

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кафедра електроніки і комп'ютерної техніки

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до випускної кваліфікаційної роботи магістра на тему:
«Інтерактивна сенсорна система для моніторів»

Завідувач кафедри:

А. С. Опанасюк

Керівник

кваліфікаційної роботи:

А. С. Опанасюк

Консультант

з техніко-економічної частини:

О. М. Маценко

Виконав студент

гр. ЕС.м-91:

О. А. Кондратенко

Суми 2020 р.

Сумський державний університет
Кафедра «Електроніки і комп'ютерної техніки»
Спеціальність 171 «Електроніка»
Освітня програма «Електронні системи та компоненти»

Затверджую:
Зав.кафедрою ЕКТ
Опанасюк А.С.
„_____” _____ 2020 р.

ЗАВДАННЯ

до випускної кваліфікаційної роботи магістра

Кондратенко Олександр Анатолійович

Тема роботи : «**Інтерактивна сенсорна система для моніторів**»

Затверджена наказом по університету від “6” листопада 2020 р. № 1751-III

Термін виконання роботи: 15 .12. 2020 р.

Технічне завдання: розробка інтерактивного інфрачервоного сенсорного екрану, на основі вирішення наступних задач: 1) зниження хибних спрацювань сенсору; 2) підвищення чутливості та швидкодії екрану; 3) зниження енергоспоживання.

Зміст розрахунково-пояснювальної записки:

- вступ
- літературний огляд
- науково-дослідна частина
- розробка електронної схеми пристрою
- техніко-економічна частина.

Перелік графічного матеріалу: блок схема алгоритму; схема електрична структурна; схема електрична функціональна; схема електрична принципова.

Консультанти з кваліфікаційної роботи

Розділи	Консультанти	Завдання видав	Завдання прийняв
Техніко-економічна частина	Маценко О. М.		

Дата видачі завдання 20.09. 2020 р.

Керівник роботи _____

Завдання прийняв до виконання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Перелік етапів виконання роботи:	Термін виконання:
1	Огляд літератури та постановка задачі проектування	10.10. 2020 р.
2	Науково-дослідницька частина	20.10. 2020 р.
3	Розробка алгоритму функціонування	25.10. 2020 р.
4	Розробка та обґрунтування структурної схеми	30.10. 2020 р.
5	Розробка функціональної схеми	05.11. 2020 р.
6	Розробка та розрахунок принципової схеми	15.11. 2020 р.
7	Техніко-економічна частина	25.11. 2020 р.
8	Оформлення пояснювальної записки	30.11.2020 р.
9	Оформлення графічного матеріалу	10.12. 2020 р.
10	Представлення роботи на рецензування	15.12. 2020 р.

Студент _____

Керівник роботи _____

РЕФЕРАТ

Випускна кваліфікаційна робота містить 76 сторінок тексту, 9 таблиць і 29 рисунки і 4 розділи тексту.

Графічна частина роботи містить алгоритм, структурну і функціональну схеми.

У першому розділі проведений огляд літературних джерел по вибраному напрямку проектування.

У другому розділі проведена науково-дослідницька робота, проаналізовані приймачі випромінювання.

Третій розділ містить обґрунтування алгоритму функціонування і розробку структурної схеми системи.

Четвертий розділ містить розрахунок собівартості проектованої системи.

За результатами роботи зроблені висновки.

Ключові слова:

- інтерактивна система
- сенсорний екран
- інфрачервоне випромінювання

ABSTRACT

The final qualifying work contains 76 pages of text, 9 tables and 29 figures and 4 sections of text.

The graphic part of the work contains the algorithm, structural and functional diagrams.

The first section reviews the literature sources in the chosen direction of design.

In the second section research work is carried out, radiation receivers are analyzed.

The third section contains a justification of the algorithm and the development of the structural scheme of the system.

The fourth section contains the calculation of the cost of the designed system.

Based on the results of the work, conclusions are made.

Keywords:

- interactive system
- touch screen
- infrared radiation

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
1 ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД	5
1.1 Застосування сенсорних екранів в промисловості та в побуті.....	5
1.2 Типи сенсорних екранів за принципом дії	6
1.3 Особливості конструкції та роботи інфрачервоних сенсорних екранів	16
1.4 Існуючі схемотехнічні рішення для ГЧ сенсорних рамок	18
1.5 Постановка задачі проектування.....	21
2 НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА	22
2.1 Визначення і класифікація приймачів випромінювання	22
2.2 Перерахунок параметрів фотоприймачів	32
2.3 Методи вибору приймача випромінювання	39
3 РОЗРОБКА ЕЛЕКТРОНОЇ СХЕМИ ПРИСТРОЮ	44
3.1 Розробка алгоритму функціонування пристрою	44
3.2 Розробка структурної схеми пристрою	46
3.3 Розробка функціональної схеми пристрою	47
3.4 Вибір елементної бази	50
3.5 Розробка схеми електричної принципової	55
3.6 Розробка програмного забезпечення	58
4 ТЕХНІКО – ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА.....	63
4.1 Розрахунок економічного ефекту проектованого пристрою.....	63
4.1.1 Розрахунок повної собівартості розроблюваного пристрою.....	63
4.1.2 Визначення ціни приладу	67
4.1.3 Визначення річних витрат користувача.....	68
4.1.4 Розрахунок повної ціни користувача.	70
4.1.5 Оцінка конкурентоспроможності проектного приладу.	71
ВИСНОВОК.....	73
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ	74

ЕЛІТ 8.171.00.00.158 ПЗ				
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата
Розроб.		Кондратенко О.		
Перевір.				
Т. Контр.				
Н. Контр.		Гапич В.М.		
Затверд.		Опанасюк А.С.		
Інтерактивна сенсорна система для моніторів Пояснювальна записка				
		Літ.	Аркуш	Аркушів
			3	76
СумДУ, зр. ЕСМ-91				

ВСТУП

У наш час різноманітні системи введення / виведення в інформаційних системах і, в першу чергу, пристроях виведення графічної інформації відіграють важливу роль. І в цьому немає нічого дивного, оскільки практично 90% оброблюваної інформації людина отримує за допомогою зору. Саме тому різні інтуїтивно зрозумілі системи виведення графічної інформації існують вже давно. Більш складною задачею є організація введенням даних в інформаційні системи. Людині значно простіше для подачі керуючої інформації замість текстової команди типу «Об'єкт «А» перемістити в точку «В»» використовувати якийсь вказівник, дотик якого об'єкта «А» перенесе (або перетягне) його в потрібну точку «В». Таким вказівником може бути що завгодно - стилус, ручка, олівець або указка, проте набагато простіше пересунути цей об'єкт власною рукою. Саме цей підхід і лежить в основі того, що називають інтуїтивно зрозумілим інтерфейсом. Саме таку мету переслідувало створення всіляких пристроїв введення інформації, починаючи зі спеціалізованих клавіатур і закінчуючи різноманітними моделями мишок, трекболів, лазерних рукавичок і т. д. Всі ці пристрої, незважаючи на власну технологічність, досить далекі від необхідного функціонального ідеалу. Одні з них вже застаріли і не відповідають сучасним вимогам до такого роду пристроїв, інші ж випередили свій час і будуть з успіхом реалізовані на основі майбутніх технологій (наприклад, голографічні системи, 3D-монітори). Інтуїтивно зрозумілий інтерфейс є ідеальним на сьогоднішній день рішенням для побудови систем, що реалізують в максимально можливій мірі принципи інтуїтивно зрозумілого інтерфейсу, є сенсорні (тактильні) монітори та екрани. В основі цих пристроїв, незалежно від їх технологічних особливостей, лежить один і той же принцип: людина, торкаючись до потрібного об'єкту безпосередньо на екрані монітора (пальцем руки або спеціальним покажчиком), відзначає цей об'єкт аналогічно виділенню його мишкою. Потім об'єкт можна переміщати по екрану, перетягуючи його рукою (покажчиком) в потрібне місце. Створення подібних пристроїв викликало воістину революційний прорив інформаційних технологій в найрізноманітніші сфери людської діяльності. В даний час сенсорні екрани і монітори є невід'ємною частиною багатьох інформаційних систем самого різного призначення. Проте актуальною залишається задача модернізації для існуючих не сенсорних систем, так як і вдосконалення вже існуючих рішень.

					ЕліТ 8.171.00.00.158 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		4

1 ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД

1.1 Застосування сенсорних екранів в промисловості та в побуті

Стрімкий розвиток електронних технологій, а також розширення сфери їх застосування вимагають спрощення взаємодії людини і машини. У цьому можуть допомогти сенсорні екрани.

Традиційними засобами введення інформації в виконуючий пристрій (комп'ютер) є клавіатура і миша. Застосування цих пристроїв звично при роботі з офісними додатками, графікою, зображеннями, а також зручне для швидкого введення тексту. Однак в ряді випадків використання такого обладнання ускладнене, найчастіше недоцільно, а іноді і зовсім неможливо.

Наприклад, в польових умовах доводиться захищати клавіатуру і мишу від пилу, бризок і перепадів температури. У деяких випадках (наприклад, в банкоматах) потрібно більше десяти клавіш. Окрім того, в темний час доби будь-які клавіші вимагають підсвічування, а в малогабаритних інтелектуальних пристроях застосування будь-яких клавіш взагалі небажане.

Часто комп'ютер є допоміжним інструментом, наприклад, в роботі звукорежисера, лікаря або оператора електростанції. Їх робоче місце, як правило, чимось зайняте, і розміщення клавіатури стає проблемою.

Застосування традиційної клавіатури часом буває просто неможливим.

Оператору електростанції, що стежить за технологічними процесами часто на 5 і більше моніторах, вкрай незручно працювати з великим числом клавіатур, а використання лише однієї клавіатури і перемикання між екранами значно уповільнює реалізацію оперативних дій.

Застосування сенсорних екранів дозволить вирішити велику частину перерахованих проблем.

Сенсорний екран (Touch Screen) - це в загальному випадку спеціальний пристрій, який кріпиться до екрану пристрою та виконує функції визначення координат точки дотику. Функціонально в будь-якому сенсорному екрані можна виділити три частини (рис. 1.1):

					ЕЛІТ 8.171.00.00.158 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		5

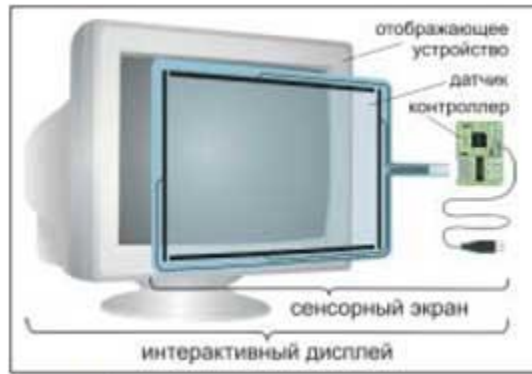


Рисунок 1.1 – Основні елементи сенсорного екрану

- сенсор (спеціальна панель або датчики);
- контролер, який керує датчиками і обчислює або готує дані для обчислення координат точки дотику;
- драйвер - програма, яка виконує необхідні перетворення даних, що надходять від контролера, проводить при необхідності додаткові обчислення і коригує роботу контролера.

Для передачі даних від контролера до комп'ютера зазвичай використовується USB або послідовний (COM) інтерфейс. Сенсорні екрани різних принципів дії можуть працювати з плоскпанельними пристроями відображення (плазмовими і рідкокристалічними панелями), проєкційними екранами (з фронтальним і зворотною проєкцією) і з екранами на основі електронно-променевої трубки (плоскими, циліндричними і сферичними).

1.2 Типи сенсорних екранів за принципом дії

Принцип дії пристрою відображення, оснащеного сенсорним екраном, в загальному випадку можна описати таким чином. На екран пристрою відображення виводиться деяка графічна інформація (наприклад, це може бути стандартний інтерфейс операційної системи або графічна оболонка інтелектуального довідкового кіоску на вокзалі). Користувач бачить зображення через прозорий сенсорний екран, що щільно прилягає до дисплею, і при необхідності доторкається до зображення в певних точках. Контролер сенсорного екрану передає інформацію с датчиків в комп'ютер, де остаточно обчислюються координати точки дотику. Далі проводиться зіставлення координат, що надійшли від контролера, с координатами програмних елементів інтерфейсу і визначається елемент інтерфейсу, який хотів вказати користувач.

					ЕЛІТ 8.171.00.00.158 ПЗ	Арк.
Зм..	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		6

Таким чином, забезпечений сенсорним екраном дисплей дозволяє без допомоги клавіатури і миші переміщати курсор, натискати на кнопки, відкривати папки, запускати програми, вводити текст за допомогою екранної клавіатури і малювати.

Завдяки можливості не тільки виводити зображення, але і вводити дані такі пристрої називають інтерактивними або інтелектуальними.

Сенсорні екрани відрізняються не тільки принципом дії, але і конструктивними особливостями. Серед різноманіття їх видів можна виділити наступні типи технологій: резистивні, ємнісні (двох типів), матричні, індуктивні, а також використовують поверхнево-акустичні хвилі (ПАР), інфрачервоне (ІЧ) випромінювання та відеокамери.

Резистивні сенсорні екрани створюються з використанням прозорої резистивної плівки. Дана технологія широко розповсюджена і в наш час. Існують чотирьох-, п'яти- і восьми-провідні резистивні сенсорні екрани. Основу конструкції чотири-провідного екрану складають дві прозорі плівки з поліестеру, майлару, пластизолу або поліетилентерефталату, що розташовані одна напроти іншої і розділені мікроскопічними кульками-ізоляторами. Внутрішні, повернені одна до іншої поверхні плівок покриті прозорим струмопровідним (резистивним) шаром на основі двоокису індію та олова (indium tin oxide - ІТО). Для визначеності назовемо один з резистивних шарів тиловим, а інший, розташований ближче до користувача, фронтальним (рис. 1.2).

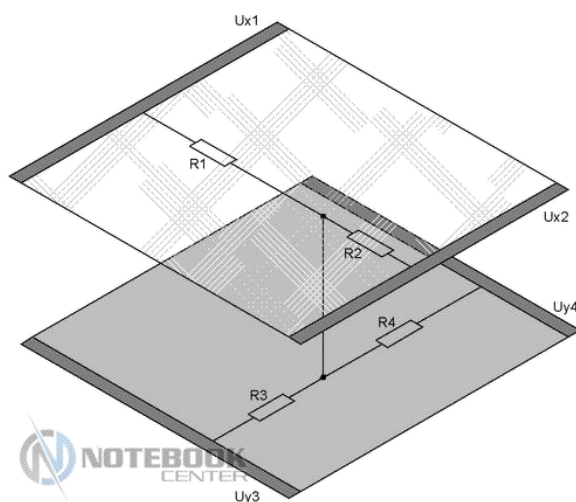


Рисунок 1.2 – Структура резистивного сенсорного екрану

Контакт з цими шарами забезпечується за допомогою двох пар металізованих смужок-електродів. Перша пара розташована вертикально по

краях тилового шару, а друга - горизонтально по краях фронтального шару. Всі чотири електроди підключені до мікроконтролера, який послідовно визначає координати точки дотику по горизонталі і вертикалі.

Робота контролера в першому випадку виглядає приблизно наступним чином. На вертикальні електроди тилового резистивного шару подається постійна напруга і від одного електрода до іншого протікає деякий струм. При цьому на кожній горизонтальній ділянці тилового резистивного шару струм створює падіння напруги, пропорційне довжині ділянки.

При доторканні до екрану (рис. 1.3) фронтальний резистивний шар деформується і стосується заднього шару. У цьому випадку фронтальний шар відіграє роль щупа, що визначає напругу на тиловому шарі в точці дотику. Горизонтальні електроди фронтального шару замикаються мікроконтролером накоротко (для зменшення впливу опору переднього резистивного шару), і сумарний сигнал надходить через буферний каскад, який має великий вхідний опір, на аналогово-цифровий перетворювач (АЦП). Напруга на вході АЦП визначає положення точки дотику по горизонталі.

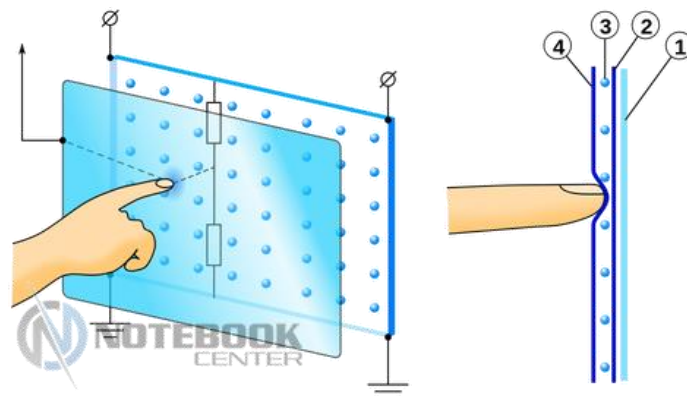


Рисунок 1.3 – Принцип роботи резистивного сенсорного екрану

Для визначення координати по вертикалі фронтальний і тильовий резистивні шари "міняються місцями": на горизонтальні електроди фронтального шару мікроконтролер подає постійну напругу, а електроди тилового шару замикає (цей шар використовується як щуп). Визначення координат точки дотику проводиться мікроконтролером з високою швидкістю - понад сто раз в секунду. Слабкою ланкою 4-проводового екрану є передня плівка з поліестеру. Багаторазові деформації призводять до руйнування провідного шару, в результаті чого зменшується точність визначення

координат. Виробники гарантують стабільну роботу пристрою при кількості натискань в одній точці до мільйона.

Восьми-провідні екрани відрізняються від чотирьох-провідних незначним чином: для підвищення точності визначення координат введені чотири додаткових провідника, які з'єднані з тими ж самими двома парами металізованих електродів, розташованих по краях струмопровідних покриттів. Однак надійність екрану в цілому це не збільшує.

На відміну від двох попередніх, чотири- і восьми-провідного екранів, п'яти-провідний резистивний екран має покращені характеристики. Фронтальне резистивне покриття, що піддається деформації при натисненні, замінене на струмопровідне і використовується виключно в якості щупа. А тилове резистивне покриття наноситься не на плівку поліестеру, а на скло. Тому до назви п'яти-провідних екранів часто додають аббревіатуру FG (Film on Glass). Чотири електроди, які утворюють створюють горизонтальний та вертикальний градієнти напружень, розташовані на тиловому резистивному шарі. П'ятий електрод є відведенням від фронтального провідного шару-щупа. Пошкодження цього шару при деформації практично не впливає на точність визначення координат, тому такі екрани є більш надійними. За розрахунками, вони витримують до 35 млн натиснень в одній точці.

Резистивна технологія дозволяє визначати координати точки дотику з високою точністю. Теоретично застосування 12-розрядних АЦП дозволяє розрізняти 4096 рівнів напруги або стільки ж точок по горизонталі або вертикалі. На практиці роздільна здатність вдвічі нижче, однак цього цілком достатньо при використанні резистивного екрану, наприклад, для малювання або ведення записів в електронному блокноті.

Наявність у резистивних екранів принципово непереборних недоліків, які звужують сферу їх застосування, стимулювало розвиток інших типів сенсорних пристроїв. Наприклад, дуже широкого поширення набули ємнісні екрани.

Ємнісні екрани з'явилися пізніше резистивних, але встигли набути широкого поширення завдяки перевагам технології, покладених в їхню основу. Визначення координат точки дотику в ємнісних екранах здійснюється, в першу чергу, завдяки особливостям фізичної будови тіла людини: здатності проводити електричний струм і що впливає з цього - наявності певної електричної ємності.

					ЕліТ 8.171.00.00.158 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		9

Ємнісний екран влаштований наступним чином. На міцне скло, що служить основою конструкції, нанесений резистивний шар, з'єднаний з чотирма електродами, розташованими по кутах екрана (рис. 1.4).

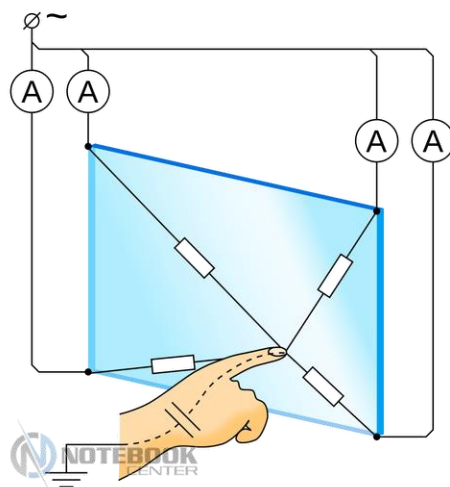


Рисунок 1.4 – Принцип роботи ємнісного сенсорного екрану

Для захисту від пошкоджень цей шар зовні покритий тонкою плівкою спеціального струмопровідного матеріалу. Всі чотири електроди підключені до мікроконтролера, який визначає координати точки дотику, порівнюючи або зміни напруги на чотирьох датчиках струму, або частоти чотирьох ідентичних генераторів, в яких частотозадаючі RC-ланцюжки шунтовані змінними ємностями електродів екрану.

У першому випадку через прецизійні резистори рівних номіналів, які служать датчиками струму, мікропроцесор подає на всі чотири електрода деяку напругу. У підсумку всі чотири електроди панелі мають однаковий електричний потенціал, тому струм не тече і не створює на датчиках струму падіння напруги. Коли до струмопровідного екрану доторкається людина, стан рівноваги змінюється. Причиною цього є те, що тіло людини проводить струм, а тому зазвичай має потенціал землі - нульовий (амплітуда мережевих і високочастотних наведень дуже мала). При доторканні пальцем або струмопровідним предметом сенсорного екрану на провідному шарі з'являється точка, потенціал якої менше, ніж у чотирьох електродів, тому виникає електричний струм. Він тече від джерела живлення, через датчики струму, ділянки резистивного покриття і тіло людини. Чим ближче точка дотику до електроду, тим менше ділянка резистивного покриття, а значить, менше опір цієї ділянки, і відповідно більша амплітуда струму.

