МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю. М. Потебні

Кафедра електроніки, інформаційних систем та програмного забезпечення

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи

рівень вищої освіти *другий (магістерський)*

на тему *Дослідження та розробка оптоелектронної системи визначення кута повороту слідкуючого пристрою*

Виконав: студента *II* курсу, групи *8.1763*

Виноградов Євгеній Дмитрович

(прізвище та ініціали) (підпис)

Напряму підготовки

(шифр)

Спеціальності *176*

Мікро- та наносистемна техніка

(назва)

Керівник *доцент, доцент, к.т.н.*

Ніконова А.О.

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Рецензент *інженер-конструктор Конструкторського бюро Колосова Григор'єва І.К.*

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

м. Запоріжжя

2024 рік

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю. М. Потебні

Рівень вищої освіти *другий (магістерський)*
(перший (бакалаврський) рівень, другий (магістерський) рівень)

Напрям підготовки *176*
(шифр)

Спеціальність *Мікро- та наносистемна техніка*
(назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри *ЕІСПЗ*

Критська Т.В.

"16" *лютого* 2025 року

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

Виноградову Євгенію Дмитровичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи *«Дослідження та розробка оптоелектронної системи визначення кута повороту слідкуючого пристрою»*
керівник роботи *Ніконова Аліна Олександрівна*
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом ЗНУ від *" 28 "лютого 2024 року №361-с*
2. Строк подання студентом роботи: *15 лютого 2025 року*
3. Вихідні дані до роботи *мікроконтролет мікросхема 4070 з чотирма базовими елементи «виключне або»; 74185; випромінювач SE2460; фотодіод S15193; операційний підсилювача струму LM358; мікросхеми 7408, 7432, 7486*
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):
1. Дослідження методів визначення кутового положення
2. Розробка оптоелектронної схеми визначення кута повороту
3. Техніко-економічне обгрунтування
4. Охорона праці та техногенна безпека
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
Л1 – Області використання кутових та лінійних датчиків переміщення; Л2 – Поворотні інкрементні та абсолютні енкодери; Л3 – Структурна схема оптоелектронного перетворювача; Л4 – Алгоритм декодування матричного кодера; Л5 – функціональна схема перетворення лінійних та кутових переміщень; Л6- Схема перетворення двійкового коду в двійково-десятковий Л7-Моделювання схеми в електронному середовищі PROTEUS;

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата завдання прийняв
I	*Ніконова А.О.*	*28.02.2024*
II	*Ніконова А.О.*	*15.04.2024*
III	*Ніконова А.О.*	*04.10.2024*
IV	*Ніконова А.О.*	*02.12.2024*

7. Дата видачі завдання *28.02.2024 року*

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного роботи	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	*Аналіз існуючих приладів. Визначення недоліків, переваг, методів модернізації та покращення параметрів*	*01.03-01.05*	
2	*Реалізація оптоелектронного блоку кодування*	*01.05-10.09*	
3	*Перетворення коду Грея в двійковий код*	*10.09-02.10*	
4	*Розробка блоку оптоелектронного перетворення*	*02.10-25.10*	
5	*Розробха схеми розрахунку кута*	*25.10-08.11*	
6	*Техніко-економічне обгрунтування*	*08.11-25.11*	
7	*Охорона праці та техногенна безпека*	*25.11-04.12*	
8	*Оформлення пояснювальної записки*	*04.12-19.01*	
9	*Рецензування, нормоконтроль, підписання роботи*	*20.01-05.02*	
10	*Оприлюднений захист кваліфікаційної роботи*	*19.02*	

Студент _____ *Виноградов Є.Д.*
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник проєкту (роботи) _____ *Ніконова А.О.*
(підпис) (прізвище та ініціали)

Нормоконтроль пройдено _____ *Верьовкін Л.Л.*
(підпис) (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Дипломна робота містить 93 сторінок, 48 рисунків, 20 таблиць, 19 джерел літератури.

Об’єкт дослідження – оптоелектронна система визначення кута повороту.

Мета роботи – розробка оптоелектронної системи визначення кута повороту слідкуючого пристрою

Завдання роботи – забезпечити точність передачі інформації, синхронність функціонування вузлів приладу; розробити схему визначення кута повороту приладу

Методика досліджень – моделювання пристрою за допомогою програмних забезпечень Proteus, Electronic Workbench

Короткий виклад результатів досліджень – кодування структури забезпечує генерацію фотодетекторами двійкового коду Грея, перевага якого полягає в зміні лише одного розряду при переході від одного числа до іншого. Схема розрахунку кута виконана у вигляді чотирирозрядного паралельного суматора з послідовним перенесенням на напівсуматорах, що складаються з двох елементів XOR та AND. Завдяки керуючому сигналу виконується операція суми або віднімання. Для перетворення додаткового коду, що виникає з операції віднімання меншого від більшого розроблено перетворювач додаткового коду в прямий.

Результати впроваджень – результати розробки пройшли випробуванняна на Міжнародній н.-пр. конференції ІННІ ім. Ю.М. Потебні ЗНУ.

Прогнозні пропозиції – рекомендується подальша доробка схеми та моделювання математичної моделі в MatLab.

ВИПРОМІНЮВАЧ, СХЕМА, ФОТОДЕТЕКТОР, КОД ГРЕЯ, ЕНКОДЕР, КОДУЮЧА СТРУКТУРА, АЛГОРИТМ, СУМАТОР

Кваліфікаційну роботу виконано на кафедрі ЕІСПЗ з 28.02.2024р. по 05.02.2025р.

ЗМІСТ

ВСТУП 4

1 ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ВИЗНАЧЕННЯ КУТОВОГО ПОЛОЖЕННЯ . 7

1.1 Вимоги до сенсора кута повороту 7

1.2 Методи вимірювання кутових координат 9

1.2.1 Потенціометричні датчики переміщення 9

1.2.2 Ємнісні сенсори кута 11

1.2.3 Обертові (поворотні) трансформатори 12

1.2.4 Магнітний датчик кута 13

1.2.5 Індуктивний принцип вимірювання лінійних і кутових переміщень. 14

1.2.6 Оптоелектронні датчики..... 16

1.3 Класифікація методів вимірювання кута повороту 21

1.4 Використання датчиків переміщення в різних сферах 22

2 РОЗРОБКА ОПТОЕЛЕКТРОННОЇ СХЕМИ ВИЗНАЧЕННЯ КУТА ПОВОРОТУ 25

2.1 Принцип роботи оптоелектронного детектора визначення кута 25

2.2 Узагальнена модель оптоелектронних перетворювачів 30

2.3 Методи кодування оптоелектронних перетворювачів кутових переміщень..... 32

2.4 Реалізація оптоелектронного блоку кодування 35

2.5 Перетворення коду Грея в двійковий код..... 42

2. 6 Розробка оптоелектронного модуля..... 52

2.7 Розрахунок блоку підсилення сигналу 57

2. 8 Розробка схеми розрахунку кута повороту в залежності від напряму руху об’єкта 62
3 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ 66
3.1 Обґрунтування вибору випромінювача для проєктування блоку прийому оптичного випромінювання 66
3.2 Обґрунтування вибору фоточутливого елементу 66
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА 72
4.1 Загальне визначення охорони праці, її роль, предмет, об’єкт та методичні основи. 72
4.1.1 Правові та організаційні питання охорони праці 73
4.1.2 Пожежна безпека 75
4.1.3 Техногенна безпека 76
4.2 Шкідливі фактори у робочих приміщеннях 79
4.3 Електробезпека 80
4.4 Освітлення виробничих приміщень 84
ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ 87
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ 88
ДОДАТОК А 91
ДОДАТОК Б 92

ВСТУП

Пристрої, що визначають кути повороту, є одними з основних елементів сучасних автоматизованих систем. Вони використовуються для керування різними об'єктами, зокрема в навігаційному обладнанні, радіолокації, антенних системах космічного зв’язку, робототехніці та багатьох інших галузях. Їхня робота дозволяє забезпечувати точність і безпечність руху електроприладів.

Система управління повинна забезпечити визначення кутів та наведення системи на об’єкт з похибками, які не перевищують 1-2 кутових мінут. Це потребує високих вимог до точності кутових сенсорів. Також важливим є вимога до куто-вих сенсорів антен, що вони повинні забезпечувати абсолютний кут після увімкнення живлення, оскільки координатна прив'язка до початкової точки відліку, зокрема для інкрементальних сенсорів, потребує великих витрат часу й ускладнена через конструктивні обмеження в опорно-поворотних пристроях (ОПП) антенних систем[1].

Розробка точних і швидких фотоелектронних сенсорів кута вимагає врахування і подолання низки факторів нестабільності, таких як механічні похибки виготовлення, унікальна природа фотоелектронного зчитування кодових дисків і недосконаліть наявних методів обробки зображень. Для розв'язання цієї проблеми необхідно не тільки враховувати конструктивні особливості, але й удосконалювати способи обробки вимірювальної інформації.

Отже, зменшення похибки, підвищення надійності вимірювання та виконання вимог до точності механічних вузлів шляхом застосування досконаліших схемних рішень та методів опрацювання сигналів обумовлює актуальність даної теми.

1 ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ВИЗНАЧЕННЯ КУТОВОГО ПОЛОЖЕННЯ

1.1 Вимоги до сенсора кута повороту

Положення твердого тіла, що обертається навколо нерухомої осі, можна описати двогранним кутом φ, утвореним двома площинами, що містять вісь обертання. Одна нерухома, а друга з’єднана з твердим тілом [1]. Отримання інформації про кутове положення об'єкта також передбачає визначення його кутової швидкості та кутового прискорення, тобто першої та другої похідних кутового положення за часом. У деяких випадках необхідно контролювати додаткові параметри тіла, наприклад зміщення осі обертання або осі биття.

Необхідність визначення кутового положення твердого тіла і параметрів його обертального руху виникла в багатьох галузях техніки, а з її розвитком з'явилися і засоби вимірювання кутових координат. Зокрема, датчик кута є одним із найважливіших вузлів забезпечення точності наведення променя великих антенних систем і допоміжних космічних апаратів. Враховуючи особливості застосування датчика кута для вимірювання положення осі повороту антенної системи, до нього можна ставити наступні вимоги.

– Абсолютний відлік. Повернення опорно-поворотного пристрою в початкове положення для прив'язки точки відліку вимагатиме великих затрат часу. Тому сенсор кута повороту повинен забезпечувати абсолютний відлік відразу після ввімкнення живлення.

– Діапазон вимірювання. Переважно сенсор кута розміщують на вихідному валі редуктора, тому діапазон вимірювання складає не більше 360°

для азимутальної та 90° для кутомісної осі. В ОПП карданного типу слід забезпечити діапазон вимірювання 180° по двох осях.

– Статична точність. Для забезпечення надійного приймання сигналу похибка наведення не має перевищувати 1/10 від ширини діаграми направленості [1,2]. Для приклада, ширина основного пелюстка діаграми направленості антени з діаметром рефлектора 4,2 м для Х-діапазону складає 20'. Тому опорно-поворотний пристрій має забезпечувати похибку наведення ±2'.

– Динамічна точність. Під час супроводу супутника додатково виникає динамічна похибка наведення, що залежить від швидкості руху супутника, динамічних характеристик опорно-поворотного пристрою та сенсора кута. Залежно від конструкції ОПП антени швидкість супроводу низькоорбітальних супутників може досягати 10°/с [2].

- Інтерфейс. Оскільки сенсор кута має легко інтегруватися в цифрову систему керування, то перевагу слід віддати сенсорам з цифровим виходом. Інтерфейс має передбачати можливість передачі результатів вимірювання на відстань до 100 м і бути стійким до впливу завад силових кіл.

- Вимоги до кліматичного виконання. Оскільки сенсор кута встановлюється на відкритому повітрі й може підпадати під дію пилу, дощу та снігу, то ступінь захисту оболонки по ГОСТ 14254-96 має бути не нижчим за IP65.

- Додаткові можливості. Для фіксації початкового положення протокол сенсора повинен передбачати можливість встановлення поточного положення та зміну напрямку обертання залежно від конструкції антенно-фідерної споруди. Оскільки доступ до датчика ускладнений, програмне забезпечення повинно передбачати функцію самодіагностики для своєчасного виявлення несправностей.

1.2 Методи вимірювання кутових координат

1.2.1 Потенціометричні датчики переміщення

Найпростішим сенсором кута є потенціометр. У цьому сенсорі ковзний контакт з'єднаний з об'єктом вимірювання і пересувається вздовж резистивного елемента, виготовленого з дроту або провідного пластику.

Чутливим елементом потенціометра є потенціометр, рухомий контакт якого з'єднаний з механічним елементом, положення якого необхідно визначити. З електричної точки зору, в точці контакту щітки нерухомий резистивний елемент розділяється на дві частини змінної величини в залежності від положення щітки. Коли потенціометр використовується як дільник напруги, напруга живлення подається на його крайні контакти, а вихідним сигналом є напруга, що знімається між рухомими контактами і одним з кінців резистивного елемента. Значення вихідного сигналу виражається по відношенню до положення щітки наступним чином:

$$U_x = U \cdot \frac{R_x}{R}$$

де U – напруга живлення давача, R – повний опір потенціометра, R_x – опір між виводом початку резистивного елемента та рухомим контактом,

U_x – вихідний сигнал. Якщо потенціометр має лінійну функціональну залежність, виконується співвідношення:

$$\frac{R_x}{R} = \frac{x}{L}$$

де L – довжина резистивного елемента, x – відстань між початком резистивного елемента та рухомим контактом. Залежність сигналу від положення в цьому випадку приймає вигляд:

$$U_x = \frac{U}{L} \cdot x = k \cdot x$$

де $k = U/L$ – коефіцієнт перетворення потенціометричного давача.

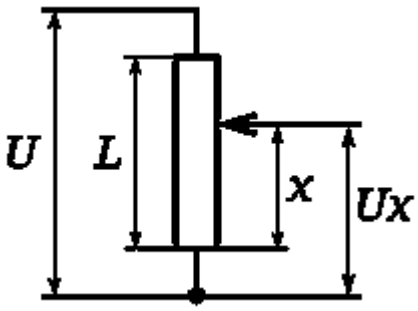




Рисунок 1.1 - Принципи побудови потенціометричних ДП

Для однооборотних потенціометричних сенсорів кута діапазон вимірювання обмежений і не досягає повного оберту. Допустимий діапазон відхилення від лінійності для потенціометричних сенсорів кута становить 6'. .10° [1,2].

Перевагою даного методу є можливість отримання абсолютного відліку та простота використання; недоліками – зношування провідної доріжки та відносно низька точність. Потенціометричні сенсори кута виробляються, наприклад, компанією «Megatron». Відхилення від лінійності для них становить 0,1%.

Відсутність механічного зносу струмопровідної доріжки притаманна оптоелектронним безконтактним потенціометрам на основі позиційно-чутливих фотопотенціометрів та функціональних фоторезисторів [3]. Вихідна напруга фотопотенціометра визначається положенням оптичного зонда, утвореного оптичною системою, механічно зв'язаною з вхідною віссю приладу.

Перевагами такого підходу є відсутність електричного контактного тертя, відсутність механічного гістерезису, можливість герметизації елементів конструкції, можливість роботи в жорстких умовах експлуатації та у вакуумі, висока роздільна здатність, висока чутливість та висока надійність. Водночас недоліками оптоелектронних безконтактних потенціометрів є їх

відносно низька точність (відхилення від лінійності-0,2%) та складна конструкція [1-3].

1.2.2 Ємнісні сенсори кута

Ємнісні сенсори кута використовують той факт, що ємність плоских або циліндричних конденсаторів залежить від взаємного перекриття їх обкладок.

Робота цього типу датчиків базується на залежності між ємністю конденсатора та його геометричним розташуванням. У найпростішому випадку - це зміна відстані між пластинами в результаті зовнішнього фізичного впливу. Оскільки ємність конденсатора змінюється обернено пропорційно відстані між пластинами, відстань між пластинами можна визначити, визначивши ємність за допомогою інших відомих параметрів. Зміни ємності можна реєструвати різними методами (наприклад, вимірюванням імпедансу), але в будь-якому випадку конденсатор повинен бути підключений до електричного кола:

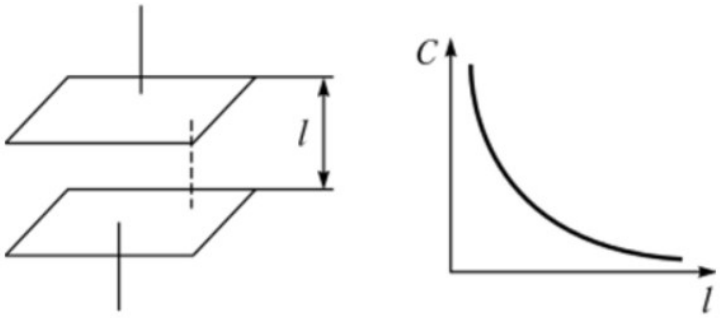


Рисунок 1.2 - Схема ємнісного датчика лінійного переміщення

У датчиків кутового переміщення на рис. 1.3 ємність змінюється через зміну площі взаємного перекриття пластин.

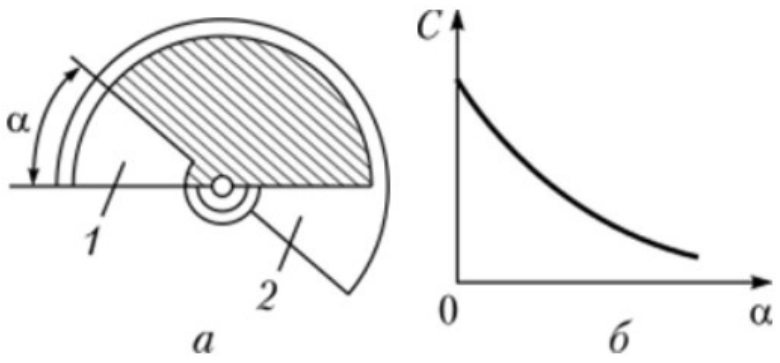


Рисунок 1.3 - Схема ємнісного датчика кутового переміщення

Перевагами ємнісних сенсорів кута є низькі механічні зусилля, проста технологія виготовлення і відсутність рухомих контактів (в деяких випадках одна рухома щітка). Складність застосування цього принципу полягає у вимірюванні малих робочих ємностей на фоні паразитних ємностей того ж порядку, високих вимог до опору ізоляції та впливу дестабілізуючих факторів [3]. Принцип електричної редукції дозволяє суттєво підвищити точність ємнісних сенсорів кута за рахунок зменшення діапазону вимірювання прецизійного опорного каналу та зменшення впливу похибок виготовлення окремої секції сенсора. Таким чином, вдається зменшити похибку ємнісних сенсорів до '1' [1-3]. Обмеженнями ємнісних сенсорів є складність їх взаємодії з цифровою ІВС та чутливість до електромагнітних завад.

1.2.3 Обертові (поворотні) трансформатори

Обертові трансформатори – це електричні мікромашини змінного струму, які перетворюють кут повороту ротора відносно статора в електричний сигнал, пропорційний функціям цього кута. Залежно від закону зміни вихідного сигналу розрізняють синусний, косинусний, синусно-косинусний та лінійний різновиди обертових трансформаторів (ОТ).

Синусно-косинусний поворотний трансформатор – це електрична мікромашина змінного струму, призначена для перетворення кута повороту φ в напругу, амплітудою пропорційною синусу та косинусу кута повороту φ. Точні поворотні трансформатори, крім каналу грубого відліку, можуть мати канал точного відліку, сигнал якого змінюється декілька разів за оберт валу. Похибка обертових трансформаторів без електричної редукції може знаходитися в межах ±20"…±10'. Похибку систем на основі обертових трансформаторів із електричною редукцією зменшують до 1" [1-3].

Перевагами синусоїдальних поворотних трансформаторів як сенсорів кута є безконтактне вимірювання, потенційно висока точність і стійкість до жорстких умов експлуатації (вібрація, пил, волога, іонізуюче випромінювання). Використання поворотних трансформаторів обмежується складністю їх виготовлення.

Один із типів обертових трансформаторів називається індуктосинами, які є багатополюсними обертовими трансформаторами з друкованими кінцевими обмотками. Перевагами індуктосинів є виняткова точність, стійкість до відхилень диска та стійкість до складних умов експлуатації. Одним із недоліків є його сприйнятливість до електромагнітних перешкод, які можуть вплинути на його продуктивність.

1.2.4 Магнітний датчик кута

Магнітний датчик кута використовує техніку вимірювання, яка базується на ідентифікації орієнтації постійного магніту, з’єднаного з ротором, за допомогою двох датчиків Холла, розташованих під прямим кутом один до одного [2]. Перевагою такого підходу є компактні розміри перетворювача, його надійність і стійкість до факторів зовнішнього середовища, недоліком – низька точність (похибка – ±20%).

Сенсори лінійних і кутових переміщень на основі магнітних шкал базуються на використанні кільця з магнітотвердого матеріалу, на яке наноситься магнітна шкала, що зчитується головкою, чутливою до залишкової намагніченості [4]. Для отримання високої роздільної здатності два вихідні парафазні гармонійні сигнали інтерполюються. Перевагою використання магнітних шкал є їх вища стійкість до забруднення порівняно з оптичними шкалами. Недоліками є зниження точності, накопичення феромагнітного пилу та ризик розмагнічування шкали.

1.2.5 Індуктивний принцип вимірювання лінійних і кутових переміщень

Індуктивний принцип для вимірювання як лінійних, так і кутових переміщень, виключає недоліки, пов’язані з попередніми методами вимірювання. Існує багато різних індуктивних вимірювальних перетворювачів, залежно від конструктивних особливостей, особливостей схеми, вхідних параметрів перетворювача, характеру взаємодії елементів перетворювача і багатьох інших характеристик.

Так, перетворювач, виконаний у вигляді котушки індуктивності з феромагнітним магнітопроводом, зазор якої змінюється під впливом вимірювальних параметрів, визначається як дросельний перетворювач, а перетворювач з двома з'єднаними між собою котушками - як трансформаторний перетворювач.

Основою індуктивного датчика є котушка індуктивності або набір котушок. На рис. 1.4 показані варіанти конструкції індуктивних датчиків. На рис. 1.4а показано датчик зі змінним зазором d, де індуктивність котушки W змінюється залежно від розміру зазору. У датчику на рис. 1.4б індуктивність змінюється, коли плунжер рухається через котушку. Як видно з конструкції,

індуктивні датчики можуть використовуватися для вимірювання переміщення і, в першу чергу, такі датчики використовуються в деяких механізмах для заміни реостатних датчиків. Основними експлуатаційними перевагами індуктивних датчиків є їх висока надійність завдяки повній відсутності механічного контакту між рухомими частинами, а також здатність працювати при високих механічних навантаженнях (удари, вібрація) і в умовах підвищеної забрудненості та запиленості. Недоліком є те, що, як правило, індуктивні датчики важко живити високочастотним змінним струмом, що вимагає використання додаткового контуру спеціальних генераторів або перетворювачів. У деяких випадках індуктивні датчики можуть самі генерувати струм і не потребують напруги живлення.

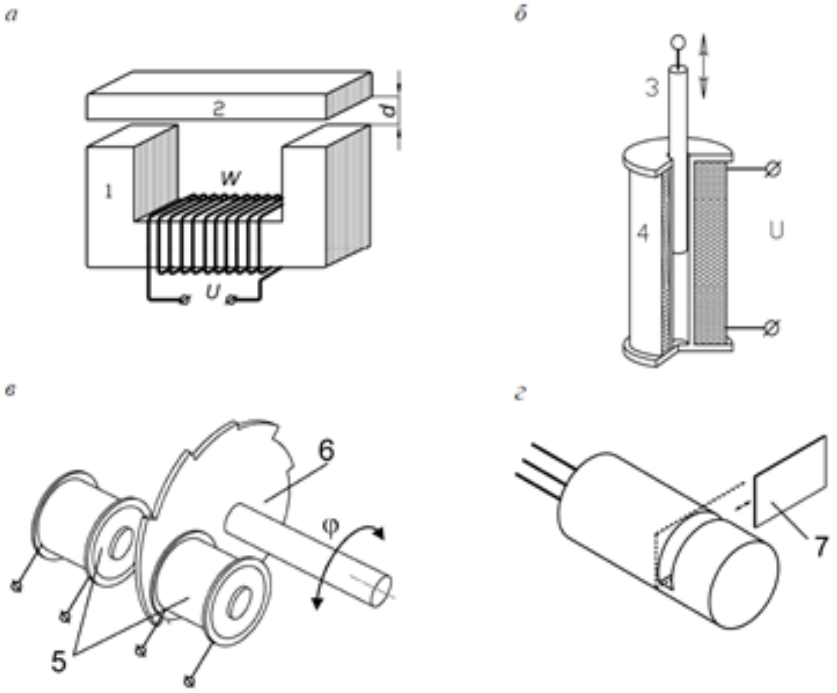


Рисунок 1.4 - Індуктивні датчики: а – зі змінним зазором; б – з рухомим сердечником (плунжером); в – з профільним магнітним екраном; г - безконтактний вимикач з магнітним екраном типу «флажок».

1.2.6 Оптоелектронні датчики

Сучасні оптоелектронні перетворювачі переміщень є складними системами, в яких сигнал постійно зазнає перетворень, необхідних для обробки інформації. При цьому, як правило, оптичний сигнал спочатку перетворюється в електричний, який потім обробляється у вигляді, зручному для виділення інформації про величину кутових і лінійних переміщень. У той же час, електричні сигнали часто в процесі роботи обернено перетворюються в оптичні або магнітні.

Класифікація оптоелектронних перетворювачів лінійних і кутових переміщень класифікує перетворювачі переміщень, які з часом зазнали істотних змін. Тому класифікація оптоелектронних перетворювачів представлена на рис. 1.5 враховує сучасні особливості побудови і реалізації.



Рисунок 1.5 - Класифікація оптоелектронних перетворювачів [1]

Узагальнену структурну схему оптоелектронних датчиків можна представити як комбінацію наступних елементів: випромінювача, кодуючої структури, аналізуючої структури, фотоприймального модуля, системи первинної обробки інформації і системи вторинної обробки інформації, які розташовані у фізичному середовищі та мають джерело живлення (рис.1.6).

