ом, довжина ліній на вході $l_1 \approx 0,1\lambda_\epsilon \approx 9,626$ мм, довжина лінії на виході $l_2 = \lambda/4 = 24$ мм.

Отже довжина чотирьох відрізків лінії передачі елемента АБО становить 9,626 мм та двох 24 мм.

Розрахуємо ширину відрізків за формулою 3.3 та отримуємо, що $W/h = 0,985$.

Тоді ширина відрізків може дорівнювати 1 мм, а товщина підкладки 1,015 мм.

Розрахуємо ширину відрізків $\lambda_\epsilon/4$, враховуючи хвильовий опір 35,36 Ом.

Використовуємо формули, що наведені вище та отримуємо, що $W/h = 1,845$.

Тоді ширина відрізка буде дорівнювати 1,87 мм. На рисунку 3.5 представлено топологію для імітансного RS-тригера.

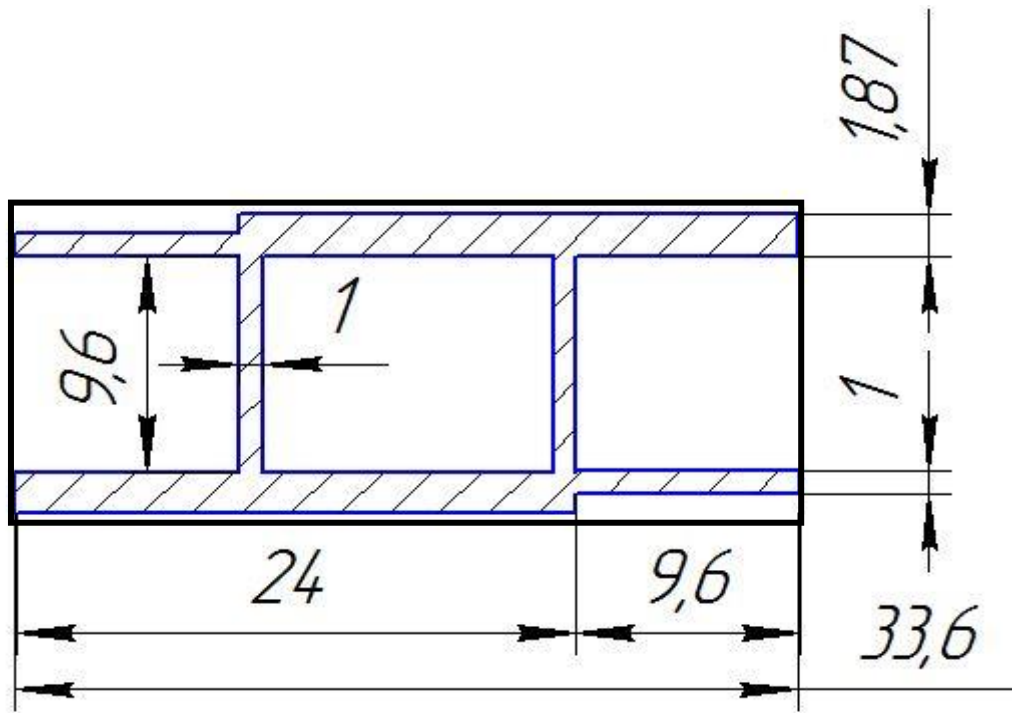


Рисунок 3.5 – Топологія імітансного RS-тригера

На рисунку 3.6 наведено обраний корпус для імітансного RS-тригера. Даний корпус має бути дооснащений ще двома роз'ємами.

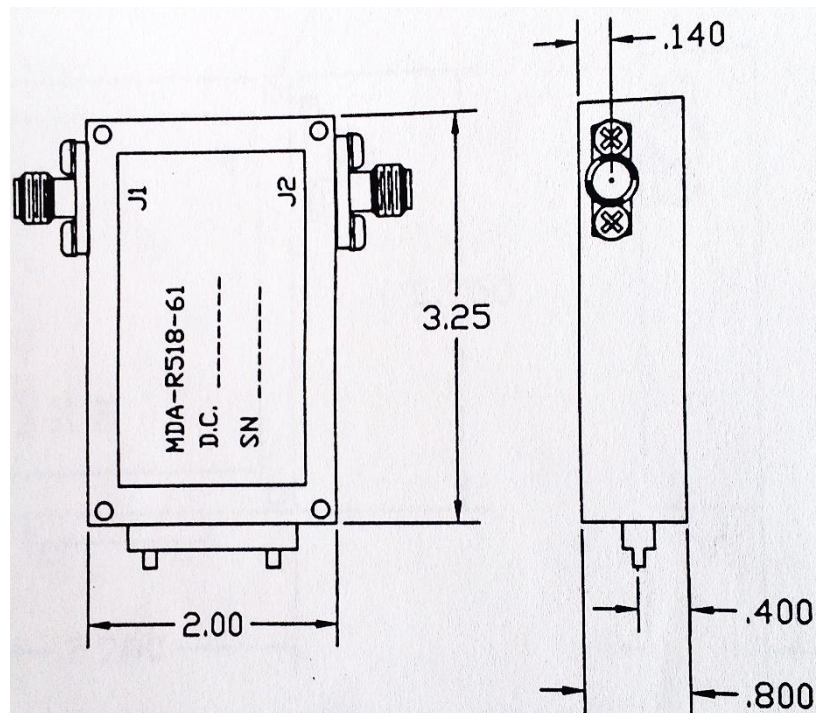


Рисунок 3.6 – Корпус імітансного RS-тригера

Складальне креслення імітансного RS-тригера у корпусі знаходиться у додатку Д.

Отже, в даному розділі було проведено розрахунок параметрів полоскових ліній передачі, розроблено топології для пасивних імітансних елементів НІ, АБО, RS-тригера, обрано корпуси та наведено складальне креслення даних елементів.

4 НАДІЙНІСТЬ ТА ТЕПЛОВЕ МОДЕЛЮВАННЯ

4.1 Розрахунок надійності пасивних імітансних елементів НІ, АБО, RS-тригер

Надійність визначається часом напрацювання на відмову, який обчислюється за формулою [16]

$$T = \frac{1}{\sum \lambda_{\Sigma}}, \quad (4.1)$$

де λ_{Σ} – сумарна інтенсивність відмов компонентів та елементів мікросхеми.

В даному випадку задача набагато полегшується, так як пасивні імітансні логічні елементи мають лише полоскові лінії передач, що забезпечує більшу надійність та відмовостійкість у порівнянні з транзисторними структурами та іншими типами логічних елементів.

Сумарна інтенсивність відмов для пасивних імітансних логічних елементів розраховується за формулою

$$\lambda_{\Sigma} = \left[N_{\text{дп}} \cdot \lambda_{0\text{д}} + \left(\sum_{i=1}^k N_{\text{вив імс}} + 2N_{\text{вк}} \right) \cdot \lambda_{0\text{з'єдн}} + \lambda_{0\text{п}} + \lambda_{0\text{к}} \right] \cdot K_i, \quad (4.2)$$

де $N_{\text{дп}}$ – кількість друкованих провідників;

$\lambda_{0\text{д}}$ – інтенсивність відмов для друкованих провідників;

$N_{\text{вив імс}}$ – кількість виводів схеми;

$N_{\text{вк}}$ – кількість виводів корпусу;

$\lambda_{0\text{з'єдн}}$ – інтенсивність відмов з'єднання;

$\lambda_{0\text{п}}$ – інтенсивність відмов підкладки;

$\lambda_{0\text{к}}$ – інтенсивність відмов корпусу;

K_i – коефіцієнт, що враховує вплив навколишнього середовища

$$K_i = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3, \quad (4.3)$$

де K_1 – враховує дію механічних факторів;

K_2 – враховує дію вологості;

K_3 – враховує атмосферний тиск.

Значення необхідних нам даних для розрахунку надійності будуть наступними: $N_{\text{дп}} = 1$ (для елемента НІ), 4 (для елемента АБО), 6 (для елемента RS-тригер); $\lambda_{0\text{д}} = 1 \cdot 10^{-9} \text{ год}^{-1}$; $N_{\text{вив імс}} = 2$ (для елемента НІ), 4 (для елемента АБО), 4 (для елемента RS-тригер); $N_{\text{вк}} = 2$ (для елемента НІ), 4 (для елемента АБО), 4 (для елемента RS-тригер); $\lambda_{0\text{з'єдн}} = 0,1 \cdot 10^{-8} \text{ год}^{-1}$; $\lambda_{0\text{п}} = 5 \cdot 10^{-10} \text{ год}^{-1}$; $\lambda_{0\text{к}} = 1 \text{ год}^{-1}$; $K_1 = 1,04$ (умови експлуатації стаціонарні); $K_2 = 1$ (вологість 60-70%, температура 20-40°C); $K_3 = 1$ (висота 0-1 км).

Підставивши чисельні дані у 4.2 та 4.3 отримаємо для елемента НІ

$$\lambda_{\Sigma} = 7,8 \cdot 10^{-9} \text{ (год}^{-1}\text{)}$$

Отже надійність для пасивного імітансного елемента НІ буде дорівнювати

$$T = \frac{1}{7,8 \cdot 10^{-9}} = 1,282 \cdot 10^8 \text{ (год)}.$$

Тепер обрахуємо надійність для елемента АБО. Підставивши чисельні дані у 4.1, 4.2, та 4.3 отримаємо наступний результат

$$T = 5,828 \cdot 10^7 \text{ (год)}.$$

Надійність для елемента RS-тригер

$$T = 5,198 \cdot 10^7 \text{ (год)}.$$

Отже в даному підрозділі обраховано надійність пасивних імітансних елементів НІ, АБО, RS-тригер та показано, що їх надійність у порівнянні з транзисторними структурами та іншими типами логічних елементів набагато вище.

4.2 Теплове моделювання пасивних імітансних елементів НІ, АБО, RS-тригер

Для теплового розрахунку скористаємось програмою Thermal Desktop 4.8. Програма Thermal Desktop 4.8 є пакетною програмою та складається з набору де-кількох програм, які можна використовувати як комплексно, так і поодиноці.

