

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))

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему:

«РАДІОЕЛЕКТРОННИЙ ПРИСТРІЙ ЗАВАДОСТІЙКОГО КОДУВАННЯ ІНФОРМАЦІЇ З ВИКОРИСТАННЯМ КОДУ ХЕМІНГА»

Виконав: студент 2-го курсу, групи РТ-22м з/в
спеціальності 1/2 – Телекомунікації
та радіотехніка

(цифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Єднак Т.С.

(прізвище та ініціали)

Керівник: д.т.н., проф., професор каф. ІРТС
Семенов А.О.

(прізвище та ініціали)

« 06 » 06 2024 р.

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

Михалевський Д.В.

(прізвище та ініціали)

« 06 » 06 2024 р.

Допущено до захисту

Завідувач кафедри ІРТС

д.т.н. проф. Осадчук О.В.

(прізвище та ініціали)

« 10 » 06 2024 р.

Вінницький національний технічний університет
Факультет інформаційних електронних систем
Кафедра інформаційних радіоелектронних технологій і систем
Рівень вищої освіти II-й (магістерський)
Галузь знань – 17 Електроніка та телекомунікації
Спеціальність – 172 Телекомунікації та радіотехніка
Освітньо-професійна програма – Радіотехніка

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ІРТС

д.т.н., проф. Осадчук О.В.

«15» березня 2024 року

З А В Д А Н Н Я
НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Єднаку Тарасу Степановичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Радіоелектронний пристрій завадостійкого кодування інформації з використанням коду Хемінга»

керівник роботи д.т.н., проф., професор кафедри ІРТС Семенов А.О.

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від «11» 03.2024 р. №81.

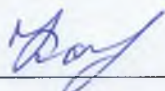
2. Строк подання студентом роботи 06.06.2024р.

3. Вихідні дані до роботи: кількість інформаційних символів $k = 4$; частота слідування імпульсів – 8кГц; тривалість імпульсів 62,5 мкс; тривалість синхросигналу – більше 100 мкс; напруга живлення – 5 В; потужність – до 5 Вт.

4. Зміст текстової частини: Вступ. Види завадостійкого кодування та їх особливості. Розроблення структурної та принципової електричних схем і конструкції радіоелектронного пристрою завадостійкого кодування. Моделювання основних характеристик коду Хемінга. Економічна частина. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях. Висновки. Список використаних джерел. Додатки.

5. Перелік ілюстративного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): Узагальнена структурна схема пристрою кодування коду Хемінга (7, 4). Структурна схема пристрою кодування коду Хемінга. Покращена структурна схема пристрою кодування коду Хемінга. Схема задання інформаційного символу. Схема задання помилки в розряді. Автоколивальный мультивібратор на трьох елементах І-НІ. Схема включення К155АГ1. Розподільник на D-тригерах: – функціональна схема; – часова діаграма. Схема одновібратора. Залежність бітової помилки кодів Хемінга і БЧХ від імовірності помилки в каналі символу. Залежність імовірності помилки в декодованому біті P_B від відношення бітової енергії до спектральної густини потужності завади.

6. Консультанти розділів роботи

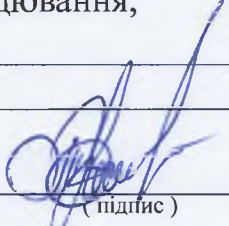
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	виконання прийняв
Основна частина	професор каф. ІРТС професор, д.т.н., Семенов А.О.		
Економічна частина	доцент каф. ЕПВМ, доцент, к.е.н., Кавецький В.В.		
Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	професор кафедри БЖДПБ, професор, д.п.н., Дембіцька С.В.		

7. Дата видачі завдання 17.03.2024 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Приймає
1.	Вибір, узгодження та затвердження теми МКР	31.01.2024-28.02.2024	
2.	Огляд та аналіз літературних джерел.	01.03.2024-10.03.2024	
3.	Затвердження теми. Розробка завдання на МКР.	11.03.2024-10.04.2024	
4.	Попередня розробка основних розділів. Аналіз вирішення поставленої задачі. Розробка структурної схеми та технічних рішень.	11.04.2024-06.05.2024	
5.	Математичне моделювання та електричні розрахунки. Експериментальне дослідження.	07.05.2024-11.05.2024	
6.	Розробка графічної частини МКР	12.05.2024-18.05.2024	
7.	Економічна частина	19.05.2024-22.05.2024	
8.	Охорона праці (ОП)	23.05.2024-26.05.2024	
9.	Оформлення пояснювальної записки та графічної частини.	27.05.2024-31.05.2024	
10.	Нормоконтроль	01.06.2024-03.06.2024	
11.	Попередній захист МКР, доопрацювання, рецензування МКР	04.06.2024-08.06.2024	
12.	Захист МКР ЕК	09.06.2024-11.06.2024	

Студент


(підпис)

Єднак Т.С.

Керівник роботи


(підпис)

Семенов А.О.

АНОТАЦІЯ

УДК 621.396.6

Єднак Т.С. Радіоелектронний пристрій завадостійкого кодування інформації з використанням коду Хемінга. Магістерська кваліфікаційна робота зі спеціальності 172 – телекомунікації та радіотехніка, освітня програма - радіотехніка. – Вінниця: ВНТУ, 2024. – 145с. На українській мові. Бібліогр.: 44 назв; Табл. 14; Рис. 24 .

У магістерській кваліфікаційній роботі здійснено розроблення та дослідження радіоелектронного пристрою завадостійкого кодування інформації з використанням коду Хемінга. Розглянуто види завадостійкого кодування та їх особливості. Проаналізовано можливості підвищення завадостійкості цифрової інформації за допомогою коригуючих кодів, зокрема з використанням коду Хемінга. Розроблені електричні структурна та принципова схеми радіоелектронного пристрою завадостійкого кодування інформації з використанням коду Хемінга. Виконане компонування та розроблена друкована плата радіоелектронного пристрою завадостійкого кодування інформації з використанням коду Хемінга. Отримані результати математичного та імітаційного моделювання характеристик коду Хемінга.

Також у магістерській кваліфікаційній роботі виконані розрахунки економічної частини, а також розділу охорони праці та безпеки життєдіяльності.

Ключові слова: код Хемінга, завадостійкий код, інформація, радіоелектронний пристрій.

ABSTRACT

Electronic device for noise immune coding of information using the Hamming code. Master's qualification work in the specialty 172 - Telecommunications and Radio Engineering, educational program - Radio Engineering: VNTU, 2024. 145 p. In Ukrainian. Bibliography: 44 titles; Table 14; Fig. 24.

In the master's thesis, the development and research of an electronic device for noise-resistant coding of information using the Heminge code was carried out. The types of noise-resistant coding and their features are considered. The possibilities of increasing the noise immunity of digital information with the help of corrective codes, in particular, using the Heminge code, are analyzed. The electrical structural and schematic diagrams of the radio electronic device for noise immune coding of information using the Heminge code are developed. The layout and printed circuit board of an electronic device for noise immune coding of information using the Heming code were designed. The results of mathematical and simulation modeling of the characteristics of the Heminge code were obtained.

The master's thesis also includes calculations of the economic part, as well as the section on labor protection and life safety.

Keywords: Heminge code, noise-resistant code, information, radio electronic device.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1 ВИДИ ЗАВАДОСТІЙКОГО КОДУВАННЯ ТА ЇХ ОСОБЛИВОСТІ	10
1.1 Принципи побудови коригуючих кодів	10
1.2 Основні характеристики і коригуючі властивості блочних кодів	12
1.3 Оцінка коригуючих властивостей лінійних кодів	17
1.4 Можливості підвищення завадостійкості цифрової інформації за допомогою коригуючих кодів	19
1.5 Компроміси при виборі завадостійкого кодування	25
1.6 Коди Хемінга	29
1.7 Висновки до розділу.....	37
2 РОЗРОБЛЕННЯ СТРУКТУРНОЇ ТА ПРИНЦИПОВОЇ ЕЛЕКТРИЧНИХ СХЕМ І КОНСТРУКЦІЇ РАДІОЕЛЕКТРОННОГО ПРИСТРОЮ ЗАВАДОСТІЙКОГО КОДУВАННЯ	38
2.1 Розробка структурної схеми пристрою кодування коду Хемінга	38
2.2 Розробка схеми електричної принципової	43
2.3 Аналіз елементної бази	48
2.4 Схемотехнічне моделювання	56
2.5 Компонування пристрою	60
2.6 Розробка друкованої плати.....	65
2.7 Висновки до розділу.....	75
3 МОДЕЛЮВАННЯ ОСНОВНИХ ХАРАКТЕРИСТИК КОДУ ХЕМІНГА	76
3.1 Математичне моделювання	76
3.2 Імітаційне моделювання	81
3.3 Висновки до розділу	84
4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА.....	85
4.1 Проведення комерційного та технологічного аудиту науково-технічної	

	розробки	85
4.2	Розрахунок узагальненого коефіцієнта якості розробки.....	90
4.3	Розрахунок витрат на проведення науково-дослідної роботи.....	92
4.4	Розрахунок економічної ефективності науково-технічної розробки при її можливій комерціалізації потенційним інвестором	105
4.5	Висновки до розділу.....	109
5	ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	111
5.1	Технічні рішення щодо безпечного виконання роботи.....	112
5.2	Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії.....	115
5.3	Безпека в надзвичайних ситуаціях.....	121
	ВИСНОВКИ.....	127
	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	128
	Додаток А (обов'язковий) Ілюстративний матеріал.....	132
	Додаток Б (обов'язковий) Протокол перевірки навчальної (магістерської) кваліфікаційної роботи.....	143

ВСТУП

Актуальність теми.

Передача інформації по лініях і каналах зв'язку пов'язана із певними труднощами. Головним чином – це дія завад на сигнали, що несуть інформацію. Тому при передачі цифрових даних по каналу із шумами завжди існує імовірність, що прийняті дані будуть містити в собі помилки Користувач звичайно встановлює деякий рівень частоти появи помилок, при перевищенні якого прийняті дані використовувати не можна. Проте, якщо частота помилок все таки перевищує допустимий рівень, то з метою приведення частоти помилок до прийнятого рівня використовують кодування із виправленням помилок. Для більшості нових систем зв'язку кодування із виправленням помилок стало звичною справою. Воно використовується не тільки для збільшення енергетичної ефективності ліній зв'язку, але і для отримання ідейно нових розв'язків багатьох задач передачі інформації. Так, з допомогою кодування усувають між символну інтерференцію, яка виникає внаслідок нерівномірності частотної характеристики та багатопроменевості, а також покращують якість демодуляції деяких частотно-модульованих сигналів за рахунок «природного» кодування, пов'язаного з неперервністю фази. Хоча теорії кодування присвячено ряд книг та багато статей, в літературі є значні прогалини. Перш за все, як правило, не висвітлюються практичні аспекти апаратної реалізації алгоритмів кодування-декодування. Існуюча з цього приводу інформація дуже уривчаста і розкидана по багатьох джерелах.

Аналіз останніх досліджень.

В той же час розвиток систем передачі інформації потребує опанування способів прийняття і передачі з дуже високим рівнем достовірності. Можливі два шляхи вирішення цієї проблеми. Можна зменшити імовірність помилки у високочастотній частині системи зв'язку, але при цьому збільшуються затрати енергії або зменшується швидкість передачі інформації. З іншої сторони можливе використання якого-небудь коду, який виправляє або виявляє помилки на виході демодулятора приймача.

Проте проблема завадостійкого кодування являє собою широку область теоретичних і прикладних досліджень. Її основні задачі такі: знаходження кодів, ефективно виправляючи помилки необхідного типу; знаходження методів кодування і способів їх реалізації; знаходження методів декодування та припустимих способів їх реалізації. Вирішення перших двох задач значно полегшується, якщо розробник має в своєму розпорядженні такі залежності: імовірність помилок в кодованих і некованих блоках від швидкості передачі даних, бітових помилок різних кодів від імовірності помилки в каналному символі, а також імовірності помилки в декодованому біті від бітової енергії.

Метою роботи є створення схемотехнічної та конструкторської реалізації малорозрядного пристрою завадостійкого кодування та дослідження характеристик коду Хемінга.

Задачами досліджень магістерської кваліфікаційної роботи є:

- отримати результати аналізу видів завадостійкого кодування та їх особливостей;
- розробити електричну структурну схему радіоелектронного пристрою завадостійкого кодування інформації з використанням коду Хемінга;
- розробити електричну принципову схему радіоелектронного пристрою завадостійкого кодування інформації з використанням коду Хемінга;
- розробити конструкцію радіоелектронного пристрою завадостійкого кодування інформації з використанням коду Хемінга;
- отримати результати математичного радіоелектронного пристрою завадостійкого кодування інформації з використанням коду Хемінга;
- отримати результати імітаційного моделювання радіоелектронного пристрою завадостійкого кодування інформації з використанням коду Хемінга
- виконати економічні розрахунки та розділ охорони праці.

Об'єктом дослідження є інформаційні процеси які відбуваються в радіоелектронному пристрої завадостійкого кодування інформації з використанням коду Хемінга.

Предметом дослідження є параметри та характеристики радіоелектронного пристрою завадостійкого кодування інформації з використанням коду Хемінга.

Наукова новизна одержаних результатів – отримав подальший розвиток метод завадостійкого кодування інформації з використанням коду Хемінга.

Практична новизна одержаних результатів – нове схемотехнічне рішення та конструкція радіоелектронного пристрою завадостійкого кодування інформації з використанням коду Хемінга.

1 ВИДИ ЗАВАДОСТІЙКОГО КОДУВАННЯ ТА ЇХ ОСОБЛИВОСТІ

1.1 Принципи побудови коригуючи кодів

Однією з особливостей первинного коду є його мала надлишковість або навіть відсутність надлишковості. Дійсно, якщо використовуються всі кодові комбінації первинного коду, то такий код виявляється повністю безнадлишковим. Безнадлишковий код має велику «чутливістю» до перешкод. Достатньо прийняти помилково тільки один символ, щоб замість переданої кодової комбінації відтворити при прийомі зовсім іншу комбінацію. Наприклад, якщо при прийомі комбінації 0100 відбудеться помилка в першій позиції, то прийнятої виявиться комбінація 1100.

Таким чином, помилка в будь-якій з позицій безнадлишкових коду призводить до заміни однієї кодової комбінації іншою. Це пояснюється тим, що у безнадлишковому коді окремі комбінації можуть відрізнятися один від одного тільки в одній позиції (в одному розряді). Якщо для передачі повідомлень використовувати не всі комбінації первинного коду, а тільки ті, які відрізняються одна від одної не менш ніж у двох позиціях, то одиночна помилка при прийомі переведе використовувану (дозволену) комбінацію в невживану (заборонену). Це дозволяє виявити одиночну помилку, яка може з'явитися при дії перешкод при прийомі. У розглянутому випадку одна дозволена комбінація може перейти в іншу дозволена (невизначаєма помилка) тільки при подвійній помилці. Імовірність такої події значно менша імовірності одиночної помилки.

Отже, застосовуючи для передачі цифрової інформації код, у якого використані не всі можливі комбінації, а лише окремі з них, можна підвищити завадостійкість прийому. Такі коди мають назву надлишкові, або коригувальні. Коригувальні властивості надлишкових кодів залежать від правила побудови цих кодів, що визначає їх структуру, і параметрів коду (числа розрядів, тривалості символів, надлишковості і т. п.).

Найпростішим прикладом коригуючого коду є код з перевіркою на парність. Такий код будують таким чином. До кодовою комбінаціям безнадлишкових первинного двійкового k -розрядного коду додається додатковий розряд (позиція), званий перевірочним, або контрольним. Якщо кількість символів 1 у вихідній кодової комбінації парне, тоді в додатковому розряді формують контрольний символ 0, якщо число символів 1 непарне, то в додатковому розряді формують контрольний символ 1. В результаті загальне число символів 1 у будь-якій кодовою комбінації завжди повинно бути парним.

Неважко бачити, що додавання додаткового розряду збільшило загальне число можливих комбінацій удвічі ніж у порівнянні з кількістю комбінацій вихідного первинного коду, а умова парності поділила усі комбінації на дозволені та недозволені.

Код з перевіркою на парність дозволить виявляти одиночну помилку при прийомі кодової комбінації, оскільки така помилка не задовольняє умові парності, тобто переводить дозволену комбінацію в недозволену.

Збільшуючи кількість додаткових розрядів і формуючи за певними правилами перевірочні символи 0 або 1, які відповідають цим розрядам, можна підсилити коригуючі властивості коду так, щоб код дозволяв не тільки виявляти, але і виправляти помилки. У зв'язку з цим надлишкові або коригуючі коди іноді поділяють на коди, що виявляють помилки, і коди, що виправляють помилки. Для виявлення помилки досить встановити факт, що в даній кодової комбінації сталася помилка (одиночна, подвійна і т. п.). Для виправлення помилки необхідно не тільки виявити помилку, але і вказати ту позицію в кодовій комбінації, де ця помилка сталася. Природно, що таке завдання значно складніше, ніж виявлення помилки, і вимагає застосування більш складних кодів.

У даний час найбільшу увагу з точки зору технічних програм приділяється двійковим рівномірним коригуючим кодам, так як вони мають хороші коригуючі властивостями та їх реалізація порівняно проста. Двійкові рівномірні коди поділяються на блокові і неперервні.

1.2 Основні характеристики і коригуючі властивості блочних кодів

Цифрова інформація передається у вигляді окремих кодових комбінацій (блоків) однакової довжини при використанні блокових кодів. Кодування і декодування кожного окремого блоку здійснюється незалежно.

Майже всі блокові коди відносяться до розділимих кодів, тобто до таких, кодові комбінації яких складаються з двох різних частин: інформаційної та контрольної. Інформаційні та. контрольні розряди у всіх кодових комбінаціях розділимого коду завжди займають одні й ті ж позиції. Розділимі коди зазвичай умовно позначають у вигляді (n, k) , де n вказує загальну значність коду (загальна кількість позицій в блоці), k - число інформаційних позицій. Іншими словами, величина n визначає загальну кількість символів в блоці, а k - тільки число інформаційних символів. Таким чином, число контрольних символів в розділимих кодах дорівнює $m = n - k$.

Серед розділимих кодів розрізняють систематичні та несистематичні коди.

Систематичні, або лінійні коди утворюють найбільш велику групу розділимих кодів. Особливістю систематичних кодів є те, що контрольні символи утворюються різними лінійними комбінаціями інформаційних символів. Теоретичною основою отримання таких комбінацій є апарат лінійної алгебри, що дозволяє формувати контрольні символи за цілком визначеними правилами (за певною системою – звідси і походження терміну «систематичні» коди). Використання апарату лінійної алгебри, в якій дуже важливе значення має поняття «група», призвело до того, що в ряді робіт розглядаються коди називають також «алгебраїчними» або «груповими».

Систематичні коди докладно вивчені. Найбільш відомі серед них циклічні коди. Важливими представниками циклічних кодів є коди Хемінга, які історично з'явилися раніше багатьох інших кодів і відіграли значну роль у розвитку теорії коригуючих кодів, а також коди Боуза-Чоудхурі (БЧХ). Для таких кодів знайдені порівняно прості методи їх реалізації. Дослідження

показали, що ці коди мають особливо важливе значення для програм. Основна властивість циклічних кодів полягає в тому, що дозволеною комбінацією є циклічний зсув будь-якої дозволеної кодової комбінації. Циклічні коди володіють хорошими коригуючими властивостями, а реалізація кодуючих і декодуючих пристроїв для таких кодів виявляється простішою, ніж для інших систематичних кодів.

Основними параметрами, які характеризують коригувальні властивості кодів є надлишковість коду, кодова відстань, число виявлених або виправлених помилок. Розглянемо суть цих параметрів.

1. Надлишковість коригувального коду. Надлишковістю коригувального коду називають величину

$$\omega = \frac{m}{n} = \frac{n-k}{n} = 1 - \frac{k}{n}. \quad (1.1)$$

Із (1.1) слідує

$$\frac{k}{n} = 1 - \omega. \quad (1.2)$$

Ця величина показує, яку частину складають інформаційні символи від загальної кількості символів кодової комбінації. У теорії кодування величину k/n прийнято називати швидкістю передачі [2]. Необхідно мати на увазі, що величина k/n характеризує відносну швидкість передачі інформації. Якщо продуктивність джерела інформації дорівнює H символів за секунду, то швидкість передачі після кодування цієї інформації буде

$$R = \frac{Hk}{n}, \quad (1.3)$$

тому, що в закодованій послідовності тільки k символів з кожних n символів є інформаційними.

Якщо кількість помилок, які необхідно виявити або виправити, велика, потрібен код із великою кількістю контрольних символів. Щоб підтримувати швидкість передачі достатньо високою, необхідно збільшити як загальну кількість символів, так і кількість інформаційних символів у кожному блоці коду. При цьому значно збільшиться тривалість кодових блоків, що спричинить затримки в передачі та прийомі інформації. Чим складніше кодування, тим довша затримка інформації.

1. Кодова відстань. При вивченні коригуючих кодів дуже корисне поняття про кодову відстань або відстань Хемінга. Відстанню d між двома кодовими комбінаціями називають число позицій, в яких ці комбінації мають різні символи. Наприклад, відстань між комбінаціями 0001101 та 1001010 дорівнює чотирьом ($d = 4$). Відстань між різними комбінаціями деякого конкретного коду може бути різною. Так, зокрема, в безнадлишковому первинному натуральному коді ця відстань для різних комбінацій може відрізнятися від одиниці до величини m , рівною значності. Особливу важливість для характеристики коригуючих властивостей коду має мінімальна відстань $d_{\min}$ між кодовими комбінаціями. Цю відстань називають кодовою, або хеміговою.

У ненадлишкових кодах дозволені всі комбінації, тому кодова відстань рівномірна. Тому досить підкрутити один символ, щоб замість надісланої комбінації прийнялася інша дозволена. Щоб код був коригуючим, в нього потрібно внести певну надмірність, яка забезпечить мінімальну відстань між будь-якими двома дозволеними комбінаціями не менше двох.

3. Число виявляємих або виправляємих помилок. Кодова відстань є основним параметром, що характеризує коригуючі здібності даного коду. Якщо код використовується тільки для виявлення помилок кратністю a , то необхідно і достатньо, щоб мінімальна відстань дорівнювала

$$d_{\min} \geq a + 1. \quad (1.4)$$

У цьому випадку ніяка комбінація із a помилок не може перевести одну дозволена кодову комбінацію в іншу дозволена. Таким чином, умова виявлення всіх помилок кратністю a можна записати у вигляді

$$a_{\text{виявл}} \leq d_{\min} - 1. \quad (1.5)$$

Щоб можна було виправити всі помилки кратністю a і менше, необхідно мати мінімальну відстань, що задовольняє умову

$$d_{\min} \geq 2a + 1. \quad (1.6)$$

В такому випадку будь-яка кодова комбінація з числом помилок a відрізняється від кожної дозвальної комбінації не менше ніж в $a + 1$ позиціях. Якщо умова (1.6) не виконана, можливий випадок, коли помилка кратності a спотворить передану комбінацію таким чином, щоб вона стала ближче до однієї з дозволених комбінацій, ніж до переданої, або ж навіть перейшла в іншу дозволена комбінацію. Отже, умова виправлення всіх помилок кратністю не більше a можна записати у вигляді

$$a_{\text{випр}} \leq \begin{cases} \frac{d_{\min} - 1}{2} & \text{при непарному } d_{\min}, \\ \frac{d_{\min}}{2} - 1 & \text{при парному } d_{\min}. \end{cases} \quad (1.7)$$

Коригувальні коди можна одночасно використовувати і для виявлення і для виправлення помилок. У роботі [2] вказується, що мінімальна відстань, при якій можна виправити всі помилки кратністю a або менше і одночасно виявити всі помилки кратністю b або менше, визначається умовою

$$d_{\min} \geq a + b + 1, \quad (1.8)$$

де, у свою чергу, завжди повинна мати місце умова $b > a$.

Покажемо, що код із мінімальною кодовою відстанню $d_{\min} = 3$ дозволяє виявити $a_{\text{виявл}} \leq d_{\min} - 1$ помилок і виправити $a_{\text{випр}} \leq d_{\min} / 2 - 1$ помилок [3].

Якщо при передачі деякої дозволеної кодової комбінації відбулося a помилок, то відстань по Хемінгу між прийнятою та переданою комбінаціями $d = a$. Так як між будь-якими двома дозволеними кодовими комбінаціями відстань по Хемінгу не менша за $d_{\min}$, то кодова комбінація, яка відрізняється від переданої у $a = d_{\min} - 1$ розрядах, є забороненою, і помилки будуть виявлені. Сказане пояснюється рисунком 1.1а.

Для доказу того, що код з відстанню $d_{\min}$ може виправити $a_{\text{випр}} \leq d_{\min} / 2 - 1$ помилок, досить переконатися, що серед дозволених кодових комбінацій є тільки одна, яка могла б перетворитися на прийняту заборонену комбінацію.

Припустимо, що існують дві дозволені кодові комбінації $\vec{b}_1$ і $\vec{b}_2$, які при спотворенні $d_{\min} / 2 - 1$ символів перетворюються в одну й ту ж заборонену кодову комбінацію $\vec{b}^*$. Це означає, що

$$d(\vec{b}_1, \vec{b}^*) = \frac{d_{\min}}{2} - 1 < \frac{d_{\min}}{2} \quad \text{і} \quad d(\vec{b}_2, \vec{b}^*) = \frac{d_{\min}}{2} - 1 < \frac{d_{\min}}{2}.$$

Для того щоб з комбінації $\vec{b}_1$ отримати комбінацію $\vec{b}_2$ необхідно змінити не більше $d(\vec{b}_1, \vec{b}^*) + d(\vec{b}_2, \vec{b}^*)$ символів, так як виконується умова $d(\vec{b}_1, \vec{b}^*) + d(\vec{b}_2, \vec{b}^*) \leq d(\vec{b}_1, \vec{b}_2)$. Оскільки при зробленому допущенні $d(\vec{b}_1, \vec{b}^*) < d_{\min} / 2$ і $d(\vec{b}_2, \vec{b}^*) < d_{\min} / 2$, маємо $d(\vec{b}_2, \vec{b}_1) < d_{\min}$, що суперечить визначенню $d_{\min}$. Отже, при числі помилок $a_{\text{випр}} \leq d_{\min} / 2 - 1$ прийнятій забороненій комбінації може відповідати лише одна дозволена комбінація. Але це означає, що всі $a_{\text{випр}}$

помилки можуть бути виправлені. Правило декодування в цьому випадку можна сформулювати так: якщо прийнята заборонена комбінація, то вважається переданою найближча до неї дозволена комбінація. Сказане пояснюється рисунком 1.1б.

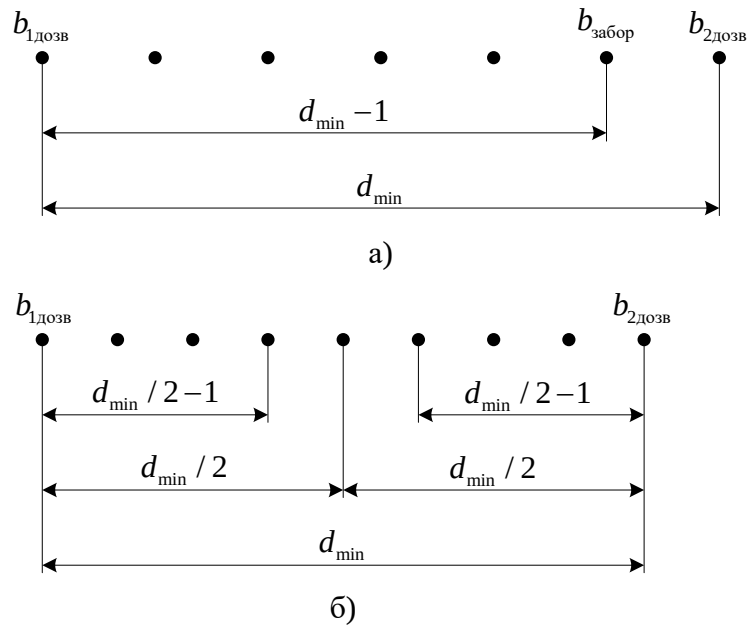


Рисунок 1.1 – До оцінки виявляючої і виправляючої здатності коригуючого коду

1.3 Оцінка коригуючих властивостей лінійних кодів

Питання про мінімальну необхідну надлишковість, при якій код володіє потрібними коригувальними властивостями, є одним з найважливіших у теорії кодування. Це питання досі не отримало повного рішення. У даний час відомий лише ряд верхніх і нижніх оцінок (границь), що встановлюють зв'язок між максимально можливою мінімальною відстанню коригуючого коду і його надлишковістю. Щоб дати уявлення про кількісну сторону цих оцінок, обмежимося коротким викладом двох з них тільки для двійкових коригуючих кодів.

1.3.1 Нижня границя Варшамова-Гільберта

Для великих значень n зазначена границя визначається асимптотичним співвідношенням

$$\frac{m}{n} = 1 - \frac{k}{n} \geq H\left(\frac{d_{\min} - 2}{n - 1}\right), \quad (1.9)$$

де $H(x) = -x \log_2 x - (1 - x) \log_2 (1 - x)$.

З виразу (1.9) слідує

$$m \geq nH\left(\frac{d_{\min} - 2}{n - 1}\right), \quad (1.10)$$

$$\frac{k}{n} \leq 1 - H\left(\frac{d_{\min} - 2}{n - 1}\right). \quad (1.11)$$

Умови (1.10) і (1.11) дозволяють оцінити необхідну кількість контрольних символів, m і відносну швидкість передачі k/n при заданих (або вибраних) значення n і $d_{\min}$.

1.3.2 Верхня границя Хемінга

Цю границю для довічного коригуючого коду можна записати у вигляді

$$\frac{m}{n} \geq H\left(\frac{d_{\min} - 1}{2n}\right). \quad (1.12)$$

Звідси впливають вирази для оцінки числа контрольних символів та відносної швидкості передачі:

$$m \geq nH\left(\frac{d_{\min}-1}{2n}\right), \quad (1.13)$$

$$\frac{k}{n} \leq 1 - H\left(\frac{d_{\min}-1}{2n}\right), \quad (1.14)$$

Співвідношення (1.14) відомо в літературі як верхня границя Хемінга. Крім розглянутої оцінки, відома також оцінка, звана верхньою границею Плоткіна. Для двійкового коду коригуючого границя Плоткіна визначається виразом

$$m \geq 2(d_{\min}-1) - \log_2 d_{\min}, \quad (1.15)$$

який справедливий, якщо $n \geq 2d_{\min}-1$. Для значень $d_{\min}/n \leq 0,3$ різниця між границями Хемінга та Плоткіна досить невелика.

Зауважимо, що для деяких окремих випадків Хемінг вказав більш прості співвідношення, що дозволяють визначивши необхідну кількість контрольних символів

$$m \geq \log_2(n+1), \text{ якщо } d_{\min} = 3, \quad (1.16)$$

$$m \geq \log_2 2n, \text{ якщо } d_{\min} = 4. \quad (1.17)$$

Систематичні коди з $d_{\min} = 3$ і 4 в літературі зазвичай називають кодами Хемінга.

1.4 Можливості підвищення завадостійкості цифрової інформації за допомогою коригуючих кодів

При передачі інформації простим безнадлишковим кодом достовірність прийому в основному визначається типом каналу і видом перешкод, які в ньому діють. У ряді випадків отримана достовірність недостатня. Одним із шляхів її

підвищення є застосування коригуючого коду. Вибір того чи іншого коду і його параметрів залежить від конкретних умов розв'язуваної задачі: необхідної достовірності прийому, допустимої відносної швидкості передачі, виду помилок в каналі і т. п.

У теорії завадостійкого кодування прийнято розрізняти два види основних помилок: статистично незалежні, тобто некорельовані помилки; статистично залежні, тобто корельовані помилки (помилки типу пачок або пакетів).

Відома велика кількість математичних моделей, що дозволяють описати закономірності виникнення помилок у різних каналах передачі цифрової інформації. Розгляд питань застосування коригуючих кодів для підвищення достовірності передачі цифрової інформації з урахуванням різних моделей помилок представляє складне завдання, особливо, якщо помилки виникають «пачками». При цьому для сукупності певних умов потрібно певний код; наприклад, якщо код призначений для виправлення тільки одиночних або подвійних помилок, то його застосування в каналах із завмиранням безкорисне. Дослідження подібних питань представляє собою велику самостійну проблему.

Основна мета подальшого розгляду полягає в тому, щоб проілюструвати на простому прикладі можливість підвищення завадостійкості за допомогою коригувального коду та з'ясувати, за яких умов застосування такого коду доцільно. При розгляді будемо вважати, що помилки в каналі незалежні, а сам канал симетричний. Такі умови характерні для гаусівських каналів, в яких застосовуються посилки сигналів з однаковими енергіями.

При незалежних помилках симетричний канал можна повністю охарактеризувати єдиним параметром - імовірністю помилкового прийому символу. Всі співвідношення, що характеризують розподіл помилок, при цьому виявляються простими. Однак оцінка коригувальних можливостей коду в такому простому випадку має наближений характер, і її треба розглядати лише як орієнтовну.

Як відомо, прийом цифрової інформації може здійснюватися символ за символом або в цілому. У першому випадку кожен пакет сигналу, що відповідає

певному символу кодової комбінації, окремо аналізується в приймальному пристрої (отриманий символ за символом або елемент за елементом), а потім вирішується, яка з можливих кодових комбінацій повинна бути призначена прийнятим послідовність символів. У другому випадку вся прийнята кодова комбінація (прийом в цілому) відразу аналізується в приймальному пристрої. Цей аналіз припускає, що кількість оптимальних (або неоптимальних) фільтрів або кореляторів у приймальному пристрої повинна дорівнювати кількості (дозволених) використовуваних кодових комбінацій.

При посимвольному прийомі умови доцільності застосування коригуючого коду більш жорсткі, ніж при прийомі в цілому, оскільки завадостійкість прийому в першому випадку нижча, ніж у другому. Посимвольний прийом допускає порівняно просту реалізацію і тому, незважаючи на більш низьку завадостійкість, застосовується значно ширше, ніж прийом у цілому. З урахуванням сказаного далі обмежимося розглядом тільки посимвольного прийому кодових комбінацій. При цьому крім прийнятих вище припущень про симетричності каналу і незалежності помилок будемо вважати, що посимвольний прийом здійснюється оптимально.

Можливості підвищення завадостійкості цифрової інформації за допомогою коригуючих кодів розглянемо на конкретному прикладі.

Нехай некодована передача має наступні характеристики: гаусівський шум, $P_r / N_0 = 43776$ – відношення прийнятої потужності P_r сигналу до спектральної густини завади N_0 , швидкість передачі даних $R = 4800$ біт/с. Для випадку з кодуванням передбачається використання коду з корекцією помилок (15, 11), що надає можливість виправлення будь-яких одnobітових моделей помилок коду в блоці з 15 біт. Будемо вважати, що демодулятор приймає жорсткі рішення і передає демодульований код прямо на декодер, який, у свою чергу, визначає вихідне повідомлення.

Для розв'язання цієї задачі використовуємо рівняння для визначення імовірності символьних помилок в каналі без кодування та в каналі із кодуванням відповідно

$$p_u = \Omega\left(\sqrt{\frac{2E_b}{N_0}}\right) \quad (1.18)$$

і

$$p_c = \Omega\left(\sqrt{\frac{2E_c}{N_0}}\right), \quad (1.19)$$

де $\Omega(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^\infty \exp\left(-\frac{u^2}{2}\right) du$ – гаусівський інтервал помилки; E_b / N_0 – відношення бітової енергії до спектральної густини потужності завади; E_c / N_0 – відношення енергії кодованого сигналу до спектральної потужності завади.

Розглянемо два випадки: без кодування та з ним:

1) Без кодування;

$$\frac{E_b}{N_0} = \frac{P_r}{N_0} \cdot \frac{1}{R}; \quad (1.20)$$

$$\frac{E_b}{N_0} = 43776 \cdot \frac{1}{4800} = 9,12 \text{ (9,6 дБ)}$$

Для $x > 3$ можна використовувати наступне наближення

$$\Omega(x) \approx \frac{1}{x\sqrt{2\pi}} \exp\left(\frac{-x^2}{2}\right).$$

Також $\Omega(x)$ можна визначити по відповідних таблицях інтегралу Гауса.

$$p_u = \Omega\left(\sqrt{\frac{2E_b}{N_0}}\right) = \Omega(\sqrt{18,24}) = 1,02 \cdot 10^{-5}. \quad (1.21)$$

Імовірність того, що некодований блок повідомлень P_M^u буде прийнято з помилкою, дорівнює 1 мінус імовірність того, що кожен біт буде детектовано правильно. Таким чином

$$P_M^u = 1 - (1 - p_u)^k = 1 - (1 - 1,02 \cdot 10^{-5})^{11} = 1,12 \cdot 10^{-4}, \quad (1.22)$$

де $(1 - p_u)^k$ – імовірність того, що кожен біт буде прийнято правильно.

2) З кодуванням.