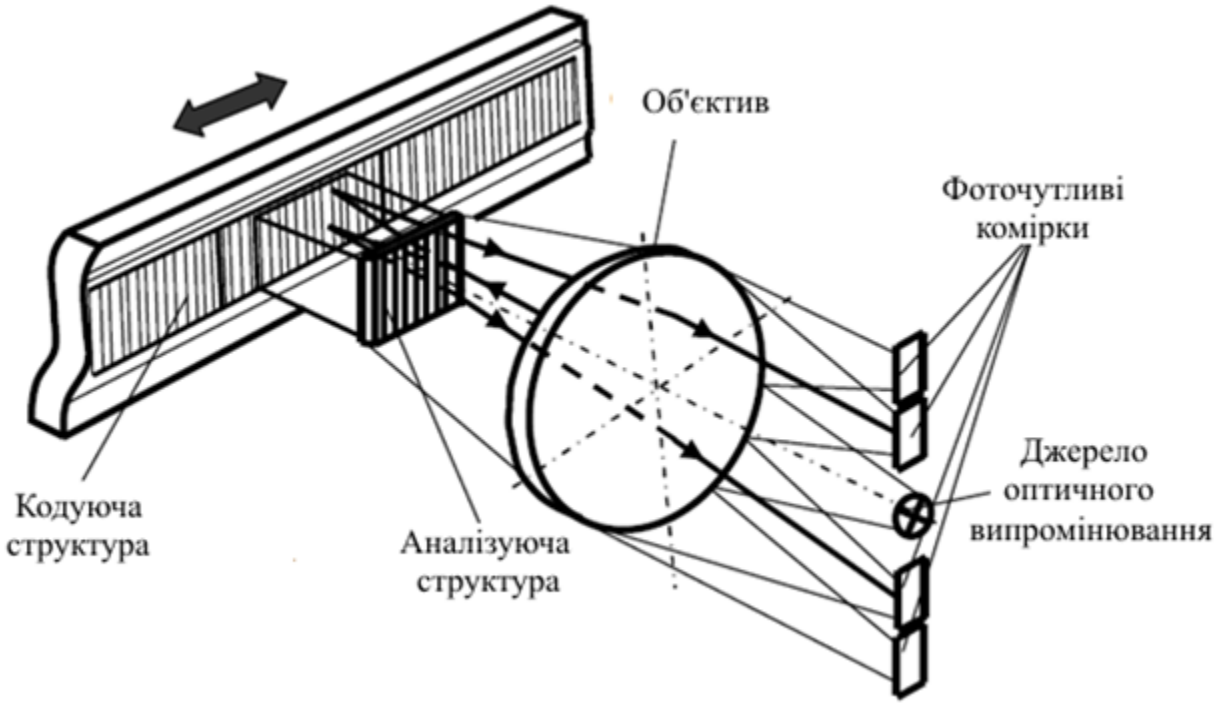


Рисунок 1.6 - Узагальнена структурна схема оптоелектронних датчиків

Датчик передає отриману інформацію на зовнішній дисплей або перетворювач. Оскільки носіями вимірюваної інформації є електромагнітні хвилі оптичного діапазону, які поширюються в повітрі, конфігурація фізичного середовища повинна враховувати не тільки експлуатаційні впливи на елементи схеми через зміну температури і вібрації, але і шляхи проходження в повітрі. Розглядаючи перетворення сигналу в узагальненій схемі оптоелектронних датчиків, необхідно враховувати завади, які бувають не тільки електричними і механічними, але і вплив світла на елемент. Випромінювачі можуть включати декілька джерел оптичного випромінювання та передавальну оптику, яка формує необхідне поле оптичного випромінювання. Кодуюча структура - це просторово-періодична

структура, яка містить одиниці вимірювання і може бути виконана у вигляді лінійних або кругових шкал, дифракційних решіток або голограм.

Структура аналізу зазвичай має таку ж структуру, як і структура кодування, і призначена для визначення дробової частини одиниці. Модуль фотоприймача перетворює оптичний сигнал, отриманий від випромінювання, що проходить через структури кодування та аналізу в електричний сигнал і може включати безліч приймачів оптичного випромінювання [7].

Система первинної обробки інформації зазвичай включає електронну схему (попередні підсилювачі та електронні фільтри) для попередньої обробки вимірювальних електричних сигналів. Вторинна система обробки інформації остаточно перетворює отриману інформацію про переміщення в зручний формат (код або аналоговий сигнал), який може бути зрозумілий оператору або використаний у вимірювальній системі. У багатьох пристроях кодуюча та аналізуюча структури міняються місцями, але функції елементів при цьому зберігаються. Основна суть оптоелектронного датчика полягає в тому, що при переміщенні кодуючої структури відносно аналізуючої змінюються властивості характеристик оптичного сигналу від джерела, які перетворюються в електричні сигнали завдяки фотоприймальному модулю, і ці сигнали спочатку попередньо перетворюються в зручну форму для безпосереднього використання в первинній системі обробки інформації і, нарешті, у вторинній системі обробки інформації.

Оптоелектронні сенсори підрозділяються на інкрементні та абсолютні. Для визначення положення інкрементні сенсори кута можуть мати додатковий канал мітки, який генерує один або кілька імпульсів за цикл обертання - такі датчики називаються квазіабсолютними. Абсолютне положення осі визначається шляхом підрахунку кількості імпульсів, отриманих після сигналу мітки. Для визначення абсолютного положення вісь датчика повинна бути повернута до перетину з міткою після ввімкнення живлення, що є неприйнятним для деяких застосувань.

На відміну від інкрементних, оптоелектронні сенсори абсолютного кута (перетворювачі зчитування) визначають положення осі шляхом зчитування коду, нанесеного на одну або кілька доріжок на диску. Для усунення серйозних помилок зчитування на кодових дисках використовуються сірі коди. Сірі коди характеризуються тим, що сусідні кодові комбінації відрізняються лише однією цифрою. Недоліком таких сенсорів є складність отримання високої роздільної здатності при обмежених розмірах датчика; оптичні схеми зчитування для більш ніж 14 доріжок і розміру диска до 100 мм є занадто складними [4-9].

Щоб обійти це обмеження, деякі сенсори інтерполюють сигнал, отриманий від останнього коду, або збільшують роздільну здатність за рахунок додаткових інкрементних доріжок [5]. Перевагою сенсорів кута на основі сірих кодів є можливість отримання інформації про абсолютне положення осі та висока роздільна здатність, недоліком – складна конструкція та високі вимоги до точності виготовлення.

Варіантом зчитувального перетворювача є кодовий фотоприймач, який поєднує кодову маску і фотоприймач на одному кристалі, що складається з концентричних світлоприймальних доріжок, замаскованих світлогерметизуючою маскою з вікном, що відповідає сірому коду (рис.1.7а) . Структура освітлюється смугою світла, що проходить через щілину в рухомій діафрагмі, з'єднаної з віссю датчика. Вихідний цифровий сигнал формується компаратором струму на світлочутливій доріжці. Шляхом інтерполяції сигналу останньої кодованої доріжки похибка у визначенні положення оптичного зонда може бути зменшена до 0,1 мкм.

Ідея зменшення кількості кодових доріжок у перетворювачі зчитування була реалізована в однодоріжкових кодових дисках. Відомі кодові послідовності, які можна зчитувати лише з однієї доріжки, використовуючи елементи детектування, розміщені чітко за периметром диска [8,9] (рис. 1.7 б). Основною властивістю таких послідовностей є те, що кожен стовпець матриці рядків, в яких записані кодові слова послідовності, отримується

періодичним зсувом першого стовпця. Недоліком сенсорів на основі однорядкових сірих кодів є технічна складність точного розташування високочутливих елементів, що суттєво обмежує роздільну здатність.

B.E. Jones та K. Zia запропонували альтернативний метод створення оптоелектронного датчика кута та переміщення на основі єдиної кодової доріжки з символів псевдовипадкової послідовності. Доріжка, що складається з символів послідовності, закодованих у прозорих і непрозорих секторах різної ширини, наноситься на прозорий диск (рис. 1.7 в). За допомогою світлодіодів фрагменти кодової доріжки проектуються на ОБФП, розташовану поперек секторів. Отримане зображення аналізується мікроконтролером, де грубе кутове зчитування визначається комбінацією кодів на диску, а точне кутове зчитування визначається з урахуванням зміщення кодового елемента відносно початкової точки ОБФП [7]. Перевагами сенсорів кута на основі ПВП є простота методу, можливість врахування великих похибок злиття дисків та ОБФП, використання простої технології та доступних серійних компонентів. Обмеженнями цього методу є недоліки методу ідентифікації меж секторів та похибки вимірювання через ексцентриситет і люфт опор осі диска.

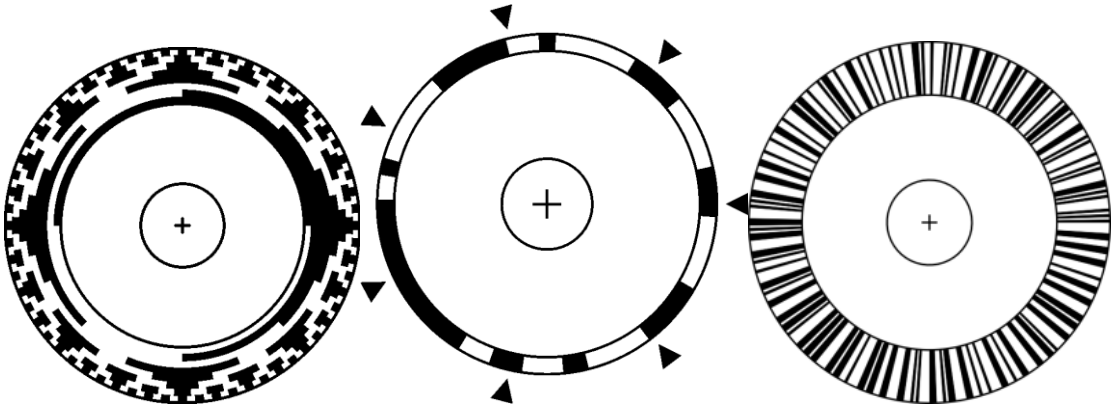


Рисунок 1.7 - Кодовий диск на основі класичного коду Грея (а), однодоріжкового коду Грея (б) та псевдовипадкової послідовності (в)

1.3 Класифікація методів вимірювання кута повороту

Методи вимірювання кутів можна класифікувати за кількома ознаками, наприклад, за способом відліку, діапазоном вимірювання, вихідним сигналом, фізичним принципом та ін. Класифікація датчиків кутів, наведена в [1], потребує розширення, оскільки не включає методи, які з'явилися останнім часом.

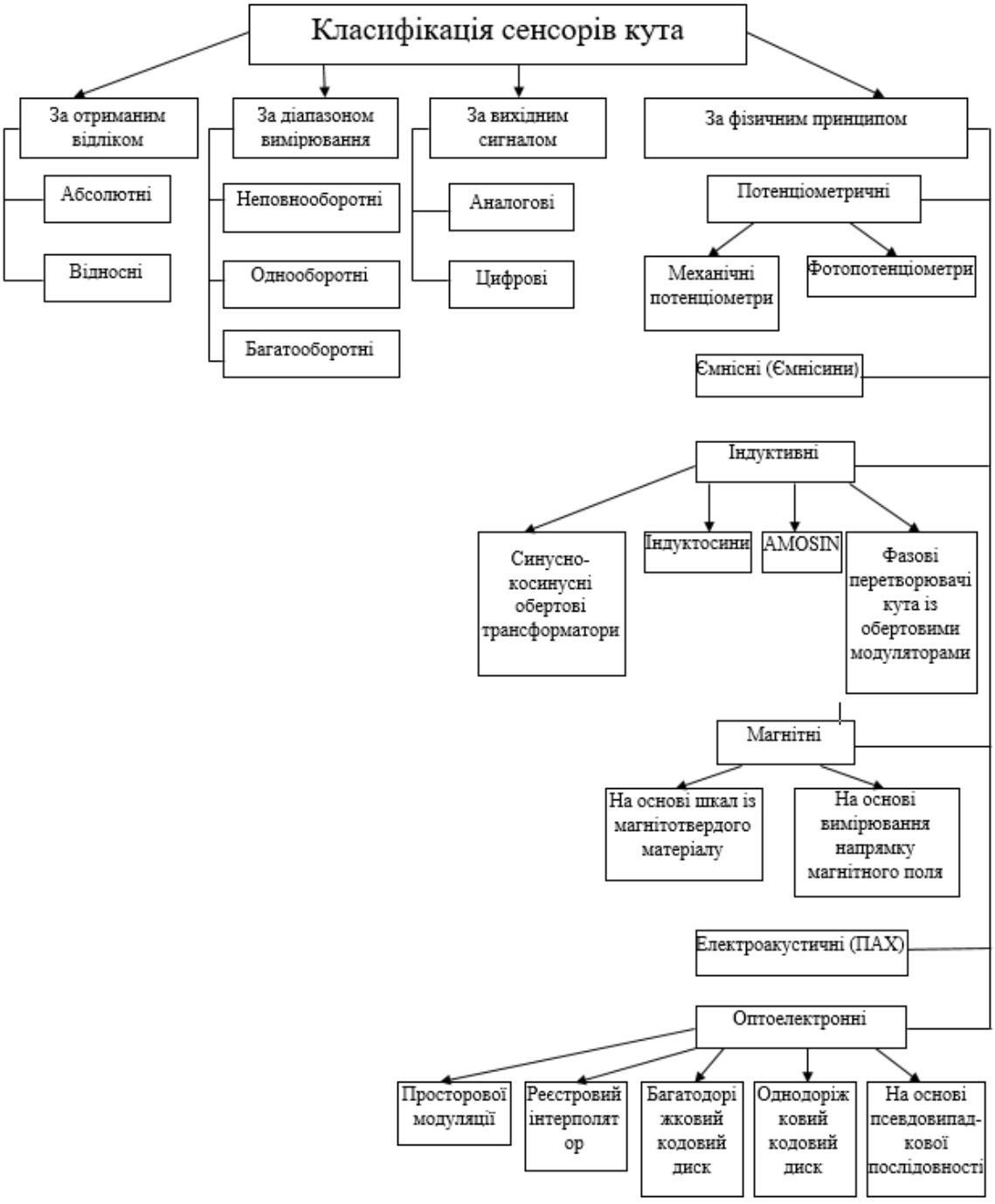


Рисунок 1.8 - Класифікація методів вимірювання кута повороту

1.4 Використання датчиків переміщення в різних сферах

Використання датчиків переміщення є важливим аспектом у сучасних технологіях, що знаходить застосування в багатьох галузях, таких як робототехніка, промисловість, медицина, автомобілебудування, інженерія та побутова техніка.

В створенні бойових модулів (рис 1.9):

З їх допомогою розвідники можуть вивчати місцевість в розташуванні противника, виявляти цілі і вести за ними спостереження, визначати їх положення на місцевості щодо орієнтирів шляхом вимірювання горизонтальних і вертикальних кутів, визначати дальності до цілей, якщо відомі їх розміри за висотою або шириною. Вони містять опорно-поворотний пристрій (ОПП), встановлений на дах транспортного засобу, комп’ютер, пульт управління, другий медіаконвертер Ethernet, блок розподілу живлення, датчики кута повороту, джерело живлення, розташовані всередині транспортного засобу.

Використовується в системі автоматичного керування дронами.

Для автоматичного управління дроном з його борту випромінюють імпульси високочастотного змінного випромінювання із закодованою адресою доставки вантажу. Система містить розташовані на борту дрону польотний контролер, супутникову систему навігації, датчик кута повороту, акселерометр, магнітометр, барометр, два акустичні датчики, фільтри-формувачі сигналів, постійний пристрій команд зльоту і команд посадки, датчик завершення посадки, визначник азимутального відхилення, посадкову шасі-антену, фіксатор вантажу, три RS-ригери.

У промисловості датчики використовуються для:

- контролю положення інструментів на верстатах ЧПУ;
- моніторингу переміщення компонентів у виробничих лініях;
- вимірювання зсуву та деформацій у будівельних конструкціях.

У робототехніці - для реєстрації положення кінцівок робота та забезпечення точного переміщення роботизованих систем.

В автомобільній галузі - для контроля переміщення педалей, рульового керування та забезпечення роботи систем активної безпеки (ABS, ESP).

У медицині датчики необхідні для використання в реабілітаційних роботах для моніторингу руху; вимірюванні мікропереміщень у медичних пристроях, таких як хірургічні інструменти або біонічні протези.

У побуті датчики незамінні в пристроях "розумного дому" (наприклад, датчики відкриття дверей або вікон), для вимірювання переміщення екранів або дверцят техніки (холодильники, мікрохвильовки тощо).

У наукових дослідженнях - для точного вимірювання зміщень у фізичних експериментах, аналізу руху об’єктів у космічній техніці.



Рисунок 1.9 - Області використання датчиків переміщень

Датчики руху є важливим компонентом сучасних технологій. Їх розробка сприяла вдосконаленню промислових, медичних, автомобільних і побутових систем, роблячи їх більш точними, ефективними і зручними для користувача [3,6].

Метою дипломної роботи є дослідження та розробка оптоелектронної системи визначення кута повороту слідкуючого пристрою. Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

1. Провести аналіз існуючих приладів вимірювання лінійних та кутових переміщень об`єкта спостереження;

2. Дослідити та розробити кодуючи структуру з високою точністю вимірювання кута повороту;

3. Розробити оптоелектронний блок передачі сигналу та провести його моделювання в електронному середовищі Proteus;

4. Вихідний цифровий сигнал в коді Грея перетворити в двійково-десятковий. Роботу схем перевірити в програмі Electronic Workbench;

5. Розробити схему розрахунку кута повороту в залежності від напряму руху об’єкта. Побудувати схему в программі креслення SPlan

2 РОЗРОБКА ОПТОЕЛЕКТРОННОЇ СХЕМИ ВИЗНАЧЕННЯ КУТА ПОВОРОТУ

Існує два способи, якими кодери представляють інформацію про поворот і кут:

- відносний кут або абсолютний кут,
- формат електричного сигналу, що виводиться з кодерів, який відрізняється залежно від кожного способу вираження.

Відносний кут надає інформацію на скільки кроків відбулося переміщення після руху.

Абсолютний кут показує на скільки градусів система перебуває відносно вихідного положення.

2.1 Принцип роботи оптоелектронного детектора визначення кута

Оптоелектронний детектор визначення кута (енкодер), який визначає величину переміщення з одного положення в інше, називається типом визначення відносного кута. Енкодер типу визначення відносного кута видає цифровий імпульсний сигнал відповідно до операції обертання. Такий спосіб виведення називається інкрементним методом. На рис. 2.1 представлено кодер, що генерує імпульси при обертанні диска з отвором в радіальному напрямку[3].

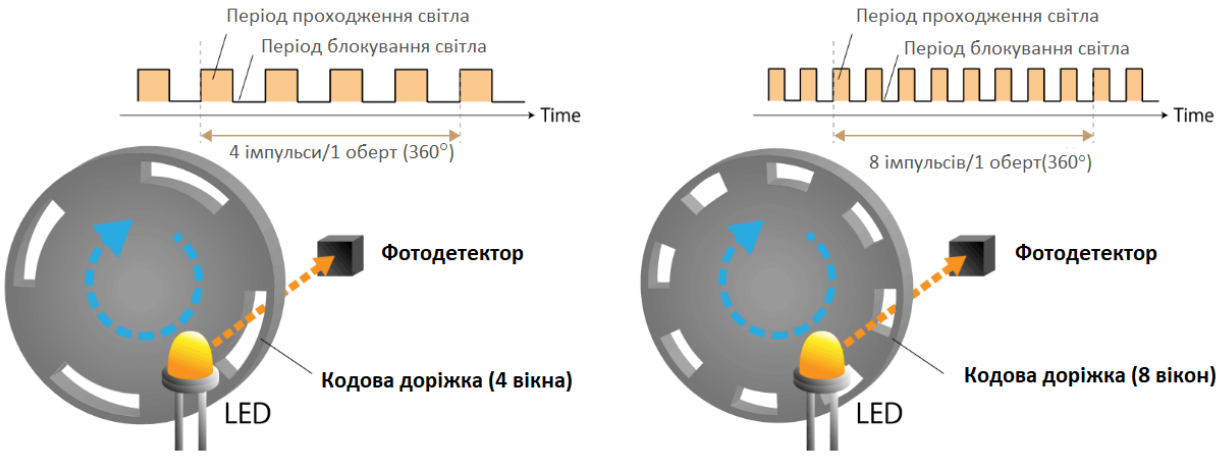


Рисунок 2.1 - Поворотний енкодер інкрементного типу

Підрахунок кількості імпульсів показує кутову зміну (рух) диска. Коли чотири щілини розташовані в ряд, кількість імпульсів на один оберт дорівнює чотирьом, тому можна побачити, що один імпульс повернувся на 360 ° / 4 = 90 °. Якщо кількість щілин подвоюється до восьми, один імпульс повертається на 360 ° / 8 = 45 °. Якщо кількість щілин, тобто кількість імпульсів на один оберт, більша, роздільна здатність зміни кута буде вищою, а величину руху можна представити точніше.

Однак цей метод не може розпізнати, що напрямок обертання змінився. Тому генеруються два імпульси, фази яких зсунуті на чверть циклу. Ці два імпульси зазвичай називають фазою А та фазою В. Напрямок обертання можна визначити залежно від того, який імпульс фази А чи фази В наростає першим. Віднімаючи кількість імпульсів у зворотному обертанні, величину обертання можна точно визначити, навіть якщо напрямок обертання змінюється.

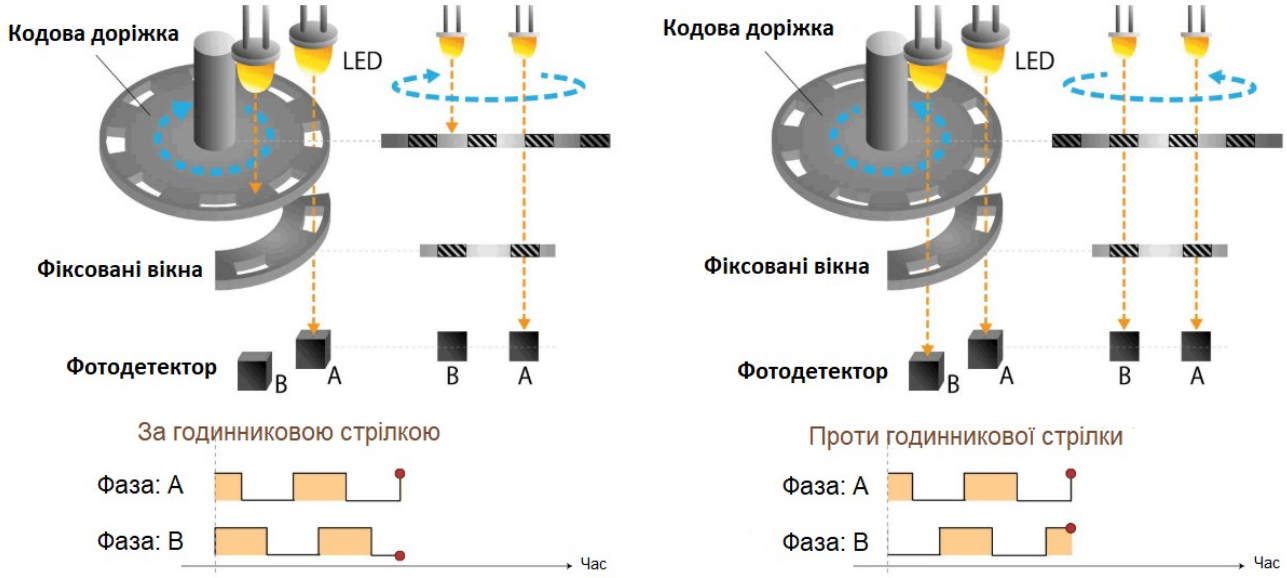
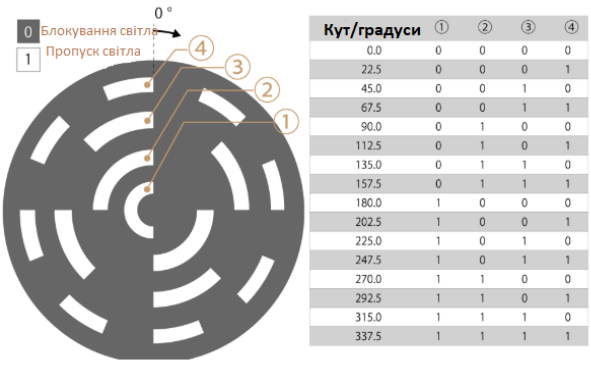


Рисунок 2.2 - Осцилограми фази A і B а) за годинниковою стрілкою, та б) проти годинникової стрілки

Енкодер, який визначає відстань від вихідного положення, називається типом визначення абсолютного кута. Енкодер типу визначення абсолютного кута виводить поточний абсолютний кут у цифровому послідовному коді або аналоговій напрузі у відповідь на інструкції з комп’ютера. Такий спосіб виведення називається абсолютним[3-6].

Інкрементний метод має лише один ряд щілин, тоді як абсолютний метод має кілька рядків. Наприклад, якщо є чотири ряди щілин, то можна знайти абсолютну позицію 16 кутів від 0000 до 1111 у двійковому коді. Якщо є 5 рядів щілин, є 32 шаблони від 00000 до 11111. Подвоївши ряд щілин до восьми, ви можна побачити абсолютні положення 256 різних кутів від 00000000 до 11111111. Зі збільшенням кількості рядів щілин, роздільна здатність зміни кута збільшується, що дозволяє отримати більш точне зображення кількості руху.



