

ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»
Факультет комп'ютерно-інформаційних технологій та автоматизації
(повне найменування інституту, назва факультету)

Кафедра електронної техніки
(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»
Завідувач кафедри електронної техніки
_____ Олександр ВОВНА
(підпис) (ім'я та прізвище)
«__» _____ 2022 р.

Випускна кваліфікаційна робота

бакалавра
(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему «Розробка електронного пристрою вимірювання лінійних переміщень»

Виконав студент 4 курсу, групи ЕЛТ-18
(шифр групи)

спеціальності 171 Електроніка
(шифр і назва спеціальності)

Гуца Роман Олександрович
(Прізвище, Ім'я та По-батькові) (підпис)

Керівник асистент кафедри ЕТ Ганна ЛАКТИОНОВА
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ім'я) (підпис)

Рецензент доц. каф. ЕЛІН, к.ф.-м.н., доц. Олена ЛЮБИМЕНКО
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ім'я) (підпис)

Нормоконтроль
зав. кафедри ЕТ, д.т.н., проф.

*Засвідчую, що у цій випускній кваліфікаційній
роботі немає запозичень з праць інших
авторів без відповідних посилань.*

_____ Олександр ВОВНА Студент _____
(підпис) (підпис)

Луцьк – 2022 р.

ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»
Факультет комп'ютерно-інформаційних технологій та автоматизації
(повне найменування інституту, назва факультету)

Кафедра електронної техніки
(повна назва кафедри)

Захист відбувся _____

(дата)

з оцінкою _____

Секретар ЕК _____

(підпис)

Випускна кваліфікаційна робота
_____бакалавра_____

Тема: «Розробка електронного пристрою вимірювання лінійних переміщень»
_____»

Спецчастина: _____

Виконавець, студент

гр. ЕЛТ – 18

_____ Роман ГУЩА

(підпис, дата, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Керівник

_____ Ганна ЛАКТИОНОВА

(підпис, дата, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Консультанти:

_____ Олександр ВОВНА

(підпис, дата, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

_____ Іван ЛАКТИОНОВ

(підпис, дата, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

_____ Олександр ШТЕПА

(підпис, дата, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

**Державний вищий навчальний заклад
"Донецький національний технічний університет"**

Інститут, факультет Комп'ютерно-інформаційних технологій та автоматизації
Кафедра Електронна техніка
Освітньо-кваліфікаційний рівень бакалавр
Галузі знань 17 Електроніка та телекомунікації
(шифр і назва)
Спеціальність 171 Електроніка
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри електронної техніки

Олександр ВОВНА

« _____ » 2022 року

ЗАДАНИЯ

НА ВИПУСКНУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА

Гуца Роман Олександрович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Розробка електронного пристрою вимірювання лінійних переміщень

керівник проекту (роботи) Лактіонова Ганна Анатоліївна

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від 06.05.2022 року № 180

2. Строк подання студентом проекту (роботи) _____

3. Вихідні дані до проекту (роботи)

Технічна документація та матеріали з переддипломної практики

4.Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) аналіз та характеристика об'єкту; обґрунтування та розробка структурної схеми електронного пристрою; розробка принципової схеми електронного пристрою; оцінка метрологічних характеристик; синтез мікропроцесорної частини електронного пристрою; розробка конструкції та зовнішнього вигляду електронного пристрою.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	ас. каф. ЕТ, Лактіонова Г.А.		
2.1	ас. каф. ЕТ, Лактіонова Г.А.		
2.2	проф. каф. ЕТ, д.т.н., доц. Лактіонов І.С.		
2.3	доц. каф. ЕТ, к.т.н., доц. Штепа О.А.		
3	зав. каф. ЕТ, д.т.н., проф. Вовна О.В.		

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Аналітичний огляд оптико-електронних пристроїв вимірювального контролю лінійних переміщень		
2	Розробка структурної схеми вимірювального пристрою лінійних переміщень		
3	Розробка електронного вимірювального пристрою лінійних переміщень на основі позиційно-чутливого фотоприймача		
4	Додаток А – Охорона праці та безпека під час надзвичайних ситуацій на підприємстві		

Студент

(підпис)

Роман ГУЩА

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Ганна ЛАКТІОНОВА

(прізвище та ініціали)

ЛИСТ ЗАУВАЖЕНЬ

Посада, Ім'я та ПРІЗВИЩЕ	Суть зауваження, оцінка та підпис

АНОТАЦІЯ

Гуща, Р.О. Розробка електронного пристрою вимірювання лінійних переміщень / Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «бакалавр» зі спеціальності 171 Електроніка. – ДВНЗ «ДонНТУ», Луцьк, 2022.

Пояснювальна записка: 56 стор., 20 рис., 1 табл., 20 посилань.

На базі мультискану можна реалізувати безперервний режим стеження за поточним значенням геометричних параметрів оптичного сигналу, а також високою величиною роздільної здатності, забезпечення фільтрації фотострумів від стороннього засвічування. У мультискані є можливість забезпечення спрощеного методу обробкою вихідного сигналу, а також забезпечення алгоритмічної компенсації похибок у результатах вимірювань.

Розроблена схема електрична структурна індикатора на основі позиційно-чутливого фотоприймача мультискан, що дає змогу спростити конструкцію електронного пристрою та схему обробку вимірювальних інформаційних даних, під час цього точність вимірювання не зменшується. Під час реалізації індикатора зі запропонованою схемою можна забезпечити алгоритмічну корекцію похибки результатів вимірювання, що істотно збільшує точність.

Виконано детальний аналіз взаємного розташування елементів схеми електронного пристрою лінійних переміщень за наявності несоосності та непаралельності. З аналізу наведених технічних розрахунків та графічних залежностей можна зробити висновок, що зсув оптичної плями під час заданих вимог несоосності та непаралельності складає доволі мале значення та практично не впливає на точність результатів вимірювання. На базі виконаного аналізу можна зробити висновок, що схеми встановлення позиційно-чутливого фотоприймача мультискан є рекомендованими для розробки конструкції електронного пристрою вимірювання лінійних переміщень.

Ключові слова: лінійні переміщення, оптичний потік, фотоприймач, мультискан, структура, похибка вимірювання, корекція

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННИХ ПРИСТРОЇВ ВИМІРЮВАЛЬНОГО КОНТРОЛЮ ЛІНІЙНИХ ПЕРЕМІЩЕНЬ.....	9
1.1 Оптико-електронні пристрої зі зарядовим зв'язком.....	9
1.2 Фотоприймачі з координатною адресацією.....	14
1.3 Позиційно-чутливі фотоприймачі.....	15
1.4 Фотоприймач мультискан.....	20
1.5 Фотодіод, як позиційно-чутливий приймач.....	23
2 РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ ВИМІРЮВАЛЬНОГО ПРИСТРОЮ ЛІНІЙНИХ ПЕРЕМІЩЕНЬ.....	27
2.1 Структура вимірювального пристрою на базі оптичних шкал.....	27
2.2 Структура пристрою вимірювання радіусів кривизни на базі різних мір довжини.....	30
2.3 Постановка задачі на проектування електронного пристрою.....	33
3 РОЗРОБКА ЕЛЕКТРОННОГО ВИМІРЮВАЛЬНОГО ПРИСТРОЮ ЛІНІЙНИХ ПЕРЕМІЩЕНЬ НА ОСНОВІ ПОЗИЦІЙНО-ЧУТЛИВОГО ФОТОПРИЙМАЧА.....	36
ВИСНОВКИ.....	46
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	48
ДОДАТОК А – Охорона праці та безпека під час надзвичайних ситуаціях на підприємстві.....	50

ВСТУП

Протягом тривалого часу під час розробки та створення вимірювальних пристроїв та систем мають місце спроби отримати прості засоби вимірювальної техніки, що здатні виконувати вимірювання в автоматичному режимі переміщення точок об'єкта, що здійснюються під час контролю геометричних параметрів. У теперішній час у цьому напрямку не створено простих та недорогих засобів вимірювання, що задовольняють вимогам виробників промислового обладнання під час роботи в виробничих та лабораторних умовах.