Припустимо, що розглядається система зв'язку реального часу, де затримки неприпустимі, а швидкість передачі каналних символів, або швидкість передачі кодованих бітів, дорівнює $R_c = n / k$ швидкості некодованої передачі.

$$R_c = 4800 \cdot \frac{15}{11} = 6545 \text{ біт/с}$$

$$\frac{E_c}{N_0} = \frac{P_r}{N_0} \cdot \frac{1}{R_c} = 43776 \cdot \frac{1}{6545} = 6,69 \text{ (8,3 дБ)}$$

Для кожного кодового біта значення E_c / N_0 менше, ніж у випадку з некодованими бітами даних. Це пояснюється тим, що швидкість передачі каналних бітів зросла, а потужність передавача при цьому не змінилася.

$$p_c = \Omega\left(\sqrt{\frac{2E_c}{N_0}}\right) = \Omega(\sqrt{13,38}) = 1,36 \cdot 10^{-4}. \quad (1.23)$$

Порівнюючи вирази (1.21) і (1.23), можна побачити, що внаслідок внесення надлишковості ймовірність помилки в каналному біті зменшилася. За той же час і з тими ж номінальними потужностями потрібно детектувати більше

число біт, підвищення продуктивності в результаті кодування ще не очевидно

Обчислимо тепер імовірність появи помилок у декодованому повідомленні P_M^c

$$P_M^c = \sum_{j=a+1}^n C_n^j p_c^j (1-p_c)^{n-j}, \quad (1.24)$$

де a – максимальна кількість помилок, що код може виправити; у нашому випадку $a=1$;

$$C_n^j = \frac{n!}{j!(n-j)!}.$$

При малій імовірності помилки вираз (1.24) можна наближено замінити першим членом суми

$$P_M^c \approx C_n^{a+1} p_{1к}^{a+1} (1-p_c)^{n-a-1};$$

$$P_M^c \approx C_{15}^2 p_c^2 (1-p_c)^{15-2} = \frac{15!}{2 \cdot 13!} (1,36 \cdot 10^{-4})^2 (1-1,36 \cdot 10^{-4})^{13} = 1,96 \cdot 10^{-6}. \quad (1.25)$$

Порівнюючи вирази (1.22) і (1.25), можна побачити, що внаслідок застосування коду з корекцією помилок імовірність помилки повідомлення була зменшена приблизно в 58 разів. Даний приклад ілюструє типову поведінку систем зв'язку реального часу при використанні кодування з корекцією помилок. Введення надлишковості означає збільшення швидкості передачі сигналів, зменшення енергії, що припадає на канальний символ, і збільшення числа помилок поза демодулятора. Перевагою такого підходу є те, що декодер (при розумному значенні E_b / N_0) дозволяє з запасом компенсувати слабку продуктивність демодулятора.

При протяжних кодах ($n \gg 1$) розрахунки за оцінкою ефективності кодів стають громіздкими. Для орієнтовних оцінок можна використовувати співвідношення

$$\frac{k}{n} > \frac{1}{d_{\min}}. \quad (1.26)$$

Якщо ця умова не виконана, то застосування коригуючого коду призведе до зменшення завадостійкості.

1.5 Компроміси при виборі завадостійкого кодування

Кодування з корекцією помилок можна розглядати як інструмент, реалізуючий різні компроміси системи. На рисунку 1.2 наведено порівняльний вигляд двох кривих, що описують залежність достовірності передачі від відношення E_b / N_0 . Одна крива відповідає звичайній схемі модуляції без кодування, а друга представляє таку ж модуляцію, але вже з використанням кодування. Нижче детально розглянуто чотири компроміси, що мають місце при каналному кодуванні.

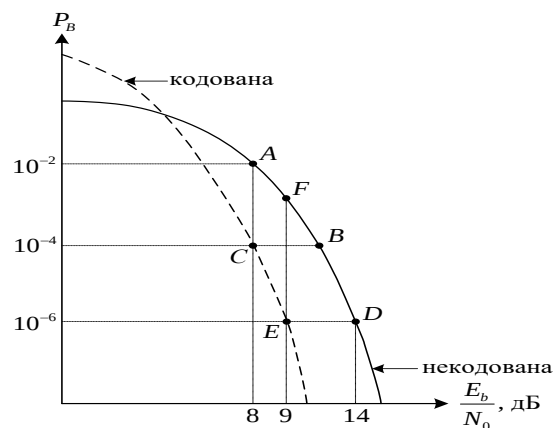


Рисунок 1.2 – Порівняння типової достовірності передачі при використанні схеми з кодуванням і схеми без кодування

1.5.1 Компроміс 1: достовірність або смуга пропускання

Уявімо собі, що розроблена проста, недорога система мовного зв'язку, котра була встановлена у замовника. Система не використовує кодування з

корекцією помилок. Нехай робоча точка системи збігається з точкою A на рис.

1.2 ($E_b / N_0 = 8$ дБ, $P_B = 10^{-2}$). Після декількох випробувань у замовника з'являються скарги на якість зв'язку; він вважає, що імовірність появи бітової помилки повинна бути не вище 10^{-4} . Звичайним способом задоволення вимоги замовника є зрушення робочої точки з точки A , наприклад, в точку B (рис. 1.2). У той же час допустимо, що E_b / N_0 дорівнює 8 дБ, – це максимальне значення, можливе в даній системі. З рис. 1.2 бачимо, що один із можливих виходів з ситуації (компромісів) – це зсув робочої точки з точки A в точку C . Іншими словами, «з'їхавши» по вертикалі вниз в точку C на кривій, що відповідає кодованому випадку, можна надати замовнику більш високу достовірність передачі даних.

Проте крім введення нових компонентів (кодера і декодера), це призведе до збільшення необхідної смуги пропускання. Кодування з корекцією помилок вимагає надлишковості. Якщо припустити, що зв'язок буде відбуватися в реальному часі (так що повідомлення не можуть затримуватися), додавання надлишкових бітів потребує збільшення швидкості передачі і, звичайно ж, більшої смуги пропускання.

1.5.2 Компроміс 2: потужність або смуга пропускання

Припустимо, замовнику встановлена система без кодування з робочою точкою, яка співпадає з точкою D на рис. 1.2 ($E_b / N_0 = 14$ дБ, $P_B = 10^{-6}$). Замовник не має претензій до якості зв'язку, але за допомогою даного устаткування важко отримати необхідні $E_b / N_0 = 14$ дБ. Іншими словами, обладнання постійно працює на межі відмови. Якщо знизити вимоги до E_b / N_0 або потужності, то проблем з надійністю обладнання можна уникнути. У контексті рис. 1.2 дані заходи виглядають як зсув робочої точки з D в E . Іншими словами, необхідне значення E_b / N_0 можна отримати, якщо застосувати кодування з корекцією помилок. Таким чином, при фіксованій якості зв'язку

компроміс полягає в отриманні більшої продуктивності при зниженні вимог до потужності або E_b / N_0 . За це доводиться платити тим же, чим і в минулий раз, – більшою смугою пропускання.

Зауважимо, що в системах, де не використовується зв'язок в реальному часі, застосування кодування з корекцією помилок дасть дещо відмінні результати. Підвищення достовірності передачі або пониження споживаної потужності (подібно описаним вище випадкам 1 або 2) буде досягатися за рахунок збільшення часу затримки, а не за рахунок розширення смуги пропускання.

1.5.3 Ефективність кодування

Приклад компромісних рішень дозволяє знизити E_b / N_0 з 14 до 9 дБ при підтримці тієї ж достовірності передачі. У контексті цього прикладу і за допомогою рис. 1.2 ми можемо ввести поняття ефективності кодування (coding gain). Отже, при даній ймовірності бітової помилки ефективність кодування визначається як зменшення E_b / N_0 , що досягається при використанні кодування. Ефективність кодування G , як правило, виражається в децибелах

$$G = \left(\frac{E_b}{N_0} \right)_u - \left(\frac{E_b}{N_0} \right)_c, \text{ дБ} \quad (1.27)$$

Тут $(E_b / N_0)_u$ і $(E_b / N_0)_c$, – необхідні некодовані і кодовані значення E_b / N_0 .

1.5.4 Компроміс 3: швидкість передачі даних або смуга пропускання

Нехай розроблена система без кодування з робочою точкою, яка співпадає з точкою D на рис. 1.2 ($E_b / N_0 = 14$ дБ, $P_B = 10^{-6}$). Припустимо, що з якістю

даних немає ніяких проблем і немає особливої потреби у зниженні потужності. Однак у замовника зросли вимоги до швидкості передачі даних. Нагадаємо в зв'язку з цим рівняння (1.20)

$$\frac{E_b}{N_0} = \frac{P_r}{N_0} \cdot \frac{1}{R}.$$

Якщо в системі нічого не змінювати, крім швидкості передачі даних R , то з наведеного вище виразу видно, що це призведе до зменшення значення E_b / N_0 і переміщення робочої точки вгору, наприклад з точки D у деяку точку F . А тепер уявімо, що вона «з'їжджає» вниз по вертикалі в точку E на криву, яка представляє кодовану модуляцію. Зростання швидкості передачі даних погано відбивається на якості їх передачі. У той же час застосування кодування з корекцією помилок відновлює втрачену якість, зберігаючи при цьому колишній рівень потужності (P_r / N_0). Отже, значення E_b / N_0 знижене, але код сприяє отриманню тієї ж імовірності помилки при зниженому значенні E_b / N_0 . Ціна такого збільшення швидкості передачі даних або збільшення ємності, як і раніше, – це збільшення смуги пропускання.

1.5.5 Компроміс 4: пропускна здатність або ширина смуги пропускання

Компроміс 4 схожий з компромісом 3 в тому, що обидва дають зростання пропускної здатності. Метод множинного доступу, іменований множинним доступом з кодовим розділенням каналів (code-division multiple access – CDMA) – це один зі стандартів, які використовуються в стільниковому зв'язку. При CDMA, коли всі клієнти спільно використовують загальний спектр частот, кожен клієнт є джерелом перешкод для інших користувачів в тій же комірці або сусідніх. Тому пропускна здатність (максимальне число клієнтів) комірки обернено пропорційна значенню E_b / N_0 . При цьому зниження E_b / N_0 дає в результаті збільшення пропускної здатності; код дозволяє знизити потужності, що використовуються кожним клієнтом, що, у свою чергу, призводить до

збільшення загальної кількості клієнтів. І знову платою за це є збільшення смуги пропускання. Але в цьому випадку збільшення смуги сигналу, що отримується при переході до кодування з корекцією помилок, незначне, в порівнянні з істотним збільшенням смуги пропускання, одержуваних при розширенні спектра сигналу; тому при передачі даних воно не робить впливу на смугу пропускання.

У кожному зі згаданих вище компромісів передбачалося використання «традиційного» коду з надлишковими бітами і більш швидка передача сигналів (для систем зв'язку реального часу); отже, в кожному разі платою було розширення смуги передачі. У той же час існують методи корекції помилок, що називаються решітковим кодуванням (trellis-coded modulation), які не вимагають збільшення швидкості передачі сигналів або розширення смуги частот для систем зв'язку реального часу.

1.6 Коди Хемінга

Ці коди дозволяють виправляти всі одиночні помилки (при $d_{\min} = 3$), а також виправляти всі одиночні помилки і виявляти всі подвійні помилки (при $d_{\min} = 4$), але не виправляти їх. Розглянемо код Хемінга, що виправляє всі одиночні помилки.

В якості вихідних даних беруть двійковий код на всі сполучення з числом інформаційних символів k до якого додають контрольні символи m . Таким чином, загальна довжина закодованою комбінації $n = k + m$.

Розглянемо послідовність кодування і декодування по Хемінгу.

1.6.1 Кодування

Визначення числа контрольних символів. Для цього можна скористатися такими міркуваннями. При передачі по каналу з шумом будь-який з n символів коду може бути або спотворений, або слово передане без спотворень. Отже, може бути $n + 1$ варіантів спотворень (також включаючи передачу без

спотворень). Використовуючи контрольні символи, необхідно розрізнити всі $n + 1$ варіантів. За допомогою контрольних символів m можна описати 2^m подій. Значить, повинна бути виконана умова

$$2^m \geq n + 1 = k + m + 1 \quad (1.28)$$

У таблиці 1.1 представлена залежність між k і m , отримана з цієї нерівності.

Таблиця 1.1 – Число контрольних символів m в коді Хемінга залежно від числа інформаційних символів k

k	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
m	2	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	5	5

Розміщення контрольних символів. У принципі місце розташування контрольних символів не має значення; їх можна приписувати і перед інформаційними символами, і після них, і чергуючи інформаційні символи з контрольними. Проте довільне розташування контрольних символів затрудняє перевірку прийнятого коду. Для зручності виявлення спотвореного символу доцільно розміщувати їх на місцях, кратних степеня 2, тобто на позиціях 1, 2, 4, 8 і т. д. Інформаційні символи розташовуються на місцях, що лишилися. Тому, наприклад, для семиелементної закодованої комбінації можна записати

$$m_1, m_2, k_4, m_3, k_3, k_2, k_1, \quad (1.29)$$

де k_4 – це старший (четвертий) розряд вихідної комбінації двійкового коду, який підлягає кодуванню; k_1 – це молодший (перший) розряд.

Який із символів повинен стояти на контрольній позиції (1 або 0) виявляють за допомогою перевірки на парність. Розглянемо це на прикладі такої комбінації (1.10).

У таблиці 1.2 записані всі кодові комбінації (виключаючи нульову) для трьохрозрядного двійкового коду на всі поєднання і поруч праворуч, зверху вниз проставлені символи комбінації коду Хемінга записані в послідовності (1.29).

Таблиця 1.2 – Складання перевірконої таблиці для коду Хемінга

Розряди двійкових чисел			Символи коду	Розряди двійкових чисел			Символи коду
3 (k_3)	2 (k_2)	1 (k_1)		3 (k_3)	2 (k_2)	1 (k_1)	
0	0	1	m_1	1	0	0	m_3
0	1	0	m_2	1	0	1	k_3
0	1	1	k_4	1	1	0	k_2
				1	1	1	k_1

З табл. 1.2 складається таблиця 1.3, в якій виписані символи в трьох рядках у наступній закономірності. У перший рядок записуються символи, проти яких проставлені одиниці в молодшому (першому) розряді комбінації двійкового коду в табл. 1.1.

Таблиця 1.3 –Перевірочна таблиця для коду Хемінга

m_1	$\oplus k_4$	$\oplus k_3$	$\oplus k_1$
m_2	$\oplus k_4$	$\oplus k_2$	$\oplus k_1$
m_3	$\oplus k_3$	$\oplus k_2$	$\oplus k_1$

Так, в комбінаціях 001, 011, 101 і 111 одиниці знаходяться в молодших розрядах, тому в першому рядку табл. () записується символ m_1 , проти якого стоїть одиниця. Контрольний символ m_2 не записується в першу перевірку, так як числі 010 у молодшому розряді містить не 1, а 0. Далі в перший рядок записується символ k_4 , так як комбінація 011 на кінці містить 1. Символ m_3 в перший рядок не записується, так як комбінація 100 в першому розряді містить 0. У перший рядок табл. 1.3 запишуться символи k_3 і k_1 внаслідок того, що комбінації 101 і 111 в першому розряді мають одиниці.

У другий рядок перевірочних коефіцієнтів (табл. 1.3) записуються символи, проти яких проставлені одиниці у другому розряді двійкового коду.

Так, комбінації 010, 011, 110 і 111 містять, в другому розряді 1, тому другий рядок перевірочних коефіцієнтів складається з символів $m_2, k_4, k_2, i k_1$.

У третій рядок записуються символи, проти яких проставлені одиниці в третьому розряді двійкового коду ($m_3, k_3, k_2 i k_1$).

У разі кодування більш довгих кодових комбінацій табл. та 1.3 повинні бути розширені, тому що повинні бути записані четвертий, п'ятий і т. д. рядки перевірочних коефіцієнтів. Для цього потрібно лише збільшити число розрядів двійкового коду в табл. 1.1. Так, для комбінації $m_1, m_2, k_{11}, m_3, k_{10}, k_9, k_8, m_4, k_7, k_6, k_5, k_4, k_3, k_2, k_1$ табл. 1.3 буде складатися з чотирьох рядків.

Перший рядок – $m_1, k_{11}, k_{10}, k_8, k_7, k_5, k_3, k_1$, в якому символи слідуєть через одну позицію, як і одиниці в першому розряді двійкового коду, тобто перевіряються символи на позиціях 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13 і 15 (на позиції 1 стоїть символ m_1 , на позиції 3 – символ k_{11} і т. д.).

Другий рядок – $m_2, k_{11}, k_9, k_8, k_6, k_5, k_2, k_1$, в якому символи слідуєть через дві позиції по дві поспіль починаючи з другої, як і одиниці в другому розряді двійкового коду, тобто перевіряються символи на позиціях 2, 3, 6, 7, 10, 11, 14, і 15 (на позиції 2 стоїть символ m_2 , на позиції 3-символ k_{11} і т. д.).

Третій рядок – $m_3, k_{10}, k_9, k_8, k_4, k_3, k_2, k_1$, в якому символи слідуєть через чотири позиції по чотири поспіль, як і одиниці в четвертому розряді двійкового коду, тобто перевіряються символи на позиціях 4, 5, 6, 7, 12, 13, 14, 15.

Четвертий рядок – $m_4, k_7, k_6, k_5, k_4, k_3, k_2, k_1$, в якому символи слідуєть через вісім позицій по вісім поспіль, як і одиниці в четвертому розряді двійкового коду, тобто перевіряються символи на позиціях 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15. Кількість перевірок, а значить, і кількість рядків у табл. 1.3 дорівнює кількості контрольних символів m .

Склад контрольних символів за допомогою перевірок визначають наступним чином. Підсумовують інформаційні символи, що входять в кожному рядок табл. 1.3; якщо сума одиниць у цьому рядку парна, то значення символу

m , що входить в цей рядок, дорівнює 0, якщо непарна, то 1. За першим рядком табл. 1.3 визначають значення символу m_1 , по другому – m_2 , за третім – m_3 .

1.6.2 Декодування

Для перевірки правильності поєднання знову використовується метод парності. Якщо прийняти комбінацію без спотворень, то сума одиниць за модулем 2 дорівнюватиме нулю. Якщо будь-який знак спотворено, сума може дати одиницю при перевірці. Результатом кожної перевірки є двійкове число, яке представляє місце спотворення. Наприклад, перша і друга перевірки показують наявність спотворень, а третя перевірка підсумовує нуль. Відзначимо число $011 = 3$, яке означає, що в третьому символі кодової комбінації, включаючи також контрольний символ (рахуючи зліва направо), відбувається спотворення, тому цей символ необхідно виправити до правильного значення. Протилежним є 1 помножити на 0 або 0 помножити на 1. Пізніше це відхиляється символом керування, розташованим у попередньо відомому місці.

Припустимо, що потрібно передати комбінацію 1101, тобто $k=4$, відповідно до кодування Хеммінга. Згідно з табл. 3.9, кількість контрольних символів $m = 3$, і розміщуються вони на позиціях 1, 2 і 4, а інформаційні – на позиціях 3, 5, 6 і 7. Цю послідовність у загальному вигляді можна записати так

$$\begin{array}{cccccccc} m_1 & m_2 & k_4 & m_3 & k_3 & k_2 & k_1 & \\ ? & ? & 1 & ? & 1 & 0 & 1 & \end{array} \quad (1.30)$$

Для визначення контрольних символів заповнюємо табл. 1.3 значеннями з послідовності (1.30). За отриманою таблицею 1.4 робимо перевірку на парність.

Таблиця 1.4 – Приклад складання таблиці для коду Хемінга

$$\begin{array}{r} m_1 \oplus 1 \oplus 1 \oplus 1 \\ \hline m_2 \oplus 1 \oplus 0 \oplus 1 \\ \hline m_3 \oplus 1 \oplus 0 \oplus 1 \end{array}$$

Для того щоб перший рядок після проставлення в нього значення символу m дав в сумі парне число, необхідно, щоб $m_1 = 1$ ($m_1 \oplus k_4 \oplus k_3 \oplus k_1 = 1$; $1 \oplus 1 \oplus 1 \oplus 1 = 0$). Другий рядок у сумі дасть парне число, якщо $m_2 = 0$ ($0 \oplus 1 \oplus 0 \oplus 1 = 0$). Так само можна визначити, що $m_3 = 0$. Таким чином, в лінію буде посланий код 1010101.

Припустимо, що при передачі перешкода спотворила один із символів, і був прийнятий код 1010111. Для знаходження номера помилки прийнятого символу знову використовують метод перевірки на парність за табл. 1.3. Для цього запишемо

$$\begin{array}{ccccccc} m_1 & m_2 & k_4 & m_3 & k_3 & k_2 & k_1 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 \end{array}$$

За отриманою послідовністю символів і за табл. 1.3 складаємо таблицю 1.5. Після заповнення цієї таблиці сума символів першого рядка виявилася парною ($1 \oplus 1 \oplus 1 \oplus 1 = 0$), тому для парності праворуч у першому рядку табл. 1.5 приписуємо нуль. Сума символів другого рядка дорівнює трьом, тому праворуч для парності додаємо одиницю. Для отримання парності необхідно приписати одиницю також до третього рядку.

Таблиця 1.5 – Приклад декодування коду Хемінга

$$\begin{array}{ccc} 1 \oplus 1 \oplus 1 \oplus 1 & \begin{array}{c} 0 \\ 1 \\ 1 \end{array} & \uparrow \\ 0 \oplus 1 \oplus 1 \oplus 1 & & \\ 0 \oplus 1 \oplus 1 \oplus 1 & & \end{array}$$

Усі три виділені символи дають двійкове число 110 (а не 011!), оскільки перша перевірка виконується на молодших бітах двійкового коду. Двійкове число 110 представляє десяткове число 6. Це означає, що 6-й символ зліва направо спотворено, а символ 1 потрібно виправити на 0. Оскільки позиція

контрольного символу відома заздалегідь, після корекції контрольний символ відкидається, і виходить передана кодова комбінація, що складається з одного інформаційного символу 1101.

Тому, щоб підвищити перешкодостійкість коду, необхідно надсилати додаткові символи керування, щоб збільшити довжину кодової комбінації, що призводить до надлишкових кодових комбінацій, які безпосередньо не використовуються для передачі інформації. Отже, семирозрядний код в принципі забезпечує передачу $2^7 = 128$ кодових комбінацій, проте кількість інформаційних символів у семирозрядному коді Хемінга $k = 4$, тобто корисних інформаційних посилок всього $N_k = 2^4 = 16$. Решта 112 кодових комбінацій зі 128 призначені для забезпечення завадостійкості коду і є забороненими.

Раніше було розглянуто код Хемінга з виправленням одиночної помилки. Такі коди застосовують у тому випадку, якщо статистика показує, що найбільш імовірні поодинокі викривлення в каналі зв'язку. Однак якщо імовірність спотворення двох символів в кодовій комбінації велика, то доцільно застосування коду Хемінга, що дозволяє виправити поодинокі помилки, якщо була тільки одиночна помилка, і, крім того, виявити подвійні помилки, якщо були дві помилки.

Цей код будується на базі коду, що виправляє поодинокі помилки, шляхом додавання додаткового контрольного символу до закодованої комбінації, якій дозволяє проводити перевірку на парність всієї комбінації. Тому контрольний символ повинен бути рівний одиниці, якщо число одиниць у закодованій комбінації непарне, і нулю, якщо число одиниць парне.

У таблиці 1.6 наводиться кілька комбінацій 4-розрядного двійкового коду, закодованих для виправлення одиночної помилки, з додаванням додаткового контрольного розряду $m_{\text{доп}}$ з метою перевірки цих комбінацій на парність.

Таблиця 1.6 – Приклади кодів Хемінга

Десятковий еквівалент	Позиції, розряди і позначення коду							$m_{\text{доп}}$
	2^0	2^1		2^2				
	m_1	m_2	k_4	m_3	k_3	k_2	k_1	
1	1	1	0	1	0	0	1	0
2	0	1	0	1	0	1	0	1
3	1	0	0	0	0	1	1	1
4	1	0	0	1	1	0	0	1
5	0	1	0	0	1	0	1	1
6	1	1	0	0	1	1	0	0
7	0	0	0	1	1	1	1	0
8	1	1	1	0	0	0	0	1

При перевірці прийнятої комбінації можливі наступні варіанти:

1) помилок немає (прийом вірний); це показують як загальна перевірка на парність, так і часткові перевірки (для даного коду часткових перевірок три), в процесі яких $m_{\text{доп}}$ відкидається;

2) одиночна помилка; загальна перевірка на парність показує наявність помилки (сума одиниць за модулем 2, що входять до кодової комбінації, не дає нуля), а часткові перевірки комбінації без розряду $m_{\text{доп}}$ вказують на номер спотвореного символу (нульове значення числа, отримане в результаті перевірки, свідчить про спотворення в додатковій контрольній позиції);

3) дві помилки; загальна перевірка на парність вказує на відсутність помилок, а часткові перевірки – на наявність помилок (вказується номер позиції, де нібито виникла помилка, проте її не слід виправляти, а лише констатувати наявність двох помилок).

Додавання додаткового контрольного символу до закодованої для виправлення одиночної помилки кодової комбінації збільшує мінімальну кодову відстань з $d_{\min} = 3$ до $d_{\min} = 4$, що впливає з рівняння (1.8), так як $a = 1$, $b = 2$, а $d_{\min} = 2 + 1 + 1 = 4$.

1.7 Висновки до розділу

Застосовуючи для передачі цифрової інформації код, для якого використані не всі можливі комбінації, а лише окремі з них, можна підвищити завадостійкість прийому. Такі коди називають надлишковими, або коригувальними. Коригувальні властивості надлишкових кодів залежать від правила побудови цих кодів, що визначає їх структуру, і параметрів коду (тривалості символів, числа розрядів, надлишковості і т. п.).

Кодування з корекцією помилок можна розглядати як інструмент, реалізуючий різні компроміси системи. У розділі було детально розглянуто чотири компроміси, що мають місце при канальному кодуванні.

Також було розглянуто різновидність завадостійких кодів – коди Хемінга. Їх контрольні розряди формуються шляхом додавання по модулю 2 певних комбінацій інформаційних розрядів. Дані коди дозволяють виправляти всі одиночні помилки (при $d_{\min} = 3$), а також виправляти всі одиночні помилки і виявляти всі подвійні помилки (при $d_{\min} = 4$), але не виправляти їх.

2 РОЗРОБЛЕННЯ СТРУКТУРНОЇ ТА ПРИНЦИПОВОЇ ЕЛЕКТРИЧНИХ СХЕМ І КОНСТРУКЦІЇ РАДІОЕЛЕКТРОННОГО ПРИСТРОЮ ЗАВАДОСТІЙКОГО КОДУВАННЯ

2.1 Розробка структурної схеми пристрою кодування коду Хемінга

Узагальнена структурна схема пристрою кодування коду Хемінга (7, 4) представлена на рисунку 2.1.

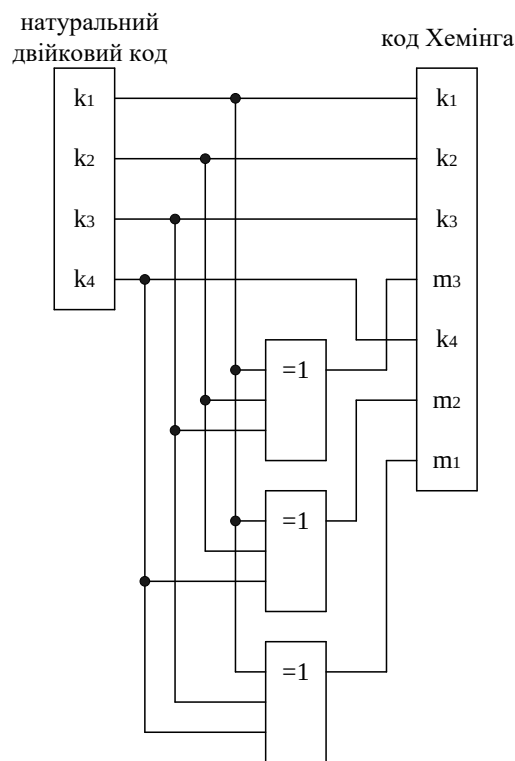


Рисунок 2.1 – Узагальнена структурна схема пристрою кодування коду Хемінга (7, 4)

У даній схемі інформаційна комбінація $k_1...k_4$ та вихідна сформовані паралельним кодом. Проте для забезпечення дослідження цього коду необхідно представити його у послідовному вигляді. Ця умова повинна бути врахована при розробці розширеної структурної схеми. Тобто передбачити пристрій

об'єднання вихідних паралельних імпульсів, зсунутих у часі. Цю функцію виконує розподільник каналних імпульсів

Структурна схема, яка подана в [7] задовольняє дані вимоги. Вона представлена на рисунку 2.2.

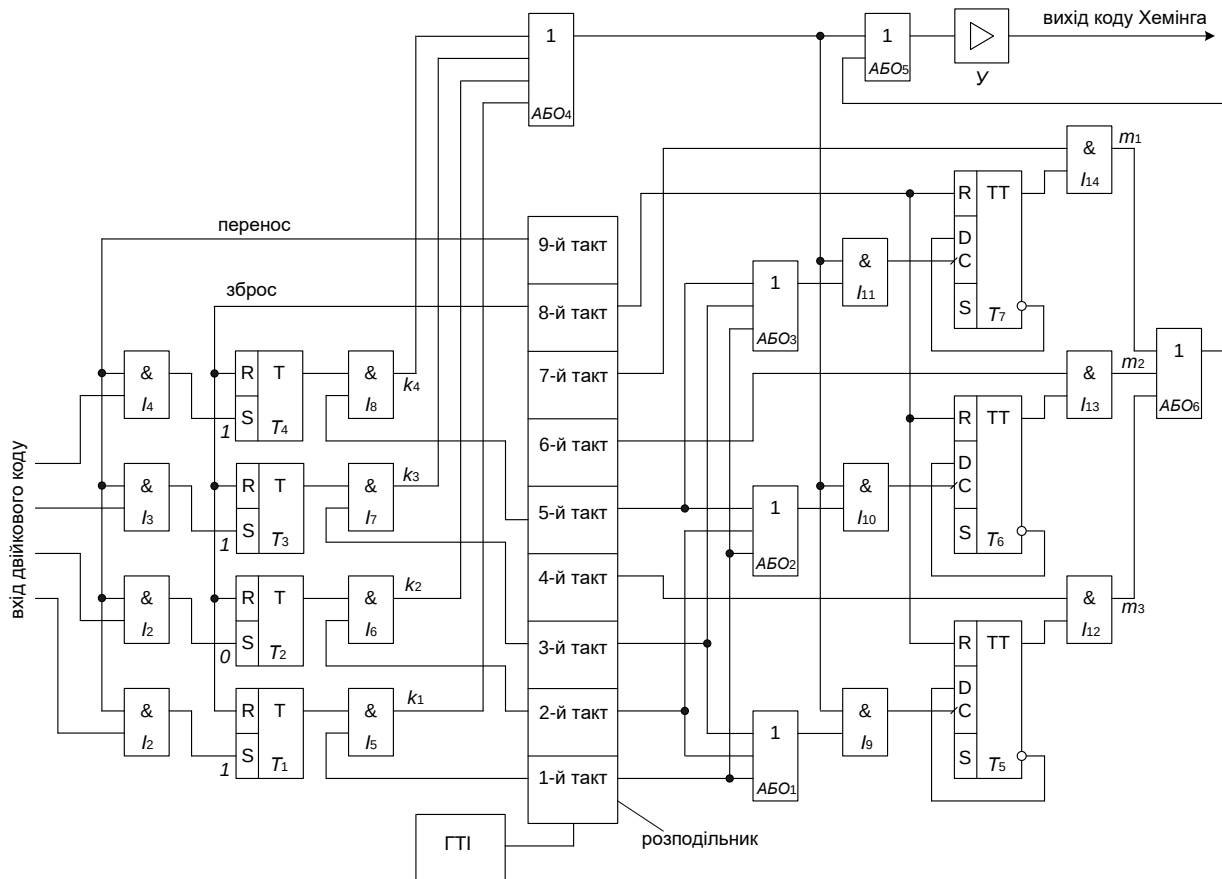


Рисунок 2.2 – Структурна схема пристрою кодування коду Хемінга

Принцип побудови кодувального пристрою не залежить від числа інформаційних розрядів переданого коду. Тому розглянемо схему кодувального пристрою (рис. 2.2) для числа інформаційних символів $k=4$, контрольних символів $m=3$, тобто $n=7$, хоча вона без принципових змін може бути використана для кодування будь-якого числа k за рахунок збільшення числа елементів схеми. Тригери $T_1 - T_4$ виконують роль комірок пам'яті, тригери $T_1 - T_4$ призначені для визначення складу контрольних символів; їх три, так як число контрольних символів також дорівнює трьом для 4-розрядного коду.

Кодування починається з перетворення послідовного коду, що підлягає передачі, в паралельний. На рисунку як приклад показано запис кодової комбінації 1101 тригерів $T_5 - T_7$ через елементи $I_1 - I_4$. Запис здійснюється при подачі імпульсу з останньої комірки 9 розподільника на ці елементи, які одночасно відкриваються, так як на них відразу подаються символи всіх розрядів з кодуєчого диска. Кодування починається з молодших розрядів, тому під номерами комірок розподільника проставлені символи, що посиляються цими комірками.

Розподільник замкнутий у кільце, і після комірки 9 вмикається комірка 1 (такт 1). Так як на елемент I_5 подається також постійний потенціал з тригера T_1 , тобто 1, то цей елемент посиляє 1 в лінію (через елементи $АБО_4$, $АБО_5$, і підсилювач $У$). Послідовність посилення символів коду в лінію зв'язку, а також черговість роботи вихідних тригерів $T_5 - T_7$ показані в таблиці 4.1.

Імпульс з комірки розподільника надсилається також на елементи $АБО_1 - АБО_3$, до яких підведені виходи з комірок розподільника, що дозволяють при логічному додаванні імпульсів, що приходять із цих комірок, утворювати контрольні символи. Наприклад, на елемент $АБО_1$ подаються символи k_1 , k_2 і k_3 , що відповідає визначенню контрольного символу m_3 , так як контрольні символи є сумою за модулем 2 відповідних інформаційних символів. Зауважимо, що найпростішими лічильниками за модулем 2 послідовного типу є лічильні тригери, які й застосовані у схемі.

Робота кодера відбувається таким чином. Імпульс з комірки 1 розподільника поступає на всі схеми АБО і через них на елементи $I_9 - I_{11}$, на які також приходить імпульс з елемента I_5 через елемент $АБО_4$. Тому з елементів $I_9 - I_{11}$ і знімається імпульс на тригери $T_5 - T_7$ і перемикає їх, що і показано в рядку, що відповідає такту 1 (див. табл. 2.1). У такті II імпульс з комірки 2 розподільника поступає на елемент I_6 , з якого, однак, нічого не знімається, тому що з тригера T_2 на елемент $АБО_4$ надходить сигнал 0. Це означає, що в лінію зв'язку надходить 0, відповідний інформаційному символу k_2 . І так як з елемента I_6 на елементи $I_9 - I_{11}$ надходить логічний 0, з цих елементів на

тригери $T_5 - T_7$ нічого не надходить і вони не перемикаються, зберігаючи попередній стан.

У такті III відкривається елемент I_7 і в лінію через елементи ABO_4 і ABO_5 надходить імпульс, відповідний символу k_3 . Одночасно цей імпульс надходить на елементи $I_9 - I_{11}$. На елементи $I_9 - I_{11}$ проходить також імпульс з розподільника k_3 (через елементи ABO_1 і ABO_3) і перемикає тригери T_5, T_7 . У такті IV повинен слідувати контрольний символ m_3 і імпульс з комірки 4 надходить на елемент I_{12} . Оскільки вихід Q тригера T_5 знаходиться в цей момент під нульовим потенціалом (див. стан тригера T_5 в такті III), в лінію зв'язку (через елементи ABO_4, ABO_5 і підсилювач U) імпульс не надходить, що відповідає сигналу 0.

У такті V елемента I_8 в лінію буде поданий сигнал 1. Одночасно цей сигнал 1 співпадає на елементах I_{10} і I_{11} з проходячим через елементи ABO_2 і ABO_3 імпульсом, відповідним символу k_4 , і перемикає тригери T_5 і T_7 . У такті VI імпульс з комірки 6 розподільника не проходить через елемент I_{13} за рахунок нульового потенціалу на виході тригера T_6 . Це означає, що контрольний символ $m_2 = 0$. У такті VII з елемента I_{11} буде посланий в лінію імпульс, тобто $m_1 = 1$.

Таким чином, в лінію зв'язку буде надіслана комбінація коду Хемінга

$$\begin{matrix} k_1 & k_2 & k_3 & m_3 & k_4 & m_2 & m_1 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \end{matrix}$$

На цьому кодування закінчується. Однак розподільник складається з дев'яти комірок і продовжує перемикатися. Імпульс з комірки 8 розподільника відновлює тригери $T_1 - T_4$ в початковий стан, а імпульс з комірки 9 надходить на елементи $I_1 - I_4$ і готує схему до кодування нової комбінації.

Але у даній схемі неможливо виконати тривалу індикацію контрольних символів. Крім цього виникла потреба представити комбінацію вихідних символів у зворотньому порядку, що забезпечує зручність сприйняття коду в цілому. Структурна схема пристрою з урахуванням цих вимог представлена на рисунку 2.3.