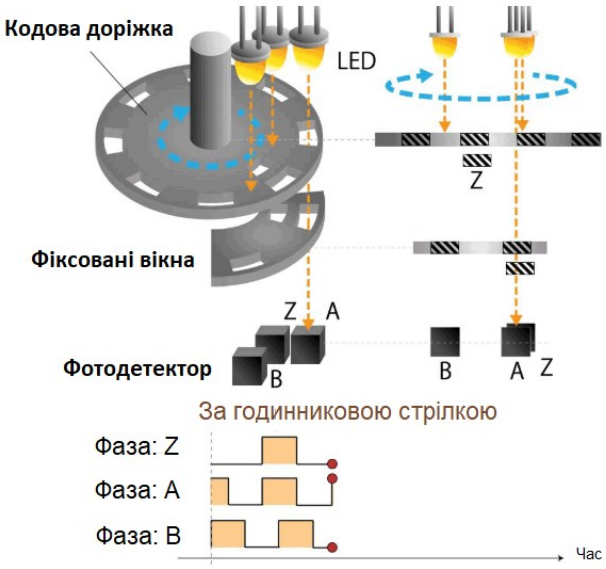
Кут/градуси	①	②	③	④
0.0	0	0	0	0
22.5	0	0	0	1
45.0	0	0	1	0
67.5	0	0	1	1
90.0	0	1	0	0
112.5	0	1	0	1
135.0	0	1	1	0
157.5	0	1	1	1
180.0	1	0	0	0
202.5	1	0	0	1
225.0	1	0	1	0
247.5	1	0	1	1
270.0	1	1	0	0
292.5	1	1	0	1
315.0	1	1	1	0
337.5	1	1	1	1



Кут/градуси	①	②	③	④	⑤
0.00	0	0	0	0	0
11.25	0	0	0	0	1
22.50	0	0	0	1	0
33.75	0	0	0	1	1
45.00	0	0	1	0	0
56.25	0	0	1	0	1
67.50	0	0	1	1	0
78.75	0	0	1	1	1
90.00	0	1	0	0	0
·	·	·	·	·	·
·	·	·	·	·	·
·	·	·	·	·	·
315.00	1	1	1	0	0
326.25	1	1	1	0	1
337.50	1	1	1	1	0
348.75	1	1	1	1	1

Рисунок 2.3 - Абсолютний поворотний енкодер з 4 та 5 рядами вікон

Абсолютний кут також можна представити за допомогою інкрементального методу. На додаток до ряду вікон для виділення імпульсів фази A і B цього методу додається лише одне вікно, а один імпульс генерується лише один раз за один оберт. Цей імпульс називається фазою Z (що означає нуль). Псевдоабсолютний спосіб – це метод представлення абсолютного кута шляхом визначення величини обертання від імпульсу фази Z, який є початковим положенням імпульсів фази A та B.



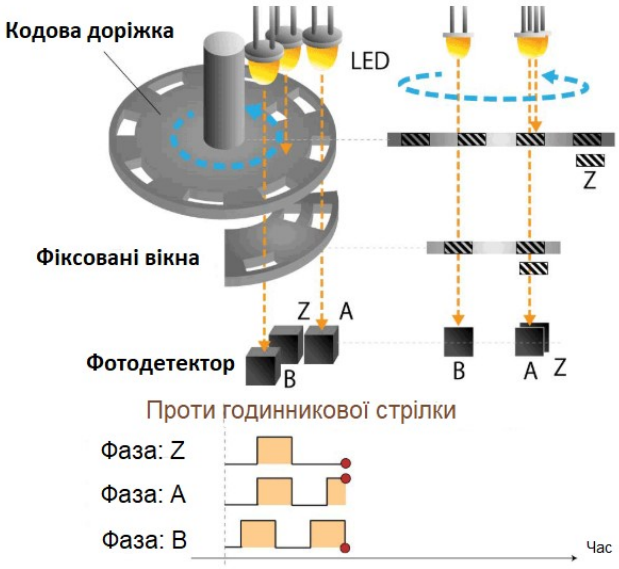


Рисунок 2.4 - Осцилограми фази A, B і Z при псевдоабсолютному методі

І відносні, і абсолютні кути мають переваги та недоліки.

Інкрементний метод, який представляє відносний кут, має лише один ряд вікон (два ряди у випадку псевдоабсолютного), тому кодове колесо можна виготовити з низькою ціною. Однак у випадку абсолютного методу, який представляє абсолютний кут, вікна розташовані в кілька рядів, тому, якщо потрібно збільшити роздільну здатність зміни кута, вартість виготовлення кодового колеса буде більшою.

Крім того, якщо двигун зупинено та перезапущено після вимкнення живлення, абсолютний метод може визначити положення під час перезапуску. Однак у випадку інкрементного методу та псевдоабсолютного методу положення на момент перезапуску не може бути виявлено, оскільки накопичений кут було видалено.

Абсолютний метод має переваги та недоліки через систему передачі сигналу. В абсолютному методі розрізняють спосіб виведення двійкового коду у вигляді цифрового сигналу та спосіб перетворення двійкового коду в аналогову напругу та його виведення. Крім того, для цифрових сигналів є паралельний вихід, який виводить двійковий код, отриманий з кількох розрізів через кілька сигнальних ліній, як він є, і є послідовний вихід, який виводить одну сигнальну лінію, одночасно перемикаючи кілька сигнальних ліній паралельного виводу один по одному послідовно з часом[3-6].



Рисунок 2.5 - Зв’язок між інформацією про кут, двійковим кодом цифрового вихідного сигналу та аналоговою вихідною напругою

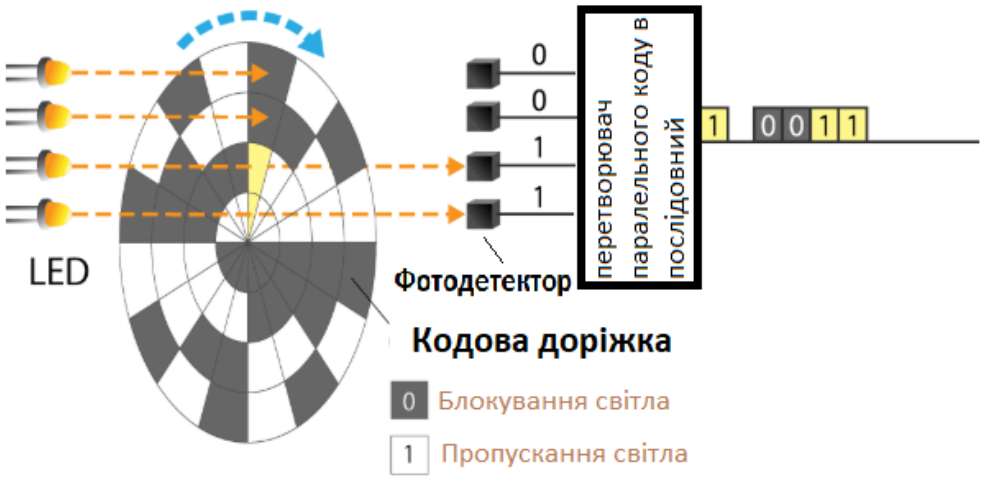


Рисунок 2.6 - Паралельний вихідний сигнал і послідовний перетворений вихідний сигнал

2.2 Узагальнена модель оптоелектронних перетворювачів

Основними блоками загальної структурної схеми оптоелектронного перетворювача (ОЕПП) є (рис. 2.7): випромінювач (В), кодуюча структура (КС), аналізуюча структура (АС), фотоприймальний модуль (ФПМ), система первинної обробки інформації (СПОІ) і система вторинної обробки інформації (СВОІ), які знаходяться у фізичному середовищі і мають енергетичне забезпечення. ОЕПП передає отриману інформацію в зовнішні пристрої індикації або перетворення. Оскільки носієм вимірювальної інформації є електромагнітне випромінювання оптичного діапазону, яке поширюється в повітряному тракті, в структуру фізичного середовища необхідно включати повітряний тракт (ПТ), а також експлуатаційний вплив (ЕВ) на елементи схеми, зумовлені змінами температури, вібрації і т.д. При розгляді перетворень сигналів узагальненій схемі ОЕПП необхідно враховувати перешкоди, які надають не тільки електричні і механічні, а й світлові впливи на елементи [9].

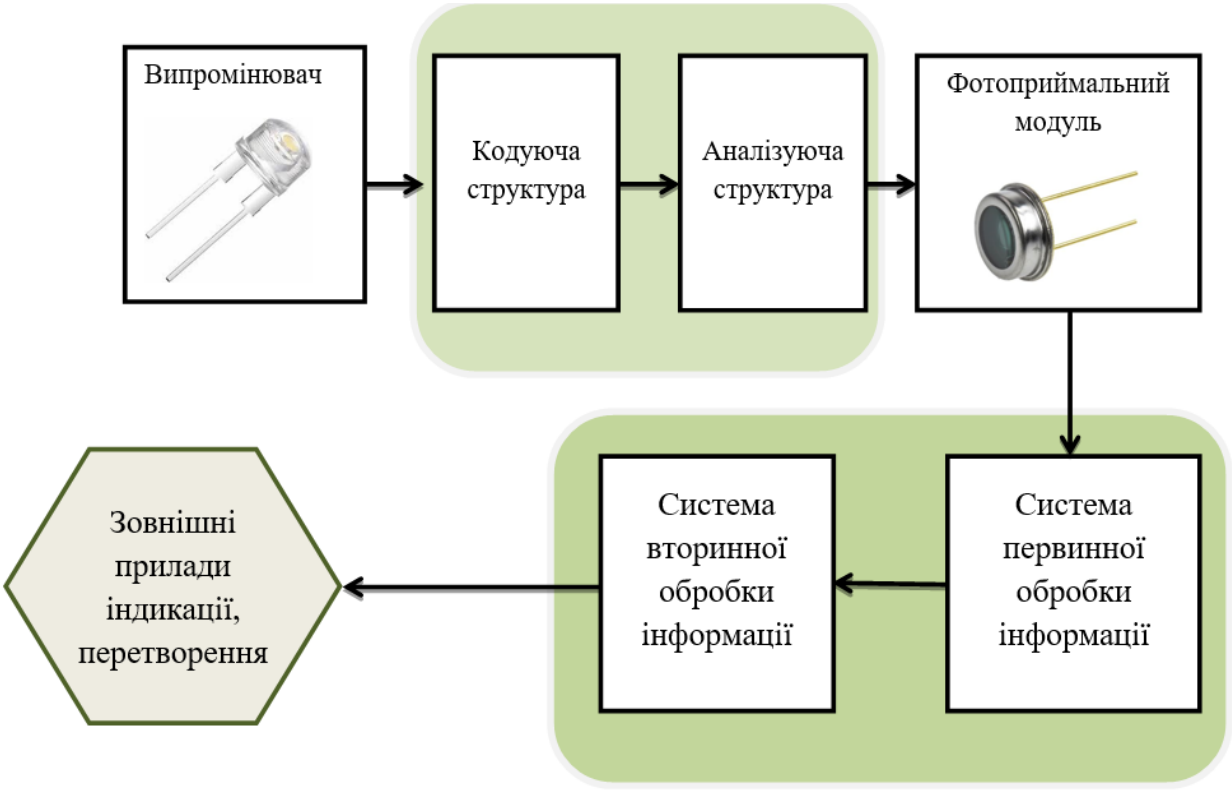


Рисунок 2.7 - Узагальнену структурну схему оптоелектронного перетворювача

Випромінювач може включати кілька джерел оптичного випромінювання і передавальну оптичну систему, формуючи необхідне поле оптичного випромінювання. Кодуюча структура є просторовою періодичною структурою, що зберігає одиницю вимірюваної величини, і може бути виконана у вигляді лінійної або кругової шкали, растра, дифракційної решітки або голограми.

Аналізуюча структура АС, як правило, має ту ж структуру, що і КС, і призначена для визначення дробової частини одиниці. Фотоприймальний модуль перетворює оптичні сигнали, утворені в результаті проходження випромінювання через КС і АС, в електричні і може містити кілька приймачів оптичного випромінювання. Система первинної обробки інформації, як правило, виконує попередню обробку вимірювального електричного сигналу та включає попередній підсилювач і електронний фільтр. Система вторинної обробки інформації остаточно перетворює отриману інформацію про

переміщення в код або аналоговий сигнал для сприйняття оператором або використання в вимірювальних системах.

2.3 Методи кодування оптоелектронних перетворювачів кутових переміщень

Для однозначного визначення положення диска кодова доріжка має бути побудована так, щоб довільна послідовність символів, що проєктується, зустрічалася би лише раз для всієї доріжки. Існує декілька варіантів для створення кодового диска сенсора. На сьогодні методи кодування для мініатюрних абсолютних оптоелектронних енкодерів в основному включають код Грея, матричний код, код Грея з одним кільцем, код М - послідовності та кодування зображення.

Матричний метод кодування шляхом оптимізації розташування та зчитування кодових доріжок. У цьому методі кожне положення валу енкодера відображається як унікальне поєднання станів декількох доріжок. Основна ідея матричного методу в тому, що кодова доріжка диска енкодера поділяється на кілька зон (кільцевих сегментів). Кожна зона кодується певною комбінацією "0" і "1". Усі кодові доріжки розглядаються як елементи матриці, де рядки відповідають доріжкам, а стовпці — певним положенням валу. Комбінація бітів у кожному стовпці (положенні валу) є унікальною.

Код Грея, перевага якого полягає в зміні тільки одного розряду при переході в послідовному рахунку від одного числа до іншого (рис. 2.8). має істотні переваги: надання інформації відразу ж після запуску, без процедури повернення в початкове положення. Алгоритм побудови коду Грея може бути формально представлений як результат складання по модулю двох вихідних комбінацій двійкового коду з такою ж комбінацією, але зміщеною на один розряд вправо.

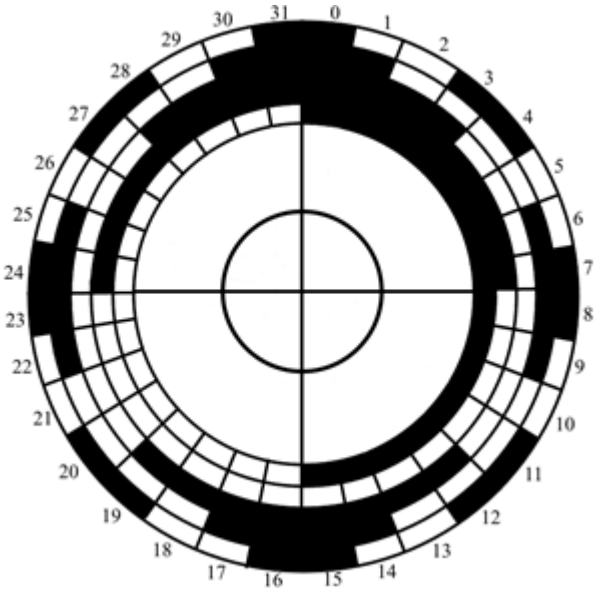


Рисунок 2.8 - Приклад генерації п’ятирозрядного коду Грея

М - послідовності отримують на основі регістру зсуву зі зворотним зв'язком [1]. Регістр зсуву завантажується довільною комбінацією (за винятком всіх нулів), де кожний розряд регістру помножується на відповідний коефіцієнт g_i поліному, добутки додаються по модулю p, а результат подається на вхід регістру зсуву (рис. 2.9). На виході регістру генерується М - послідовність довжиною (p^k) - 1. Довжину послідовності можна розширити до p^ k, якщо вставити додатковий нуль в послідовність нулів довжиною k-1 [1].

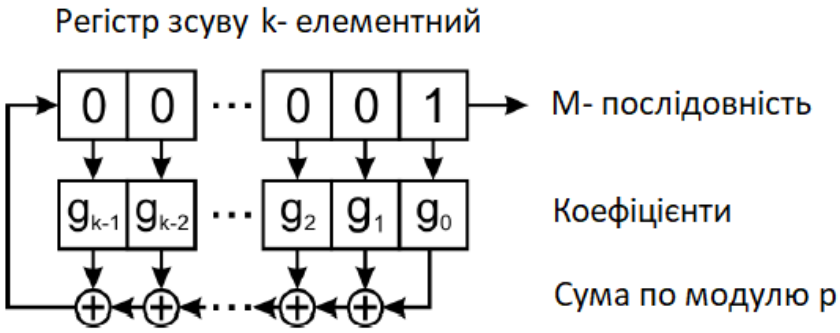


Рисунок 2.9 - Генерація М - послідовності

Оскільки код М - послідовності не має одноваріантності, існують багатобітові зміни між сусідніми кодами, які використовуються. Щоб уникнути грубих помилок, спричинених помилками коду, зовнішня кільцева

решітка кодового диска М - послідовності є доріжкою синхронного коду, а внутрішнє кільце є кодом М - послідовності. Коли енкодер розроблено з кодом М - послідовності, кілька фоточутливих зондів потрібно розташувати близько. Щоб реалізувати мініатюризацію кодера, для зчитування сигналу використовується пристрій із масивним зарядовим зв'язком.

Введення додаткового датчика збільшує складність джерела світла та виділення сигналу, роздільна здатність і точність вимірювання більше залежать від якості подальших алгоритмів обробки, а складність алгоритмів визначає швидкість відгуку вимірювального пристрою, що зрештою обмежує максимальну швидкість вимірюваного вала [1-5]

Аналізуючи та узагальнюючи наведені вище методи кодування, (табл. 2.1) можна визначити, що метод кодування матричного коду Грея оптоелектронного кодера має переваги простої оптико-механічної структури, сингулярності, простого декодування та високої швидкості відгуку порівняно з іншими способами кодування. Однак існує проблема недостатньої точності у випадку невеликої кількості доріжок коду.

Таблиця 2.1 - Порівняння різних методів кодування

Метод кодування	Кільк. доріжок коду	Дозвіл	Оптичні характеристики		Моно-тропний	Складність алгоритму	Швидкість реакції
			Парал. світло	Фокусування та зображення			
Сірий код	n	$360/2^n$	Ні	Ні	Так	Низька	Швидко
Матричний код	2	$360/2^n$	Ні	Ні	Так	Середня	Середньо
Однокіль-цевий сірий код	1	Наближ. $360/2^n$	Так	Так	Так	Висока	Повільно
Код m-послідовності	2	$360/2^n$	Так	Так	Ні	Висока	Повільно
Кодування зображення	0	Субпікс., кутовий, 2го рівня	Так	Так	Ні	Висока	Повільно

Щоб отримати 19-бітне матричне кодування, досягаючи мініатюризації кодера з розміром Ф30 мм × 20 мм, роздільна здатність кодера досягає 19 біт, а точність досягає 2,57”. Цей кодер долає обмеження традиційних кодів Грея та вирішує протиріччя між мініатюрністю та високою точністю вимірювань кодерів, відповідаючи вимогам аерокосмічної, робототехнічної та обробної сфери для кодерів[5].

2.4 Реалізація оптоелектронного блоку кодування

Вид оптоелектронного кодера, показаний на рис. 2.10. Він складається з модуля джерела світла, кодового диска, аналізуючого диска (виконує функцію індексації), оптоелектронного модуля виявлення, системи валів, основи та захисної кришки. Світловий вихід світлодіодного модуля джерела світла послідовно проходить через щілину індексного диска і прозору область кодуючого диска і проєктується на оптико-електронний приймач.

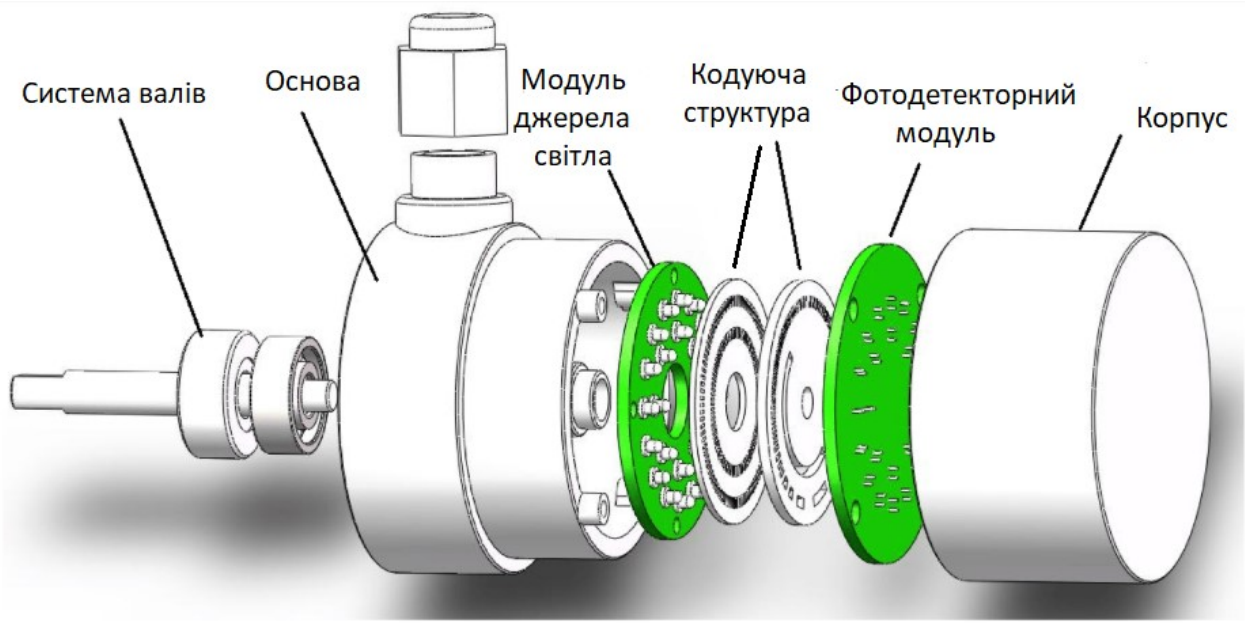


Рисунок 2.10 - Зовнішній вигляд приладу [5]

Сигнал слабкого струму, виведений фотоелектричним приймачем, посилюється підсилювачем сигналу та схемою формування для виведення прямокутного сигналу, а потім декодується схемою декодування для виведення інформації про кут і положення.

Коли енкодер працює, кодовий диск обертається разом із валом, а світлодіодний модуль джерела світла, фотоелектричний модуль та аналізуючий диск нерухомі. Через очевидну різницю в інтенсивності оптичного сигналу, отриманого фотоелектричним модулем детектування в прозорій і непрозорій областях, використовуються двійкові коди «1» і «0», щоб представити прозору область і непрозору область площі відповідно. Обробляючи двійковий код «1» і «0», схема декодування перетворює зібраний оптичний сигнал в електричний сигнал, який зчитується для передачі та обробки.

Традиційний матричний кодер може зчитувати 8-розрядні двійкові коди, маючи три кола матричного коду, тоді як 19-бітовий матричний кодер потребує лише наявність двох кіл коду. Як показано на рисунках 2.11 та 2.12, серед них 2n — це кількість рядків у кожній області коду сектора, а a1~a8 і b1~b16 використовуються для позначення положень установки кільцевих фотодетекторів a і b відповідно. Конструкція кодового каналу внутрішнього кола така ж, як і традиційного кодового каналу Грея. Збільшивши кількість джерел світла та детекторів до восьми пар, можна зчитувати 4-бітну інформацію традиційного коду Грея. Кодова доріжка зовнішнього кола рівномірно розділена на шістнадцять областей коду вікнами, а шістнадцять оптичних зондів рівномірно розподілені по колу для зчитування п’ятнадцяти біт інформації традиційного коду Грея. Цей метод кодування зменшує кількість кіл кодового диска, одночасно збільшуючи кількість бітів кодування кодувальника до дев’ятнадцяти бітів.

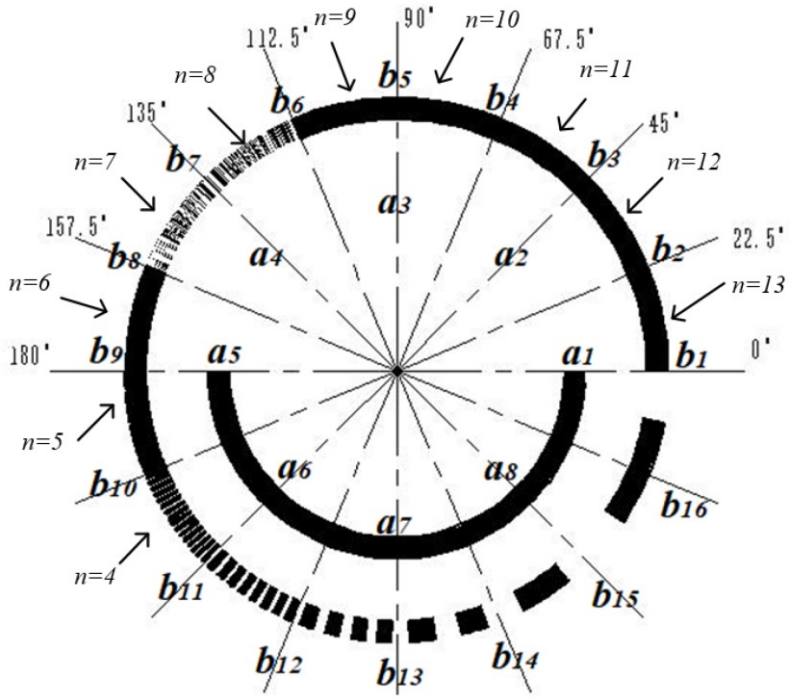


Рисунок 2.11 - Розподіл кодової доріжки матричного кодера

Кодовий трек	Кут	Кодове гравірування диска																														Роздільна здатність
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	
b	0°—22.5°																																	2^{13}
	22.5°—45°																																	2^{12}
	45°—67.5°																																	2^{11}
	67.5°—90°																																	2^{10}
	90°—112.5°																																	2^{9}
	112.5°—135°																																	2^{8}
	135°—157.5°																																	2^{7}
	157.5°—180°																																	2^{6}
	180°—202.5°																																	2^{5}
	202.5°—225°																																	2^{4}
	225°—247.5°																																	2^{3}
	247.5°—270°																																	2^{2}
	270°—292.5°																																	2^{1}
	292.5°—315°																																	2^{0}
	315°—360°																																	2^{0}
a	0°—360°																																	2^{0}

Рисунок 2.12 – Кодування диску

Внутрішнє коло, а саме коло a, забезпечено кодовою доріжкою, яка є такою ж, як і традиційна кодова доріжка, із зоною проходження світла в межах половини циклу 180°~360°.

Зовнішнє коло, а саме коло b, можна розділити на 16 областей коду, забезпечуючи 14-бітну (з 5го по 19й біти) традиційну доріжку коду, а центральний кут кожної області коду становить 22,5°[5].

Область 0°~22,5° є першою областю коду, що гравірує 19-й біт традиційної кодової доріжки, гравірує 2^{13} світлопроникних смужок у діапазоні 22,5°, що називається A_{19}. 22.5°~45° другий сектор кодового диску, забезпечує 18-й біт традиційного кодового треку, що гравірує 2^{12} світлопроникних смужок в діапазоні 22.5° і називається A_{18}. І так далі до сектору 292.5°~315° який є 14-м кодовим сектором, що забезпечує 6й біт традиційного кодового треку, гравірує 1 світлопроникну смужку в діапазоні 22.5° кола, має назву A_6. І останній 315°~360° 15-й та 16-й кодовий сектор, забезпечує 5-й біт традиційного кодового треку, гравірує 1 світлопроникну смужку в діапазоні 22.5° кола, та має назву A_5.

З такого кодування треку можна зробити наступні висновки:

1. Коло подібно до традиційного методу гравіювання кодової доріжки 4-бітним кодом Грея.