Для перетворення струму в напругу служать прецизійні резистори, сигнали з яких подаються на чотири окремих аналогово-цифрових перетворювача (АЦП). Порівняння сигналів на виходах цих АЦП дозволяє визначити координати точки дотику.

Точність ємнісних екранів прирівнюється до точності резистивних екранів. Менша кількість шарів робить їх більш прозорими (до 90%). Відсутність елементів, що піддаються деформації, збільшує надійність - такі екрани допускають більш 200 млн натискань в одну точку і дозволяють працювати при досить низьких температурах (до -15°C). Однак передне провідне покриття, яка бере участь у визначенні координат, "боїться" механічних пошкоджень, вологи (конденсату) та будь-яких струмопровідних забруднень екрану.

Недоліками ємнісних екранів можна вважати, по-перше, необхідність доторкання тільки струмопровідним предметом (пальцем або спеціальним стилусом), а по-друге, те, що користувач повинен мати досить гарний контакт з "землею", інакше після декількох доторкань він набуває потенціалу екрану, і в роботі мікроконтролера починаються перебої.

Більшості зазначених вище недоліків позбавлений інший вид ємнісних екранів, які називаються проекційно-ємнісними, або поверхнево-ємнісними. У їх конструкції використовуються дві системи з вертикальних і горизонтальних електродів, що добре проводять струм, ізолюваних один від одного шаром скла і які утворюють решітку (рис. 1.5).

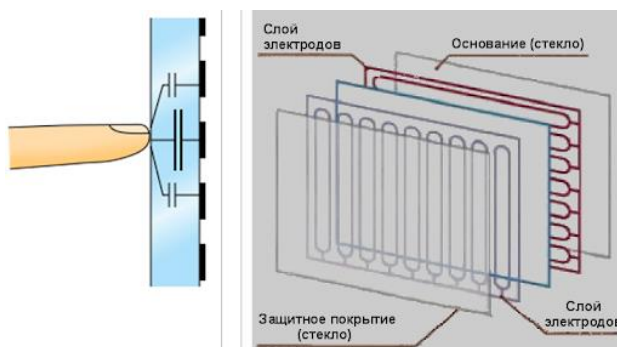


Рисунок 1.5 – Принцип роботи проекційно-ємнісного сенсорного екрану

Кожен електрод, будучи провідником, має певну електричну ємність. Можна сказати, що в даному випадку доводиться мати справу зі своєрідним конденсатором, однією обкладкою якого є сам електрод, а інший - будь-який струмопровідний предмет (наприклад, рука людини).

Усі горизонтальні електроди (як і всі вертикальні) мають однакові розміри, форму і провідність, тому при відсутності поблизу екрану струмопровідних предметів їх ємності приблизно рівні.

Мікроконтролер послідовно подає на кожен з електродів імпульс напруги і вимірює амплітуду виникаючого імпульсу струму, яким заряджається згаданий "конденсатор". При піднесенні до екрану струмопровідного предмета (наприклад, пальця) ємність електродів змінюється.

Чим ближче електрод до струмопровідного предмету, тим більше його ємність, оскільки ємність обернено пропорційна відстані між обкладинками. А чим більше ємність електрода, тим більше імпульс заряджаючого струму. Мікроконтролер порівнює ці імпульси і знаходить електрод, який має максимальну ємність, - це і є координата точки дотику.

Резистивні і ємнісні екрани в даний час отримали дуже широке поширення. Однак існують ситуації, коли більш зручними в застосуванні будуть інші типи відображають пристроїв.

Матричні сенсорні екрани дуже схожі за конструкцією на екрани резистивні; тільки замість суцільних резистивних шарів використовуються горизонтальні і вертикальні прозорі струмопровідні смуги. При доторканні екрану передня плівка деформується, і вертикальна смуга доторкається горизонтальної. Наявність замикання фіксується мікроконтролером. Розташування всіх електродів на площині відомо, а тому перетин замкнутих електродів однозначно визначає точку дотику екрану.

Основний недолік даного пристрою - дуже низька роздільна здатність, близько 10 ліній на дюйм. Головна їх перевага - найнижча вартість серед усіх сенсорних екранів. Надійність матричних екранів вище, ніж резистивних, так як навіть при порушенні провідного шару (зміні опору) мікроконтролер визначить наявність замикання між електродами і вирахує координати точки дотику точно. Матричні екрани застосовуються в тих випадках, коли потрібний дешевий екран, а програма-додаток допускає низьку точність вказівки.

Сенсорні екрани, які використовують **поверхневі акустичні хвилі** (surface acoustic wave, SAW), мають досить складну конструкцію (рис. 1.6).

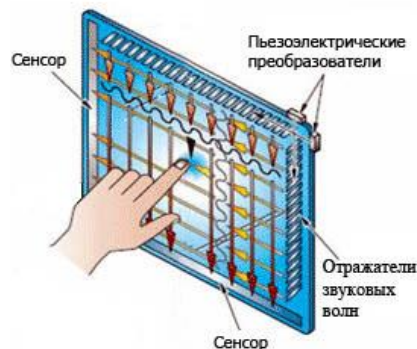


Рисунок 1.6 – Сенсорний екран на основі поверхневих акустичних хвиль

У кутах міцної скляної підставки, яка є основою конструкції, знаходяться п'єзоелектричні випромінювачі, що генерують ультразвук (5 МГц). По периметру екрану розташовані масиви відбивачів, завдяки яким акустична хвиля поширюється по всій поверхні екрану і фіксується п'єзоелектричними приймачами. При доторканні екрану пальцем частина енергії акустичних хвиль поглинається. Приймачі фіксують цю зміну, а мікроконтролер обчислює положення точки дотику. Точність цих екранів вище, ніж матричних, але нижче, ніж традиційних ємнісних.

Головною перевагою екрана на поверхневих акустичних хвилях є можливість відслідковувати не тільки координати точки, а й силу натискання, завдяки тому, що ступінь поглинання акустичних хвиль залежить від величини тиску в точці дотику. Цей пристрій має дуже високу прозорість, так як світло від пристрою відображення проходить через скло, що не містить резистивних або струмопровідних покриттів. У деяких випадках для боротьби з відблисками скло взагалі не використовується, а випромінювачі, приймачі і відбивачі кріпляться безпосередньо до екрана пристрою відображення.

Головним недоліком екрана на поверхнево-акустичних хвилях є збої в роботі при наявності вібрації або при впливі акустичними шумами, а також при забрудненні екрана. Будь-який сторонній предмет, розміщений на екрані, повністю блокує його роботу. Крім того, дана технологія вимагає торкання предметом, який обов'язково поглинає акустичні хвилі, - тобто, наприклад, пластикова банківська картка в даному випадку не застосовується.

Для роботи з великими відображають пристроями також використовується технологія **DViT** (Digital Vision Touch) фірми Smart Technologies. Сенсорний екран є лист поліестеру, укладений в прямокутну рамку. По кутах рамки знаходяться мініатюрні відеокамери, які формують зображення поверхні екрану.

						ЕліТ 8.171.00.00.158 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата			13

Для обчислення координат точки дотику математично досить двох камер, розташованих в сусідніх кутах. Однак для підвищення точності часто використовуються чотири камери. Для захисту екрану відображую чого пристрою (наприклад, рідкокристалічної панелі) застосовується лист поліестеру. Він не містить резистивних або провідних шарів, тому не спотворює передачу кольору дисплея і має високу прозорість (до 95%). Точності обчислення координат досить для малювання та введення написів. Ця технологія призначена для застосування в освітніх установах, при проведенні конференцій і презентацій. Сенсорна накладка може використовуватися з матричними дисплеями і проєкційними пристроями відображення, що формують зображення великого розміру. У комплекті з екраном може поставлятися лоток з "кольоровими" електронними перами для малювання та ластиком. Колір використовуваного пера або наявність на екрані гумки визначається або за допомогою датчиків лотка, які фіксують відсутність інструменту, або за допомогою відеокамер. Це дуже зручно, так як вибір кольору написів і перехід в режим стирання здійснюються автоматично.

Для переносних електронних пристроїв, наприклад планшетів, MP3-плеєрів, мобільних телефонів і кишенькових персональних комп'ютерів, сенсорний екран є життєво необхідним компонентом для користувача інтерфейсу. З огляду на габарити, наявність батарейного живлення і особливості експлуатації перерахованих вище пристроїв, ясно, що з описаних вище технологій підходять тільки резистивні і емнісно-проєкційні екрани. Обидві технології мають загальні недоліки. По-перше, сенсорні панелі розташовуються перед екраном, а тому зменшують яскравість і контраст, спотворюють кольору. По-друге, функціональність (кількість виконуваних дій) цих пристроїв нижче, ніж у традиційної миші. Наприклад, застосування резистивного екрану в ряді випадків вимагає окремої кнопки - аналога правої клавіші миші. На відміну від резистивної технології, емнісно-проєкційний екран здатний розрізняти дотик стилуса і пальця руки. Це дозволяє використовувати палець в якості аналога правої клавіші миші, що, однак, не завжди зручно.

У ряді випадків до якості зображення, відтвореного пристроєм відображення, ставлять високі вимоги. Це стосується дисплеїв, призначених для перегляду телевізійних передач, відеофільмів або для відображення ілюстративного матеріалу (слайдів і фотографій), наприклад, в художньому гуртку або фотостудії. При необхідності оснащення такого пристрою

					ЕліТ 8.171.00.00.158 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		14

сенсорним екраном кращим рішенням буде застосування інфрачервоної технології. Для визначення точки дотику використовуються дві лінійки світлодіодів, розташовані по вертикалі і по горизонталі, і дві лінійки фотодіодів, розташовані на протилежних сторонах екрану (рис. 1.7).

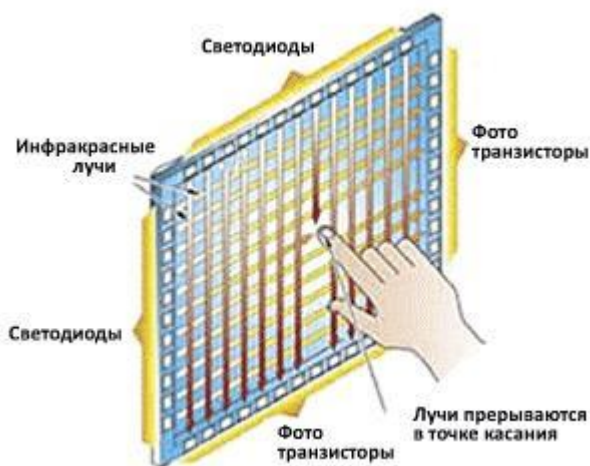


Рисунок 1.7 – Інфрачервоний сенсорний екран

Кожному світлодіоду відповідає свій фотодіод. Працює така оптична пара наступним чином. При подачі напруги на світлодіод він випромінює невидиме для людини інфрачервоне світло в межах дуже невеликого тілесного кута, щоб потрапити на "свій" фотодіод і "не зачепити" сусідні. Будь-яка перешкода (наприклад, що стосується екрану палець руки), частково або повністю перекриває світловий промінь, призводить до зменшення або припинення електричного струму через відповідний фотодіод. Ця зміна фіксується мікроконтролером, дозволяючи обчислити координати торкання з високою точністю. Зазвичай світлодіод (і відповідно фотодіод) в лінійці має розміри близько 2,5 мм, тобто на кожен квадратний сантиметр панелі доводиться чотири горизонтальних і чотири вертикальних скануючих променя. Однак механізми інтерполяції, що використовуються мікроконтролером, дозволяють обчислювати положення перешкоди з більшою точністю. Інфрачервоний сенсорний екран виконаний у вигляді рамки, яка не має скла або прозорих плівок. Тому зміна яскравості, контрасту і кольору зображення, а також поява додаткових відблисків виключені, що є безперечною перевагою екрану.

Інфрачервона технологія не позбавлена недоліків. Застосування в якості пристрою відображення рідкокристалічних панелей небажано, так як дотик їх поверхні може привести до пошкодження TFT-транзисторів і появи "мертвих"

точок (які завжди або включені, або вимкнені). Рамка сенсорного екрану часто не прилягає до екрану дисплея впритул, а знаходиться на деякій відстані, при цьому внаслідок паралакса стають помітними помилки визначення координат по кутах. Пристрій має невисоку надійність, що пов'язано, по-перше, з невеликим терміном служби ІЧ-світлодіодів, а по-друге, з особливостями конструкції - оптопари бояться пилу, забруднень і конденсату. Попадання прямого сонячного світла викликає збої в роботі. Крім того, такі екрани мають найвищу вартість. Застосовуються ІЧ-екрани зазвичай в освітніх установах (як інтерактивних панелей великого розміру) і в ігрових автоматах.

1.3 Особливості конструкції та роботи інфрачервоних сенсорних екранів

Інфрачервоні сенсорні панелі винайшли в сімдесятих роках минулого століття. Винахідник інфрачервоних сенсорних екранів - Дональд Бітцер.

Види інфрачервоних сенсорних екранів. Існують два різновиди інфрачервоних сенсорних панелей: сенсорна рамка і рамка зі склом.

Інфрачервона сенсорна рамка без скла. Панель кріпиться поверх будь-якого пристрою, що відтворює відеосигнал: телевізор, монітор або відеопанель. Головна перевага інфрачервоної рамки без скла - якість картинки: передача кольору не спотворюється, зберігається чіткість картинки, і відсутні відблиски.

Інфрачервоний сенсорний екран зі склом. У тому випадку, якщо небажано доторкатися до поверхні пристрою відображення, то її закривають склом. Захисне скло в такому випадку буде виступати елементом, що підвищує жорсткість конструкції і міцність інфрачервоного сенсорного екрану.

Захищені інфрачервоні сенсорні екрани. Випускаються антивандальні інфрачервоні панелі, які мають захист: від подряпин, від світлових перешкод, від електромагнітних перешкод, від пилу, від вологи.

Особливості та переваги ІЧ сенсорних екранів. Одною з ключових особливостей і переваг ІЧ сенсорних екранів є їхні великі розміри. Незалежно від того, йдеться про ІЧ сенсорну рамку або захищений ІЧ-екран, вони бувають різних розмірів, в тому числі і великих, до 300 дюймів. Великі сенсорні екрани з великими діагоналями використовуються для проведення презентацій, уроків, демонстрацій, на виставках, в ситуаційних центрах. У широкоформатних сенсорних екранів є один недолік - оптичний паралакс. На дисплеях більше сорока дюймів повітряний зазор досягає 10 мм. А інфрачервоні сенсорні панелі - без повітряного зазору, і у них немає цього ефекту.

					ЕЛІТ 8.171.00.00.158 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		16

Переваги інфрачервоних сенсорних екранів:

- Інфрачервоні екрани не вимагають додаткового покриття у вигляді напилення або плівок, тому показують чітке і яскраве зображення.
- Сенсорними екранами по інфрачервоної технології можна користуватися в рукавичках, мокрими руками, вони відгукуються на дотик будь-яким непрозорим предметом: ручкою, стилусом, пластиковою карткою.
- Нечутливі до ударів і вібрації.
- Легко монтувати великі екрани, наприклад, відео стіни до 500 дюймів по діагоналі.
- Сенсорна рамка відокремлена від монітора, це забезпечує високу ремонтпридатність.
- Невибагливі до освітлення, можна користуватися навіть під прямими сонячними променями.
- Короткий час відклику.
- Відпрацьовують до 40 одночасних точок дотику.
- Зносостійкі, вандалостійкі.
- В процесі експлуатації не вимагають калібрування.
- Ці дисплеї не вимагають тиску на контактну поверхню, тому довговічні, їх ресурс за кількістю натискань нескінченний.
- Відсутній паралакс, в тому числі і на великих екранах.
- Повна підтримка протоколу TUIO.
- Підтримка технології Plug and Play.
- Інфрачервоні сенсорні системи монтуються на будь-який дисплей без його розбирання.

Існуючі промислові зразки інфрачервоних сенсорних екранів.

Промисловість виробляє інфрачервоні сенсорні екрани розміром до 46 дюймів і інфрачервоні сенсорні рамки з діагоналями до 500 дюймів, кількість одночасних дотиків - від 2 до 40. Живлення - від USB.

Якщо діагональ інфрачервоної рамки менше 75 дюймів, то рамка складається з 4 планок. Рамки з діагоналлю більше 75 дюймів складаються з 6 частин.

Як приклад розглянемо інфрачервону сенсорну панель KeeTouch 17" (рис. 1.7), що випускається промислово. Розглянемо основні характеристики панелі.

					ЕліТ 8.171.00.00.158 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		17



Рисунок 1.8 – Інфрачервона сенсорна панель KeeTouch 17"

Основні характеристики:

Роздільна здатність екрану 1024 x 768

Активна область 342 мм x 274 мм

Прозорість:> 95%

Час відклику: 16мс

Робоча напруга: 4.5 - 5.5V

Робочий струм: 180mA

Реакція на натискання: Будь-який предмет більше 3-4мм

Термін служби:> 5 років

1.4 Існуючі схемотехнічні рішення для ІЧ сенсорних рамок

Незважаючи на те, що технологія інфрачервоних сенсорних екранів відома вже понад пів століття, схемотехнічні рішення для даних пристроїв постійно оновлюються і вдосконалюються.

Узагальнена структурна схема інфрачервоної сенсорної рамки представлена на рисунку 1.9. Пристрій складається з мікроконтролера, що виконує функцію системи керування, до якого приєднаний масив світлодіодів та фотоприймачів.

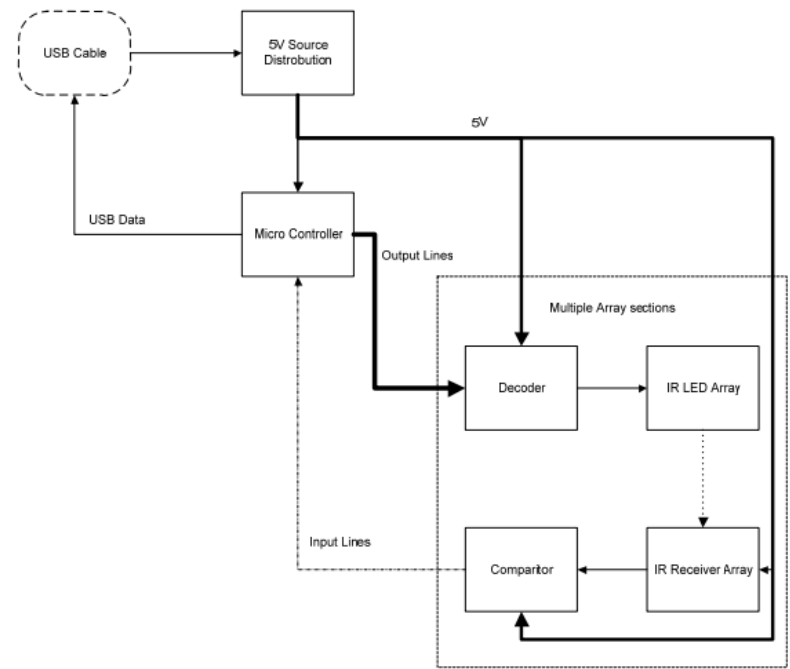


Рисунок 1.9 – Структурна схема інфрачервоної сенсорної рамки.

Одним із рішень інфрачервоної сенсорної рамки, доступних в мережі Інтернет, є пристрій, принципові електричні схеми якого наведені на рис. 1.10 (масив фотопередавачів) та рис. 1.11. (масив фотопередавачів).