Переважна частина завдань, які мають місце під час розробки цих засобів вимірювальної техніки, можна розв'язати зі застосуванням таких фотоприймачів: фотодіоди, пристрої зі зарядовим зв'язком (ПЗЗ); позиційно-чутливі фотоприймачі (PSD).

Випускню кваліфікаційну роботу бакалавра присвячено розробці та дослідженню електронних вимірювальних пристроїв лінійних переміщень, що розроблено на базі позиційно-чутливих приймачів.

Актуальність випускної кваліфікаційної роботи обумовлено тим, що в промисловості та машинобудуванні потрібно здійснювати вимірювальний контроль параметрів різних переміщень. Базові типи вимірювальних пристроїв призначено для вимірювання лінійних величин. Отже, промисловість потребує розробки простих і надійних, швидкодіючих і недорогих електронних вимірювальних пристроїв, що розв'язувати поставлені перед ними технічні завдання.

Процес вимірювання полягає в порівнянні величини, що визначається, з її мірою. Базові заходи, що застосовуються під час здійснення лінійних вимірювань, це штрихові.

До основного недоліку вимірювальних пристроїв, які базуються на цих заходах, є низька величина швидкодії, відносна складність конструктивних

рішень та невелика продуктивність вимірювального контролю.

У випускній кваліфікаційній роботі бакалавра необхідно розробити електронний вимірювальний пристрій на базі швидкодіючих методах вимірювання. Як ці методи можна застосовувати методи на базі позиційно-чутливих фотоприймачів. Зі застосуванням таких методів можна отримати доволі прості, швидкодіючі та уніфіковані електронні вимірювальні пристрої, які мають розширений діапазон вимірювального контролю.

Метою випускної кваліфікаційної роботи є розробка та дослідження електронного вимірювального пристрою лінійних переміщень, в яких застосовується позиційно-чутливі фотоприймачі як міра довжини, що може забезпечити підвищення якості та швидкодію вимірювального контролю лінійний переміщень в промислових умовах.

1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННИХ ПРИСТРОЇВ ВИМІРЮВАЛЬНОГО КОНТРОЛЮ ЛІНІЙНИХ ПЕРЕМІЩЕНЬ

Для застосування фотоприймальних пристроїв як заходів для побудови електронних вимірювальних пристроїв лінійних переміщень виконано аналіз різних типів фотоприймачів. Під час аналітичного огляду необхідно визначити їх переваги та недоліки, що дозволить застосовувати ці фотоприймачі як заходи вимірювання довжини.

Основними характеристиками, що підлягають аналізу, є швидкодія вимірювання, нелінійність характеристики перетворення, стабільність вимірювальних значень, не складність обробки вихідного сигналу, мінімізація впливу стороннього засвічування.

1.1 Оптико-електронні пристрої зі зарядовим зв'язком

Фотоприймачі зі зарядовим зв'язком є найпоширенішими, вони доволі широко застосовуються у різних галузях промисловості.

Виконано аналіз основних технічних характеристик пристроїв за зарядовим зв'язком, що мають використовуватися як міра вимірювального значення довжини.

У пристроїв зі зарядовим зв'язком електричний сигнал представлений не силою струму або напругою. Це має місце в переважній більшості твердотільних електронних пристроях. Більш докладно принцип роботи, а також основні технічні характеристики пристроїв зі зарядовим зв'язком наведено в [1 – 5].

Генерація зарядів у пристроях зі зарядовим зв'язком має місце як під час впливу оптичного опромінювання, так і під час дії зміни температури. Величина темного струму у фотоприймачах на основі напівпровідників

залежить за експоненціальним законом від зміни температури. Якщо має місце великий час накопичення зарядку, то необхідно зменшувати величину температури кристала. Сучасні технології пристроїв зі зарядовим зв'язком дозволяють зменшити накопичення заряду до декількох секунди без застосування засобів охолодження. Величина темнового струму суттєво позначається на значенні похибки вимірювання координати світлової плями.

Виконаємо аналіз особливостей різних типів матриць пристроїв зі зарядовим зв'язком:

- зі кадровим перенесенням;
- з малим перенесенням;
- зі рядково-кадровим перенесенням.

Спочатку було розроблено та створено матричні пристрої зі зарядовим зв'язком із кадровим перенесенням [1, 3, 5]. Зазначені приймачі мають у своєму складі світлочутливу секцію накопичення. Ця секція є вертикальними пристроями зі зарядовим зв'язком у вигляді регістрів, що відокремлюються один від іншого ділянками з стоп-каналів.

До переваг матричних пристроїв зі зарядовим зв'язком з кадровим переносом можна віднести наявність реалізації освітлення від підкладки та повне застосування світлочутливої секції. Безпосереднє опромінення поверхні кремнію дає змогу отримати високе значення чутливості у ближній інфрачервоній області оптичного випромінювання.

До істотних недоліків цих матричних пристроїв зі зарядовим зв'язком можна віднести утворення вертикального змазування, що має місце від яскравих деталей. Під час перенесення масиву зі зарядових пакетів від секції накопичення до секцій пам'яті оптичний потік генерує фотоелектрони. Кожна з потенційних ям проходить стовпець світлочутливої секції, тому пристрій накопичує якусь кількість зарядів від точок зображення, що знаходяться на цьому стовпці (див. рис. 1.1). Ефект вертикального змазування у цих матрицях можна зменшити завдяки перекриттю оптичного потоку на час перенесення зі застосуванням механічного затвора.

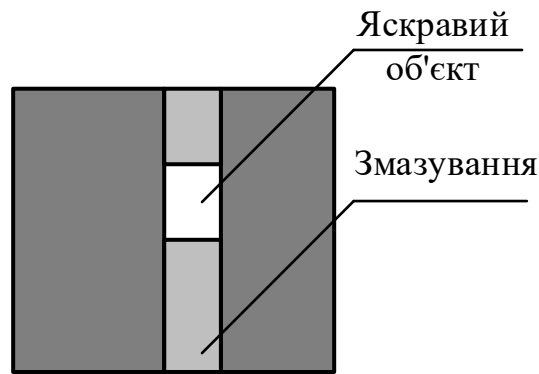


Рисунок 1.1 – Зображення, що має місце на екрані монітора під час наявності змазування

Якщо має місце вертикальне змазування, то збільшується похибка з визначення координати плями під час застосування пристроїв зі зарядовим зв'язком для побудови пристроїв вимірювання лінійних переміщень.

Ще одним фактором, зміна якого обмежує сферу використання пристроїв зі зарядовим зв'язком з кадровим переносом, є відносно велика площа матриці, це обумовлено наявністю секції пам'яті. Вартість інтегральної мікросхеми пропорційна четвертому ступені від діагоналі кристала, тому ціна зазначених пристроїв зі зарядовим зв'язком є досить високою. Збільшення габаритних розмірів матриці істотно впливає на габаритні розміри пристроїв. Це призводить до збільшення розмірів кінцевого пристрою, що є не бажаним під час розробки компактних та портативних конструкцій.