2. Спосіб гравіювання кожної кодової доріжки в кожному кодовому секторі кола b узгоджується з традиційними кодовими доріжками. Таким чином, коли фізичний кодовий диск повертається в будь-яке положення, 16 детекторів зчитують кожну з 16 кодових областей, забезпечуючи відсутність мертвого кута запису інформації кодового диска в межах 360°.

На рис.2.11 видно, що вісім фотодетекторів розміщені на доріжці коду кільця для перетворення оптичного сигналу в сигнали високого та низького рівнів. Спосіб розміщення детектора a-кільця такий: вісім детекторів рівномірно розподіляються по колу, детектор a1 розміщується під кутом 0°, а a1 - a8 розміщуються проти годинникової стрілки послідовно.

Зміна показань детектора a-кільця протягом одного циклу показано на рис.2.13; серед них: лінія означає високий рівень, відсутність лінії означає низький рівень. Сигнали, зчитані детекторами a1 і a3, після посилення і формування, точно такі ж, як A1 і A2, кодовані традиційними матрицями; ці два імпульсні сигнали служать першим і другим бітом традиційного коду Грея. Таким чином, співвідношення між вісьмома сигналами a_i у першому колі та традиційним кодом Грея A_i таке:

A1 = $a1$

A2 = $a3$

A3 = $a2 \oplus a4$

A4 = $a5 \oplus a6 + a7 \oplus a8$

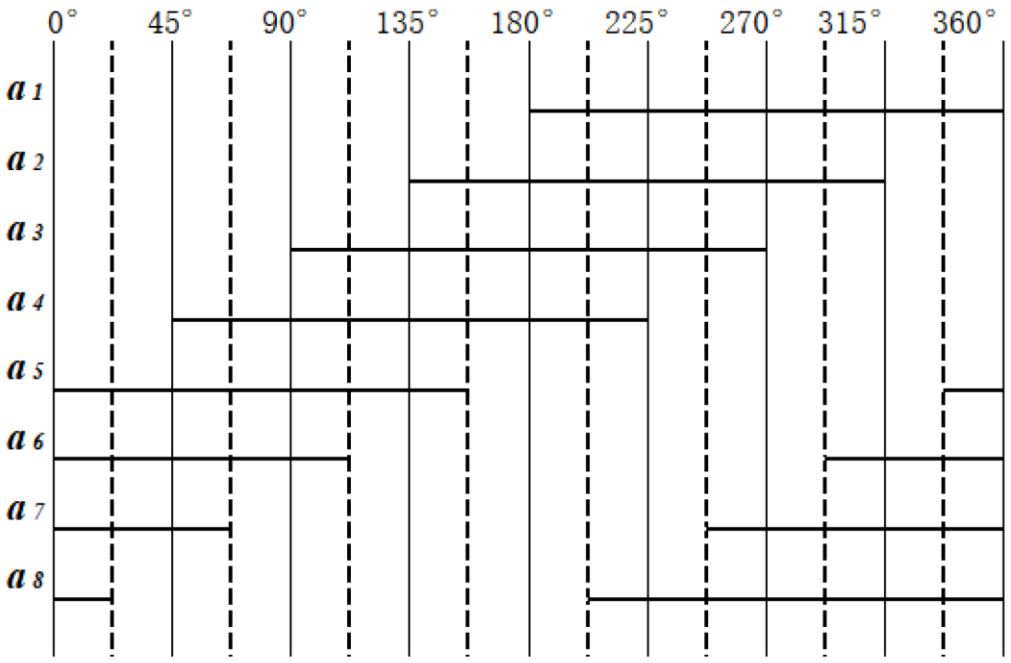


Рисунок 2.13 - Зміни детектора *a*-кола за один цикл зчитування

На кодовій доріжці b-кільця можна використати схему шістнадцятиквадрантного кодування матриці, де шістнадцять детекторів b1–b16 рівномірно розташовані проти годинникової стрілки на 360° окружності, з детектором b1, розміщеним під кутом 0°, а детектором b16, розміщеним під кутом 337,5°[5].

Коли кодер повертається в будь-яке положення, кожен детектор читатиме світлі та темні смуги в різних секторах. Коли кодер обертається за годинниковою стрілкою, зв’язок між вихідним імпульсним сигналом кожного детектора та традиційним кодом Грея показано в таблиці 2.2. Взявши за приклад традиційний код Грея A_{12}, детектор b1 зчитує цю бітову інформацію у 8-й кодовій області, і детектор b2 зчитує цю бітову інформацію в 7-й кодовій області.

Таблиця 2.2 - Зв'язок між сигналом b-кільця та традиційним кодом Грея

Сигнал	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
b_1	A_{19}	A_{18}	A_{17}	A_{16}	A_{15}	A_{14}	A_{13}	A_{12}	A_{11}	A_{10}	A_9	A_8	A_7	A_6	A_5	A_5
b_2	A_{18}	A_{17}	A_{16}	A_{15}	A_{14}	A_{13}	A_{12}	A_{11}	A_{10}	A_9	A_8	A_7	A_6	A_5	A_5	A_{19}
b_3	A_{17}	A_{16}	A_{15}	A_{14}	A_{13}	A_{12}	A_{11}	A_{10}	A_9	A_8	A_7	A_6	A_5	A_5	A_{19}	A_{18}
b_4	A_{16}	A_{15}	A_{14}	A_{13}	A_{12}	A_{11}	A_{10}	A_9	A_8	A_7	A_6	A_5	A_5	A_{19}	A_{18}	A_{17}
b_5	A_{15}	A_{14}	A_{13}	A_{12}	A_{11}	A_{10}	A_9	A_8	A_7	A_6	A_5	A_5	A_{19}	A_{18}	A_{17}	A_{16}
b_6	A_{14}	A_{13}	A_{12}	A_{11}	A_{10}	A_9	A_8	A_7	A_6	A_5	A_5	A_{19}	A_{18}	A_{17}	A_{16}	A_{15}
b_7	A_{13}	A_{12}	A_{11}	A_{10}	A_9	A_8	A_7	A_6	A_5	A_5	A_{19}	A_{18}	A_{17}	A_{16}	A_{15}	A_{14}
b_8	A_{12}	A_{11}	A_{10}	A_9	A_8	A_7	A_6	A_5	A_5	A_{19}	A_{18}	A_{17}	A_{16}	A_{15}	A_{14}	A_{13}
b_9	A_{11}	A_{10}	A_9	A_8	A_7	A_6	A_5	A_5	A_{19}	A_{18}	A_{17}	A_{16}	A_{15}	A_{14}	A_{13}	A_{12}
b_{10}	A_{10}	A_9	A_8	A_7	A_6	A_5	A_5	A_{19}	A_{18}	A_{17}	A_{16}	A_{15}	A_{14}	A_{13}	A_{12}	A_{11}
b_{11}	A_9	A_8	A_7	A_6	A_5	A_5	A_{19}	A_{18}	A_{17}	A_{16}	A_{15}	A_{14}	A_{13}	A_{12}	A_{11}	A_{10}
b_{12}	A_8	A_7	A_6	A_5	A_5	A_{19}	A_{18}	A_{17}	A_{16}	A_{15}	A_{14}	A_{13}	A_{12}	A_{11}	A_{10}	A_9
b_{13}	A_7	A_6	A_5	A_5	A_{19}	A_{18}	A_{17}	A_{16}	A_{15}	A_{14}	A_{13}	A_{12}	A_{11}	A_{10}	A_9	A_8
b_{14}	A_6	A_5	A_5	A_{19}	A_{18}	A_{17}	A_{16}	A_{15}	A_{14}	A_{13}	A_{12}	A_{11}	A_{10}	A_9	A_8	A_7
b_{15}	A_5	A_5	A_{19}	A_{18}	A_{17}	A_{16}	A_{15}	A_{14}	A_{13}	A_{12}	A_{11}	A_{10}	A_9	A_8	A_7	A_6
b_{16}	A_5	A_{19}	A_{18}	A_{17}	A_{16}	A_{15}	A_{14}	A_{13}	A_{12}	A_{11}	A_{10}	A_9	A_8	A_7	A_6	A_5

Кодова доріжка b-кільця розділена на 16 кодових областей, і кожна кодова область 4-бітовому коду Грея a-кільця. Відповідне співвідношення показано в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 - Відповідність між кодовою доріжкою та логічним кодом

Код	1	2	3	4	5	6
Gray code	B0000	B0001	B0011	B0010	B0110	B0111
Logic code M_i	$\overline{A_1}A_2A_3A_4$	$\overline{A_1}A_2A_3A_4$	$\overline{A_1}\overline{A_2}A_3A_4$	$\overline{A_1}\overline{A_2}A_3\overline{A_4}$	$\overline{A_1}A_2A_3\overline{A_4}$	$\overline{A_1}A_2A_3A_4$
Code area *i*	7	8	9	10	11	12
Gray code	B0101	B0100	B1100	B1101	B1111	B1110
Logic code M_i	$\overline{A_1}A_2\overline{A_3}A_4$	$\overline{A_1}A_2\overline{A_3}\overline{A_4}$	$A_1A_2\overline{A_3}\overline{A_4}$	$A_1A_2\overline{A_3}A_4$	$A_1A_2A_3A_4$	$A_1A_2A_3\overline{A_4}$
Code area *i*	13	14	15	16		
Gray code	B1010	B1011	B1001	B1000		
Logic code M_i	$A_1\overline{A_2}A_3\overline{A_4}$	$A_1\overline{A_2}A_3A_4$	$A_1\overline{A_2}\overline{A_3}A_4$	$A_1\overline{A_2}\overline{A_3}\overline{A_4}$		

Співвідношення перетворення між сигналом b_i, зчитаним детектором b-кільця, і традиційними кодами Грея A_5~A_{19} представлено матричним рівнянням, де M_i представляє логічні коди області коду *i* (табл. 2.3):

Базуючись на методі кодування та декодування матричного кодера, можливо змоделювати процесс відтворення інформації за допомогою програмного забезпечення MATLAB. Принцип моделювання показаний на рис.2.14. Сигнали високого та низького рівнів, зчитані всіма фотодетекторами a1~a8 в колі *a*, призначаються одновимірним масивам a1~a8. Так саме призначаються сигнали високого та низького рівнів, що виводяться 16 фотодетекторами в колі *b*, до одновимірних масивів b1~b16. За формулами обчислюються A1~A4 і A5~A19 відповідно. Далі відбувається перетворення коду Грея в двійковий та десятковий коди та обчислюється кількість помилок. Результати моделювання доводять, що методи кодування та декодування, є ефективними[5].

Перетворення сигналу може бути формально представлено як результат підсилення сигналу (ПС) з кожного фотодетектору (ФД) та перетворення його у цифровровий формат компоратором (КП) (рис 2.15).

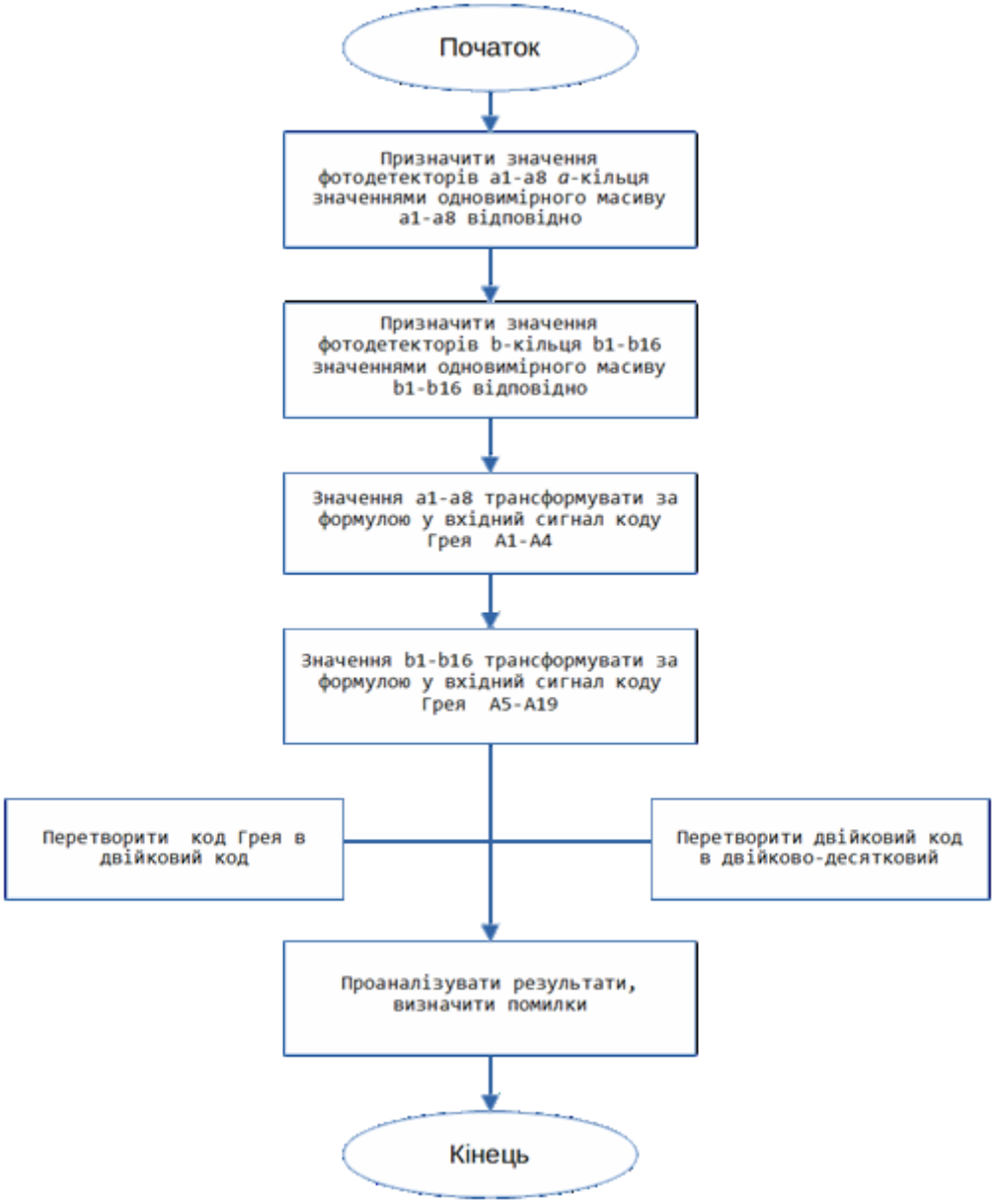


Рисунок 2.14 – Алгоритм декодування матричного кодера

2.5 Перетворення коду Грея в двійковий код

Абсолютний перетворювач відноситься до типу, який має унікальний код для кожної позиції. Лічильник імпульсів в такому перетворювачу не

потрібен, тому що кут повороту завжди відомий. Абсолютний перетворювач формує сигнал, як під час обертання, так і в режимі спокою.

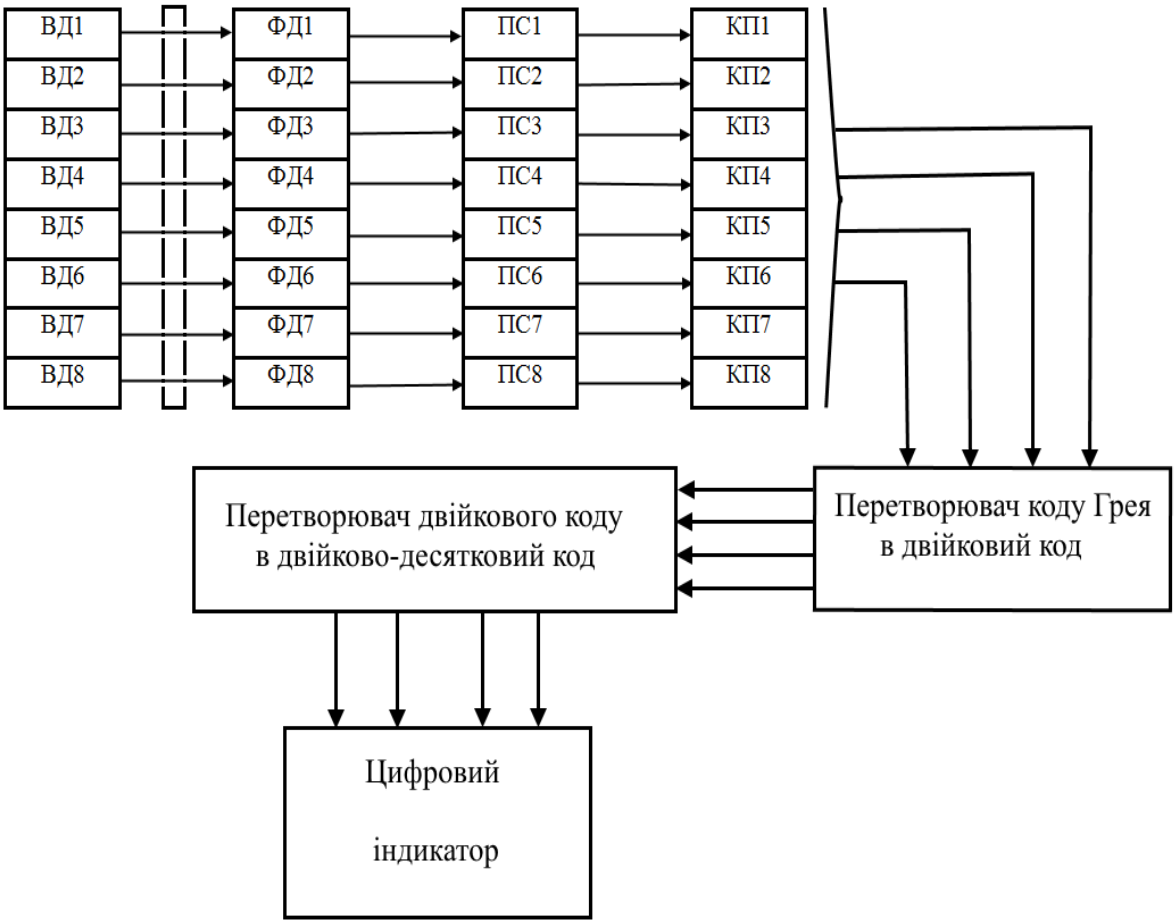


Рисунок 2.15 - Функціональна схема перетворення лінійних та кутових переміщень

Абсолютний перетворювач відноситься до типу, який має унікальний код для кожної позиції. Лічильник імпульсів в такому перетворювачу не потрібен, тому що кут повороту завжди відомий. Абсолютний перетворювач формує сигнал, як під час обертання, так і в режимі спокою.

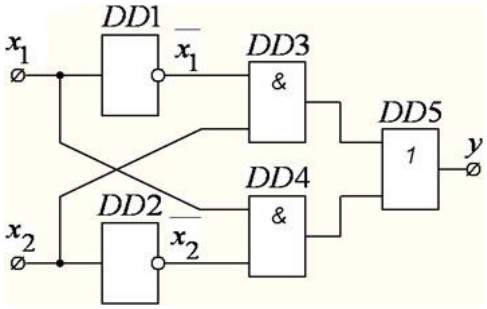
Для перетворення коду Грея необхідно значення кожного наступного розряда двійкового числа знаходити шлях ом складання по модулю 2 того ж розряду в коді Грея з попереднім[12-15].

$$a_i = \sum_{i=n}^{i} b_i (mod2) \qquad (2.1)$$

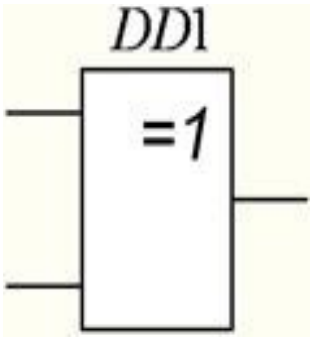
Для визначення і-го розряду в коді Грея необхідно скласти по модулю 2 значення перетворюваного розряду двійкового коду зі значенням попереднього розряду того ж коду.

$$b_i = a_{i+1} + a_i \qquad (2.2)$$

Ці два вирази визначають алгоритм перетворення коду Грея в двійковий код. Операцію складання по модулю 2 можливо виконати за допомогою операції «виключне або». Вихідна величина даного елемента приймає значення логічної одиниці тільки тоді коли вхідні величини не дорівнюють один одному. Умовне позначення та таблиця істинності елемента «виключне або» вказане на рисунку 2.16.



x_1	x_2	y
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0



а) б) в)

а – структурна схема; б – таблиця істинності; в – схематичне зображення

Рисунок 2.16 – Елемент «виключний або» та його таблиця істинності

Логічна функція яка відповідає даній таблиці, має наступний вигляд:

$$x_1 * x_2 = 1 \qquad (2.3)$$

$$x_2 * x_1 = 1 \qquad (2.4)$$

Вихідна змінна приймає значення логічної одиниці в першому а в другому випадках, тому

$$x_1 * x_2 + x_2 * x_1 = 1 \qquad (2.5)$$

Вираз 2.5 є логічною функцією яку реалізує «виключне або»

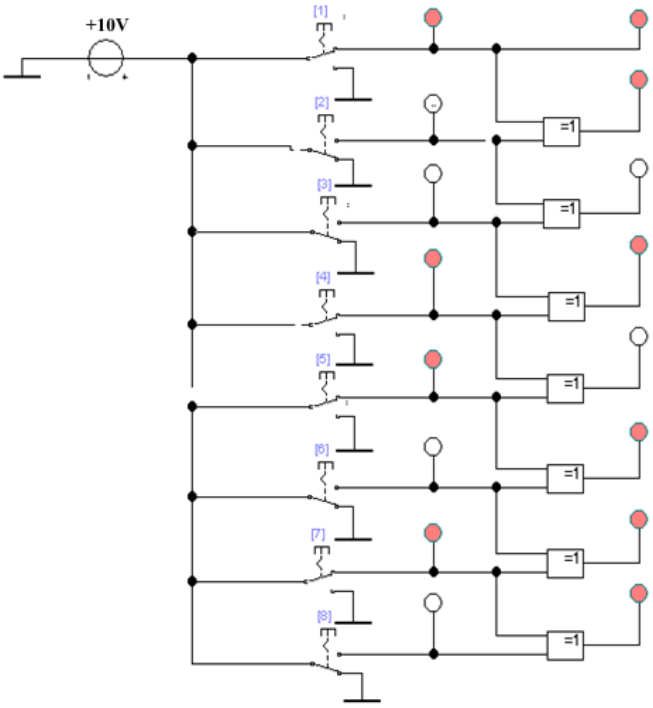


Рисунок 2.17 – Перетворення восьми розрядного коду Грея в двійковий код за допомогою елементів «виключне або»

Для перетворення коду Грея в двійковий скористаємося мікросхемою КМОП яка виконує функцію «виключне або», для цього використаємо мікросхему 4070 у корпусі SOP14. Мікросхема 4070 має чотири базових елементи «виключне або». На рисунку 2.18 зображена принципова схема мікросхеми. Призначення контактів мікросхеми:

1, 2, 5, 6, 8, 9, 12, 13 – вхід;

3, 4, 10, 11 – вихід;

14 – напруга живлення мікросхеми;

7 – загальний.