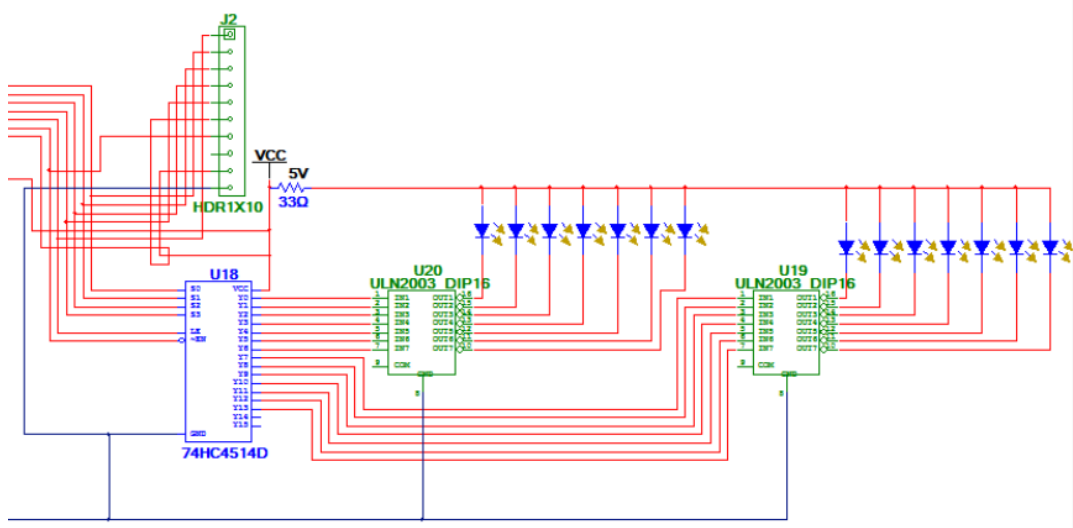


Рисунок 1.10 – Схема масиву фотопередавачів ПЧ сенсорної рамки

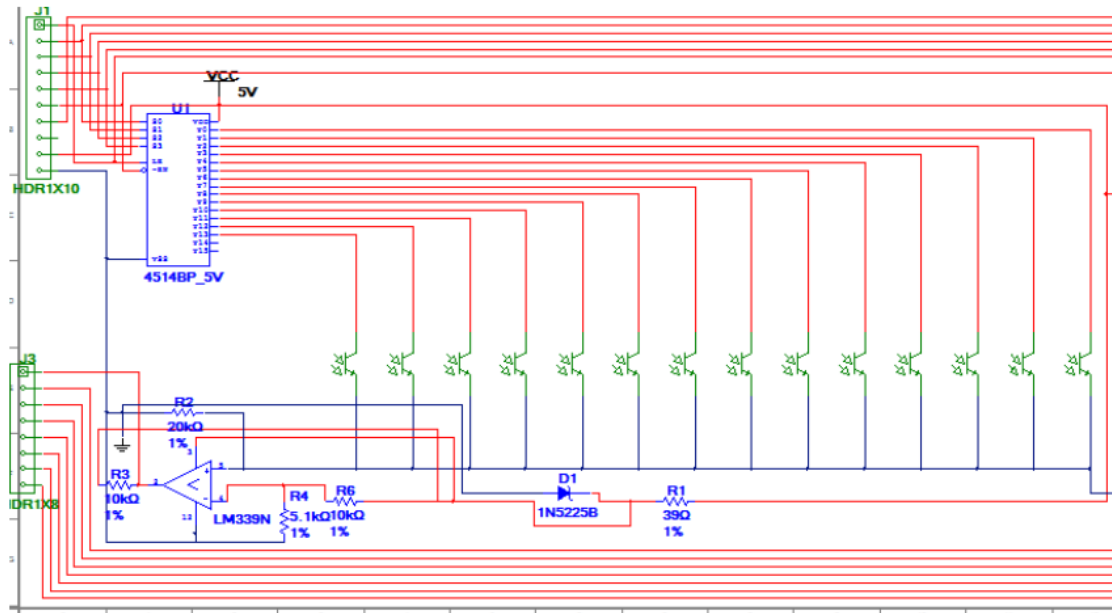


Рисунок 1.11 – Схема масиву фотоприймачів ІЧ сенсорної рамки

Зовнішній вигляд сенсорної рамки, виготовленої за схемами рис. 1.10 та рис. 1.11, показаний на рис 1.12.

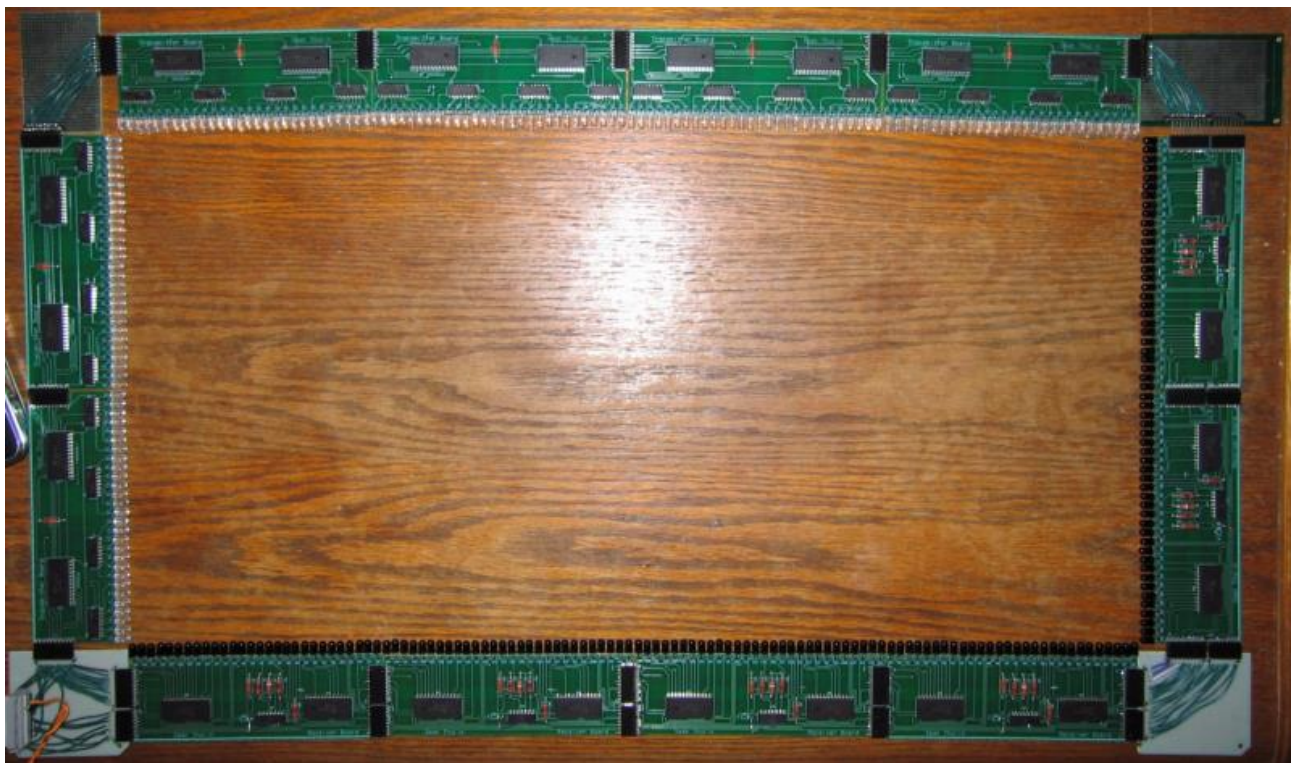


Рисунок 1.12 – Зовнішній вигляд інфрачервоної сенсорної рамки

1.5 Постановка задачі проектування

Метою даної роботи є розробка інтерактивного інфрачервоного сенсорного екрану, що матиме покращені характеристики в порівнянні з аналогами, що випускаються промислово.

Розробка направлена на вирішення наступних задач:

- зменшення кількості хибних спрацювань екрану під дією світла;
- підвищення чутливості та швидкості реакції екрану;
- зниження енергоспоживання екрану;
- оптимізація алгоритму керування фотопередавачами та фотоприймачами за метою зниження апаратних затрат на виробництво пристрою.

					ЕЛІТ 8.171.00.00.158 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		21

2 НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА

2.1 Визначення і класифікація приймачів випромінювання

Пристрій, призначений для перетворення оптичного сигналу в електричний, називають приймачем оптичного випромінювання (ПОВ) (приймачем випромінювання, фотоприймачем), а також фотоприймальним пристроєм (ФПП), в якому в єдину конструкцію об'єднані власне приймач і схема попередньої обробки електричного сигналу, наприклад схема попереднього посилення. Приймачі можна розділити на дві великі групи: біологічні (очі, шкірний покрив, рослинність та ін.) і фізичні, до яких відносять пристрої, що перетворюють видиме, інфрачервоне (ІЧ) або ультрафіолетове (УФ) випромінювання в електричний сигнал (термоелементи, болометри, фотоелементи і фотопомножувачі, фотодіоди, фоторезистори і деякі інші), електронно-оптичні перетворювачі, фотоплівки різних видів та інші фоточутливі матеріали.

Крім перетворення одного виду енергії (оптичної) в інший (електрична) багато спеціальних приймачів випромінювання и ФПУ виконують в ОЕП и інші функції: перетворюють закон розподілу освітленості (а не просто потік випромінювання) у відповідний електричний сигнал, що служить для аналізу закону розподілу освітленості в зображенні, слугують для визначення координат зображень та їх окремих зон, слугують для фільтрації корисних сигналів на фоні перешкод и т.д. Типовими ПП такого типу є електровакуумні передавальні телевізійні трубки, а також їх твердотілі аналоги, наприклад ПЗС-матриці.

Фізичні приймачі випромінювання поділяються на два основні класи - фотоелектричні (фотонні) та теплові. Принцип дії фотоелектричних ПП заснований на зовнішньому (фотоелементи, фотоелектронні помножувачі і ін.) або внутрішньому (фоторезистори, фотодіоди, фототранзистори і ін.) фотоефекті. Всі фотоелектричні приймачі є селективними, тобто їх чутливість залежить від частоти (або довжини хвилі) випромінювання, що падає на приймач.

У теплових ПОВ енергія оптичного випромінювання спочатку перетворюється в теплову, а лише потім відбуваються зміни властивостей приймача: виникає термоЕРС (термоелементи), змінюється провідність

									Арк.
									22
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	ЕлІТ 8.171.00.00.158 ПЗ				

(болометри) або діелектрична постійна (піроелектричні ПІ), формується чутливий шар (євапорографи) і т.д. Теплові приймачі неселективні.

Окремими видами ПОВ є: багатодіапазонні (багатоспектральні), що працюють в двох або більше діапазонах оптичного спектру; багатоелементні ПОВ; координатні (позиційно-чутливі) ПОВ, у яких вихідний сигнал залежить від координат зображення на чутливому шарі, і ряд інших.

Класифікація ПОВ проводиться також за діапазоном спектральної чутливості, ступеня охолодження чутливого шару, швидкодії, фізичним принципам дії (лавинні, інжекційні, гетеродинні, імерсійним і ін. ПОВ).

Параметри приймачів випромінювання

Параметрами приймачів оптичного випромінювання (ПОВ) зазвичай називають величини, що характеризують властивості приймача при роботі його в певних умовах і службовці критеріями оцінки його якості. Розглянемо основні параметри ПОВ, з якими найбільш часто доводиться мати справу розробнику оптоелектронних приладів (ОЕП).

Чутливість. У загальному випадку чутливість приймача - це відношення зміни електричної величини на виході ПОВ, викликаного падаючим на нього випромінюванням, до кількісної характеристики цього випромінювання в заданих експлуатаційних умовах. Залежно від характеристики випромінювання розрізняють чутливість до потоку випромінювання se , чутливість до світлового потоку sv , чутливість до опромінення sEe або до освітленості sEv .

Стумовою чутливістю sI називається чутливість ПОВ, у якого вимірюваної електричної величиною є сила фотоструму, а вольтової sv - чутливість при вимірі напруги на виході ПОВ.

Інтегральною чутливістю ПОВ називається чутливість до немонохроматичного випромінювання заданого спектрального складу, а монохроматичної чутливістю $s\lambda$ - чутливість до монохроматичного випромінювання з довжиною хвилі λ . Розрізняють також статичну чутливість, яка визначається відношенням постійних значень вимірюваних на виході і на вході ПОВ величин, і диференціальну - відношення малих приростів цих величин. Іноді чутливість характеризується відношенням числа квантів, що викликали фотоефект, до загальної кількості квантів випромінювання, що потрапили на чутливу майданчик ПОВ. Це відношення прийнято називати квантової ефективністю або квантовим виходом. Оскільки сигнал на виході ланцюга включення для деяких типів ПОВ може залежати від напруги живлення (наприклад, у фоторезисторів), іноді вводять поняття про питому

					ЕлІТ 8.171.00.00.158 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		23

чутливість, яка представляє собою чутливість, віднесена до 1 В напруги живлення.

Порогові і шумові параметри. Крім корисного регулярного сигналу на виході ПОВ завжди є хаотичний сигнал з випадковими амплітудою і частотою - шум приймача випромінювання.

Джерела шуму можуть бути як внутрішніми, зумовленими процесами, що відбуваються в чутливому шарі ПОВ, так і зовнішніми по відношенню до ПОВ і ОЕП в цілому, наприклад, залежними від флуктуацій сигналу, що приходить. Шум не дозволяє реєструвати як завгодно малі сигнали, які стають непомітними на його тлі, тобто обмежує граничні можливості приладу. У раціонально сконструйованому ОЕП чутливість до малих вхідних сигналів залежить тільки від рівня власних (внутрішніх) шумів ПОВ.

Струмом або напругою шуму ПОВ називається середньоквадратичне значення флуктуації струму, що протікає через ПОВ, або напруги на заданому навантаженні в його ланцюга включення у зазначеній смузі частот, за відсутності опромінення чутливого майданчика ПОВ.

Порогом чутливості приймача ФП в заданій смузі частот називається середньоквадратичне значення першої гармоніки потрапляє на ПОВ модульованого потоку випромінювання з заданим спектральним розподілом, при якому середнє квадратичне значення першої гармоніки напруги (струму) сигналу дорівнює середньому квадратичному напрузі (струму) шуму в заданій смузі частот на частоті модуляції потоку:

$$\Phi_{\Pi} = \frac{\sqrt{V_{\text{ш}}^2}}{S_{\text{v}}} \text{ или } \Phi_{\Pi} = \frac{\sqrt{I_{\text{ш}}^2}}{S_{\text{I}}}. \quad (2.1)$$

Стосовно до фотоелементів і фотопомножувачів величину ФП називають еквівалентом шуму. Іноді поріг чутливості ПОВ характеризують величиною, еквівалентної шумів опромінення або освітленості чутливого шару ЕП.

Оскільки шум залежить від ширини смуги частот Δf , в якій його вимірюють, то ФП залежить від Δf . Для більш зручного порівняння різних приймачів введено поняття порога чутливості ПОВ в одиничній смузі частот - відношення величини ФП до смуги частот:

$$\Phi_{\text{П1}} = \frac{\Phi_{\text{П}}}{\sqrt{\Delta f}}. \quad (2.2)$$

Величина, зворотна $\Phi_{\text{П1}}$, називається виявляючою здатністю приймача:

$$D = \frac{1}{\Phi_{\text{П1}}}. \quad (2.3)$$

Слід зазначити, що цей параметр неоднозначний для різних конструкцій ПОВ одного і того ж типу, так як для різних площ A чутливого шару параметри s_v і $V_{\text{ш2}}$ непостійні. Тому зручніше користуватися питомою виявляючою здатністю приймача:

$$D^* = s_v \frac{\sqrt{A\Delta f}}{\bar{V}_{\text{ш}}}. \quad (2.4)$$

Слід зазначити, що всі перераховані параметри розглядаються по відношенню до випромінювача з однієї і тієї ж температурою (температурою паспортизації ПОВ) та при постійній температурі чутливого шару ПОВ. Якщо $\Phi_{\text{П}}$, D і D^* вимірюються по відношенню до монохроматичного випромінювання, то вводиться індекс, що позначає довжину хвилі, наприклад D_{λ}^* . Оскільки величини s_v і $V_{\text{ш2}}$ є в загальному випадку функціями довжини хвилі λ , то і D^* також є функцією λ . Найбільш часто зустрічається випадок, коли радіаційний шум набагато менше інших складових шуму приймача, тобто залежністю $V_{\text{ш2}}$ від λ можна знехтувати. Для цього випадку

$$D^*(\lambda) = D_{\lambda}^* = \frac{\sqrt{A\Delta f}}{\bar{V}_{\text{ш}}} s_v(\lambda) = \frac{\sqrt{A\Delta f}}{\bar{V}_{\text{ш}}} s_{v\lambda}. \quad (2.5)$$

У деяких розрахунках зручно користуватися наближенням, описуваних лінійною залежністю монохроматичної виявляючої здатності D_{λ}^* від довжини хвилі λ , тобто

$$D_{\lambda}^* = \frac{\lambda}{\lambda_{\max}} D_{\lambda_{\max}}^*, \quad (2.6)$$

де λ_{\max} - довжина хвилі, на якій D_{λ}^* має максимальне значення.

Інерційність. Це властивість ПОВ оцінюється його постійної часу τ , в якості якої приймають час наростання $\tau_{0,1} \dots 0,9$ - інтервал часу між точками перехідною характеристики ПОВ, за який сигнал на виході ПОВ змінюється при раптовому опроміненні від 0,1 до 0,9 свого сталого значення при тривалому опроміненні, або час спаду $\tau_{0,9} \dots 0,1$ - інтервал часу зменшення сигналу після припинення опромінення ПОВ від 0,9 до 0,1 його сталого значення. Постійна часу τ визначає граничну частоту модуляції сигналу на вході фотоприймача $f_{гр}$ - частоту синусоїдально модульованого потоку випромінювання, падаючого на ПОВ, при якій його чутливість знижується до значення 0,707 чутливості при немодульованому випромінюванні.

Граничну частоту модуляції визначають по-різному, в залежності від допуску на падіння чутливості s . Так, при $s(f_{гр}) = 0,16s$ (0) частота $f_{гр} = 1 / \tau$, а при $s(f_{гр}) = 0,71s$ (0) - $f_{гр} = 1 / (2\pi\tau)$. Часто беруть $f_{гр} = 1 / (3\tau)$.

Опір приймача. Цей параметр особливо важливий при виборі або розрахунку ланцюга включення ПОВ. Знаючи його, можна знайти оптимальне опір навантаження ПОВ. Для різних ПОВ використовуються різні параметри, за допомогою яких можна оцінити опір чутливого елемента. Наприклад, для фоторезисторів в якості параметра розглядається темновий опір R_T - опір приймача в разі відсутності опромінення приймача. Для фотодіодів зазвичай призводять значення диференціального опору R_d , що дорівнює відношенню малих збільшень напруги сигналу до фотоструму при заданих експлуатаційних умовах, наприклад, при заданій опроміненні ПОВ.

При узгодженні приймача з подальшою електронною схемою розробнику доводиться враховувати величину R_T (або R_d) при виборі типу підсилювача і схеми зв'язку приймача з підсилювачем.

Спектральні параметри (параметри спектральної характеристики). Короткохвильова і довгохвильова межа спектральної чутливості ПОВ визначаються як найменша і найбільша, відповідно, довжини хвиль монохроматичного випромінювання, при яких чутливість ПОВ дорівнює 0,1 її максимального значення.

Ефективність прийому випромінювання в діапазоні $\lambda_1 \dots \lambda_2$ можна оцінити за допомогою величини, званої коефіцієнтом використання або спектральним ККД приймача:

$$\varphi = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} s_{\lambda} \Phi_{\lambda} d\lambda / \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \Phi_{\lambda} d\lambda, \quad (2.7)$$

де s_{λ} - спектральна характеристика чутливості ПП;

Φ_{λ} - спектральна щільність потоку випромінювання, падаючого на ПП.

Строго кажучи, коефіцієнт використання можна вважати параметром ПП тільки в тому випадку, якщо розглядати його по відношенню до якогось певного джерела випромінювання, наприклад, еталонного.

Геометричні, електричні та інші параметри. Для оцінки конструктивних особливостей ПП при роботі його в складі ОЕП необхідно знати такі його параметри, як площа і конфігурація чутливого шару, оптичні властивості (коефіцієнти поглинання, заломлення і відображення), ємність, напруга живлення (робоча напруга), температура чутливого шару і ряд інших параметрів, що описують його властивості. Окремі групи параметрів характеризують специфічні властивості різних типів приймачів, наприклад, фоторезисторів, фотодіодів, болометрів, координатних і багатоелементних фотоприймачів і ін.

Характеристики приймачів випромінювання

Залежність, що визначає зміну будь-якого параметра приймача при зміні зовнішнього впливу на нього, називається характеристикою.

Спектральні характеристики. Внаслідок вибіркості поглинання енергії випромінювання більшістю ПОВ їх чутливість до монохроматичного випромінювання змінюється з зміною довжини хвилі падаючого потоку. Цю чутливість називають спектральною, а залежність її від довжини хвилі падаючого на приймач монохроматичного потоку випромінювання - спектральною характеристикою чутливості (рис. 2.1).

					ЕЛІТ 8.171.00.00.158 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		27

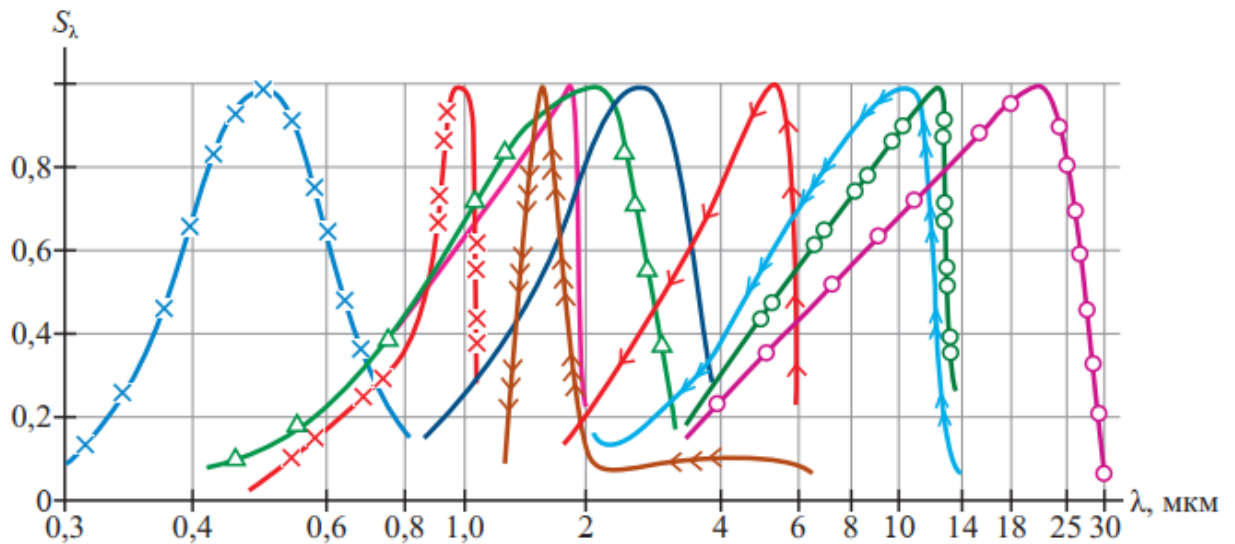


Рисунок 2.1 – Спектральні характеристики деяких ПОВ.