SINDA/FLUINT широко використовувалася для теплового моделювання електрон-ної апаратури в аерокосмічній промисловості протягом минулих двох десятиліть. Програма FLUINT розширює можливості даного продукту, додаючи їй різні функції для моделювання теплових процесів. Програма FloCAD® розширює можливості SINDA/FLUINT додаючи методи 3D CAD для моделювання повітряного охолодження і теплової поведінки електронних замикань, друкарських плат ПК, тепла, що виділяється і електронних стендів. Програма FLOCAD допомагає більш точно будувати та встановлювати друкарські плати різного типу та складові елементи даних плат.

Даний набір програм забезпечує унікальну здатність виконувати термогідравлічне моделювання, що показує розповсюдження тепла як у твердих тілах так і в рідинах. У багатьох випадках дані програми забезпечують значну економію часу та коштів на проведення аналізу процесів ніж аналіз CFD. Зручний інтерфейс забезпечує користувачу високу швидкість моделювання потрібних блоків та гнучкість у підборі параметрів елементів, а також оптимізацію блоків за різними параметрами та інші режими, які мають відношення до надійності елементів, які розробляються [16].

Отже виконаємо моделювання для імітансного елемента НІ. На рисунку 4.1 зображено імітансний елемент НІ у об'ємному вигляді.

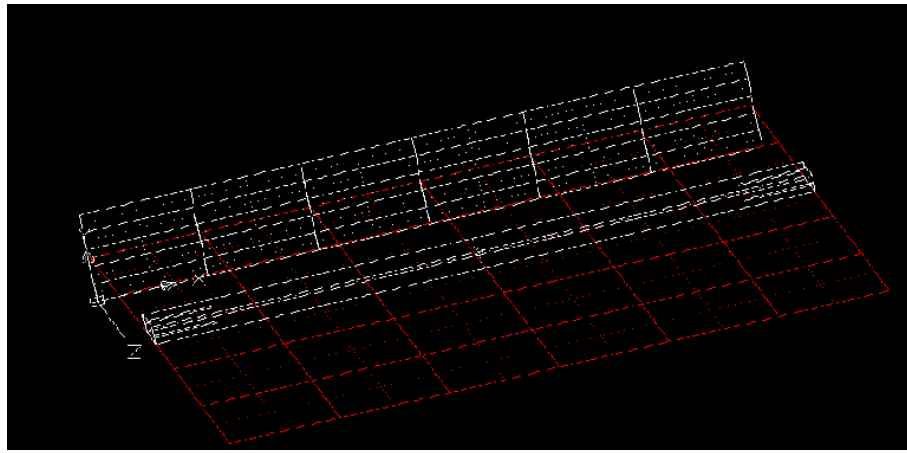


Рисунок 4.1 - Імітансний елемент НІ у об'ємному вигляді

Запустимо моделювання та отримаємо наступний результат. На рисунку 4.2 зображено розподілення температур елемента НІ.

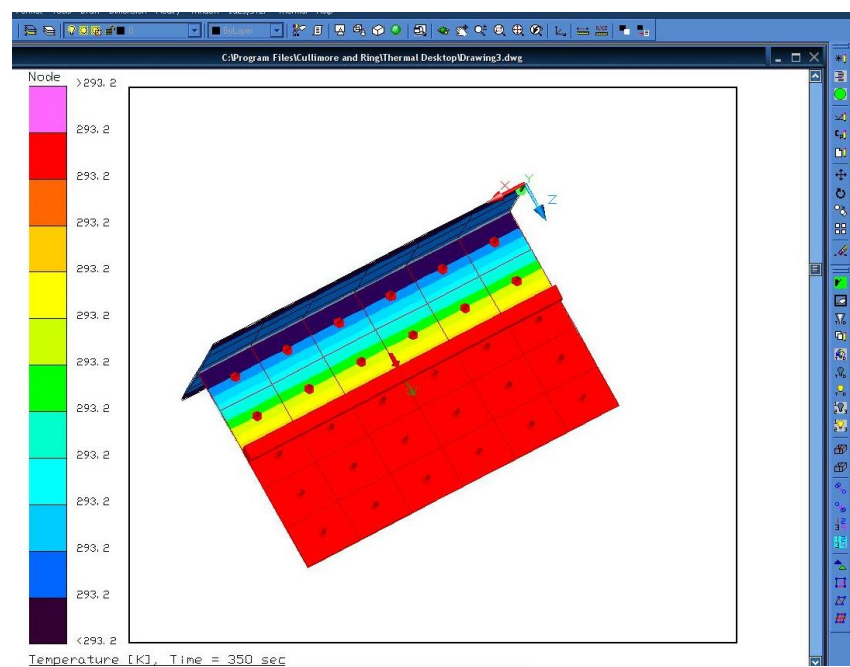


Рисунок 4.2 – Розподілення температур по конструкції елемента НІ

Моделювання для імітансного елемента АБО. На рисунку 4.3 зображено імітансний елемент АБО у об'ємному вигляді [16].

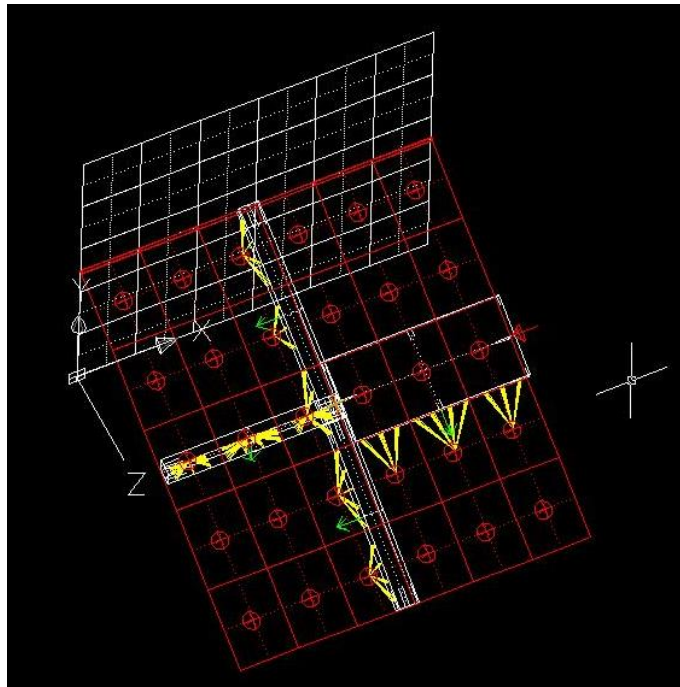


Рисунок 4.3 – Зображено імітансний елемент АБО у об'ємному вигляді.

Запустимо моделювання та отримаємо наступний результат. На рисунку 4.4 зображено розподілення температур елемента АБО.

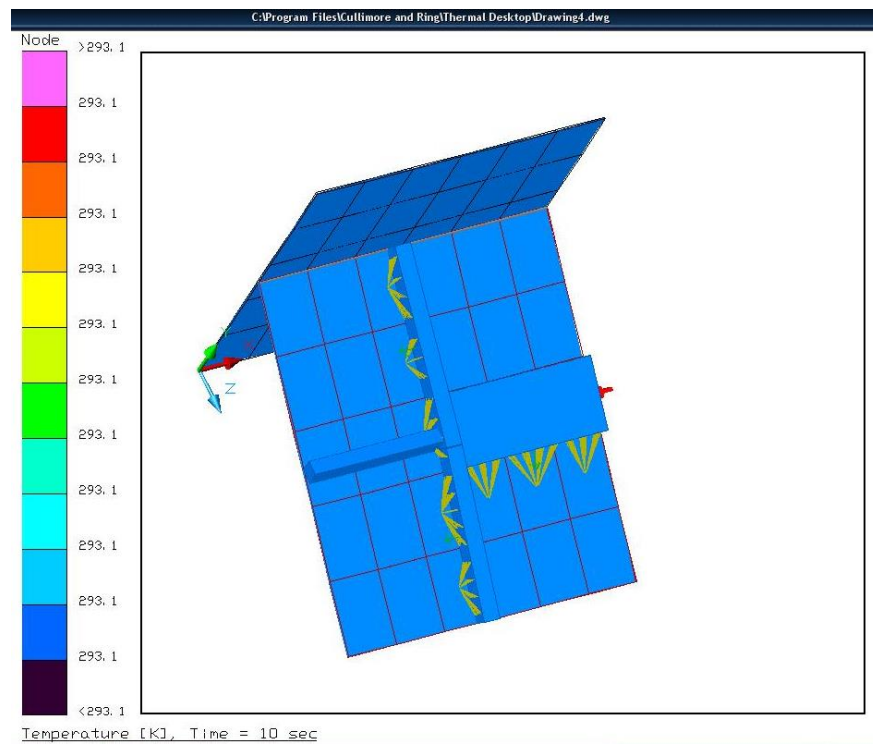


Рисунок 4.4 – Розподілення температур по конструкції елемента АБО

Моделювання для імітансного елемента RS-тригер. На рисунку 4.5 зображено імітансний елемент RS-тригер у об'ємному вигляді.

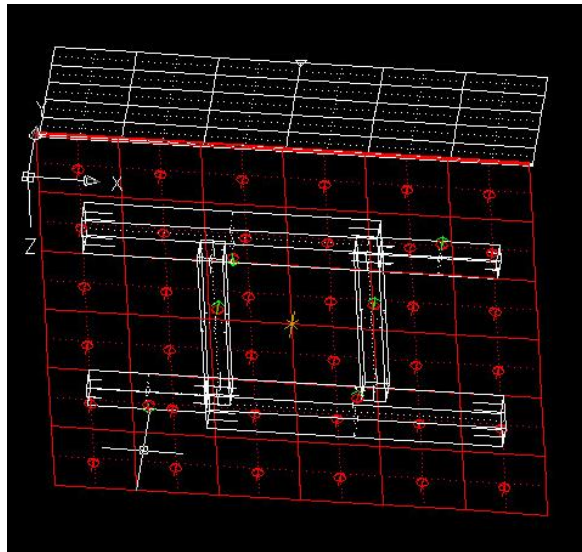


Рисунок 4.5 – Зображено імітансний елемент RS-тригер у об'ємному вигляді

Запустимо моделювання та отримаємо наступний результат. На рисунку 4.6 зображено розподілення температур елемента RS-тригер.