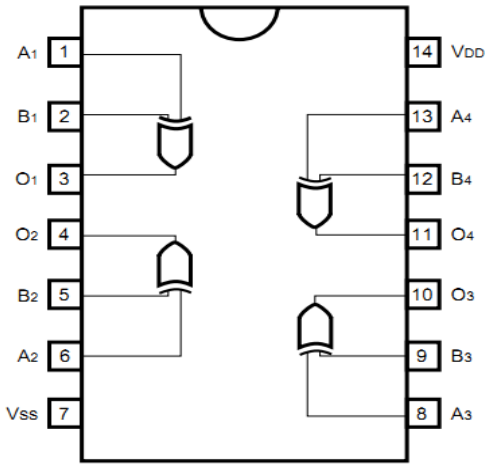


Рисунок 2.18 – принципова схема мікросхеми 4070 [13]

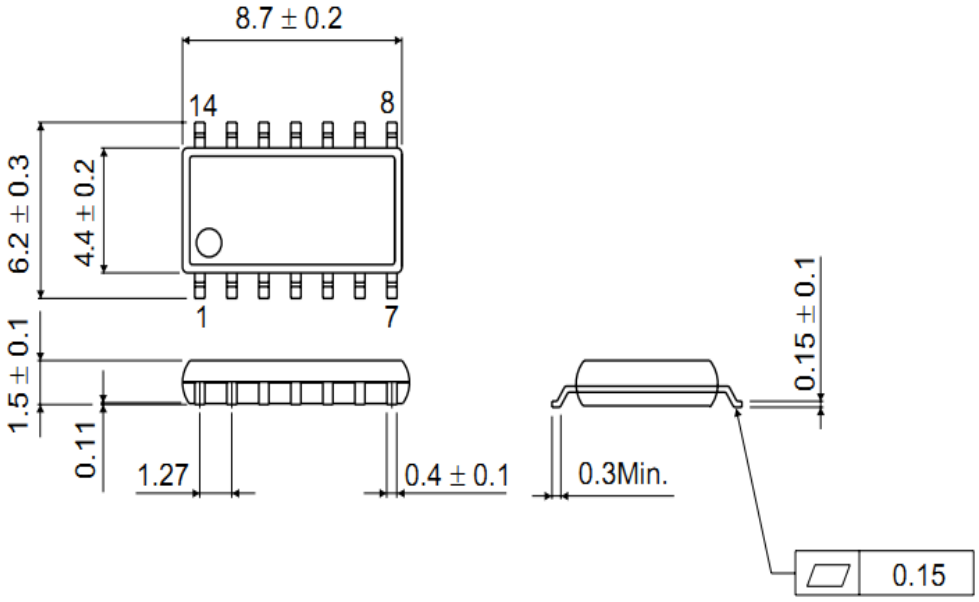


Рисунок 2.19 – Габаритні розміри мікросхеми 4070 в корпусі SOP14

Технічні характеристики мікросхеми приведені в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Технічні характеристики мікросхеми 4070

Напруга живлення, В	+3…+20
Вхідна напруга, В	+2,5…+20,5
Потужність розсіювання, мВт	500
Вихідна напруга «0», В	0±0,05
Вихідна напруга «1», В	+5…+15 ± 0,05

Вхідний струм, мА	15
Робоча температура, C^0	-55… +125

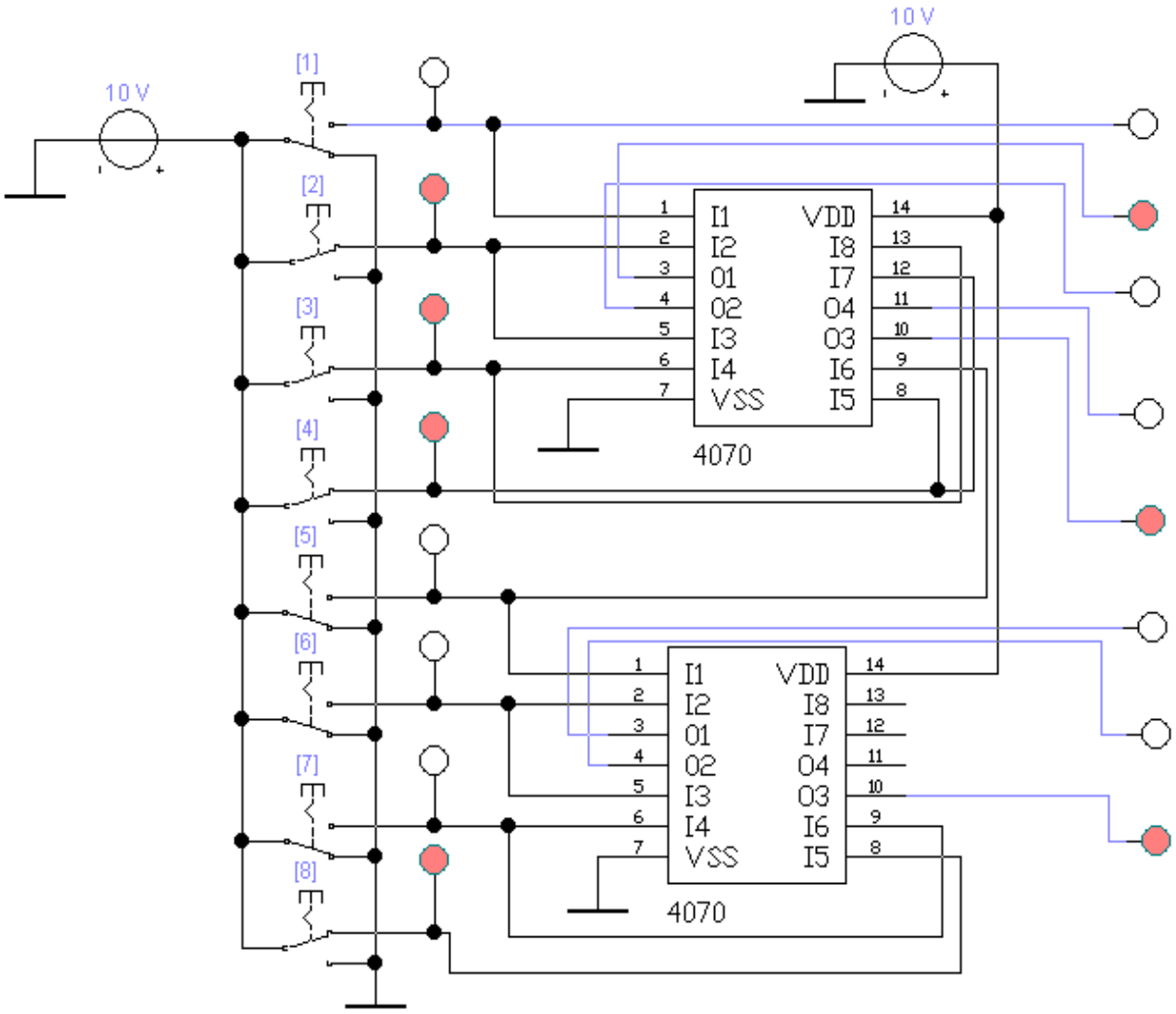


Рисунок 2.20 – Перетворення коду восьмирозрядного коду Грея в двійковий на основі мікросхеми 4070

2.5.2 Перетворення двійкового коду в двійково - десятковий

Найбільше застосування знайшли два типу перетворювачів, на базі перерахункових схем і на базі інтегральних мікросхем. На рисунку 2.21 приведена функціональна електрична схема восьмирозрядного

перетворювача двійкового коду в двійково-десятковий.По сигналу з пристрою керування (ПК)перетворюваний восьми розрядний двійковий код записується в двійковий вираховуючий лічильник DD1, і цим же сигналом, затриманим на час закінчення перехідних процесів у вхідних ланцюгах, встановлюється в перший тригер DD2. Одиничний сигнал з прямого виходу тригера DD2 відкриває схему «І» DD4, і імпульс від генератора DD6 поступає на сумуючий вхід двійково-десяткового лічильника DD7 і на вираховуючий вхід двійкового лічильника DD1. В момент часу коли в двійковому лічильнику DD1 буде нульова комбінація, сигналом з виходу ≤ 0 лічильника DD1 тригер DD2 встановлюється в вихідне положення. Закривається схема «І» DD4, і припиняється постачання імпульсів в двійково-десятковий лічильник DD7. Таким чином в лічильнику DD7 буде зафіксований в двійково-десятковому коді еквівалент двійкового коду, який поступив на вхід лічильника DD1.

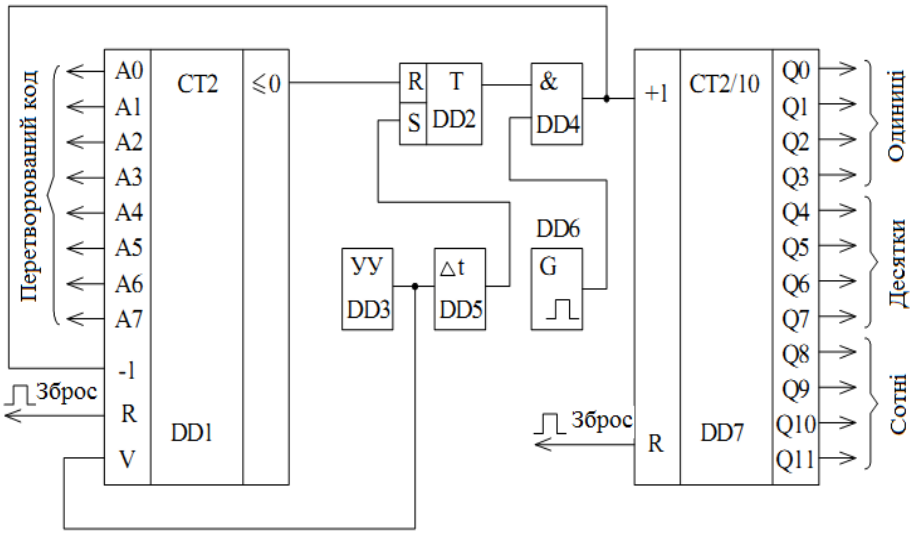


Рисунок 2.21 – Функціональна електрична схема перетворення двійкового коду в двійково-десятковий

Дана схема являється однією із найпоширеніших схем, дозволяючи порівняно легко проводити перетворення будь-яких n-розрядних двійкових послідовностей. В якості двійкового лічильника DD1 можна використовувати мікросхеми ІЕ6, а в якості двійково-десяткового лічильника можна використовувати мікросхеми ІЕ7[12].

Перетворювач двійкового коду в двійково-десятковий можна побудувати на мікросхемах 74185 (рисунок 2.22). Основою таких перетворювачів являється запам`ятовуюча матриця ємністю 256 біт. Комірки матриці з`єднані у відповідності з програмою перетворення. Матрицею керує дешифратор з п`ятьма входами та тридцяти двома виходами.

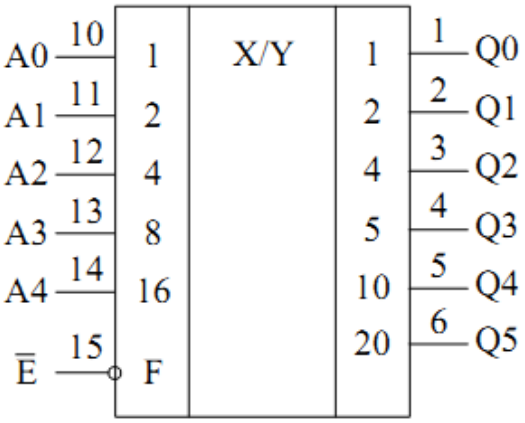


Рисунок 2.22 – Умовне позначення та призначення контактів мікросхеми 74185

На входи A0 - A4: подається двійковий код. Вхід RE використовується як дозволяючий (за напругою низького рівня). Якщо на цьому вході присутня напруга високого рівня, перетворення не відбувається, а на виходах QO - Q5 з'являються напруги високого рівня.Виходи Q6 - Q7 завжди мають високі вихідні рівні (не комутуються). Молодші виходи QO - Q2 мають цифрове значення: QO - 1, Q1 - 2 і Q2 - 4. Виходи Q3 - Q5 – старші,їх значення: Q3 - 5, Q4 - 10 і Q5 - 20. Стан мікросхеми представлений в таблиці 2.6. Технічні характеристики мікросхеми 74185 приведені в таблиці 2.5.

Таблиця 2.5 – Технічні характеристики мікросхеми 74185

Номінальна напруга живлення, В	5
Вихідна напруга низького рівня, В	≤ 0,4
Вхідний струм низького рівня, мА	≤ 1
Вхідний струм високого рівня, мА	≤ 0,04
Вхідний пробивний струм, мА	≤ 1
Вихідний струм високого рівня, мА	0,1
Струм споживання, мА	≤ 104
Споживча статична потужність, мВт	≤ 546
Час затримки поширення при включенні по входу "вибірка адреси", нс	≤ 40
Час затримки поширення при виключенні по входу "вибірка адреси", нс	≤ 40
Час затримки поширення при включенні по входу "дозвіл вибірки", нс	≤ 35
Час затримки поширення при виключенні по входу "дозвіл вибірки", нс	≤ 35

Таблиця 2.6 – Стан логічних рівнів при перетворенні двійкового коду в двійково-десятковий в 74185

№	Вхід						Вихід					
Слова	A4	A3	A2	A1	A0	E	Q5	Q4	Q3	Q2	Q1	Q0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
2	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0
3	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	1
4	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0
5	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0
6	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	1
7	0	0	1	1	1	0	0	0	1	0	1	0
8	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1
9	0	1	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0
10	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0
11	0	1	0	1	1	0	0	1	0	0	0	1
12	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0

13	0	1	1	1	0	0	0	1	0	0	1	1
14	0	1	1	1	0	0	0	1	0	1	0	0
15	0	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	0
16	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1
17	1	0	0	0	1	0	0	1	1	0	1	0
18	1	0	0	1	0	0	0	1	1	0	1	1
19	1	0	0	1	1	0	0	1	1	1	0	0
20	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0
21	1	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	1
22	1	0	1	1	0	0	1	0	0	0	1	0
23	1	0	1	1	1	0	1	0	0	0	1	1
24	1	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0
25	1	1	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0
26	1	1	0	1	0	0	1	0	1	0	0	1
27	1	1	0	1	1	0	1	0	1	0	1	0
28	1	1	1	0	0	0	1	0	1	0	1	1
29	1	1	1	0	1	0	1	0	1	1	0	0
30	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0
31	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0	0	1
Будь-яке	x	x	x	x	x	1	1	1	1	1	1	1

Як правило, розрядності однієї мікросхеми в більшості випадків недостатньо, тому перетворювачі з`єднають каскадно. З`єднання мікросхем для перетворення двійкового сигналу в двійково-десятковий показано на рисунку 2.23 [15].

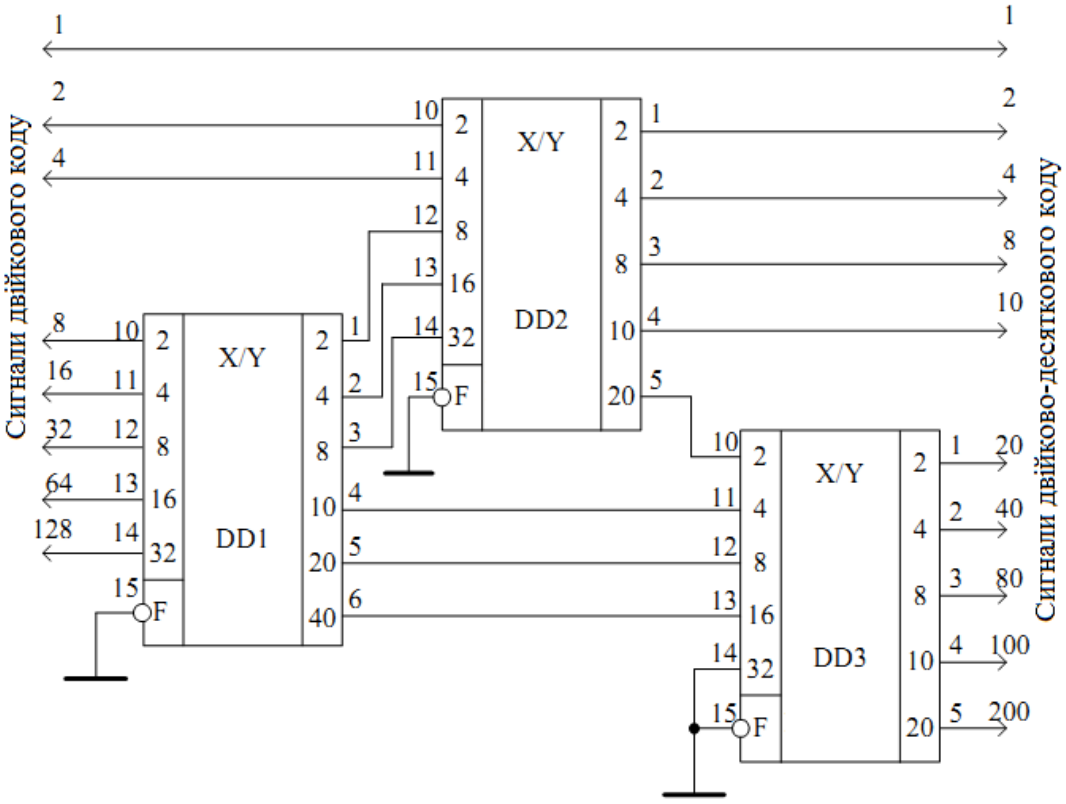


Рисунок 2.23 – Перетворення двійкових чисел 0 – 255 в двійково-десятковий код

2. 6 Розробка оптоелектронного модуля

Для перших оптичних перетворювачів в якості джерела світлового випромінювання використовувалися лампи розжарювання, завдяки простоті конструкції і малої вартості. Однак з часом підвищення вимог до роздільної здатності, кута вимірювання та габаритів призвели до більш широкого застосування випромінюючих діодів (НВД) і напівпровідникових лазерів, які володіють високим ККД, малими габаритами і зручністю підключення до джерела живлення.

Стабільна та велика потужність випромінювання напівпровідникових випромінюючих діодів в часі, при високому зовнішньому квантовому виході надають перевагу використанню НВД на основі епітаксіальнихр-n-структур,

які виконуються на основі арсеніду галію (GaAs) та арсеніду галію – алюмінію (AlGaAs).

Виходячи з переваг і недоліків різних джерел світла і фотоприймачів, було запропоновано використовувати діод інфрачервоного спектру випромінювання на основі арсеніду галію, так як він відповідає вимогам за технічними характеристиками (табл. 2.7) серії SE2460. Аналіз НВД здійснювався відповідно вимог до робочого спектрального діапазону оптичних перетворювачів, визначеного умовами функціонування.

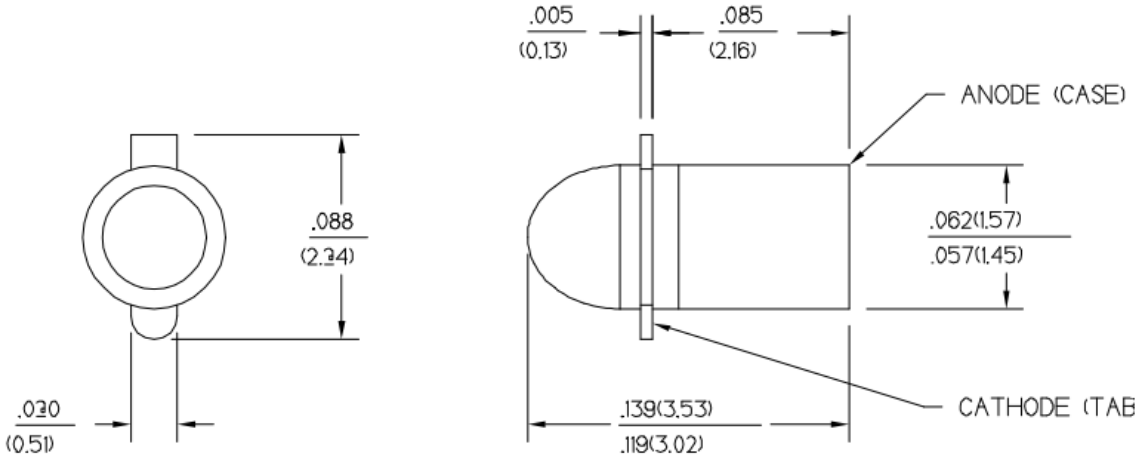


Рисунок 2.24 - Зовнішній вигляд та габаритні розміри напівпровідникового випромінюючого діоду SE2460

Таблиця 2.7 – Технічні характеристики випромінюючого діоду SE2460

Потужність випромінювання, мВт	1
Пряма напруга, В	1,6
Прямий струм, мА	50
Довжина хвилі, нм	935нм

Потужність, яку випромінюється кожним діодом: Рс = 1 мВт. Втрата сигналу при переході «лінза - світловод» і «світловод - лінза" становить 1 дБ, а при переході «лінза - маска - лінза" - 5 дБ (рисунок 2.25).

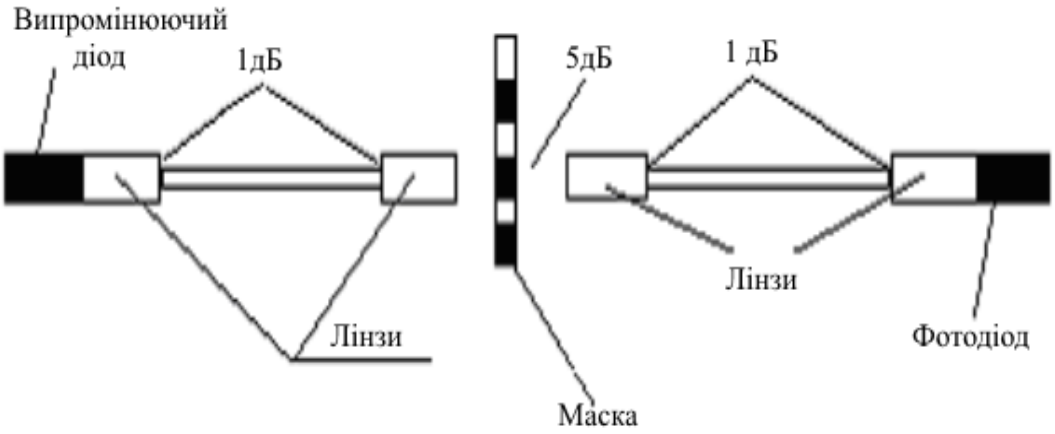


Рисунок 2.25 – Графічне зображення втрат сигналу

В даних розрахунках P - втрата сигналу в 1 дБ, P1- потужність світлового потоку, що падає на маску, x - потужність світлового потоку, що пройшов через маску, P_out - потужність світлового потоку надійшов на фотодіод.If – струм в фотодіоді (вимірюється в мкА). Величини струму, що лежать в діапазоні від If / 2 до If, відповідають логічній одиниці, а величини від 0 до If / 2 відповідають логічному нулю (рисунок 2.26).

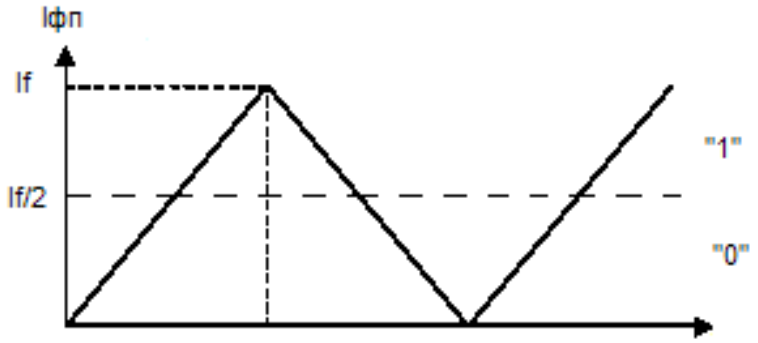


Рисунок 2.26 –Вихідний сигнал з фотодіода

Блок прийому оптичного випромінювання (БПОВ) перетворює оптичні сигнали, утворені в результаті проходження кодуючої структури, в електричні. Вимоги до БПОВ включають в себе вимоги до спектральної чутливості, швидкодії і відношенню сигнал / шум, визначеного порогом чутливості. Більшість напівпровідникових ПОВ в сучасних оптичних перетворювачах, являють собою діодні або фототранзисторні структури.

Фотодіоди мають високу чутливість та ішвидкодію, лінійність характеристик в широкому діапазонізміни потужності опромінення. Кремнієві фотодіоди мають найбільшу температурну стабільність характеристик і кращі експлуатаційні властивості. Всі ці переваги служать підставою для застосування фотодіодів як приймачів оптичного випромінювання в оптичних перетворювачах. Фотодіоди можуть працювати в двох режимах: фотогальванічний (беззовнішнього джерела живлення) і в фотодіодному (із зовнішнім джерелом). У фотогальванічному режимі нижче рівень шумів, але мала чутливість і нелінійна енергетична характеристика. В фотодіодному режимі досягається висока чутливість, лінійна енергетична характеристика, але вище рівень шумівхї[8].

При виборі ФД слід враховувати наступні його параметри іхарактеристики: інтегральну чутливість $S_{інт}$, поріг чутливості в одиничної смузі частот $Ф_{nl}$, час встановлення нормованої перехідної характеристики $\tau_{уст}$; відноснуспектральну характеристику чутливості $S_{відн}$ (λ), частотну характеристику чутливості S (f). Для високоточного виявлення світлового шаблону потрібен фотодіод, який може виявляти складні візерунки на високій швидкості, а не тільки світлодіод з рівномірним випромінюванням.

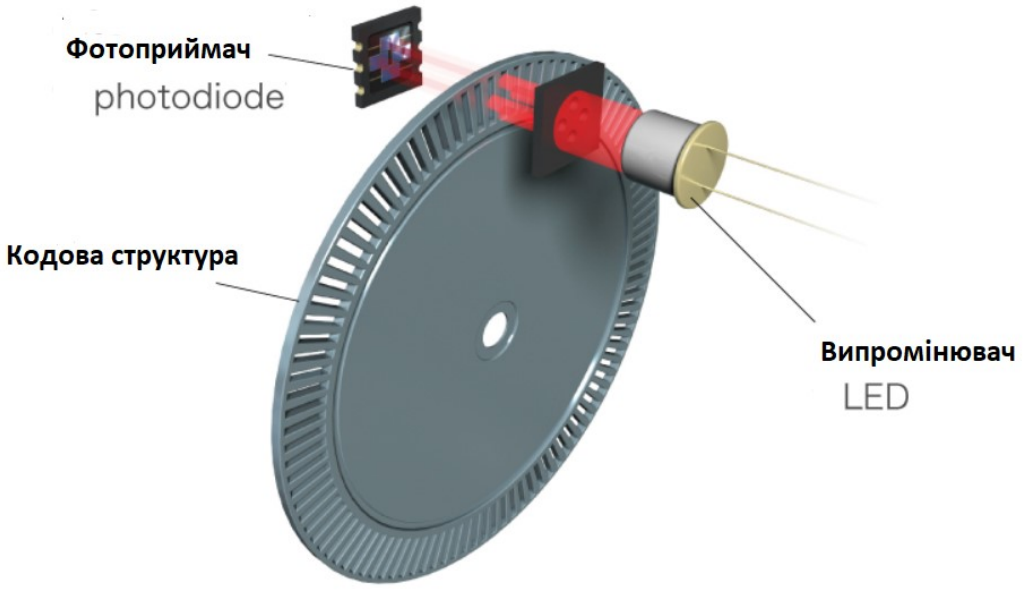


Рисунок 2.27 – Розташування фотодіода

Для дослідження було обрано фотодіод S15193 (рис. 2.27). Технічні характеристики даного фотодіоду вказані в таблиці 2.8.

Таблиця 2.8 – Технічні характеристики фотодіоду S15193

Ефективна фоточутлива площа елемента, мм^2	0,5
Максимально чутливий спектральний діапазон, нм	850 - 950

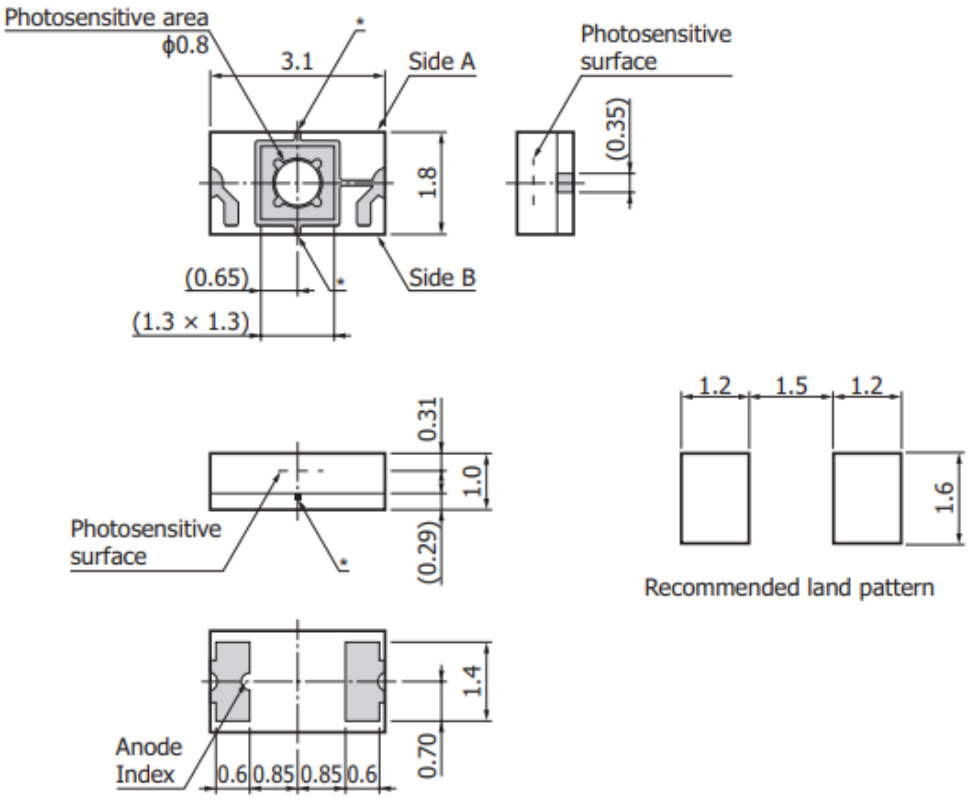


Рисунок 2.28 – Зовнішній вигляд та габаритні розміри фотодіоду

Як вже зазначалося в оптичних перетворювачах найчастіше застосовується фотодіоді, що працюють в діодному режимі. Типовою схемою включення фотодіоду в такому режимі є схема з використанням операційного підсилювача (рис.2.28).