—×— сернисто-кадмиевый фоторезистор CdS; —×— кремниевый фотодиод; — германиевый фотодиод; —△— неохлаждаемый фоторезистор PbS₂₉₅; — охлаждаемый фоторезистор PbS₇₈; —←— охлаждаемый фоторезистор InSb₇₈; —←←— глубокоохлаждаемый (T=30 K) фоторезистор Ge; —○— охлаждаемый фотоприемник (фоторезистор, фотодиод) Hg_{1-x}Cd_xTe при x=0,95 и температуре охлаждения T=70 K; —○— то же, при x=0,1 и температуре охлаждения T=83 K; —←←←— охлаждаемый фоторезистор Ge:Au₇₈

Людське око неоднаково чутливе до випромінювання різних довжин хвиль. Якщо для деякого випромінювача виміряти потік випромінювання $\Phi_{e\lambda}$ в нескінченно малому діапазоні довжин хвиль $\Delta\lambda$ і світловий потік $\Phi_{v\lambda}$, що сприймається оком в тому ж діапазоні, то відношення значення світлового потоку до значення потоку випромінювання буде характеризувати спектральну світлову ефективність $K_\lambda = K(\lambda) = \Phi_{v\lambda} / \Phi_{e\lambda}$. Відношення K_λ для якої-небудь λ до максимального значення K_M (для денного зору $K_M = 683$ лм / Вт) називається відносною спектральною світловою ефективністю V_λ .

Графіки V_λ називають кривими спектральної чутливості ока, або кривими видності (рис. 2.2). Очевидно, що світловий потік

$$\Phi_v = \int_0^{\infty} K_\lambda \Phi_{e\lambda} d\lambda = \int_{0,4}^{0,76} K_\lambda \Phi_{e\lambda} d\lambda = 683 \int_{0,4}^{0,76} V_\lambda \Phi_{e\lambda} d\lambda. \quad (2.8)$$

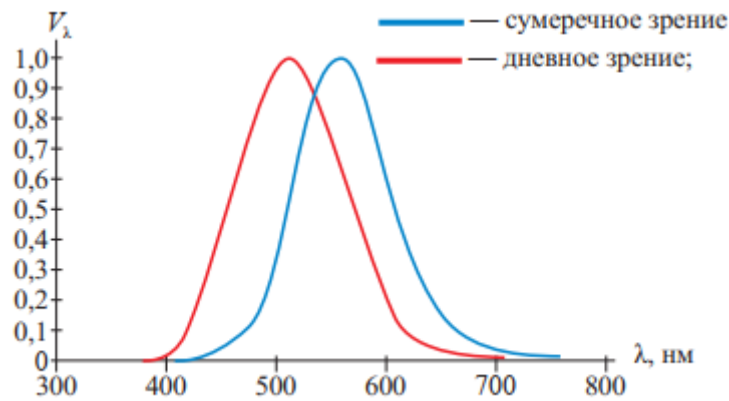


Рисунок 2.2 – Криві відносної спектральної чутливості ока

На рис. 2.3 і 2.4 наведені спектральні характеристики основних типів фотокатодів і катодолюмінесцентних екранів, що застосовуються в електронно-оптичних перетворювачах (ЕОП).

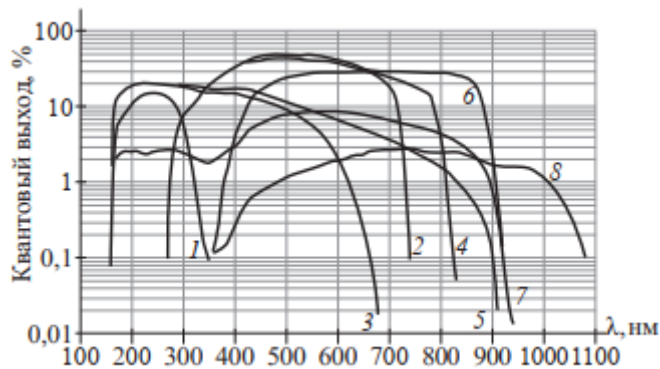


Рисунок 2.3 - Спектральні характеристики основних типів фотокатодов ЕОП: 1 - CsTe; 2 - GaAsP; 3 - SbNa: Cs (двухщелочной); 4 - GaAsP (з продовженої чутливістю в червоній області спектра); 5 - Na KSb: Cs (многощелочной); 6 - GaAs: Cs (з негативною електронною спорідненістю); 7 - Na KSb: Cs (з продовженої чутливістю в червоній області спектра); 8 - InGaAs: Cs (з негативною електронною спорідненістю)

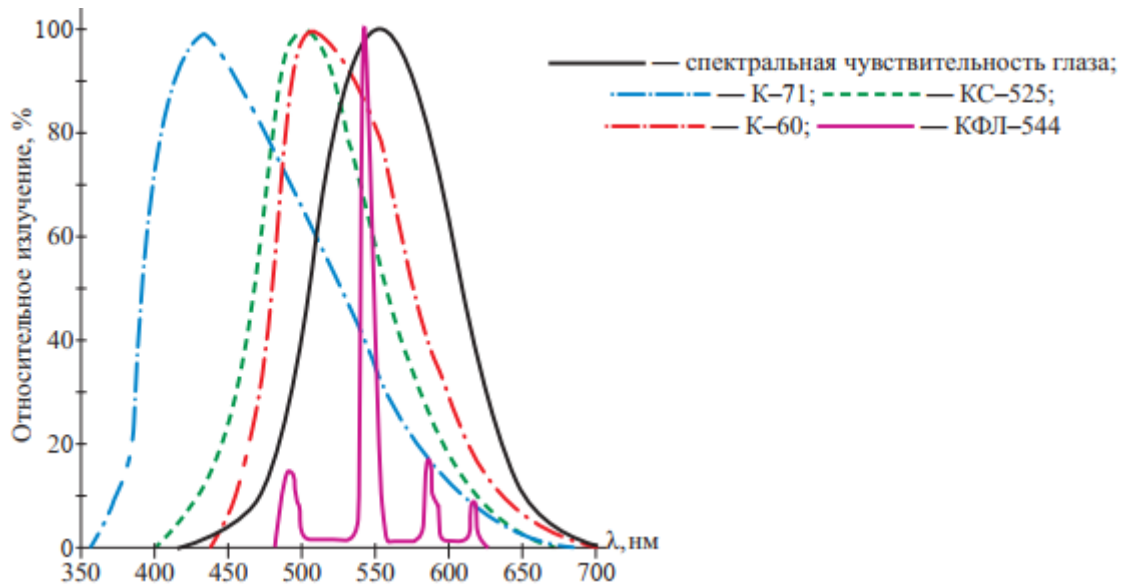


Рисунок 2.4 – Спектральні характеристики катодолінофосфорів

Вольт характеристики. Вольт характеристики виражають залежності чутливості, струму і напруги шуму, питомої виявляючої здатності та інших параметрів від напруги, прикладеного до приймача. Вольтова характеристика чутливості $s(U)$ визначається при фіксованому потоці випромінювання, що падає на ПОВ.

Залежності параметрів від потужності випромінювання. До них відносяться: люкс-омічного характеристика фоторезистора - залежність світлового опору фоторезистора від освітленості); енергетичні характеристики - залежності сили струму I або напруги V сигналу від потоку випромінювання, падаючого на ПОВ; світлова характеристика фотопомножувача - залежність анодного струму фотопомножувача від значення потоку і ряд інших.

Знаючи енергетичні характеристики ПОВ, можна легко визначити його інтегральну (вольтів, струмовий) чутливість, яка є крутизною залежності $U = f(\Phi)$ або $I = f(\Phi)$.

Селективні ПОВ при збільшенні потоку, падаючого на них, поведуться подібно оку - їх чутливість падає. Оскільки для більшості таких приймачів енергетичні характеристики нелінійні, тобто крутизна в різних точках неоднакова, чутливість ПОВ необхідно визначати при заданій освітленості (опроміненні) його приймального майданчика, а також при заданому спектральному складі випромінювання. При інших освітленостях значення чутливості може бути іншим, тому при змінах потоку, падаючого на ПОВ, слід враховувати зміну чутливості, користуючись енергетичною характеристикою.

Частотні характеристики. Залежність чутливості ПОВ від частоти модуляції падаючого на нього потоку випромінювання називається частотною характеристикою чутливості. Ця характеристика пов'язана з постійною часу приймача τ . Максимально допустима (гранична) частота модуляції $f_{гр}$ залежить саме від значення τ .

Залежність D^* від частоти модуляції потоку випромінювання називається частотною характеристикою питомої виявляючої здатності.

Іноді до частотних характеристик відносять спектральні щільності струму або напруги шуму ПОВ - розподілу щільності фш дисперсії струму або напруги шуму приймача по частотах. Ці залежності називають також спектром потужності шуму. Типова залежність такогорода для напівпровідникових ПОВ приведена на рис. 2.5.

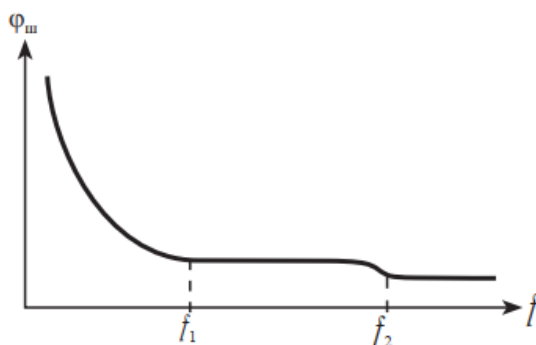


Рисунок 2.5 – Типовий спектр потужності шуму ПОВ

В області «надлишкового» шуму, обумовленого головним чином контактними явищами і флуктуаціями швидкості рекомбінації носіїв (на частотах $0 \dots f_1$), спектр шуму підкоряється закону $1 / f^x$ причому $x \approx 1$. Зазвичай межа цієї області f_1 не перевищує 1000 Гц.

В області частот $f_1 \dots f_2$, де практично має місце рівномірний розподіл, основним є генераційно-рекомбінаційний шум, а в області вище f_2 (десятки і більш кілогерц) - тепловий.

Знаючи подібні характеристики для конкретних приймачів, можна вибрати частоту модуляції сигналу і смугу пропускання системи так, щоб по можливості зменшити вплив власних шумів ПОВ на чутливість приладу. З точки зору зменшення дисперсії шуму $\sigma_{ш}$ в заданій смузі Δf доцільно збільшувати робочу частоту модуляції f_0 і звужувати смугу пропускання Δf системи, так як

$$D_{\text{ш}} = \sigma_{\text{ш}}^2 = \int_{f_0 - \Delta f / 2}^{f_0 + \Delta f / 2} \varphi_{\text{ш}}(f) df. \quad (2.9)$$

Температурні характеристики. Це - залежності, що визначають зміну різних параметрів ПОВ, наприклад, струму і напруги шуму, опору і чутливості, при зміні температури його чутливого шару.

Фонові характеристики. Це - залежності параметрів (опору, чутливості, струму і напруги шумів, питової виявляючої здатності) від немодульованого потоку випромінювання фону.

Часові та просторові характеристики. До них зазвичай відносять: перехідні характеристики, що описують зміну сигналу на виході ПОВ при раптовому опроміненні або затемненні його чутливого шару; зонну характеристику - розподіл чутливості по майданчику приймача; кутову характеристику чутливості - її залежність від кута падіння променів на чутливий шар ПОВ, а для координатних ПОВ - координатну характеристику, що визначає залежність сигналу на виході ПОВ від координати зображення (плями) на чутливому шарі, і тимчасово й дрейф нульової точки координатного ПОВ - зміщення нульової точки координатної характеристики при постійній температурі протягом заданого інтервалу часу. До тимчасових характеристик можна віднести також залежності зміни параметрів приймача в часі, що характеризують їх стабільність.

Багатоелементні ПОВ часто описуються також просторово-частотною характеристикою - ПЧХ (функцією передачі модуляції - ФПМ), модуль якої (частотно-контрастна характеристика - ЧКХ) визначає якість передачі контрасту зображення у вигляді функції просторової частоти проєкційованої на ПОВ штрихової міри.

2.2 Перерахунок параметрів фотоприймачів

Так як параметри і характеристики ПОВ істотно залежать від умов їх експлуатації, спектрального складу і інших параметрів потоку, необхідно чітко обумовити деякі стандартні (нормальні) умови, в яких слід проводити їх вимірювання (паспортизацію). Крім того, параметри і характеристики ПОВ різних типів і призначення суттєво різняться між собою, тому обмежитися для всіх ПОВ одними і тими ж стандартними умовами не представляється можливим.

						ЕлІТ 8.171.00.00.158 ПЗ	Арк.
Зм..	Лист	№ докум.	Підпис	Дата			32

Приймачі, що працюють в середній і довгохвильової частини ІЧ спектру, тобто в діапазоні 1,5 ... 20 мкм (зазвичай це охолоджувані ПОВ), калібрують по випромінювачу - чорному тілу з температурою 373 К. Неохолоджувані фоторезистори, що працюють в ІЧ спектральному діапазоні до 5 мкм, калібрують по чорному тілу з температурою 573 К. Параметри ПОВ, що працюють у видимому діапазоні, визначають по лампам розжарювання - джерел А з колірною температурою вольфрамової нитки $T_{ц} = 2856$ К, джерел В ($T_{ц} = 4800$ К) і С ($T_{ц} = 6500$ К).

Залежно від інерційності ПОВ і спектра шумів встановлюються різні частоти модуляції і смуги пропускання при їх паспортизації. Чутливість багатьох фоторезисторів визначається при частотах модуляції 400 і 500 Гц і смузі пропускання вимірювальної установки в кілька десятків герц. Вельми інерційні теплові ПОВ паспортизуються при частотах модуляції потоку в кілька герц, а малоінерційні ПОВ - при частотах 900 ... 1000 Гц.

Обговорюються також температура навколишнього середовища, вологість, тиск і такі параметри вимірювальної установки, як вхідний опір $R_{вх}$ (зазвичай $R_{вх} \gg R_{т}$) і рівень шуму $V_{шy}$, приведений до виходу ПОВ (зазвичай рівень шуму $V_{шy}$, установки повинен бути не менше ніж в два рази менше рівня шумів досліджуваного ПОВ).

Іноді деякі найважливіші умови вимірювань параметра наводяться в якості індексів при його позначенні. Наприклад, $D_{500,90,1}^*$ означає, що вимірювання D^* велося по чорному тілу з температурою 500 К при частоті модуляції 90 Гц і було віднесено до смуги пропускання 1 Гц.

У реальних умовах роботи ПОВ приймає потік, як правило, відрізняється за своїм спектральним складом від потоку, що використовується при паспортизації. У ряді випадків ПОВ, відкалібрований по відношенню до випромінювання з суцільним спектром (наприклад, по відношенню до випромінювання абсолютно чорного тіла), працює з монохроматичним потоком (наприклад, потоком, що приходять від лазера). Тому в кожному такому випадку параметри ПОВ повинні бути перераховані для нових умов. Розглянемо характерний приклад перерахунку чутливості ПОВ.

Нехай є ПОВ з чутливістю s_{v1} до випромінювання з спектральною щільністю потоку випромінювання $\Phi_{\lambda 1}$. Потрібно визначити його чутливість s_{v2} до випромінювання джерела, описуваного функцією $\Phi_{\lambda 2}$, тобто, наприклад, до випромінювача з іншою температурою.

Вираз для чутливості ПОВ в загальному вигляді можна записати як

						ЕЛІТ 8.171.00.00.158 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата			33

$$S_{\nu} = \frac{\Delta V}{\Delta \Phi} = S_{\lambda_{\max}} \frac{\int_{\lambda_m}^{\lambda_n} s_{\lambda} \tau_{\lambda} \Phi_{\lambda} d\lambda}{\int_{\lambda_m}^{\lambda_n} \tau_{\lambda} \Phi_{\lambda} d\lambda}, \quad (2.10)$$

де Φ_{λ} - функція, що описує розподіл потоку, який прийшов на ПОВ в діапазоні $\lambda_m \dots \lambda_n$ по спектру довжин хвиль; τ_{λ} - спектральний коефіцієнт пропускання середовища; s_{λ} - спектральна характеристика чутливості ПОВ; $S_{\lambda_{\max}}$ - абсолютне значення спектральної чутливості в максимумі спектральної характеристики ПОВ.

При вимірюванні чутливості $s_{\nu 1}$ робота відбувається в середовищі зі спектральним пропусканням $\tau_{\lambda 1}$ в діапазоні $\lambda_1 \dots \lambda_2$, а при роботі з випромінювачем, властивості якого описуються функцією $\Phi_{\lambda 2}$ - в середовищі з пропусканням $\tau_{\lambda 2}$ в діапазоні $\lambda_3 \dots \lambda_4$, причому $\tau_{\lambda 2}$ може враховувати і пропускання оптики приладу.

Якщо в разі калібрування ПОВ і при його роботі в реальних умовах робоча точка енергетичної характеристики для монохроматичного потоку лежить в лінійній зоні, тобто $S_{\lambda_{\max 1}} = S_{\lambda_{\max 2}} = S_{\lambda_{\max}}$, то, очевидно,

$$S_{\nu 1} = S_{\lambda_{\max}} \frac{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} s_{\lambda} \tau_{\lambda 1} \Phi_{\lambda 1} d\lambda}{\int_{\lambda_3}^{\lambda_4} \tau_{\lambda 1} \Phi_{\lambda 1} d\lambda}; \quad S_{\nu 2} = S_{\lambda_{\max}} \frac{\int_{\lambda_3}^{\lambda_4} s_{\lambda} \tau_{\lambda 2} \Phi_{\lambda 2} d\lambda}{\int_{\lambda_3}^{\lambda_4} \tau_{\lambda 2} \Phi_{\lambda 2} d\lambda};$$

$$S_{\lambda_{\max}} = S_{\nu 1} \frac{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \tau_{\lambda 1} \Phi_{\lambda 1} d\lambda}{\int_{\lambda_3}^{\lambda_4} s_{\lambda} \tau_{\lambda 1} \Phi_{\lambda 1} d\lambda} = S_{\nu 2} \frac{\int_{\lambda_3}^{\lambda_4} \tau_{\lambda 2} \Phi_{\lambda 2} d\lambda}{\int_{\lambda_3}^{\lambda_4} s_{\lambda} \tau_{\lambda 2} \Phi_{\lambda 2} d\lambda}, \quad (2.11)$$

У тому випадку, коли беруться однакові межі інтегрування по λ , а величини $\tau_{\lambda 1}$ і $\tau_{\lambda 2}$ приймаються постійними, тобто незалежними від λ ,

$$s_{\lambda 2} = s_{\lambda 1} \Phi_2 / \Phi_1, \quad (2.12)$$

де Φ_1 і Φ_2 - коефіцієнти використання.

Часто в практиці подібних розрахунків доводиться переходити від параметрів, розмірність яких виражена в світлових одиницях, до параметрів з розмірністю в енергетичних одиницях. Наприклад, значення струмової чутливості кремнієвого фотодіода наводиться в одиницях ампер на люмен, в той час як максимум його спектральної характеристики чутливості припадає на ближню ІЧ область, де потік вимірюється не в люменах, а у ВАТ. Паспортна чутливість s_I в ампер на люмен визначається за джерелом - лампою з певними температурою нитки розжарювання T_1 ($T_{\text{ц}} = 2856 \text{ K}$) і спектром $\Phi_{\lambda 1}$, і може бути з урахуванням формули для світлового потоку представлена для діапазону $\lambda_1 \dots \lambda_2$

$$s_{I2} = \frac{\Delta I}{\Delta \Phi_v} = s_{I\text{max}} \frac{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} s_{\lambda} \tau_{\lambda 1} \Phi_{\lambda 1} d\lambda}{0,76 \int_{0,4} V_{\lambda} \tau_{\lambda 1} \Phi_{\lambda 1} d\lambda}. \quad (2.13)$$

Міркуючи так само, можна отримати такий вираз для струмової чутливості s_{I2} , визначеної для випромінювача зі спектром $\Phi_{\lambda 2}$ в діапазоні $\lambda_3 \dots \lambda_4$:

$$s_{I2} = s_{I1} \frac{683 \int_{\lambda_3}^{\lambda_4} s_{\lambda} \tau_{\lambda 2} \Phi_{\lambda 2} d\lambda}{\int_{\lambda_3}^{\lambda_4} \tau_{\lambda 2} \Phi_{\lambda 2} d\lambda} \cdot \frac{\int_{0,4}^{0,76} V_{\lambda} \tau_{\lambda 1} \Phi_{\lambda 1} d\lambda}{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} s_{\lambda} \tau_{\lambda 1} \Phi_{\lambda 1} d\lambda}. \quad (2.14)$$

Аналогічно можна перерахувати і інші параметри, що змінюються з переходом до випромінювача з новим спектральним складом випромінювання. Наприклад, для перерахунку порога чутливості можна скористатися залежністю

(2.13), і якщо радіаційний шум ПОВ малий у порівнянні з іншими шумовими складовими, то формула для величин ФП відповідно до (2.1) і (2.12) буде виглядати наступним чином:

$$\Phi_{п2} = \Phi_{п1} \varphi_1 / \varphi_2. \quad (2.15)$$

Результати перерахунку можуть бути одним з найважливіших факторів при виборі ПОВ для конкретних умов роботи ОЕП. Загальну методику перерахунку параметрів можна звести до наступної послідовності дій:

1) складається розгорнутий (через спектральні щільності окремих функцій) вираз для відомого (паспортного) параметра ПОВ з урахуванням його розмірності;

2) таке ж вираження складається для шуканого - параметра з урахуванням відмінностей в умовах роботи ПОВ і розмірності в порівнянні з паспортними параметром;

3) отримана система з двох рівнянь вирішується щодо шуканої величини.