Найбільш розповсюджені є матричні пристрої зі зарядовим зв'язком, що мають малі перенесення [1, 3]. Для забезпечення накопичення зарядових пакетів у цих пристроях застосовуються стовпчики, які складаються зі фотодіодів р-типу, що підключені зворотно (HAD – Hole-Accumulation Diode). У безпосередній близькості від кожного з стовпців зазначених фотодіодів розташовано нечутливий до оптичного випромінювання вертикальний реєстр, що відокремлений від фотодіодів за допомогою фотозатвора. У перших пристроях в матрицях зі зарядовим зв'язком зі стічних перенесення функцію фотозатвора виконував окремий електрод з полікремнію. У теперішній час цю функцію виконує частина затвора вертикального реєстра пристрою зі

зарядовим зв'язком, який розташований та виступає за межу прихованого каналу перенесення зарядів. Наприкінці вертикальних регістрів розташований горизонтальний регістр, який має в своєму складі вихідний пристрій (див. рис. 1.2). Усі вертикальні та горизонтальні регістри є екранованими оптичного падаючого випромінювання.

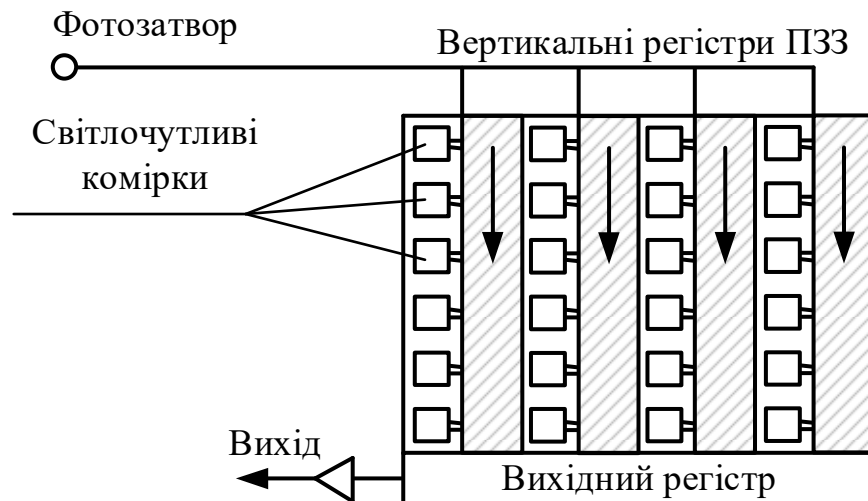


Рисунок 1.2 – Матричні пристрої зі зарядовим зв'язком зі стрічним перенесенням

До переваги матриць зі зарядовим зв'язком, що мають мале перенесення, є мінімальний рівень змазування. Це обумовлено тим, що перенесення всіх зарядових пакетів, яке відбувається в захищених від оптичного випромінювання вертикальних регістрах, має місце протягом дуже короткого проміжку часу. До основного недоліку матричних пристроїв зі зарядовим зв'язком з малим перенесенням може віднести те, що має місце неповне використання оптичного потоку в нечутливих вертикальних регістрах.

Для усунення цього недоліку розроблено заходи щодо нанесення до поверхні кристала мікролінз.

Під час застосування такої технології над кожним елементом матриці зі зарядовим зв'язком розташовано мікролінза, яка здійснює збирання оптичного потоку, що потрапляє на нечутливі до випромінювання регістри перенесення заряду.

Одним із суттєвих недоліків пристроїв зі зарядовим зв'язком є великий час накопичення. Це призводить до передачі рухливих об'єктів з помітними спотвореннями. Для зменшення впливу цього недоліку розроблено режим роботи пристроїв з накопиченням поля. У зазначеному режимі зарядові пакети від сусідніх фотодіодів попарно поєднуються, причому це здійснюється в різних полях. Величина часу накопичення під час застосування цього режиму складає 20 мс. Цей час має місце у кожному полі зчитуються зарядових пакетів з усіх наявних фотодіодів. Незважаючи на вдвічі зменшений час накопичення, що порівняно з режимом накопичення кадру, чутливість матричні пристрої зі зарядовим зв'язком залишається однаковою. У цьому режимі має місце підсумовування зарядових пакетів з двох фотодіодів. Геометричний розмір світлочутливого елемента, який працює в режимі накопичення поля, дорівнює розміру двох фотодіодів за вертикаллю. Застосування цього способу призводить до зменшення величини вертикальної роздільної здатності.

Цього недоліку немає в режимі накопичення кадру зі зменшеним часом накопичення. Зазначений режим є еквівалентний під час накопичення кадру, проте під час зчитування зарядів від однієї половини фотодіодів пакети в другій його половині повинні скидатися. Отже, час накопичення може дорівнювати 20 мс, а розмір чутливого елемента до оптичного опромінювання за вертикаллю дорівнює розміру одного фотодіода. Зменшення половини накопичених зарядових пакетів може привести до зниження в два рази чутливості матричного пристрої зі зарядовим зв'язком.

Рівень змазування в матричних пристроях зі зарядовим зв'язком з малим перенесенням є значно меншим, ніж у матричних пристроях з кадровим перенесенням, проте в деяких випадках він є суттєво помітним.

Матриці зі зарядовим зв'язком з рядково-кадровим перенесенням [6 – 8], мають в своєму складі матричні пристрої зі зарядовим зв'язком з рядковим перенесенням, до якої включено секцію пам'яті від матричного пристрою з кадровим перенесенням. Кількість осередків, що використовуються в секції пам'яті, дорівнює половині від кількості фотодіодів. Рівень змазування в

порівняні з матричним пристроєм зарядового зв'язку, що має мале перенесення, зменшено від 20 до 50 разів.

Однією з важливих технологічних проблем під час створення великих пристроїв зі зарядовим зв'язком, що має одношарову металізацією, є проблема одержання вузьких зазорів між електродами.

Висновок. До істотних недоліків пристроїв зі зарядовим зв'язком можна віднести низьку швидкодію, неоднорідність чутливості оптико-електронних компонентів, відносно велика дискретність елементів, наявність вертикального змазування, що призводить до неточності визначення координати, а також підвищення складності системи обробки вихідного сигналу.

На наступному етапі розвитку фотоприймальних пристроїв є розробка фотоприймачів, що мають координатну адресацію. Зазначені фотоприймачі можна застосовувати як засоби для побудови пристроїв для лінійних переміщень.

1.2 Фотоприймачі з координатною адресацією

Визначення параметрів електричного сигналу, що накопичено під впливом оптичного випромінювання, здійснюється двовимірною координатною адресацією елементів, які складаються з фотодіодів або фоторезисторів.

Черговість підключення елементів матриці має місце під час застосування електронних ключів, що виготовлено за допомогою технології компліментарних МОН (КМОН)-транзисторів [8, 9]. У зазначених фотоприймачів є переваги у порівнянні з пристроями зарядового зв'язку, проте вони поступаються якістю зображення. Виділяють такі властивості КМОП-фотоприймачів: низька величина потужності споживання, є можливість здійснювати зчитування фрагмента зображення, а також їх низька вартість. До переваг КМОП-фотоприймачів можна віднести функцію накопичення, керування зчитуванням, обробка сигналів від одного кристалу. КМОП-

фотоприймачі мають високу швидкодію, значення якої складає від 1 до 10 мс

До основного недоліку КМОП-фотоприймачів можна віднести їх малу чутливість, а також неоднорідність за масивом елементів, що пов'язано з неоднорідністю темнових сигналів. Це фактор призводить до підвищення нелінійності вихідного сигналу та збільшенню похибки вимірювання координати оптичної плями. У теперішній час чутливість КМОП-фотоприймачів обмежено структурною перешкодою, що суттєво збільшує рівень флуктуаційного шуму. Під час компенсації структурної перешкоди величина флуктуаційного шуму КМОП-фотоприймачів перевищує аналогічне значення шуму матричних пристроїв зі зарядовим зв'язком в 3 – 5 разів за умови використання однакової частоти зчитування сигналу. Параметри вихідного сигналу насичення у матричних приймачів зазначених типів можна порівняти, то КМОП-фотоприймачі мають менший динамічний діапазон у порівнянні з пристроями зі зарядовим зв'язком.