Операційні підсилювачі виконують роль перетворювачів фотострумів у вихідні напруги.

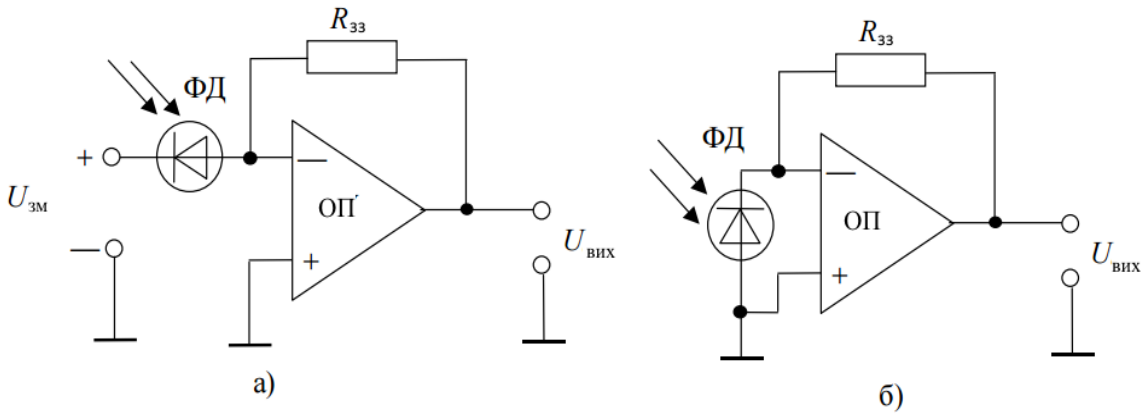


Рисунок 2.29 – Приклад включення фотодіодів

Наведені на малюнку 2.29 схеми включення володіють істотними перевагами:

- кожен фотодіод працює на навантаження малого опору, роль якого виконує дуже малий еквівалентний вхідний опір перетворювача «струм - напруга»; таким чином, по-перше, забезпечується лінійність світлової характеристики в широкому динамічному діапазоні, а по-друге, послаблюється дія ємності ФД і паразитної ємності вхідного ланцюга;

- стабілізації коефіцієнта підсилення і напруги живлення схеми відсутня, так як при правильно обраних елементах ці параметри практично не впливають на точність вимірювання.

2.7 Розрахунок блоку підсилення сигналу

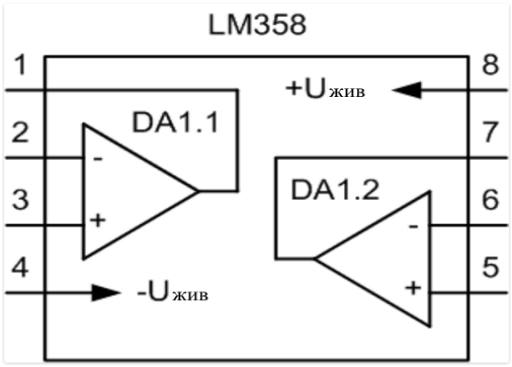
При опроміненні фотодіода потоком світла потужністю 0.048 мВт фотодіод видає струм 15.4 мкА на навантаження 1 кОм. Напруга, що виділяється на навантажувальному резисторі: U = 15.4 мВ. Між фотодіодом і компаратором повинен стояти підсилювач з одиничним коефіцієнтом посилення і великим вхідним опором. Для побудови підсилювача доцільно

використовувати операційний підсилювач LM358. Мікросхема LM358 являє собою двоканальний операційний підсилювач з малим енергоспоживанням, з високим коефіцієнтом посилення і внутрішньої частотної корекцією. Мікросхема працює від однополярного джерела живлення в широкому діапазоні напруг від 3В до 30В. Малий струм споживання ОП до 2мА практично не залежить від напруги живлення. Основна область застосування операційного підсилювача LM358 - підсилювач постійного струму, перетворюючий підсилювач, а також, підсилювач загального призначення в схемах з однополярним джерелом живлення. Технічні характеристики ОП LM358 приведені в таблиці 2.9

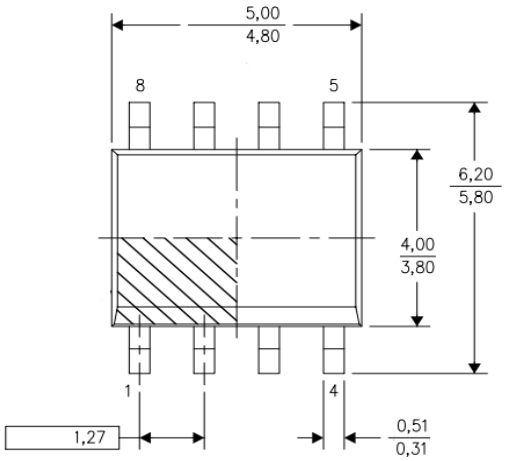
Таблиця 2.9 – Технічні характеристики ОП LM358

Однополярне живлення, В	3 - 32
Двохполярне живлення, В	± 1,5 - ± 16
Струм споживання, мА	0,7
Синфазна вхідна напруга, мВ	3
Диференційна вхідна напруга, В	32
Диференційний вхідний струм, нА	2
Диференційний коефіцієнт посилення по напрузі, дБ	100

Оскільки вихідний сигнал фотодіода необхідно підсилити та перетворити з синусоїдального в прямокутний, будемо використовувати наступну схему рисунок 2.30. Операційний підсилювач DA1.1 в даній схемі виконує роль узгоджую чого підсилювача, його коефіцієнт підсилення має бути максимально наближений до одиниці.



а)



б)

а) принципова схема; б) габаритні розміри

Рисунок 2.30 – Операційний підсилювач LM358

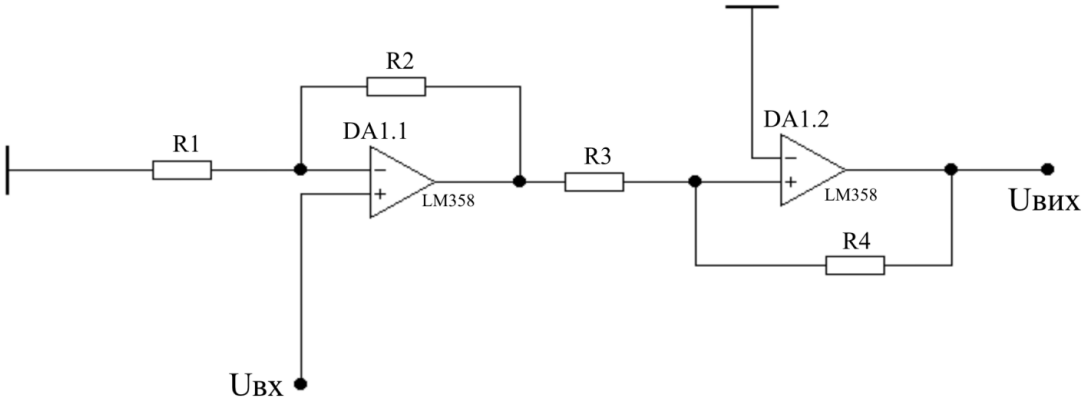


Рисунок 2.31 – Принципова схема узгоджуючого підсилювача з компаратором

Операційний підсилювач DA1.1 в даній схемі виконує роль узгоджую чого підсилювача, його коефіцієнт підсилення має бути максимально наближений до одиниці. Щоб отримати такий коефіцієнт підсилення, необхідно певним чином підібрати співвідношення опорів між зворотнім зв'язком R2 та опору R1.Тож оберемо R2=10кОм, а R1=100кОм. Розрахуємо коефіцієнт підсилення:

$$U_{вх} \cdot (1 + \frac{R2}{R1}) = U_{вих} \quad (2.6)$$

$$0{,}015 \cdot (1 + \frac{10}{100}) = 0{,}0165 \text{ В}$$

$$К_{підс.} = \frac{U_{вих}}{U_{вх}} \quad (2.7)$$

$$\frac{0{,}0165}{0{,}015} = 1{,}1$$

З розрахунків бачимо, що поставлені вимоги виконані нескладним підбором резисторів і ми отримали коефіцієнт підсилення найбільше наближений до одиниці і складає 1,1.

Визначимо величини опорів R3, R4 для компаратора DA1.2

$$U_{викл} = -\frac{R3}{R4} \cdot U_{вих\ max} \quad (2.8)$$

$$U_{вкл} = -\frac{R3}{R4} \cdot U_{вих\ min} \quad (2.9)$$

Нехай опір зворотного зв`язку R4= 1МОм, таким чином з формули знаходимо:

$$R3 = -\frac{R2 \cdot U_{викл}}{U_{вихmax}} \quad (2.10)$$

$$\frac{-0{,}015 \cdot 10^6}{10} = 1{,}5 \text{ кОм}$$

Для стійкої роботи необхідно виконати умову:

$$\frac{R3}{R4} \leq 0,9 \qquad (2.11)$$

$$\frac{1500}{10^6} = 0,0015$$

Умова виконується.

Перевірка схеми в електронному середовищі Proteus представлена на рис.2.32

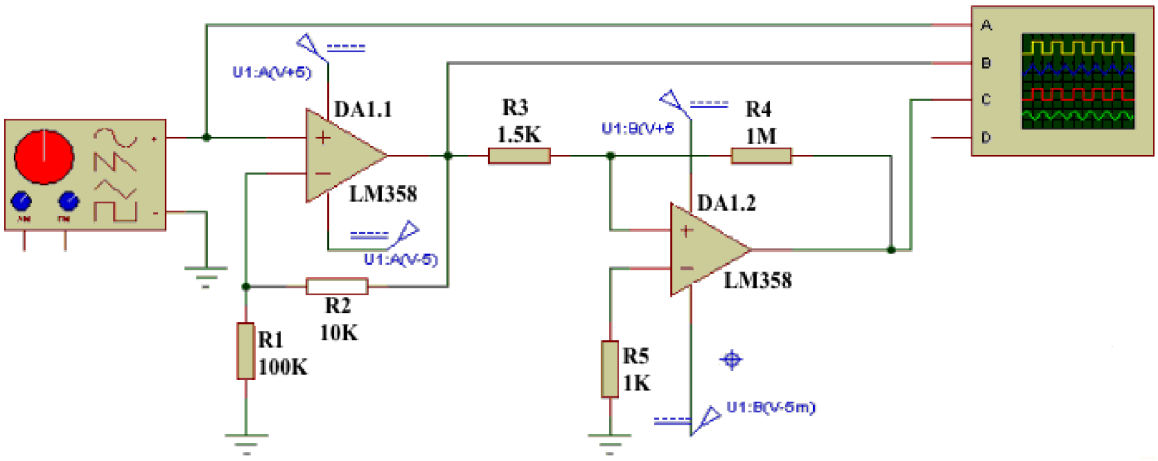


Рисунок 2.32 - Моделювання схеми в електронному середовищі Proteus

Часові діаграми роботи компаратора приведені на рисунку 2.33.

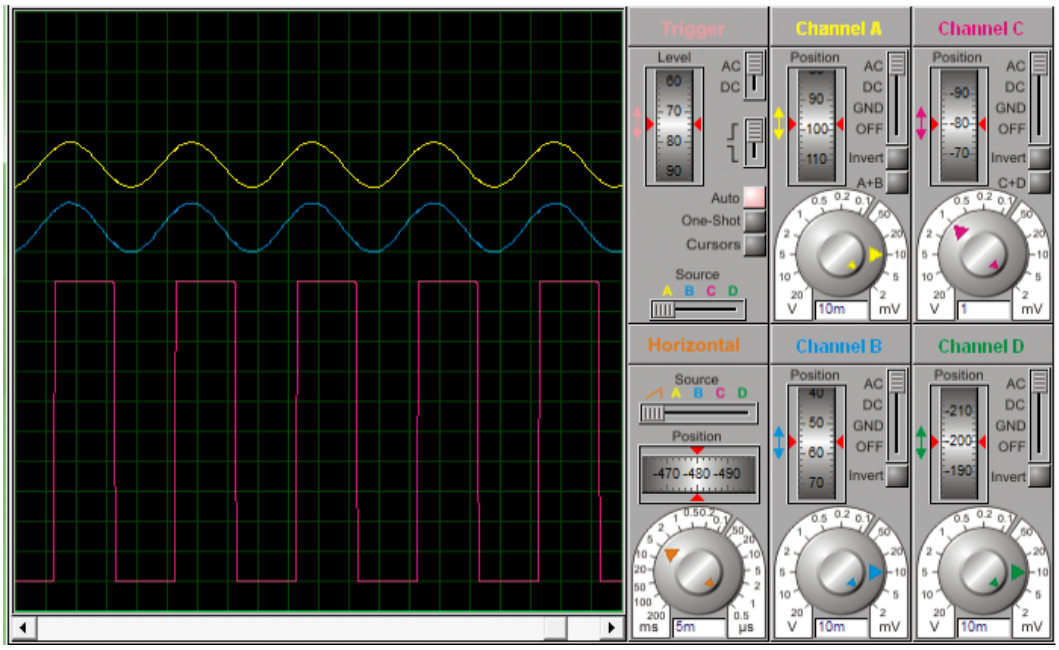


Рисунок 2.33 – Результати моделювання в електронному середовищі Proteus

2. 8 Розробка схеми розрахунку кута повороту в залежності від напряму руху об’єкта

Для підрахунку значень кута поворота розроблено схему сумматора – віднімача та приведено моделювання схеми у середовищі Electronics Workbench 5.12 (рис 2.34).

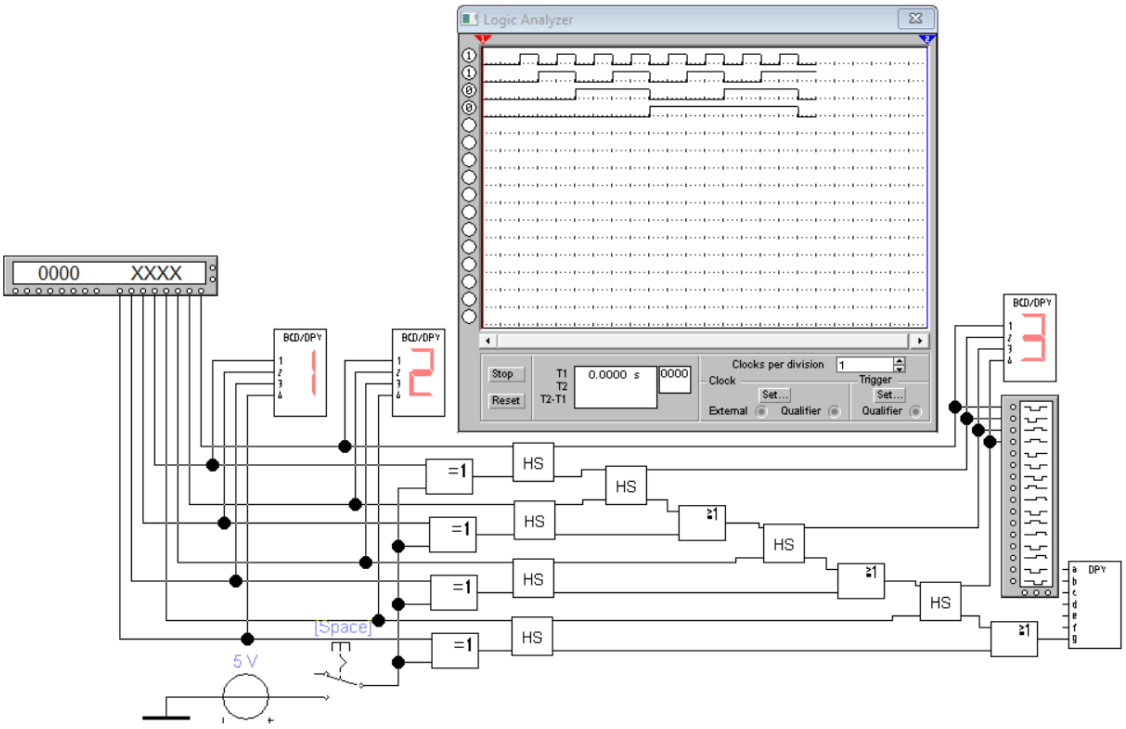


Рисунок 2.34 – Моделювання схеми в середовищі Electronics Workbench

Схема виконана у вигляді чотирирозрядного паралельного суматора з послідовним перенесенням на напівсуматорах, що складаються з двох елементів XOR та AND. Завдяки керуючому сигналу та елементам XOR що знаходяться перед суматорами емулюється операція суми (встановлено 0) або віднімання (встановлено 1).

Для реалізації операцій І, АБО та «Виключне АБО» обрано стандартні мікросхеми з Electronics Workbench 5.12: 7408, 7432 та 7486 відповідно, на рис. 2.35 наведені всі мікросхеми.

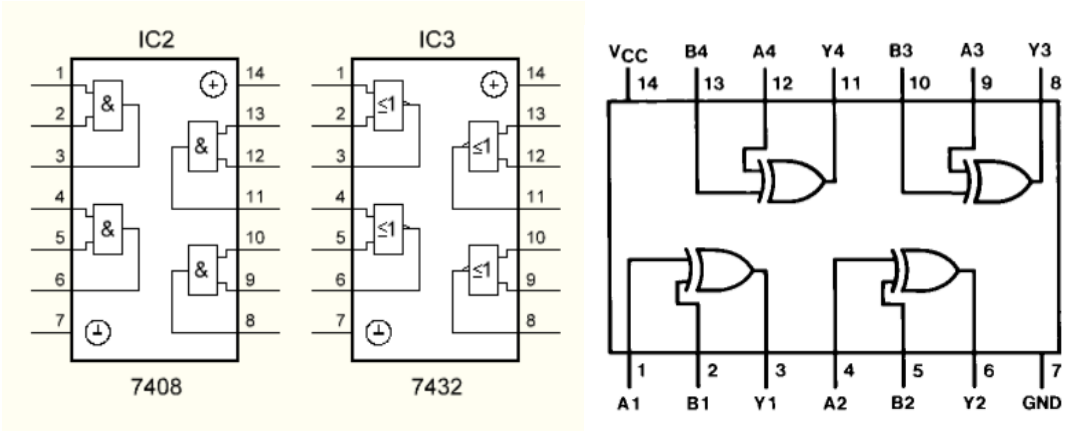


Рисунок 2.35 – Умовне позначення мікросхем 7408, 7432, 7486

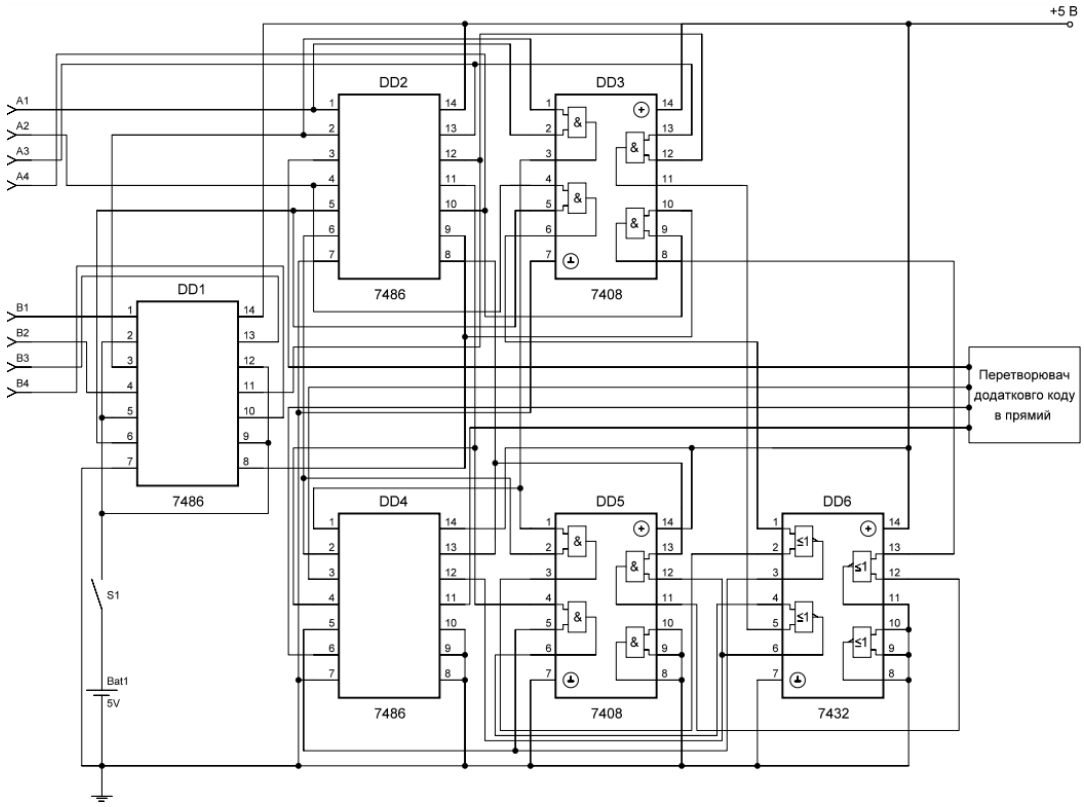


Рисунок 2.36 – Схема суматора-віднімача на реальних мікросхемах

На рис. 2.36 представлена схема суматора-віднімача на реальних мікросхемах, виконана в Splan 7.0. Для перетворення додаткового коду, що виникає з операції віднімання меншого від більшого потрібно розробити перетворювач додаткового коду в прямий.

Прямий код додатного двійкового числа ідентичний його доповняльному і оберненому кодам. Для утворення доповняльного коду від'ємного двійкового числа потрібно додати до його оберненого коду одиницю до молодшого розряду.

Пристрій перетворення додаткового коду в прямий необхідний для того щоб при відніманні меншого числа від більшого сигнал із суматора додаткового коду перетворювався на двійковий, в інших випадках перетворення не відбувалося, принцип функціонування перетворення додаткового коду наведений в табл. 2.10.

Таблиця 2.10 – Перетворювання додаткового коду в прямий

	Додатковий код				Прямий код			
	A	B	C	D	F4	F3	F2	F1
0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	1	1	1	1	0	0	0	1
14	1	1	1	0	0	0	1	0
13	1	1	0	1	0	0	1	1
12	1	1	0	0	0	1	0	0
11	1	0	1	1	0	1	0	1
10	1	0	1	0	0	1	1	0
9	1	0	0	1	0	1	1	1
8	1	0	0	0	1	0	0	0
7	0	1	1	1	1	0	0	1
6	0	1	1	0	1	0	1	0
5	0	1	0	1	1	0	1	1
4	0	1	0	0	1	1	0	0
3	0	0	1	1	1	1	0	1
2	0	0	1	0	1	1	1	0
1	0	0	0	1	1	1	1	1

З таблиці можна виділити наступні функції перетворювача:

$$F1 = \bar{A}\bar{B}\bar{C}D + \bar{A}\bar{B}CD + \bar{A}B\bar{C}D + \bar{A}BCD + A\bar{B}\bar{C}D + A\bar{B}CD + AB\bar{C}D + ABCD$$

$$F2 = ABC\bar{D} + AB\bar{C}D + A\bar{B}C\bar{D} + A\bar{B}\bar{C}D + \bar{A}BC\bar{D} + \bar{A}B\bar{C}D + \bar{A}\bar{B}C\bar{D} + \bar{A}\bar{B}\bar{C}D$$

$$F3 = A\bar{B}\bar{C}\bar{D} + A\bar{B}CD + A\bar{B}C\bar{D} + A\bar{B}\bar{C}D + \bar{A}B\bar{C}\bar{D} + \bar{A}\bar{B}CD + \bar{A}\bar{B}C\bar{D} + \bar{A}\bar{B}\bar{C}D$$

$$F4 = A\bar{B}\bar{C}\bar{D} + \bar{A}BCD + \bar{A}BC\bar{D} + \bar{A}B\bar{C}D + \bar{A}B\bar{C}\bar{D} + \bar{A}\bar{B}CD + \bar{A}\bar{B}C\bar{D} + \bar{A}\bar{B}\bar{C}D$$

З функцій було побудовано в Electronics Workbench 5.12 схему перетворення додаткового коду в прямий що зображено на рис 2.34.

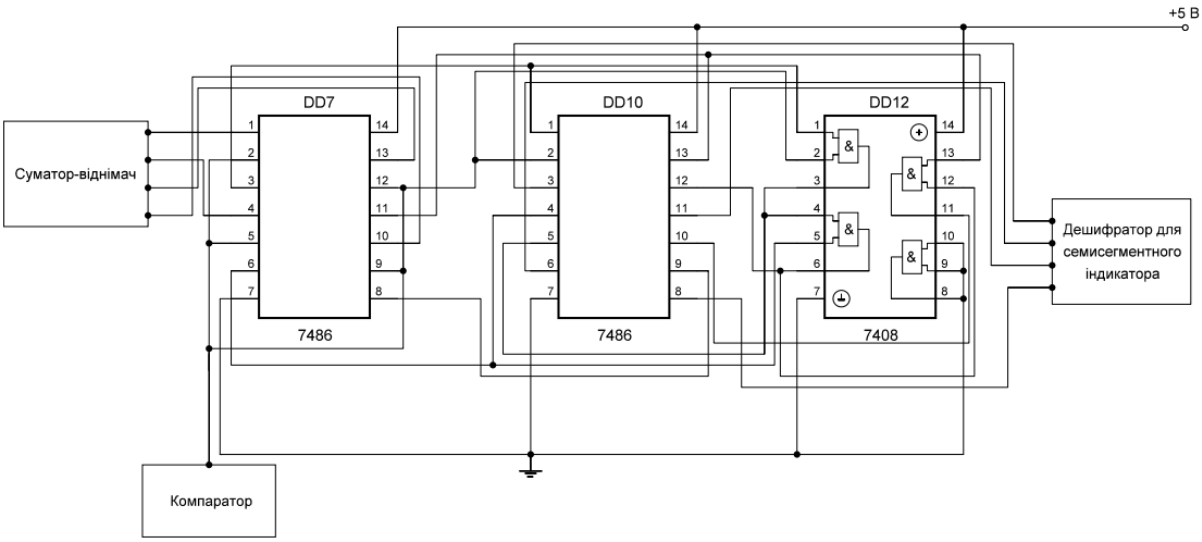


Рисунок 2.37 – Перетворювача додаткового коду в прямий у середовищі Splan7.0

Перетворювач додаткового коду в двійковий (рис. 2.37) перетворює двійкове число, представлене в додатковому коді, в двійкове число, представлене в прямому коді, якщо з компаратора не поступає сигнал тоді перетворення коду не відбувається.