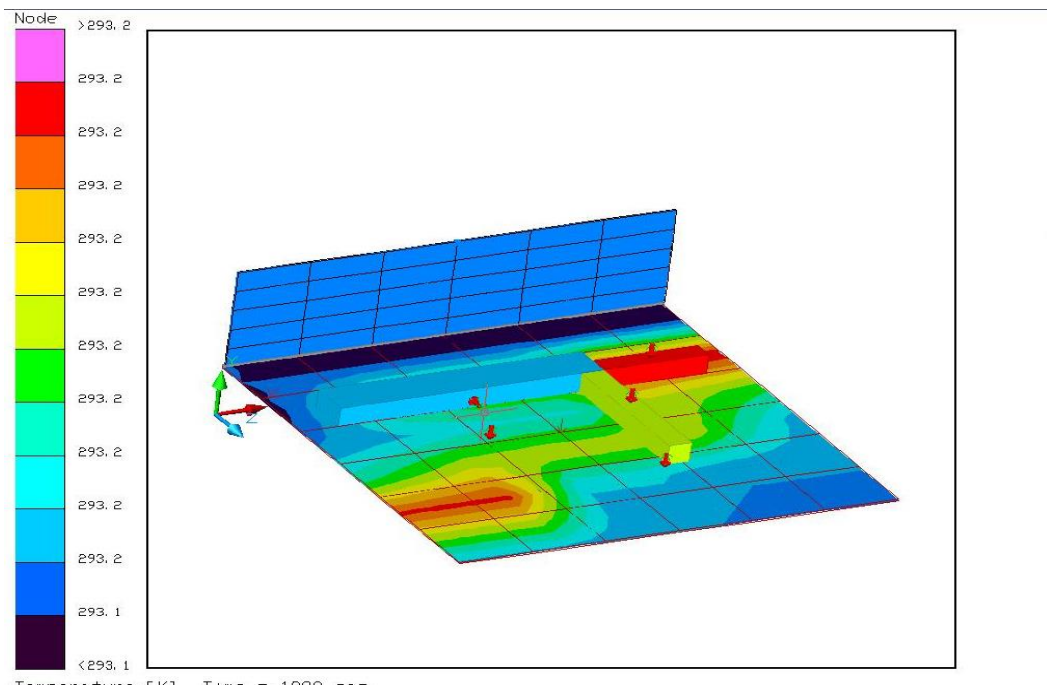


Рисунок 4.6 - Розподілення температур по конструкції елемента RS-тригер

Отже з результатів моделювання можна побачити, що область нагріву знаходиться безпосередньо на полоскових лініях передачі, при чому сам корпус логічних елементів не схильний до нагріву та залишається в межах температури середовища в якому знаходиться елемент.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ

Стале удосконалення та розвиток промисловості, новітні технології — усе це приводить до поступового розвитку країни. Зараз виникає потреба у вдосконаленні умов праці в Україні, зменшенні ризиків травматизму на виробництві, покращенні управління та контролю за дотриманням законодавства про працю. Це особливо важливо, оскільки покращення умов праці напряму впливає на здоров'я працівників, їхню продуктивність та загальний розвиток суспільства.

Небезпечні та шкідливі виробничі фактори [17] мали вплив на працівника під час дослідження мікрохвильових пасивних логічних елементів на основі мікросмужкових ліній передачі наступні:

- підвищена чи понижена температура повітря робочої зони;
- недостатність природного освітлення;
- підвищений рівень шуму на робочому місці;
- відсутність чи нестача природного світла;
- фізичні перевантаження (статичні);
- нервово - психічні перевантаження (перенапруга аналізаторів, емоційні навантаження).

Відповідно до визначених факторів формуємо рекомендації щодо безпечних умов праці під час виконання роботи.

5.1 Технічні рішення щодо безпечного виконання роботи

При організації робочого місця під час дослідження мікрохвильових пасивних логічних елементів на основі мікросмужкових ліній повинні бути дотримані наступні основні умови:

- оптимальне розміщення обладнання, що входить до складу робочого місця;
- достатній робочий простір, що дозволяє здійснювати всі необхідні рухи і переміщення;

- необхідно природне і штучне освітлення для виконання поставлених завдань;
- рівень акустичного шуму не повинен перевищувати допустимого значення [18].

Площа приміщень, у яких розміщуються ПК, визначається відповідно до діючих нормативних документів з розрахунку на одне робоче місце, обладнане ПК: площа - не менш $6,0 \text{ м}^2$, об'єм – не менш $20,0 \text{ м}^3$, з урахуванням максимальної кількості осіб, що одночасно працюють у зміні [19].

При проектуванні письмового столу варто враховувати наступне:

- висота столу повинна бути вибрана з урахуванням можливості сидіти вільно, у зручній позі, при необхідності спираючись на підлокітники;
- нижня частина столу повинна бути сконструйована так, щоб проєктувальник міг зручно сидіти, не був змушений підтискати ноги;
- поверхня столу повинна мати властивості, що виключають появу відблисків у полі зору працівника;
- конструкція столу повинна передбачати наявність висувних ящиків (не менше 3 для зберігання документації, канцелярського приладдя, особистих речей).

Параметри робочого місця вибираються відповідно до антропометричними характеристиками. При роботі в положенні сидячи рекомендуються такі параметри робочого простору:

- ширина не менше 700 мм;
- глибина не менше 400 мм;
- висота робочої поверхні столу над статтю 700-750 мм.

Оптимальними розмірами столу є:

- висота 710 мм;
- довжина столу 1300 мм;
- ширина столу 650 мм.

Під робочою поверхнею повинно бути передбачено простір для ніг:

- висота не менше 600 мм;
- ширина не менше 500 мм;
- глибина не менше 400 мм.

Необхідно передбачати при проектуванні можливість різного розміщення документів: збоку від ПК, між монітором і клавіатурою і т.п. Крім того, у випадках, коли ПК має низьку якість зображення, наприклад помітні мигтіння, відстань від очей до екрану роблять більше (біля 700мм), ніж відстань від ока до документа (300-450мм). Взагалі при високій якості зображення на ПК відстань від очей користувача до екрану, документа і клавіатури може бути рівним.

Створення сприятливих умов праці і правильне естетичне оформлення робочих місць на виробництві має велике значення як для полегшення праці, так і для підвищення його привабливості, позитивно впливає на продуктивність праці. Фарбування приміщень і меблів повинна сприяти створенню сприятливих умов для зорового сприйняття, гарного настрою. У службових приміщеннях, у яких виконується одноманітна розумова робота, що потребує значної нервової напруги і великого зосередження, фарбування повинна бути спокійних тонів - малонасичених відтінків холодного зеленого або блакитного кольорів.

Нехтування елементарними правилами організації робочого місця оператора ПК призводить до значної напруги зорового аналізатора та появу скарг на незадоволеність роботою, головного болю, дратівливості, порушення сну, втомлюваності та больового відчуття в області поясниці, ший, рук, порушенні тону судин, дистонії.

В приміщенні, де виконувалося дослідження мікрохвильових пасивних логічних елементів на основі мікросмужкових ліній використовується чотири провідна трифазна електромережа з заземленим нульовим проводом. Величина напруги цієї мережі становить 380 х 220В (фазна напруга (фаза – «0») – 220В, а міжфазна лінійна (фаза – фаза) – 380В).

Категорія умов з небезпеки електротравматизму – без підвищеної небезпеки, оскільки чинники підвищеної небезпеки та особливої небезпеки відсутні [20].

Захисні заходи, які використовують в електроустановках умовно можна поділити на дві групи: ті, що забезпечують безпеку при нормальному режимі роботи електроустановок і ті, що забезпечують безпеку при аварійному режимі роботи.

Для запобігання електротравмам у приміщенні здійснюються:

- 1) ізоляція нормально струмоведучих елементів електроустаткування відповідно з вимогами нормативів;
- 2) захисне заземлення із використанням природних заземлювачів;
- 3) систематичне проведення інструктажу з електробезпека;
- 4) суворе дотримання правил електробезпеки на робочому місці.

Обслуговування, ремонт і налагодження ПК, вузлів і блоків ПК повинні виконуватися в окремому приміщенні (майстерні). Підлога всієї зони обслуговування, ремонту й налагодження ПК, вузлів і блоків ПК повинна бути покрита діелектричними килимками, строк використання яких після їхнього випробування на електричну міцність не минув, або ізолюючими підстилками (шириною не менш 0,75-0,8м) для ніг.

5.2 Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії

5.2.1 Мікроклімат

Мікроклімат виробничих приміщень – це клімат внутрішнього середовища цих приміщень, який визначається діючими організм людини поєднаннями температури, вологості і швидкості руху повітря, а також температури навколишніх поверхонь.

Метеорологічні умови робочої середовища (мікроклімат) впливають на процес теплообміну і характер роботи. Тривалий вплив на людину несприятливих метеорологічних умов різко погіршує його самопочуття, знижує продуктивність праці і призводить до захворювань.

Висока температура повітря сприяє швидкій стомлюваності працюючого, може призвести до перегрівання організму, теплового удару. Низька темпе-

ратура повітря може викликати місцеве або загальне охолодження організму, може стати причиною простудного захворювання або обмороження.

За енерговитратами робота дослідника мікрохвильових пасивних логічних елементів на основі мікросмужкових ліній, згідно Гігієнічної класифікація праці [21] відноситься до категорії I б. Нормовані значення параметрів мікроклімату для цієї категорії наведені в табл. 5.2.1

Таблиця 5.2.1 - Нормовані параметри мікроклімату в робочій зоні з категорією робіт I б.

Період року	Допустимі		
	t, °C	W, %	V, м/с
Теплий	22-28	40-60	0,1-0,3
Холодний	20-24	75	0,2

Для забезпечення допустимого значення параметрів необхідно надати можливість індивідуального регулювання роздачі повітря в приміщеннях шляхом встановлення кондиціонерів. Крім того, в приміщенні встановлена загальна система опалення та систематично здійснюється вологе прибирання.