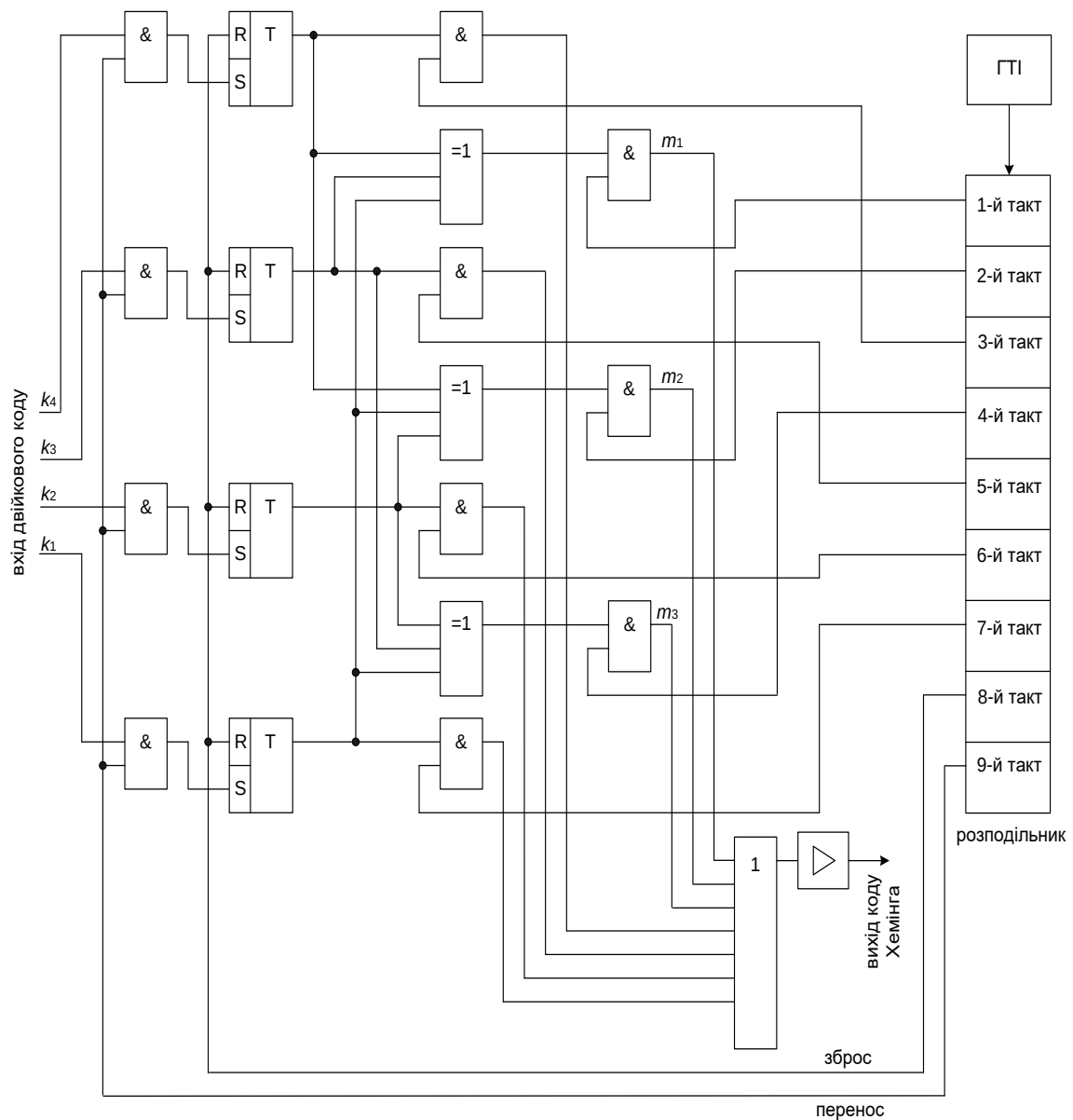


Рисунок 2.3 – Покращена структурна схема пристрою кодування коду Хемінга

У даній схемі формування контрольних символів виконане на елементах ВИКЛЮЧНЕ АБО. Контрольні символи формуються зі статичних інформаційних, що полегшує реалізацію індикації. Комбінація на виході формується вже після формування всіх контрольних статичних символів. Тому комбінацію на виході можна сформувати у будь-якій послідовності, на відміну від попередньої схеми.

2.2 Розробка схеми електричної принципової

2.2.1 Розробка схеми формування інформаційних символів

Інформаційну комбінацію будемо задавати за допомогою кнопок. Схема задання інформаційного символу представлена на рисунку 2.4.

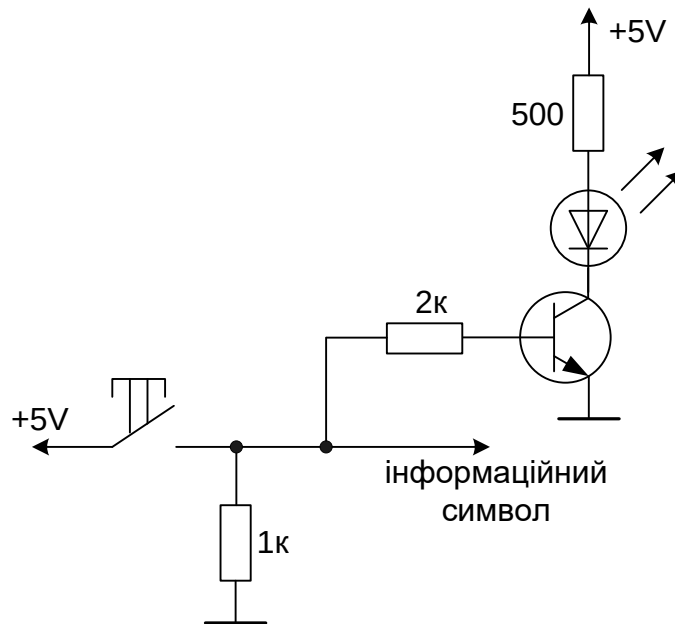


Рисунок 2.4 – Схема задання інформаційного символу

На рис. 2.4 показана реалізація індикації стану символу за допомогою світлодіода. При натисненій кнопці інформаційний символ дорівнює одиниці. При цьому транзистор відкривається, і світлодіод засвічується. При розімкненій кнопці інформаційний символ дорівнює нулю. При цьому транзистор закритий, а світлодіод не світиться.

2.2.2 Розробка схеми формування розрядної помилки закодованої комбінації

Порозрядні помилки задаватимемо за допомогою елемента ВИКЛЮЧНЕ АБО. Індикацію наявності/відсутності помилки також виконаємо за допомогою світлодіодів. Схема задання помилки в розряді представлена на рисунку 2.5.

При натисненій кнопці символ інвертується, тобто наявна помилка (при цьому світиться перший світлодіод). При ненаписненій кнопці символ не інвертується, тобто помилки немає. Стан символу на виході можна візуально обачити за тим, світиться другий світлодіод, чи ні.

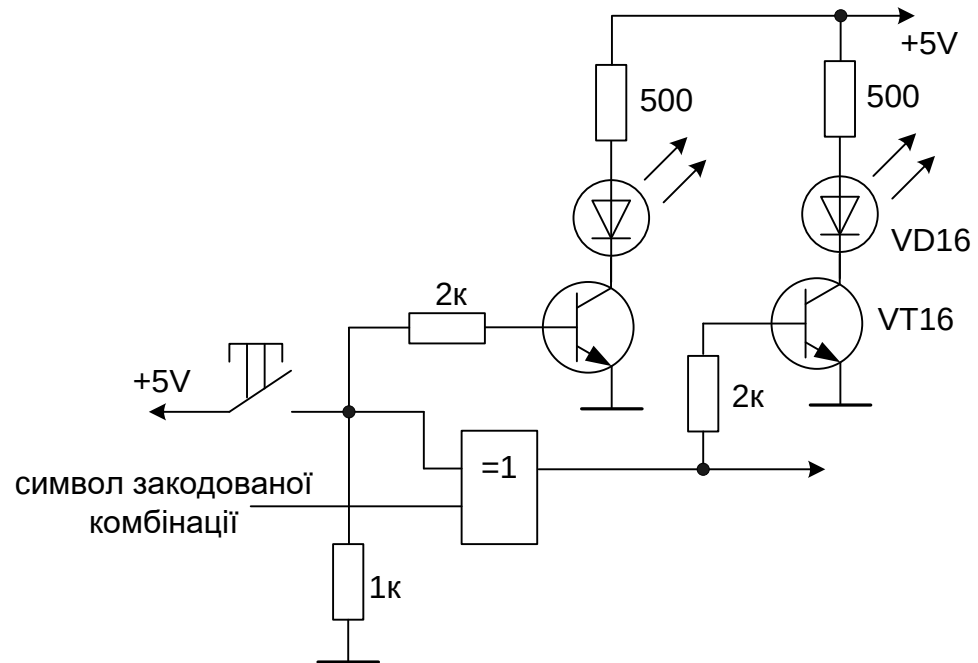


Рисунок 2.5 – Схема задання помилки в розряді

2.2.3 Розробка схеми генератора тактових імпульсів

Для отримання прямокутних імпульсів з крутим переднім фронтом використовується релаксаційний генератор, який може працювати в режимах автоколивань, очікування та синхронізації. Залежно від фізичних принципів генерації розрізняють мультивібратори і блок-генератори.

Прямокутні коливання на мультивібраторі виникають за рахунок позитивного зворотного зв'язку через активні електронні компоненти (транзистори, операційні підсилювачі, логічні компоненти, тиристори та ін.). Отже, основні параметри прямокутного імпульсу: частота (тривалість), амплітуда і його стабільність залежать від характеристик активних компонентів - напруги живлення, порогового рівня, швидкості та ін.

Найбільш часто в даний час вживаються мультивібратори на логічних елементах інтегральних мікросхем, що пов'язане з їх використанням в цифровій апаратурі. У [7] представлено ряд таких мультивібраторів. Найбільш простою і невибагливою є схема автоколивального мультивібратора на трьох елементах І-НІ (рисунок 2.6), у якого період коливань приблизно дорівнює $2R_1C_1$. Стабільність тривалості або періоду повторення імпульсів у мультивібратор на логічних елементах мала (наближено 3 % при зміні температури на 10 °С), унаслідок низької стабільності порогового рівня ТТЛ-мікросхем. Але дана нестабільність у лабораторному макеті великої ролі не грає.

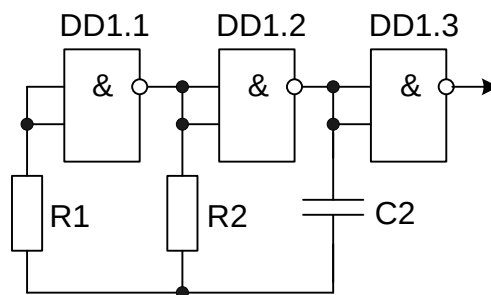


Рисунок 2.6 – Автоколивальний мультивібратор на трьох елементах І-НІ

Для можливості зміни частоти тактових імпульсів послідовно з R_1 внесемо змінний опір максимальним значенням 3,9 кОм. Нехай середнє значення частоти імпульсів буде 8 кГц. Тоді значення R_1 і C_1 мають бути наступними: 20 кОм і 2,7 нФ відповідно.

Формувачі імпульсів – пристрої, що виробляють імпульси необхідної тривалості з інших імпульсів або з перепаду напруги (фронту).

У серії K155 випускаються формувачі імпульсів K155АГ1 і K155АГ3. Ці формувачі можуть запускатися як переднім, так і заднім фронтами. Для нашої задачі оберемо K155АГ1. Схема його включення показана на рисунку 2.7. Загальна тривалість вихідних імпульсів залежить від параметрів часозадаючого RC ланцюга і може змінюватися в широких межах: $\tau = 0,7 R_1C_1$, де $R_1 = 2 \dots 40$ кОм, $C_1 = 10$ пФ ... 10 мкФ.

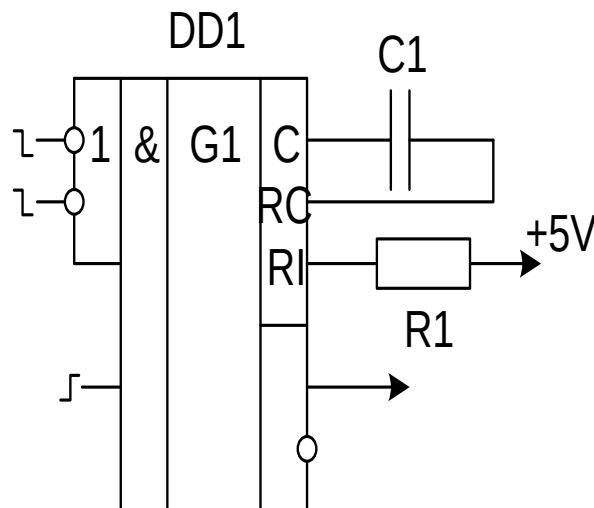


Рисунок 2.7 – Схема включення K155AG1

Нехай K155 буде запускатися переднім фронтом. Тоді на решту входів запуску для попередження хибного спрацювання подамо логічну одиницю.

Для можливості задання шпаруватості імпульсної послідовності послідовно з R1 внесемо змінний опір максимальним значенням 3,9 кОм. Номінали R1 і C1 обираємо наступними: 9,1 кОм і 8,2 нФ відповідно. Таким чином тривалість імпульсів можна буде змінювати від 52,2 до 63,7 мкс.

2.2.4 Вибір схеми розподільника каналних імпульсів

Оскільки у схемі застосований розподільник на 9 каналів, то рекомендовано вибрати розподільник на кільцевих зв'язках [5]. Схема такого розподільника на D-тригерах наведена в [7] (рисунок 2.8а). Число тригерів може бути будь-яким.

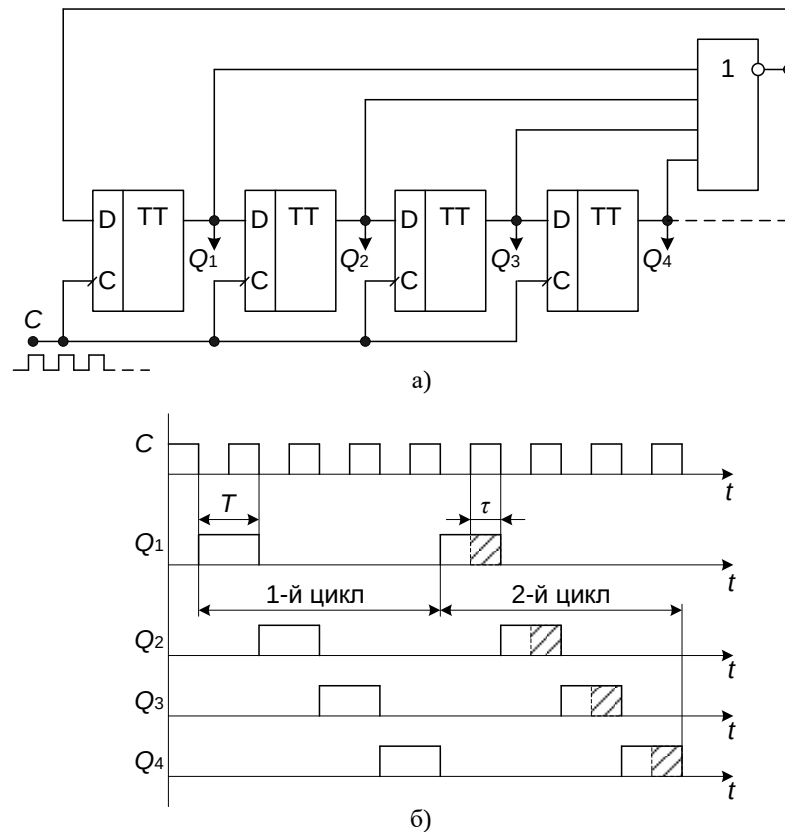


Рисунок 2.8 – Розподільник на D-тригерах: а – функціональна схема; б – часова діаграма

Вихід Q попереднього тригера з'єднаний з входом D наступного тригера. Вихід останнього тригера може бути з'єднаний з входом першого минаючи елемент АБО-НІ (пунктир на рисунку). Розподільник буде працювати і в цьому випадку. Проте якщо з яких-небудь причин одночасно почнуть перемикатися два тригери або більше (випадок, можливий при великій кількості тригерів), тобто почнуть циркулювати дві одиниці або більше, то таку помилку виправити без зупинки розподільника неможливо. Для запобігання подібних помилок передбачений захист у вигляді елемента АБО-НІ, на який подаються виходи всіх тригерів. Коли переключиться останній тригер, на входи цього елементу з усіх виходів тригерів будуть подані нулі, що забезпечить надходження на вхід D першого тригера одиниці і підготовку його. Якщо разом з перемиканням останнього тригера буде переключатися ще який-небудь, наприклад другий, тригер, то на вхід елемента АБО-НІ буде подана комбінація 0100 замість 0000,

що не забезпечить зняття з його виходу одиниці. Коли розподільник переключиться до кінця, тобто підуть комбінації 0100, 0010, 0001 і, нарешті, 0000 ($Q_4 = 0$), перший тригер буде підготовлений і розподільник почне правильно працювати.

На рисунку 2.8б представлена часова діаграма розподільника, яка ілюструє викладене. Для побудови розподільника використані двоступінчасті D-тригери, що перемикаються по задньому фронту синхронізуючого імпульсу C , тобто при переході одиниці в нуль (1/0). Застосування одноступінчатих тригерів, що змінюють свій стан у момент переходу нуля в одиницю (0/1) і протягом всієї тривалості імпульсу C , неприпустимо, оскільки залежно від тривалості імпульсів C можливе перемикання декількох тригерів протягом дії одного імпульсу. Можливе і використання тригерів з динамічним керуванням, перемикатися тільки в момент переходу 0/1.

Як впливає з рисунку 2.8б, тривалість імпульсів, що знімаються з виходів розподільника, дорівнює періоду тактових імпульсів T . У разі потреби її можна зробити рівній тривалості тактового імпульсу τ (заштрихована частина імпульсу), подавши на елементи І імпульси з виходів розподільника і імпульси C .

2.3 Аналіз елементної бази

Здійснимо підбір елементної бази. Конденсатор $C27$ виберемо серії K10-17, решта конденсаторів – K73-17 і K50-35. Постійні резистори оберемо серії C2-23 (0,125 Вт), змінні - RK-1233N1. Кнопки - PBS-15A, світло діоди - L132XGT (наявність/відсутність імпульсу) і L132XID (наявність/відсутність помилки). Тип транзисторів – KT315Д. У якості мікросхеми DD4 оберемо K155АГ1. Решта мікросхем буде 555-ї серії.

Зовнішній вигляд елементів представлено на рисунках 2.9 – 2.22.

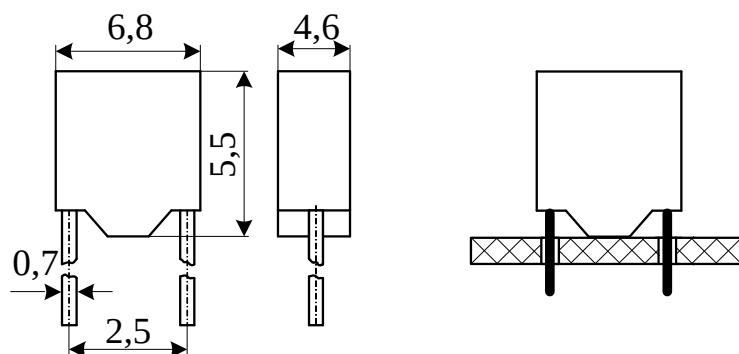


Рисунок 2.9 – Керамічні конденсатори К10-17

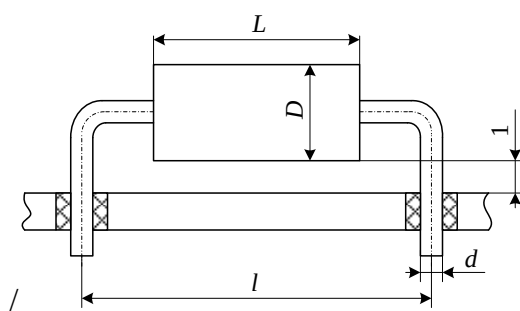


Рисунок 2.10 – Плівково металізовані конденсатори К73-11

Геометричні параметри конденсаторів К73-11 наведено в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Параметри конденсаторів К73-11

Ємність	D , мм	d , мм	L , мм	l , мм
2,7 нФ	6	0,7	13	17, 5
8,2 нФ	6	0,7	13	17, 5
0,1 мкФ	6	0,9	13	17, 5

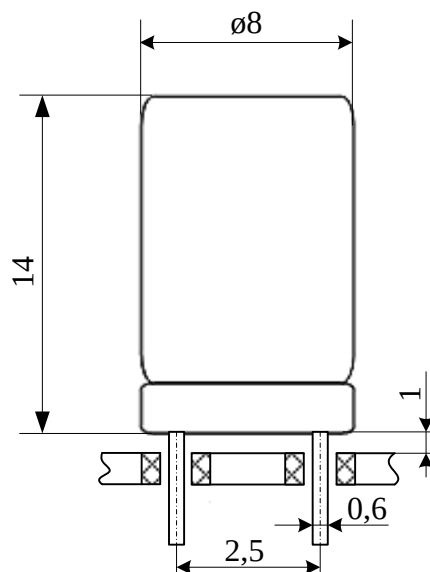


Рисунок 2.11 – Конденсатори К50-35

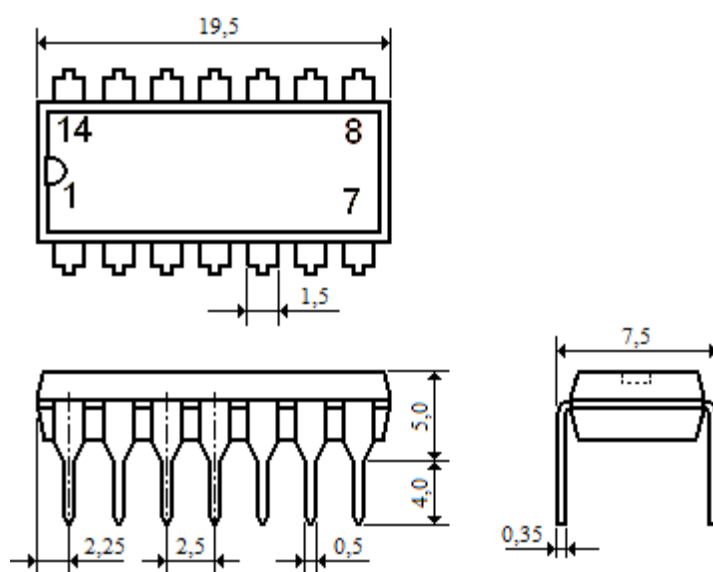


Рисунок 2.12 – Мікросхеми К155АГ1, К555ЛА3, К555ЛИ1, К555ЛИ3, К555ЛЛ1, К555ЛЕ4, К555ЛП5, К555ТМ2

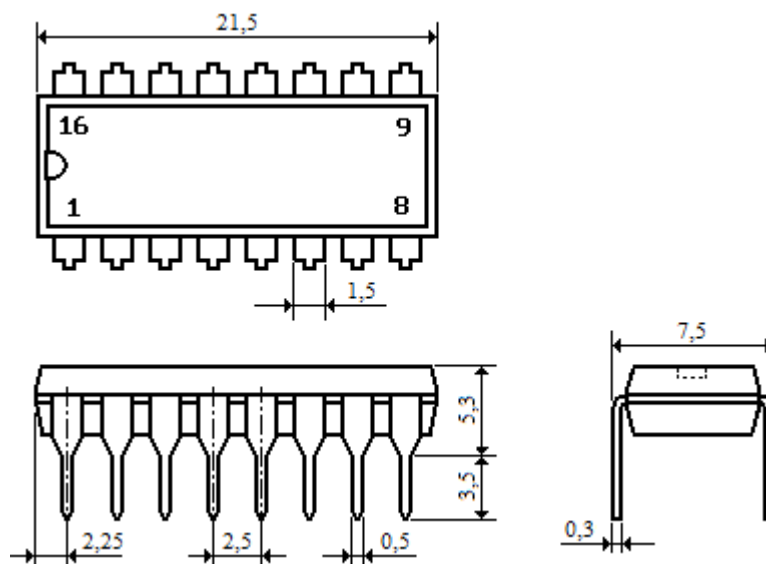


Рисунок 2.13 – Мікросхеми K555TP2

При відсутності вітчизняних мікросхем їх можна замінити іноземними аналогами (таблиця 2.2).

Таблиця 2.2 – Аналоги мікросхем

Мікросхема	Аналог
K155АГ1	SN74121N
K555ЛАЗ	SN74LS00N
K555ЛИ1	SN74LS08N
K555ЛИ3	SN74LS11N
K555ЛЛ1	SN74LS32N
K555ЛЕ4	SN74LS27N
K555ЛП5	SN74LS86N
K555ТМ2	SN74LS74N
K555ТР2	SN74LS279N

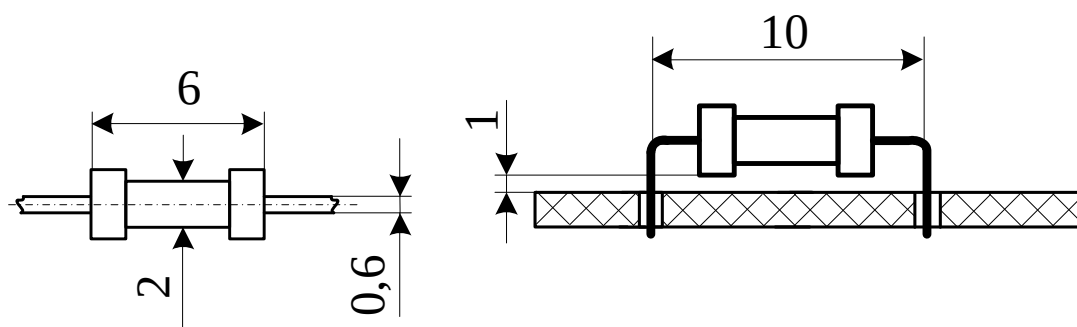


Рисунок 2.14 – Постійні резистори С2-23

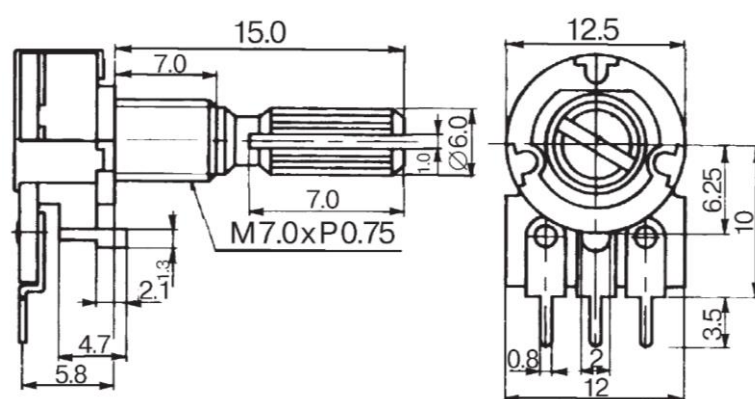


Рисунок 2.15 – Змінні резистори серії RK-1233N1

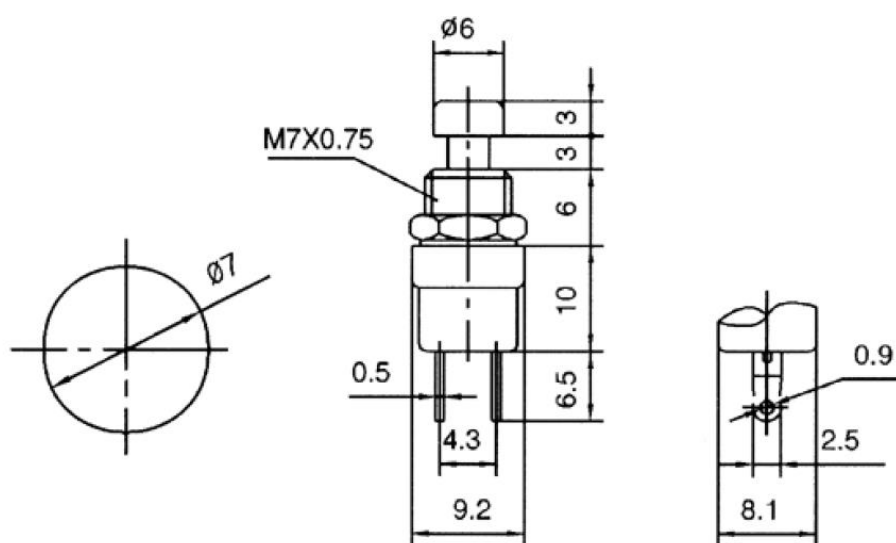


Рисунок 2.16 – Кнопки PBS-10B

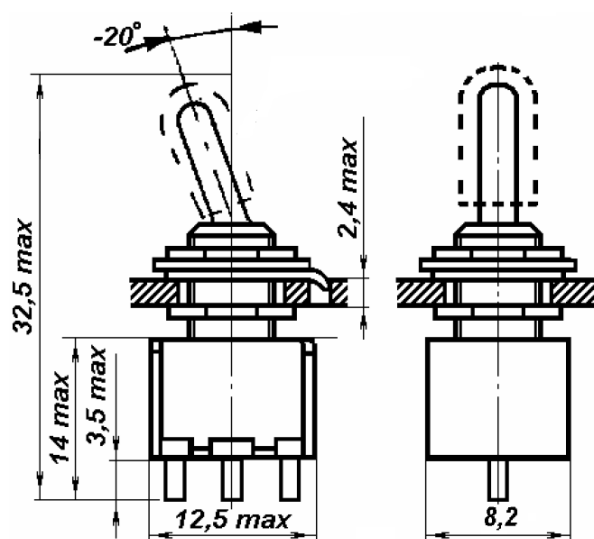


Рисунок 2.17 – Тумблер П1Т-1-1В(КВ)

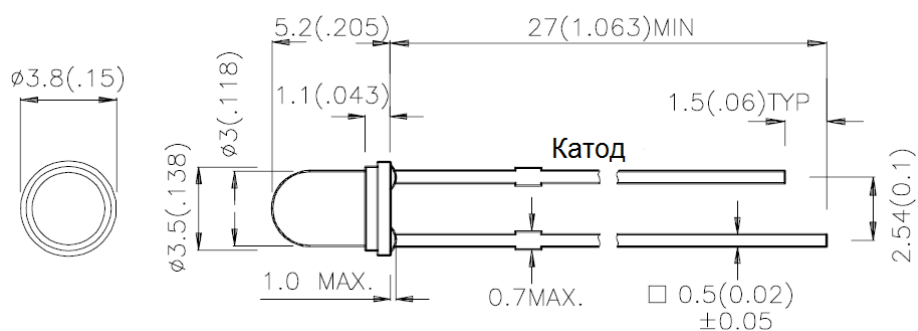


Рисунок 2.18 – Світлодіоди L132XGT і L132XID

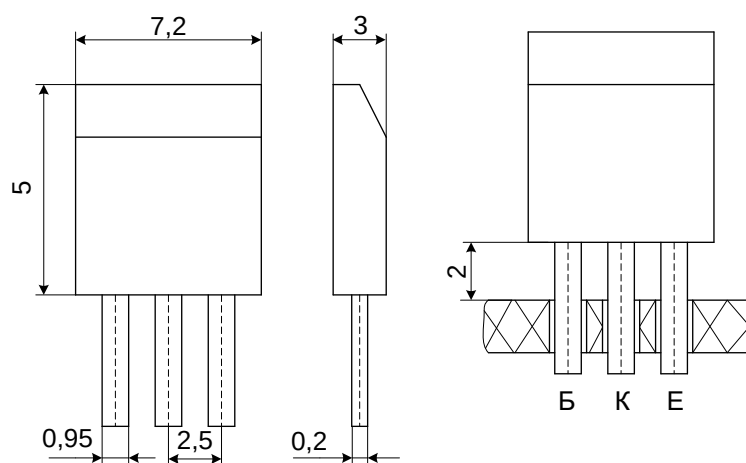


Рисунок 2.19 – Транзистори КТ315Д

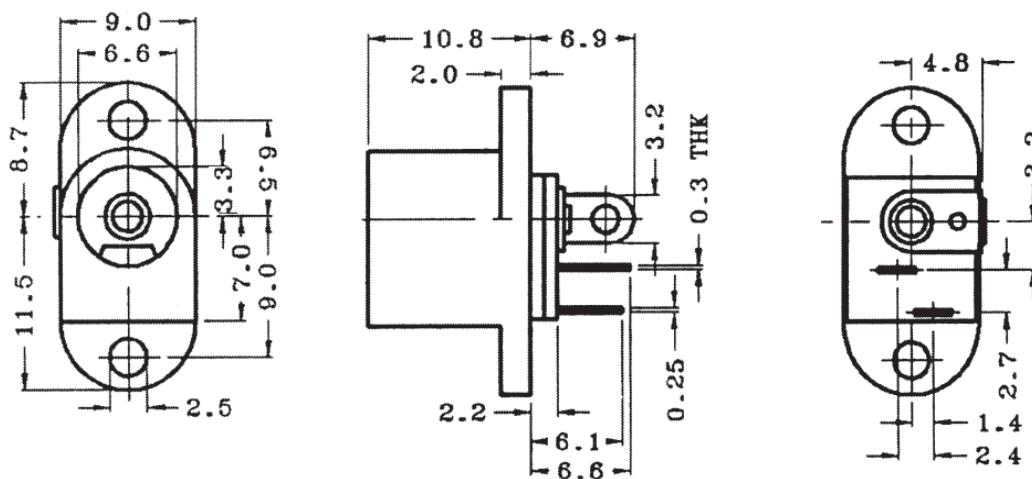


Рисунок 2.20 –Роз'єм DS225

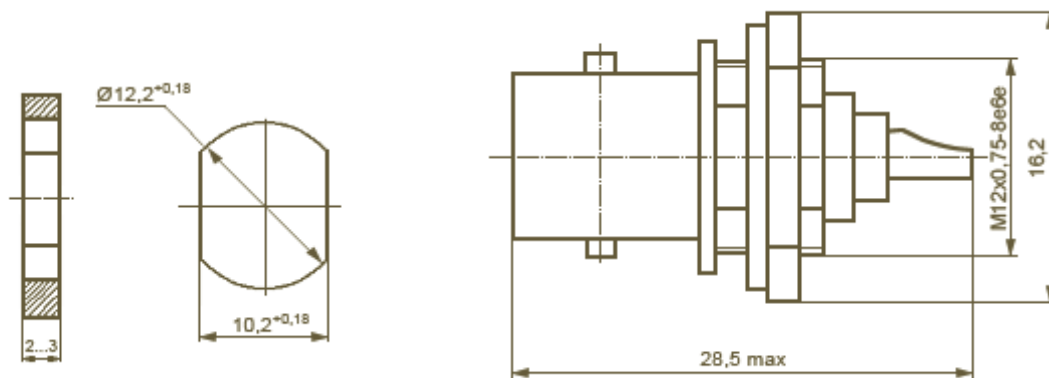


Рисунок 2.21 –Роз'єм CP50 ПВ

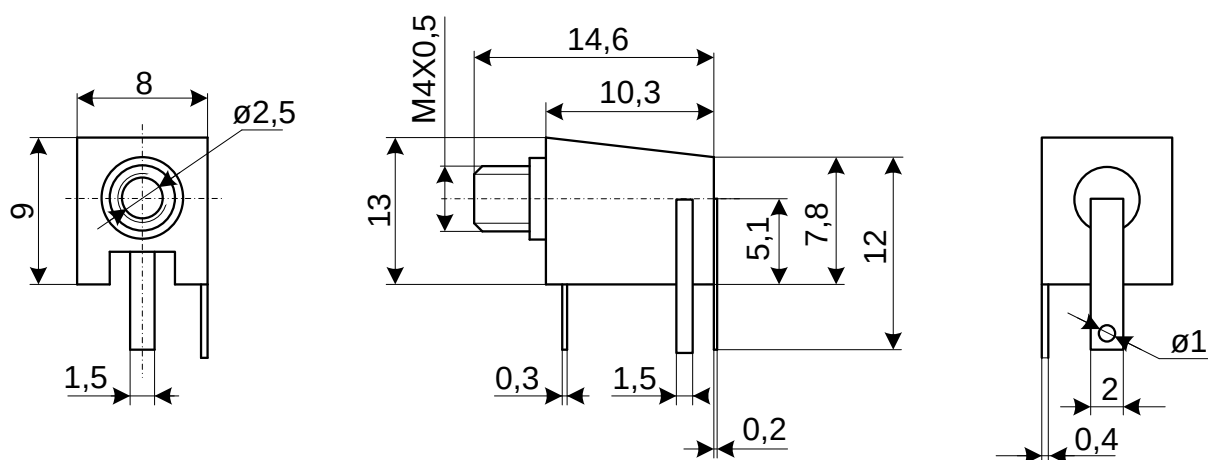


Рисунок 2.22 –Роз'єм PY-401C

Встановлювальну площу для елементів, які знаходяться на друкованій платі, обраховують таким чином.

Якщо елемент має круглий поперечний переріз (конденсатори, транзистори, вертикально встановлені резистори тощо), тоді площу обчислюють за формулою

$$S = \frac{\pi D^2}{4}, \quad (2.1)$$

де D – це діаметр компонента.

Якщо елемент розміщений на платі горизонтально, то установочна площа

$$S = a \cdot b, \quad (2.2)$$

де a, b – це відповідно ширина і довжина установки.

Обчисливши за формулами (2.1) і (2.2) установочні площі для усіх елементів, заносимо дані в таблицю 2.3. У ній також подана інша інформація про радіоелементи: їх маса, висота, діаметр виводів, максимальна робоча температура і частота вібрації.