Мале значення чутливості, її неоднорідність за масивом елементів, а також доволі високе значення шуму обмежує застосування КМОП-фотоприймачів для побудови електронних пристроїв для вимірювального контролю лінійних переміщень.

1.3 Позиційно-чутливі фотоприймачі

Позиційно-чутливі фотоприймачі є сукупністю германієвих або кремнієвих фотодіодів, у яких значення параметрів аналогових вихідних сигналів є пропорційною величиною щодо положення оптичної плями на їх чутливі поверхні. Конструкція позиційно-чутливих фотоприймачів дозволяє здійснювати одночасне вимірювання інтенсивність падаючого оптичного потоку, а також його розташування на чутливій ділянці поверхні фотоприймача [9].

Більш детальний опис структури позиційно-чутливих фотоприймачів і їх

принцип роботи наведено [8 – 11].

Проаналізуємо різні варіанти позиційно-чутливих фотоприймачів. Для застосування позиційно-чутливих фотоприймачів у вимірювальних пристроях виконаємо аналіз таких характеристик такі як стабільність, нелінійність, відтворюваність, швидкодія, залежність від зміни стороннього засвічування.

У позиційно-чутливих фотоприймачів є такі переваги, як висока швидкодія (110 нс), висока величина роздільної здатності, високі показники надійності, розширений діапазон спектральної чутливості, можливість одночасно ідентифікувати інтенсивність оптичного випромінювання та центральну позицію індикатора оптичної плями.

Найбільшу цікавість у межах випускної кваліфікаційної роботи представляє однокоординатний позиційно-чутливий фотоприймач, що має чутливу поверхню у вигляді тонкої смуги. Фотострум, що утворюється на ділянці падіння світла, розділяється на дві компоненти. Цей розподіл дозволяє ідентифікувати місцезнаходження оптичної плями на смужі фотоприймача. На рис. 1.3 наведено визначення положення плями:

$$Y = \frac{Y_1 - Y_2}{Y_1 + Y_2} \cdot \frac{L}{2}.$$

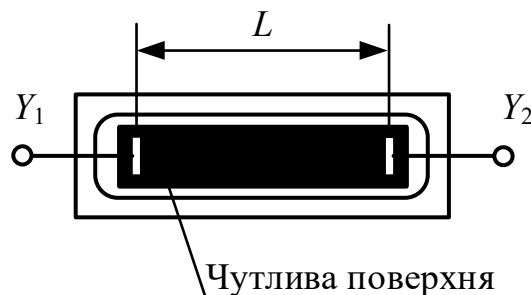


Рисунок 1.3 – Визначення положення плями світла

Величина інтенсивності сили струму залежить від оптичного потоку, що потрапляє до поверхні фотоприймача. Одним із недоліків є те, що оптичний потік, що віддзеркалюється від об'єкта, формує внесок за струмом до

фотоприймача. Будь-який оптичний потік (наприклад, сонячне випромінювання), що потрапляє до площі фотоприймача, вносить похибку вимірювання [9, 10, 12]. Одним з базових виробників позиційно-чутливих фотоприймачів (див. рис. 1.4) є фірма Hamamatsu [12].



Рисунок 1.4 – Зовнішній вигляд однокоординатних позиційно-чутливих фотоприймачів, що виготовляються фірмою «Hamamatsu»

У однокоординатного позиційно-чутливого фотоприймача фірми Hamamatsu нелінійність має максимальне значення на кінцях оптичного чутливого шару, значення якої може дорівнювати до 15 %. Для збільшення точності функціонування позиційно-чутливого фотоприймача фірми Hamamatsu необхідно не застосовувати крайні ділянки робочої площини, а залишити тільки центральну зону, де величина нелінійності не більше 6 %. Фотоприймач має достатньо високе значення стабільності та відтворюваності характеристик і параметрів. До недоліків зазначеного фотоприймача можна віднести те, що через використання особливостей фотоприймача зі застосуванням способу ідентифікації координати оптичної плями, величина нелінійності на одному та на іншому краях активної чутливої ділянки можуть бути різними.

Великими виробниками позиційно-чутливих фотоприймачів: «On-TRAK Photonics, Inc.» (США); «UDT Sensors, Inc.» (США); «Sharp» (Японія); «Sitek Inc.» (Швеція).

Двокоординатні позиційно-чутливі фотоприймачі розділяються за структурою на сенсор, який має чотиристороннє розташуванням електродів, а також двосторонній тип. Сенсор з чотиристороннім розташуванням електродів має швидкодіючий відгук та низьке значення темного струму. У двостороннього типу сенсора має місце мале значення похибки визначення позиції та підвищене значення позиційної роздільної здатності.

Двокоординатні позиційно-чутливі фотоприймачі розрізняють за структурою на чотиристоронні та двосторонні типи сенсорів. До позиційно-чутливих фотоприймачів чотиристороннього типу відносять ріп-тип, які мають покращену активну область та електроди. Аналітичні залежності для розрахунку перетворення положення відрізняються від структури позиційно-чутливих фотоприймачів. Двокоординатні позиційно-чутливі фотоприймачі (див. рис. 1.5) мають в своєму складі дві пари електродів: X_1 , X_2 та Y_1 , Y_2 [8, 12]:

$$X = \frac{X_1 - X_2}{X_1 + X_2} \cdot \frac{L}{2};$$

$$Y = \frac{Y_1 - Y_2}{Y_1 + Y_2} \cdot \frac{L}{2}.$$

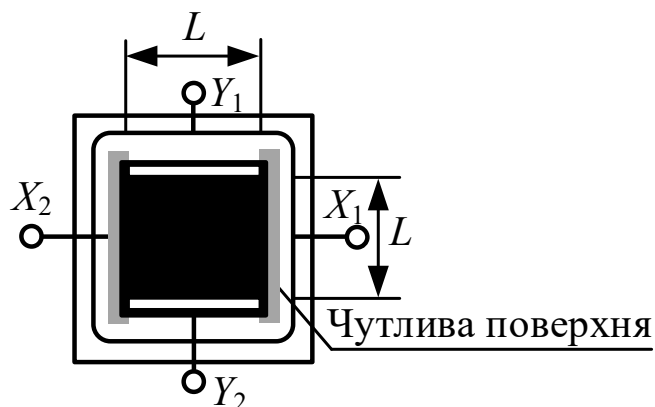


Рисунок 1.5 – Визначення координат оптичної плями для двохкоординатного позиційно-чутливого фотоприймача

Позиційно-чутливий фотоприймач з двостороннім розташуванням електродів представляє собою напівпровідниковий кристал. На верхній та нижній поверхні цього кристалу розміщуються дві пари електродів у вигляді смуг, які розташовано взаємно перпендикулярно.

Фотоприймач має чотири контакти. Фотострум, що генерується в місці падіння оптичного променя на поверхню позиційно-чутливого фотоприймача, розділяється на дві вхідні та дві вихідні компоненти. Розподіл величини вихідних струмів визначає положеннями координати Y , а розподіл величини вхідних за координатами X положення оптичного потоку.