5.2.2 Склад повітря робочої зони

У виробництві природні (фонові) параметри повітря додатково забруднюються викидами різних технологічних процесів (в основному при спалюванні палива, термічній і механічній обробці матеріалів, хімічних процесах). Запиленість повітря не повинна перевищувати вимог, викладених у ДСН 3.3.6.042-99 [22]. Джерелами запиленості повітря в приміщенні є одяг людей і пил, що проникає з вулиці. ГДК шкідливих речовин, які знаходяться в приміщенні, наведені в таблиці 5.2.2.

В процесі роботи ПК змінюється концентрація іонів у повітрі робочої зони. Допустимі рівні іонізації повітря наведені в таблиці 5.2.3.

Таблиця 5.2.2 – ГДК шкідливих речовин у повітрі

Назва речовини	ГДК, мг/м ³	Середньо добова	Клас небезпечності
	Максимально разова		
Пил нетоксичний	0,5	0,15	4
Озон	0,16	0,03	4

Таблиця 5.2.3 – Рівні іонізації повітря приміщень при роботі на ПК

Рівні	Кількість іонів в 1 см ³	
	n+	n-
Мінімально необхідні	400	600
Оптимальні	1500-3000	3000-5000
Максимально необхідні	50000	50000

Нормалізуючий вплив на аероіонний склад повітря робочої зони забезпечують: вентиляція, систематичне провітрювання приміщення та застосування іонізаторів.

5.2.3 Виробниче освітлення

Приміщення, в яких встановлені персональні комп'ютери, повинні мати природне та штучне освітлення відповідно до вимог.

Природне освітлення має здійснюватись через світлові прорізи, орієнтовані переважно на північ чи північний схід і забезпечувати коефіцієнт природною освітленості (КПО) не нижче ніж 1,5%.

Штучне освітлення в приміщеннях з робочими місцями має здійснюватись системою загального рівномірного освітлення. У разі переважної роботи з документами, допускається застосування системи комбінованого освітлення (крім системи загального освітлення додатково встановлюються світильники місцевого освітлення).

Як джерела світла в разі штучного освітлення мають застосовуватись переважно люмінесцентні лампи типу ЛБ. Допускається застосування ламп розжарювання у світильниках місцевого освітлення. Система загального освіт-

лення має становити суцільні або переривчасті лінії світильників, розташовані збоку від робочих місць (переважно ліворуч), паралельно лінії зору працюючих.

Норми освітленості при штучному освітленні та КПО (для III пояса світлового клімату) при природному та сумісному освітленні під час автоматизації побудови тезаурусу зазначені у таблиці 5.2.4:

Таблиця 5.2.4 - Норми освітленості в приміщенні

Характеристика зорової роботи	Найменший розмір об'єкта розрізнення	Розряд зорової роботи	Підрозряд зорової роботи	Контраст об'єкта розрізнення з фоном	Характеристика фона	Освітленість, лк		КПО, e_n , %			
						Штучне освітлення		Природне освітлення		Сумісне освітлення	
						Комбіноване	Загальне	Верхнє або верхнє і бокове	Бокове	Верхнє або верхнє і бокове	Бокове
Дуже високої точності	Від 0,15 до 0,3	II	г	великий	світлий	1000	300	7	2,5	4,2	1,5

Природне освітлення в приміщенні забезпечується через вікна, орієнтовані на схід, які оснащені регульовальними жалюзіями.

5.2.4 Виробничий шум

Нормативним документом, який регламентує рівні шуму для різних категорій робочих місць службових приміщень, є ДСН 3.3.6.037-99 [23]. допустимі рівні шуму на робочому місці проектувальника наведені в таблиці 5.2.5.

Таблиця 5.2.5 - Рівень звукового тиску

Характер робіт	Допустимі рівні звукового тиску (дБ) в стандартизованих октавних смугах з середньгеометричними частотами, Гц								
	32	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Постійні робочі місця в промислових приміщеннях	107	95	87	82	78	75	73	71	69

Будівельно-акустичні методи захисту від шуму передбачені будівельними нормами і правилами це:

- ущільнення по периметру отворів вікон і дверей;
- використання звукопоглинаючого облицювання.

Устаткування, що становить джерело шуму, слід розташовувати поза приміщеннями, де знаходяться робочі місця. Для забезпечення допустимих рівнів шуму на робочих місцях слід застосовувати засоби звукопоглинання, вибір яких має обґрунтовуватись спеціальними інженерно-акустичними розрахунками

5.2.6 Виробничі випромінювання

Електромагнітні поля негативно впливають на організм людини, яка безпосередньо працює з джерелом випромінювання, а також на населення, яке мешкає поблизу джерел випромінювання. У результаті дії ЕМП на людину можливі гострі та хронічні форми порушення фізіологічних функцій організму. Ці порушення виникають в результаті дії електричної складової ЕМП на нервову

систему, а також на структуру кори головного та спинного мозку, серцево-судинної системи.

Джерелом електромагнітних випромінювань на робочому місці проектувальника є ПК. Допустимі рівні випромінювань моніторів ПК дослідника [24] наведені в таблиці 5.2.6.

Таблиця 5.2.6 - Допустимі рівні випромінювань моніторів ПК

Вид поля	ТСО	MPR II
Змінне електричне поле 5 Гц – 2 кГц 2 кГц – 400 кГц	10 В/м 1 В/м на відстані 0,3 м від центра екрана і 0,5 м навколо монітора	2,5 В/м 2,5 В/м на відстані 0,5 м навколо монітора
Змінне магнітне поле 5 Гц – 2 кГц 2 кГц – 400 кГц	250 нТл 200 мА/м 25 нТл 20 мА/м на від- стані 0,3 м від центра ек- рана і 0,5 м навколо мо- нітора	250 нТл 200 мА/м 25 нТл 20 мА/м на від- стані 0,5 м навколо моні- тора

Для захисту працівника від електромагнітних випромінювань доцільно використовувати тільки техніку, яка має сертифікат якості та дотримуватися встановленого режиму роботи за ПК.

5.3 Пожежна безпека

Пожежі в приміщеннях з оргтехнікою становлять особливу небезпеку, бо поєднані з великими матеріальними збитками. Пожежа може виникнути при взаємодії горючих речовин і джерел запалювання. Горючими речовинами є будівельні та опоряджувальні матеріали, пластмасові корпуси техніки, шнури тощо. Джерелами запалювання можуть бути електронні схеми комп'ютерів, принтерів, пристроїв електроживлення, де внаслідок різних порушень виникає перегрівання елементів, утворюються електричні іскри та дуги, здатні спричинити займання горючих матеріалів.

Приміщення, у якому відбувається дослідження мікрохвильових пасивних логічних елементів на основі мікросмужкових ліній [25] відноситься до категорії В, класу П-Па по пожежонебезпеці. До цієї зони відносяться приміщення, у яких використовуються тверді чи волокнисті речовини, нездатні переходити в зважений стан. У приміщенні є пальні речовини: волокнисті (папір), тверді (дерево) пластмаси.

5.3.1 Технічні рішення системи запобігання пожежі

Для запобігання пожежі в приміщенні прийняті такі міри:

- передбачено вільний доступ до мережних рубильників і вимикачів;
- здійснюється інструктаж з пожежної безпеки і періодичний контроль знань про правила пожежної безпеки;
- встановлені два димових сповіщувача;
- заборона використання електронагрівальних приладів;
- двері на шляху руху людей відкриваються назовні;
- у сусідньому коридорі, поруч із приміщенням, знаходиться пожежний кран;
- ширина загального коридору, ширина та висота дверей відповідають нормативним значенням [26];
- призначено відповідального за пожежну безпеку в приміщенні.

5.3.2 Технічні рішення системи протипожежного захисту

Оскільки ПК мають велику вартість, з огляду на категорію пожежної небезпеки приміщення, будинку з використанням ПК повинні бути I і II ступеня вогнестійкості (тобто всі конструктивні елементи повинні бути достатньо стійкими до поширення полум'я). Фактично приміщення відповідає цим нормам (основні будівельні матеріали – цегла, бетон, скло).

У коридорах будинку встановлені пожежні крани. Вода використовується для гасіння пожеж у допоміжних службово-побутових приміщеннях. Пожежні

крани розташовані на висоті 1,35 м від підлоги в найбільш доступних місцях.

Для гасіння пожежі в початковій стадії його виникнення в приміщенні встановлено 2 вогнегасника: ВП-1 (вогнегасник порошковий 1,3л $\pm$ 0,08), відповідно до вимог [27].

У приміщенні використовується система автоматичного пожежогасіння у відповідності до вимог [28]. Для подачі сигналів про пожежу у приміщенні встановлено пожежну сигналізацію. На видних місцях розміщені таблички із зазначенням номеру телефону для виклику пожежної охорони та правилами пожежної безпеки.

При обслуговуванні, ремонтних та профілактичних роботах використовуються різні лейкозаймісті рідини, прокладаються тимчасові електропровідники, здійснюється паяння. Виникає додаткова пожежна небезпека, яка потребує відповідних заходів пожежного захисту. До засобів гасіння пожежі, призначених для локалізації невеликих займань, належать вогнегасники, сухий пісок, азбестові ковдри.

Проходи до зовнішніх стаціонарних пожежних драбин, пожежного інвентарю, обладнання та засобів пожежогасіння вільні та утримуються справними.

Після закінчення роботи від усіх електроприладів, а також з мереж їх живлення повинна бути відключена напруга (за винятком протипожежних та охоронних установок). Електропроводи для підключення комп'ютерів, приладів повинні прокладені по негорючих конструктивних елементах.