Таблиця 2.3 – Конструктивно-експлуатаційні характеристики елементів

Назва елемента	Кіл. шт.	Конструктивні параметри				Допустимі умови експлуатації	
		Маса, г	Площа встановл. мм ²	Висота, мм	Діаметр виводу, мм	Макс. темп., °С	Частота вібрації, Гц
Конденсатори							
K10-17-100пФ	1	0,5	31,28	5,5	0,7	+120	15...20
K73-11-2,8нФ	1	1,4	78	6	0,7	+120	15...20
K73-11-8,2нФ	1	1,8	78	6	0,7	+120	15...20
K73-11-0,1мкФ	21	1,4	78	6	0,7	+120	15...20
K50-35	2	3,5	50,24	14	0,6	+85	5...600
Мікросхеми							
K155АГ1	1	1	146,25	5	0,6	+70	5...600
K555ЛА3	2	1	146,25	5	0,6	+70	5...600
K555ЛИ1	4	1	146,25	5	0,6	+70	5...600
K555ЛИ3	1	1	146,25	5	0,6	+70	5...600

Продовження таблиці 2.3 – Конструктивно-експлуатаційні характеристики

K555ЛЛ1	2	1	146,25	5	0,6	+70	5...600
K555ЛЕ4	1	1	146,25	5	0,6	+70	5...600
K555ЛП5	4	1	146,25	5	0,6	+70	5...600
K555ТМ2	5	1	146,25	5	0,6	+70	5...600
K555ТР2	1	1	161,25	5,3	0,6	+70	5...600
Резистори							
C2-23-0,125	74	0,1	20	2	0,6	+300	10...20
RK-1233N1	2	6		20,8		+300	10...20
Роз'єми							
DS225	1	4				+150	
PY-401C	1	4				+150	
CP50 ПВ	2	6				+180	
Кнопки							
PBS-10B	12	5	128,4	29,5		+85	10...600
Світлодіоди							
L132XGD	11	0,1	11,34	5,2	0,7	+85	10...600
L132XID	7	0,1	11,34	5,2	0,7	+85	10...600
Транзистори							
КТ315Д	19	0,1	21,6	5	1	+100	1...100
Тумблери							
П1Т-1-	1	7,5				+85	1...100

2.4 Схемотехнічне моделювання

Було змодельовано роботу схеми пристрою кодування коду Хеммінга в програмі Electronics Workbench Multisim. Ця програма є однією з найпопулярніших програм для проектування електронних схем у світі, яка характеризується поєднанням професійних можливостей і простоти з масштабованою функціональністю від простих настільних систем до систем веб-компаній. Цим пояснюється широке використання цієї програми в навчальних цілях і при промисловому виробництві складних електронних пристроїв.

Подамо на вхід схеми деяку кодову комбінацію (наприклад 1010). Для чого потрібно закоротити кнопки S1, S2 і S4. Осцилограма вихідного сигналу представлена на рисунку 2.23.

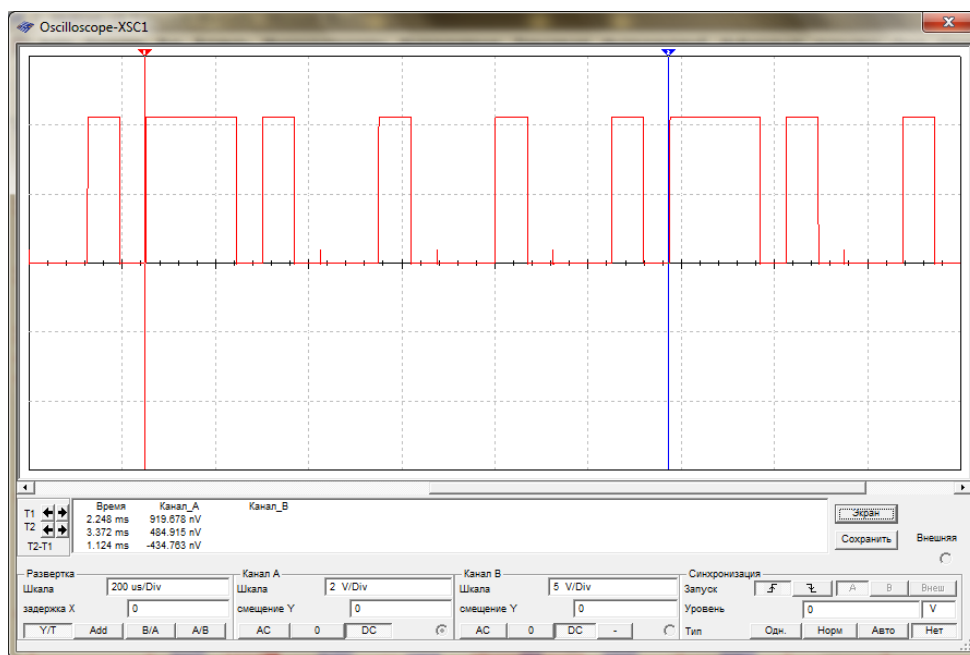


Рисунок 2.23 – Осцилограмма вихідного сигналу

Кодова комбінація на виході – 1010101.

Подамо на вхід схеми деяку кодову комбінацію 1101, для чого потрібно замкнути кнопки S1, S2 і S4. Осцилограмма вихідного сигналу представлена на рисунку 2.24.

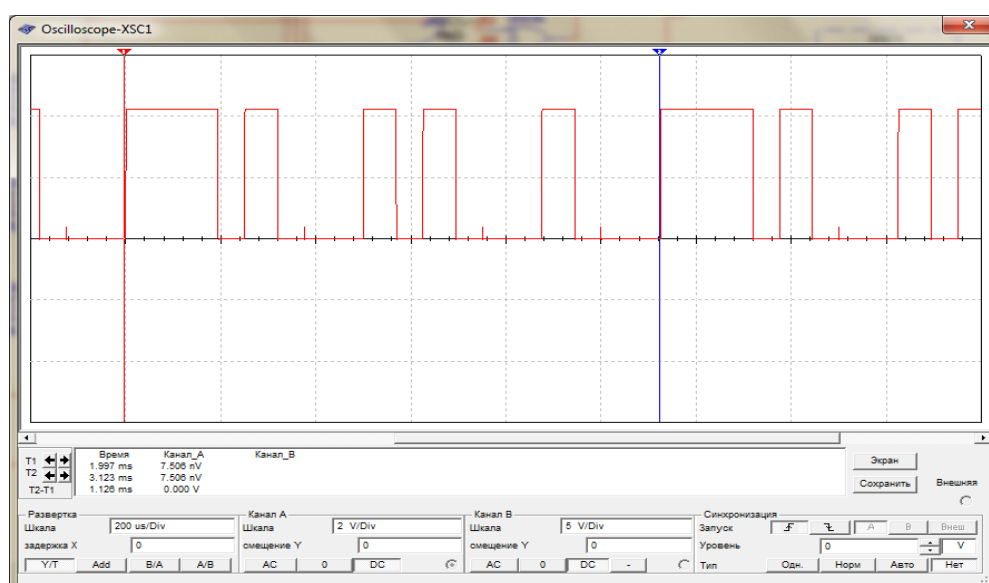


Рисунок 2.24 – Осцилограмма вихідного сигналу

Кодова комбінація на виході – 0110011.

Проведемо температурний аналіз цієї ж схеми. Аналіз проведемо для температур 25, 35 і 45 °C. Вихідні імпульси представлені на рисунку 2.25.

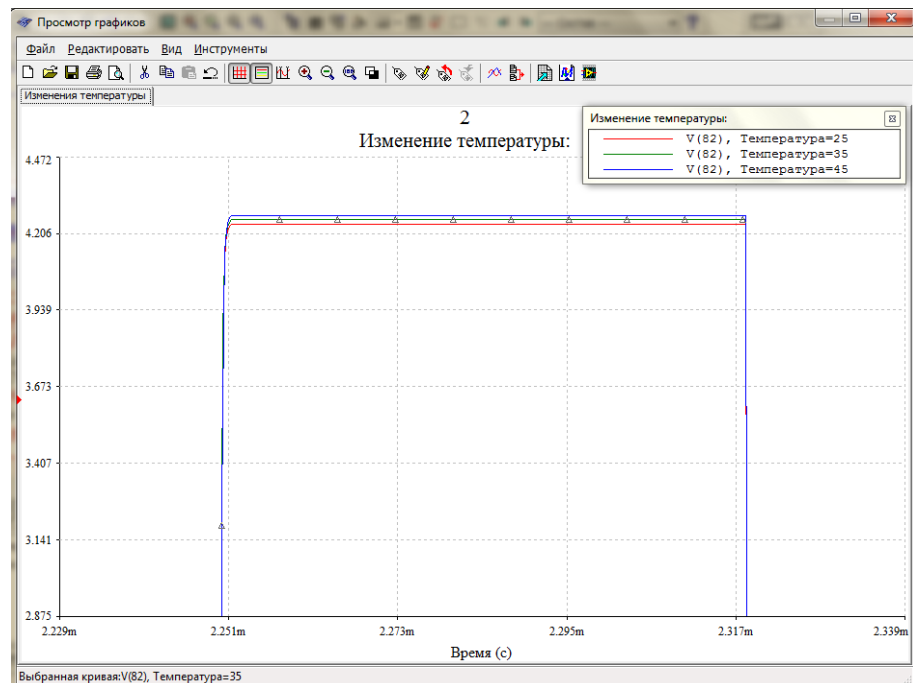


Рисунок 2.25 – Температурне моделювання

Як бачимо, при збільшенні температури амплітуда вихідних імпульсів теж дещо збільшується. При 25 °C амплітуда сигналу – 4,2381 В, при 35 °C – 4,2532 В, при 45 °C – 4,2675 В.

Проведемо моделювання роботи одновібратора (рисунок 2.26), який зібрано на мікросхемі K155АГ1 (DD4).

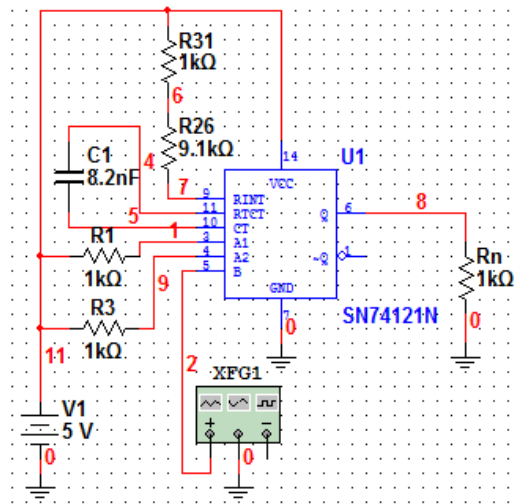


Рисунок 2.26 – Схема одновібратора

На вхід одновібратора подамо прямокутні імпульси частотою 8 кГц з генератора.

Тривалість імпульсів задається змінним резистором R31. Задамося значеннями 0 Ом, 1 кОм та 2 кОм. Результати моделювання представлені на рисунку 2.27.

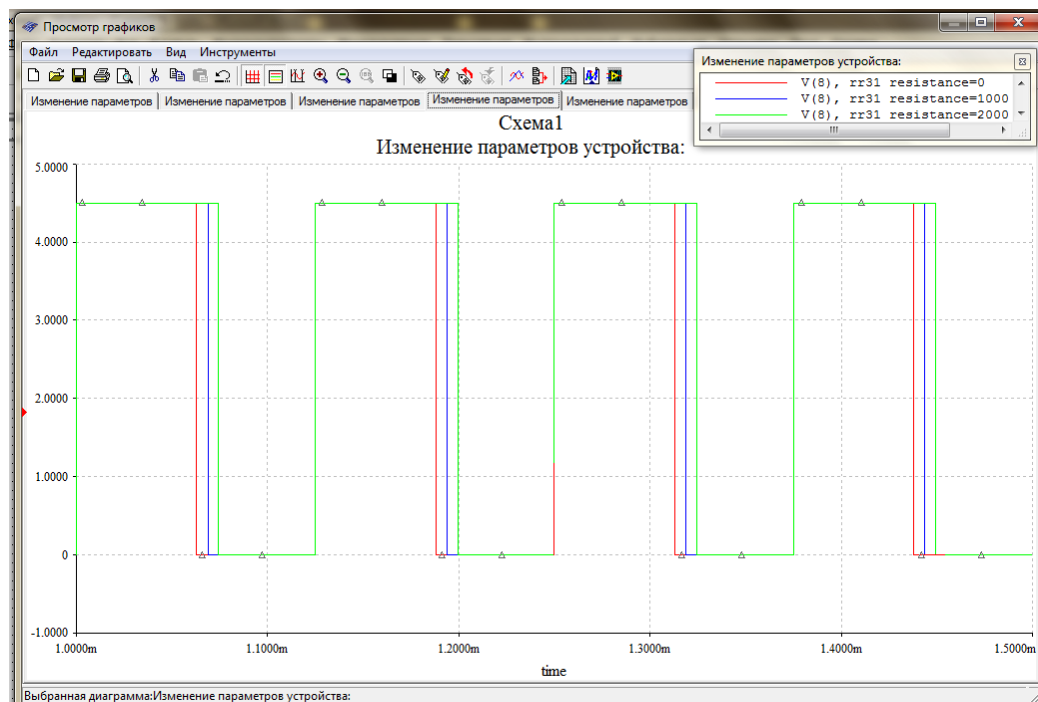


Рисунок 2.27 – Залежність ширини імпульсів одновібратора від номіналу R31

Як бачимо, при збільшення номіналу R31 ширина імпульсів зростає.

2.5 Компонування пристрою

2.5.1 Задача компоновання

Компоновання – це розміщення різних елементів у просторі чи площині є одним із важливих завдань у процесі побудови РЕА.

Основними завданнями, які вирішуються при компонованні, є вибір форм, основних габаритних розмірів, орієнтовний вибір мас і розміщення будь-яких елементів обладнання в просторі. Попередні ескізи макетів виконуються без масштабу, мають ознаки креслення і вимагають меншого часу виконання, ніж креслення.

Конструктивні ескізи виконуються з використанням геометричних розмірів, форм і мас радіодеталей, які необхідно розмістити в просторі з урахуванням електричних, магнітних, механічних, теплових та інших видів зв'язку.

Маючи в руках схему та ескіз компоновання, можна оцінити ймовірну природу та розмір паразитних з'єднань, розрахувати теплові умови та виконати розрахунки надійності.

Результатом компоновальних робіт на етапі ескізного проектування буде підготовка загального компоновального креслення виробу з розбивкою на окремі функціональні блоки, схеми робочого місця оператора та розміщення обладнання на об'єктах.

Під час написання виконується кілька варіантів і вибирається найкращий варіант на основі кількох критеріїв.

У даній конструкторській розробці на основі розрахунку коефіцієнтів технологічності обрано кращий з двох варіантів.

2.5.2 Розробка різноманітних компоувальних планів

У першому варіанті (рисунок 2.28) друкована плата розміщена в пластиковій коробці з вирізом для роз'єму збоку. При цьому друкована плата повинна мати прямокутну форму - тоді корпус буде мати оптимальні розміри.

Конструкція дуже проста і легко знімається (кришка кріпиться до основи затискачами). Плата розміщується на рівній поверхні, що сприяє хорошій тепловій роботі пристрою. До негативних показників можна віднести низьку ударостійкість.

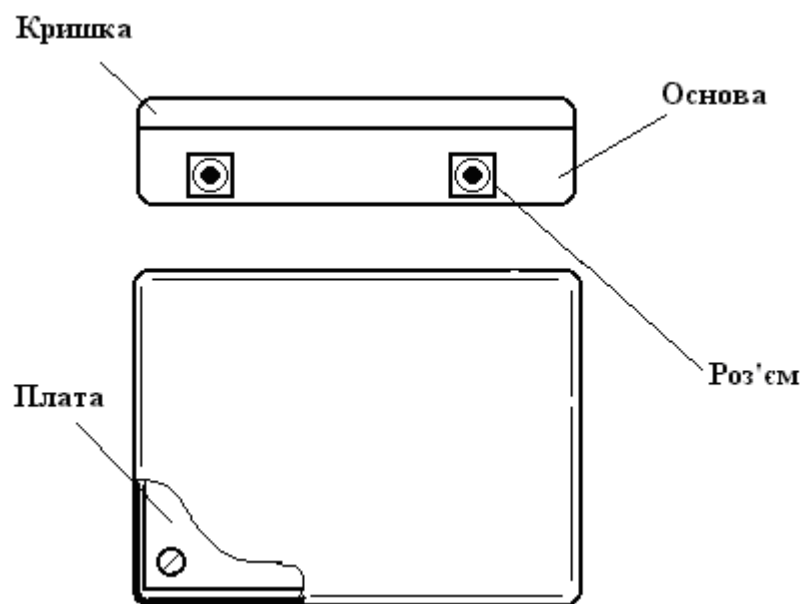


Рисунок 2.28 – Перший варіант компоновки

Другий варіант конструкції передбачає аналогічне оформлення приладу, але за матеріал корпуса обираємо алюміній. Це зробить прилад стійкішим до ударів, екранує його для запобігання завад, однак істотно зросте маса підсилювача.

2.5.3 Визначення розмірів і маси конструкцій

Визначаємо габаритні розміри плати за формулою

$$S_{\Pi} = q \cdot \sum S_{\text{уст}} , \quad (2.3)$$

де $\sum S_{\text{уст}}$ – сума установочних площ усіх радіоелементів, що знаходяться на платі,

q – коефіцієнт запасу ($q = 2 \dots 4$).

Знаходимо $\sum S_{\text{уст}}$, додавши дані з таблиці 2.3

$$\sum S_{\text{уст}} = 7554 \text{ мм}^2 = 75,54 \text{ см}^2 .$$

Знаходимо орієнтовну площу плати, прийнявши $q = 4$

$$S_{\Pi}^{\text{оп}} = 4 \cdot 75,54 = 302,16 \text{ см}^2 .$$

Приймаємо розміри плати 200×135 , при цьому площа плати:

$$S_{\Pi} = 270 \text{ см}^2 .$$

Знаходимо масу плати

$$m_{\Pi} = h_{\Pi} \cdot S_{\Pi} \cdot \rho_{\text{мат}} = 0,15 \cdot 270 \cdot 1,7 = 68,85 \text{ г} .$$

Масу радіоелементів знайдемо з таблиці 2.3.

$$m_{\text{ел}} = 172,82 \text{ г}$$

Габаритні розміри приладу, скомпонованого по варіанту I визначаємо наступним чином.

Внутрішній об'єм залежить від об'єму, який займає плата з радіoeлементами (плюс певний запас).

Для першого варіанту:

внутрішні розміри:

а) висота $h_{\text{вн}} = h + 15 \text{ мм} = 15 + 15 = 30 \text{ мм}$.

б) довжина $a_{\text{вн}} = a + 32 \text{ мм} = 200 + 32 = 232 \text{ мм}$.

в) ширина $b_{\text{вн}} = b + 10 \text{ мм} = 135 + 10 = 145 \text{ мм}$.

зовнішні габарити (з урахуванням товщини корпусу):

а) висота $h_{\text{зовн}} = h_{\text{вн}} + 2 \cdot t_{\text{ст}} = 30 + 2 \cdot 2 = 34 \text{ мм}$.

б) довжина $a_{\text{зовн}} = a_{\text{вн}} + 2 \cdot t_{\text{ст}} = 232 + 2 \cdot 2 = 236 \text{ мм}$.

в) ширина $b_{\text{зовн}} = b_{\text{вн}} + 2 \cdot t_{\text{ст}} = 145 + 2 \cdot 2 = 149 \text{ мм}$.

Маса і об'єм корпусу:

$$m_{\text{корп}} = (V_{\text{зовн}} - V_{\text{вн}}) \cdot \rho_{\text{пл}} = (3,4 \cdot 23,6 \cdot 14,9 - 3 \cdot 23,2 \cdot 14,5) \cdot 1,35 = 251,6 \text{ г}.$$

$$V_{\text{корп}} = V_{\text{зовн}} = 3,4 \cdot 23,6 \cdot 14,9 = 1195,58 \text{ см}^3.$$

Маса і об'єм пристрою:

$$m_{\text{пристр}}^I = m_{\text{п}} + m_{\text{ел}} + m_{\text{корп}} = 68,85 + 172,82 + 251,6 = 493,27 \text{ г}.$$

$$V_{\text{пристр}}^I = V_{\text{корп}} = 1195,58 \text{ см}^3.$$

Для другого варіанту:

внутрішні розміри:

а) висота $h_{\text{вн}} = h + 15 \text{ мм} = 15 + 15 = 30 \text{ мм}$.

б) довжина $a_{\text{вн}} = a + 32 \text{ мм} = 200 + 32 = 232 \text{ мм}$.

в) ширина $b_{\text{вн}} = b + 10 \text{ мм} = 135 + 10 = 145 \text{ мм}$.

зовнішні габарити (з урахуванням товщини корпусу):

а) висота $h_{\text{зовн}} = h_{\text{вн}} + 2 \cdot t_{\text{ст}} = 30 + 2 \cdot 1,5 = 33 \text{ мм}$.

б) довжина $a_{\text{зовн}} = a_{\text{вн}} + 2 \cdot t_{\text{ст}} = 232 + 2 \cdot 1,5 = 235 \text{ мм}$.

в) ширина $b_{\text{зовн}} = b_{\text{вн}} + 2 \cdot t_{\text{ст}} = 145 + 2 \cdot 1,5 = 148 \text{ мм}$.

Маса і об'єм корпусу:

$$m_{\text{корп}} = (V_{\text{зовн}} - V_{\text{вн}}) \cdot \rho_{\text{ал}} = (3,3 \cdot 23,5 \cdot 14,8 - 3 \cdot 23,2 \cdot 14,5) \cdot 2,7 = 374,1 \text{ г}.$$

$$V_{\text{корп}} = V_{\text{зовн}} = 3,3 \cdot 23,5 \cdot 14,8 = 1147,74 \text{ см}^3.$$

Маса і об'єм пристрою:

$$m_{\text{пристр}}^{\text{II}} = m_{\text{п}} + m_{\text{ел}} + m_{\text{корп}} = 68,85 + 172,82 + 374,1 = 645,77 \text{ г}.$$

$$V_{\text{пристр}}^{\text{II}} = V_{\text{корп}} = 1147,74 \text{ см}^3.$$

Занесемо отримані дані в таблицю 2.4.

Таблиця 2.4 – Характеристики двох варіантів компоновання

Параметр	I	II
$V, \text{ см}^3$	1195,58	1147,74
$m, \text{ г}$	493,27	645,77

2.5.4 Вибір оптимального варіанту конструкції

Вибір оптимального варіанту конструкції здійснюють шляхом розрахунку показника

$$K = \frac{m}{m^{\text{тз}}} \cdot K_{\text{м}} + \frac{V}{V^{\text{тз}}} \cdot K_{\text{в}}, \quad (2.4)$$

де $V^{\text{тз}}$, $m^{\text{тз}}$ – це об'єм та маса згідно технічного завдання;

$K_{\text{м}}$, $K_{\text{в}}$ – це вагові коефіцієнти, що визначаються в залежності від умов експлуатації. Обираємо їх такими

$$K_{\text{м}} = 0,8; K_{\text{в}} = 0,9.$$

Оптимальним буде той варіант, в якому показник K найменший.

Виберемо приблизні значення для маси 600 г, а для об'єму 450 см^3 і порівняємо отримані значення з ним

Для I варіанту

$$K_1 = \frac{493,27}{700} \cdot 0,8 + \frac{1195,58}{2700} \cdot 0,9 = 0,962.$$

Для II варіанту

$$K_2 = \frac{645}{700} \cdot 0,8 + \frac{1147,74}{2700} \cdot 0,9 = 1,12.$$

Розрахунок показує, що коефіцієнт K менший для першого варіанту компонування конструкції, тому він буде кращим.

2.6 Розробка друкованої плати

2.6.1 Обрання типу друкованої плати

Потрібно враховувати техніко-економічні показники пристрою при обранні типу друкованої плати для розроблення його конструкції. Даний пристрій є досить складним за конструкцією, а тому складається з мало доступних радіоелементів. Через це обираємо двосторонню друковану плату.

2.6.2 Обрання класу точності друкованої плати

Для даного виробу буде здійснений вибір 3-го класу точності друкованої плати з огляду на ускладнене трасування та високу щільність монтажу у деяких місцях (для мінімізації виробу). Це є оптимальним варіантом, який не вимагає використання високоякісних матеріалів, інструменту або обладнання.

Даний клас характеризується наступними елементами конструкції:

- а) ширина провідника в широких місцях _____ 0,45 мм;
- б) ширина провідника у вузьких місцях _____ 0,25 мм;
- в) відстань між двома провідниками _____ 0,25 мм;
- г) гарантійний поясок зовнішнього шару _____ 0,1 мм;

д) гарантійний пояснок внутрішнього шару _____ 0,05 мм.

В широких місцях ширина провідника задається наступним класом – для третього це буде другий клас.

2.6.3 Вибір матеріалу друкованої плати

До матеріалу висуваємо наступні вимоги:

- а) висока технологічність;
- б) високі електрофізичні властивості;
- в) можливість працювати в умовах вакууму;
- г) забезпечення високої адгезії;
- д) мінімальні механічні короблення.

Таблиця 2.5 – Властивості матеріалів друкованих плат

Параметр	Гетинакс	Текстоліт	Склотекстоліт
Щільність без фольги, кг/м ³	1300...1400	1300...1500	1600...1900
Відносна діелектрична проникність	4,5...6	4,5...6	5...6
Питомий об'ємний опір, Ом·м	10 ¹² ...10 ¹⁴	10 ¹² ...10 ¹⁴	10 ¹⁴ ...10 ¹⁵
Діапазон робочих температур, °C	-60...+80	-60...+70	-60...+100
Коефіцієнт теплопровідності, Вт/(м·K)	0,25...0,3	0,23...0,34	0,34...0,74
Температурний коефіцієнт лінійного розширення, 10 ⁻⁶ K ⁻¹	22	22	8...9

Найчастіше для виготовлення друкованої плати використовують склотекстоліт і гетинакс, марок:

- ГФ – фольгований гетинакс;
- СФ – фольгований склотекстоліт;
- ФГС – склотекстоліт фольгований травильний;

- СФПН – склотекстоліт фольгований нагрівостійкий;
- СТФ – склотекстоліт теплостійкий.

Товщина ж друкованої плати визначається товщиною вихідного матеріалу і вибирається залежно від елементної бази та навантажень.

Найкращі параметри, згідно таблиці 2.5, має склотекстоліт. Тому за матеріал для друкованої плати обираємо склотекстоліт фольгований двосторонній марки СФ-2-35-1,5, який має товщину фольги 35 мкм, товщина матеріалу з фольгою – 1,5 мм. Він застосовується для виготовлення двосторонніх друкованих плат.

2.6.4 Обрання методу проектування друкованої плати

Встановлення навісних елементів на друкованій платі здійснене згідно з ОСТ4.ГО.010.030 та ОСТ4.ГО.010.009. Під час розміщення компонентів необхідно враховувати наступні фактори:

- Забезпечити високу надійність.
- Мінімізувати загальний розмір.
- Забезпечити розсіювання тепла та зручність обслуговування.

Під час прокладки ви повинні досягти мінімальної довжини з'єднань, звести до мінімуму паразитні з'єднання між провідниками та компонентами та, якщо можливо, рівномірно розподілити підвішені компоненти по платі.

Через складність відстеження крок координатної сітки вибираємо 2,5 мм. Розміщуємо координатну сітку в початку координат згідно з ДСТУ 2.417-78. Далі всі операції виконуємо автоматично, за допомогою системи автоматизованого проектування OrCAD- 2000 рік.

Отже, після створення електричної схеми пристрою та моделювання його компонентів ми приступили до розробки друкованої плати.

Після завантаження OrCAD Layout виберіть опцію «Файл/Новий».

Спочатку ми вводимо назву стандартного централізованого технічного шаблону OrCAD

Далі виберіть у робочому каталозі файл списку з'єднань Impuls.mnl, у якому в табличній формі описані всі електричні з'єднання між компонентами, що використовуються для трасування.

Після цього вказуємо ім'я файлу плати, яку будемо створювати - він буде мати розширення *.max, для простоти назвемо його Impuls.max.

Коли список з'єднань завантажується, для кожного символу схеми в бібліотеці реєстрів компонентів *.LLB (бібліотеці відбитків) вибирається відповідний реєстр (керується властивостями відбитка друкованої плати або файлом System.prt).

Після завершення завантаження списку підключень на робочому екрані OrCAD Layout було отримано корпус компонентів з електричними підключеннями для проекту.

Ми встановили сітку міліметрового поля в меню «Параметри/Параметри системи», що значно полегшить малювання та розміщення компонентів.

Виберіть команду Інструменти/Перешкоди/Новий і намалюйте межу для розміщення компонентів і відстеження.

Далі розміщуємо на платі компоненти, які повинні мати кріплення. Ми робимо це за допомогою команди «Інструменти/Компоненти/Вибрати інструменти» — ми розміщуємо компоненти на місці один за одним і обов'язково закріплюємо їх за допомогою команди «Інструменти/Компоненти/Ремонт», щоб вони не рухалися.

Потім за допомогою команди Auto / Place / Board ми даємо програмі вказівку розмістити інші компоненти у вільній призначеній області.

Тепер ми встановлюємо ширину провідників тощо у вкладках, щоб продовжити пряме трасування плати.

А за допомогою команди «Параметри» > «Стратегії маршрутизації» > «Шари маршрутизації» в таблиці маршрутизації вимкніть два «нижні» шари — оскільки плата має бути двосторонньою, для маршрутизації не потрібні чотири шари.

Використовуйте команду Auto / Autoroute / Board, щоб запустити програму автоматичного відстеження борту. Глобальні параметри стратегії автоматичної маршрутизації встановлюються в діалоговому вікні, відкритому за допомогою команди «Параметри» > «Маршрутизація» > «Налаштування». Усі інші параметри вказуються в діалоговому вікні, яке відкривається командою Параметри > Політика маршрутизації.

Після завершення ми почали редагувати отримані результати за допомогою команди «Параметри» > «Стратегії маршруту» > «Ручні маршрути та інструменти» > «Намалювати траєкторію» та намалювати креслення відповідно до вимог ГОСТу.

Далі за допомогою інструментів малювання на панелі інструментів намалюйте контур друкованої плати, а потім обробимо графічне зображення в програмах «Visio-XP» і «Corel Draw-12», де шарами можна легко керувати і там є більше можливостей, ніж програми САПР.

2.6.5 Розрахунок діаметрів контактних площадок

Діаметр контактних площадок розраховується відповідно до діаметру отворів за формулою

$$\Delta D_{\text{к.п.}} = d_{\text{отв}} + \Delta d_{\text{в.в.}} + 2 \cdot b + \Delta t_{\text{в.в.}} + \sqrt{T_{\text{д}}^2 + T_{\text{Д}}^2 + \Delta t_{\text{н.в.}}^2}, \quad (2.5)$$

де $d_{\text{отв}}$ – діаметр отвору, $d_{\text{отв1}} = 0,8$ мм, $d_{\text{отв2}} = 1,0$ мм, $d_{\text{отв3}} = 1,2$ мм;

$\Delta d_{\text{в.в.}}$ – верхнє відхилення допуску на діаметр отвору, $\Delta d_{\text{в.в.}} = 0$ мм;

b – ширина гарантійного пояса, $b = 0,1$ мм;

$\Delta t_{\text{в.в.}}$ – верхнє граничне відхилення ширини провідника, $\Delta t_{\text{в.в.}} = 0,1$ мм;

$T_{\text{д}}$ – значення позиційного допуску розміщення 2-х будь-яких отворів на платі, $T_{\text{д}} = 0,1$ мм;

$T_{\text{Д}}$ – значення позиційного допуску розміщення центрів контактних площадок, $T_{\text{Д}} = 0,2$ мм

$\Delta t_{\text{н.в.}}$ – нижнє значення допуску на ширину провідника, $\Delta t_{\text{н.в.}} = 0,1 \text{ мм}$.

$$\Delta D_{\text{к.п.1}} = 0,8 + 0 + 2 \cdot 0,1 + 0,1 + \sqrt{0,1^2 + 0,2^2 + 0,1^2} = 1,345 \text{ мм}.$$

$$\Delta D_{\text{к.п.2}} = 1,0 + 0 + 2 \cdot 0,1 + 0,1 + \sqrt{0,1^2 + 0,2^2 + 0,1^2} = 1,545 \text{ мм}.$$

$$\Delta D_{\text{к.п.3}} = 1,2 + 0 + 2 \cdot 0,1 + 0,1 + \sqrt{0,1^2 + 0,2^2 + 0,1^2} = 1,745 \text{ мм}.$$

2.6.6 Розрахунок ширини друкованих провідників

Розрахунок ширини провідників проведений за значеннями максимального струму і при падінні напруги. Ширина задається, виходячи із класу точності друкованої плати. Тому ширина провідника

$$b = \max\{b_{\min I}, b_{\min \Delta U}, b_{\text{техн}}\}. \quad (2.6)$$

За максимальним струмом, що протікає через провідник

$$b_{\min I} = \frac{I_{\max}}{j_{\text{доп}} \cdot t}, \quad (2.7)$$

де $j_{\text{доп}}$ – допустима густина струму, для плати, виготовленої хімічним методом, $j_{\text{доп}} = 20 \text{ А/мм}^2$;

t – товщина провідника, $t = 35 \text{ мкм}$;

$I_{\max}$ – максимальний постійний струм, який проходить через провідник,
 $I_{\max} = 0,4 \text{ А}$.

$$b_{\min I} = \frac{0,4}{20 \cdot 0,035} = 0,571 \text{ мм} > 0,25 \text{ мм}.$$

Мінімальну ширину провідника визначаємо з умови допустимого падіння напруги

$$b_{\min \Delta U} = \frac{\rho \cdot I_{\max} \cdot l}{t \cdot \Delta U_{\text{доп}}}, \quad (2.8)$$

де ρ – питомий опір провідників, $\rho = 0,05 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$;

l – максимальна довжина провідника, $l = 0,5 \text{ м}$;

$\Delta U_{\text{доп}}$ – це допустиме падіння напруги (становить 5% від напруги живлення) $\Delta U_{\text{доп}} = 5 \cdot 0,05 = 0,25 \text{ В}$).

$$b_{\min \Delta U} = \frac{0,05 \cdot 0,4 \cdot 0,5}{0,035 \cdot 0,25} = 1,143 \text{ мм} > 0,25 \text{ мм}.$$

Розраховані значення ширини провідників не перевищують технологічне, тому:

Оскільки $b_{\min \Delta U} > b_{\min I} > b_{\text{техн}}$, то:

$$b = b_{\min \Delta U} = 1,143 \text{ мм}.$$

Дана ширина провідника стосується кола живлення. Мінімальну ширину інших провідників обираємо $b = b_{\text{техн}} = 0,25 \text{ мм}$.

2.6.7 Розрахунок плати на віброміцність

Визначаємо частоту власних коливань за такою формулою

$$f_0 = \frac{\pi}{2 \cdot a^2} \cdot \left(1 + \frac{a^2}{b^2} \right) \cdot \sqrt{\frac{D}{M}} \cdot a \cdot b, \quad (2.9)$$

де a , b – довжина і ширина плати: $a = 200 \text{ мм}$, $b = 135 \text{ мм}$;

D – циліндрична жорсткість

$$D = \frac{E \cdot h^3}{12 \cdot (1 - \nu^2)}, \quad (2.10)$$

де E – це модуль пружності, для фольгованого склотекстоліту з друкованою схемою $E = 3,2 \cdot 10^{10}$ Н/м,

h – це товщина плати, $h = 1,5$ мм;

ν – це коефіцієнт Пуассона, $\nu = 0,22$;

M – це маса плати з радіoeлементами, $M = 68,85 + 77,42 = 146,27$ г.

$$D = \frac{3,2 \cdot 10^{10} \cdot (1,5 \cdot 10^{-3})^3}{12 \cdot (1 - 0,22^2)} = 9,46$$

$$f_0 = \frac{3,14}{2 \cdot 0,2^2} \cdot \left(1 + \frac{0,2^2}{0,135^2}\right) \cdot \sqrt{\frac{9,46}{0,14627} \cdot 0,2 \cdot 0,135} = 165,7 \text{ Гц}$$

Отже, частота власних коливань не співпадає з резонансною частотою, яка згідно технічного завдання складає 10...70 Гц.

$$f_0 \neq f.$$

$$165,7 \text{ Гц} \neq 10...70 \text{ Гц}.$$

Визначаємо коефіцієнт динамічності.

$$K_{\text{дин}} = \frac{\sqrt{[1 + [K_1(x) \cdot K_1(y) - 1] \cdot \gamma^2]^2 + \gamma^2 \cdot \varepsilon^2}}{\sqrt{(1 - \gamma^2)^2 + \gamma^2 \cdot \varepsilon^2}}, \quad (2.11)$$

де K_1 – коефіцієнт форми коливань в залежності від методу кріплення плати. $K_1(x) = K_1(y) = 1,3$;

γ – коефіцієнт розстроювання

$$\gamma = \frac{f}{f_0} = \frac{70}{165,7} = 0,42;$$

ε – показник затухання, $\varepsilon = \frac{\Lambda}{\pi}$;

Λ – декремент затухання, $\Lambda = (2...10) \cdot 10^{-2}$. Обираємо середнє значення $\Lambda = 0,06$.

$$\varepsilon = \frac{0,06}{3,14} = 0,019.$$

$$K_{\text{дин}} = \frac{\sqrt{(1 + (1,3 \cdot 1,3 - 1) \cdot 0,42^2)^2 + 0,42^2 \cdot 0,019^2}}{\sqrt{(1 - 0,42^2)^2 + 0,42^2 \cdot 0,019^2}} = 1,112.$$

Вібровміщення

$$S_{\text{в}} = \xi_0 \cdot K_{\text{дин}},$$

де $\xi_0 = \frac{a_0}{4 \cdot \pi^2 \cdot f^2}$ - амплітуда вібровміщення основи.