Фотоприймачі цього типу мають резистивні шари, що наносяться на кожний з двох боків підкладки. Ці шари діють як р-п переходи. Зазначене технологічне розташування має максимальну точність, а також дозвіл цих сенсорів, проте вони мають найбільшу вартість.

У порівнянні з чотиристороннім типом, двосторонній тип має найкращі характеристики щодо виявлення положення, тому що електроди розміщено поблизу один від іншого [8, 12].

Фотоприймач, який має чотиристороннє розташування електродів, а саме чотири електроди нанесені на верхній поверхні, а також сформовані уздовж кожної з чотирьох граней.

Фотострум розділено на чотири частини через той самий резистивний шар, він знімається як сигнал положення з чотирьох електродів. Якщо порівнювати з двостороннім типом, то взаємодія між електродами є зустрічною до ближніх кутів активної області, що має місце до спотворення положення. Елементи чотиристороннього типу стійкі до застосування напруги зворотного зсуву, вони мають невелике значення темного струму та високу швидкодію [9].

Покращений чотиристоронній тип позиційно-чутливого фотоприймача має покращену активну область, а також зменшену взаємодією між електродами. Цей тип фотоприймача має малу величину темного струму, високу величину швидкодії, підвищену стійкість до споживання напруги

зворотного зсуву, а периферійні спотворення є значно менші.

Розглянутий тип позиційно-чутливого фотоприймача має тільки одну перевагу перед сенсорами, що мають двостороннє розташуванням електродів, цей тип фотоприймачів є значно дешевшим. Проте він має точність вимірювання недостатню для вирішення багатьох завдань, зокрема тих, що розв'язуються в випускній кваліфікаційній роботі. Для підвищення точності вимірювання без суттєвого збільшення вартості конструкції необхідно створити спеціальну криволінійну активну поверхню, а також здійснити зміну форми електродів. Фігурна форма електродів може забезпечити компенсацію спотворень сигналу в околиці периметра. Напруга зсуву подається так, як і для звичайного чотиристороннього позиційно-чутливого фотоприймача. Під час цього похибка вимірювання зменшується до 1%, що є недостатньо для застосування цього типу фотоприймача для побудови електронних пристроїв вимірювання лінійних переміщень.

1.4 Фотоприймач мультискан

Багатоелементний лінійний фотоприймач мультискан призначено для здійснення електричних вимірювань просторових характеристик оптичного випромінювання. Мультискан має в своєму складі лінійку фотодіодів та резистивний шар, що виконує попередню обробку оптичного сигналу (див. рис. 1.6, а).

Фотоприймач мультискан є кремнієвою структурою, яку сформовано на кремнію, який має діелектричну ізоляцією. Зазначена структура має в своєму складі зустрічно включені діодів. Один з виводів діодів підключено до розподіленого дільника напруги, а інший ввімкнений до сигнальної шини, що має низьке навантаження.

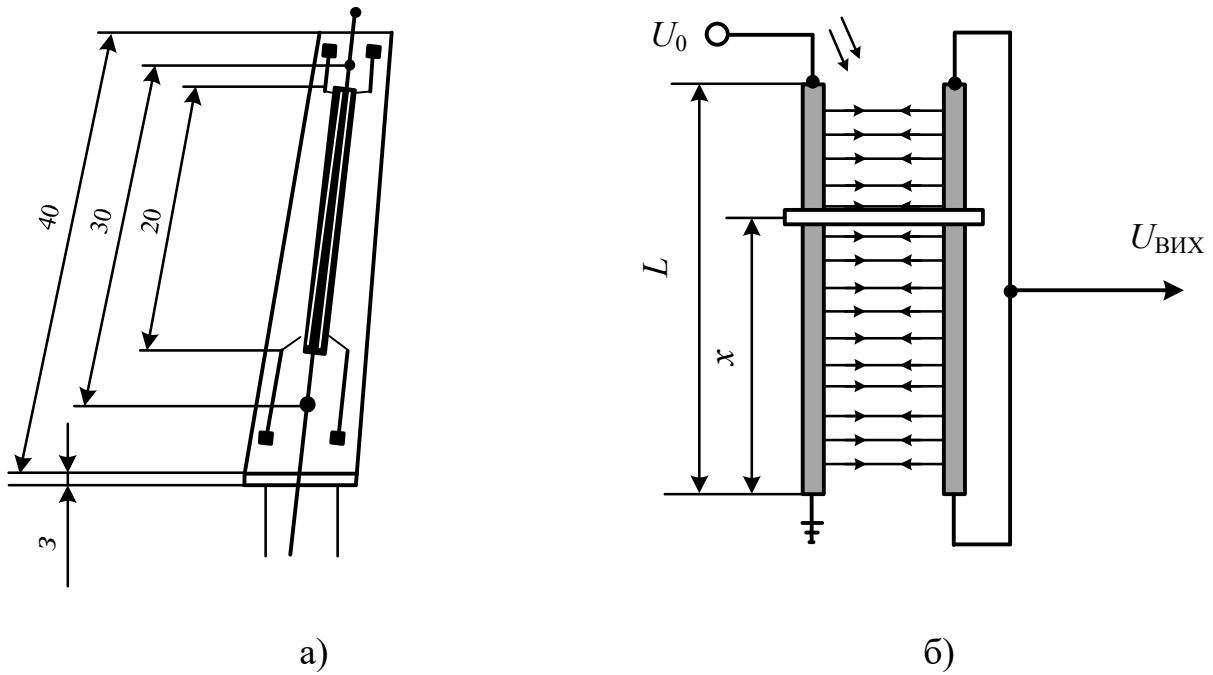


Рисунок 1.6 – Фотоприймач мультискан:
а – зовнішній вигляд; б – функціональна схема

У режимі роботи показчика координат на один з шарів мультискана підключається опорна напруга, а з іншого контакту знімається напруга інформаційного сигналу. Величина цієї напруги є пропорційною від зміни координати оптичного потоку на мультискані [13] (див. рис. 1.6, б):

$$U_{\text{вих}} = U_{\text{оп}} \cdot \frac{x}{L},$$

де $U_{\text{оп}}$ – значення опорної напруги;

x – величина переміщення;

L – довжина ділянки мультискана, що є чутливою до оптичного випромінювання.

До переваги цього фотоприймача можна віднести те, що на базі цього пристрою можна реалізувати режим безперервного стеження за поточним значенням координати оптичного сигналу. Цей режим може забезпечуватися завдяки одній з унікальних характеристик мультискана, а саме високому

значенню розділової здатності (до 10^{-5} від кута огляду), а також можливості фільтрації величини фотострумів стороннього засвічування, що перевищує величину корисного сигналу практично в 1000 разів [14]. Висока точність зазначеного пристрою обумовлено тим, що визначається положення стійкої ознаки оптичного сигналу як його медіана. Це дозволяє з високою точністю вимірювати в реальному масштабі часу координати сигналу в умовах прямого впливу сонячного випромінювання.

У мультискані має місце автоматичне встановлення потенціалу сигнальної шини, що відповідає положенню центру освітленої зони. Зміна значення потенціалу сигнальної шини має місце у масштабі зміни напруги від джерела живлення, що підключається до ділильного шару пристрою, та забезпечує реєстрацію зміни вихідного сигналу, як аналогової напруги без застосування додаткових пристроїв підсилення вихідного інформаційного сигналу.