ВИСНОВКИ

У бакалаврській дипломній роботі розроблені та досліджені мікрохвильові пасивні логічні елементи на основі мікросмужкових ліній передачі. Показано, що пасивні імітансні логічні елементи мають значно кращу енергетичну ефективність у порівнянні з іншими логічними елементами. Також ми вияснили, що в основі імітансної логіки пропонується визначати логічний стан схеми характером імітансних параметрів: що дозволяє запропонувати шість варіантів представлення логічних «0» та «1». На відміну від відеоімпульсних і радіочастотних логічних схем, які використовують нелінійні властивості напівпровідникових приборів, для побудови імітансних логічних схем пропонується використовувати пасивні імітансні логічні елементи на відрізках лінії передачі. Оцінка потенціальної швидкодії імітансних логічних схем складає порядку 10^{-9} - 10^{-12} с.

Були розроблені принципи побудови пасивних логічних елементів НІ, АБО, RS-тригер, проведене їх моделювання та виконаний розрахунок ефективності для цих елементів. Проаналізувавши отримані результати можна зробити висновки, що імітансні логічні елементи мають більшу ефективність у порівнянні з відеоімпульсними логічними елементами особливо по таким параметрам як час затримки, показник потужність×затримка, споживана потужність та коефіцієнт розгалуження.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. A. R. Brown and G. M. Rebeiz, A Varactor-Tuned RF Filter Ieee Transactions On Microwave Theory And Techniques, vol. 48, no. 7, July 2000 DOI: 10.1109/22.848501.
2. H. Lee and S. Yun, Microwave Planar Varactor Tuned Bandpass Filters: Historical Overview Ieice Transactions on Electronics 2006/12/01 vol.E89-C, no.12 pp.1806-1813 DOI:10.1093/ietele/e89-c.12.1806.
3. C. Musoll-Anguiano, I. Llamas-Garro, Z. Brito-Brito, L. Pradell and A. Corona-Chavez, Fully Adaptable Band-Stop Filter Using Varactor Diodes Microwave And Optical Technology Letters, vol. 52, no. 3, March 2010 DOI: 10.1002/mop.24969.
4. W. Tang and J. Hong, Varactor-Tuned Dual-Mode Bandpass Filters September 2010 IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques 58(8):2213 – 2219 doi:10.1109/tmtt.2010.2052958.
5. A. V. Zakharov and M. Ye. Ilchenko, Varicap-Tuned Narrowband Filters with Extended Rejection Band Based on U-shaped Microstrip Resonators Radioelectronics and Communications Systems, 2017, vol. 60, no. 9, pp. 383–392. © Allerton Press, Inc., 2017 DOI: <https://doi.org/10.3103/S0735272717090011>.
6. Alexander Zakharov et al.: Varactor-Tuned Microstrip Bandpass Filter with Loop Hairpin and Comblin Resonators IEEE Transactions on Circuits and Systems II: Express Briefs (Volume: 66, Issue: 6, June 2019) DOI: 10.1109/TCSII.2018.2873227.
7. B. Pal and S. Dwari, Harmonic Suppressed Tunable Bandpass Filter Using Varactor-Tuned Stub-Loaded Resonator, IETE Journal of Research, 2019, DOI: 10.1080/03772063.2019.1700176 USSR Inventor's Certificate 1518837.
8. M. Ilchenko, A. Zhivkov, A. Zazerin, Metamaterial Cells Equivalent Circuit, Degenerated Oscillation and Electromagnetically Induced Transparency 2018 International Conference on Information and Telecommunication Technologies and Radio Electronics (UkrMiCo) September 10-14, 2018, Odessa, Ukraine DOI: 10.1109/UkrMiCo43733.2018.9047596.

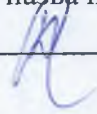
9. M. E. Ilchenko, A. P. Zhivkov, Bridge Equivalent Circuits for Microwave Filters and Fano Resonance. in: *Advances in Information and Communication Technologies*. Springer, 2019, pp. 278-298.
10. A. Genc and R. Baktur, A Tunable Bandpass Filter Based On Varactor Loaded Split-Ring Resonators *Microwave And Optical Technology Letters*, vol. 51, no. 10, October 2009 <https://doi.org/10.1002/mop.24641>.
11. T. Nesimoglu and C. Sabah, A Tunable Metamaterial Resonator Using Varactor Diodes to Facilitate the Design of Reconfigurable Microwave Circuits *Ieee Transactions On Circuits And Systems—II: Express Briefs*, vol. 63, no. 1, January 2016 DOI: 10.1109/tcsii.2015.2503058.
12. M. Maasch, *Tunable Microwave Metamaterial Structures* Springer, 2016, DOI 10.1007/978-3-319-28179-7.
13. G. H. Stauffer, Finding the Lumped Element Varactor Diode Model. November 2003 *High Frequency Electronics*.
14. M. Ilchenko et al: Attenuation Poles In Band-Pass Filters With Even End Odd Modes. *Proceedings of the International Scientific and Technical Conference "Prospects for Telecommunications"*, [S.l.], May. 2020. ISSN 2664-3057 online. DOI: <http://conferenc.its.kpi.ua/proc/article/view/201713>.
15. Ільченко М.Ю., Кравчук С.О. Телекомунікаційні системи. – К.: Наукова думка, 2017.
16. *Advanced in the telecommunications 2019: monograph / by edited M.Y. Ilchenko, S.O. Kravchuk*, Kyiv, 2019, 336 p. (ISBN 978-617-7734-12-2).
17. ДСТУ OHSAS 18002:2015. Системи управління гігієною та безпекою праці. Основні принципи виконання вимог OHSAS 18001:2007 (OHSAS 18002:2008, IDT). К. : ГП «УкрНИУЦ», 2016. 21 с
18. ДСТУ ISO 9241-3-2001 Ергономічні вимоги до роботи з відеотерміналами в офісі. - [Електронний ресурс] - Режим доступу: http://www.dnaop.com/html/3075/doc-%D0%94%D0%A1%D0%A2%D0%A3_ISO_9241-3-2001

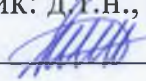
19. НПАОП 0.00-7.15-18 Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями. URL: http://sop.zp.ua/norm_npaop_0_00-7_15-18_01_ua.php.
20. Правила улаштування електроустановок. URL: <http://www.energiy.com.ua/PUE.html>. 34
21. Гігієнічна класифікація праці (за показниками шкідливості і небезпеки факторів виробничого середовища від 12.08.1986 № 4137-86. - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/v4137400-86>
22. ДСН 3.3.6.042-99 Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://mozdocs.kiev.ua/view.php?id=1972>
23. ДСН 3.3.6.037-99 Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку. - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://document.ua/sanitarni-normi-virobnichogo-shumu-ultrazvuku-ta-infrazvuku-nor4878.html>
24. Про мінімальні вимоги безпеки при роботі з дисплейним обладнанням: 90/270/ЕЭС. Брюссель : Рада Європейських співтовариств, 1990. URL: <http://docs.pravo.ru/document/view/32704903/>
25. ДСТУ Б В.1.1-36:2016 Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпек. URL: https://dbn.co.ua/load/normativy/dstu/dstu_b_v_1_1_36/5-1-0-1759
26. ДБН В.1.1-7:2016 Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги. URL: http://www.poliplast.ua/doc/dbn_v.1.1-7-2002.pdf
27. Наказ Міністерства внутрішніх справ України «Про затвердження Правил експлуатації та типових норм належності вогнегасників». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0225-18#Text>
28. ДБН В.2.5-56:2010 Системи протипожежного захисту - [Електронний ресурс] - Режим доступу: - [Електронний ресурс] - http://minregion.gov.ua/attachments/files/bydivnitstvo/texnichne-regulyuvannya/normuvannja/DBN/2014/DBN_v.2.5-56-2010.pdf

Додаток А
(обов'язковий)

ІЛЮСТРАТИВНИЙ МАТЕРІАЛ
МІКРОХВИЛЬОВІ ПАСИВНІ ЛОГІЧНІ ЕЛЕМЕНТИ НА ОСНОВІ
МІКРОСМУЖКОВИХ ЛІНІЙ ПЕРЕДАЧІ

Виконав: студент 2 (4)-го курсу, групи ТКР-22мс
спеціальності 172 – Телекомунікації та радіотехніка
(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)


_____ Горовенко Д.О.
(прізвище та ініціали)

Керівник: д.т.н., проф., професор каф. ІРТС

_____ Семенов А.О.
(прізвище та ініціали)

«13» _____ 06 2024 р.

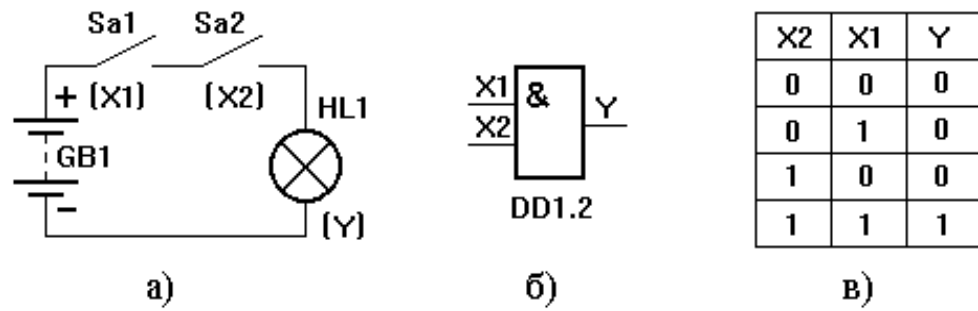


Рисунок 1 – Логічний елемент І:

а – еквівалентна схема; б – умовне позначення; в – таблиця істинності

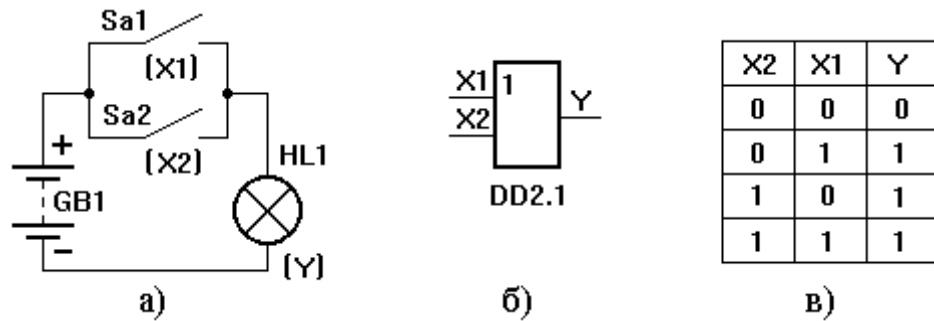


Рисунок 2 – Логічний елемент АБО: а – еквівалентна схема; б – умовне позначення; в – таблиця істинності