3 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ

3.1 Обґрунтування вибору випромінювача для проєктування блоку прийому оптичного випромінювання

Блок прийому оптичного випромінювання представляє собою необхідну для виконання поставленої задачі кількість фоточутливих елементів, в загальній схемі відповідно конструкторських умов розробляємого приладу.

Блок прийому оптичного випромінювання перетворює оптичні сигнали, утворені в результаті проходження кодуючої структури, в електричні і містить кілька приймачів оптичного випромінювання.

Фотодіоди мають найкраще поєднання параметрів, найважливіших для використання в блоках прийому оптичного випромінювання: високої чутливості і швидкодії, лінійності характеристики в широкому діапазоні зміни потужності опромінення.

3.2 Обґрунтування вибору фоточутливого елементу

До розроблювального блоку прийому оптичного випромінювання пред'являються наступні вимоги, які дозволяють більш плідно вести роботу зі створення даного пристрою:

- габаритні розміри;

- спектральна чутливість;
- величина вихідної напруги;
- швидкодія;
- вартість.

Для вибору фоточутливого елементу проаналізуємо ієрархії чотирьох варіантів (табл. 3.1), враховуючи шкалу відносної важливості (табл. 3.2).

Таблиця 3.1 – Можливі варіанти використання фото чутливих елементів

	Фоточутливий елемент
A	S15193
B	КДФМ4-02
C	СФД4-05
D	КДФМ2-02

Таблиця 3.2 - Шкала відносної важливості

Інтенсивність відносної важливості	Визначення
1	рівна важливість
3	помірна перевага
5	сильна перевага
7	значна перевага
9	дуже сильна перевага
2,4,6,8	проміжні судження

Таблиця 3.3 – Попарне порівняння критеріїв

Критерій	1	2	3	4	5	6	$\sqrt[6]{\prod_{i=1}^{6}\omega_i}$	X_i
1. Фоточутлива площа	1	1/5	1	3	3	3	1,324	0,18

2. Габаритні розміри	5	1	3	7	3	1	2,685	0,365
3. Рівень шумів	1	1/3	1	5	3	1/3	1,088	0,147
4. Енергоспоживання	1/3	1/7	1/5	1	1/5	1/5	0,269	0,036
5. Спектральний діапазон	1/3	1/3	1/3	5	1	5	0,987	0,134
6. Вартість	1/3	1	3	5	1/5	1	1	0,135
∑							7,353	1

$X_i=\frac{\sqrt[6]{\prod_{i=1}^{6}\omega_i}}{\sum_{i=1}^{6}\sqrt[6]{\prod_{i=1}^{6}\omega_i}}$, $\sum$ - сума по стовпці $\sqrt[6]{\prod_{i=1}^{6}\omega_i}$;

Порівняння проводимо так: відносна вага кожного критерію самого до себе дорівнює 1. Почнемо, наприклад, з критерію «габаритні розміри»: відносно критерію «енергоспоживання» він має значну перевагу (за табл.3.2 оцінка – 7), тоді в 2-й строці, 4-му стовпчику ставимо 7, а в 4-й строці, 2-му стовпчику ставимо 1/7. Так само порівнюючи кожний критерій з іншими, заповнюємо таблицю 3.3. Далі в кожній строчці перемножуємо усі 6 значень і беремо з цього добутку корінь 6-го ступеню – так заповнюємо стовпчик $\sqrt[6]{\prod_{i=1}^{6}\omega_i}$; знаходимо суму по цьому стовпчику $\sum$, знаходимо $X_i=\frac{\sqrt[6]{\prod_{i=1}^{6}\omega_i}}{\sum_{i=1}^{6}\sqrt[6]{\prod_{i=1}^{6}\omega_i}}$ для кожної строки і заповнюємо стовпчик X_i [14].

Далі аналогічно складаємо 6 матриць попарних порівнянь альтернатив стосовно кожного критерію (таблиці 3.4, 3.5, 3.6, 3.7, 3.8, 3.9). Оскільки тепер порівнюються 4 види фотодіодів по одному критерію , то i = 1, 2, 3, 4;

$X_i = \frac{\sqrt[4]{\prod_{i=1}^{4} \omega_i}}{\sum_{i=1}^{4} \sqrt[4]{\prod_{i=1}^{4} \omega_i}}$; $\sum$ - сума по стовпці $\sqrt[4]{\prod_{i=1}^{4} \omega_i}$.

Таблиця 3.4 – Порівняння альтернатив по критерію «фоточутлива площа»

Фотодіоди	A	B	C	D	$\sqrt[4]{\prod_{i=1}^{4} \omega_i}$	X_i
A	1	7	5	6	3,806	0,639
B	1/7	1	1/3	1/3	0,354	0,059
C	1/5	3	1	3	1,158	0,194
D	1/6	3	1/3	1	0,638	0,107
$\sum$					5,956	1,00

Таблиця 3.5 – Порівняння альтернатив по критерію «габаритні розміри »

Фотодіоди	A	B	C	D	$\sqrt[4]{\prod_{i=1}^{4} \omega_i}$	X_i
A	1	3	7	9	3,707	0,659
B	1/3	1	3	5	1,495	0,265
C	1/7	1/3	1	2	0,095	0,016
D	1/9	1/5	1/2	1	0,324	0,057
$\sum$					5,621	1,00

Таблиця 3.6 – Порівняння альтернатив стосовно критерію «рівень шумів»

Фотодіоди	A	B	C	D	$\sqrt[4]{\prod_{i=1}^{4} \omega_i}$	X_i
A	1	5	1/7	1/3	0,698	0,118
B	1/5	1	1/7	1/9	0,234	0,039
C	7	7	1	1/2	2,224	0,379
D	3	9	2	1	2,71	0,461
$\sum$					5,866	1,00

Таблиця 3.7 – Порівняння альтернатив по критерію «енергоспоживання»

Фотодіоди	A	B	C	D	$\sqrt[4]{\prod_{i=1}^{4}\omega_i}$	X_i
A	1	1/3	3	3	1,316	0,228
B	3	1	7	7	3,482	0,603
C	1/3	1/7	1	1/3	0,354	0,061
D	1/3	1/7	3	1	0,614	0,106
$\sum$					5,766	1,00

Таблиця 3.8 – Порівняння альтернатив стосовно критерію «спектральний діапазон»

Фотодіоди	A	B	C	D	$\sqrt[4]{\prod_{i=1}^{4}\omega_i}$	X_i
A	1	5	1/5	1/7	0,614	0,099
B	1/5	1	1/7	1/7	0,24	0,038
C	5	7	1	1/3	1,85	0,299
D	7	7	3	1	3,482	0,562
$\sum$					6,186	1,00

Таблиця 3.9 – Порівняння альтернатив стосовно критерію «вартість»

Фотодіоди	A	B	C	D	$\sqrt[4]{\prod_{i=1}^{4}\omega_i}$	X_i
A	1	5	1	1/7	0,919	0,142
B	1/5	1	1/5	1/7	0,48	0,074
C	1	5	1	1/3	1,56	0,242
D	7	7	3	1	3,482	0,54
$\sum$					6,441	1,00

Глобальний пріоритет для кожної альтернативи обчислюється як сума добутків кожного локального пріоритету на його ваговий коефіцієнт[14].

Глобальний пріоритет для кожної технології розраховуємо так:

для технології «S15193»: 0,639х0,18 + 0,659х0,365 + 0,118х0,147 + 0,228х0,036 + 0,099х0,134 + 0,142х0,135 = 0,413;

для технології «КДФМ4-02»: 0,059х0,18 + 0,265х0,365 + 0,039х0,147 + 0,603х0,036 + 0,038х0,134 + 0,074х0,135= 0,149; і т.д.

Таблиця 3.10 - Глобальний пріоритет для кожної альтернативи

Пріоритети	№1	№2	№3	№4	№5	№6	Глобальний
Вага	0,18	0,365	0,147	0,036	0,134	0,135	
S15193	0,639	0,659	0,118	0,228	0,099	0,142	0,413
КДФМ4-02	0,059	0,265	0,039	0,603	0,038	0,074	0,149
СФД4-05	0,194	0,016	0,379	0,061	0,299	0,242	0,171
КДФМ2-02	0,107	0,057	0,461	0,106	0,562	0,54	0,259

З порівняння глобальних пріоритетів різних фотодіодів (таблиця 3.10) видно, що найбільшим є пріоритет у варіанта використання фотодіодної матриці S15193.

Висновки: За допомогою методу аналізу ієрархій проведене порівняння чотирьох типів фото приймальних елементів за наступними критеріями: 1) фото чутлива площа; 2) габаритні розміри; 3) рівень шумів; 4) енергоспоживання; 5) спектральний діапазон; 6) вартість. Найбільший локальний пріоритет у критерію «габаритні розміри» (дивись таблицю. 3.3). За даними таблиці 3.9 локальний пріоритет за критерієм «вартість» є найвищим для фотодіоду КДФМ4-02. Проте найбільший глобальний пріоритет має фотодіод S15193. Тому перевага віддається використанню фотодіоду S15193, саме він і буде використовуватися для реалізації блоку прийому оптичного випромінювання.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

4.1 Загальне визначення охорони праці, її роль, предмет, об’єкт та методичні основи.

Охорона праці, як галузь технічної діяльності – це система правових, соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних лікувально-профілактичних заходів та засобів спрямованих на збереження життя здоров'я у процесі її трудової діяльності.

Основною метою охорони праці є створення безпечних умов трудової діяльності людини, забезпечення її високої та ефективної працездатності;

Вона як соціально-технічна дисципліна вивчає теоретичні та технічні питання безпеки праці, запобігання травматизму, професійним захворюванням та отруєнням, аваріям та катастрофам, пожежам та вибухам на виробництвах, в свою чергу вона вивчається з метою формування у майбутніх фахівців інженерії необхідного рівня знань та умінь з правових та організаційних питань гігієни праці, техногенної безпеки регіону, виробничої санітарії, а також активної позиції, щодо практичної реалізації головного принципу Конституції України;

Предмет охорони праці як технічної економічної праці – є основи праці, а об'єктом їх дослідження виступають виробнича система, яка включає до свого складу: людину (працівників) – машину (виробниче успадкування) – навколишнє середовище (виробниче приміщення в якому здійснюється відповідний технологічний процес)

Складові частини охорони праці:

1. Правові та організаційні питання, щодо вивчення охорони праці її безпеки
2. Основи фізіології, гігієни праці та виробничої санітарії
3. Пожежна безпека
4. Техногенна безпека

Між дисциплінарний характер безпеки та охорони праці зумовлює використання нею методів різних наук: статистики для аналізу та прогнозування нещасних випадків, професійних захворювань та аварій; Економіки для подальшого обґрунтування витрат на заходи, що до безпеки та охорони праці; Фізики, хімії та біології для вивчення параметрів мікроклімату, наявності шкідливих та небезпечних факторів виробничого середовища, та встановлення їх граничнодопустимої концентрації [16].

4.1.1 Правові та організаційні питання охорони праці

Основними законодавчими актами, які визначають основні положення щодо охорони праці, є:

- Конституція України;
- Закон України «Про охорону праці»;
- Закон України «Про пожежну безпеку»;
- Кодекс законів про працю України;
- Закон України «Про забезпечення санітарного та епідемічного благополуччя населення»;
- Закон України «Про загальнообов’язкове державне соціальне страхування від нещасного випадку на виробництві та професійного захворювання, які спричинили втрату працездатності»;
- Закон України «Про використання ядерної енергії та радіаційну безпеку»;

- Закон України «Про охорону здоров’я»,

Окрім того, у Конституції України зазначається, що використання праці жінок і неповнолітніх на небезпечних для їхнього здоров’я роботах забороняється.

Кодекс законів про працю України (КЗпП) регулює трудові відносини всіх працівників, сприяючи зростанню продуктивності праці, поліпшенню якості роботи, підвищенню ефективності суспільного виробництва.

Закон України «Про охорону праці»:

- визначає основні положення щодо реалізації конституційного права працівників на охорону їх життя і здоров’я у процесі трудової діяльності, на належні, безпечні і здорові умови праці;

- регулює відносини між роботодавцем і працівником з питань безпеки, гігієни праці та виробничого середовища;

- встановлює єдиний порядок організації охорони праці в Україні.

Закон України «Про пожежну безпеку»:

- визначає загальні правові, економічні та соціальні основи забезпечення пожежної безпеки на території України;

- регулює відносини державних органів, юридичних і фізичних осіб у цій галузі незалежно від виду їх діяльності та форм власності.

Закон України «Про забезпечення санітарного та епідемічного благополуччя населення»:

- регулює суспільні відносини, які виникають у сфері забезпечення санітарного та епідемічного благополуччя;

- визначає відповідні права і обов’язки державних органів, підприємств, установ, організацій та громадян;

- встановлює порядок організації державної санітарноепідеміологічної служби і здійснення державного санітарно епідеміологічного нагляду в Україні.

Закон України «Про загальнообов’язкове державне соціальне страхування від нещасного випадку на виробництві та професійного

захворювання» визначає правову основу, економічний механізм та організаційну структуру загальнообов'язкового державного соціального страхування громадян від нещасного випадку на виробництві та професійного захворювання, які призвели до втрати працездатності або загибелі застрахованих на виробництві.

Основи законодавства України про охорону здоров'я:

- визначають правові, організаційні, економічні та соціальні засади охорони здоров'я в Україні,

- регулюють суспільні відносини у цій галузі з метою забезпечення високої працездатності громадян, усунення факторів, що шкідливо впливають на їх здоров'я, попередження і зниження захворюваності, інвалідності та смертності [17].

4.1.2 Пожежна безпека

Приміщення, де встановлено комп'ютер, повинно мати ступінь вогнестійкості не нижче II. Поруч із приміщеннями підприємства не повинно бути пожежі чи вибуху. Необхідні для роботи носії повинні зберігатися на місці, а решта – на негорючих стелажах у залізних ящиках в окремому приміщенні [18].

Підлоги повинні бути знімними і виготовленими з негорючих або важкогорючих матеріалів. У підземних приміщеннях повинні бути встановлені засоби автоматичної пожежної сигналізації та пожежогасіння. Об'єкт повинен мати систему сигналізації з датчиками диму та систему пожежогасіння. У приміщенні слід встановити два переносні вуглекислотні вогнегасники 2 шт. на 20 м^2.

4.1.3 Техногенна безпека

Ефективність евакуації вимірюється часом, за який люди виходять з окремих приміщень, будівель і споруд у разі необхідності. Безпека евакуації досягається, якщо час евакуації не перевищує часу, необхідного для досягнення критичної стадії виникнення пожежі. Це час від початку пожежі до досягнення критичних значень таких факторів пожежі, як критична температура та концентрація кисню [17].

Евакуаційні виходи вважаються такими, якщо вони ведуть:

- з приміщень першого поверху безпосередньо на зовнішню територію або через коридор, сходову клітку, вестибюль.
- з приміщень будь-якого поверху, крім першого, в коридори, що ведуть до сходової клітки (включаючи хол). При цьому сходові клітки повинні мати вихід на зовнішню територію безпосередньо або через вестибюль, що відокремлений від прилеглих коридорів дверима.
- з приміщень в сусіднє приміщення на тому ж поверсі, яке має вихід, зазначений вище.

Аварійні виходи повинні бути розподіленими, їх кількість повинна бути не менше двох. Двері на шляхах евакуації повинні відкриватися в напрямку виходу з будівлі або приміщення. За винятком випадків, коли в приміщенні перебуває не більше 15 осіб, двері можуть відкриватися всередину приміщення. При наявності людей у приміщенні двері евакуаційних виходів можуть бути зачиненими тільки на внутрішні засуви, які легко відмикаються Мінімальна ширина евакуаційного шляху повинна бути не менше 1 м, а мінімальна ширина дверей - не менше 0,8 м. Відстань від найдальшої точки будівлі або майданчика до евакуаційного виходу визначається згідно СНіП 2.09.02-85, залежно від ступеня вогнестійкості будівлі та кількості людей, які евакуюються.

Залежно від категорії приміщень і будівель та класу зон за вибухопожежною небезпекою, відповідно до вимог чинних нормативів,

розробляються технічні та організаційні заходи і засоби забезпечення вибухопожежної безпеки об’єкта.

На рис. 4.1 у вигляді блок-схеми наведена загальна послідовність вирішення питань щодо забезпечення пожежної безпеки об’єкта.

Як видно зі схеми, основою для розробки технічних (щодо попередження пожежі та протипожежного захисту) і організаційних рішень систем пожежної безпеки є результати ґрунтовного аналізу пожежної небезпеки, з визначенням відповідних формалізованих показників.

Пожежа в лабораторному приміщенні, де розташовано робоче місце, може виникнути при взаємодії горючих речовин і джерел запалювання.

Горючими речовинами в лабораторії можуть стати матеріали меблів, пластмасові корпуси техніки, шнури тощо.

Джерелами запалювання можуть бути електронні схеми комп'ютерів, пристрої електроживлення, де внаслідок різних порушень виникає перегрівання елементів, утворюються електричні іскри, здатні спричинити займання горючих матеріалів.

Для ліквідації пожежі в даному приміщенні немає необхідності влаштування системи автоматичного пожежогасіння.

Приміщення оснащене переносним вуглекислотним вогнегасником типу ВВК-3,5 - 1шт.

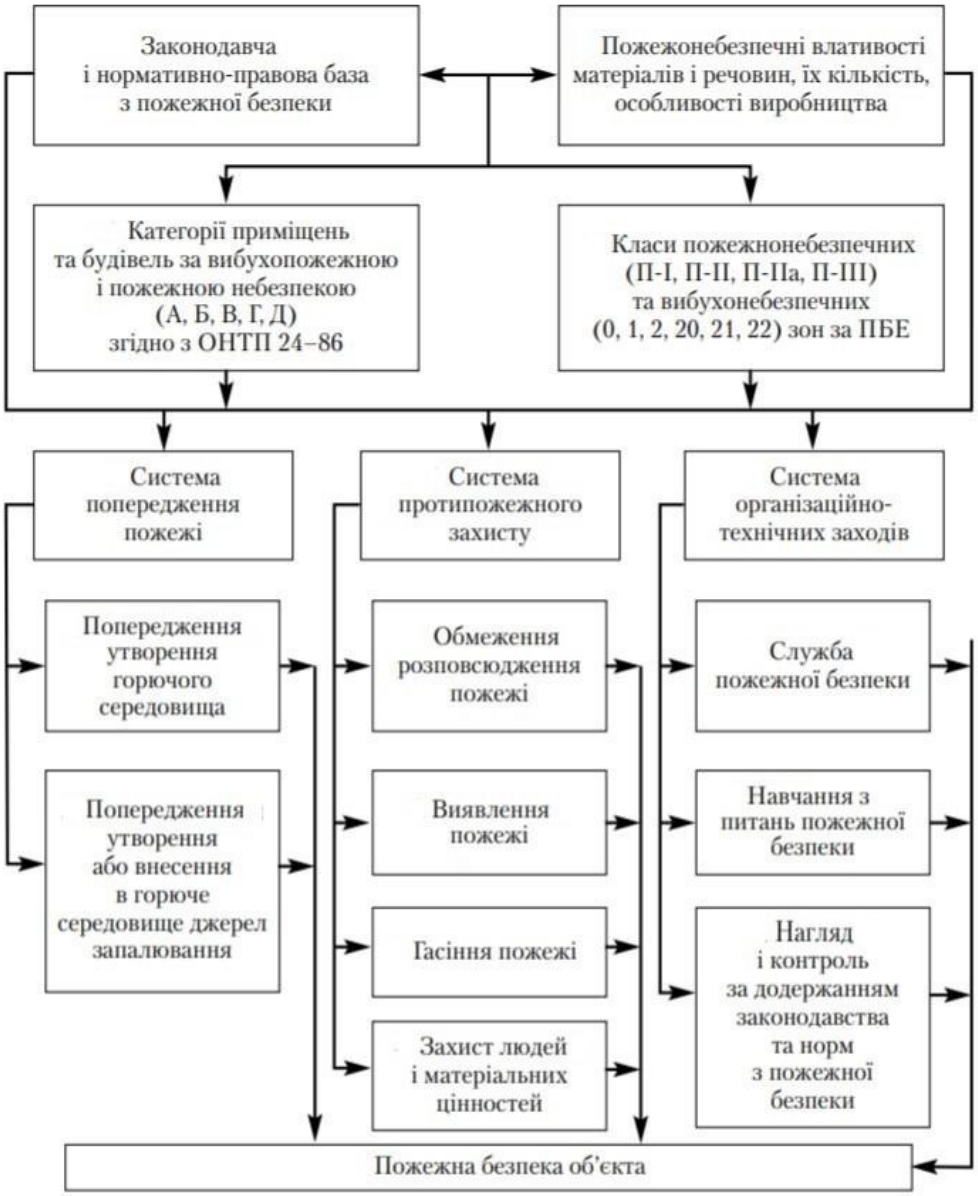


Рисунок 4.1 – Блок-схема забезпечення пожежної безпеки об'єкта

Облицювання стін та стелі приміщення зроблене з негорючих матеріалів.

Коридори будівлі, в якому знаходиться дане приміщення, оснащені стендами з планом евакуації під час пожежі (рис. 4.2), на стіні є ящик з пожежним стволом і пожежним рукавом.

Дана будівля відносяться до другої категорії по блискавко захисту, захист будівлі від прямих ударів блискавки здійснюється за допомогою

стрижневих блискавковідводів.

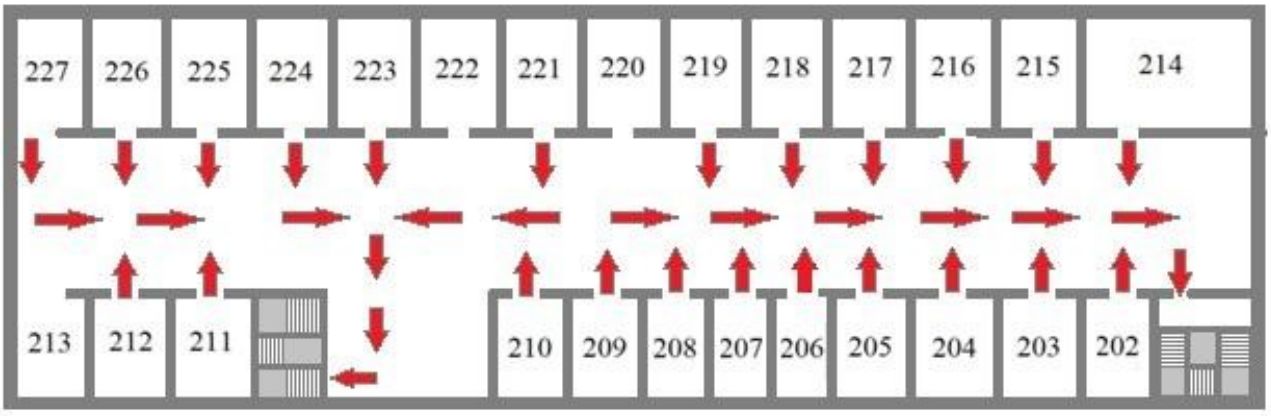


Рисунок 4.2– План евакуації при пожежі

4.2 Шкідливі фактори у робочих приміщеннях

В приміщеннях для праці з комп'ютерами можуть існувати різні небезпечні та шкідливі фактори. Деякі з них включають випромінювання з відеодисплейних терміналів (ВДТ), освітлення, шум, наявність шкідливих речовин у повітрі робочої зони, іонний склад повітря та електростатичне поле.

Випромінювання від ВДТ може бути рентгенівським (іонізуючим), оптичним та електромагнітним. Рентгенівське випромінювання походить від екрана ВДТ, яке містить люмінофорне покриття. Оптичне випромінювання виникає внаслідок взаємодії електронів з люмінофорним шаром на екрані. Зона оптичного випромінювання включає ультрафіолетове (УФ), світлове та інфрачервоне випромінювання.

Електромагнітні випромінювання та поля виникають у системах горизонтальної та вертикальної розгортки й унаслідок дії електронного променя.

Електростатичний заряд найчастіше зосереджується на екрані ВДТ. Це може привести до притягання пилу та бруду з повітря до екрана, що призводить до швидкого забруднення екрана після очищення [19].

Один з ключових аспектів, що впливає на забезпечення комфортної роботи користувача на ВДТ – це належне освітлення робочого місця.

Надмірне навантаження на зоровий аналізатор може бути спричинене різними факторами, такими як:

- неправильна орієнтація робочого місця щодо світлових отворів,
- неадекватні світлові характеристики світильників,
- засліплююча дія яскравих предметів,
- дзеркальне відбиття на екрані та неправильний розподіл яскравості в полі зору користувача.

4.3 Електробезпека

З кожним роком зростає виробництво та споживання електроенергії, а відтак і кількість людей, які в процесі своєї життєдіяльності використовують (експлуатують) електричні пристрої та установки. Тому питання електробезпеки набувають особливої ваги.

Електробезпека – це система організаційних та технічних заходів і засобів, що забезпечують захист людей від шкідливого та небезпечного впливу електричного струму, електричної дуги, електромагнітного поля і статичної електрики [18].

Аналіз виробничого травматизму показує, що кількість травм, спричинених дією електричного струму, є незначною і становить близько 1%. Однак із загальної кількості смертельних нещасних випадків частка електротравм становить 20-40% і посідає одне з перших місць.

Щороку в Україні від електричного струму гине приблизно 1500 осіб. Найбільша кількість випадків електротравматизму, в тому числі зі смертельними наслідками, стається при експлуатації електроустановок напругою до 1000 В, що пов'язано з їх поширенням і відносною доступністю практично для кожного, хто працює на виробництві.

Випадки електротравматизму під час експлуатації електроустановок напругою понад 1000 В нечасті, що зумовлено незначним поширенням таких електроустановок і обслуговуванням їх висококваліфікованим персоналом.