Під час підключення до резистивного дільника R (див. рис. 1.7) джерела постійної напруги, пара р-п переходів, що зустрічно включено під впливом лінійно розподіленої напруги. Напрямок та амплітудне значення фотострумів під час цього відповідає вольт-амперній характеристиці пристрою, що має як позитивну, так і негативну області насичення, а також перехідну зону, просторову ширину зони (апертура), яка залежить від величини напруги живлення, що прикладено до резистивного шару. Положення нуля пристрою визначається координатою нульового потенціалу на резистивній шині. На сигнальній шині має місце напруга U , у той момент часу коли величина повного сумарного струму вихідного сигналу мультискана автоматично встановлюється до значення нулю. Нульове значення автоматично розташовується в центрі оптичної плями, де сума струмів праворуч і ліворуч від енергетичного центру сигналу буде дорівнювати нулю.

Однією важливою перевагою є те, що вихідний сигнал має форму напруги, значення якої є пропорційною від положення медіани оптичного сигналу, що істотно спрощує системи обробки вихідного сигналу.

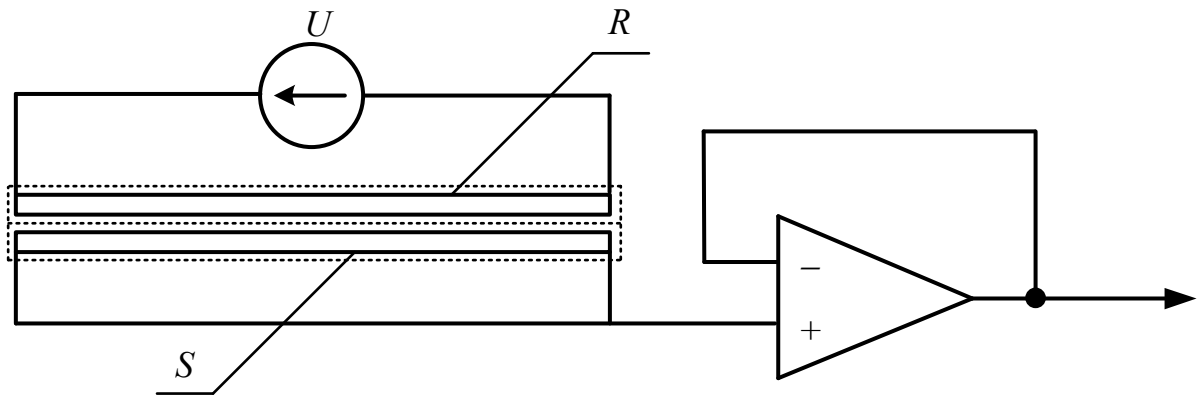


Рисунок 1.7 – Схема включення мультискана

Найбільший вплив на точність результатів вимірювань має нелінійність характеристики перетворення мультискана, величина похибки опорної напруги, а також відхилення температури від її номінального значення. Ці похибки обумовлено циклічністю технологічного процесу нанесення фотодіодів на ділянку мультискана.

Нелінійність характеристики перетворення мультискана складає не більше 0,1 %, що можна зменшити спеціальними заходами. Мультискан має високу відтворюваність результатів вимірювання та високу швидкодію, значення якої складає 10^{-5} с. Мультискан має досить просту обробку вихідного сигналу на відміну від пристроїв зі зарядовим зв'язком та позиційно-чутливих фотоприймачів.

1.5 Фотодіод, як позиційно-чутливий приймач

Як засіб вимірювання для побудови пристроїв визначення лінійних величин, а точніше для визначення переміщення в цих електронних пристроях можна застосувати багатoelementний фотодіод, принцип роботи якого досить докладно наведено [8, 9, 12].

Фотодіод може працювати в двох режимах: фотодіодному та фотогальванічному, що характеризується генерації фото-ЕРС. У фотодіодному

режимі фотодіод підключається до зворотного зсуву. Струм через р-п перехід у цьому режимі як джерело фото-ЕРС. У цьому режимі вимірювання напруги в ненавантаженому стані здійснюється під час дії нескінченного навантаження, а струм короткого замикання під час дії нульового навантаження.

Під час виділення сигналу необхідно базуватися на тому, що кожний з елементів фотодіода є лінійною ланкою фотометричної системи. Вихідний сигнал цієї системи залежить від величини ефективного оптичного потоку, який надходить до чутливої ділянки оптико-електронного пристрою. Також необхідно допустити, що всі елементи, які розміщено на одній підставі та розташовуються в корпус, що має велике значення теплопровідності, мають практично однакові характеристики. Ці припущення мають місце для системи з малою та середньою точністю, а також під час наявності досить високого співвідношення сигнал/шум з відносно малим рівнем фону. Якщо є модуляція корисного сигналу, то існує можливість її значно збільшити за допомогою активного зменшення впливу фонового оптичного випромінювання, а також темного струму елементів фотодіода.

Розглянемо як організовано систему узгодження та виділення інформаційної складової сигналу на базі квадратного фотоприймача типу ФД – 141К [8, 12], що має чотири майданчики (див. рис. 1.8). Це фотодіод має діаметр чутливого майданчика 14 мм, який розділено на 4 зони. Ці зони закрито від струмів витоку кільцем.

Застосування такого кільця в структурній схемі фотоприймача зменшує величину темного струму. Якщо діаметр майданчика складає 14 мм, то величина темного струму фотоприймача не більше ніж 10 мкА під час дії напруги живлення 120 В.

Якщо застосовувати велике значення напруги живлення, то постійна часу фотоприймача досягає величини від $2 \cdot 10^{-8}$ до $5 \cdot 10^{-8}$ с, що дозволяє розробляти швидкодіючі електронно-вимірювальні пристрої лінійних переміщень.

Структуру чутливих елементів фотоприймального пристрою наведено на рис. 1.9.