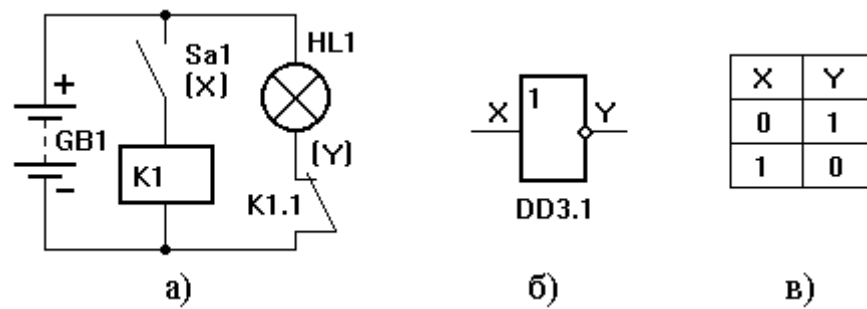


Рисунок 3 – Логічний елемент НІ: а – еквівалентна схема; б – умовне позначення; в – таблиця істинності

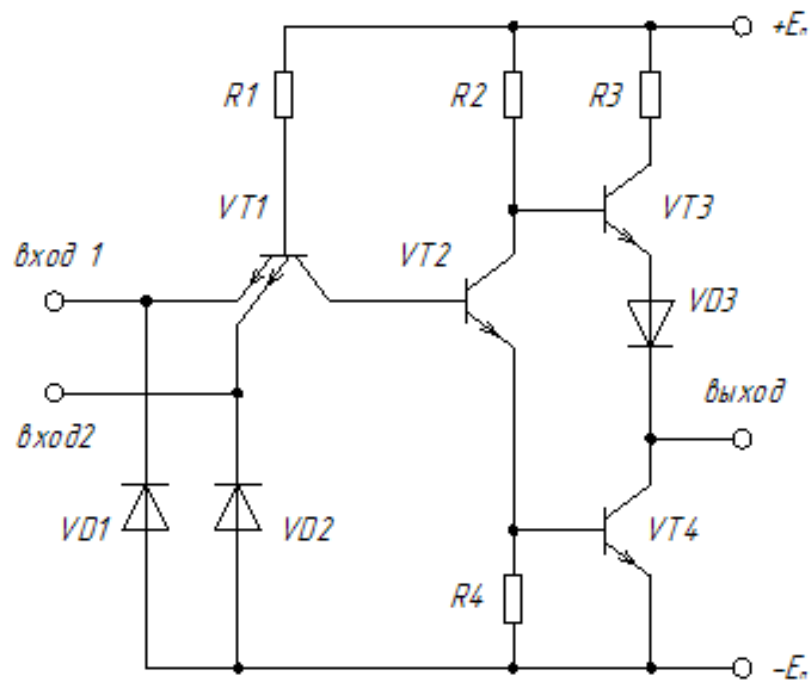


Рисунок 5 – Элемент Шеффера I-HE

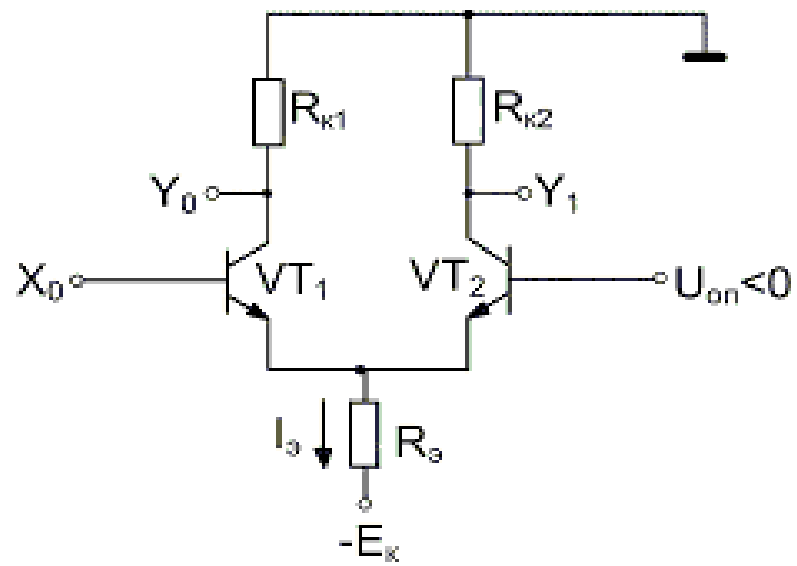


Рисунок 6 – Базовый элемент ЕЗЛ

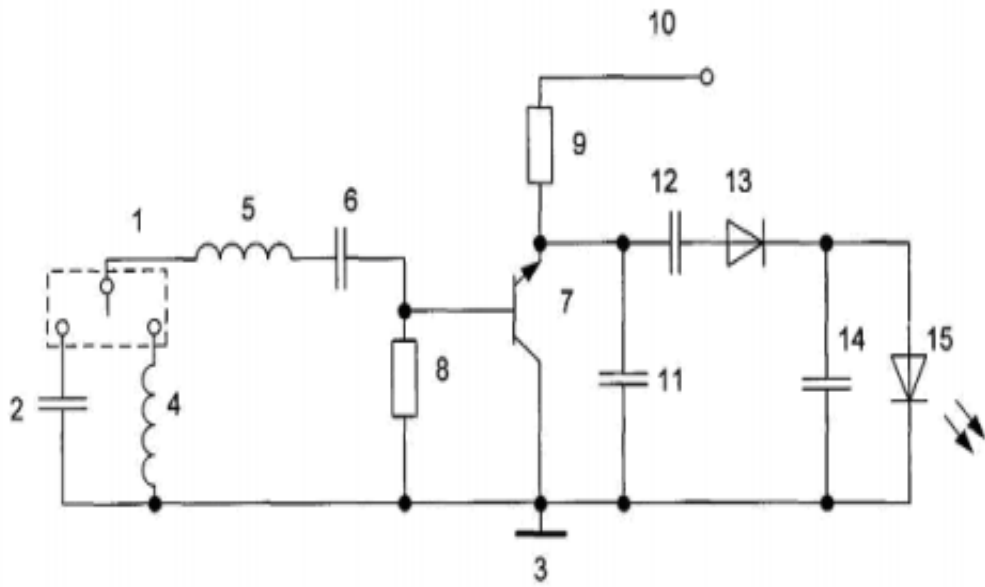


Рисунок 19 - Оптоімітансний LC-логічний елемент "HI"

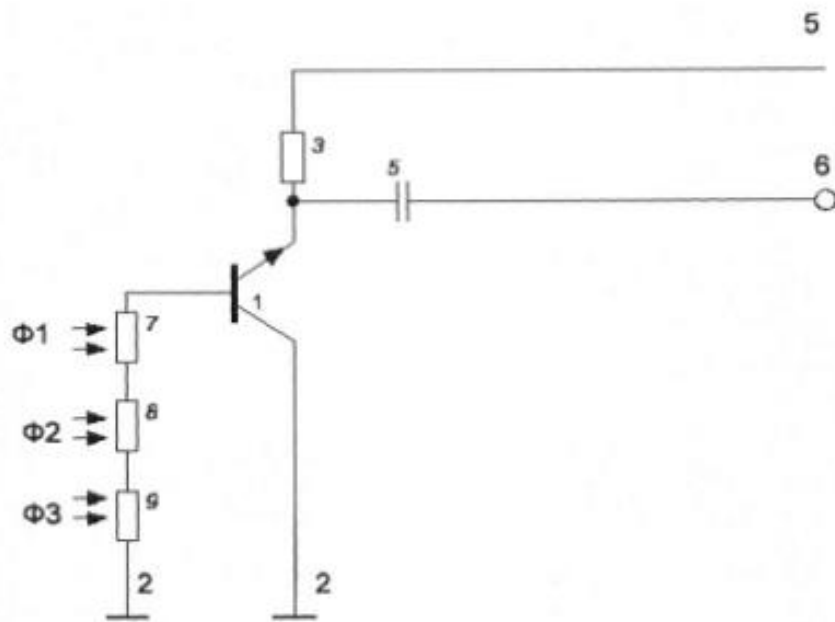


Рисунок 10 - Оптоімітансний логічний елемент "I"

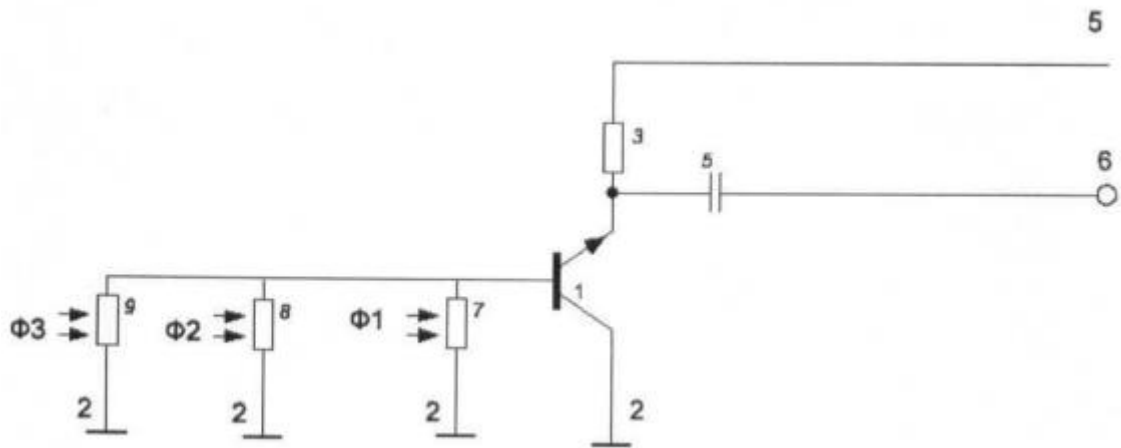


Рисунок 11 - Оптимітансний логічний елемент "АБО"