Ця ж методика може бути використана і при перерахунку інтегральних параметрів в спектральні, тобто при визначенні чутливості ПОВ до монохроматичного випромінювання. Нехай, наприклад, потрібно визначити чутливість ПОВ, відкаліброваного по випромінюванню відомого спектрального складу Φ_λ , для будь-якої довжини хвилі λ (для монохроматичного випромінювання) в абсолютних одиницях $s_{\lambda\text{абс}} = s_{\lambda\text{абс}}(\lambda)$, якщо відомі крива спектральної чутливості приймача s_λ , побудована в відносних одиницях, і значення абсолютної інтегральної чутливості $s_\Sigma = s_{\text{інт}}$, виміряний в діапазоні $\lambda_m \dots \lambda_n$, що включає λ . Оскільки інтегральну чутливість для діапазону $\lambda_m \dots \lambda_n$ можна виразити як

$$s_\Sigma = s_{\lambda\text{макс}} \frac{\int_{\lambda_m}^{\lambda_n} s_\lambda \Phi_\lambda d\lambda}{\int_{\lambda_m}^{\lambda_n} \Phi_\lambda d\lambda}, \quad (2.16)$$

то максимальна монохроматична абсолютна чутливість

$$S_{\lambda_{\max}} = S_{\Sigma} \frac{\int_{\lambda_m}^{\lambda_n} \Phi_{\lambda} d\lambda}{\int_{\lambda_m}^{\lambda_n} s_{\lambda} \Phi_{\lambda} d\lambda}. \quad (2.17)$$

Так як $s_{\lambda} = s_{\lambda_{\text{абс}}} / s_{\lambda_{\text{max}}}$, то шукана абсолютна спектральна чутливість на довжині хвилі λ визначиться як

$$s_{\lambda_{\text{абс}}} = s_{\lambda} S_{\Sigma} \frac{\int_{\lambda_m}^{\lambda_n} \Phi_{\lambda} d\lambda}{\int_{\lambda_m}^{\lambda_n} s_{\lambda} \Phi_{\lambda} d\lambda}. \quad (2.18)$$

Чутливість s_{Σ} для всього діапазону довжин хвиль, в якому працює ПОВ, наводиться зазвичай в його паспорті (інтегральна, вольта або струмовий чутливість). За аналогією для світлових величин

$$s_{\lambda_{\text{абс}}} = 683 s_{\lambda} s_{\Sigma} \frac{\int_{\lambda_m}^{0,76} V_{\lambda} \Phi_{\lambda} d\lambda}{\int_{\lambda_m}^{0,4} s_{\lambda} \Phi_{\lambda} d\lambda}. \quad (2.19)$$

Тут $s_{\lambda_{\text{абс}}}$ виражена в амперах на ват (А / Вт) або вольтах на ват (В / Вт); s_{Σ} - в амперах на люмен (А / лм) або вольтах на люмен (В / лм). Величина $s_{\lambda_{\text{абс}}}$ залежить не від виду джерела (чорне тіло, лазер і т.д.), щодо якого вона визначається, а лише від квантового виходу на даній довжині хвилі.

Поріг чутливості у ВАТ для монохроматичного випромінювання з довжиною хвилі λ_i визначається як

$$\Phi_{\text{П}\lambda_i} = \Phi_{\text{П}} \frac{\int_{\lambda_m}^{\lambda_n} s_{\lambda} \Phi_{\lambda} d\lambda}{s_{\lambda_i} \int_{\lambda_m}^{\lambda_n} \Phi_{\lambda} d\lambda}, \quad (2.20)$$

а для монохроматичного світлового потоку в люменах

$$\Phi_{\text{П}\lambda_i} = \Phi_{\text{П}} \frac{\int_{\lambda_m}^{\lambda_n} s_{\lambda} \Phi_{\lambda} d\lambda}{683 s_{\lambda_i} \int_{\lambda_m}^{\lambda_n} V_{\lambda} \Phi_{\lambda} d\lambda}. \quad (2.21)$$

Для переходу до квантової форми представлення порогового потоку $\Phi_{\text{П}\lambda_i}$ необхідно розділити (2.20) на енергію кванта, тобто

$$\Phi_{\text{П}\lambda_i}^q = \frac{\Phi_{\text{П}\lambda_i}}{(h\nu_i)} = \frac{\Phi_{\text{П}\lambda_i} \lambda_i}{(hc)}. \quad (2.22)$$

Для обчислення інтегралів у всіх наведених вище виразах можна скористатися будь-яким з відомих способів графічного інтегрування. Аналітичний спосіб найчастіше неприйнятний, так як залежність s_{λ} важко описати будь-якої функцією, а, крім того, інтегрування функції Φ_{λ} також представляється громіздкою операцією. Можна значно полегшити розрахунок, якщо замінити інтеграли сумами, наприклад, для (2.18):

$$S_{\lambda_{\text{абс}}} = S_{\lambda} S_{\Sigma} \frac{\sum_{\lambda_m}^{\lambda_n} \Phi_{\lambda}}{\sum_{\lambda_m}^{\lambda_n} s_{\lambda} \Phi_{\lambda}}. \quad (2.23)$$

2.3 Методи вибору приймача випромінювання

Вибір приймача випромінювання залежить від великої кількості факторів, до яких відносяться насамперед призначення і принцип дії ОЕП або опто-електронної системи (ОЕС), умови їх роботи, характеристики спостережуваних або досліджуваних об'єктів, фонів і перешкод і ряд інших. На початку проектування приладу або системи зазвичай намічаються або визначаються відповідно до технічного завдання досить широкий спектральний діапазон роботи приймача, необхідність його охолодження, швидкодія, термін служби і деякі інші тактико-технічні та техніко-економічні характеристики приймача і всього ОЕП або ОЕС.

Основою для вибору приймача і його найважливіших параметрів і характеристик багато в чому може служити енергетичний розрахунок, метою якого зазвичай є визначення таких співвідношень між корисним сигналом і шумами, при яких досягається заданий або обчислене відповідно до технічного завдання значення показника ефективності роботи ОЕС - критерію її якості. Такими показниками можуть бути відношення «сигнал-шум», дозвіл системи (енергетичне, просторове, часовий, спектральний), ряд техніко-економічних показників. В тій чи іншій формі енергетичний розрахунок виконується практично завжди, тобто при розробці будь-якої ОЕС. Він дозволяє знайти найважливіші габаритні параметри оптичної системи (площа вхідного зіниці, відносний отвір, кутова поле та ін.), Визначити необхідне значення порогового потоку або виявляючої здатності приймача випромінювання, сформулювати вимоги до джерела випромінювання, визначити ряд вимог до скануючої системи і до електронного тракту ОЕС. Дуже часто енергетичний розрахунок допомагає визначити точності характеристики ОЕС.

Основні етапи узагальненої методики енергетичного розрахунку.

1. Складання схеми енергетичної моделі ОЕС для обраного або заданого сценарію її роботи, що включає різні випромінювачі і середовища (мета, перешкоди, фони, середовище поширення оптичного сигналу; їх взаємне розташування і ін.).

2. Складання в загальному вигляді основного енергетичного рівняння або нерівності, що визначає задані умови виконання якісної роботи ОЕС. Цими умовами можуть бути: перевищення порога чутливості $\Phi_{\text{посеп}}$ приладу різниці між корисним сигналом $\Phi_{\text{вх}}$ і сигналом від перешкоди $\Phi_{\text{пом}}$ на вході приладу в задане число раз; перевищення контрасту між корисним сигналом і сигналом

					ЕЛІТ 8.171.00.00.158 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		39

від фону (освітленості, створювані джерелом корисного сигналу E_{ci} фону E_{ϕ} відповідно) деякого порогового значення $K_{п}$, тобто $(E_c - E_{\phi}) / (E_c + E_{\phi}) > K_{п}$, дозвіл системи (енергетичний, просторовий, часовий, спектральний), ряд техніко-економічних показників і т.п. Це рівняння або нерівність ϵ , по суті справи, узагальненим описом алгоритму роботи ОЕС.

3. Представлення включених в це рівняння величин корисних сигналів, шумів і перешкод у вигляді функцій параметрів і характеристик випромінювача, що передає оптична система, що спостерігається, середовища поширення, приймальні оптичної системи, ФПУ та інших ланок ОЕС, тобто складання «розгорнутого» вираження для оцінки показника ефективності роботи ОЕС.

4. Вибір або розрахунок числового значення умови, що встановлює необхідну для якісної (надійної) роботи ОЕС співвідношення між сигналом і шумами. Дуже часто їм є ставлення «сигнал - шум», яке визначається із заданих характеристик виявлення.

5. Рішення основного енергетичного рівняння (нерівності) в розгорнутому вигляді, щодо одного або кількох назв параметрів.

6. Вибір або розрахунок інших параметрів ОЕС.

7. Остаточний (перевірочний) енергетичний розрахунок, що зводиться часто до перевірки виконання нерівності - основного енергетичного рівняння - після остаточного вибору або визначення всіх вхідних в нього величин. Як приклади енергетичного рівняння у вигляді функції параметрів всієї системи і умов її експлуатації при переважанні внутрішніх шумів - шумів фотоприймального пристрою (ФПУ) можна навести такі вирази:

$$\mu_{и} = \frac{u_{с.вых}}{\sigma_{ш.вых}} = \frac{k_m \int_0^{\infty} \Phi_c(\lambda) \tau_0(\lambda) s_{v/f}(\lambda) d\lambda}{\sigma_{ш.вых}} \quad (2.24)$$

або

$$\mu_{и} = \frac{k_m k_f \int_0^{\infty} \Phi_c(\lambda) \tau_0(\lambda) D_f^*(\lambda) d\lambda}{\sqrt{A \Delta f_a}} \quad (2.25)$$

					ЕЛІТ 8.171.00.00.158 ПЗ	Арк. 40
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Тут $\mu_{\text{ш}}$ - відношення «сигнал-шум» у вигляді відношення амплітуди напруги $u_{\text{с.вих}}$ на виході ФПУ до середньому квадратичному значенню шуму $\sigma_{\text{ш.вих}}$; $k_{\text{м}}$ - коефіцієнт, що враховує видозміни сигналу в електронних ланках ОЕС і, зокрема, втрати потужності сигналу за рахунок модуляції потоку; $\Phi_{\text{с}}(\lambda)$ - сигнал у вигляді потоку випромінювання, що є функцією довжини хвилі випромінювання λ ; $\tau_0(\lambda)$ - спектральна характеристика пропускання всієї оптичної системи, включаючи і модулятор; $s_{\text{вфт}}$ - спектральна характеристика вольтової чутливості ФПУ для центральної частоти $f_{\text{т}}$; $\Delta f_{\text{с}}$ - еквівалентна смуга частот; $D \cdot f_{\text{т}}$ - питома виявляюча здатність ФПУ; A - площа чутливого шару ФПУ.

При виборі приймача проводиться оцінка чутливості та виявляючої здатності різних приймачів з урахуванням впливу фонів, перешкод, шумів і порівняння їх між собою за цими параметрами. Оцінка якості окремих приймачів залежить від ступеня узгодження спектральної чутливості приймача зі спектром випромінювання об'єкта, що спостерігається і спектральними характеристиками пропускання середовища і оптичної системи. Якщо відомі коефіцієнти використання порівнюваних приймачів, то таку оцінку можна провести наступним чином.

У разі, коли гранична чутливість всієї ОЕС обмежується лише внутрішніми шумами - шумами приймача випромінювання, найкращим є приймач, що має найменший граничний потік ФПР, перерахований від умов паспортизації Фп до умов роботи ОЕС:

$$\Phi_{\text{пр}} = \Phi \varphi_{\text{п}} / \varphi_{\text{р}}. \quad (2.26)$$

Тут $\varphi_{\text{п}}$ і $\varphi_{\text{р}}$ - коефіцієнти використання приймача для випромінювання, що використовується при паспортизації, і для реальних робочих умов, тобто для $\Phi_{\text{рл}}$. Ці коефіцієнти розраховуються з урахуванням селективного характеру пропускання оптичних середовищ на шляху від джерела до приймача. Граничний потік для перешкоди

$$\Phi_{\text{пом}} = \Phi \varphi_{\text{п}} / \varphi_{\text{пом}}, \quad (2.27)$$

де $\varphi_{\text{пом}}$ - коефіцієнт використання випромінювання перешкоди.

					ЕЛІТ 8.171.00.00.158 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		41

Об'єднуючи ці критерії, знаходимо, що найкращим є той приймач, у якого відношення $\varphi_p / \varphi_{\text{пом}}$ найбільше. При такому порівнянні приймачів необхідно враховувати можливу зміну порогового потоку Φ_p в залежності від сумарної освітленості на чутливому шарі приймача, що можна оцінити за допомогою його енергетичної та фонові характеристик. Випромінювання фону і зовнішніх перешкод викликає не тільки додатковий помилковий сигнал, але і призводить до збільшення власних шумів приймача. Це також слід враховувати при виборі приймача.

У тих випадках, коли коефіцієнти використання приймача невідомі і не визначений спектральний робочий діапазон його роботи, зіставляти приймачі доцільно по максимуму відносини «сигнал-перешкода». Досить проста методика такого зіставлення полягає в наступному.

Відповідно до формулами для величин потоків, що приходять на приймач від об'єкта, що спостерігається і від перешкод, в них слід підставляти спектральні коефіцієнти пропускання середовища τ_{cl} , в якій працює прилад, наприклад атмосфери, а також спектральні щільності випромінювання джерела і перешкоди, наприклад фону. Іноді беруть, що коефіцієнти пропускання середовища однакові для випромінювання, що надходить від об'єкта і від перешкоди, а ККД оптичної системи η постійний у робочому спектральному діапазоні $\lambda_1 \dots \lambda_2$.

Значення інтегралів в можна легко знайти, використовуючи найпростіші графо-аналітичні методи. Для цього в одному масштабі і в відносних одиницях потрібно побудувати залежності $\Phi_c(\lambda)\tau_0(\lambda)$, s_{vft} або $D_{\text{ft}}^*(\lambda)$. Потім слід знайти площі відповідних інтегралів $Q_{\text{об}}$ і $Q_{\text{пом}}$ в попередньо обраному діапазоні $\lambda_1 \dots \lambda_2$. Якщо на одних і тих же графіках побудувати s_{vft} або $D_{\text{ft}}^*(\lambda)$ не для одного, а для декількох приймачів, то, порівнюючи відношення $Q_{\text{об}}$ і $Q_{\text{пом}}$, для цих приймачів, можна вибрати оптимальний ПОВ з точки зору спектральних співвідношень в діапазоні $\lambda_1 \dots \lambda_2$.

На практиці ОЕС часто може працювати в умовах значного опромінення (засвічення) корисним сигналом і фоном. Прикладом можуть служити ОЕС, які виявляють зміни випромінювання потужного лазерного джерела, або ОЕС дистанційного зондування, що працюють в умовах випромінювання підстильної поверхні, що створюється потужною сонячною підсвічуванням у вигляді потоку $\Phi_{\text{ф}}$, що потрапляє на чутливий шар приймача. У таких випадках при виконанні узагальненої методики необхідно враховувати можливі зміни ряду параметрів і характеристик, що входять в «розгорнутий» вираз показника

ефективності роботи ОЕС. Крутизна енергетичної характеристики ФПУ, яка є його вольтовою s_v або струмовою s_i чутливістю, змінюється не тільки за відмінності спектрального складу випромінювання при калібрування ФПУ і при його експлуатації, що може враховуватися шляхом перерахунку параметрів приймача, але і через порушення лінійності енергетичних і фонових характеристик ФПУ при опроміненні його потужним джерелом. Нелінійність порогової чутливості або питомої виявлюючої здатності ФПУ D^* , яка може входити в «розгорнуте» енергетичне рівняння або нерівність, а також їх розкид від зразка до зразка часто роблять неможливою підстановку в енергетичне рівняння паспортних значень s_v , s_i , D^* . На жаль, в численній літературі, присвяченій ФПУ, дані про енергетичні і фонові характеристики їх чутливості $s_v = f_s(\Phi)$ і шумових характеристиках $\sigma_v = F_{ш}(\Phi)$, як правило, відсутні. Тому при проведенні енергетичних розрахунків ОЕС, що працюють в умовах потужних засвічень, необхідно визначати енергетичні та фонові характеристики конкретного використовуваного ФПУ, що відповідають умовам експлуатації ОЕС.

Після вибору приймача по його спектральним, енергетичним і фоновим характеристикам необхідно перевірити оптимальність зробленого вибору і за іншими критеріями. Число цих критеріїв може бути, досить великим в залежності від призначення ОЕП і умов його роботи. До них відносяться різні параметри: швидкодія, мінімальні або максимальні досяжні розміри чутливого майданчика приймача, опір, необхідне живлення, вартість і багато ін. В даний час номенклатура приймачів випромінювання досить велика, що дає можливість вибирати їх для самих різних практичних застосувань.

Вибираючи спектральний діапазон, оцінюючи відповідність чутливості різних приймачів вимогам, що впливають з енергетичного розрахунку, нарешті, оцінюючи оптимальність узгодження параметрів і характеристик приймачів і інших ланок приладу, не можна забувати про умови експлуатації приладу. Це особливо важливо для польових приладів і систем, що встановлюються на літальних апаратах, де потрібна висока надійність приймача, стабільність його параметрів в часі і в складних метеорологічних умовах, малі маси і габарити як самих приймачів, так і джерел їх живлення або охолоджувальних пристроїв. Очевидно, що тільки приймач, що задовольняє всім перерахованим вимогам, а також і іншим, специфічним для кожної конкретної ОЕС, і є оптимальним для використання в її складі.

						ЕЛІТ 8.171.00.00.158 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата			43

3 РОЗРОБКА ЕЛЕКТРОНОЇ СХЕМИ ПРИСТОЮ

3.1 Розробка алгоритму функціонування пристрою

У відповідності до поставленої задачі було розроблено алгоритм роботи інтерактивної сенсорної системи для моніторів, що проектується. Пристрій повинен проводити циклічне опитування фотоприймачів, що розташовані на горизонтальній та вертикальній сторонах рамки. При цьому відбувається керування станом фотопередавачів – світлодіодів, що розташовані відповідно на протилежній стороні рамки.

Схему алгоритму роботи пристрою, що проектується, представлено на рисунку 3.1.

Нехай сенсорна рамка має N фотопередавачів та, відповідно, N фотоприймачів по горизонталі, і K фотопередавачів та K фотоприймачів по вертикалі. На початку роботи пристрою відбувається скидання лічильників системи керування, тобто встановлюються значення $N=0$ та $K=0$. Починається циклічне опитування фотоприймачів по горизонталі та по вертикалі. За тактовим імпульсом системи керування подається напруга на N -світлодіод, після чого проводиться зчитування сигналу з N -фотоприймача, значення сигналу на вході записується в пам'ять пристрою. Проводиться порівняння значення N з кількістю світлодіодів у рядку, якщо досягнуто максимального значення N , то відбувається перехід до опитування фотоприймачів по вертикалі. Якщо не всі фотоприймачі по горизонталі опитані, то значення N збільшується на одиницю ($N=N+1$) і продовжується опитування фотоприймачів. Опитування K фотоприймачів по вертикалі та керування світлодіодами відбувається аналогічно до опитування по горизонталі.

При відсутності дотику до екрану інфрачервоний промінь безперешкодно попадає на фотоприймач і система керування реєструє значення вхідного сигналу, що відповідає низькому логічному рівню. При дотику до сенсорного екрану чи появі іншої перешкоди на шляху променя система реєструє високий логічний рівень вхідного сигналу, що надходить від фотоприймача.

По закінченню опитування проводиться аналіз координат N та K точки дотику до сенсорного екрану і відбувається передача відповідних значень на пристрій-приймач, в якості якого може виступати комп'ютер, мікроконтролер, тощо.

					ЕЛІТ 8.171.00.00.158 ПЗ	Арк.
						44
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 2.1 – Блок-схема алгоритму роботи пристрою

3.2 Розробка структурної схеми пристрою

Для реалізації алгоритму роботи інтерактивної сенсорної системи для моніторів описаного у пункті 3.1 необхідні функціональні блоки, які приведені на структурній схемі пристрою (рис. 3.2).

Основними функціональними частинами пристрою є: блоки фотопередавачів (світлодіодів) - по горизонталі та по вертикалі, блоки фотоприймачів (фотодіодів), система сканування, керуючий пристрій - мікроконтролер, підсилювачі сигналів, комп'ютерний інтерфейс.

Як було описано в літературному огляді, в інфрачервоних сенсорних панелях для визначення точки дотику використовуються дві лінійки світлодіодів, розташовані по вертикалі і горизонталі, і дві лінійки фотодіодів, розташовані на протилежних сторонах екрану. Ці лінійки утворюють блоки фотопередавачів та фотоприймачів.