$a_0 = (0,25...4) \cdot g = 2,45...13,72 \text{ м/с}^2$ – прискорення залежно від умов експлуатації; приймаємо максимальне значення $a_0 = 13,72 \text{ м/с}^2$.

$$\xi_0 = \frac{13,72}{4 \cdot 3,14^2 \cdot 70^2} = 7,1 \cdot 10^{-5} \text{ м} = 0,071 \text{ мм}.$$

$$S_{\text{в}} = 0,071 \cdot 1,112 = 0,079 \text{ мм}.$$

$$a_{\text{в}} = a_0 \cdot K_{\text{дин}} = 13,72 \cdot 1,112 = 15,257 \text{ м/с}^2.$$

Визначаємо прогин плати

$$\delta = S_{\text{в}} - \xi_0 = 0,079 - 0,071 = 0,009 \text{ мм}.$$

$$\delta_{\text{пр}} = \delta_{\text{доп}} \cdot l,$$

де $\delta_{\text{доп}}$ - це допустиме прогинання друкованої плати на довжині 1 м,
 $\delta_{\text{доп}} = 30 \text{ мм/м}$;

l - довжина плати, $l = 0,2 \text{ м}$.

$$\delta_{\text{пр}} = 30 \cdot 0,2 = 6 \text{ мм}.$$

Оскільки $\delta < \delta_{\text{пр}}$, то таке переміщення не призведе до дефектів та порушення цілісності плати.

2.6.8 Розрахунок на завадостійкість

Для оцінювання завадостійкості на друкованій платі визначимо паразитну ємність між друкованими провідниками і паразитну індукцію між ними.

Величина паразитної ємності між двома паралельними друкованими провідниками

$$C = \frac{1,06 \cdot \varepsilon \cdot l}{\lg\left(\frac{2 \cdot a}{t + b}\right)}, \quad (2.12)$$

де l – довжина паралельної частини провідників; у нашому випадку найбільше значення паразитних зв'язків буде між частинами провідників довжиною 196 мм і на відстані 2,05 мм; $l = 196 \text{ мм} = 0,196 \text{ м}$;

a – відстань між провідниками, $a = 2,05 \text{ мм} = 2,05 \cdot 10^{-3} \text{ м}$;

t і b - товщина і ширина провідників відповідно,
 $t = 35 \text{ мкм} = 35 \cdot 10^{-6} \text{ м}$, $b = 0,45 \text{ мм} = 0,45 \cdot 10^{-3} \text{ м}$;

ε – діелектрична проникність середовища для провідників

$$\varepsilon = \frac{\varepsilon_{\text{п}} + \varepsilon_{\text{л}}}{2},$$

де $\varepsilon_{\text{п}}$ – це діелектрична проникність матеріалу плати; $\varepsilon_{\text{п}} = 6$;

$\varepsilon_{\text{л}}$ – це діелектрична проникність матеріалу лаку; $\varepsilon_{\text{л}} = 4$.

Маємо

$$\varepsilon = \frac{6 + 4}{2} = 5.$$

$$C = \frac{1,06 \cdot 5 \cdot 0,196}{\lg \left(\frac{2 \cdot 2,05 \cdot 10^{-3}}{35 \cdot 10^{-6} + 0,45 \cdot 10^{-3}} \right)} = 1,12 \text{ пФ}.$$

Паразитна індуктивність між двома друкованими провідниками

$$L = 2 \cdot l \cdot \left(\ln \frac{2 \cdot l}{a + b} \right).$$

$$L = 2 \cdot 0,196 \cdot \left(\ln \frac{2 \cdot 0,196}{2,05 \cdot 10^{-3} + 0,45 \cdot 10^{-3}} \right) = 1,98 \text{ мкГн}.$$

Отримані значення паразитних ємності та індуктивності є досить малими, а тому вони допустимі.

2.7 Висновки до розділу

У розділі було розроблено структурну схему пристрою, схему електричну принципову на доступній елементній базі. Було зроблено компонування з вибором пластмасового корпусу. Розміри плати обрані 135x200 мм. Розрахунки на віброміцність і завадостійкість показали, що вібрація не призведе до дефектів та порушення цілісності плати, а паразитні значення ємності та індуктивності допустимі.

3 МОДЕЛЮВАННЯ ОСНОВНИХ ХАРАКТЕРИСТИК КОДУ ХЕМІНГА

3.1 Математичне моделювання

Дослідимо залежність імовірності помилок в некодованому блоці повідомлень P_M^u і імовірності появи помилок у декодованому повідомленні P_M^c від швидкості передачі даних R при $P_r / N_0 = 43776$. Для прикладу візьмемо код Хемінга (15, 11).

$$P_M^u = 1 - \left(1 - \Omega \left(\sqrt{\frac{2P_r}{N_0} \cdot \frac{1}{R}} \right) \right)^k, \quad (3.1)$$

$$P_M^c = \sum_{j=a+1}^n C_n^j \Omega^j \left(\sqrt{\frac{2P_r}{N_0} \frac{k}{nR}} \right) \left(1 - \Omega \left(\sqrt{\frac{2P_r}{N_0} \frac{k}{nR}} \right) \right)^{n-j}. \quad (3.2)$$

Результати представлені на рисунку 3.1. З рисунку видно, що при збільшенні швидкості передачі інформації імовірність помилки зростає для обох випадків. Проте у випадку передачі некодованих повідомлень це зростання більш стрімке. Так, наприклад, при $R = 5000$ біт/с імовірність помилки з використанням коду Хемінга (15, 11) на два порядки менша. Приведений графік може бути використаним при обґрунтуванні вибору завадостійкого кодування.

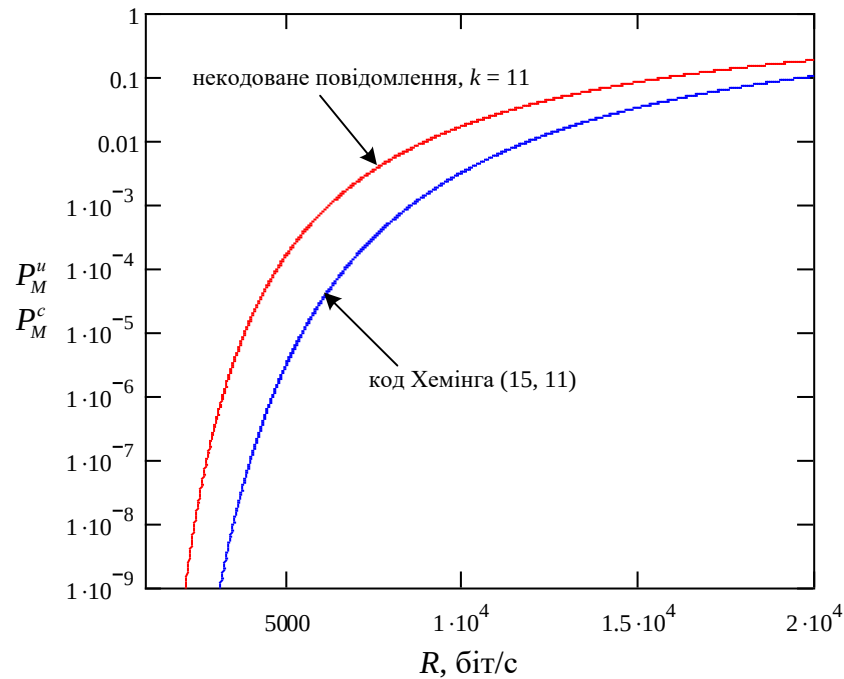


Рисунок 3.1 – Залежність імовірності помилок в некодованому блоці повідомлень P_M^u і імовірності появи помилок у декодованому повідомленні P_M^c від швидкості передачі даних R

Для оцінки ефективності коригуючого коду зручно користуватися еквівалентною імовірністю помилкового прийому одного символу (бітової помилки) такого коду

$$P_B \approx \frac{1}{n} \sum_{j=a+1}^n j C_n^j p^j (1-p)^{n-j}, \quad (3.3)$$

де p – імовірність помилкового прийому канального символу (імовірність переходу в двійковому симетричному каналі).

Для окремих кодів корекції помилок (таких як коди Хемінга) замість рівняння (3.3) можна використовувати інше еквівалентне рівняння

$$P_B \approx p - p(1-p)^{n-1}. \quad (3.4)$$

Дослідимо залежність імовірності бітової помилки кодів Хемінга (7, 4), (15, 11), (31, 26) від імовірності помилки в каналному символі. Усі ці коди виправляють тільки одну помилку, тобто $a = 1$. Результати моделювання представлені на рисунку 3.2.

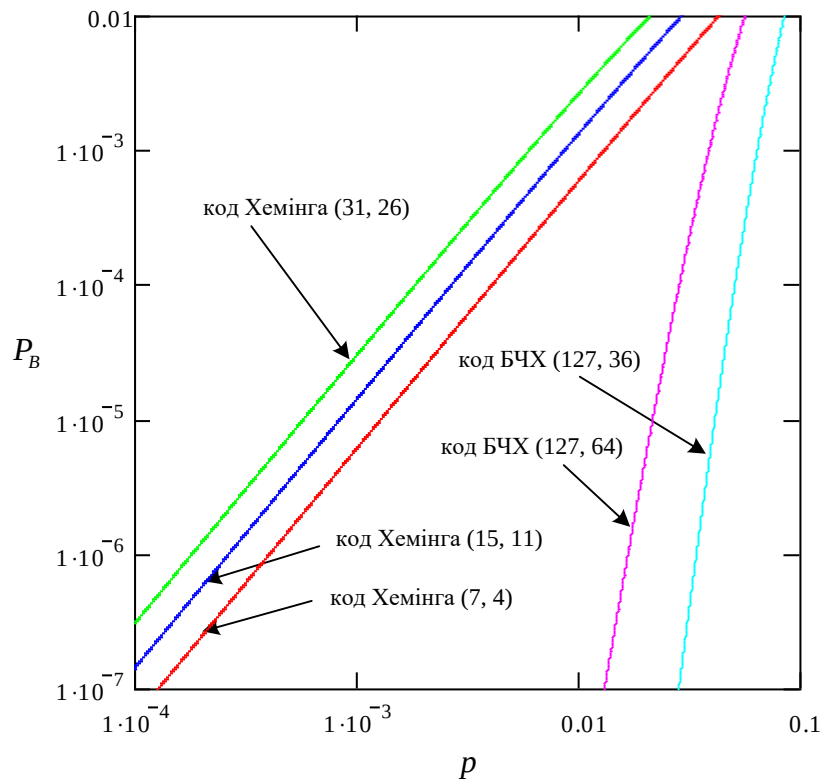


Рисунок 3.2 – Залежність бітової помилки кодів Хемінга і БЧХ від імовірності помилки в каналному символі

Цей графік, по суті, характеризує залежність імовірності помилки в декодованому біті від імовірності помилки в каналному символі при різних довжинах кодової комбінації. Для порівняння побудовано залежність і для кодів БЧХ (127, 64) і (127, 36), коригуючі можливості якого значно кращі, ніж коду Хемінга. Перший з даних кодів БЧХ може виправити максимум 10 помилок ($a = 10$), а другий – 15 ($a = 15$). По графіку видно, що збільшення довжини коду при незмінній a призводить до збільшення появи однобітової помилки при декодуванні.

При дослідженні значно більший інтерес викликає залежність імовірності помилки в декодованому біті P_B від відношення бітової енергії до спектральної густини потужності завади E_b / N_0 . Залежність імовірності помилки в каналному символі від відношення енергії кодового символу до спектральної густини завади виражається виразом

$$p = \Omega\left(\sqrt{\frac{2E_c}{N_0}}\right),$$

Щоб зв'язати E_c / N_0 з енергією біта інформації на одиницю густини завади (E_b / N_0) , використаємо наступне співвідношення

$$\frac{E_c}{N_0} = \frac{k}{n} \cdot \frac{E_b}{N_0}. \quad (3.5)$$

Для кодів Хемінга останнє рівняння приймає вигляд

$$\frac{E_c}{N_0} = \frac{2^m - 1 - m}{2^m - 1} \cdot \frac{E_b}{N_0},$$

де $m = n - k$ – число контрольних символів.

Враховуючи формулу (3.4), отримуємо

$$\begin{aligned} P_B &\approx p - p(1-p)^{n-1} = p\left(1 - (1-p)^{n-1}\right) = \\ &= \Omega\left(\sqrt{\frac{2^m - 1 - m}{2^m - 1} \cdot \frac{2E_b}{N_0}}\right) \cdot \left(1 - \left(1 - \Omega\left(\sqrt{\frac{2^m - 1 - m}{2^m - 1} \cdot \frac{2E_b}{N_0}}\right)\right)^{n-1}\right) \end{aligned}$$

Дослідимо дану залежність для кодів Хемінга (7, 4), (15, 11), (31, 26)

Графічно залежність представлено на рисунку 3.3.

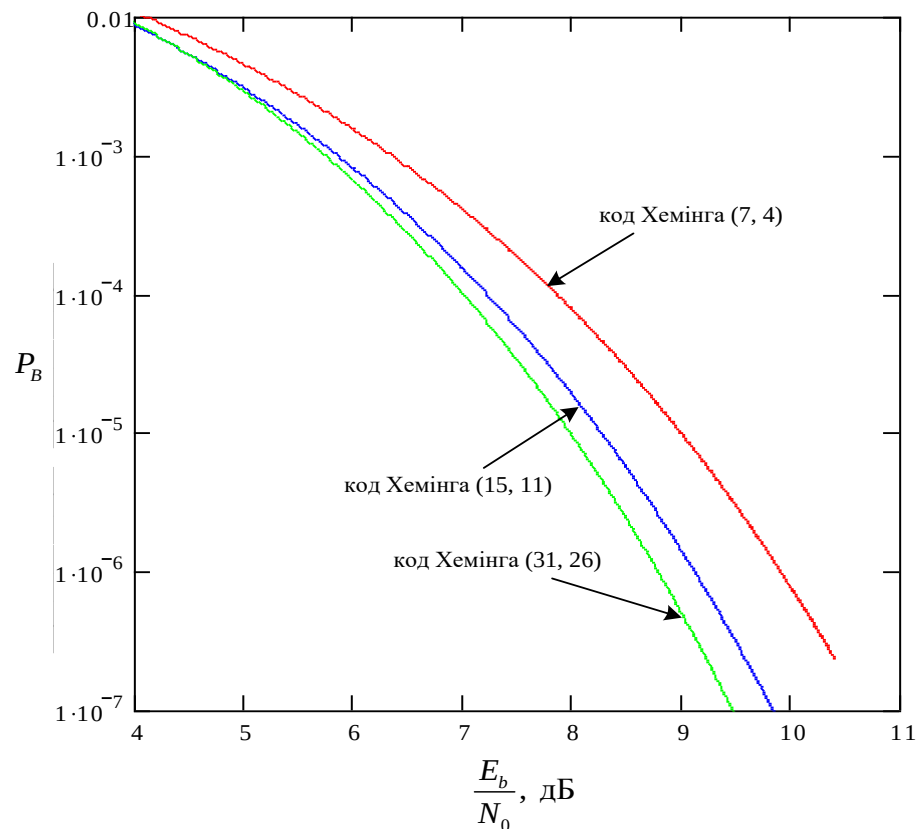


Рисунок 3.3 – Залежність імовірності помилки в декодованому біті P_B від відношення бітової енергії до спектральної густини потужності завади

Аналізуючи залежності на рисунку 3.3 можна зробити наступні висновки. Імовірність помилки в декодованому біті P_B зменшується при збільшенні відношення бітової енергії до спектральної густини потужності завади, а також при збільшенні значимості кодової комбінації (при однаковій a). Так, при $E_b / N_0 = 8$ дБ P_B для кодів Хемінга (7, 4), (15, 11), (31, 26) дорівнює $7,8 \cdot 10^{-5}$, $1,9 \cdot 10^{-5}$ та $9,7 \cdot 10^{-6}$ відповідно. Тобто при довжині (31, 26) імовірність помилки зменшується приблизно на порядок по відношенні до коду (7, 4).

Проте при виборі коду необхідно також враховувати простоту схемотехнічної реалізації кодера. Тому доцільно розглянути залежність еквівалентної імовірності помилки коду (7, 4) як найпростішого при порівнянні його з двійковим натуральним кодом (4, 4). Будемо вважати, що імовірність помилки каналного символу $p = 10^{-3}$.

3.2 Імітаційне моделювання

Дослідимо параметри коду Хемінга (7, 4) при проходженні його через канал зв'язку. Для цього у програмному пакеті MatLab будується модель системи з двійковим каналом для випробування двійкового сигналу (рисунок 3.4).

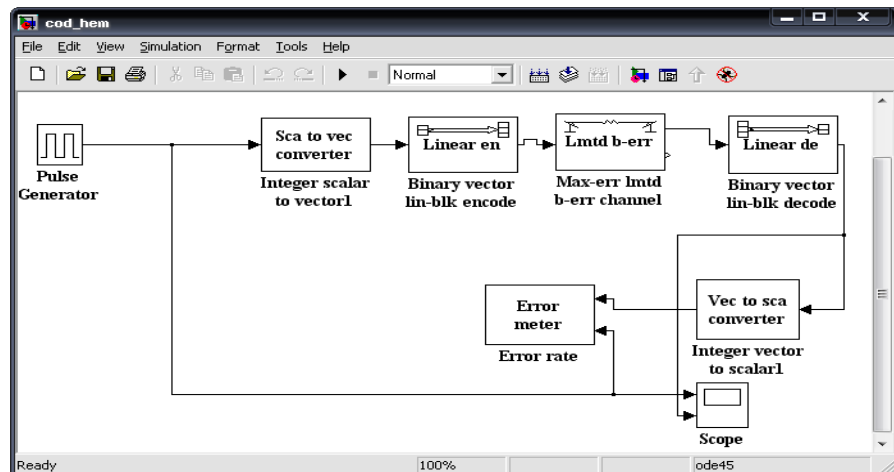


Рисунок 3.4 – Модельована система

Далі задаємо імовірність помилки каналного символу. Задамося значенням 0,05 % (рисунок 3.5).

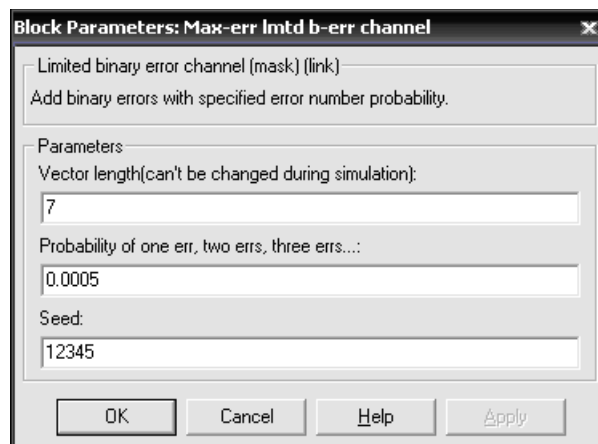


Рисунок 3.5 – Вікно настройки параметрів двійкового каналу
Вимірюється кількість помилок (рисунок 3.6).

Sender	Receiver
1	1
0	0
0	0
0	0
0	0
0	0
0	0
0	0
0	0
0	0
0	0
Symbol Transferred	2001
Error Number	1
Error Rate	0.00049975012
Bit Transferred	10005
Error Number	2
Error Rate	0.00019990005
Reset error count	Close

Рисунок 3.6 – Вікно лічильника помилок

Як бачимо, була передана 2001 кодова комбінація. Прийнято з помилкою всього одну комбінацію; відношення імовірності помилки декодованої комбінації до імовірності помилки комбінації в каналі – приблизно 0,0005.

Задаємо імовірності помилки канального символу 0,1, 0,5, 1, 5 і 10%. Отримуємо наступні значення:

- кількість прийнятих з помилкою кодових комбінацій – 2, 4, 11, 42, 80 відповідно;

- відношення імовірності помилки декодованої комбінації до імовірності помилки комбінації в каналі – 0,001, 0,002, 0,0055, 0,021, 0,04 відповідно.

Для кращого візуального сприйняття отриманих результатів побудуємо графіки залежностей кількості прийнятих з помилкою кодових комбінацій (рисунок 3.6) та відношення імовірності помилки декодованої комбінації до імовірності помилки комбінації в каналі від імовірності помилки канального символу (рисунок 3.7).

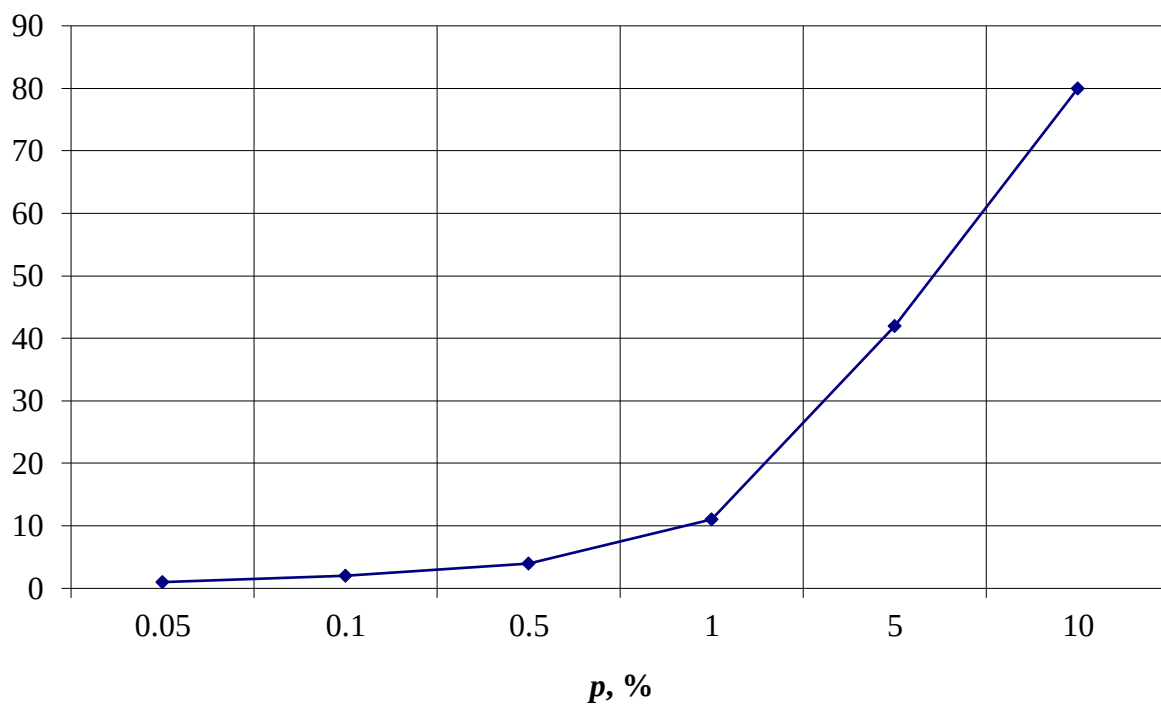


Рисунок 3.7 – Залежність кількості прийнятих з помилкою кодових комбінацій від імовірності помилки каналного символу

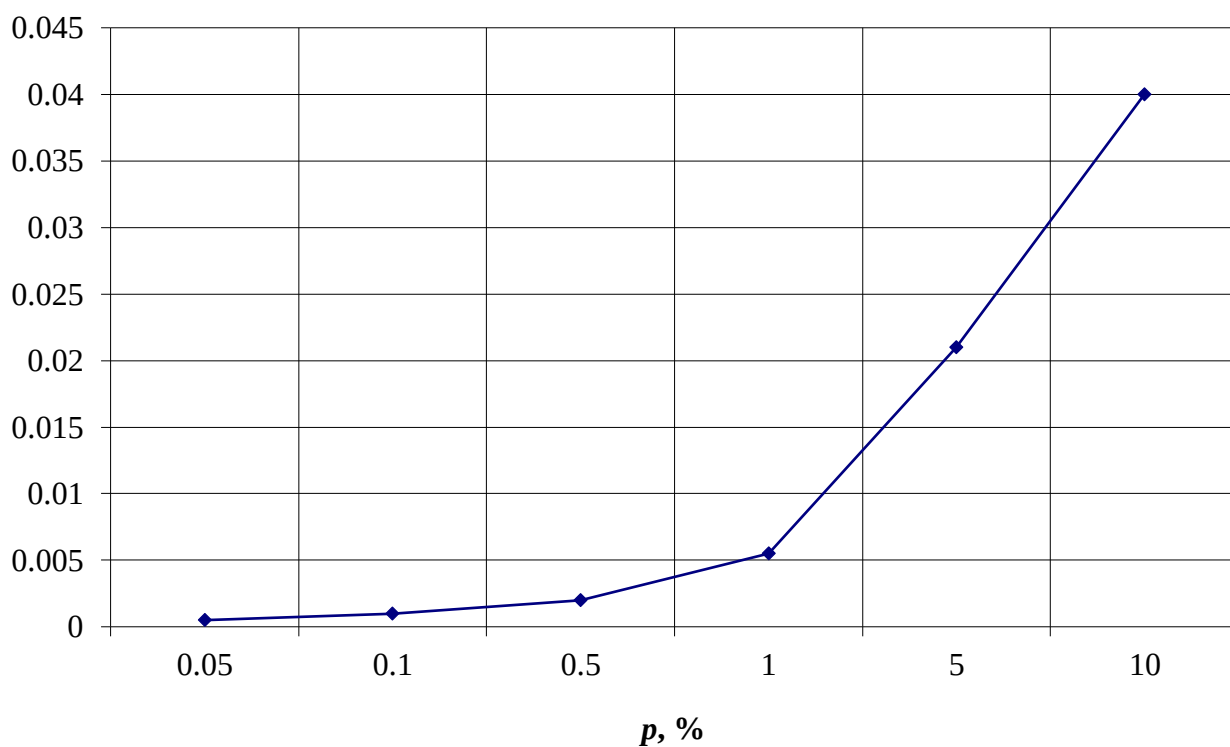


Рисунок 3.8 – Залежність відношення імовірності помилки декодованої комбінації до імовірності помилки комбінації в каналі від імовірності помилки каналного символу

Як видно з графіків, код Хемінга значно підвищує завадостійкість передачі даних. Він на порядки (в залежності від імовірності помилки каналного символу) знижує імовірність неправильного прийому.

3.3 Висновки до розділу

Математичне моделювання дозволило зробити наступні висновки. При збільшенні швидкості передачі інформації імовірність помилки зростає як для кодованого, так і для некованого повідомлення. Проте у випадку передачі некованих повідомлень це зростання більш стрімке. Збільшення довжини коду при незмінній a призводить до збільшення появи однобітової помилки при декодуванні. Імовірність помилки в декодованому біті P_b зменшується при збільшенні відношення бітової енергії до спектральної густини потужності завади, а також при збільшенні значимості кодової комбінації (при однаковій a).

Імітаційне моделювання підтвердило, що код Хемінга підвищує завадостійкість передачі даних.

4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

Науково-технічна розробка має право на існування та впровадження, якщо вона відповідає вимогам часу, як в напрямку науково-технічного прогресу та і в плані економіки. Тому для науково-дослідної роботи необхідно оцінювати економічну ефективність результатів виконаної роботи.

Магістерська кваліфікаційна робота на тему «Радіоелектронний пристрій завадостійкого кодування інформації з використанням коду Хемінга» відноситься до науково-технічних робіт, які орієнтовані на виведення на ринок (або рішення про виведення науково-технічної розробки на ринок може бути прийнято у процесі проведення самої роботи), тобто коли відбувається так звана комерціалізація науково-технічної розробки. Цей напрямок є пріоритетним, оскільки результатами розробки можуть користуватися інші споживачі, отримуючи при цьому певний економічний ефект. Але для цього потрібно знайти потенційного інвестора, який би взявся за реалізацію цього проекту і переконати його в економічній доцільності такого кроку.

Для наведеного випадку нами мають бути виконані такі етапи робіт:

- 1) проведено комерційний аудит науково-технічної розробки, тобто встановлення її науково-технічного рівня та комерційного потенціалу;
- 2) розраховано витрати на здійснення науково-технічної розробки;
- 3) розрахована економічна ефективність науково-технічної розробки у випадку її впровадження і комерціалізації потенційним інвестором і проведено обґрунтування економічної доцільності комерціалізації потенційним інвестором.

4.1 Проведення комерційного та технологічного аудиту науково-технічної розробки

Метою проведення комерційного і технологічного аудиту дослідження за темою «Радіоелектронний пристрій завадостійкого кодування інформації з використанням коду Хемінга» є оцінювання науково-технічного рівня та рівня

комерційного потенціалу розробки, створеної в результаті науково-технічної діяльності.

На сучасному етапі закріплення ринкових відносин, як основи розвитку економіки України значно зросла роль висококваліфікованих спеціалістів. В зв'язку з цим зростає значення якісної підготовки інженерно-технічних робітників, які будуть працювати в різних напрямках промисловості.

Для підготовки висококваліфікованих спеціалістів потрібно підвищити якість навчання і збільшити об'єм знань які отримують студенти у вищих навчальних закладах, при цьому особлива увага приділяється практичній підготовці майбутніх спеціалістів. Така вимога в основному визначається якістю проведення лабораторних занять що в свою чергу вимагає постійного розвитку технічної бази навчання, в особливості, сучасної вимірювальної апаратури та унікального промислового обладнання з допомогою яких студенти отримують реальне уявлення про принципи функціонування та особливості експлуатації промислових систем та приладів.

На жаль, в останній час з державного бюджету виділяється недостатня кількість коштів на покращення матеріальної навчальної бази. Одночасно з цим, постійно зростають ціни на промислове обладнання, яке могло б використовуватись при проведенні лабораторних робіт, а навчальні заклади не мають можливості його закупити. Тому аналогічну апаратуру можливо з дещо меншими функціональними можливостями кафедра ПКТА виготовляє самостійно у вигляді лабораторних макетів.

Існуючий лабораторний макет кодера Хемінга є морально застарілим і був виготовлений ще в 1989 році, при цьому використовувалась дискретна елементна база зі всіма витікаючими звідси недоліками, а його функціональні можливості обмежують програму досліджень. Тому виникла необхідність розробити новий лабораторний макет на сучасній елементній базі. У випадку позитивних результатів досліджень даний макет може бути виведений на ринок для задоволення потреби інших навчальних закладів при підготовці фахівців.

Оцінювання науково-технічного рівня розробки та її комерційного потенціалу рекомендується здійснювати із застосуванням 5-ти бальної системи оцінювання за 12-ма критеріями, наведеними в табл. 4.1 [31].

Таблиця 4.1 – Рекомендовані критерії оцінювання науково-технічного рівня і комерційного потенціалу розробки та бальна оцінка

Бали (за 5-ти бальною шкалою)					
	0	1	2	3	4
Технічна здійсненність концепції					
1	Достовірність концепції не підтверджена	Концепція підтверджена експертними висновками	Концепція підтверджена розрахунками	Концепція перевірена на практиці	Перевірено працездатність продукту в реальних
Ринкові переваги (недоліки)					
2	Багато аналогів на малому ринку	Мало аналогів на малому ринку	Кілька аналогів на великому ринку	Один аналог на великому ринку	Продукт не має аналогів на великому ринку
3	Ціна продукту значно вища за ціни аналогів	Ціна продукту дещо вища за ціни аналогів	Ціна продукту приблизно дорівнює цінам аналогів	Ціна продукту дещо нижче за ціни аналогів	Ціна продукту значно нижче за ціни аналогів
4	Технічні та споживчі властивості продукту значно гірші, ніж в аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту трохи гірші, ніж в аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту на рівні аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту трохи кращі, ніж в аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту значно кращі, ніж в аналогів
5	Експлуатаційні витрати значно вищі, ніж в аналогів	Експлуатаційні витрати дещо вищі, ніж в аналогів	Експлуатаційні витрати на рівні експлуатаційних витрат аналогів	Експлуатаційні витрати трохи нижчі, ніж в аналогів	Експлуатаційні витрати значно нижчі, ніж в аналогів
Ринкові перспективи					
6	Ринок малий і не має позитивної динаміки	Ринок малий, але має позитивну динаміку	Середній ринок з позитивною динамікою	Великий стабільний ринок	Великий ринок з позитивною динамікою

7	Активна конкуренція великих компаній на ринку	Активна конкуренція	Помірна конкуренція	Незначна конкуренція	Конкурентів немає
Практична здійсненність					
8	Відсутні фахівці як з технічної, так і з комерційної реалізації ідеї	Необхідно наймати фахівців або витратити значні кошти та час на	Необхідне незначне навчання фахівців та збільшення їх штату	Необхідне незначне навчання фахівців	Є фахівці з питань як з технічної, так і з комерційної реалізації ідеї
9	Потрібні значні фінансові ресурси, які відсутні. Джерела фінансування ідеї відсутні	Потрібні незначні фінансові ресурси. Джерела фінансування відсутні	Потрібні значні фінансові ресурси. Джерела фінансування є	Потрібні незначні фінансові ресурси. Джерела фінансування є	Не потребує додаткового фінансування
10	Необхідна розробка нових матеріалів	Потрібні матеріали, що використовуються у військово-промисловому комплексі	Потрібні дорогі матеріали	Потрібні досяжні та дешеві матеріали	Всі матеріали для реалізації ідеї відомі та давно використовуються у виробництві
11	Термін реалізації ідеї більший за 10 років	Термін реалізації ідеї більший за 5 років. Термін окупності інвестицій більше 10-ти років	Термін реалізації ідеї від 3-х до 5-ти років. Термін окупності інвестицій більше 5-ти років	Термін реалізації ідеї менше 3-х років. Термін окупності інвестицій від 3-х до 5-ти років	Термін реалізації ідеї менше 3-х років. Термін окупності інвестицій менше 3-х років
12	Необхідна розробка регламентних документів та отримання великої кількості дозвілних документів на виробництво та реалізацію	Необхідно отримання великої кількості дозвілних документів на виробництво та реалізацію продукту, що вимагає значних коштів	Процедура отримання дозвілних документів для виробництва та реалізації продукту вимагає незначних коштів та часу	Необхідно тільки повідомлення відповідним органам про виробництво та реалізацію продукту	Відсутні будь-які регламентні обмеження на виробництво та реалізацію продукту

Результати оцінювання науково-технічного рівня та комерційного потенціалу науково-технічної розробки потрібно звести до таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Результати оцінювання науково-технічного рівня і комерційного потенціалу розробки експертами

Критерії	Експерт (ПІБ, посада)		
	1	2	3
	Бали:		
1. Технічна здійсненність концепції	4	5	4
2. Ринкові переваги (наявність аналогів)	4	3	3
3. Ринкові переваги (ціна продукту)	4	5	4
4. Ринкові переваги (технічні властивості)	3	4	5
5. Ринкові переваги (експлуатаційні витрати)	3	3	4
6. Ринкові перспективи (розмір ринку)	2	2	2
7. Ринкові перспективи (конкуренція)	2	2	2
8. Практична здійсненність (наявність фахівців)	4	4	4
9. Практична здійсненність (наявність фінансів)	2	3	2
10. Практична здійсненність (необхідність нових матеріалів)	2	2	2
11. Практична здійсненність (термін реалізації)	3	4	4
12. Практична здійсненність (розробка документів)	4	4	4
Сума балів	37	41	40
Середньоарифметична сума балів $СБ_c$	39,3		

За результатами розрахунків, наведених в таблиці 4.2, зробимо висновок щодо науково-технічного рівня і рівня комерційного потенціалу розробки. При цьому використаємо рекомендації, наведені в табл. 4.3 [31].

Таблиця 4.3 – Науково-технічні рівні та комерційні потенціали розробки

Середньоарифметична сума балів СБ , розрахована на основі висновків	Науково-технічний рівень та комерційний потенціал розробки
41...48	Високий
31...40	Вище середнього
21...30	Середній
11...20	Нижче середнього
0...10	Низький

Згідно проведених досліджень рівень комерційного потенціалу розробки за темою «Радіоелектронний пристрій завадостійкого кодування інформації з використанням коду Хемінга» становить 39,3 бала, що, відповідно до таблиці 4.3, свідчить про комерційну важливість проведення даних досліджень (рівень комерційного потенціалу розробки вище середнього).

4.2 Розрахунок узагальненого коефіцієнта якості розробки

Окрім комерційного аудиту розробки доцільно також розглянути технічний рівень якості розробки, розглянувши її основні технічні показники. Ці показники по-різному впливають на загальну якість проектної розробки.

Узагальнений коефіцієнт якості (B_n) для нового технічного рішення розрахуємо за формулою [32]

$$B_n = \sum_{i=1}^k \alpha_i \cdot \beta_i, \quad (4.1)$$

де k – кількість найбільш важливих технічних показників, які впливають на якість нового технічного рішення;

α_i – коефіцієнт, який враховує питому вагу i -го технічного показника в загальній якості розробки. Коефіцієнт α_i визначається експертним шляхом і при цьому має

виконуватись умова $\sum_{i=1}^k \alpha_i = 1$;

β_i – відносне значення i -го технічного показника якості нової розробки.

Відносні значення β_i для різних випадків розраховуємо за такими формулами:

- для показників, зростання яких вказує на підвищення в лінійній залежності якості нової розробки

$$\beta_i = \frac{I_{ni}}{I_{ai}}, \quad (4.2)$$

де I_{ni} та I_{na} – чисельні значення конкретного i -го технічного показника якості відповідно для нової розробки та аналога;

- для показників, зростання яких вказує на погіршення в лінійній залежності якості нової розробки

$$\beta_i = \frac{I_{ai}}{I_{ni}}; \quad (4.3)$$

Використовуючи наведені залежності можемо проаналізувати та порівняти техніко-економічні характеристики аналогу та розробки на основі отриманих наявних та проектних показників, а результати порівняння зведемо до табл. 4.4.

Таблиця 4.4 – Порівняння основних параметрів розробки та аналога.