Основними причинами електротравматизму на виробництві є:

- випадкове доторкання до неізольованих струмопровідних частин електроустаткування;
- використання несправних ручних електроінструментів;
- застосування нестандартних або несправних переносних світильників напругою 220 чи 127 В;
- робота без надійних захисних засобів та запобіжних пристосувань;
- доторкання до незаземлених корпусів електроустановок, що опинилися під напругою внаслідок пошкодження чи пробою ізоляції;
- недотримання правил будови, улаштування, безпечної експлуатації електроустановок та правил експлуатації електрозахисних засобів тощо.

ЕОМ з ВДТ і ПП, інше устаткування (апарати управління, контрольно-вимірювальні прилади, світильники), електропроводи та кабелі за виконанням і ступенем захисту мають відповідати класу зони за НПАОП 40.1-1.01-97, мати 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, застосовувати негорючу ізоляцію.

Під час ремонту ліній електромережі шляхом зварювання, паяння та з використанням відкритого вогню необхідно дотримуватися НАПБ А.01.001-2004. Лінія електромережі для живлення ЕОМ з ВДТ і ПП виконується як окрема групова трипровідна мережа шляхом прокладання фазового, нульового робочого та нульового захисного провідників.

Нульовий захисний провідник використовується для заземлення (занулення) електроприймачів. Не допускається використовувати нульовий робочий провідник як нульовий захисний провідник. Нульовий захисний провідник прокладається від стійки групового розподільного щита, розподільного пункту до розеток електроживлення.

Не допускається підключати на щиті до одного контактного затискача нульовий робочий та нульовий захисний провідники. Площа перерізу нульового робочого та нульового захисного провідника в груповій трипровідній мережі має бути не менше площі перерізу фазового провідника.

Усі провідники мають відповідати номінальним параметрам мережі та навантаження, умовам навколишнього середовища, умовам розподілу провідників, температурному режиму та типам апаратури захисту, вимогам НПАОП 40.1-1.01-97.).

ЕОМ з ВДТ і ПП повинні підключатися до електромережі тільки за допомогою справних штепсельних з'єднань і електророзеток заводського виготовлення. У штепсельних з'єднаннях та електророзетках, крім контактів фазового та нульового робочого провідників, мають бути спеціальні контакти для підключення нульового захисного провідника. Їхня конструкція має бути такою, щоб приєднання нульового захисного провідника відбувалося раніше, ніж приєднання фазового та нульового робочого провідників.

Порядок роз'єднання при відключенні має бути зворотним. Не допускається підключати ЕОМ з ВДТ і ПП до звичайної двопровідної електромережі, в тому числі – з використанням перехідних пристроїв.

Електромережі штепсельних з'єднань та електророзеток для живлення ЕОМ з ВДТ і ПП потрібно виконувати за магістральною схемою, по 3-6 з'єднань або електророзеток в одному колі. Штепсельні з'єднання та електророзетки для напруги 12 В та 42 В за своєю конструкцією мають відрізнятися від штепсельних з'єднань для напруги 127 В та 220 В.

Штепсельні з'єднання та електророзетки, розраховані на напругу 12 В та 42 В, мають візуально (за кольором) відрізнятися від кольору штепсельних з'єднань, розрахованих на напругу 127 В та 220 В.

Індивідуальні та групові штепсельні з'єднання та електророзетки необхідно монтувати на негорючих або важкогорючих пластинах з урахуванням вимог НПАОП 40.1-1.01-97 та НАПБ А.01.001-2004. Електромережу штепсельних розеток для живлення ЕОМ з ВДТ і ПП при розташуванні їх уздовж стін приміщення прокладають по підлозі поруч зі стінами приміщення, як правило, в металевих трубах і гнучких металевих рукавах, а також у пластикових коробах і пластмасових рукавах з відводами відповідно до затвердженого плану розміщення обладнання та технічних характеристик обладнання.

При розміщенні в приміщенні до п'яти ЕОМ з ВДТ і ПП допускається прокладання трипровідникового захищеного проводу або кабелю в оболонці з негорючого чи важкогорючого матеріалу по периметру приміщення без металевих труб та гнучких металевих рукавів. Не допускається в одній трубі прокладати ланцюги до 42 В та вище 42В.

При організації робочих місць операторів електромережу штепсельних розеток для живлення ЕОМ з ВДТ і ПП у центрі приміщення прокладають у каналах або під знімною підлогою в металевих трубах або гнучких металевих рукавах. При цьому не допускається застосовувати провід і кабель в ізоляції з вулканізованої гуми та інші матеріали, які містять сірку [19].

4.4 Освітлення виробничих приміщень

Особливо важлива роль в життєдіяльності людини природного освітлення, його ультрафіолетової частини спектру. Природне освітлення стимулює біохімічні процеси в організмі, поліпшує обмін речовин, загартовує організм, йому властива протибактерицидна дія. У зв'язку з цим при недостатньому природному освітленні в умовах виробництва санітарно-гігієнічні нормативи вимагають у системі штучного освітлення застосовувати джерела штучного світла з підвищеною складовою ультрафіолетового випромінювання – еритемні джерела світла.

Спроможність зорового сприйняття визначається енергетичними, просторовими, часовими та інформаційними характеристиками сигналів, що надходять до людини. Видимість об'єкту залежить від властивості ока, а також освітлення (або власного світла об'єкту).

Під час здійснення будь-якої трудової діяльності втомлюваність очей, в основному, залежить від напруженості процесів, що супроводжують зорове сприйняття.

Для створення сприятливих умов зорової роботи освітлення робочих приміщень повинне задовольняти таким умовам:

1) рівень освітленості робочих поверхонь має відповідати гігієнічним нормам;
2) мають бути забезпечені рівномірність та часова стабільність рівня освітленості у приміщенні, відсутність різких контрастів між освітленістю робочої поверхні та навколишнього простору, відсутність на робочій поверхні різких тіней (особливо рухомих);
3) у полі зору предмета не повинно створювати сліпучого блиску;
4) штучне світло, що використовується на підприємствах, за своїм спектральним складом має наближатися до природного;

5) не створювати небезпечних та шкідливих факторів (шум, теплові випромінювання, небезпеку ураження струмом, пожежо- та вибухонебезпечність);
6) бути надійним, простим в експлуатації та економічним.

У приміщенні, де знаходиться робоче місце використовується поєднання природного і штучного освітлення. В якості природного – бічне освітлення через вікна. Штучне освітлення використовується при недостатньому природному освітленні. В даному приміщенні використовується загальне штучне освітлення. Розрахунок його здійснюється за методом світлового потоку.

Розрахунок штучного освітлення проведемо для кімнати площею 20 м2, ширина якої складає 5м, довжина – 4м, висота – 3м.

Для визначення потрібної кількості світильників, які повинні забезпечити нормований рівень освітленості, визначимо світловий потік, що падає на робочу поверхню за формулою:

$$F = \frac{E \cdot K \cdot S \cdot Z}{\eta}, \qquad (4.1)$$

де, F – світловий потік, що розраховується, Лм; E – нормована мінімальна освітленість, Лк; E = 300 Лк; S – площа освітлюваного приміщення (у нашому випадку S=20м^2); Z – відношення середньої освітленості до мінімальної (зазвичай приймається рівним 1,1... 1,2, в нашому випадку Z =1,1); K – коефіцієнт запасу, що враховує зменшення світлового потоку лампи в результаті забруднення світильників в процесі експлуатації (його значення залежить від типу приміщення і характеру робіт, що проводяться в ньому, в нашому випадку K = 1,5); η – коефіцієнт використання світлового потоку, (виражається відношенням світлового потоку, що падає на розрахункову поверхню, до сумарного потоку всіх ламп, і обчислюється в долях одиниці; залежить від характеристик світильника, розмірів приміщення, забарвлення стін і стелі, що характеризуються

коефіцієнтами відбиття від стін ($\rho_{ст.}$) і стелі ($\rho_{стелі}$)), значення коефіцієнтів дорівнюють $\rho_{ст}$ = 40% і $\rho_{стелі}$=60%.

Обчислимо індекс приміщення за формулою:

$$I = \frac{S}{h(A+B)}, \tag{4.2}$$

де, S – площа приміщення, S = 20м^2; h – розрахункова висота підвісу, h = 2,9 м; A – ширина приміщення, A = 4 м; B – довжина приміщення, B = 5 м.

Підставивши значення отримаємо:

$$I = \frac{20}{2{,}9(4+5)} = 0{,}77.$$

Знаючи індекс приміщення I знаходимо η =0,22 [17].

Підставимо всі значення у формулу для визначення світлового потоку F:

$$F = \frac{300 \cdot 1{,}5 \cdot 20 \cdot 1{,}1}{0{,}22} = 45000\text{Лм}.$$

Для освітлення використовуємо люмінесцентні лампи типу ЛБ 40-1, світловий потік яких $F_Л$ = 4320 Лм. Розрахуємо необхідну кількість ламп у світильниках за формулою:

$$N = \frac{F}{F_Л}, \tag{4.3}$$

де, N – кількість ламп, що визначається; F – світловий потік, F=45000 Лм; Fл – світловий потік лампи, Fл=4320 Лм.

$$N = \frac{45000}{4320} = 11.$$

В приміщенні використовуємо світильники типу ОД. Кожен світильник комплектується двома лампами. Тобто необхідно використовувати 6 світильників із 12 працюючими лампами в них.

ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

1. Проведено аналіз існуючих приладів вимірювання лінійного та кутового переміщення об`єкту спостереження та виявлено, що абсолютний перетворювач з кодуючою маскою має істотні переваги, а саме формує сигнал без лічильника імпульсів та може визначити положення кута під час перезапуску.

2. Застосування нових методів кодування для зменшення розміру диска кодера та досягнення мініатюризації об’єму кодера є важливою тенденцією розвитку фотоелектричних датчиків кута поворота. Базуючись на методі кодування та декодування матричного кодера, запропоновано модель процесу відтворення інформації за допомогою програмного забезпечення MATLAB.

3. Кодування структури забезпечує генерацію фотодетекторами двійкового коду Грея, перевага якого полягає в зміні лише одного розряду при переході в послідовному рахунку від одного числа до іншого. Результати моделювання схеми підсилення напруги та формування цифрового імпульсу, в електронносу середовищі Proteus підтверджують результати розрахунків.

4. Перетворення коду Грея в двійковий код відбувається за допомогою мікросхеми КМОП 4070, яка виконує функцію «виключне або». Для двійково-десяткового відображення інформації розроблена схема на основі МК 74185, що реалізує функцію дешифратора. Функціонування схеми перевірено в програмі Electronic Workbench.

5. Схема розрахунку кута виконана у вигляді чотирирозрядного паралельного суматора з послідовним перенесенням на напівсуматорах, що складаються з двох елементів XOR та AND. Завдяки керуючому сигналу виконується операція суми або віднімання. Для перетворення додаткового коду, що виникає з операції віднімання меншого від більшого розроблено перетворювач додаткового коду в прямий.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. М.І. Паламар, А. В. Чайковський. Інтелектуальні оптоелектронні сенсори кута: схемотехнічні та програмно-алгоритмічні методи синтезу: Монографія / М.І. Паламар, А. В. Чайковський; ТНТУ ім. І. Пулюя. Тернопіль: вид-во "Джура", 2015. 144 с. ISBN 978-966-185-123-7.

2. Касаткіна І.В., Бойко С.М., Жуков О.А. Вимірювальні системи сучасних електромеханічних комплексів: навч. посіб. Кривий Ріг, 2022. 161 с.

3. Паламар М.І., Чайковський А. В. Інтелектуальні оптоелектронні сенсори кута: схемотехнічні та програмноалгоритмічні методи синтезу: монографія. Тернопіль: вид. Джура, 2015. 144 с.

4. How rotary encoder works and how to use it with arduino.

URL:https://howtomechatronics.com/tutorials/arduino/rotary-encoder-works-usearduino/

5. Liming Geng. A 19-Bit Small Absolute Matrix Encoder. Mechanical Engineering Faculty, Changchun University of Science and Technology, Changchun 130022. Sensors 2024, 24(5), 1400; https://doi.org/10.3390/s24051400

6 .Енкодери і вимірювальні системи

URL:http://www.servotechnica.ua/catalog/type/index.pl?id=118

(дата звернення 12.12.2024)

7. Всебічне дослідження методів вимірювання та оцінки кута атаки в БПЛА

URL:https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1000936119304078

8. Інтелектуальні оптоелектронні сенсори кута : схемотехнічні та програмно-алгоритмічні методи синтезу: Монографія / М.І. Паламар, А. В. Чайковський; ТНТУ ім. І. Пулюя. Тернопіль: вид-во "Джура", 2015. 144 с.

9. Чайковський А. В. Паламар М.І. Вибір способу кодування кодового диска давачів кута // Обчислювальні методи і системи перетворення

інформації: зб. пр. ІІ-ї наук.-тех. конф., Львів, 4-5 жовтня 2012 р. Львів: ФМІ НАНУ, 2012. С. 249-252.

10. Хорунжий В.А. Функціональна мікроелектроніка: Харків: Основа, 1995. 136 с.4. Трифонова О. М., Хомутенко М. В., Садовий М. І. Автоматизовані системи програмних навчальних комплексів: навч. посіб. Кропивницький: 2019. 120 с.

11. Виноградов Є.Д. Методика проєктування оптоелектронної системи визначення кута повороту слідкуючого пристрою: тези доп. міжнар. наук.-практ. конф., м. Запоріжжя, 9-10 трав. 2024 р. Запоріжжя 2024.

12. Цифрова та імпульсна схемотехніка. Моделювання та аналіз. Електронний навчальний посібник / В.В. Макаренко, В.М. Співак. К.: НТУУ "КПІ", 2015. 314 с.

13. Цифрова схемотехніка. Частина 2. Електронні пристрої і системи: навчальний посібник / Й. Й. Білинський, П. М. Ратушний, А. О. Мельничук. – Вінниця : ВНТУ, 2017. 171 с.

14. Конспект лекцій з дисципліни "Цифрова схемотехніка" для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня зі спеціальностей 171 «Електроніка» та 153 «Мікро-та наносистемна техніка»; / Багрій В.В. Кам'янське; ДДТУ, 2019. 238 с.

15. Цифрова схемотехніка. Підручник для студентів технічних вузів і коледжів / Укл.: Л.Л. Верьовкін, М.В. Світанько, Є.М. Кісельов, С.Л. Хрипко. Запоріжжя. Видавництво ЗДІА. 2016. 214 с.

16. Швець, Є. Я. Техніко-економічне обґрунтування проектно-конструкторських робіт. Методичні вказівки до самостійної роботи та виконання дипломних і контрольних робіт [Текст] / Є. Я Швець, О. П. Головко. Запоріжжя: 2010.

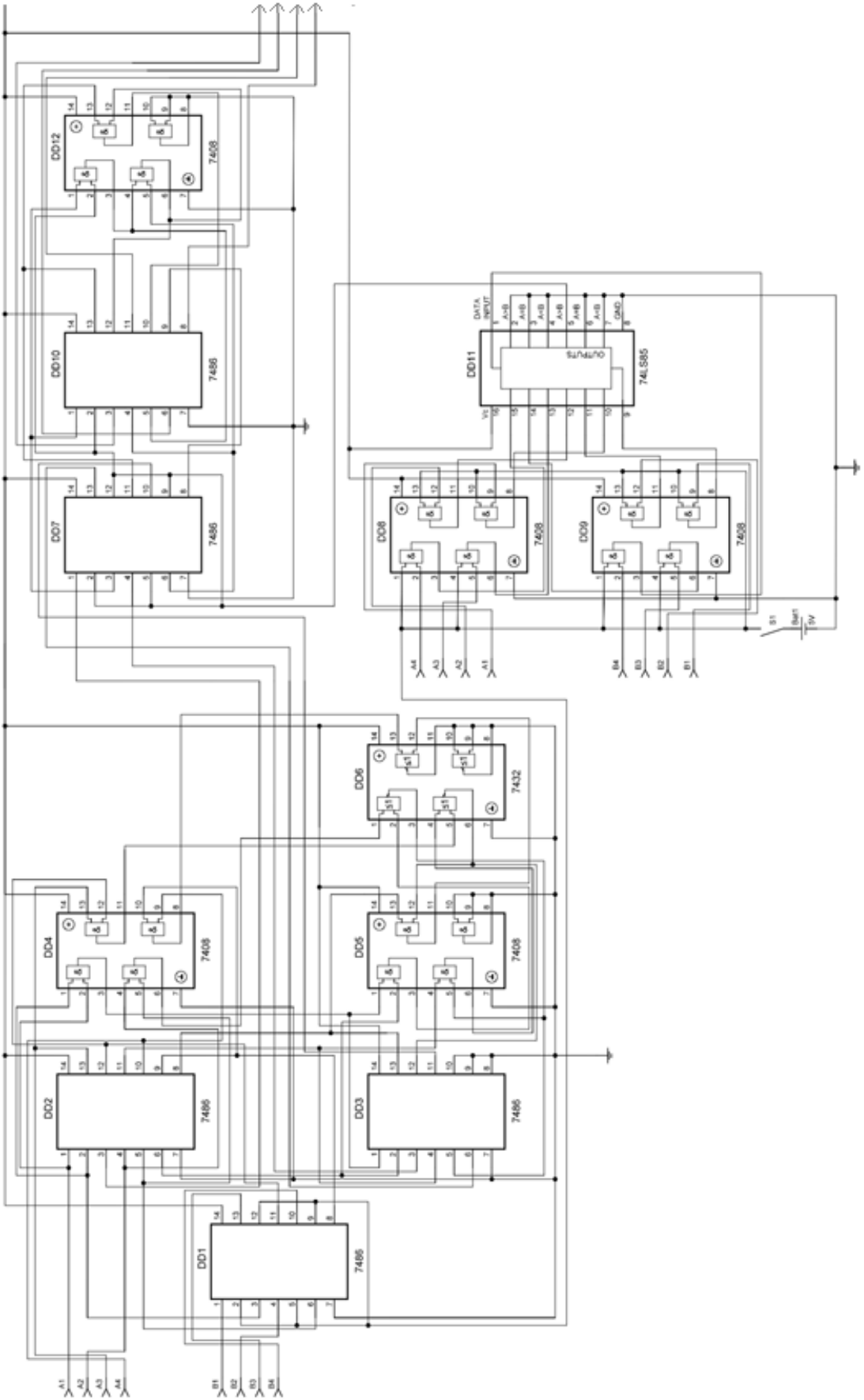
17. Сакун М. М., Москалюк І. В. Основи охорони праці: навч.-метод. посіб. Херсон: Южполіграфсервис, 2013. 67 с.

18. Кодекс Цивільного захисту України із змінами: Відомості Верховної Ради України. 2015. № 14. с. 96.

19. Голінько В.І., Алексеєнко С.О., Кременчуцький М.Ф. Безпека людини у надзвичайних ситуаціях: навч. посібник / за ред. В.І. Голінька. Дніпропетровськ: НГУ, 2004. 160 с.

20. Грибан В.Г., Негодченко О.В. Охорона праці: навч. посіб. Київ: ЦУЛ, 2020. 280 с.

ДОДАТОК А


DD12
7408
DD10
7486
DD7
7486
DD11
74LS85
DD8
7408
DD9
7408
DD6
7432
DD4
7408
DD5
7408
DD2
7486
DD3
7486
DD1
7486
A1
A2
A3
A4
B1
B2
B3
B4
5V

УДК 621.3

Виноградов Євгеній Дмитрович,
здобувач вищої освіти І освітнього рівня «магістр»,
кафедра електроніки, інформаційних систем
та програмного забезпечення,
Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю. М. Потебні
Запорізького національного університету
Ніконова Аліна Олександрівна,
к. т. н., доцент, доцент кафедри електроніки,
інформаційних систем та програмного забезпечення,
Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю. М. Потебні
Запорізького національного університету

МЕТОДИКА ПРОЄКТУВАННЯ ОПТОЕЛЕКТРОННОЇ СИСТЕМИ ВИЗНАЧЕННЯ КУТА ПОВОРОТУ СЛІДКУЮЧОГО ПРИСТРОЮ

Актуальність дослідження. Одним з основних функціональних елементів сучасних автоматизованих систем керування об'єктами є датчик кута повороту (ДКП). Вони широко використовуються в авіації, робототехніці, медицині, навігаційному обладнанні та ін. Важливою перевагою таких датчиків є їх універсальність, тобто можливість побудови типових вузлів контролю майже всіх видів переміщень як кутових, так і лінійних. Створення високоточних і швидкодіючих оптоелектронних датчиків кута потребує не тільки врахування особливостей оптоелектронного зчитування кодового диска, а й удосконалення методів опрацювання вимірювальної інформації.

Аналіз останніх досліджень. Особливий клас таких сенсорів створюють оптоелектронні датчики, в яких просторове переміщення перетворюється в електричний цифровий чи аналоговий сигнал за допомогою фотоприймачів спеціальної форми та побудови. Основними перевагами таких сенсорів є:

– відсутність тертя в контактній системі, що забезпечує тривалий термін експлуатації та стабільність вимірювальних характеристик;

– можливість вимірювання абсолютних значень кутів повороту виконуючих механізмів;

– стійкість до впливу механічних та кліматичних факторів;

– відносна простота організації резервних каналів для підвищення надійності;

– можливість повної гальванічної ізоляції високоточної вимірювальної ланки від високоенергетичного приводу.

Результати дослідження. Датчики, у яких кут повороту об'єкта перетворюється у абсолютний чи інкрементний цифровий код, пропорційний куту повороту, зарекомендували себе в медичних технологіях терапевтичного та діагностичного обладнання протягом багатьох років. Вони досить різні за будовою та працюють у інкрементному режимі (вимірюють відносний кут повороту вала), у режимі абсолютного відліку кута повороту або у їх комбінації.

Функціональна схема двоканального датчика показана на рис. 1.

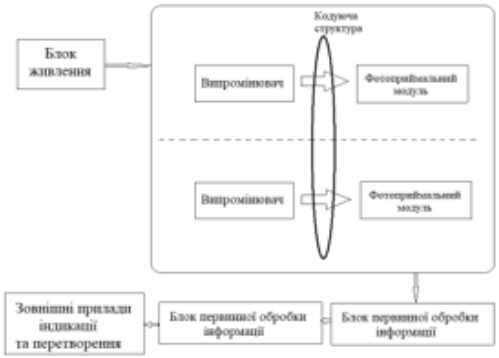


Рисунок 1 - Узагальнена схема двоканального оптоелектронного датчика кута повороту

Кодуюча структура (КС) є просторовоюперіодичною структурою, що зберігає одиницю вимірюваної величини, і може бути виконана у вигляді лінійної або кругової шкали, растра, дифракційної решітки або голограми.

Фотоприймальний модуль (ФПМ) перетворює оптичні сигнали, утворені в результаті проходження випромінювання через КС, в електричні і може містити кілька приймачів оптичного випромінювання (ПОВ).Система первинної обробки інформації СПОІ, як правило, містить електронну схему попередньої обробки вимірювального електричного сигналу (попередній підсилювач і електронний фільтр).Система вторинної обробки інформації СВОІ остаточно перетворює отриману інформацію про переміщення в форму (код або аналоговий сигнал), зручну для сприйняття оператором або використання в вимірювальних системах.

Для однозначного визначення положення диска кодова доріжка має бути побудована так, щоб довільна послідовність символів, що проектується на ОБФП зустрічалася лише раз для всієї доріжки.

У найпростішому методу кодування бінарний код формується за допомогою імпульсного кодування: символ 0 зображують непрозорим сектором, символ 1 – прозорим (рис. 2а). Недоліком такого кодування є відсутність властивості самосинхронізації, а тому воно непридатне для побудови кодової доріжки. Кодом із самосинхронізацією є манчестерське кодування, за яким 0 кодується переходом від непрозорого до прозорого сектора, а 1 – переходом від прозорого до непрозорого сектора (рис.2б). Недоліком манчестерського кодування є неможливість встановлення бітової синхронізації для зображення послідовності однакових бітів та обмеження алфавіту лише до двох символів.

Широтно-імпульсне кодування, при якому кожний символ займає однакову ширину і кодується за допомогою прозорої та непрозорої смуги, а інформативним параметром є співвідношення між їхніми ширинами дає змогу надійно виявляти окремі символи і визначати їхнє положення, однак порівняно з

імпульсним кодуванням вдвічі збільшує просторову частоту кодової доріжки (кожний символ кодується двома смугами) (рис.2в).

За допомогою частотно-імпульсного кодування символи кодують темними смугами різної ширини, що відділені одна від одної світлими смугами одиничної ширини (рис. 2г). Перевагою даного методу є високе заповнення кодової доріжки непрозорими смугами, а отже висока стійкість до забруднень.

Підвищити щільність запису можна відмовившись від смугороздільників. Для цього слід чергувати прозорі та непрозорі смуги, а символи класифікувати, виходячи лише з їхньої ширини (рис. 2д). Такий метод запису має назву широтне кодування[2].

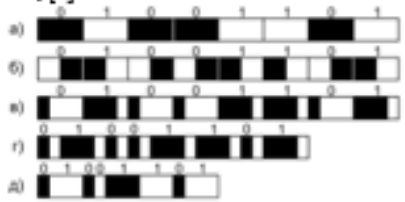


Рисунок 2 – Методи кодування

Висновки та рекомендації. У процесі розроблення, виготовлення та дослідження експериментальних зразків сенсорів встановлені такі вимоги до методу подання послідовності на кодовій доріжці:

• самосинхронізація – має існувати можливість встановлення меж символів кодової доріжки;

• максимальна ширина – ширина символів має бути такою, щоб довільний фрагмент доріжки, що проектується на ОБФП, зустрічався лише раз для всієї кодової послідовності;

• мінімальна ширина – найдрібніші елементи кодування символу мають бути ширшими за роздільну здатність оптичної системи, яка визначається розмірами пікселя фотоматриці та розмиттям тіней секторів;

• різниця ширини секторів має бути більшою за невизначеність вимірювання ширини тіні;

• максимальне заповнення непрозорими секторами – оскільки забруднення прозорої ділянки доріжки може спричинити похибку розпізнавання символу, то для підвищення надійності варто максимізувати коефіцієнт заповнення доріжки непрозорими ділянками.

Список використаних джерел

1. Інтелектуальні оптоелектронні сенсори кута : схемотехнічні та програмно-алгоритмічні методи синтезу: Монографія / М.І. Паламар, А. В. Чайковський; ТНТУ ім. І. Пулюя. Тернопіль: вид-во "Джура", 2015. 144 с.

2. Чайковський А. В. Паламар М.І. Вибір способу кодування кодового диска давачів кута // Обчислювальні методи і системи перетворення інформації: зб. пр. II-і наук.-тех. конф., Львів, 4-5 жовтня 2012 р. Львів: ФМІ НАНУ, 2012. С. 249-252.