Система сканування (розгортки) призначена для керуванням світлодіодами та фотодіодами і представляє собою блоки лічильників з коефіцієнтами перерахунку, рівними кількості світлодіодів та фотодіодів на горизонтальній та вертикальній сторонах рамки. До виходів лічильників підключені масиви світлодіодів та фотодіодів, на які подаються керуючі сигнали в залежності від стану виходів лічильників.

Мікроконтролер – керуючий пристрій, що виконує функцію управління лічильниками системи сканування, зчитує дані про стан фотодіодів, визначає координати натиснення та передає інформацію через комп'ютерний інтерфейс.

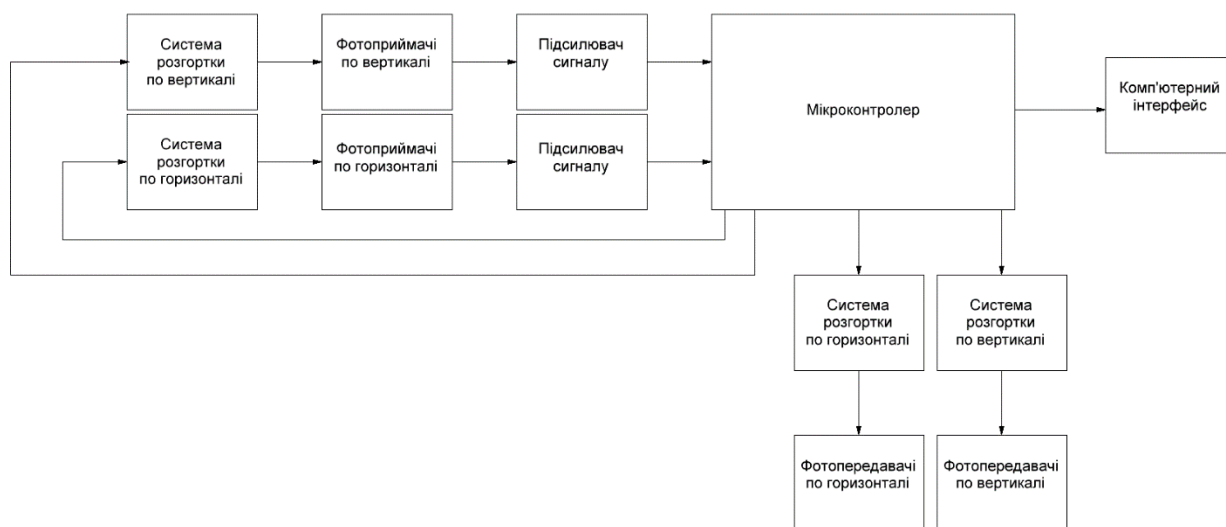


Рисунок 3.2 – Структурна схема пристрою

Підсилювач сигналу призначений для узгодження рівнів вихідного сигналу фотодіодів і логічних рівнів мікроконтролера.

Комп'ютерний інтерфейс призначений для передачі інформації від керуючого пристрою (мікроконтролера) сенсорної рамки до комп'ютера.

3.3 Розробка функціональної схеми пристрою

Задачею розробки функціональної схеми є оптимізація системи сканування сенсорної рамки по горизонталі та по вертикалі з метою простоти керування світлодіодами та фотоприймачами та легкості масштабування системи, тобто збільшення кількості секцій фотопередавачів та фотоприймачів в залежності від розмірів сенсорної рамки.

Для забезпечення великої швидкості обробки натискань, зменшення кількості помилкових спрацювань сенсорної системи застосований метод сканування робочої площі сенсорної рамки по горизонталі та по вертикалі. В один момент часу при такому скануванні увімкненими є лише одна пара світлодіод-фотоприймач, при цьому всі інші вимкнені. Такий метод дозволяє також суттєво знизити енергоспоживання пристрою в цілому, оскільки протягом всієї роботи пристрою активним є лише один світлодіод.

Система керування побудована на десяткових лічильниках, в яких при кожному тактовому імпульсі лише один з десяти виходів може мати високий рівень вихідного сигналу.

Функціональна схема такого лічильника представлена на рисунку 3.3

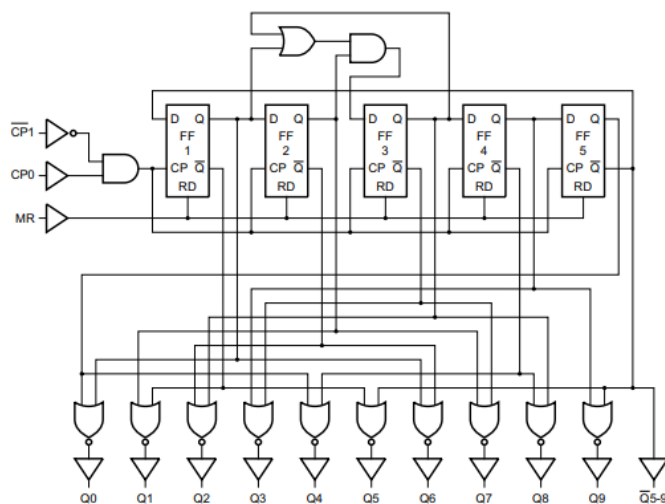


Рисунок 3.3 – Функціональна схема десяткового лічильника

Лічильник має входи CP0 та CP1, що об'єднані логічним елементом «І», та вхід загального скидання R. За допомогою входів CP0 та CP1 формується система тактування лічильників, при цьому один із входів виконує функцію тактового сигналу, а інший вхід – дозвіл на тактування. Така конфігурація входів дозволяє гнучко конфігурувати керування лічильником.

Часові діаграми роботи лічильника представлені на рис. 3.4.

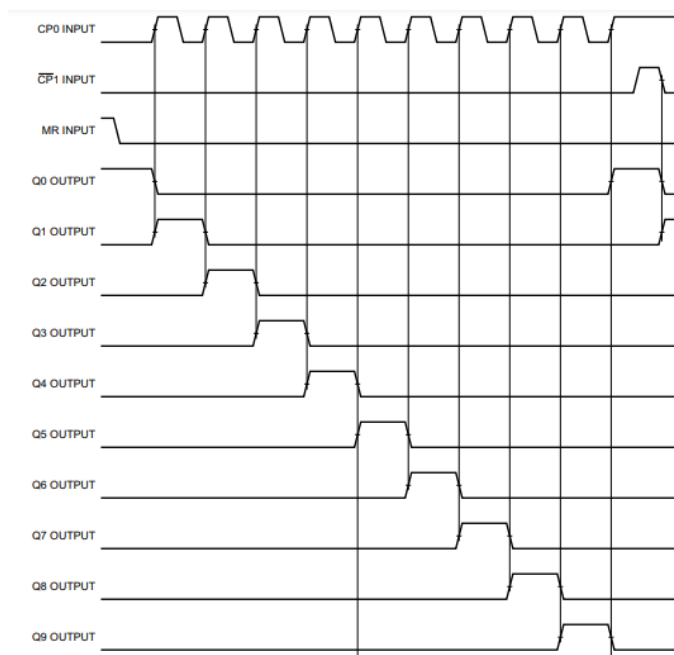


Рисунок 3.4 – Часові діаграми роботи десятичного лічильника

Десятковий лічильник має 10 виходів – Q0 – Q9. Як видно з часової діаграми при низькому логічному рівні на вході скидання R на виході Q0 встановлюється високий логічний рівень, що відповідає увімкненому світлодіоду на схемі. Таким чином для забезпечення почергового вмикання світлодіодів сенсорної рамки, задіяні будуть лише виходи Q1-Q9, а вихід Q0 не підключається.

Одна секція складається з 9 світлодіодів/фотоприймачів, для керування такою секцією застосовується один десятичний лічильник (так званого «першого рівня»). У свою чергу для керування дев'ятьма секціями необхідний окремий десятичний лічильник («другого рівня»), що кожні 9 тактових сигналів змінює активну секцію світлодіодів/фотоприймачів. Наведена схема дозволяє легко масштабувати систему, збільшуючи кількість секцій.

Функціональна схема системи сканування для фотоприймачів зображена на рисунку 3.5.

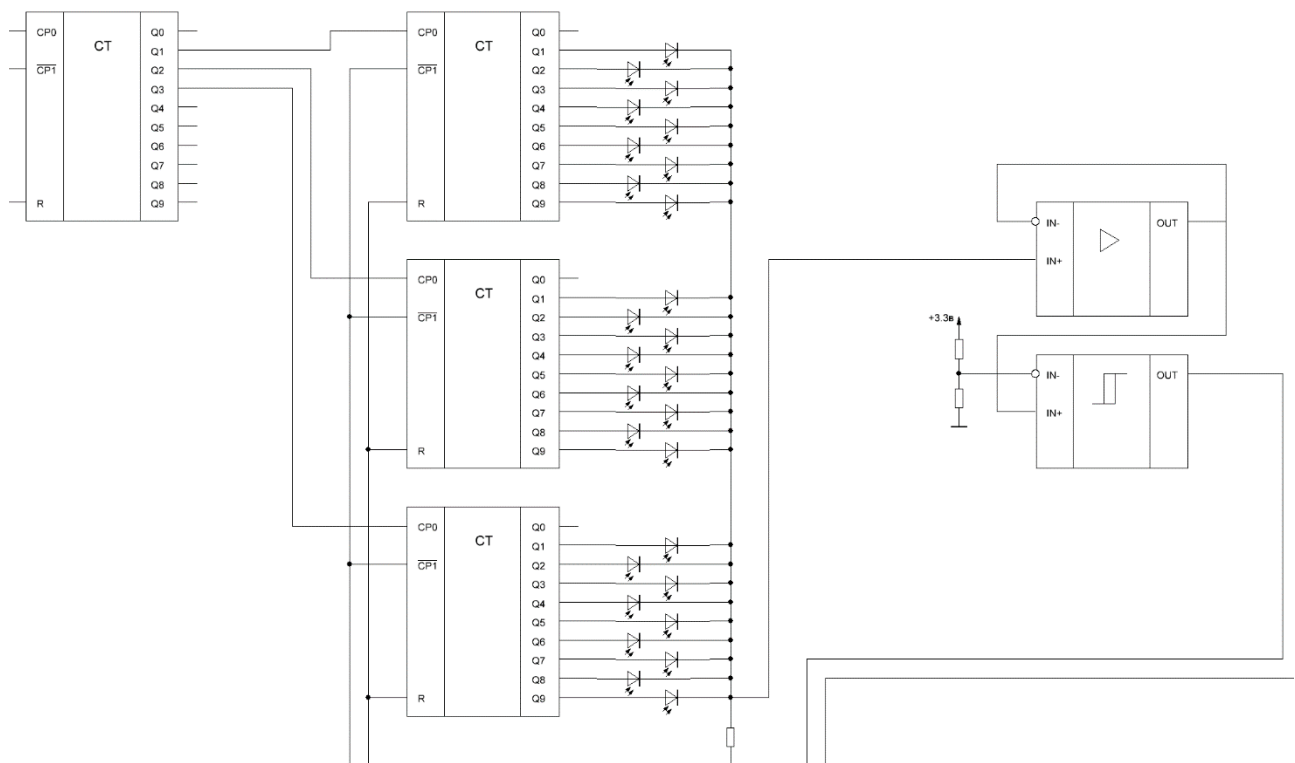


Рисунок 3.5 – Функціональна схема системи сканування

Системи сканування для керування світлодіодами та фотоприймачами є аналогічними і мають однакове включення. На входи фотоприймачів по чергово подається струм від лічильників системи сканування, виходи фотоприймачів об'єднані в одну точку, з якої сигнал від фотоприймачів надходить на підсилювач сигналу, а потім на блок формування імпульсів, який реалізований з використанням тригера Шмітта. До інверсного входу тригера Шмітта підключена середня точка дільника напруги, за допомогою якої можна змінювати поріг зміни стану тригера. Сформований сигнал за допомогою таких двох елементів надходить на мікроконтролер, що проводить подальшу обробку сигналів вхідних та вихідних сигналів.

Спроектована схема системи сканування дозволяє зменшити кількість виводів мікроконтролера, що потрібні для керування лічильникам системи сканування. На рис. 3.6 представлена функціональна схема мікроконтролера та перелік виводів мікроконтролера.

Підключення мікроконтролера до комп'ютера доцільно реалізувати за допомогою інтерфейсу USB. Якщо мікроконтролер не має вбудованої підтримки USB, то потрібно використовувати перетворювач USB-UART.

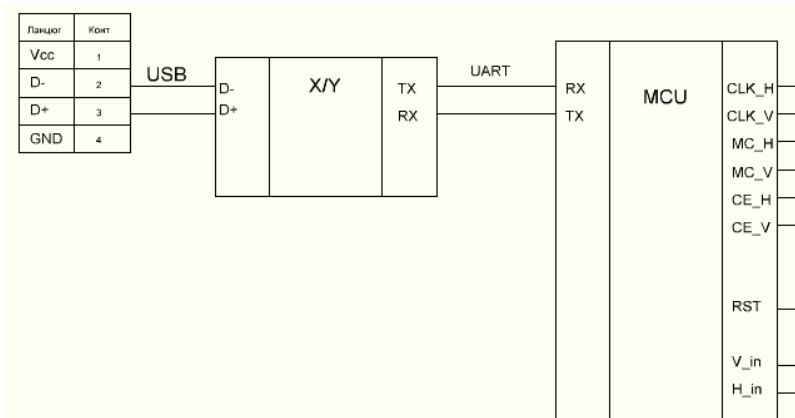


Рисунок 3.6 – Функціональна схема мікроконтролера системи керування

Для підключення сенсорної рамки до мікроконтролера потрібні наступні функціональні виводи:

V_in, H_in – сигнальні входи від фотоприймачів по вертикалі та по горизонталі;

CLK_H, CLK_V – виходи тактування лічильників «першого рівня» по горизонталі та по вертикалі;

MC_H, MC_V – виходи тактування лічильників «другого рівня» по горизонталі та по вертикалі;

CE_H, CE_V – виходи дозволу роботи лічильників «другого рівня» по горизонталі та по вертикалі.

Таким чином, для керування сенсорною рамкою з кількістю 81 світлодіодів по горизонталі та по вертикалі потрібно лише вісім виводів мікроконтролера.

3.4 Вибір елементної бази

Вибір мікроконтролера. Основною вимогою до мікроконтролера, що буде використаний в сенсорній системі є його швидкодія, оскільки його задачею є видача керуючих імпульсів для лічильників скануючої системи, аналіз стану входів та передача даних на комп'ютер. Для використання в даному проекті вибраний мікроконтролер STM32F030F4, що має високі робочі характеристики, низьку вартість та задовольняє вимогам пристрою, що проектується.

Є кілька причин, за якими рішення на STM32F0 мають більш низьку вартість в порівнянні з аналогічними на 8- і 16-бітних контролерів. Зокрема, тому що ці мікроконтролери, як правило, засновані на застарілих архітектурах і

мають багато обмежень, які уповільнюють процес розробки, змушуючи розробників шукати обхідні шляхи. Наприклад, щоб виконати множення двох 16-розрядних чисел (16 x 16) стандартному 16-ти розрядному процесору потрібно чотири множення і кілька операцій додавання, в залежності від реалізації. У свою чергу, 8-розрядному мікроконтролеру потрібно ще більше циклів. З STM32F0 це займає всього одну команду. В результаті виконуваний код ефективніше використовує ресурси мікроконтролера, що призводить до більш швидкого виконання операцій, більш високої продуктивності на МГц, дає велику щільність коду і велику ефективність витрачання енергії. Чим менше кожна команда вимагає тактів для виконання, тим меншого обсягу коду вимагають додатки, і тим легше виробляти їх налагодження. А це суттєво скорочує час, необхідний для проведення розробки. Разом ці переваги призводять до зниження вартості кінцевої системи.

Основні характеристики та розташування виводів мікроконтролера STM32F030F4P6 представлені в табл. 3.1 та на рис. 3.7., відповідно.

Таблиця 3.1 – Основні характеристики мікроконтролера STM32F030F4.

Ядро	ARM Cortex-M0
Максимальна частота ядра	48 МГц
Тип пам'яті програм	FLASH, 16 кБ
Інтерфейси	I ² C, SPI, UART/USART
Периферія	DMA, POR, PWM, WDT
Напруга живлення	2.4...3.6 В
Робоча температура	-40...85 °C

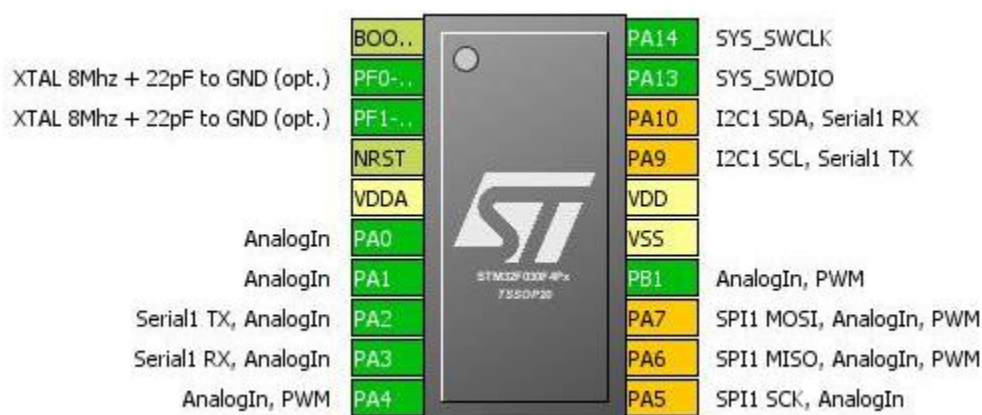


Рисунок 3.7 – Призначення виводів мікроконтролера STM32F030F4

Вибір лічильників. Для побудови системи сканування сенсорної рамки використовуємо десяткові лічильники CD4017 (рис. 3.8).

Мікросхема 4017 - це лічильник імпульсів з вбудованим декодером. Лічильник має 10 виходів, від 0 до 9. Декодер забезпечує логічну одиницю тільки на одному виході в будь-який момент часу. При подачі тактових імпульсів на вхід лічильника, одиниця послідовно переміщається з одного виходу на інший. Після виходу 9 одиниця переходить на вихід 0.

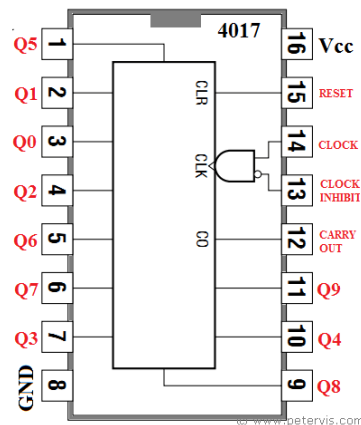


Рисунок 3.8 – Призначення виводів мікросхеми CD4017

Для установки лічильника в початковий стан, потрібно подати на вхід MR рівень логічної одиниці. При цьому на виходах Q0 і CO встановиться рівень лог. одиниці, на інших виходах - нулі. Поки вхід MR знаходиться в стані логічної одиниці, лічильник не реагує на зміни рівнів на входах CLK і E.

Якщо вхід MR знаходиться в стані логічного нуля, стан лічильника можна змінювати подачею тактових імпульсів. Лічильник може працювати або по фронту, або по спаду тактових імпульсів. У першому випадку, вхід E повинен перебувати в стані логічного нуля, а тактові імпульси подаються на вхід CLK. Для роботи по спаду імпульсів, вхід CLK утримують в стані логічної одиниці, а тактові імпульси подають на вхід E.

Вибір підсилювача сигналу. Підсилення сигналу і формування імпульсів на виході фотоприймачів виконується мікросхемами LM358 (операційний підсилювач) та LM339 (тригер Шмітта).

Мікросхема LM358 в одному корпусі містить два незалежних малопотужних операційних підсилювача з високим коефіцієнтом посилення і частотної компенсацією. Відрізняється низьким споживанням струму.

Особливість даного підсилювача - можливість працювати в схемах з однополярним живленням від 3 до 32 вольт.

LM339- 4-канальний компаратор для роботи в побутовому діапазоні температур (0 .. + 70 ° С). Вихід - відкритий колектор.

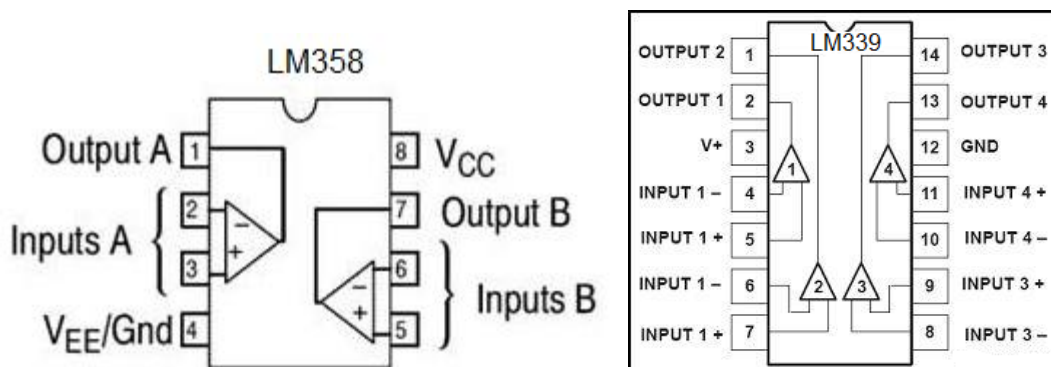


Рисунок 3.8 – Призначення виводів мікросхем LM358 та LM339

Таблиця 3.2 – Основні характеристики мікросхеми LM358

Однополярне живлення:	від 3 В до 32 В.
Двополярне живлення:	± 1,5 до ± 16 В.
Струм споживання:	0,7 мА.
Вхідна напруга зсуву:	3 мВ.
Диференціальне вхідна напруга:	32 В.
Синфазний вхідний струм:	20 нА.
Диференціальний вхідний струм:	2 нА.
Диференціальний коефіцієнт підсилення по напрузі:	100 дБ.
Розмах вихідної напруги:	від 0 В до V _{CC} - 1,5 В.
Коефіцієнт гармонійних спотворень:	0,02%.
Максимальна швидкість наростання вихідного сигналу:	0,6 В / мкс.
Частота одиничного посилення (з температурною компенсацією):	1,0 МГц.
Максимальна потужність, що розсіюється:	830 мВт.
Діапазон робочих температур:	0 ... 70 С.