Показники (параметри)	Одиниця вимірювання	Аналог	Проектований пристрій	Відношення параметрів нової розробки до аналога	Питома вага показника
1. Кількість інформаційних символів	шт	4	4	1	0,15
2. Частота слідування імпульсів	кГц	5	8	1,6	0,2
3. Тривалість імпульсів	мкс	100	62,5	1,6	0,25
4. Тривалість синхросигналу	мкс	200	125	1,6	0,15
5. Потужність сигналу	мВт	25	50	2	0,25

Узагальнений коефіцієнт якості (B_n) для нового технічного рішення складе

$$B_n = \sum_{i=1}^k \alpha_i \cdot \beta_i = 1 \cdot 0,15 + 1,6 \cdot 0,2 + 1,6 \cdot 0,25 + 1,6 \cdot 0,15 + 2 \cdot 0,25 = 1,61.$$

Отже за технічними параметрами, згідно узагальненого коефіцієнту якості розробки, науково-технічна розробка переважає існуючі аналоги приблизно в 1,61 рази.

4.3 Розрахунок витрат на проведення науково-дослідної роботи

Витрати, пов'язані з проведенням науково-дослідної роботи на тему «Радіоелектронний пристрій завадостійкого кодування інформації з використанням коду Хемінга», під час планування, обліку і калькулювання собівартості науково-дослідної роботи групуємо за відповідними статтями.

4.3.1 Витрати на оплату праці

До статті «Витрати на оплату праці» належать витрати на виплату основної та додаткової заробітної плати керівникам відділів, лабораторій, секторів і груп, науковим, інженерно-технічним працівникам, конструкторам, технологам, креслярам, копіювальникам, лаборантам, робітникам, студентам, аспірантам та іншим працівникам, безпосередньо зайнятим виконанням конкретної теми, обчисленої за посадовими окладами, відрядними розцінками, тарифними ставками згідно з чинними в організаціях системами оплати праці.

Основна заробітна плата дослідників

Витрати на основну заробітну плату дослідників (3_o) розраховуємо у відповідності до посадових окладів працівників, за формулою [31]

$$3_o = \sum_{i=1}^k \frac{M_{ni} \cdot t_i}{T_p}, \quad (4.4)$$

де k – кількість посад дослідників залучених до процесу досліджень;

M_{ni} – місячний посадовий оклад конкретного дослідника, (грн.);

t_i – число днів роботи конкретного дослідника, дн.;

T_p – середнє число робочих днів в місяці, $T_p=21$ дні.

$$З_o = 18500,00 \cdot 18 / 21 = 15857,14 \text{ (грн.)}$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці 4.5.

Таблиця 4.5 – Витрати на заробітну плату дослідників

Найменування посади	Місячний посадовий оклад, грн	Оплата за робочий день, грн	Число днів роботи	Витрати на заробітну плату, грн
Керівник проекту	18500,00	880,95	18	15857,14
Інженер-розробник радіоелектронних пристроїв	16200,00	771,43	42	32400,00
Консультант (к.т.н., доцент)	12220,00	581,90	7	4073,33
Всього				52330,48

Основна заробітна плата робітників

Витрати на основну заробітну плату робітників ($З_p$) за відповідними найменуваннями робіт НДР на тему «Радіоелектронний пристрій завадостійкого кодування інформації з використанням коду Хемінга» розраховуємо за формулою

$$З_p = \sum_{i=1}^n C_i \cdot t_i, \quad (4.5)$$

де C_i – погодинна тарифна ставка робітника відповідного розряду, за виконану відповідну роботу, грн/год;

t_i – час роботи робітника при виконанні визначеної роботи, год.

Погодинну тарифну ставку робітника відповідного розряду C_i можна визначити за формулою

$$C_i = \frac{M_M \cdot K_i \cdot K_c}{T_p \cdot t_{зм}}, \quad (4.6)$$

де M_M – розмір прожиткового мінімуму працездатної особи, або мінімальної місячної заробітної плати (в залежності від діючого законодавства), прийmemo $M_M=8000,00$ грн;

K_i – коефіцієнт міжкваліфікаційного співвідношення для встановлення тарифної ставки робітнику відповідного розряду (табл. Б.2, додаток Б) [31];

K_c – мінімальний коефіцієнт співвідношень місячних тарифних ставок робітників першого розряду з нормальними умовами праці виробничих об'єднань і підприємств до законодавчо встановленого розміру мінімальної заробітної плати.

T_p – середнє число робочих днів в місяці, приблизно $T_p = 21$ дн;

$t_{зм}$ – тривалість зміни, год.

$$C_l = 8000,00 \cdot 1,10 \cdot 1,25 / (21 \cdot 8) = 65,48 \text{ (грн.)}.$$

$$З_{pl} = 65,48 \cdot 8,20 = 536,90 \text{ (грн.)}.$$

Таблиця 4.6 – Величина витрат на основну заробітну плату робітників

Найменування робіт	Тривалість роботи, год	Розряд роботи	Тарифний коефіцієнт	Погодинна тарифна ставка, грн	Величина оплати на робітника, грн
Встановлення обладнання для забезпечення розробки радіоелектронного пристрою	8,20	2	1,10	65,48	536,90
Підготовка робочого місця розробника радіоелектронного пристрою	5,32	3	1,35	80,36	427,50
Інсталяція програмного забезпечення розробника	6,75	4	1,50	89,29	602,68
Налагодження обладнання	5,52	4	1,50	89,29	492,86
Монтаж дослідного зразка макета	9,50	5	1,70	101,19	961,31
Випробування макета радіоелектронного пристрою	7,25	3	1,35	80,36	582,59
Всього					3603,84

Додаткова заробітна плата дослідників та робітників

Додаткову заробітну плату розраховуємо як 10 ... 12% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників за формулою

$$Z_{\text{доп}} = (Z_o + Z_p) \cdot \frac{H_{\text{доп}}}{100\%}, \quad (4.7)$$

де $H_{\text{доп}}$ – норма нарахування додаткової заробітної плати. Прийmemo 10%.

$$Z_{\text{доп}} = (52330,48 + 3603,84) \cdot 10 / 100\% = 5593,43 \text{ (грн.)}.$$

4.3.2 Відрахування на соціальні заходи

Нарахування на заробітну плату дослідників та робітників розраховуємо як 22% від суми основної та додаткової заробітної плати дослідників і робітників за формулою

$$Z_n = (Z_o + Z_p + Z_{\text{доп}}) \cdot \frac{H_{\text{зн}}}{100\%} \quad (4.8)$$

де $H_{\text{зн}}$ – норма нарахування на заробітну плату. Приймаємо 22%.

$$Z_n = (52330,48 + 3603,84 + 5593,43) \cdot 22 / 100\% = 13536,10 \text{ (грн.)}.$$

4.3.3 Сировина та матеріали

До статті «Сировина та матеріали» належать витрати на сировину, основні та допоміжні матеріали, інструменти, пристрої та інші засоби і предмети праці, які придбані у сторонніх підприємств, установ і організацій та витрачені на проведення досліджень за темою «Радіоелектронний пристрій завадостійкого кодування інформації з використанням коду Хемінга».

Витрати на матеріали (M), у вартісному вираженні розраховуються окремо по кожному виду матеріалів за формулою

$$M = \sum_{j=1}^n H_j \cdot C_j \cdot K_j - \sum_{j=1}^n B_j \cdot C_{ej}, \quad (4.9)$$

де H_j – норма витрат матеріалу j -го найменування, кг;

n – кількість видів матеріалів;

C_j – вартість матеріалу j -го найменування, грн/кг;

K_j – коефіцієнт транспортних витрат, ($K_j = 1,1 \dots 1,15$);

B_j – маса відходів j -го найменування, кг;

C_{ej} – вартість відходів j -го найменування, грн/кг.

$$M_1 = 4 \cdot 220,00 \cdot 1,01 - 0 \cdot 0 = 888,80 \text{ (грн.)}.$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці 4.7.

Таблиця 4.7 – Витрати на матеріали

Найменування матеріалу, марка, тип, сорт	Ціна за 1 кг, грн	Норма витрат, кг	Величина відходів, кг	Ціна відходів, грн/кг	Вартість витраченого матеріалу, грн
Офісний папір BIC Fine COPY 500/80 A4	220,00	4	0	0	888,80
Папір для записів BIC Fine Parers A5	85,00	4	0	0	343,40
Органайзер офісний BIC Fine	210,00	3	0	0	636,30
Канцелярське приладдя (набір офісного працівника) BIC Fine	235,00	3	0	0	712,05
Картридж для принтера EPSON EX530 black	1159,00	1	0	0	1170,59
Диск оптичний BIC Fine CD-RW	28,60	4	0	0	115,54
Flesh-пам'ять Kingston Data Traveler 128 GB	299,00	1	0	0	301,99

Продовження таблиці 4.7 – Витрати на матеріали

Тека для паперів BIC Fine	102,00	4	0	0	412,08
Флюс	320,00	0,020	0	0	6,46
Припой	695,00	0,070	0	0	49,14
Дріт МЛШ-13	12,00	7,000	0	0	84,84
Склотекстоліт	250,00	0,200	0	0	50,50
Лак	390,00	0,080	0	0	31,51
Всього					4803,21

4.3.4 Розрахунок витрат на комплектуючі

Витрати на комплектуючі (K_{ϵ}), які використовують при проведенні НДР на тему «Радіоелектронний пристрій завадостійкого кодування інформації з використанням коду Хемінга», розраховуємо, згідно з їхньою номенклатурою, за формулою

$$K_{\epsilon} = \sum_{j=1}^n H_j \cdot C_j \cdot K_j \quad (4.10)$$

де H_j – кількість комплектуючих j -го виду, шт.;

C_j – покупна ціна комплектуючих j -го виду, грн;

K_j – коефіцієнт транспортних витрат, ($K_j = 1,1 \dots 1,15$).

$$K_{\epsilon} = 1 \cdot 24,20 \cdot 1,01 = 24,44 \text{ (грн.)}$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці 4.8.

Таблиця 4.8 – Витрати на комплектуючі

Найменування комплектуючих	Кількість, шт.	Ціна за штуку, грн	Сума, грн
Діодний міст RS201	1	24,20	24,44
Кнопка PBS-10B	12	15,50	187,86
Конденсатори NPO	2	2,10	4,24
Конденсатори CL20	22	4,30	95,55
Конденсатори K50-35	4	3,80	15,35
Корпус Z35	1	82,00	82,82
Корпус	1	415,00	419,15
Мікросхема 7805	1	18,40	18,58
Мікросхеми LS74...	21	11,00	233,31

Продовження таблиці 4.8 – Витрати на комплектуючі

Ніжки на клейкій основі	4	12,50	50,50
Перемикач галетний МПН-1	1	93,00	93,93
Резистори RK-1233N1	2	22,00	44,44
Резистори С2-23	75	0,95	71,96
Роз'єм DS225	1	8,50	8,59
Роз'єм РУ-401С	1	17,20	17,37
Роз'єм СР-50	2	24,80	50,10
Ручка для змінного резистора	2	17,10	34,54
Світлодіод L132XGT	11	6,20	68,88
Світлодіод L132XID	7	5,40	38,18
Трансформатор TS5/14	1	125,00	126,25
Всього			1686,04

4.3.5 Спецустаткування для наукових (експериментальних) робіт

До статті «Спецустаткування для наукових (експериментальних) робіт» належать витрати на виготовлення та придбання спецустаткування необхідного для проведення досліджень, також витрати на їх проектування, виготовлення, транспортування, монтаж та встановлення.

Балансову вартість спецустаткування розраховуємо за формулою

$$B_{\text{спец}} = \sum_{i=1}^k C_i \cdot C_{\text{пр.і}} \cdot K_i, \quad (4.11)$$

де C_i – ціна придбання одиниці спецустаткування даного виду, марки, грн;

$C_{\text{пр.і}}$ – кількість одиниць устаткування відповідного найменування, які придбані для проведення досліджень, шт.;

K_i – коефіцієнт, що враховує доставку, монтаж, налагодження устаткування тощо, ($K_i = 1,10 \dots 1,12$);

k – кількість найменувань устаткування.

$$B_{\text{спец}} = 4700,00 \cdot 1 \cdot 1,01 = 4747,00 \text{ (грн.)}.$$

Отримані результати зведемо до таблиці 4.9.

Таблиця 4.9 – Витрати на придбання спецустаткування по кожному виду

Найменування устаткування	Кількість, шт	Ціна за одиницю, грн	Вартість, грн
Частотомір цифровий з підтримкою аналогового сигналу та CTCSS/DCS кодів ANYSECU SF-103	1	4700,00	4747,00
Всього			4747,00

4.3.6 Програмне забезпечення для наукових (експериментальних) робіт

До статті «Програмне забезпечення для наукових (експериментальних) робіт» належать витрати на розробку та придбання спеціальних програмних засобів і програмного забезпечення, (програм, алгоритмів, баз даних) необхідних для проведення досліджень, також витрати на їх проектування, формування та встановлення.

Балансову вартість програмного забезпечення розраховуємо за формулою

$$B_{npz} = \sum_{i=1}^k \Pi_{inpr} \cdot C_{npz.i} \cdot K_i, \quad (4.12)$$

де Π_{inpr} – ціна придбання одиниці програмного засобу даного виду, грн;

$C_{npz.i}$ – кількість одиниць програмного забезпечення відповідного найменування, які придбані для проведення досліджень, шт.;

K_i – коефіцієнт, що враховує інсталяцію, налагодження програмного засобу тощо, ($K_i = 1, 10 \dots 1, 12$);

k – кількість найменувань програмних засобів.

$$B_{npz} = 2450,00 \cdot 1 \cdot 1 = 2450,00 \text{ (грн.)}.$$

Отримані результати зведемо до таблиці 4.10.

Таблиця 4.10 – Витрати на придбання програмних засобів по кожному виду

Найменування програмного засобу	Кількість , шт	Ціна за одиницю, грн	Вартість, грн
Середовище проектування Electronics Workbench Multisim 12	1	2450,00	2450,00
Пакет MATLAB SIMULINK	1	4560,00	4560,00
Всього			7010,00

4.3.7 Амортизація обладнання, програмних засобів та приміщень

В спрощеному вигляді амортизаційні відрахування по кожному виду обладнання, приміщень та програмному забезпеченню тощо, розраховуємо з використанням прямолінійного методу амортизації за формулою

$$A_{обл} = \frac{Ц_{б}}{T_{е}} \cdot \frac{t_{вик}}{12}, \quad (4.13)$$

де $Ц_{б}$ – балансова вартість обладнання, програмних засобів, приміщень тощо, які використовувались для проведення досліджень, грн;

$t_{вик}$ – термін використання обладнання, програмних засобів, приміщень під час досліджень, місяців;

$T_{е}$ – строк корисного використання обладнання, програмних засобів, приміщень тощо, років.

$$A_{обл} = (23999,00 \cdot 2) / (2 \cdot 12) = 1999,92 \text{ (грн.)}.$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці 4.11.

Таблиця 4.11 – Амортизаційні відрахування по кожному виду обладнання

Найменування обладнання	Балансова вартість, грн	Строк корисного використання, років	Термін використання обладнання, місяців	Амортизаційні відрахування, грн
Персональний комп'ютер розробника радіоелектронного пристрою (Ноутбук HP Pavilion 15-eh3018ua (9H8T3EA) Fog Blue / 15.6" IPS Full HD / AMD Ryzen 5 7320U / RAM 16 ГБ / SSD 512 ГБ)	23999,00	2	2	1999,92
Робоче місце розробника радіоелектронного пристрою	8420,00	5	2	280,67
Пристрої виводу графічної інформації	7899,00	4	2	329,13
Оргтехніка	7450,00	5	2	248,33
Приміщення лабораторії розробки радіоелектронної апаратури	385000,00	25	2	2566,67
Робоче місце тестувальника апаратури	8999,00	4	2	374,96
Пристрої передачі цифрової інформації (Маршрутизатор інтернет WiFi6 TP-Link Archer AX12)	1789,00	4	2	74,54
Паяльна станція ПС-280-А/8	6500,00	5	2	220,50
ОС Windows 11	5680,00	3	2	315,56
Прикладний пакет Microsoft Office 2021 Professional Plus	5120,00	3	2	284,44
Всього				6474,21

4.3.8 Паливо та енергія для науково-виробничих цілей

Витрати на силову електроенергію (B_e) розраховуємо за формулою

$$B_e = \sum_{i=1}^n \frac{W_{yi} \cdot t_i \cdot C_e \cdot K_{eni}}{\eta_i}, \quad (4.14)$$

де W_{yi} – встановлена потужність обладнання на визначеному етапі розробки, кВт;

t_i – тривалість роботи обладнання на етапі дослідження, год;

C_e – вартість 1 кВт-години електроенергії, грн; (вартість електроенергії визначається за даними енергопостачальної компанії), прийmemo $C_e = 7,50$ грн;

$K_{\text{внi}}$ – коефіцієнт, що враховує використання потужності, $K_{\text{внi}} < 1$;

η_i – коефіцієнт корисної дії обладнання, $\eta_i < 1$.

$$B_e = 0,05 \cdot 330,0 \cdot 7,50 \cdot 0,95 / 0,97 = 123,75 \text{ (грн.)}.$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці 4.12.

Таблиця 4.12 – Витрати на електроенергію

Найменування обладнання	Встановлена потужність, кВт	Тривалість роботи, год	Сума, грн
Персональний комп'ютер розробника радіоелектронного пристрою (Ноутбук HP Pavilion 15-eh3018ua (9H8T3EA) Fog Blue / 15.6" IPS Full HD / AMD Ryzen 5 7320U / RAM 16 ГБ / SSD 512 ГБ)	0,05	330,0	123,75
Робоче місце розробника радіоелектронного пристрою	0,09	330,0	222,75
Пристрої виводу графічної інформації	0,07	7,0	3,68
Оргтехніка	0,42	2,5	7,88
Дослідний макет радіоелектронного пристрою	0,04	80,0	24,00
Робоче місце тестувальника апаратури	0,02	330,0	49,50
Пристрої передачі цифрової інформації (Маршрутизатор інтернет WiFi6 TP-Link Archer AX12)	0,02	330,0	49,50
Паяльна станція ПС-280-A/8	0,12	15,0	13,50
Частотомір цифровий з підтримкою аналогового сигналу та CTCSS/DCS кодів ANYSECU SF-103	0,06	150,0	67,50
Всього			562,05

4.3.9 Службові відрядження

До статті «Службові відрядження» дослідної роботи на тему «Радіоелектронний пристрій завадостійкого кодування інформації з

використанням коду Хемінга» належать витрати на відрядження штатних працівників, працівників організацій, які працюють за договорами цивільно-правового характеру, аспірантів, зайнятих розробленням досліджень, відрядження, пов'язані з проведенням випробувань машин та приладів, а також витрати на відрядження на наукові з'їзди, конференції, наради, пов'язані з виконанням конкретних досліджень.

Витрати за статтею «Службові відрядження» відсутні.

4.3.10 Витрати на роботи, які виконують сторонні підприємства, установи і організації

Витрати за статтею «Витрати на роботи, які виконують сторонні підприємства, установи і організації» відсутні.

4.3.11 Інші витрати

До статті «Інші витрати» належать витрати, які не знайшли відображення у зазначених статтях витрат і можуть бути віднесені безпосередньо на собівартість досліджень за прямими ознаками.

Витрати за статтею «Інші витрати» розраховуємо як 50...100% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників за формулою

$$I_e = (Z_o + Z_p) \cdot \frac{H_{ie}}{100\%}, \quad (4.15)$$

де H_{ie} – норма нарахування за статтею «Інші витрати», приймемо $H_{ie} = 50\%$.

$$I_e = (52330,48 + 3603,84) \cdot 50 / 100\% = 27967,16 \text{ (грн.)}.$$

4.3.12 Накладні (загальновиробничі) витрати

До статті «Накладні (загальновиробничі) витрати» належать: витрати, пов'язані з управлінням організацією; витрати на винахідництво та раціоналізацію; витрати на підготовку (перепідготовку) та навчання кадрів;

витрати, пов'язані з набором робочої сили; витрати на оплату послуг банків; витрати, пов'язані з освоєнням виробництва продукції; витрати на науково-технічну інформацію та рекламу та ін.

Витрати за статтею «Накладні (загальновиробничі) витрати» розраховуємо як 100...150% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників за формулою

$$B_{нзв} = (Z_o + Z_p) \cdot \frac{H_{нзв}}{100\%}, \quad (4.16)$$

де $H_{нзв}$ – норма нарахування за статтею «Накладні (загальновиробничі) витрати», прийmemo $H_{нзв} = 100\%$.

$$B_{нзв} = (52330,48 + 3603,84) \cdot 100 / 100\% = 55934,32 \text{ (грн.)}$$

Витрати на проведення науково-дослідної роботи на тему «Радіоелектронний пристрій завадостійкого кодування інформації з використанням коду Хемінга» розраховуємо як суму всіх попередніх статей витрат за формулою

$$B_{заг} = Z_o + Z_p + Z_{доо} + Z_n + M + K_v + B_{спец} + B_{прз} + A_{обл} + B_e + B_{св} + B_{сп} + I_v + B_{нзв}. \quad (4.17)$$

$$B_{заг} = 52330,48 + 3603,84 + 5593,43 + 13536,10 + 4803,21 + 1686,04 + 4747,00 + 7010,00 + 6474,21 + 562,05 + 0,00 + 0,00 + 27967,16 + 55934,32 = 184247,83 \text{ (грн.)}.$$

Загальні витрати $ЗВ$ на завершення науково-дослідної (науково-технічної) роботи та оформлення її результатів розраховується за формулою

$$ЗВ = \frac{B_{заг}}{\eta}, \quad (4.18)$$

де η - коефіцієнт, який характеризує етап (стадію) виконання науково-дослідної роботи, прийmemo $\eta = 0,95$.

$$ЗВ = 184247,83 / 0,95 = 193945,09 \text{ (грн.)}.$$

4.4 Розрахунок економічної ефективності науково-технічної розробки при її можливій комерціалізації потенційним інвестором

В ринкових умовах узагальнюючим позитивним результатом, що його може отримати потенційний інвестор від можливого впровадження результатів тієї чи іншої науково-технічної розробки, є збільшення у потенційного інвестора величини чистого прибутку.

Результати дослідження проведені за темою «Радіоелектронний пристрій завадостійкого кодування інформації з використанням коду Хемінга» передбачають комерціалізацію протягом 4-х років реалізації на ринку.

1) *Розробка чи суттєве вдосконалення приладу, пристрою для використання кінцевими споживачами.*

В цьому випадку майбутній економічний ефект буде формуватися на основі таких даних:

ΔN – збільшення кількості споживачів пристрою, у періоди часу, що аналізуються, від покращення його певних характеристик;

Показник	1-й рік	2-й рік	3-й рік	4-й рік
Збільшення кількості споживачів, осіб	15	20	20	10

N – кількість споживачів які використовували аналогічний пристрій у році до впровадження результатів нової науково-технічної розробки, прийmemo 100 осіб;

C_o – вартість пристрою у році до впровадження результатів розробки, прийmemo 10000,00 (грн.);

$\pm \Delta C_o$ – зміна вартості пристрою від впровадження результатів науково-технічної розробки, прийmemo 600,00 (грн.).

Можливе збільшення чистого прибутку у потенційного інвестора $\Delta\Pi_i$ для кожного із 4-х років, протягом яких очікується отримання позитивних результатів від можливого впровадження та комерціалізації науково-технічної розробки, розраховуємо за формулою [31]

$$\Delta\Pi_i = (\pm\Delta C_o \cdot N + C_o \cdot \Delta N)_i \cdot \lambda \cdot \rho \cdot \left(1 - \frac{\vartheta}{100}\right), \quad (4.19)$$

де λ – коефіцієнт, який враховує сплату потенційним інвестором податку на додану вартість. У 2024 році ставка податку на додану вартість складає 20%, а коефіцієнт $\lambda = 0,8333$;

ρ – коефіцієнт, який враховує рентабельність інноваційного продукту).
Прийmemo $\rho = 45\%$;

ϑ – ставка податку на прибуток, який має сплачувати потенційний інвестор, у 2024 році $\vartheta = 18\%$; (для навчальних закладів прийmemo 0%)

Збільшення чистого прибутку 1-го року:

$$\Delta\Pi_1 = (600,00 \cdot 100,00 + 10600,00 \cdot 15) \cdot 0,83 \cdot 0,45 \cdot (1 - 0/100\%) = 81796,50 \text{ (грн.)}$$

Збільшення чистого прибутку 2-го року:

$$\Delta\Pi_2 = (600,00 \cdot 100,00 + 10600,00 \cdot 35) \cdot 0,83 \cdot 0,45 \cdot (1 - 0/100\%) = 160978,50 \text{ (грн.)}$$

Збільшення чистого прибутку 3-го року:

$$\Delta\Pi_3 = (600,00 \cdot 100,00 + 10600,00 \cdot 55) \cdot 0,83 \cdot 0,45 \cdot (1 - 0/100\%) = 240160,50 \text{ (грн.)}$$

Збільшення чистого прибутку 4-го року:

$$\Delta\Pi_4 = (600,00 \cdot 100,00 + 10600,00 \cdot 65) \cdot 0,83 \cdot 0,45 \cdot (1 - 0/100\%) = 279751,50 \text{ (грн.)}$$

Приведена вартість збільшення всіх чистих прибутків $ПП$, що їх може отримати потенційний інвестор від можливого впровадження та комерціалізації науково-технічної розробки

$$ПП = \sum_{i=1}^T \frac{\Delta\Pi_i}{(1 + \tau)^t}, \quad (4.20)$$

де $\Delta\Pi_i$ – збільшення чистого прибутку у кожному з років, протягом яких виявляються результати впровадження науково-технічної розробки, грн;

T – період часу, протягом якого очікується отримання позитивних результатів від впровадження та комерціалізації науково-технічної розробки, роки;

τ – ставка дисконтування, за яку можна взяти щорічний прогнозований рівень інфляції в країні, $\tau=0,05$;

t – період часу (в роках) від моменту початку впровадження науково-технічної розробки до моменту отримання потенційним інвестором додаткових чистих прибутків у цьому році.

$$\begin{aligned} III &= 81796,50/(1+0,05)^1 + 160978,50/(1+0,05)^2 + 240160,50/(1+0,05)^3 + \\ &+ 279751,50/(1+0,05)^4 = 77901,43 + 146012,24 + 207459,67 + 230152,25 = \\ &= 661525,59 \text{ (грн.)} \end{aligned}$$

Величина початкових інвестицій PV , які потенційний інвестор має вкласти для впровадження і комерціалізації науково-технічної розробки:

$$PV = k_{инв} \cdot 3B, \quad (4.21)$$

де $k_{инв}$ – коефіцієнт, що враховує витрати інвестора на впровадження науково-технічної розробки та її комерціалізацію, приймаємо $k_{инв}=1$;

$3B$ – загальні витрати на проведення науково-технічної розробки та оформлення її результатів, приймаємо 193945,09 (грн.).

$$PV = k_{инв} \cdot 3B = 1 \cdot 193945,09 = 193945,09 \text{ (грн.)}.$$

Абсолютний економічний ефект $E_{абс}$ для потенційного інвестора від можливого впровадження та комерціалізації науково-технічної розробки становитиме

$$E_{абс} = III - PV \quad (4.22)$$

де $ПП$ – приведена вартість зростання всіх чистих прибутків від можливого впровадження та комерціалізації науково-технічної розробки, 661525,59 грн;

PV – теперішня вартість початкових інвестицій, 193945,09 (грн.).

$$E_{абс} = ПП - PV = 661525,59 - 193945,09 = 467580,51 \text{ (грн.)}$$

Внутрішня економічна дохідність інвестицій E_g , які можуть бути вкладені потенційним інвестором у впровадження та комерціалізацію науково-технічної розробки

$$E_g = T_{ж} \sqrt{1 + \frac{E_{абс}}{PV}} - 1, \quad (4.23)$$

де $E_{абс}$ – абсолютний економічний ефект вкладених інвестицій, 467580,51 (грн.);

PV – теперішня вартість початкових інвестицій, 193945,09 (грн.);

$T_{ж}$ – життєвий цикл науково-технічної розробки, тобто час від початку її розробки до закінчення отримування позитивних результатів від її впровадження, 4 роки.

$$E_g = T_{ж} \sqrt{1 + \frac{E_{абс}}{PV}} - 1 = (1 + 467580,51/193945,09)^{1/4} = 0,36.$$

Мінімальна внутрішня економічна дохідність вкладених інвестицій $\tau_{мін}$:

$$\tau_{мін} = d + f, \quad (4.24)$$

де d – середньозважена ставка за депозитними операціями в комерційних банках; в 2024 році в Україні $d = 0,09$;

f – показник, що характеризує ризикованість вкладення інвестицій, прийmemo 0,05.

$\tau_{\min} = 0,09 + 0,05 = 0,14 < 0,36$ свідчить про те, що внутрішня економічна дохідність інвестицій E_{ϵ} , які можуть бути вкладені потенційним інвестором у впровадження та комерціалізацію науково-технічної розробки вища мінімальної внутрішньої дохідності. Тобто інвестувати в науково-дослідну роботу за темою «Радіоелектронний пристрій завадостійкого кодування інформації з використанням коду Хемінга» доцільно.

Період окупності інвестицій $T_{ок}$ які можуть бути вкладені потенційним інвестором у впровадження та комерціалізацію науково-технічної розробки

$$T_{ок} = \frac{1}{E_{\epsilon}}, \quad (4.25)$$

де E_{ϵ} – внутрішня економічна дохідність вкладених інвестицій.

$$T_{ок} = 1 / 0,36 = 2,79 \text{ р.}$$

$T_{ок} < 3$ -х років, що свідчить про комерційну привабливість науково-технічної розробки і може спонукати потенційного інвестора профінансувати впровадження даної розробки та виведення її на ринок.

4.5 Висновки до розділу

Згідно проведених досліджень рівень комерційного потенціалу розробки за темою «Радіоелектронний пристрій завадостійкого кодування інформації з використанням коду Хемінга» становить 39,3 бала, що, свідчить про комерційну важливість проведення даних досліджень (рівень комерційного потенціалу розробки вище середнього).

При оцінюванні за технічними параметрами, згідно узагальненого коефіцієнту якості розробки, науково-технічна розробка переважає існуючі аналоги приблизно в 1,61 рази.

Також термін окупності становить 2,79 р., що менше 3-х років, що свідчить про комерційну привабливість науково-технічної розробки і може

спонукати потенційного інвестора профінансувати впровадження даної розробки та виведення її на ринок.

Отже можна зробити висновок про доцільність проведення науково-дослідної роботи за темою «Радіоелектронний пристрій завадостійкого кодування інформації з використанням коду Хемінга».

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Охорона праці є ключовим аспектом для суспільства, оскільки її метою є збереження життя, здоров'я та працездатності людини в процесі виконання трудових обов'язків. Головними завданнями системи охорони праці є забезпечення безпеки на робочому місці на всіх етапах виробництва, запобігання виробничого травматизму та професійних захворювань, створення сприятливих та безпечних умов праці, а також проведення просвітницької діяльності з питань охорони праці. Розвиток ефективної системи охорони праці сприяє підвищенню якості життя працівників та забезпеченню стабільності трудових колективів [33].

На розробника радіоелектронного пристрою завадостійкого кодування інформації з використанням коду Хемінга згідно Гігієнічної класифікацією праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу, мали вплив такі небезпечні та шкідливі виробничі фактори:

1. Фізичні: підвищена запиленість та загазованість повітря робочої зони; підвищений рівень шуму на робочому місці; підвищена чи понижена вологість повітря; підвищений рівень статичної електрики; підвищений рівень електромагнітного випромінювання; пряма і відбита блискість; підвищена яскравість; понижена контрастність; недостатня освітленість робочої зони.

2. Психофізіологічні: розумове перевантаження; перенапруга аналізаторів; статичне перевантаження.

3. Хімічні: шкідливі речовини в повітрі робочої зони.

На основі зазначених факторів розробляємо заходи з гігієни праці та виробничої санітарії, які допоможуть забезпечити безпечні та комфортні умови праці.

5.1 Технічні рішення щодо безпечного виконання роботи

5.1.1 Обладнання приміщення та робочого місця

Організація робочого місця фахівця-радіотехніка має важливе значення з погляду забезпечення безпеки праці та ефективності виконання завдань. Перш за все, правильно організоване робоче місце допомагає уникнути можливих травматичних ситуацій або нещасних випадків, пов'язаних з роботою з електричними апаратами. Відповідно до вимог охорони праці, монтажник повинен мати належні умови для безпечного проведення монтажу та обслуговування обладнання. Крім того, належна організація робочого місця сприяє підвищенню продуктивності та якості виконаної роботи. Відповідність робочого місця стандартам та ергономічним вимогам дозволяє монтажнику працювати комфортно і ефективно протягом тривалого періоду часу без втоми чи дискомфорту.

Обладнання, пристрої та інструменти розміщують на робочому місці таким чином, щоб працівнику було зручно виконувати роботу без зайвих рухів. Оснащеність робочого місця визначається характером виробництва. При поточному виробництві робітнику видають чином той інструмент і пристосування, які необхідні для виконання закріплених за ним операцій. У цьому випадку застосовують спеціальні поворотні пристосування (візки), на яких встановлюється і транспортується радіоапаратура від одного робочого місця до іншого.

Широка номенклатура інструменту характерна для оснащення робочого місця в умовах дослідного і дрібносерійного виробництва в силу специфіки роботи, яка виконується. Робоче місце обладнане верстатом, стільцем і шафою для зберігання маркувальних бирок. Освітлювальна лампа, встановлена на кришці столу, забезпечена ковпаком-відбивачем, щоб світло не потрапляло в очі робітників. Автотрансформатор встановлюють на верстаті зліва на відстані, зручному для користування, а електропаяльник – з правого боку на спеціальній підставці.

У верстаті з правого боку передбачена тумбочка з трьома ящиками. Верхній ящик тумбочки служить для зберігання інструменту, середній – пристосувань і вимірювальної апаратури, нижній – до кументації, заготовок тощо. Маркувальні бирки зберігають в шафі з висувними ящиками, розділеними на секції, які мають відповідну нумерацію. До робочого місця підведена електромережа напругою не вище 36В. Шкідливі випари та продукти горіння, що утворюються в процесі пайки або зварювання, видаляються за допомогою витяжної вентиляції.

Складання виробів, як правило, проводиться при різних положеннях тіла робітника: частина роботи він виконує стоячи, а частина – сидячи. Успішному виконанню роботи сприяють хороші стільці на робочому місці. Найбільш зручний стілець з увігнутою спинкою, положення якої по висоті можна регулювати, домагаючись при цьому більш стійкого положення тулуба, зменшення напруги і стомлюваності м'язів. Правильно підібраний стілець сприяє збереженню правильної позиції тіла, запобігаючи можливим ускладненням хребта та м'язів спини. Важливо, щоб стілець був достатньо м'яким, але водночас добре підтримував спину, запобігаючи появі неприємних відчуттів під час тривалої роботи. Крім того, наявність підлокітників на стільці дозволяє розслабити плечі та руки під час виконання роботи, зменшуючи напругу у верхній частині тіла. Такий підхід до організації робочого місця сприяє збереженню здоров'я працівників та підвищенню їхньої продуктивності.

Для зберігання деталей, вузлів і виробів використовують стелажі, підставки, тумбочки, шафи, підвісні стелажі або полки. В стелажах з закритими полицями вироби захищені від проникнення пилу і можуть зберігатися тривалий термін. Для більш короткого терміну зберігання матеріалів і виробів служать відкриті стелажі. На нижніх полицях стелажів розміщують найбільші і важкі деталі і вузли, а на верхніх – дрібні і легкі [35].

Перед початком роботи робітник повинен ознайомитися з кресленням виробу і технологічним процесом, підготувати необхідний інструмент, пристосування і матеріали. Попередня підготовка сприяє безперебійній і

продуктивній роботі протягом всієї зміни. Під час роботи необхідно строго виконувати вимоги безпеки, а також підтримувати на робочому місці чистоту. Закінчивши роботу, працівник має привести в порядок інструменти і пристосування (очистити їх від стружки, обтерти сухою м'якою тканиною) і ретельно прибрати робоче місце.

5.1.2 Електробезпека приміщення

Живлення обладнання та системи освітлення в досліджуваному приміщенні здійснюється від чотирьох провідної трифазної мережі з глухозаземленою нейтраллю 380 х 220В (фазна напруга фаза (фаза – «0») – 220В, а між фазна лінійна (фаза – фаза) – 380В). Наявне в приміщенні виробниче обладнання та інше устаткування (апарати управління, контрольно-вимірювальні прилади, світильники тощо), електропроводи та кабелі за виконанням та ступенем захисту відповідають класу зони за ПУЕ, мають апаратуру захисту від струму короткого замикання та інших аварійних режимів.

Під час монтажу та експлуатації ліній електромережі необхідно повністю унеможливити виникнення електричного джерела загоряння внаслідок короткого замикання та перевантаження проводів, обмежувати застосування проводів з легкозаймистою ізоляцією і, за можливості, перейти на негорючу ізоляцію. Для нейтралізації зарядів статичної електрики в приміщенні, рекомендується збільшувати вологість повітря за допомогою кімнатних зволожувачів. Не рекомендується носити одяг з синтетичних матеріалів.

При виконанні будь-яких робіт з підключення та обслуговування електрообладнання необхідно дотримуватися вимог безпеки та використовувати відповідні захисні засоби. Регулярна перевірка та технічне обслуговування електромережі також є важливими заходами для збереження безпеки. Усі працівники повинні бути проінструктовані щодо правильної дії в разі виявлення будь-яких електричних несправностей чи аварійних ситуацій. Додатково, необхідно встановлювати заходи контролю за електроприладами та системами, які можуть виявити ознаки несправності або надмірного нагрівання. Важливо

регулярно проводити навчання персоналу з правил безпеки щодо роботи з електричним обладнанням та поведінки у випадку надзвичайних ситуацій. Крім того, необхідно мати постійний доступ до засобів пожежогасіння та плану евакуації в разі виникнення пожежі.