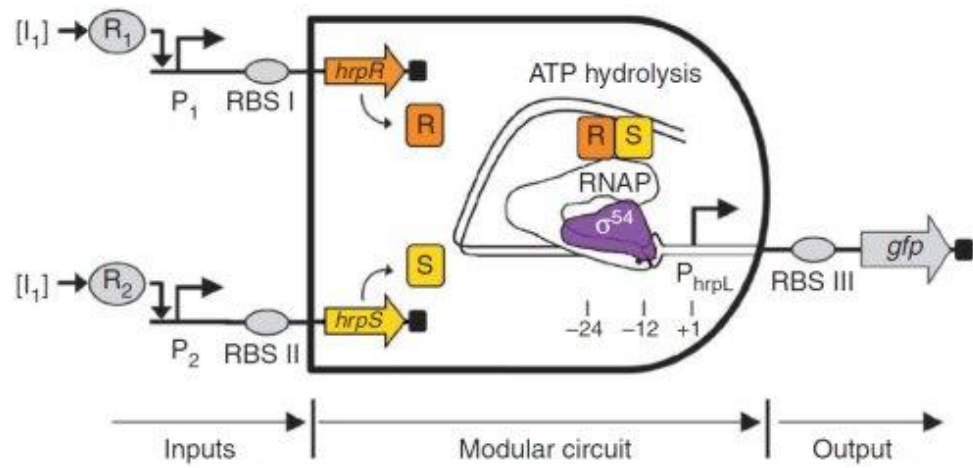


Рисунок 12 – Бактеріальний логічний елемент I

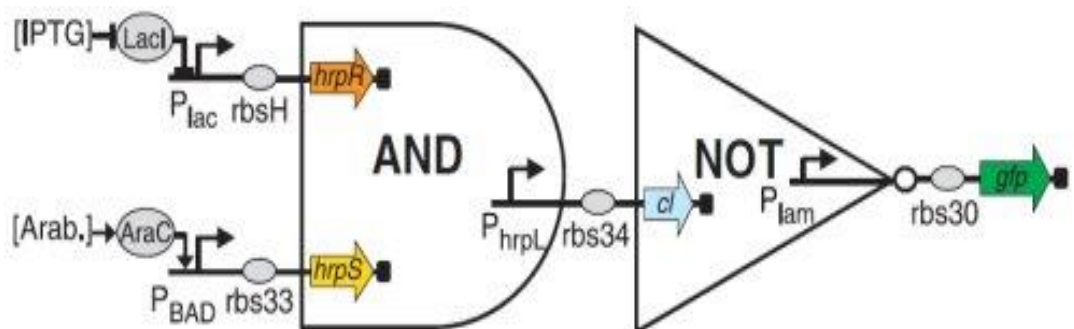


Рисунок 13 – Бактеріальний логічний елемент I-II

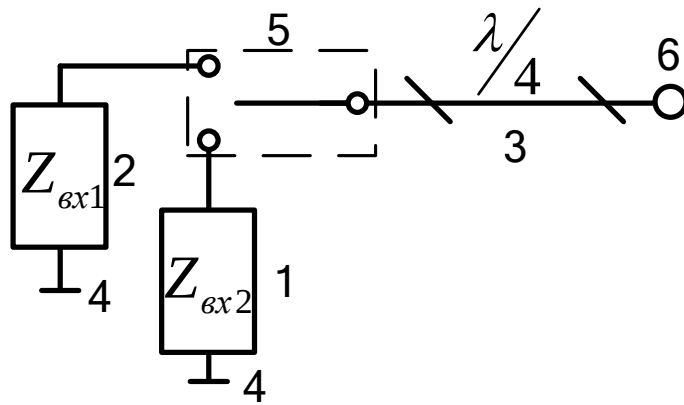


Рисунок 14 – Пасивний імпедансний логічний елемент НІ

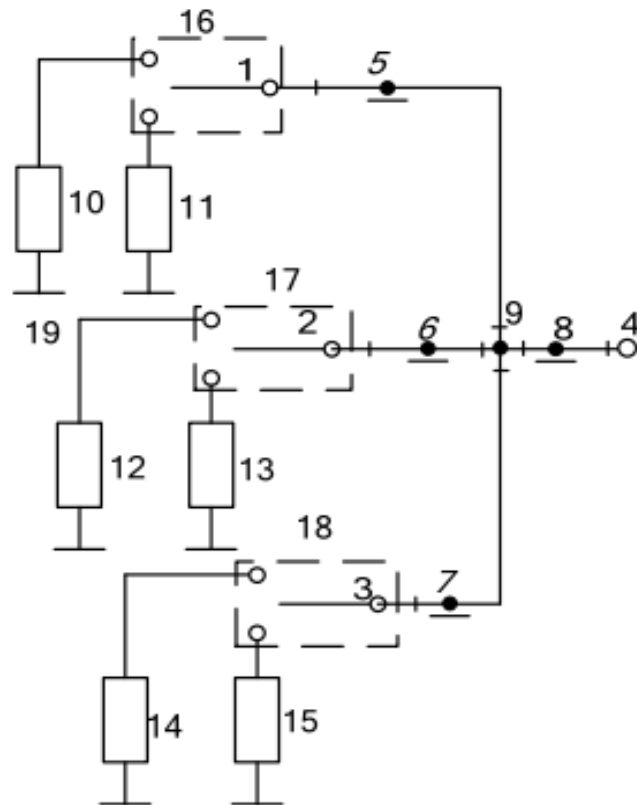


Рисунок 15 – Пасивний імпедансний LC логічний елемент “АБО”