Таблиця 3.3 – Основні характеристики мікросхеми LM339

Кількість компараторів в корпусі	4
Тип виходу	Open-Collector
Сумісність з логікою	DTL, ECL, MOS, CMOS, TTL
Діапазон напруг живлення	2...36 В
Час поширення сигналу вхід-вихід	1.3 мкс
Діапазон робочих температур	0...70 °С

Вибір схеми перетворювача інтерфейсу. Для підключення мікроконтролера сенсорної рамки до комп'ютера через інтерфейс USB використовується мікросхема CH340G (рис. 3.9) - перетворювач інтерфейсу USB в UART (міст USB-UART).

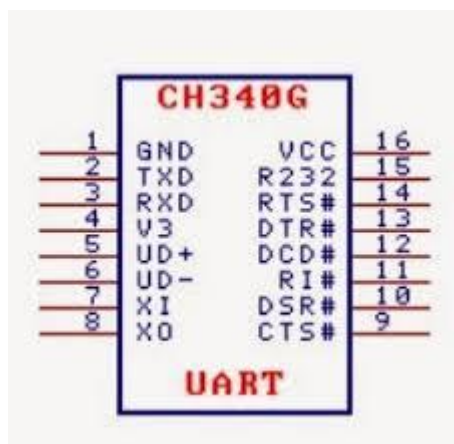


Рисунок 3.9 – Призначення виводів мікросхеми CH340G

Характеристики мікросхеми CH340G:

- Підтримує повну швидкість специфікації USB 2.0.
- Вимагає мінімум зовнішніх компонентів. Тільки кварцовий резонатор і 4 конденсатора.
- Створює віртуальний послідовний порт, який емулює всі функції реального COM порту.
- Дозволяє використовувати всі існуючі програми для COM портів без зміни і доопрацювань.
- Апаратна частина підтримує послідовний дуплексний інтерфейс з внутрішнім буфером FIFO. Швидкість обміну від 50 біт в сек, до 2 Мбіт в сек.
- Підтримує повний контроль сигналів управління передачею даних RTS, DTR, DCD, RI, DSR і CTS.
- При використанні зовнішніх перетворювачів рівнів підтримує інтерфейси RS23, RS422, RS485.
- Може працювати з сигналами рівнів 5 і 3,3 В.
- Конструктивно мікросхема виконана в корпусі SO-16.

Вибір світлодіодів та фотодіодів. Вибір фотопередавача та фотоприймача важливий для забезпечення надійної роботи всієї системи, оскільки від їх характеристик залежить швидкодія та чутливість сенсорної рамки. Для використання вибрані світлодіод ВІR-ВМ1331 (940 нм) в якості

фотопередавача, та фототранзистор ВРТ-ВР2931 (940 нм) в якості фотоприймача.

Інфрачервоні світлодіоди (скорочено ІЧ діоди) випромінюють світло в інфрачервоному діапазоні. Области застосування інфрачервоних світлодіодів це оптичні контрольно-вимірювальні прилади, пристрої дистанційного управління, оптронні комутаційні пристрої, бездротові лінії зв'язку.

3.5 Розробка схеми електричної принципової

Підключення мікроконтролера. Схема підключення мікроконтролера STM32F030F4 представлена на рис. 3.10. Живлення мікроконтролера складає +3,3В. Тактування мікроконтролера відбувається від внутрішнього RC-генератора, тому кварцовий резонатор не використовується. Для обміну даними мікроконтролера з комп'ютером через USB інтерфейс лінії TX та RX універсального прийомо-передавача UART підключаються до мікросхеми-перетворювача інтерфейсу UART/USB. Порти PA2, PA5, PA6, PA7, PB1, PA13, PA14 налаштовані на «вихід» і підключені до входів керування лічильниками системи сканування. Виводи PA3 і PA4 налаштовані на «вхід», до них підключені входи компараторів.

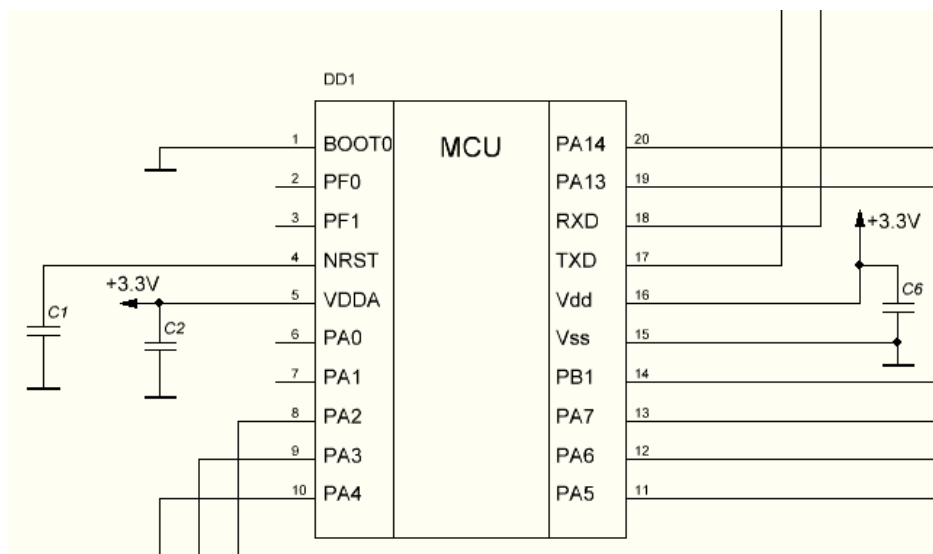


Рисунок 3.10 – Схема підключення мікроконтролера STM32F030F4

Підключення мікросхеми перетворювача інтерфейсу UART/USB. Типова схема підключення мікросхеми СН340 представлена на рис. 3.11. До входів XI та XO підключається кварцовий резонатор з частотою 12 МГц.

Виводи UD+ та UD- є виводами обміну даними і підключаються до USB роз'єму. Виводи TX та RX підключені до відповідних виводів інтерфейсу UART мікроконтролера.

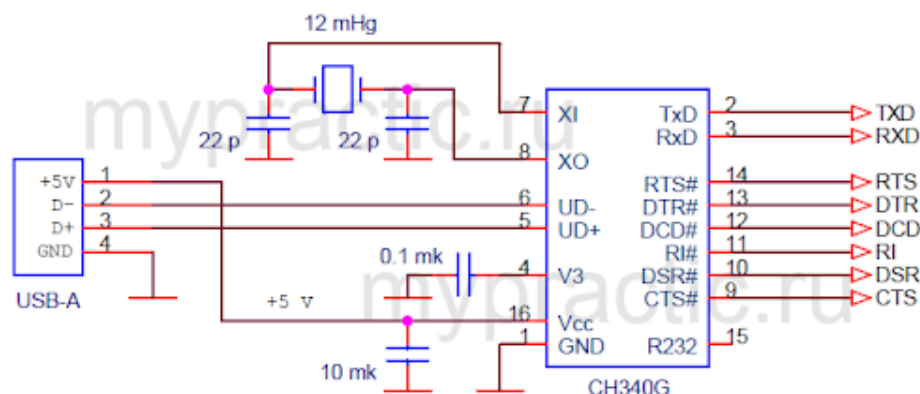


Рисунок 3.11 – Схема підключення мікросхеми CH340

Підключення лічильників системи сканування, світлодіодів та фотодіодів. Схема підключення фотопередавачів та фотоприймачів до лічильників системи сканування є аналогічною, представлена на рис. 3.12. Десятковий лічильник має десять виходів, з яких вихід Q0 не використовується, а до виходів Q1-Q9 підключені аноди світлодіодів/фотодіодів. Катоди світлодіодів/фотодіодів об'єднані в одну точку. Струм через світлодіоди/фотодіоди обмежується за допомогою резисторів. Для світлодіодів номінал резистора складає 100 Ом, для фотодіодів 3 МОм. Сигнал з фотоприймачів знімається з катоду фотодіода і надходить на підсилювач сигналу.

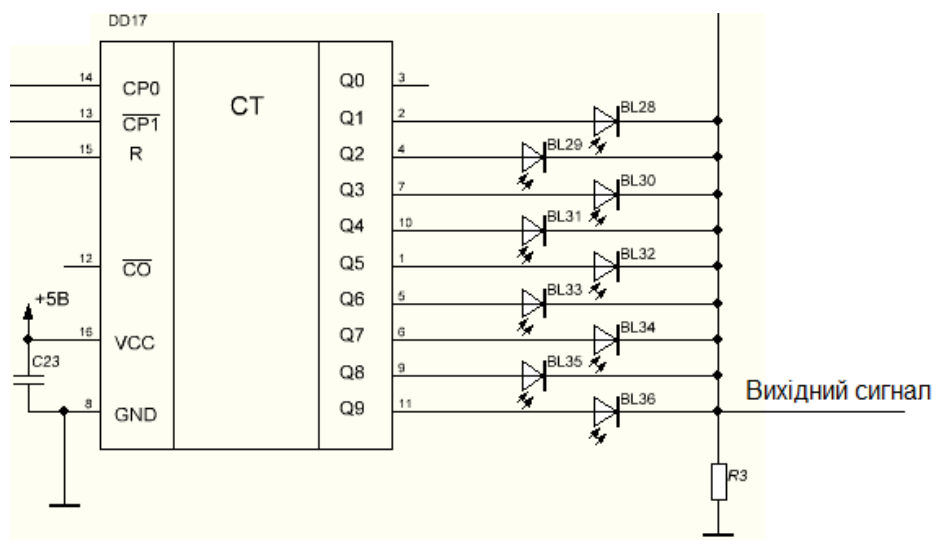


Рисунок 3.12 – Схема підключення системи сканування

Входами керування лічильника є СР0, СР1, R. Вхід R підключається до мікроконтролера і відповідає за скидання лічильника. Вхід СР1 є входом тактового сигналу, що надходить з мікроконтролера. Вхід СР0 є входом дозволу тактування, що надходить від системи керування лічильниками.

Підключення підсилювача сигналу та формувача імпульсів. Оскільки струм, що надходить від фотоприймача має невисокі значення, порядку 1 мкА, то для подальшої обробки сигналу необхідно його підсилити. Для цього використовується підсилювач сигналу, виконаний на мікросхемі LM358. Підсилювач увімкнений по схемі буферного повторювача, тобто збільшує струм вихідного сигналу, залишаючи значення напруги незмінним. Підсилений сигнал надходить на прямий вхід компаратора LM339. На інверсний вхід компаратора подається опорний сигнал від резистивного дільника. Номінали резисторів дільника підбираються таким чином, щоб значення напруги в середній точці дільника відповідало напрузі виходу підсилювача при спрацюванні фотоприймачів. Схема підключення підсилювача сигналу і формувача імпульсів представлена на рис. 3.13.

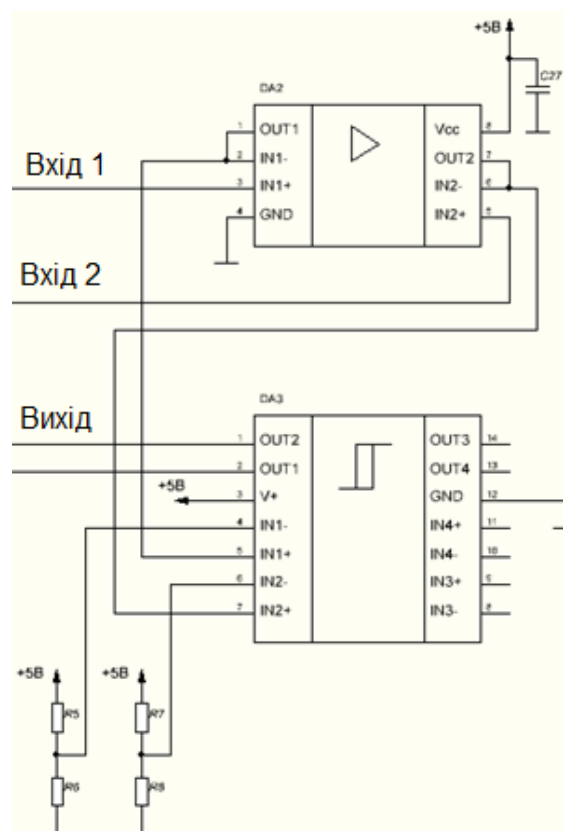


Рисунок 3.13 – Схема підключення підсилювача сигналу

3.6 Розробка програмного забезпечення

```
int MQPSETUP()
{
/* Check for the version of the board */
if(!assert_board_version())
while(1);
//Initialize clock and peripherals
halBoardInit();
halBoardStartXT1();
halBoardSetSystemClock(SYSCLK_16MHZ);
loadSettings();
//Initialize buttons
buttonDebounce = 1;
halButtonsInit( BUTTON_ALL );
halButtonsInterruptEnable( BUTTON_ALL );
__bis_SR_register(LPM3_bits + GIE); // Enter LPM3
//__no_operation(); // For debugging only
CpuMode = ACTIVE_MODE;
//setupRTC();
//variables used for detecting finger positions
unsigned long tempinput = 0x0000;
unsigned long tempinput2 = 0x0000;
unsigned long input2[] = { 0x0000, 0x0000, 0x0000, 0x0000, 0x0000, 0x0000,
0x0000, 0x0000 };
unsigned long tempa = 0x0000;
unsigned long tempb = 0x0000;
int x_min = 0;
int x_max = 0;
int x1 = 0;
int x2 = 0;
int x_old = 0;
int x1r = 0;
int y_min = 0;
int y_max = 0;
int y1 = 0;
int y2 = 0;
int y_old = 0;
int y1r = 0;
int r = 0;
int r_old = 0;
halUsbInit(); // start USB connection
while (1) // main loop
```

					ЕЛІТ 8.171.00.00.158 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		58

```

{
//reset detection storage variable to 0
for (int g = 0; g < 8; g++) {
input2[g] = 0x0000;
}
// P4 BIT Outputs: ADDR1 - ADDR2 - ADDR3 - ADDR4 - NONE- CS1 - CS2
P4DIR |= (BIT0|BIT1|BIT2|BIT3|BIT4|BIT5|BIT6); // P4.0 Decoder control
output
P5DIR |= (BIT0); // clk
P5SEL &= ~(BIT0);
P3DIR = 0;
P3SEL = 0;
P7DIR = 0;
P7SEL = 0;
P4SEL &= ~(BIT0|BIT1|BIT2|BIT3|BIT4|BIT5|BIT6);
// Loop through decoder forever
while(1) {
for (int k = 0; k < 2; k++) { // Chip Select 0 or 1
if ( k == 0) { // Chip 0
P4OUT &= ~BIT5;
P4OUT |= BIT6;
}
else { // Chip 1
P4OUT &= ~BIT6;
P4OUT |= BIT5;
}
P4OUT &= (BIT6|BIT5); // clear all ADDR lines
swDelay(1);
for (int i = 0; i < 14; i++) { // loop 14 outputs of decoder chip
P5OUT += 1; // CLK high
swDelay(1);
P5OUT -= 1; // CLK low
swDelay(1);
P4OUT += 1; // shift up to next segment
swDelay(1);
tempinput = P3IN; // read in part of the scan
tempinput >>= 4; // shift it over to align it properly
tempinput &= 0x000F; // zero out the rest that we don't care about
tempinput2 = P7IN; // read in the other half of the scan
tempinput2 &= 0x00F0; // zero out what we don't want
tempinput |= tempinput2; // add them together to get 1 long reading
tempinput ^= 0x00FF; // and zero out the rest
// append the first byte and invert order
for (int r = 0; r < 8; r++) {
input2[r] <<= 1;
input2[r] &= 0xFFFFFFFF;
}
}
}

```

						ЕЛІТ 8.171.00.00.158 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата			59

```

input2[r] += (tempinput & 0x00000001);
tempinput >>= 1;
}
} // loop back to top to switch decoder chips
} // At this point all 28 segments should be cycled
// start output for terminal readout
halUsbSendChar(27);
halUsbSendString("[2J", 3);
halUsbSendChar(27);
halUsbSendString("[1;1H", 5);
// clear variables incase they don't get overwritten
x_min = 0;
x_max = 0;
x2 = 0;
y_min = 0;
y_max = 0;
y2 = 0;
// loop for the 6 boards that we have
// this would be changed in a later version to make it user assigned
for (int z = 0; z < 6; z++) {
tempa = input2[z]; // read in first board
if (tempa != 0) { // do we have any hits?
tempb = 0;
for (int x = 0; x < 28; x++) { // invert the order of the bits
tempb <<= 1;
tempb += (tempa & 0x00000001);
tempa >>= 1;
}
// for each bit, check to see what position it is
for (int x = 0; x < 28; x++) {
if ((tempb & 0x00000001) == 1) {
if ((x + (z*28)) > 111) { // if it's greater than 111, then it
must be a y
if( y_min == 0 ) { // check for the first hit or "edge"
y_min = (x + (z*28)-111);
}
if ( y_max < (x + (z*28)-111) ) { // check for the last hit
or "edge"
y_max = (x + (z*28)-111);
}
}
else {
if( x_min == 0 ) { // check for the first hit or "edge"
x_min = (x + (z*28));
}
if ( x_max < (x + (z*28)) ) { // check for the last hit or

```

						ЕЛІТ 8.171.00.00.158 ПЗ	Арк.
Зм..	Лист	№ докум.	Підпис	Дата			60

```

"edge"
x_max = (x + (z*28));
}
}
}
tempb >>= 1; // shift over 1 before starting again
}
}
}
// average the diameters to get the radius
y1r = (y_max - y_min) / 2;
x1r = (x_max - x_min) / 2;
r = (y1r+x1r+1)/2; // + 1 is to make it round up instead of down
if (r < 3) { // if the radius is smaller than 3, really only have 1
object
// set midpoint to middle of triggers
y1 = (y_min + y_max) / 2;
x1 = (x_min + x_max) / 2;
r_old = r;
}
// start of 2nd point detection
else {
//compare edges to see what is near old object and make 2nd object on
other edge
if (abs(x_old - x_min) < 5) {
x2 = (x_max - r_old);
x1 = (x_old + x_min)/2;
}
else {
x2 = (x_min + r_old);
x1 = (x_old + x_max)/2;
}
if (abs(y_old - y_max) < 5) {
y2 = (y_min + r_old);
y1 = (y_old + y_max)/2;
}
else {
y2 = (y_max - r_old);
y1 = (y_old + y_min)/2;
}
}
// output the x,y and radius of each point
halUsbSendChar('(');
if (x1 > 100) {
halUsbSendChar('1');
}

```

						Арк.
					ЕЛІТ 8.171.00.00.158 ПЗ	61
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		


```

else {
halUsbSendChar('0');
}
halUsbSendChar((x1/10) + 48);
halUsbSendChar((x1%10) + 48);
halUsbSendString(",0",2);
halUsbSendChar((y1/10) + 48);
halUsbSendChar((y1%10) + 48);
halUsbSendString(" R:",4);
halUsbSendChar(r_old + 48);
if ((x2 != 0) || (y2 != 0)) {
halUsbSendChar(27);
halUsbSendString("[2;1f", 5);
halUsbSendChar('(');
if (x2 > 100) {
halUsbSendChar('1');
}
else {
halUsbSendChar('0');
}
// output 2nd line
halUsbSendChar((x2/10) + 48);
halUsbSendChar((x2%10) + 48);
halUsbSendString(",0",2);
halUsbSendChar((y2/10) + 48);
halUsbSendChar((y2%10) + 48);
halUsbSendString(" R:",4);
halUsbSendChar(r_old + 48);
}
x_old = x1;
y_old = y1;
}
}
}
}

```

4 ТЕХНІКО – ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

4.1 Розрахунок економічного ефекту проектного пристрою

4.1.1 Розрахунок повної собівартості розроблюваного пристрою.

Собівартість розроблюваного пристрою - це виражені в грошовій формі поточні витрати підприємства на його виробництво і збут. Витрати на виробництво утворюють виробничу (заводську) собівартість, а витрати на виробництво і збут - повну собівартість. Розрахунок собівартості продукту, що розробляється за статтями витрат називається калькуляцією. Калькуляція собівартості розроблюваного пристрою здійснюється відповідно до «Типового положення з планування, обліку і калькуляції собівартості продукції (робіт, послуг) в промисловості».

Витрати, пов'язані з виробництвом і збутом (реалізацією) розроблювального пристрою групуються за такими статтями:

- основна заробітна плата;
- додаткова заробітна плата;
- відрахування від заробітної плати;
- матеріали і комплектуючі;
- оренда машинного часу або РСЕО;
- виробничі витрати;
- адміністративні витрати;
- поза виробничі (комерційні витрати).