5.2 Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії

Теоретичне обґрунтування будови радіоелектронного пристрою завадостійкого кодування інформації з використанням коду Хемінга та аналіз його параметрів здійснювалося за допомогою ПК та відповідного програмного забезпечення. Для цього етапу розглянемо технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії

5.2.1 Мікроклімат

Організм людини постійно генерує тепло у результаті метаболічних процесів. Забезпечення оптимального теплового режиму в навколишньому середовищі є ключовим для забезпечення комфорту та збереження здоров'я людини. Ефективний мікроклімат, який сприяє відведенню надлишку тепла від організму, забезпечує підтримку оптимальної температури тіла та загального самопочуття. У разі недостатньої ефективності параметрів мікроклімату, організм людини активує механізми регуляції тепла, щоб зберегти сталу температуру тіла. Цей процес включає в себе контроль тепловиробів та тепловіддачі, а також реакції, спрямовані на збереження енергії та підтримку фізіологічного балансу. Отже, належні мікрокліматичні умови вирішально важливі для збереження оптимального теплового режиму організму та забезпечення працездатності.

За енерговитратами виконання роботи згідно Гігієнічної класифікація праці відноситься до категорії I б. Нормовані значення параметрів мікроклімату для цієї категорії наведені в табл.5.1 (відповідно до ДСН 3.3.6.042-99)

Таблиця 5.1 – Параметри мікроклімату

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 того, щоб в приміщенні були комфортні умови праці, передбачено такі заходи:

- централізована парова система опалення забезпечує приміщення теплом в холодну пору року;
- система припливно-витяжної вентиляції забезпечує приплив свіжого повітря і відведення забрудненого повітря, щоб підтримувати в приміщенні оптимальну температуру, вологість і швидкість руху повітря;
- чистота повітря підтримується за допомогою регулярного прибирання і дезінфекції.

5.2.2 Склад повітря робочої зони

Концентрація шкідливих речовин у повітрі на робочому місці повинна відповідати встановленим гранично-допустимим концентраціям (ГДК). ГДК визначаються як найбільша допустима концентрація шкідливих речовин у повітрі, яка не має негативного впливу на здоров'я людини при регулярній 8-годинній роботі впродовж 40 років. Важливо забезпечити дотримання встановлених ГДК, оскільки перевищення цих значень може призвести до загрози здоров'ю працівників. Систематичне контролювання концентрації шкідливих речовин у повітрі та вжиття відповідних заходів для їхнього усунення є важливою складовою ефективної охорони здоров'я на робочому місці.

Джерелами забруднення повітря робочої зони є: комп'ютерні пристрої, які виділяють пил, оксиди вуглецю та інші шкідливі речовини; системи автоматики, які можуть виділяти оксиди азоту, оксиди сірки та інші шкідливі речовини;

оператори, що працюють з обладнанням, які можуть виділяти пил, хімічні речовини та інші шкідливі речовини.

Гранично допустимі концентрації (ГДК) шкідливих речовин для повітря робочої зони наведені у таблиці 5.2. [36]

Таблиця 5.2 – Гранично допустимі концентрації шкідливих речовин в повітрі робочої зони.

Назва речовини	ГДК, мг/м ³		Клас небезпечності
	Максимально разова	Середньодобова	
Озон	0,16	0,03	1
Оксид сірки	1,5	0,5	2
Оксид азоту	5	2	3
Вуглекислий газ	3	1	4
Пил нетоксичний	25	10	4

Повітря, що містить негативні аероіони, є своєрідним екраном, що відображає випромінювання позитивних іонів від дисплеїв, телевізорів та іншої оргтехніки. Нормативні рівні іонізації повітря у виробничих та громадських приміщеннях наведені в санітарних правилах і нормативах СанПіН 2.2.4.1294-03 (табл.5.3).

Таблиця 5.3 – 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

Повітря робочої зони очищається від шкідливих речовин за допомогою механічної вентиляції. Для зменшення кількості пилу в приміщенні проводиться систематичне вологе прибирання, яке дозволяє видалити пил з поверхонь, обладнання та інших предметів.

5.2.3 Виробниче освітлення

Виробничі приміщення потребують належного освітлення для забезпечення безпеки та комфорту працівників. Освітлення робочої зони має велике значення, оскільки правильно розраховані параметри дозволяють працювати без втоми та розрізняти предмети на тривалий період часу, що сприяє зниженню ризику травм та професійних захворювань очей. Проте важливо враховувати віддзеркалення світла від джерел освітлення, яке може викликати значне навантаження на зір, особливо при тривалій роботі. Зменшення відблисків є ключовим аспектом забезпечення комфорту працівників і зменшення стомленості під час виконання роботи. Тому важливо мінімізувати віддзеркалення від джерел світла, таких як світильники та вікна, для покращення робочих умов і збереження здоров'я працівників [37].

Норми освітленості при штучному освітленні та КПО (для III пояса світлового клімату відповідно до ДБН В.2.5-28-2018 та умов виконання роботи) при природному та сумісному освітленні зазначені у таблиці 5.4:

Таблиця 5.4 - Норми освітленості в приміщенні

Характеристика зорової роботи	Найменший розмір об'єкта розрізнювання	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

Для забезпечення достатнього освітлення в приміщенні необхідно регулярно проводити профілактичне обслуговування освітлювальної системи. Це включає в себе чищення вікон, очищення ламп від пилу та заміну перегорілих світильників.

5.2.4 Виробничий шум

Виробничий шум виникає під час функціонування обладнання, машин, транспортних засобів та інших механізмів і може бути як постійним, так і періодичним, а також мати різний рівень інтенсивності. Негативний вплив виробничого шуму на здоров'я людини проявляється у широкому спектрі наслідків, зокрема, він може призвести до порушень слуху або шумової травми, що виникає внаслідок впливу великої інтенсивності звуку. Також тривала експозиція шуму може призвести до поступового погіршення слуху та вплинути на психічний стан, сон та загальну працездатність людини.

Джерелами шуму під час виконання роботи є працююча техніка та транспорт, який рухається ззовні приміщення. Допустимі рівні звукового тиску та рівні звуку L_A в приміщенні наведені у таблиці 5.5. (згідно ДСН 3.3.6.037-99 [38]).

Таблиця 5.5 – Допустимі рівні звукового тиску і рівні звуку для постійного шуму

Характер робіт	Допустимі рівні звукового тиску (дБ) в стандартизованих октавних смугах зі середньгеометричними частинами (Гц)									Допустимий рівень звуку, дБА
	32	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Виробничі приміщення	86	71	61	54	49	45	42	40	38	50

Для забезпечення допустимих параметрів шуму в приміщенні передбачено використання звукопоглинаючих матеріалів, пасивного охолодження

комп'ютерів, а також раціонального розташування виробничого обладнання.

5.2.5 Виробничі випромінювання

Дослідники, які працюють за комп'ютером, можуть піддаватися впливу підвищеного рівня електромагнітного випромінювання. Вплив цього випромінювання на організм людини залежить від ряду факторів, таких як діапазон частот, тривалість опромінення, характер опромінення, режим опромінення, площа опромінюваної поверхні тіла та індивідуальні особливості організму. Електромагнітні випромінювання, випромінювані відеодисплейним терміналом, мають широкий діапазон частот. Стандарти вимагають, щоб електромагнітне випромінювання від ПК вимірювалося в діапазоні частот від 5Гц до 400 кГц [38].

Гранично допустимі значення напруженості електричного і магнітного полів промислової частоти в залежності від часу їх впливу встановлюються СанПіН 2.2.4.1191-03 «Електромагнітні поля у виробничих умовах». Згідно з цим нормативним документом перебування в ЕП промислової частоти напруженістю до 5 кВ/м допускається протягом усього робочого дня. Гранично допустимі рівні електромагнітного поля радіочастотного діапазону для працівника становлять $E_{гдр} = 25 \text{ В/м}$ та $B_{гдр} = 250 \text{ нТл}$.

З метою мінімізації ризиків, необхідно: обмежувати час роботи за комп'ютером; робити регулярні перерви в роботі; правильно позиціонувати монітор та інші пристрої, дотримуватися правил експлуатації комп'ютерної техніки, а також регулярно проходити медичне обстеження.

5.2.6 Психофізіологічні фактори

Психофізіологічні фактори, які впливають на працівника під час виконання роботи були оцінені за допомогою Гігієнічної класифікації праці. Ця класифікація визначає, наскільки фактори виробничого середовища, важкість і напруженість трудового процесу можуть негативно впливати на здоров'я працівника [40].

Класи умов праці за показниками напруженості праці:

Інтелектуальні навантаження:

Зміст роботи – рішення складних завдань з вибором за алгоритмом;

Сприймання інформації та їх оцінка – сприймання інформації з наступною корекцією дій та операцій;

Розподіл функцій за ступенем складності завдання – обробка, контроль, перевірка завдання.

Сенсорні навантаження:

Зосередження (%за зміну) – до 50%;

Щільність сигналів (звукові за 1 год) – до 150;

Навантаження на слуховий аналізатор (%) – розбірливість слів та сигналів від 50 до 80 %;

Навантаження на голосовий апарат (протягом тижня) – від 20 до 25%.

Емоційне навантаження:

Ступінь відповідальності за результат своєї діяльності – є відповідальним за функціональну якість основної роботи; Ступінь ризику для власного життя – вірогідний;

Ступінь відповідальності за безпеку інших осіб – виключений.

Режим праці:

Тривалість робочого дня – 8 год;

Змінність роботи – однозмінна (без нічної зміни).

Відтак, за показниками напруженості праці виконання роботи належить до допустимого класу (напруженість праці середнього ступеня).

5.3 Безпека в надзвичайних ситуаціях

Безпека в надзвичайних ситуаціях - це система заходів, спрямованих на запобігання аваріям та катастрофам, а також на забезпечення захисту життя, здоров'я та майна людей у разі їх виникнення. Ця концепція включає в себе планування, організацію та впровадження стратегій попередження, реагування та відновлення після надзвичайних ситуацій. Заходи з безпеки в надзвичайних

ситуаціях можуть охоплювати евакуаційні плани, навчання персоналу та громадськості з правил поведінки у випадку надзвичайної ситуації, а також забезпечення необхідними ресурсами та устаткуванням для надання допомоги та врятування.

Безпека в надзвичайних ситуаціях, пов'язаних з радіоактивним забрудненням, включає в себе заходи з мінімізації ризику опромінення для людей та навколишнього середовища під час аварій на атомних електростанціях, радіаційних аварій чи інших подій, що можуть призвести до викидів радіоактивних речовин [42].

Під режимом роботи в виробничому приміщенні в умовах радіоактивного забруднення розуміють порядок і умови роботи, переміщення і відпочинку персоналу з використанням засобів захисту, що зменшує ураження людей і скорочує вимушену зупинку виробництва.

Можлива доза опромінення працівників об'єкта в заданих умовах складає

$$D_M = \frac{1,33 \cdot p \left(\sqrt[4]{t_k^3} - \sqrt[4]{t_{\Pi}^3} \right)_{1max}}{K_{\text{пос}} \frac{1,33 \cdot 0,7 \cdot \left(\sqrt[4]{13^3} - 1 \right)_{\text{МР}}}{6,5}},$$

де $t_{\Pi}=1$ год. – час початку роботи після радіоактивного забруднення;

$t_k=1+12=13$ год. – час завершення роботи першої робочої зміни після радіоактивного забруднення;

$p_{1.max}=0,7$ мР/год. – рівень радіації через одну годину після радіоактивного забруднення;

$K_{\text{пос}}=6,5$ – коефіцієнт послаблення радіації виробничим приміщенням.

Визначимо граничне значення рівня радіації, при якому можлива робота в звичайному режимі

$$p_{\text{Гр}} = \frac{D_{\text{доп}} \times K_{\text{пос}}}{1,33 \cdot \left(\sqrt[4]{t_k^3} - \sqrt[4]{t_{\Pi}^3} \right)} = \frac{0,5 \cdot 6,5}{1,33 \cdot \left(\sqrt[4]{13^3} - \sqrt[4]{1^3} \right)} = 0,41 \text{ (мР/год)}.$$

Згідно проведеного розрахунку можлива доза опромінення персоналу $D_m > D_{\text{доп}} (0,84 > 0,5)$ та рівень радіоактивного забруднення $p_{1\text{max}} > p_{\text{гр}} (0,7 > 0,41)$ перевищують допустимі норми, тому робота в звичайному режимі неможлива. Для продовження виробничої діяльності підприємства в таких умовах необхідно введення в дію режимів радіаційного захисту.

Для кожної зі скорочених змін необхідно визначити час початку робочої зміни ($t_{\text{п}}$), час кінця робочої зміни ($t_{\text{к}}$), тривалість роботи зміни ($t_{\text{р}}$) та можливу дозу опромінення зміни (D_m) [44].

Час початку роботи першої зміни визначається за коефіцієнтом α

$$\alpha = \frac{D_{\text{доп}} \times K_{\text{пос}}}{1,33 \cdot p_{1\text{max}} \frac{0,5 \cdot 6,5}{1,33 \cdot 0,7}}$$

Згідно довідникових даних час початку роботи першої скороченої зміни $t_{\text{п}} = 1$ год.

Для 1-ї скороченої зміни: час початку роботи $t_{\text{п1}} = 1$ (год).

Час закінчення роботи

$$t_{k1} = \left(\frac{D_{\text{доп}} \times K_{\text{пос}} + 1,33 \cdot p_{1\text{max}}^4 \sqrt[4]{t_{\text{п1}}^3}}{1,33 \cdot p_{1\text{max}}} \right)^{\frac{4}{3}} = \left(\frac{0,5 \cdot 6,5 + 1,33 \cdot 0,7 \cdot \sqrt[4]{1^3}}{1,33 \cdot 0,7} \right)^{\frac{4}{3}} = 7,37 \approx 7 \text{ (год)}.$$

Тривалість роботи $t_{\text{р1}} = t_{k1} - t_{\text{п1}} = 7 - 1 = 6$ (год).

Можлива доза опромінення

$$D_{m1} = \frac{1,33 \cdot p_{1\text{max}} \left(\sqrt[4]{t_{k1}^3} - \sqrt[4]{t_{\text{п1}}^3} \right)}{K_{\text{посл}} \frac{6,5}{6,5}} \text{ (МР)}.$$

Для 2-ї зміни: час початку роботи $t_{\text{п2}} = t_{\text{п1}} + t_{\text{р1}} = 1 + 6 = 7$ (год).

Час закінчення роботи

$$t_{k2} = \left(\frac{D_{\text{доп}} \times K_{\text{пос}} + 1,33 \cdot p \sqrt[4]{t_{\text{п2}}^3}}{1,33 \cdot p_{1\text{max}}} \right)^{\frac{4}{3}} = \left(\frac{0,5 \cdot 6,5 + 1,33 \cdot 0,7 \cdot \sqrt[4]{7^3}}{1,33 \cdot 0,7} \right)^{\frac{4}{3}} = 15,34 \approx 15 (\text{год}).$$

Тривалість роботи $t_{\text{p2}} = t_{\text{k2}} - t_{\text{п2}} = 15 - 7 = 8$ (год).

Можлива доза опромінення

$$D_{\text{м2}} = \frac{1,33 \cdot p \left(\sqrt[4]{t_{\text{k2}}^3} - \sqrt[4]{t_{\text{п2}}^3} \right)}{K_{\text{посл}} \frac{1,33 \cdot 0,7 \cdot \left(\sqrt[4]{15^3} - \sqrt[4]{7^3} \right)}{6,5}} \cdot \frac{1\text{max}}{(\text{МР})}.$$

Для 3-ї зміни: час початку роботи $t_{\text{п3}} = t_{\text{п2}} + t_{\text{p2}} = 7 + 8 = 15$ (год).

Час закінчення роботи

$$t_{k3} = \left(\frac{D_{\text{доп}} \times K_{\text{пос}} + 1,33 \cdot p \sqrt[4]{t_{\text{п3}}^3}}{1,33 \cdot p_{1\text{max}}} \right)^{\frac{4}{3}} = \left(\frac{0,5 \cdot 6,5 + 1,33 \cdot 0,7 \cdot \sqrt[4]{15^3}}{1,33 \cdot 0,7} \right)^{\frac{4}{3}} = 24,6 \approx 24,5 (\text{год}).$$

Тривалість роботи $t_{\text{p3}} = t_{\text{k3}} - t_{\text{п3}} = 24,5 - 15 = 9,5$ (год).

Можлива доза опромінення

$$D_{\text{м3}} = \frac{1,33 \cdot p \left(\sqrt[4]{t_{\text{k3}}^3} - \sqrt[4]{t_{\text{п3}}^3} \right)}{K_{\text{посл}} \frac{1,33 \cdot 0,7 \cdot \left(\sqrt[4]{24,5^3} - \sqrt[4]{15^3} \right)}{6,5}} \cdot \frac{1\text{max}}{(\text{МР})}.$$

Для 4-ї зміни: $t_{\text{п4}} = t_{\text{п3}} + t_{\text{p3}} = 15 + 9,5 = 24,5$ (год).

Час закінчення роботи зміни

$$t_{k4} = \left(\frac{D_{\text{доп}} \times K_{\text{пос}} + 1,33 \cdot p \sqrt[4]{t_{\text{п4}}^3} \cdot 1_{\text{max}}}{1,33 \cdot p_{1\text{max}}} \right)^{\frac{4}{3}} = \left(\frac{0,5 \cdot 6,5 + 1,33 \cdot 0,7 \cdot \sqrt[4]{24,5^3}}{1,33 \cdot 0,7} \right)^{\frac{4}{3}} = 35,05 \approx 35 (\text{год}).$$

Тривалість роботи зміни $t_{p4} = t_{k4} - t_{\text{п4}} = 35 - 24,5 = 10,5$ (год).

Можлива доза опромінення зміни

$$D_{\text{м4}} = \frac{1,33 \cdot p \left(\sqrt[4]{t_{k4}^3} - \sqrt[4]{t_{\text{п4}}^3} \right) \cdot 1_{\text{max}}}{K_{\text{посл}} \frac{1,33 \cdot 0,7 \cdot \left(\sqrt[4]{35^3} - \sqrt[4]{24,5^3} \right)}{6,5}} (\text{МР}).$$

Для 5-ї зміни: $t_{\text{п5}} = t_{\text{п4}} + t_{p4} = 24,5 + 10,5 = 35$ (год).

Час закінчення роботи зміни

$$t_{k5} = \left(\frac{D_{\text{доп}} \times K_{\text{пос}} + 1,33 \cdot p \sqrt[4]{t_{\text{п5}}^3} \cdot 1_{\text{max}}}{1,33 \cdot p_{1\text{max}}} \right)^{\frac{4}{3}} = \left(\frac{0,5 \cdot 6,5 + 1,33 \cdot 0,7 \cdot \sqrt[4]{35^3}}{1,33 \cdot 0,7} \right)^{\frac{4}{3}} = 46,3 \approx 46 (\text{год}).$$

Тривалість роботи зміни $t_{p5} = t_{k5} - t_{\text{п5}} = 46 - 35 = 11$ (год).

Можлива доза опромінення зміни

$$D_{\text{м5}} = \frac{1,33 \cdot p \left(\sqrt[4]{t_{k5}^3} - \sqrt[4]{t_{\text{п5}}^3} \right) \cdot 1_{\text{max}}}{K_{\text{посл}} \frac{1,33 \cdot 0,7 \cdot \left(\sqrt[4]{46^3} - \sqrt[4]{35^3} \right)}{6,5}} (\text{МР}).$$

Для 6-ї зміни: $t_{\text{п6}} = t_{\text{п5}} + t_{p5} = 35 + 11 = 46$ (год).

Час закінчення роботи зміни

$$t_{k6} = \left(\frac{D_{\text{доп}} \times K_{\text{пос}} + 1,33 \cdot p \sqrt[4]{t_{\text{п6}}^3} \cdot 1_{\text{max}}}{1,33 \cdot p_{1\text{max}}} \right)^{\frac{4}{3}} = \left(\frac{0,5 \cdot 6,5 + 1,33 \cdot 0,7 \cdot \sqrt[4]{46^3}}{1,33 \cdot 0,7} \right)^{\frac{4}{3}} = 57,95 \approx 58 (\text{год}).$$

Тривалість роботи зміни $t_{p6} = t_{к6} - t_{п6} = 58 - 46 = 12$ (год).

Можлива доза опромінення зміни

$$D_{м6} = \frac{1,33 \cdot p \left(\sqrt[4]{t_{к6}^3} - \sqrt[4]{t_{п6}^3} \right)_{1max}}{K_{посл} \frac{1,33 \cdot 0,7 \cdot \left(\sqrt[4]{58^3} - \sqrt[4]{46^3} \right)}{6,5}} (MP)$$

За результатами проведеного розрахунку, роботу підприємства в звичайному режимі можна буде розпочинати через 35 год. після радіоактивного забруднення.

Для захисту працівників об'єкта господарювання в таких умовах роботи також необхідно вжити додаткові заходи, що передбачені на випадок виникнення надзвичайних ситуацій пов'язаних із радіаційним забрудненням.

ВИСНОВКИ

У Вступі було показано, що дана робота є актуальною, має високий науковий, технічний та економічний рівень, а доцільність її проведення є обґрунтована.

У роботі досліджено, що застосовуючи для передачі цифрової інформації код, у якого використовуються не всі можливі комбінації, а тільки деякі з них, можна підвищити завадостійкість прийому. Також було розглянуто різновидність завадостійких кодів – коди Хемінга. Їх контрольні розряди формуються шляхом додавання по модулю 2 певних комбінацій інформаційних розрядів. моделювання дозволило зробити наступні висновок, що при збільшенні швидкості передачі інформації імовірність помилки зростає як для кодованого, так і для некодованого повідомлення. Проте у випадку передачі некодованих повідомлень це зростання більш стрімке.

Схемотехнічна реалізація кодера Хемінга порівняно проста, тому згідно ІЗ було розроблено структурну схему і схему електричну принципову пристрою на доступній елементній базі. Було зроблено компонування з вибором пластмасового корпусу. Розміри плати обрані 135x200 мм. Розрахунки на віброміцність і завадостійкість показали, що вібрація не призведе до дефектів та порушення цілісності плати, а паразитні значення ємності та індуктивності допустимі.

Результати математичного моделювання показали, що при збільшенні швидкості передачі інформації імовірність помилки зростає як для кодованого, так і для некодованого повідомлення. Проте у випадку передачі некодованих повідомлень це зростання більш стрімке. Збільшення довжини коду при незмінній а призводить до збільшення появи однобітової помилки при декодуванні. Імовірність помилки в декодованому біті зменшується при збільшенні відношення бітової енергії до спектральної густини потужності завади, а також при збільшенні значимості кодової комбінації. Результати математичного моделювання підтверджують, що пропонований макет радіоелектронного пристрою завадостійкого кодування інформації з використанням коду Хемінга підвищує завадостійкість передачі даних.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Жураковський Ю.П., Полторак В.П. Теорія інформації та кодування: Підручник. –К.: Вища школа, 2001, -255 с.
2. Фесечко В.О. методи перетворення сигналів: Навч. посіб. –К.: ІВЦ Політехніка, 2005. -128 с.
3. Кодування сигналів в електронних системах. Частина 3. Способи кодування сигналів: Том 1. Натуральні, ефективні та лінійні коди [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальності 171 «Електроніка», освітньої програми «Електронні прилади та пристрої» / С.В. Денбновецький, І.В. Мельник, Л.Д. Писаренко; КПП ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 6,32 Мбайт). – Київ : КПП ім. Ігоря Сікорського, 2021.
4. Кодування сигналів в електронних системах. Частина 3. Способи кодування сигналів. Том 2. Групові, ітеративні та згорткові коди. [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальності 171 «Електроніка», освітньої програми «Електронні пристрої та системи» та «Електронні прилади та пристрої» / С.В. Денбновецький, І.В. Мельник, Л.Д. Писаренко ; КПП ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 10,3 Мбайт). – Київ : КПП ім. Ігоря Сікорського, 2021.
5. Hanzo L. Quadrature Amplitude Modulation: From Basics to Adaptive Trellis-Coded, Turbo-Equalised and Space-Time Coded OFDM, CDMA and MCCDMA Systems, 3rd ed [Text] / L. Hanzo, S. X. Ng, T. Keller, and W. T. Webb. – Piscataway, NJ: IEEE Press/Wiley, – 2004. – 1036 p
6. Уривський Л.О., Пешкін А.М. Методика оцінки граничної інформаційної ефективності завадостійких кодів// Information and Telecommunication Sciences, – К.: NTUU 'KPI'. – 2016. – № 2. – p.70-74.
7. Uryvsky L., Prokopenko K., Peshkin A. The convolutional codes analysis technique on the optimum block codes grounds// Information and Telecommunication Sciences. – К.: NTUU 'KPI'. – 2014. – № 2, p.8-13.
8. Uryvskiy L. Pieshkin A. The informational efficiency improving methods of the signal-code constructions with the condition of providing required reliability - Budapest, Hungary: The scientific heritage - № 11, 2017 - p.p. 72...77.
9. Пешкін А.М. Порівняння методик синтезу параметрів коригуючих кодів для оцінки їх завадостійких властивостей// 4-а міжнародна науковопрактична конференція Фізико-технологічні проблеми радіотехнічних пристроїв, засобів телекомунікацій, нано- та мікроелектроніки 23-25 жовтня 2014 р., - Чернівці, Україна - Збірник тез, с.95-96.
10. Uryvsky L., Pieshkin A. Assessment of Information Efficiency of Errorcorrecting Codes in Plotkin bound [Електронний ресурс] // IEEE Міжнародна

конференція з інформаційно-телекомунікаційних технологій та радіоелектроніки. – 2017.

11. Пешкін А.М. Формування сигнально-кодових конструкцій на основі кодів, забезпечуючих максимальне наближення до границі Шеннона [Текст] : дисертація кандидата технічних наук : 05.12.02 / А.М. Пешкін; Київ, НТУУ «КПІ». – К. : 2018. – 149 с.

12. Кучеренко Ю.Ф. Основні шляхи розвитку систем управління військами та зброєю на сучасному етапі / Ю.Ф. Кучеренко, О.М. Гузько // Системи озброєння і військова техніка. – 2008. – № 4(16). – С. 73-76.

13. Кириченко І.О. Визначення поняття “інформаційно-бойовий простір”, змісту та ролі його складових елементів для досягнення перемоги у воєнних конфліктах ХХІ століття / І.О. Кириченко, С.П. Ярош // Системи озброєння і військова техніка. – 2011. – № 3(27). – С. 102-108.

14. Кірсанов С.О. Перспективи розвитку системи управління Збройних Сил України з використанням принципу єдиного інформаційного простору / С.О. Кірсанов // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – 2010. – № 1(3). – С. 15-20.

15. Організація військового зв'язку / В.Г. Шолудько, М.Ю. Єсаулов, О.В. Вакуленко, Т.Г. Гурський, М.М. Фомін. – К.: ВІТІ, 2017. – 282 с.

16. Гурський Т.Г. Аналіз шляхів вдосконалення засобів радіозв'язку мережі радіодоступу військової телекомунікаційної системи / Т.Г. Гурський // Збірник наукових праць Київського політехнічного інституту. – 2007. – № 1. – С. 30-40.

17. Бекіров А.Е. Метод прихованої передачі інформації в мовному повідомленні / А.Е. Бекіров, О.М. Баранік, В.В. Парфило // Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил. – 2019. – № 2(60). – С. 75-82. <https://doi.org/10.30748/zhups.2019.60.10>.

18. Максимова Л.П. Захист інформації / Л.П. Максимова. – К.: ВД “Інформатика”, 2018. – 120 с.

19. Бекіров А.Е. Стеганографічний метод на основі безпосереднього та непрямого вбудовування даних для областей зображення з різною насиченістю / А.Е. Бекіров, В.Ж. Ященко, О.М. Крейдун // Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони. – 2019. – № 1(34). – С. 115-120. <https://doi.org/10.33099/2311-7249/2019-34-1-115-120>.

20. Кобозєва А.А. Аналіз захищеності інформаційних систем / А.А. Кобозєва, В.О. Хорошко. – К.: 2010. – 55 с.

21. Кушнір О.І. Аналіз методів завадостійкого кодування у цифрових системах зв'язку / О.І. Кушнір, О.І. Тимочко, О.В. Сєверінов // Системи обробки інформації. – 2007. – № 9(67). – С. 63-65.

22. Бекіров А.Е. Метод забезпечення конфіденційності радіопереговорів авіації / А.Е. Бекіров, А.О. Красноручий, Н.М. Ковтуненко // Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил. – 2019. – № 2(60). – С. 83-90. <https://doi.org/10.30748/zhups.2019.60.11>.

23. Конахович Г.Ф. Концепція побудови обладнання захищеного радіотелефонного зв'язку для авіаційних застосувань / Г.Ф. Конахович, В.В. Антонов, В.Є. Курушкін // Безпека інформації. – 2014. – № 3(20). – С. 224-230.

24. E. V. Faure, A. I. Shcherba, and V. M. Rudnytskyi, The Method and Criterion for Quality Assessment of Random Number Sequences, Cybernetics and Systems Analysis, vol. 52, no. 2, pp. 277-284, 2016.

25. N. Alishov, E. Faure, D. Faure, and V. Shadkhin, Method of linear formation of pseudorandom processes, Journal of Qafqaz University. Mathematics and computer science, no. 30, pp. 17-24, 2010.

26. Є. В. Ланських, Е. В. Фауре, А. В. Очеретяна, Метод організації ключового обміну з використанням прихованого каналу в телефонних мережах загального користування, Вісник Черкаського державного технологічного університету. Серія: Технічні науки, № 4, с. 18-21, 2010.

27. Р. М. Дідковський, Е. В. Фауре і В. В. Олексієнко, Прихована передача інформації у полосі звукових частот, Сучасний захист інформації, № 2, с. 22-30, 2011.

28. Е. В. Фауре, М. І. Вишня і В. А. Чорнобай, "Оцінка закону розподілу випадкових чисел комбінаційного генератора у k-вимірному просторі", Вісник Херсонського національного технічного університету, № 4(51), с. 169-173, 2014.

29. В. М. Рудницький, Е. В. Фауре і С. В. Сисоєнко, "Оцінка якості псевдовипадкових послідовностей на основі додавання за модулем", Вісник Інженерної академії України, № 3, с. 219-221, 2016.

30. Е. В. Фауре, В. В. Швидкий і А. І. Щерба, "Спосіб формування випадкової послідовності перестановок", патент України №106668, 10.05.2016.

31. Методичні вказівки до виконання економічної частини магістерських кваліфікаційних робіт / Уклад. : В. О. Козловський, О. Й. Лесько, В. В. Кавецький. – Вінниця : ВНТУ, 2021. – 42 с.

32. Кавецький В. В. Економічне обґрунтування інноваційних рішень: практикум / В. В. Кавецький, В. О. Козловський, І. В. Причепка – Вінниця : ВНТУ, 2016. – 113 с.

33. Державні санітарні норми та правила «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу», затверджених наказом Міністерства охорони здоров'я України від 08 квітня 2014 року № 248.

34. ДСТУ ISO 45001:2019 Системи управління охороною здоров'я та безпекою праці. Вимоги та настанови щодо застосування (ISO 45001:2018, IDT). URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=88004.

35. ДСТУ 8604:2015 Дизайн і ергономіка. Робоче місце для виконання робіт у положенні сидячи. Загальні ергономічні вимоги. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=71028.

36. ДСан ПіН 3.3.2.007-98 Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин ЕОМ. Режим доступу: <http://document.ua/derz-nor4881.html>

37. ДСН 3.3.6.037-99 Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку. Режим доступу: <http://document.ua/sanitarni-normi-virobnichogo-shumu-ultrazvuku-ta-infrazvuku-nor4878.html>

38. ДСН 3.3.6.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. Режим доступу до сторінки: http://hrliga.com/index.php?module=norm_base&op=view&id=819

39. СанПіН 2.2.4.1294-03 «Фізичні фактори виробничого середовища. Гігієнічні вимоги до аероіонного складу повітря виробничих і громадських приміщень». Режим доступу: <http://www.ionization.ru/issue/iss5.htm>

40. ПУЕ Правила улаштування електроустановок (перше переглянута, перероблене, доповнене та адаптоване до умов України видання). Режим доступу: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=72758.

41. НПАОП 0.00-7.15-18 Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями. Режим доступу: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=77160

42. ДСНіПЗ.3.6.096-2002. Державні санітарні норми і правила при роботі з джерелами електромагнітних полів. Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/z0203-03>.

43. ДБН В.2.5-28-2018 «Природне і штучне освітлення». https://e-construction.gov.ua/laws_detail/3074958732556240833?doc_type=2

44. Сакевич В.Ф. Основи розробки питань цивільної оборони в дипломних проектах. Навчальний посібник. — Вінниця : ВНТУ, — 2006. — 109 с.

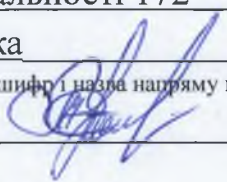
Додаток А
(обов'язковий)

ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА

**РАДІОЕЛЕКТРОННИЙ ПРИСТРІЙ ЗАВАДОСТІЙКОГО КОДУВАННЯ
ІНФОРМАЦІЇ З ВИКОРИСТАННЯМ КОДУ ХЕМІНГА**

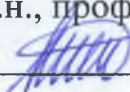
Виконав: студент 2-го курсу, групи РТ-22м
спеціальності 172 – Телекомунікації та радіо-
техніка

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

 Єднак Т.С.

(прізвище та ініціали)

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

 Семенов А.О.

(прізвище та ініціали)

« 06 » 06 2024 р.