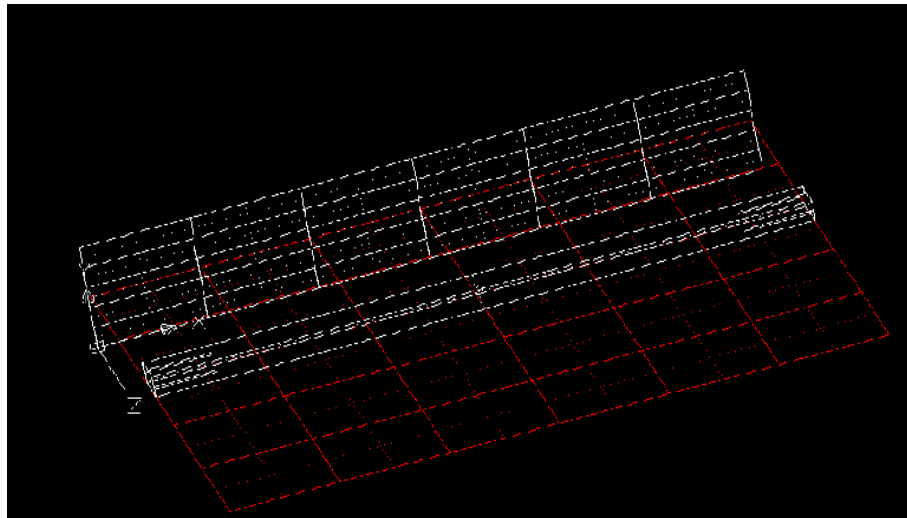


Рисунок 16 - Імітансний елемент НІ у об'ємному вигляді

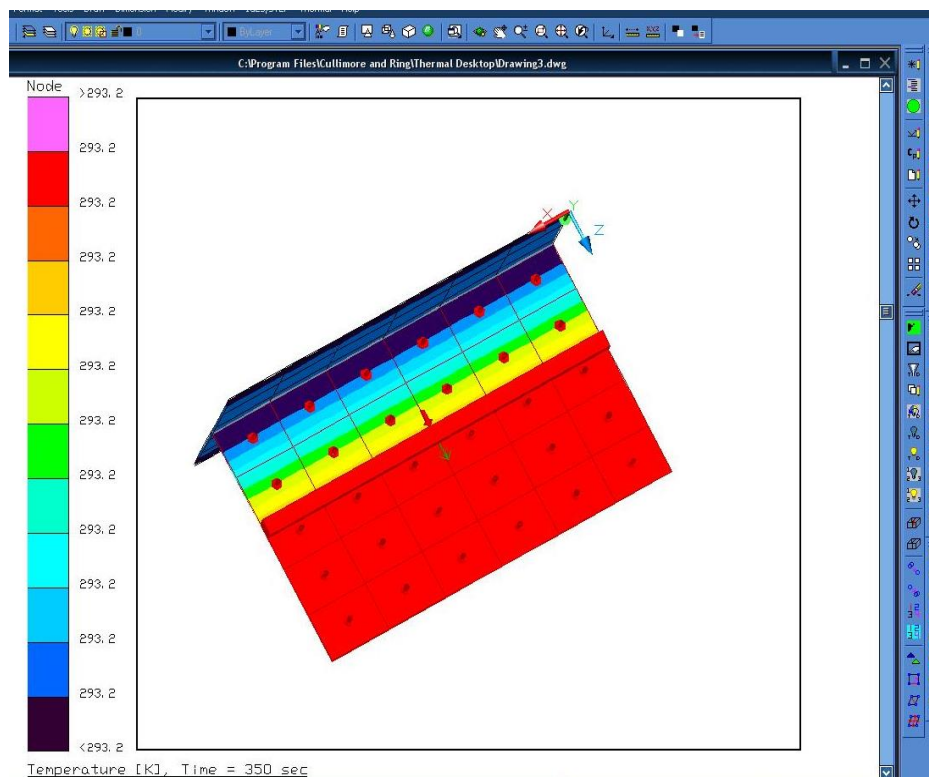


Рисунок 17 – Розподілення температур по конструкції елемента НІ

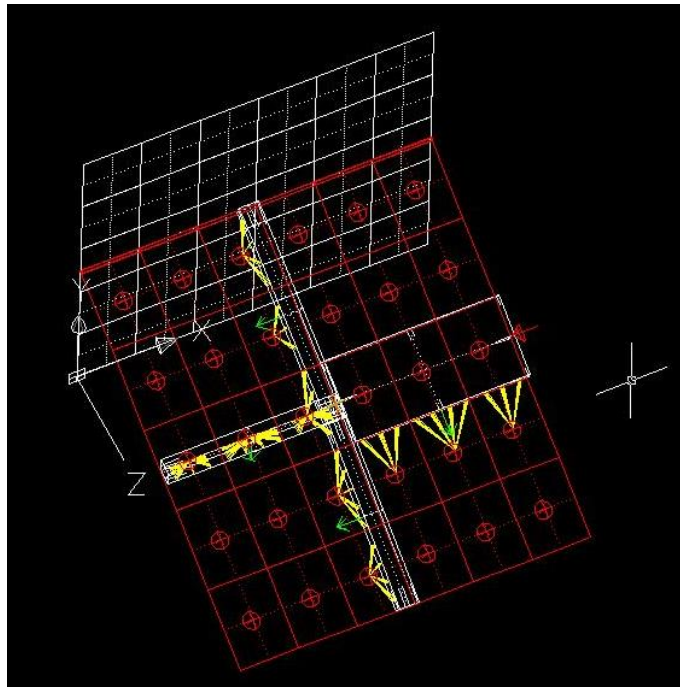


Рисунок 18 – Зображено імітансний елемент АБО у об'ємному вигляді

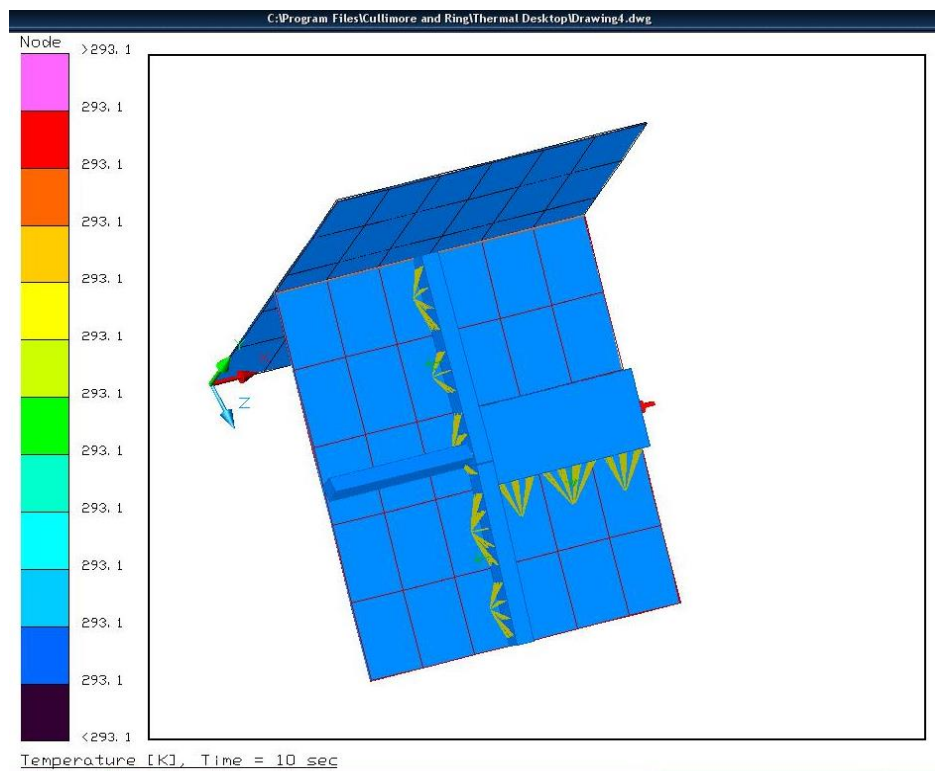


Рисунок 19 – Розподілення температур по конструкції елемента АБО

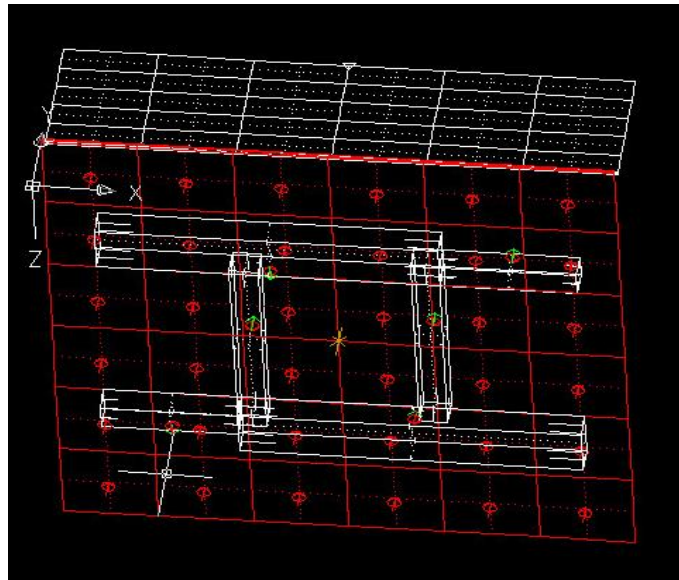


Рисунок 20 – Зображено імітансний елемент RS-тригер у об'ємному вигляді

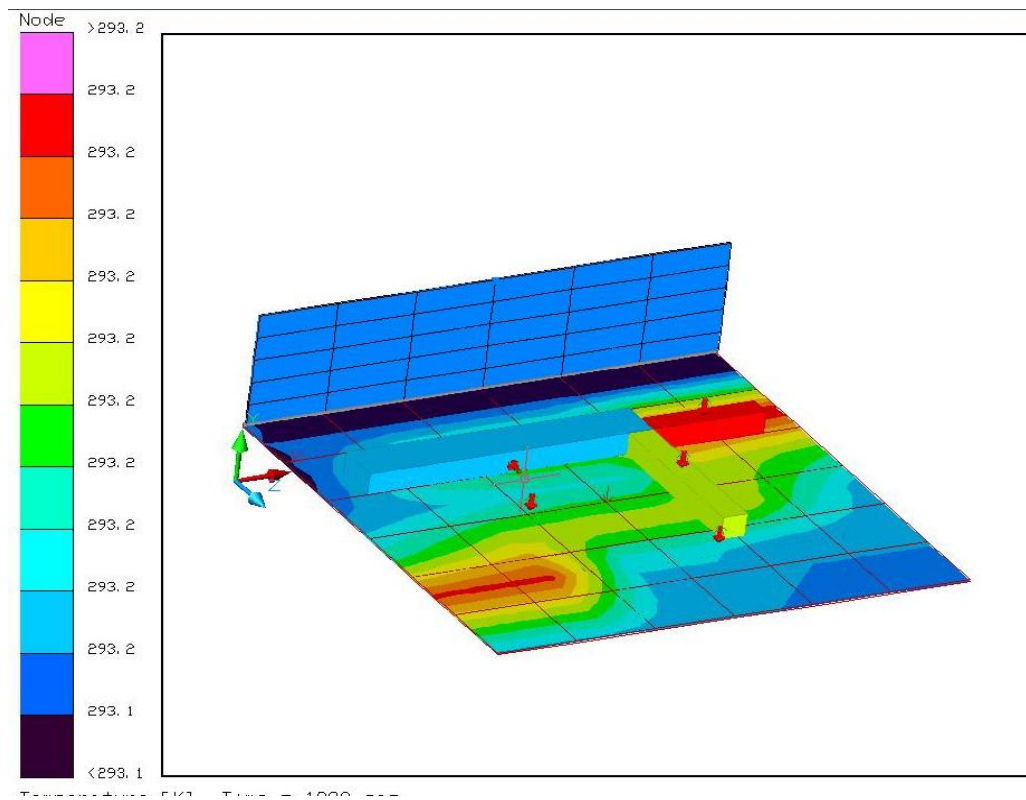


Рисунок 21 - Розподілення температур по конструкції елемента RS-тригер

Додаток Б
(обов'язковий)

ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ РОБОТИ
МІКРОХВИЛЬОВІ ПАСИВНІ ЛОГІЧНІ ЕЛЕМЕНТИ НА ОСНОВІ
МІКРОСМУЖКОВИХ ЛІНІЙ ПЕРЕДАЧІ

ПРОТОКОЛ
ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ
НА НАЯВНІСТЬ ТЕКСТОВИХ ЗАПОЗИЧЕНЬ

Назва роботи: «Мікрохвильові пасивні логічні елементи на основі мікро-
смужкових ліній передачі»

Тип роботи: БДР (БДР, МКР)

Підрозділ ІРТС, ІЕС
(кафедра, факультет)

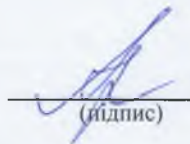
Показники звіту подібності Unichesk

Оригінальність 71,5% Схожість 28,5%

Аналіз звіту подібності (відмітити потрібне):

- ☒ 1. Запозичення, виявлені у роботі, оформлені коректно і не містять ознак плагіату.
- ☐ 2. Виявлені у роботі запозичення не мають ознак плагіату, але їх надмірна кількість викликає сумніви щодо цінності роботи і відсутності самостійності її виконання автором. Роботу направити на розгляд експертної комісії кафедри.
- ☐ 3. Виявлені у роботі запозичення є недобросовісними і мають ознаки плагіату та/або в ній містяться навмисні спотворення тексту, що вказують на спроби приховування недобросовісних запозичень.

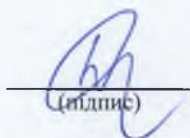
Особа, відповідальна за перевірку


(підпис)

Олександр ЗВЯГІН
(прізвище, ініціали)

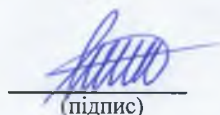
Ознайомлені з повним звітом подібності, який був згенерований системою Unichesk щодо роботи.

Автор роботи


(підпис)

Дмитро ГОРОВЕНКО
(прізвище, ініціали)

Керівник роботи


(підпис)

Андрій СЕМЕНОВ
(прізвище, ініціали)