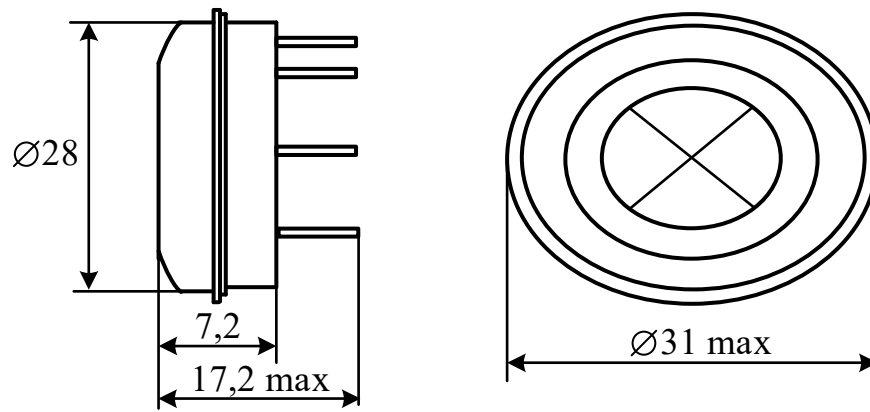


Рисунок 1.8 – Зовнішній вигляд фотодіода типу ФД-141К

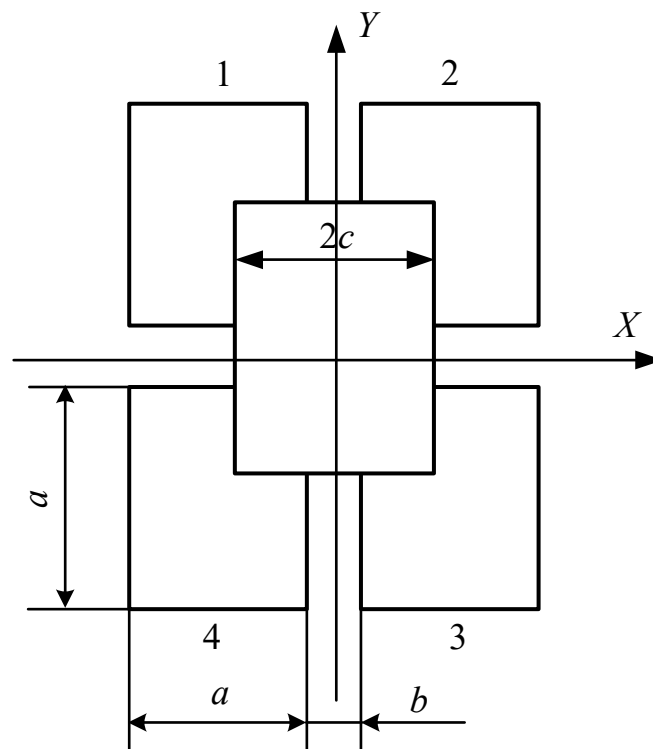


Рисунок 1.9 – Структура чутливих елементів фотоприймального пристрою

До складу структури входять чотири фотоприймальних ділянки, кожна з цих ділянок має розміри $a \times a$. Зазначені ділянки розділено проміжки ізоляції, яка має ширину b . Ширина цього проміжку ізоляції b є набагато меншою ніж сторони a . Виконаємо аналіз функціонування пристрою без обліку впливу проміжку розділу, вплив цього проміжку на роботу пристрої в лінійному режимі роботи взаємно компенсується.

На чутливу поверхню ділянки надходить пляма світла, яка є квадратом зі стороною $2c$. Світлова пляма має рівномірний розподіл оптичного потоку випромінювання в його перетині. Якщо координати енергетичного центру цієї плями будуть x та y , то кінцеві співвідношення для координат можна розрахувати за такими формулами:

$$x = \frac{(U_1 + U_2) - (U_3 + U_4)}{U_1 + U_2 + U_3 + U_4};$$

$$y = \frac{(U_1 + U_4) - (U_2 + U_3)}{U_1 + U_2 + U_3 + U_4},$$

де $U_{1...4}$ – величина напруги, що визначається на відповідній ділянці фотоприймача.

Для забезпечення лінійної роботи фотодіодів застосовують схему перетворення, яка має додаткове джерело живлення. Це схемне рішення застосовується в ріп-фотодіоді, який має великий приймальний чутливий елемент.

Більш складне схемне рішення має нормування сигналів під час підсумовування їх від окремих елементів фотодіода. Потім виконується аналого-цифрове перетворення інформаційних сигналів та здійснення нормування в цифровому форматі. Проте ці схемотехнічні рішення є не завжди виправданими, якщо є вимога забезпечення великої швидкодії під час забезпечення високого дискретного дозволу. Для забезпечення високої роздільної здатності необхідно застосовувати дорогі АЦП.

Під час застосування фотодіодів необхідно використовувати спеціальну програмну компоненту для обробки результатів вимірювання. Ці додаткові апаратно-програмні рішення істотно ускладнюють застосування фотоприймачів для побудови електронних пристроїв вимірювання лінійних переміщень.

2 РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ ВИМІРЮВАЛЬНОГО ПРИСТРОЮ ЛІНІЙНИХ ПЕРЕМІЩЕНЬ

2.1 Структура вимірювального пристрою на базі оптичних шкал

Для здійснення вимірювання лінійних переміщень може застосовуватися різні типи лінійних індикаторів. Серед цих індикаторів використовуються безконтактні фотоелектричні індикатори, які мають назву сенсори положення або відстані, що базуються на растровому поєднанні лінійних шкал [15]. Широке розповсюдження серед контактних індикаторів знайшли фотоелектричні перетворювачі лінійного переміщення типу ЛІР різної модифікації.

Схему електричну функціональну індикатора на растровому поєднанні наведено на рис. 2.1, де позначено: 1 – оптичний вимірювальний растр; 2 – джерело оптичного випромінювання; 3 – індикаторний оптичний растр; 4 – фотоприймальний пристрій; 5 – вимірювальний шток; 6 – перетворювач сигналу U_1 ; 7 – перетворювач сигналу U_2 ; 8 – сигнал здійснення сканування; 9 – інтерполяційний сигнал; 10 – дисплей.

Здійснюється перетворення величини лінійного переміщення штока 5 зі застосуванням оптичних вимірювального 1 та індикаторного 3 растрів. Зміна оптичного потоку, який потрапляє до фотоприймачів 4, перетворюється до пропорційної величини аналогових електричних сигналів U_1 та U_2 . Ці аналогові сигнали підсилюються та обробляються, в результаті цього здійснюється формування електричних імпульсів для кількісного підрахунку.

Переміщення штока та кількість n імпульсів пов'язано наступною аналітичною залежністю:

$$y = \frac{k \cdot T}{4} \cdot n = A \cdot n,$$

де k – коефіцієнт ділення інтерполятора;

T – період ділення растрів;

A – кількісна міра імпульсів у лінійній мірі.

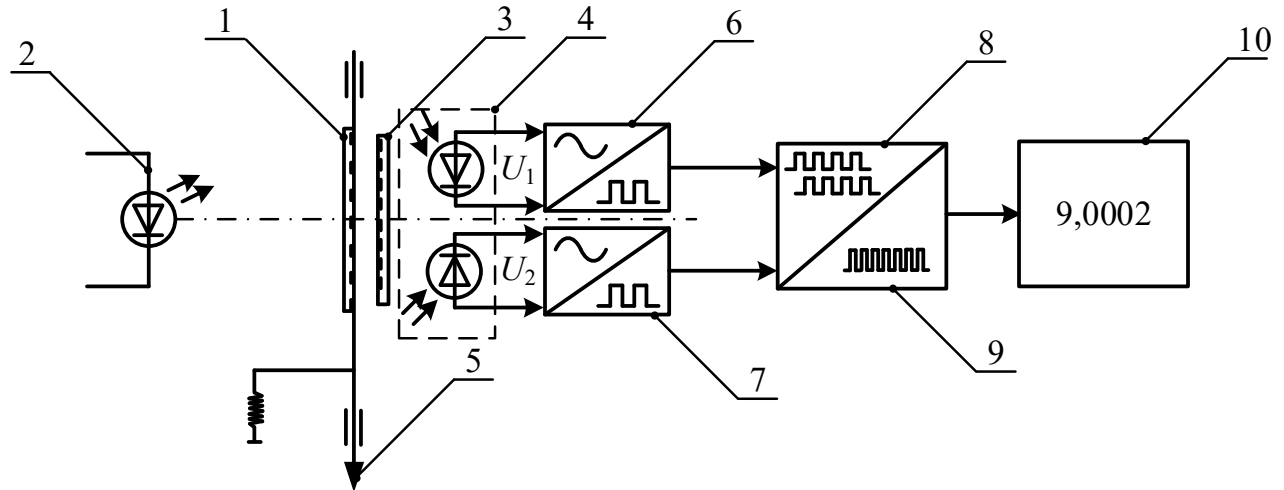


Рисунок 2.1 – Схема електрична функціональна індикатора на растровому поєднанні

Робота індикатора, схему електричну функціональну якого наведено на рис. 2.1, базується на способі оптико-електронного сканування штрихових растрів. Під час відносного переміщення шкали 1 та шкали 3 здійснюється модуляція потоку оптичного випромінювання, який проходить крізь них, що подається до фотоприймача 4. Растрова шкала 1 має дві паралельні інформаційні шкали: референтних міток і регулярного растру.

Джерело оптичного випромінювання, конденсор, вимірювальний растр, індикаторний растр, а також фотоприймальний пристрій входять до складу блоку зчитування.

Блок зчитування індикатора переміщень реалізує оптичні растри та кодові сполучень, інформатизацію величини лінійного переміщення, а також зчитування, обробки та аналізу поточного значення оптичних інформативних параметрів зазначених пар.