Вінниця ВНТУ - 2024 рік

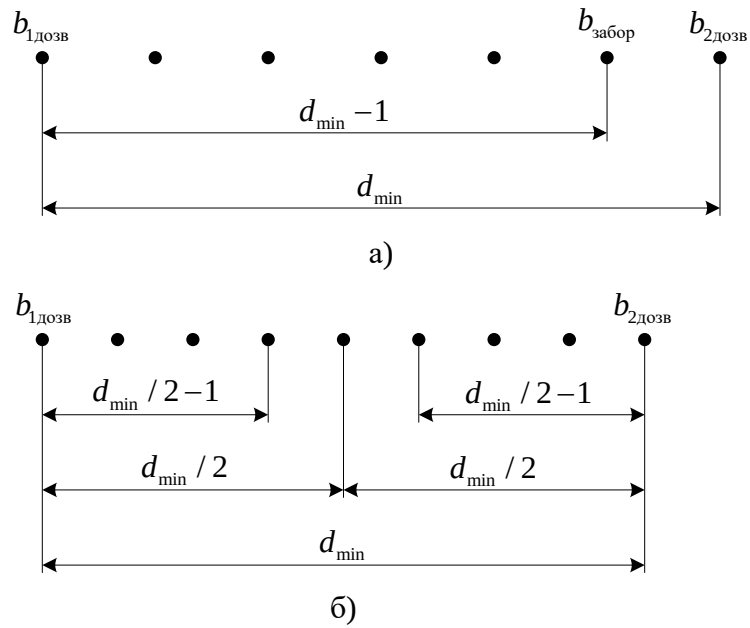


Рисунок 1 – До оцінки виявляючої і виправляючої здатності коригуючого коду

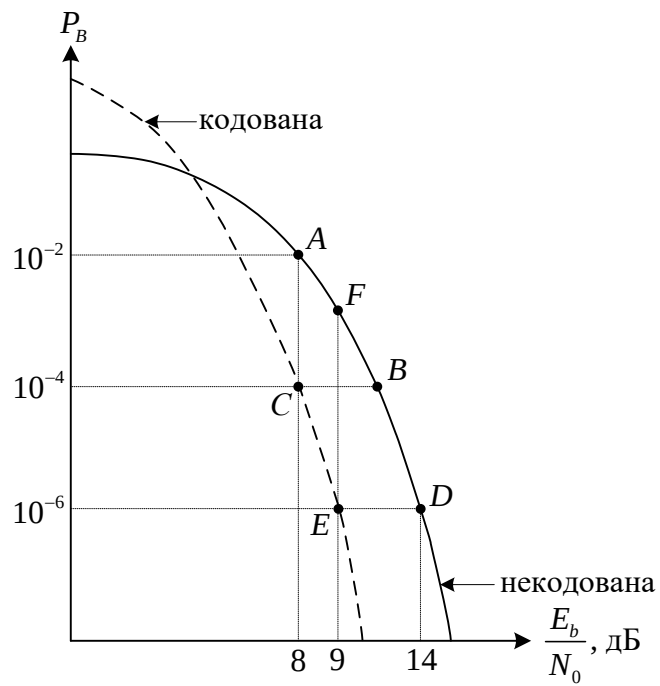


Рисунок 2 – Порівняння типової достовірності передачі при використанні схеми з кодуванням і схеми без кодування

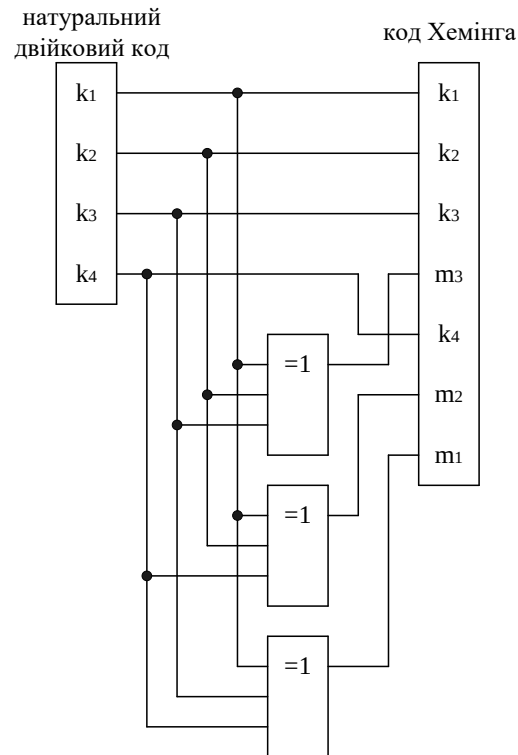


Рисунок 3 – Узагальнена структурна схема пристрою кодування коду Хемінга (7, 4)

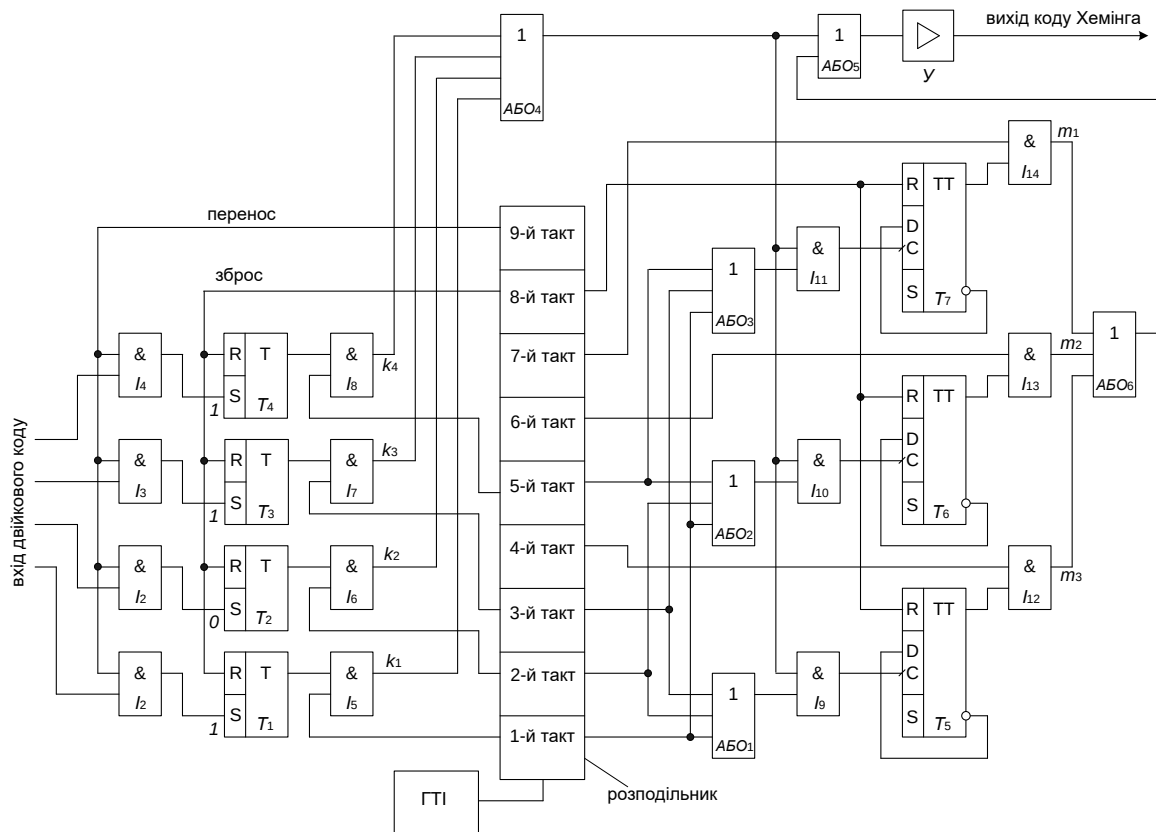


Рисунок 4 – Структурна схема пристрою кодування коду Хемінга

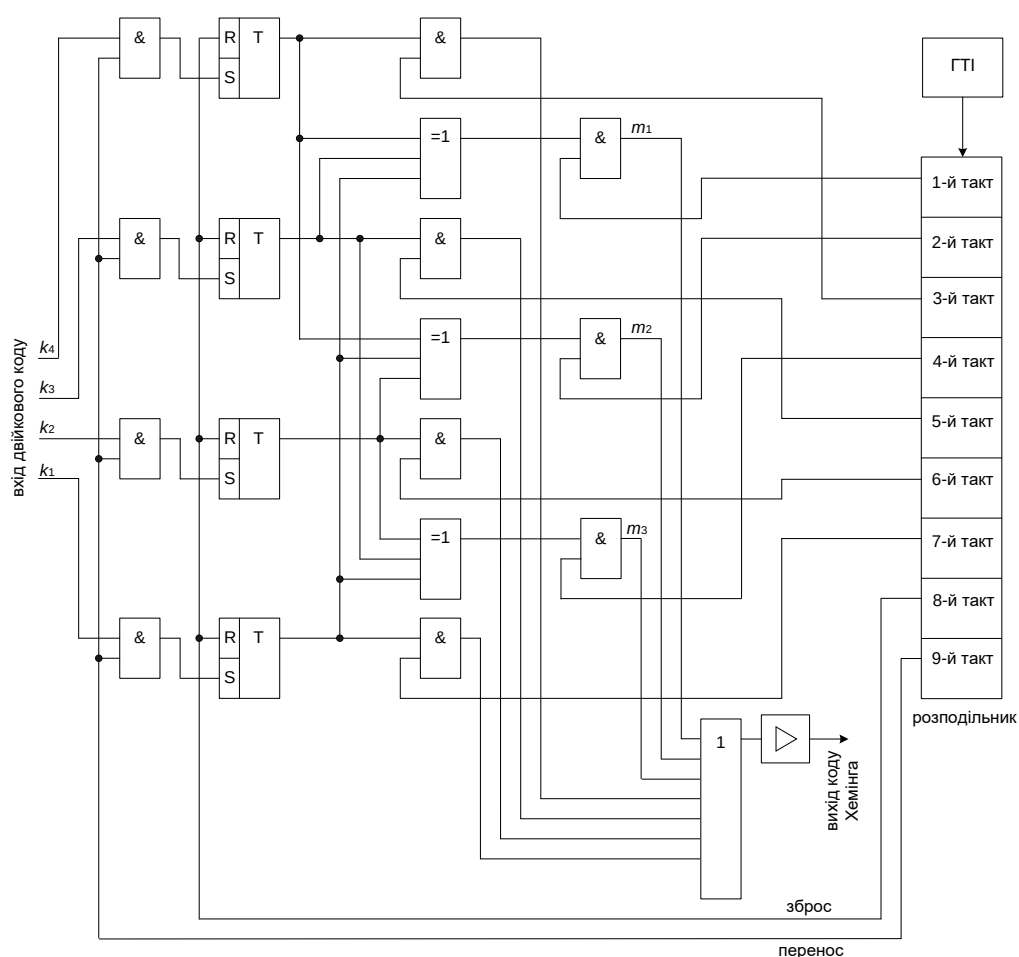


Рисунок 5 – Покращена структурна схема пристрою кодування коду Хемінга

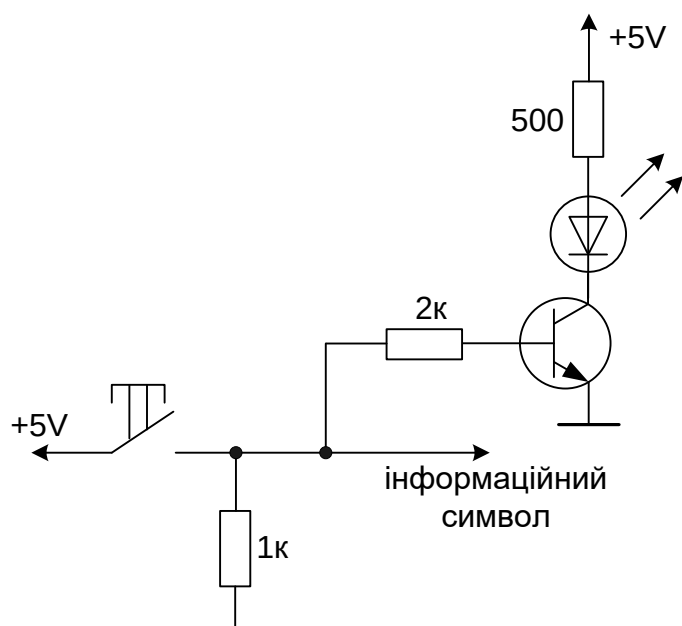


Рисунок 6 – Схема задання інформаційного символу

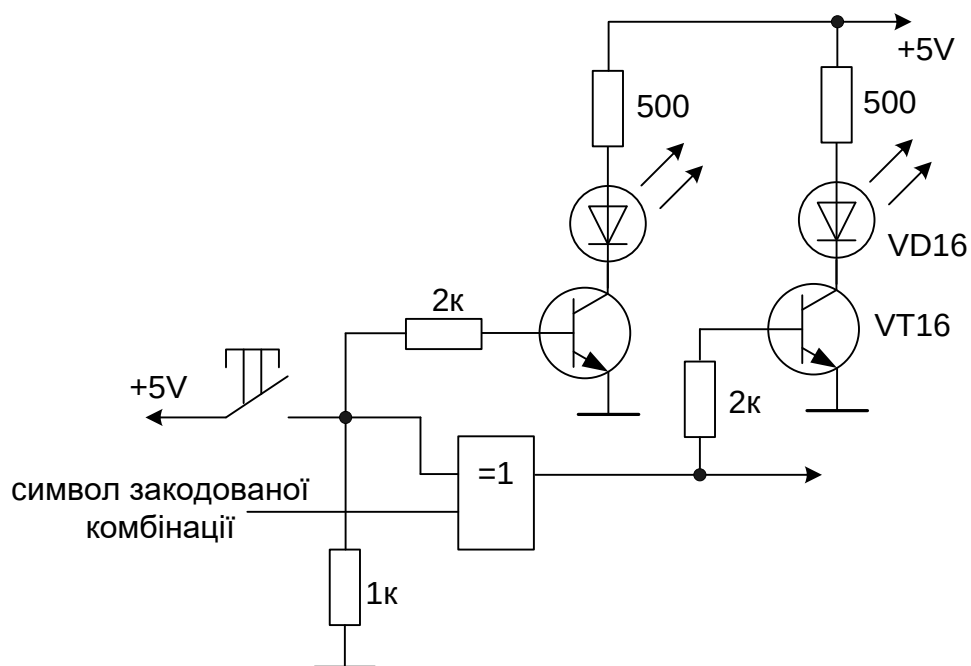


Рисунок 7 – Схема задання помилки в розряді

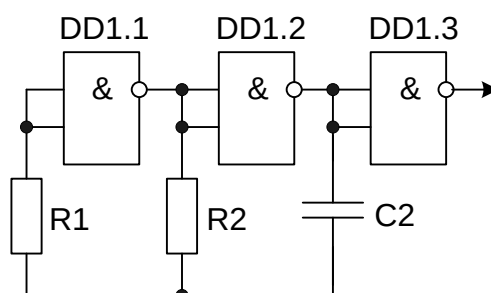


Рисунок 8 – Автоколивальний мультивібратор на трьох елементах І-ІІ

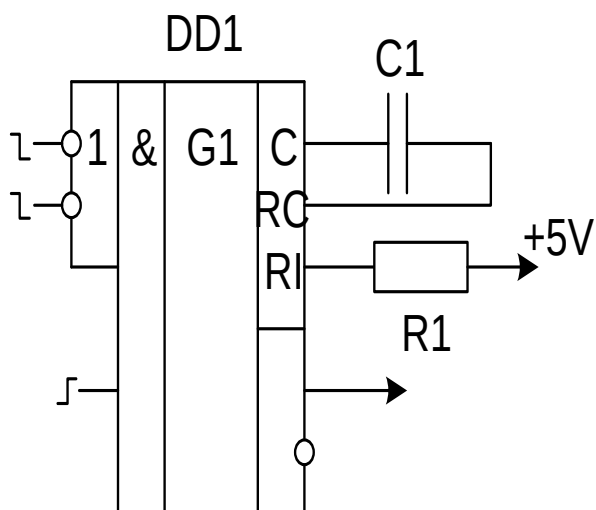


Рисунок 9 – Схема включення К155АГ1

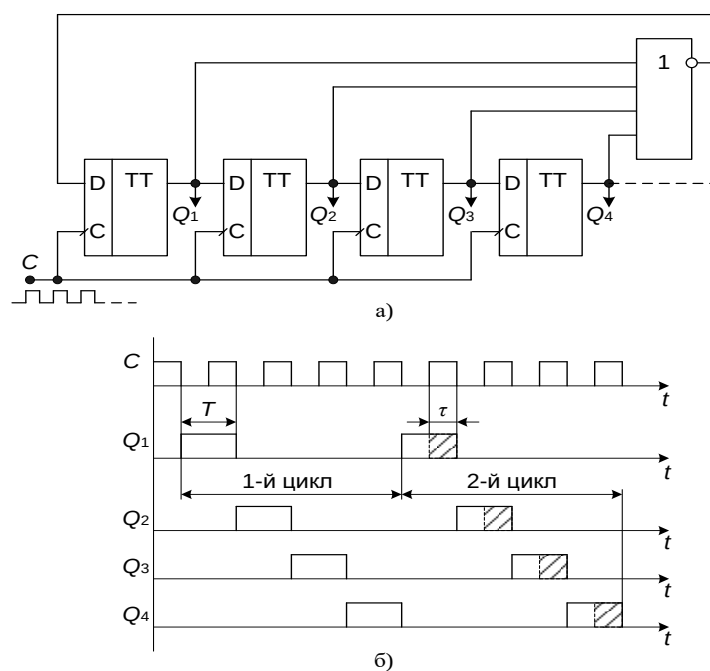


Рисунок 10 – Розподільник на D-тригерах: а – функціональна схема; б – часова діаграма

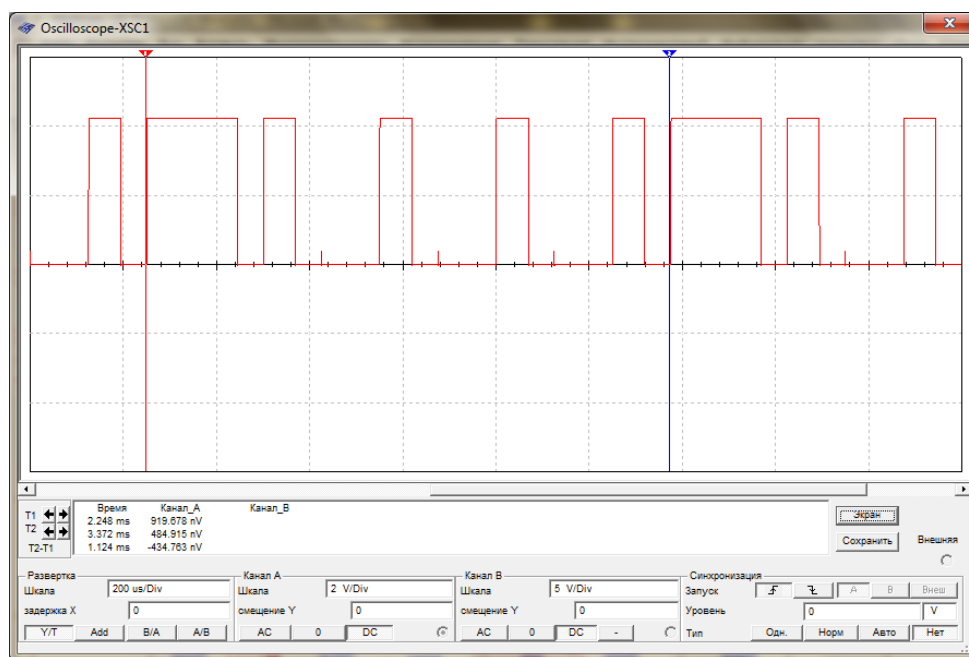


Рисунок 11 – Осцилограма вихідного сигналу

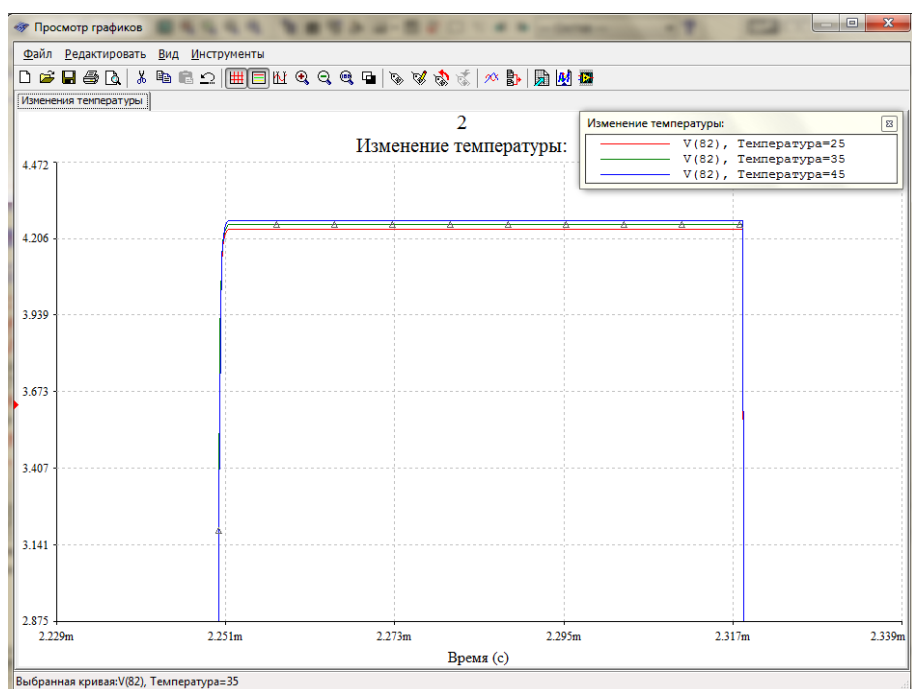


Рисунок 12 – Температурне моделювання

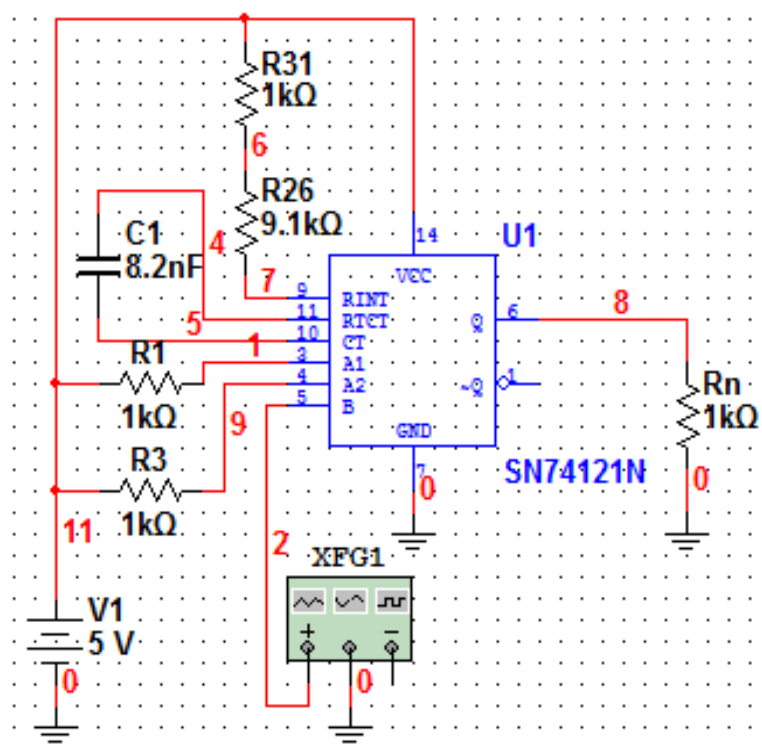


Рисунок 13 – Схема одновібратора

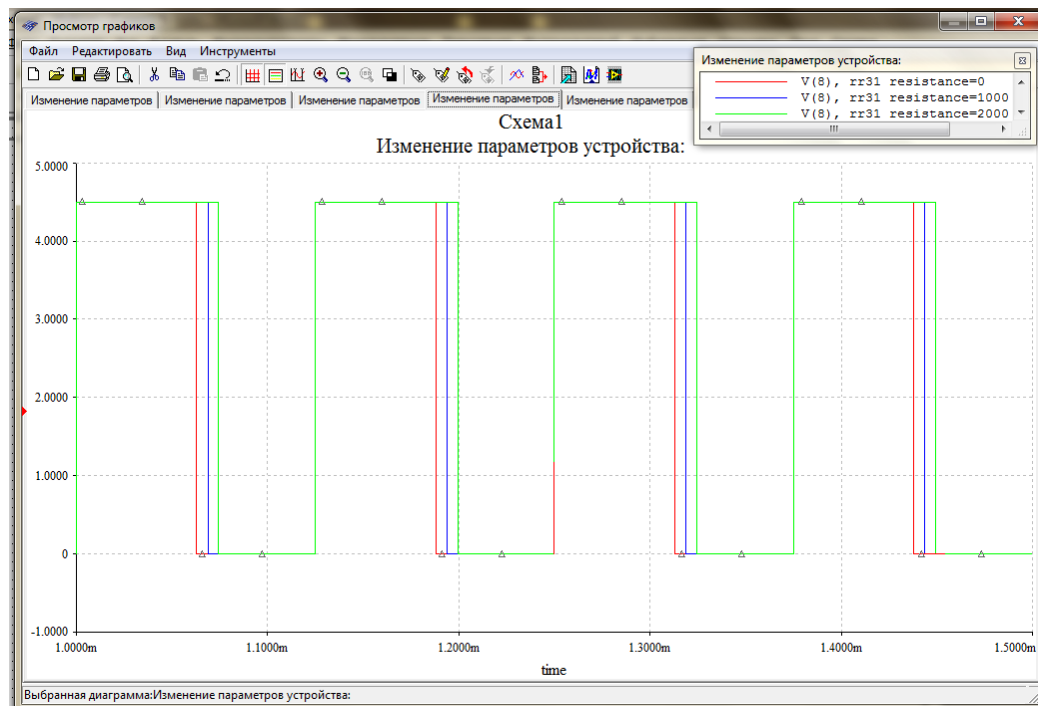


Рисунок 14 – Залежність ширини імпульсів одновібратора від номіналу R31

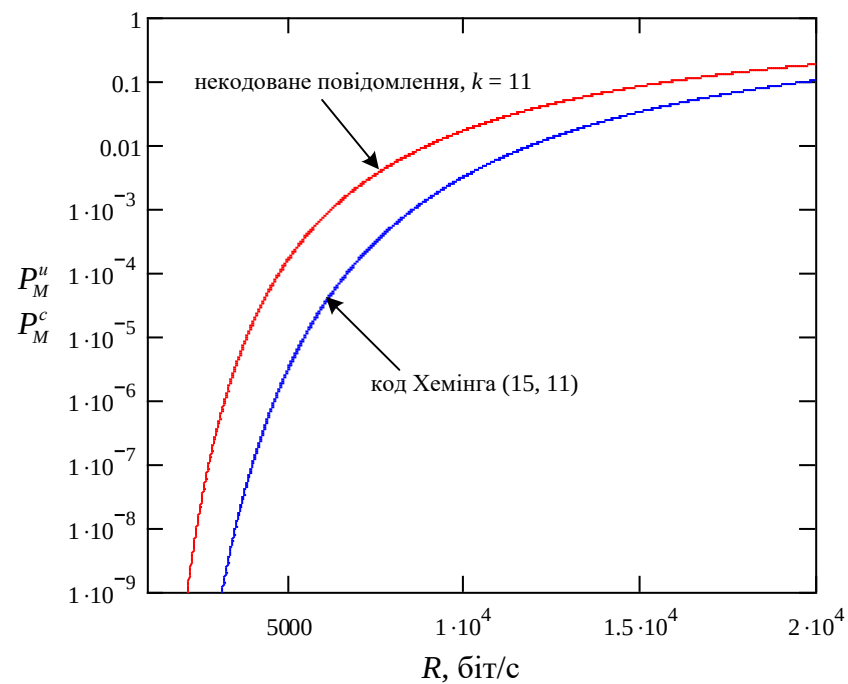


Рисунок 15 – Залежність імовірності помилок в некодованому блоці повідомлень P_M^u і імовірності появи помилок у декодованому повідомленні P_M^c від швидкості передачі даних R

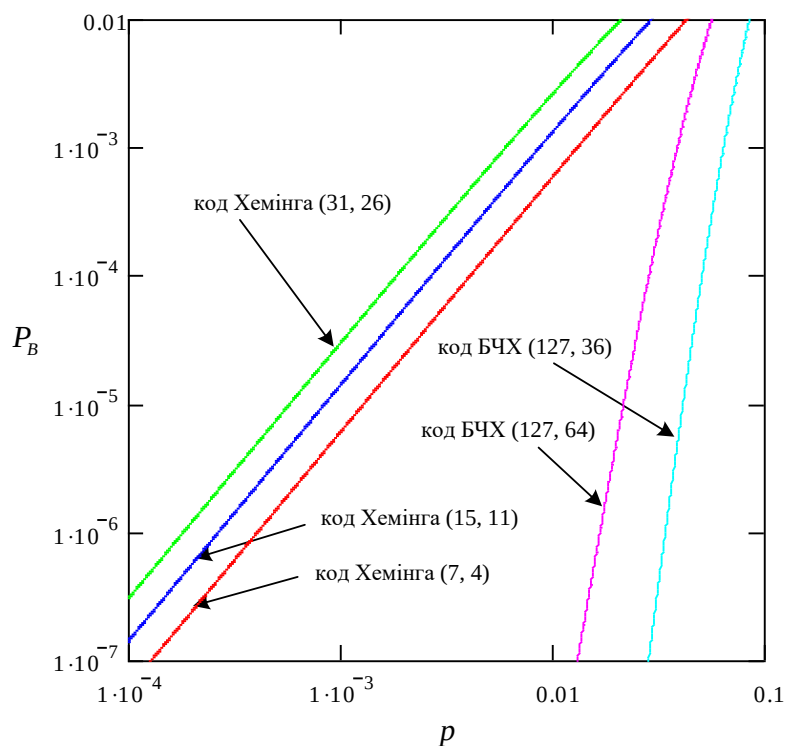


Рисунок 16 – Залежність біткової помилки кодів Хемінга і БЧХ від імовірності помилки в каналі символі

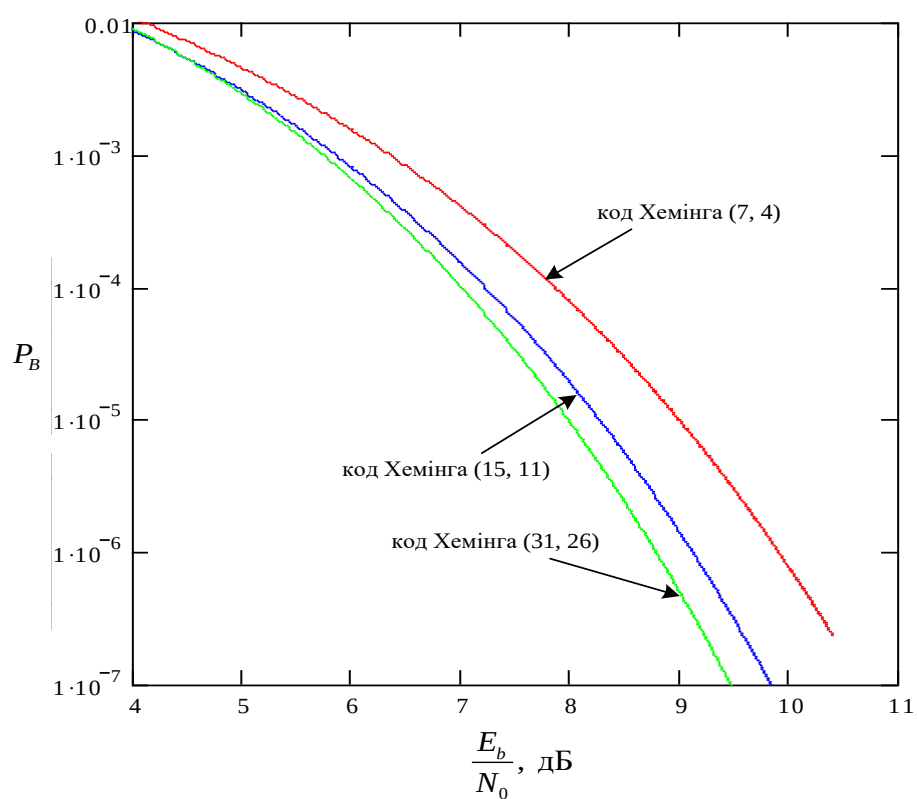


Рисунок 17 – Залежність імовірності помилки в декодованому біті P_B від відношення біткової енергії до спектральної густини потужності завади

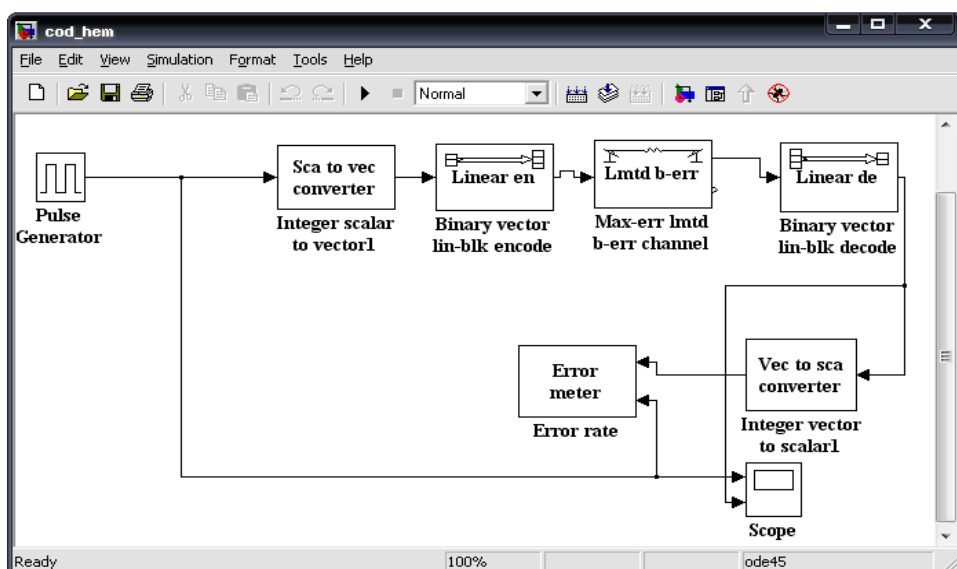


Рисунок 18 – Модельована система

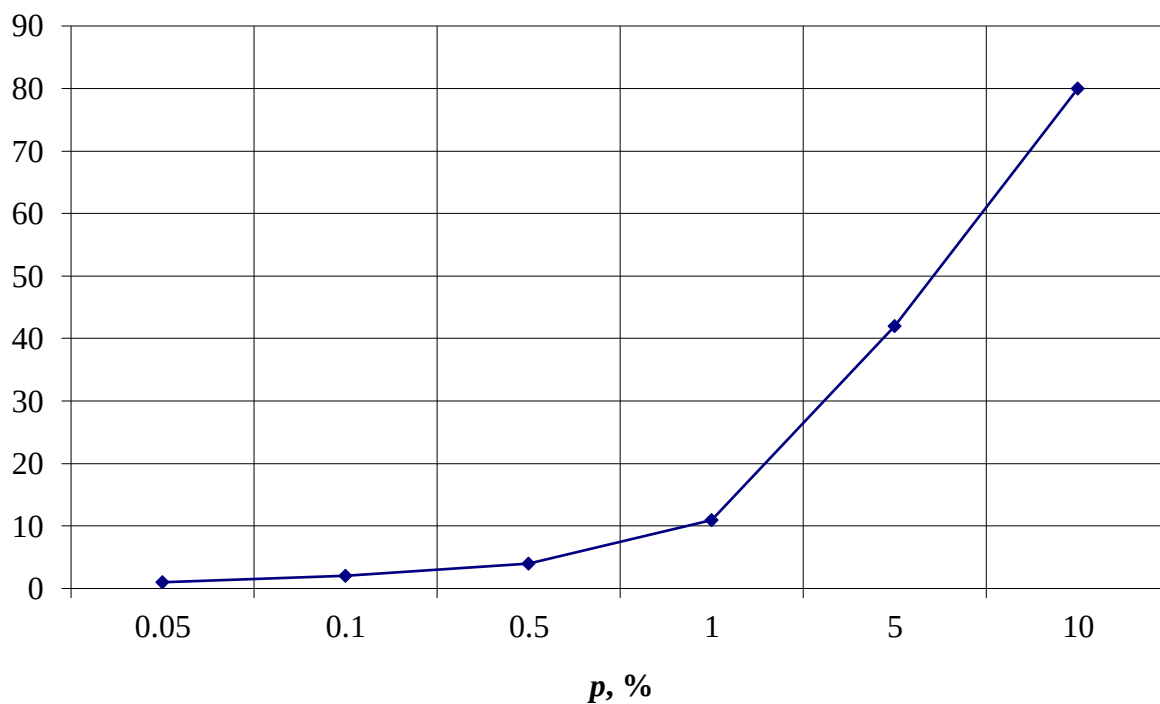


Рисунок 19 – Залежність кількості прийнятих з помилкою кодових комбінацій від імовірності помилки каналного символу

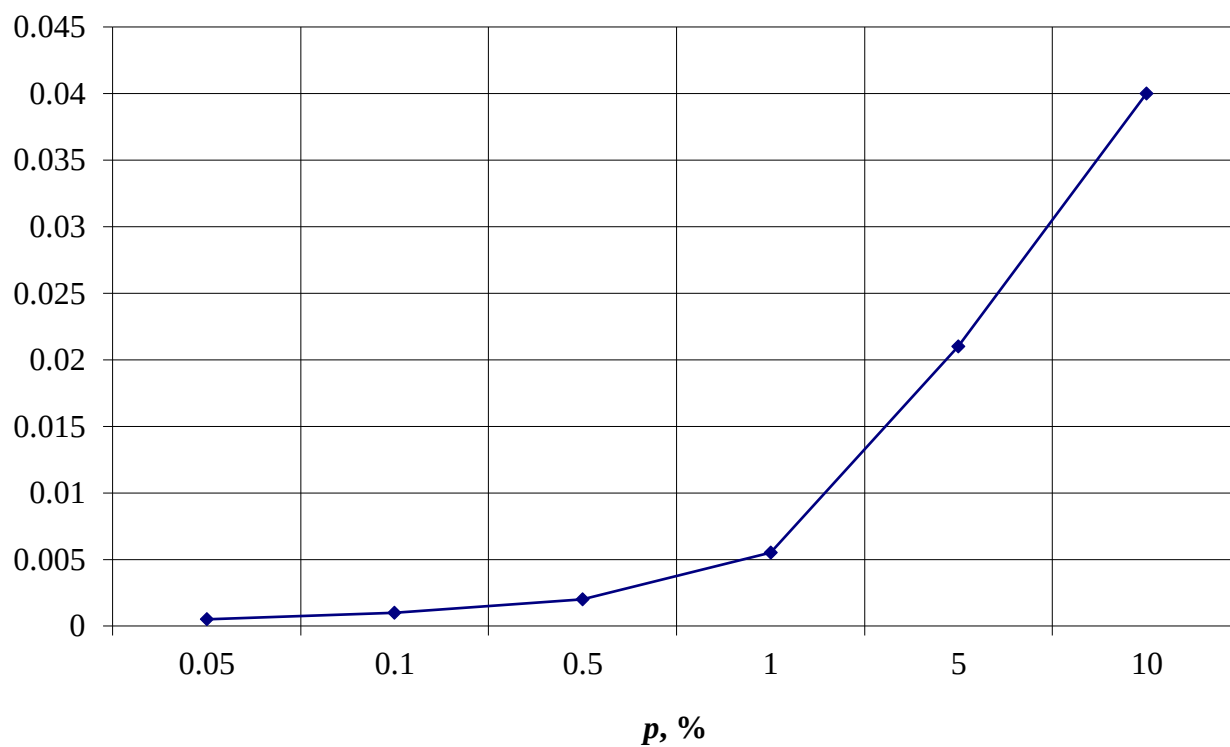


Рисунок 20 – Залежність відношення імовірності помилки декодованої комбінації до імовірності помилки комбінації в каналі від імовірності помилки канального символу

Додаток Б
(обов'язковий)

ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ РОБОТИ

**РАДІОЕЛЕКТРОННИЙ ПРИСТРІЙ ЗАВАДОСТІЙКОГО КОДУВАННЯ
ІНФОРМАЦІЇ З ВИКОРИСТАННЯМ КОДУ ХЕМІНГА**

ПРОТОКОЛ
ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ
НА НАЯВНІСТЬ ТЕКСТОВИХ ЗАПОЗИЧЕНЬ

Назва роботи: «Радіоелектронний пристрій завадостійкого кодування інформації з використанням коду Хемінга»

Тип роботи: МКР
(БДР, МКР)

Підрозділ ІРТС, ІЕС
(кафедра, факультет)

Показники звіту подібності Unichesk

Оригінальність 88,6% Схожість 11,4%

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)

Тарас ЄДНАК
(прізвище, ініціали)

Керівник роботи


(підпис)

Андрій ЄМЕНОВ
(прізвище, ініціали)