1) Матеріали та комплектуючі виробу. Розглядаються виходячи з відомостей на матеріали, сировину, комплектуючі, кооперацію, яка припадає на одиницю випуску. Згруповані однорідні електричні компоненти розроблювального пристрою представлені в табл. 4.1, витрати на сировину і матеріали представлені в табл. 3.2. Ціни на комплектуючі взяті з Інтернет-магазину «Kosmodrom» - <http://www.kosmodrom.com.ua> станом на 13.12.2020.

З урахуванням транспортно-заготівельних витрат (кт.з. = 5-15%) вартість комплектуючих і матеріалів становить:

$$\begin{aligned} KM &= \frac{(K + M) \cdot (100 + k_{m.p.})}{100} = \frac{(1000 + 100,00) \cdot (100 + 10)}{100} \\ &= 1100,0 \text{ (Грн)} \end{aligned} \quad (4.1)$$

									Арк.
									63
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата					

Таблиця 4.1 – Комплектуючі, що припадають на одиницю випуску

Назва	Ціна, грн
1. Мікроконтролер STM32F030F4	20,00
2. Мікросхема SN340	15,00
3. Мікросхема CD4017 (18 шт.)	324,00
4. Мікросхема LM358	5,00
5. Мікросхема LM339	7,00
6. Мікросхема LM1117-3.3	6,00
7. Світлодіоди ВІR-ВМ1331 (63 шт.)	126,00
8. Фотодіоди ВРТ-ВР2931 (63 шт.)	157,00
9. Дроти	20,00
10. Роз'єми	20,00
Всього	700,00

Таблиця 4.2 – Витрати на сировину і матеріали

Матеріал, сировина	Одиниця вимірювання	Норма витрат	Ціна за одиницю, грн	Вартість, грн
Каніфоль	кг	0,1	50	5
Флюс з припоєм	кг	0,1	150	15
Склотекстоліт	м ²	0,05	1000	50
Сировина для корпусу	кг	0,2	150	30
Сумарні витрати				100,00

2) Витрати на основну заробітну плату. Роботи по розробці пристрою ведуться в апаратній області. Для реалізації апаратної частини пристрою необхідний 1 інженер – електронщик, який розробить схему структурну, функціональну, електричну принципіву, конструкторську документацію і реалізує пристрій.

Для виконання всіх робіт, орієнтовно буде витрачено 1 місяць, Коли апаратна частина пристрою буде розроблена, починається виробництво пристрою, яке приблизно займе 1 робочий день.

Витрати на основну заробітну плату розраховуються, використовуючи наступне співвідношення:

$$Z_0 = \sum_{i=1}^n T_{\Gamma_i} \cdot H_{\text{ч}_i}, \quad (4.2)$$

де T_{Γ_i} - середня годинна тарифна ставка 1 робочого задіяного у виробництві продукту (грн. / год);

$H_{\text{ч}_i}$ - витрачений працівником час на виготовлення і налагодження приладу (годин.);

n - кількість працівників задіяних у виробництві.

Основна заробітна плата для кожного працівника розраховується індивідуально. При восьмигодинному робочому дні, термін роботи для інженера 1 міс. = 21 р.д. = 168 годин. Орієнтовна середньочасова трудова ставка становить:

$$T_{\Gamma_i} = \frac{T_{\text{м}_i}}{V_{\text{ф}_i} \cdot 8}, \quad (4.3)$$

$T_{\text{м}_i}$ - місячна заробітна плата фахівця (грн.);

$V_{\text{ф}_i}$ - фактично відпрацьований час за розрахунковий період (місяць), днів (змін);

8 - кількість відпрацьованих годин за зміну.

$$T_{\Gamma_i} = \frac{T_{\text{м}_i}}{V_{\text{ф}_i} \cdot 8} = \frac{5040}{21 \cdot 8} = 30 \text{ (грн/год)} \quad (4.4)$$

$$Z_0 = \sum_{i=1}^n T_{\Gamma_i} \cdot H_{\text{ч}_i} = 30 \cdot 8 = 240 \text{ (грн)} \quad (4.5)$$

3) Додаткова заробітна плата. Складає в середньому 10 ÷ 30% від основної заробітної плати. До неї відносяться премії, заохочення, позаурочні, святкові.

$$Z_d = Z_0 \frac{K_d}{100}, \quad (4.6)$$

де K_d - відсоток додаткової заробітної плати.

						ЕЛІТ 8.171.00.00.158 ПЗ	Арк.
Зм..	Лист	№ докум.	Підпис	Дата			65

$$З_d = З_0 \frac{К_d}{100} = 240 \cdot \frac{10}{100} = 24 \text{ (грн)} \quad (4.7)$$

4) Відрахування від заробітної плати. До таких відрахувань відносяться: відрахування в пенсійний фонд - 33,2%, соціальне страхування - 2,9%, фонд зайнятості (безробіття) - 1,9%, нещасні випадки на виробництві - 0,5 - 1,0. Загалом, відрахування від заробітної плати становлять 38,52%.

$$В_{\text{соц}} = (З_0 + З_d) \cdot \frac{(38,52)}{100} = (240 + 24) \cdot \frac{38,52}{100} = 101,7 \text{ (грн)} \quad (4.8)$$

5) Витрати на утримання і експлуатацію обладнання. Так як робоче виробниче обладнання знаходиться на балансі підприємства, витрати на утримання та експлуатацію устаткування (ВУЕУ) = заробітна плата · % ВУЕУ (приймаємо % ВУЕУ = 120-150%), тобто маємо: $240 \cdot 1,2 = 288$ (грн).

6) Загальновиробничі витрати. Являють собою витрати, пов'язані з управлінням підрозділу, витрати на службові відрядження працівників цеху (підрозділу), амортизаційні відрахування від вартості основних фондів загальноцехового призначення і т. д.

Визначаються в розмірі 130-250% від основної заробітної плати:

$$240 \cdot 1,5 = 360 \text{ (грн).}$$

Сума статей 1.1 - 1.6 являє виробничу собівартість приладу (установки).

$$\text{Маємо: } В_{\text{заг.вир}} = 800 + 240 + 24 + 101,7 + 288 + 360 = 2228,7.$$

7) Адміністративні витрати. Можуть містити в собі:

- витрати, пов'язані з управлінням підприємства;
- витрати на службові відрядження адміністрації підприємства;
- витрати на пожежну і сторожову охорону;
- витрати, пов'язані з підготовкою (навчанням) і перепідготовкою кадрів;
- витрати на перевезення працівників до місця роботи і назад;
- витрати на оплату відсотків за фінансові кредити, а також відсотків за товарні і комерційні кредити; витрати, пов'язані з оплатою відсотків за користування матеріальними цінностями, взятими в оренду (лізинг);
- витрати, пов'язані з оплатою послуг комерційних банків та інших кредитно-фінансових установ;
- податкові відрахування.

Визначаються в розмірі 140-200% відсотків від основної заробітної плати. Оціночно адміністративні витрати складуть 160% від $З_0$ - 384 грн.

					ЕЛІТ 8.171.00.00.158 ПЗ	Арк.
						66
Зм..	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

8) Витрати на збут. Включають витрати на рекламу і на підготовку приладу перед реалізацією. Орієнтовно ці витрати визначаються в розмірі 5-10% від виробничої собівартості. Оціночно витрати на збут складуть 181,4 грн.

Сума статей 1.1-1.8 виявляє повну собівартість приладу:

$1813,7 + 384 + 181,4 = 2379,1$ (грн).

Таблиця 4.3 - Калькуляція собівартості приладу

Назва	Ціна, грн
1. Матеріали і комплектуючі виробу	700
2. Витрати на сировину і матеріали	100
3. Витрати на основну заробітну плату	240
4. Додаткова заробітна плата	24
5. Відрахування від заробітної плати	101,7
6. Витрати на утримання і експлуатацію устаткування	288
7. Загальновиробничі витрати	360
Виробнича собівартість	1813,7
8. Адміністративні витрати	384
9. Витрати на збут	181,4
Повна собівартість приладу	2379,1

4.1.2 Визначення ціни приладу

1) Розрахунок оптової ціни приладу. У ринковій економіці існують різні методи ціноутворення: собівартість плюс прибуток, забезпечення фіксованого обсягу прибутку, в залежності від рівня попиту і т. д. Розрахунок оптової ціни приладу проводиться за схемою «собівартість плюс прибуток». Відповідно до даної методики оптова ціна виробу визначається як:

$$C_{\text{опт.}} = C + П, \quad (4.9)$$

де C - повна собівартість приладу;

П - розмір прибутку.

Прибуток визначається виходячи з нормативу (показника) рентабельності виробництва продукції встановленого підприємством:

$$R = \frac{П}{C} \cdot 100\%, \quad (4.10)$$

де R - рентабельність продукції (продукту), приймається в розмірі 35%.
Тоді оптова ціна визначається:

$$C_{\text{опт.}} = C + \frac{R \cdot C}{100} = 2379,1 + \frac{0,35 \cdot 2379,1}{100} = 3212 \text{ (грн)} \quad (4.11)$$

2) Відпускна ціна приладу. Відпускна ціна приладу включає податок на додаткову вартість:

$$C_{\text{відп.}} = C_{\text{опт.}} \cdot 1,2 = 3212 \cdot 1,2 = 3855 \text{ (грн)} \quad (4.12)$$

де 20% - ПДВ.

Позитивні сторони даної методики полягають в її простоті, комплексної очевидності такої функції ціни як відшкодування витрат на виробництво і забезпечення прибутковості від створення і реалізації ПО. Недолік даної методики полягає в тому, що вона недостатньо враховує ринкові чинники ціноутворення і насамперед попит. Однак у реальній перехідній економіці існують ситуації, коли підприємствам доцільно її застосовувати: в умовах відсутності конкуренції (монополії), при обмеженні рентабельності продукції з боку держави, виконанні одноразових замовлень, виготовленні оригінальної продукції.

Для встановлення реальної ціни, яка б відповідала умовам існуючого ринку приладу, потрібні маркетингові дослідження.

4.1.3 Визначення річних витрат користувача.

Річні експлуатаційні витрати включають витрати на електричну енергію (живлення приладу), заробітну плату обслуговуючого персоналу, амортизаційні відрахування, витрати на поточний ремонт та інші витрати.

1) Витрати на електричну енергію визначаються за формулою:

$$B_e = W \cdot C_e \cdot t, \quad (4.13)$$

де W потужність приладу, кВт;

C_e - вартість одного кВт · год, грн / кВт · год;

t - час роботи приладу за рік.

Вартість електроенергії для побутових користувачів на 13.12.2020 становить 0,90 грн / кВт · год; кількість днів роботи приладу в році – 240, час роботи приладу – 8 годин за добу.

					ЕЛІТ 8.171.00.00.158 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		68

Потужність приладу складає 10 Вт.

$$W_e = W \cdot Ce \cdot t = 0,01 \cdot 0,9 \cdot 240 \cdot 8 = 17,28 \text{ (грн)} \quad (4.14)$$

2) Розрахунок витрат на заробітну плату персоналу, який обслуговує прилад в разі потреби за формулою:

$$Z_{оп} = \sum_{j=1}^m T_{mj} \cdot kz_j \cdot kd_j \cdot kc_j \cdot \text{Ч}_j \cdot 12, \quad (4.15)$$

де T_{mj} - місячний оклад (ставка) фахівця j -ї професії;

kz_j - коефіцієнт зайнятості (залежить від часу обслуговування приладу фахівцем j -ої професії);

kd_j - коефіцієнт, який враховує додаткову заробітну плату (приймається $kd_j = 1,1-1,3$);

kc_j - коефіцієнт, який враховує нарахування на заробітну плату (береться $kc = 1,363$);

Ч_j - кількість фахівців j -ої професії;

m - кількість професій.

$$Z_{оп} = \sum_{j=1}^m T_{mj} \cdot kz_j \cdot kd_j \cdot kc_j \cdot \text{Ч}_j \cdot 12 = 4700 \cdot 0,05 \cdot 1,2 \cdot 1,363 \cdot 1 \cdot 12 \quad (4.16)$$

$$= 2306,20 \text{ (грн)}$$

Таблиця 4.4 - Розрахунок заробітної плати обслуговуючого персоналу

Вид обслуговування	Професія	Оклад, грн	Коефіцієнт зайнятості	Кількість персоналу, чол.		Річна заробітна плата, грн	
				По приладу аналога	По приладу проекту	По приладу аналога	По приладу проекту
Ремонт	Інженер	4700	0,05	1	1	3000	2306,2
Всього				1	1	3000	2306,2

3) Річна сума амортизаційних відрахувань визначається за відповідними нормами амортизації від первинної вартості приладу, яка включає: ціну приладу, витрати на транспортування і монтаж, які приймаються в розмірі 5-15% від ціни, приймаємо 5232,6 грн.

Амортизацію електронних приладів має сенс розраховувати прямолінійним методом:

$$A = F \cdot a = 3955 \cdot 0,10 = 395,5 \text{ (грн)}, \quad (4.17)$$

де F - первинна вартість приладу;

a - річна норма амортизації,

$$F = C_{\text{розд.}} + B_{\text{т.м.}} = 3855 + 100 = 3955 \text{ (грн)}, \quad (4.18)$$

де $C_{\text{розд.}}$ - роздрібна ціна приладу;

$B_{\text{т.м.}}$ - витрати на транспортування і монтаж приладу.

Річна норма амортизації розраховується прямолінійним методом відповідно до терміну корисного застосування приладу:

$$a = \frac{1}{T_{\text{заст.}}} = \frac{1}{10} = 0,10, \quad (4.19)$$

де $T_{\text{заст.}}$ - строк корисного використання приладу, років. Відповідно до нового Податкового кодексу України дозволяється не менше 2 років.

4) Витрати на поточний ремонт та інші витрати включають в себе вартість електронних елементів, які виходять з ладу протягом року і вартість демонтажних і монтажних робіт. Витрати на ремонт приймаються рівними 5% від капітальних витрат з урахуванням прогнозування відмов:

$$B_{\text{п.р.}} = \frac{F \cdot k_{\text{п.р.}}}{100} = \frac{3955 \cdot 5}{100} = 197,75 \text{ (грн)}, \quad (4.20)$$

де $k_{\text{п.р.}}$ - відсоток витрат на поточний ремонт.

Таблиця 4.5 - Річні експлуатаційні витрати користувача

Статті експлуатаційних витрат	Річні експлуатаційні витрати, грн	
	Прилад-аналог	Проектний прилад
Вартість електроенергії	20	17,28
Витрати на обслуговування приладу	3000	2306,2
Амортизаційні відрахування	400	395,5
Витрати на поточний ремонт	200	197,75
Всього (Вр.е)	4620	2916,73

4.1.4 Розрахунок повної ціни користувача.

Ціна користувача $C_{\text{кор.}}$. Включає в себе капітальні вкладення F і сумарні річні витрати на експлуатацію приладу $B_{\text{р.е.}}$ протягом застосування приладу:

$$C_{\text{кор.}} = F + B_{\text{р.е.}} \cdot T_{\text{заст.}} = 3955 + 2916,73 \cdot 10 = 33122,3 \text{ (грн)} \quad (4.21)$$

4.1.5 Оцінка конкурентоспроможності проектного приладу.

Для оцінки конкурентоспроможності застосовується комплексний показник конкурентоспроможності $Q_{\text{кон.}}$, що визначається за інтегральними показниками конкурентоспроможності приладів:

$$Q_{\text{кон.}} = \frac{Q_{\text{н.п.}} \cdot Q_m}{Q_e}, \quad (4.22)$$

де $Q_{\text{н.п.}}$ - інтегральний показник за нормативними параметрами (може приймати виключно два значення: нуль, якщо прилад не відповідає обов'язковим для даного ринку нормам і стандартам (частота і напруга живлення, точність вимірювання, конструктивні розміри), і одиницю, якщо відповідає. В проектному приладі $Q_{\text{н.п.}} = 1$);

Q_m - порівняльна конкурентоспроможність приладу по його технічному рівню (наприклад, якщо швидкість передачі, або пропускна здатність приладу збільшена у 2,5 рази, то $Q_m = 2,5$). В даному приладі збільшена швидкість опитування в порівнянні з аналогом в 1,25 рази;

Q_e - інтегральний економічний показник.

Таблиця 4.6 - Порівняння техніко-економічних показників системи-аналога і проектної електронної системи

Показники	Одиниця вимірювання	Значення	
		прибор-аналог	проектний прилад
Технічні:			
Потужність приладу	Вт	12	10
Середнє напрацювання на відмову	год	24	24
Маса	кг	0,1	0,1
Економічні:			
Відпускна ціна	грн	2000	3855
Річні експлуатаційні витрати користувача	грн	4620	2916,73
Повна ціна користувача	грн	48200	40036
Показник якості за технічним рівнем		1	1,2
Інтегральний економічний показник конкурентоспроможності		1,2	0,82
Комплексний показник		0,83	1,52

Конкурентоспроможність по економічному показнику Q_e визначається за ціною користування виробів:

$$Q_e = \frac{C_{\text{вик.пр.}}}{C_{\text{вик.ан.}}}, \quad (4.23)$$

де $C_{\text{вик.пр.}}$ - ціна використання проектного приладу;

$C_{\text{вик.ан.}}$ - ціна застосування приладу-аналога.

Якщо коефіцієнт конкурентоспроможності $Q_{\text{кон.}}$ більше одиниці, відповідно система є конкурентоспроможною.

Висновки: з урахуванням розрахованих параметрів, можна зробити висновок про те, що розробка і впровадження даного пристрою має техніко-економічний сенс, так як він має високі експлуатаційні якості, більш низьку в порівнянні з аналогами вартість.

ВИСНОВОК

Даний дипломний проект присвячений розробці інтерактивної сенсорної системи для моніторів. Спроектвана система представляє собою сенсорну рамку, що може бути підключена до комп'ютера через інтерфейс USB і дозволяє перетворити звичайний монітор в сенсорний.

Для вирішення поставленої задачі були виконані наступні етапи:

1. Проведено літературний огляд технологій сенсорних екранів і для використання в дипломному проекті обрано технологію інфрачервоного сенсорного екрану. Проведено огляд існуючих рішень подібних систем, що розпутні на ринку.

2. З метою покращення робочих характеристик системи було здійснено аналіз параметрів фотоприймачів, досліджено методики розрахунку робочих параметрів фотоприймачів. На основі дослідження було проведено вибір інфрачервоних фотопередавачів та фотоприймачів для використання в подальшій розробці сенсорної рамки.

3. Розроблено алгоритм роботи, структурну, функціональну схеми системи. Здійснено вибір елементної бази та на основі обраних компонентів спроектовано принципову електричну схему пристрою.

4. Розроблено програмне забезпечення мікроконтролера, що проводить керування інфрачервоною сенсорною рамкою.

5. Проведено економічний розрахунок собівартості приладу, сумарних витрат споживача та рентабельності виготовлення приладу.

У результаті була розроблена інтерактивна система для моніторів, що має кращі у порівнянні з промисловими аналогами характеристики, а саме більшу швидкодію за рахунок використання потужного мікроконтролера та меншу чутливість до дії освітлення від сторонніх джерел випромінювання – за рахунок оптимального підбору параметрів фотопередавачів та фотоприймачів.

					ЕЛІТ 8.171.00.00.158 ПЗ	Арк.
						73
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Якушенков Ю.Г. Теория и расчет оптико-электронных приборов: учебник для вузов. –Изд. 6-е, перераб. и доп. –М.: Логос, 2011. –568 с.
2. Тарасов В.В., Якушенков Ю.Г. Введение в проектирование оптико-электронных приборов: системный подход: Учебник/ Под ред. Ю.Г. Якушенкова. –М.: Университетская книга, 2016. –488 с.
3. Якушенков Ю.Г. Основы оптико-электронного приборостроения: Учебник. –Изд. 2-е, перераб. и доп. –М.: Логос, 2013. –376 с.
4. Ишанин Г.Г., Челибанов В.П. Приемники оптического излучения: Учебник / Под ред. В.В.Коротаева. –СПб.: Изд-во «Лань», 2014. –304 с.
5. Тарасов В.В., Якушенков Ю.Г. Двух- и многодиапазонные оптикоэлектронные системы с матричными приемниками излучения. –М.: Логос, 2007. –192 с.
6. Тарасов В.В., Якушенков Ю.Г. Инфракрасные системы «смотрящего» типа. –М.: Логос, 2004. –444 с.
7. Парвулюсов Ю.Б., Родионов С.А., Солдатов В.П. и др. Проектирование оптико-электронных приборов: Учебник / Под общ. ред. Ю.Г. Якушенкова –М.: Логос, 2000. –488 с.
8. Высокоточные угловые измерения / Аникст Д.А., Константинович К.М., Меськин И.В. и др. Под ред. Ю.Г. Якушенкова. –М.: Машиностроение, 1987. –480 с.
9. Торшина И.П. Компьютерное моделирование оптико-электронных систем первичной обработки информации. –М.: Университетская книга; Логос, 2009. –248 с.
10. Тарасов В.В., Торшина И.П., Якушенков Ю.Г. Инфракрасные системы 3-го поколения / Под общ. ред. Ю.Г. Якушенкова. –М.: Логос. –2011. –240 с. 11. Грузевич Ю.К. Оптико-электронные приборы ночного видения. –М.: ФИЗМАТЛИТ, 2014. –276 с.

					ЕЛІТ 8.171.00.00.158 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		74