Завдяки конструкції перше зі завдань вирішує каретка, яку пов'язано з аналізатором, що знаходиться через підшипники кочення під час дії постійного контакту зі шкалою, застосування зазначених заходів стає не можливим під час здійснення відносного переміщення аналізатора та шкали. Наступне завдання реалізується платами фотоприймачів 4 і випромінювачів 2, які розташовано на каретці, а також плата електричної схеми формування та обробки інформаційного сигналу щодо переміщення. Зазначені електричні плати розміщено корпусі головки зчитування. Плата випромінювачів має містити шість світлодіодів, що забезпечує засвічення вікон аналізатора, а також просторове узгодження з ними приймальних ділянок шести фотодіодів плати 4.

Вимірювальний канал зчитування інформації формує два ортогональних періодичних сигнали, без постійної складової в них. Отриманий взаємний характер зі зміною цих інформаційних сигналів дає змогу визначити напрямок зсуву, а кількісна міра періодів під час дії цього переміщення, його величину. Застосування способів обробки інформаційних сигналів дозволить забезпечити вимірювання переміщення з дискретністю, величина якої є меншою ніж період регулярного растру.

До недоліків індикатора на растровому поєднанні можна віднести:

- відносну складність конструкції індикатора;
- необхідність здійснення постійного юстування вимірювального перетворювача;
- наявність спеціального програмного забезпечення для обробки результатів вимірювання;
- доволі мала відстань між вимірювальним растром та індикаторним, значення якої становить кілька десятків мікрон.

Подолання зазначених недоліків істотно підвищує вартість індикатора на растровому поєднанні.

2.2 Структура пристрою вимірювання радіусів кривизни на базі різних мір довжини

У теперішній час розроблено та створено різні типи сферометрів: оптичні, фотоелектричні, пневматичні. Виконаємо аналіз пневматичного сферометра, схема електричну функціональну якого наведено на рис. 2.2. Через фільтр 1 та механічний стабілізатор тиску 2 повітря переходить до нижнього кінця скляної трубки 3 у вигляді конуса. У цій трубці розташовано поплавць 4, а потім повітря виходить через вимірювальне сопло 5 та зазор S до зовнішній атмосфери. Потік повітря під тиском обтікає поплавець, цей потік піднімає його, тим самим здійснюється відкривання проходу через переріз так, щоб тиск знизу та зверху від поплавця урівноважувався між собою. Значення робочого тиску знаходиться в межах від 0,07 до 0,2 МПа.

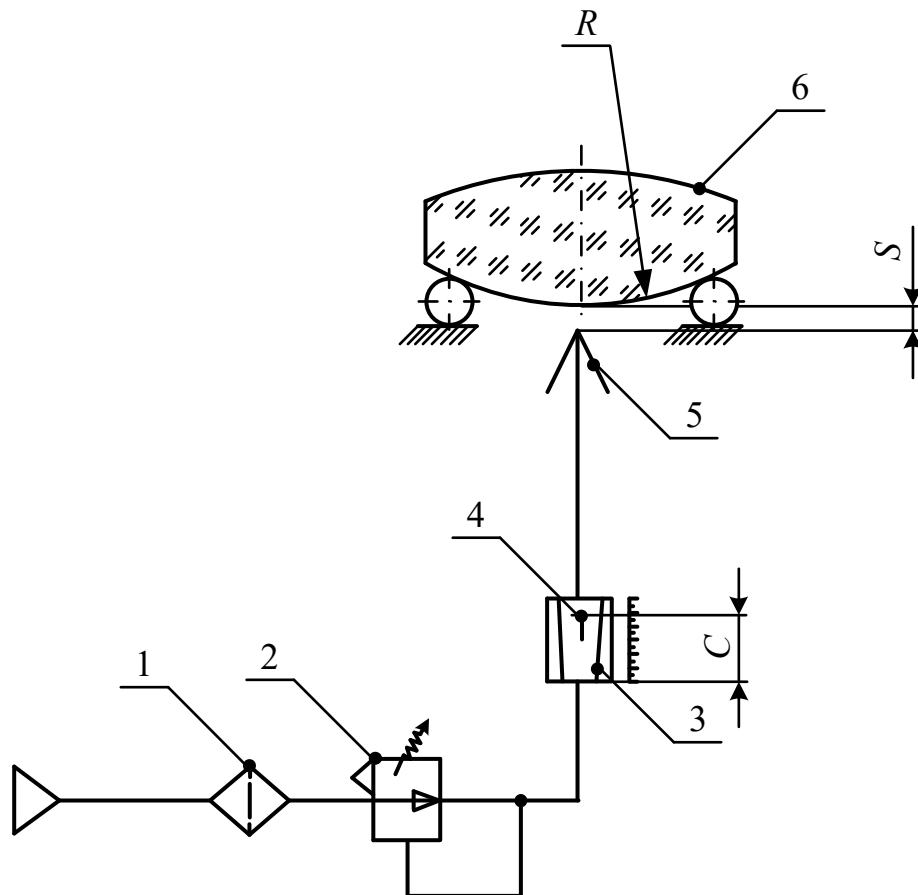


Рисунок 2.2 – Схема електрична функціональна пневматичного сферометра

Положення поплавця за висотою залежить від значення витрати, величина якої визначається вимірювальним зазором S , тобто залежить від R деталі 6, що контролюється. Залежність положення поплавця за висотою відносно нульового положення шкали пристрою відліку можна визначити за формулою:

$$c = \frac{0,5 \cdot \sqrt{A \cdot S - d_{\text{п}}^2} - D_0}{K_T},$$

де $d_{\text{п}}$ – діаметр поплавка;

A – постійний коефіцієнт, значення якого залежить від діаметра каналу сопла, робочого тиску, а також маси поплавця;

D_0 – діаметр отвору конічної трубки в перетині, що відповідає нульовому значенню мітці на шкалі;

K_T – параметр, що визначає конус (1:1000 або 1:400).

Статична характеристика перетворення має нелінійний вигляд, що обумовлено конічною формою скляної трубки.

До істотних недоліків пневматичного сферометра можна віднести: невисока величина швидкодії; малий діапазон вимірювань (0,020 – 0,035) мм з лінійністю характеристики перетворення; необхідність застосування системи забезпечення стисненого повітря, а також його очищення та стабілізування тиску цього повітря. Також до недоліків можна віднести невисоку точність та обмеженість виконання операцій розрахунку вимірювальних значень, складність обробки та накопичення вимірювальних значень зі застосуванням мікроконтролерів.

До недоліків оптичного сферометра ІЗС-7 можна віднести: недостатню швидкість виконання вимірювань; невисоке значення точності (0,001 мм) та відсутність автоматизації операцій розрахунку вимірювальних значень; доволі значні масо-габаритні розміри; неможливість застосування контролерів для здійснення розрахунків для забезпечення корекції похибок, що мають місце, в

автоматичному режимі, обробку та накопичення результатів вимірювань.

Схему електричну функціональну автоматизованого оптичного сферометра наведено на рис. 2.3, де позначено: 1 – вимірювальний шток; 2 – вимірювальні кільця, які мають три сферичні кулі, як опори; 3 – деталь, геометричні розміри якої визначаються; 4 – вимірювальний перетворювач лінійних переміщень, який має в своєму складі дифракційні решітки, що відбиває, та 5 – прозору; 6 – блоку, що складається з відхиляючого клину а також лінзи; 7 – фотоприймачі; 8 – світлодіоди; 9 – мікроконтролер; 10 – привод штока.

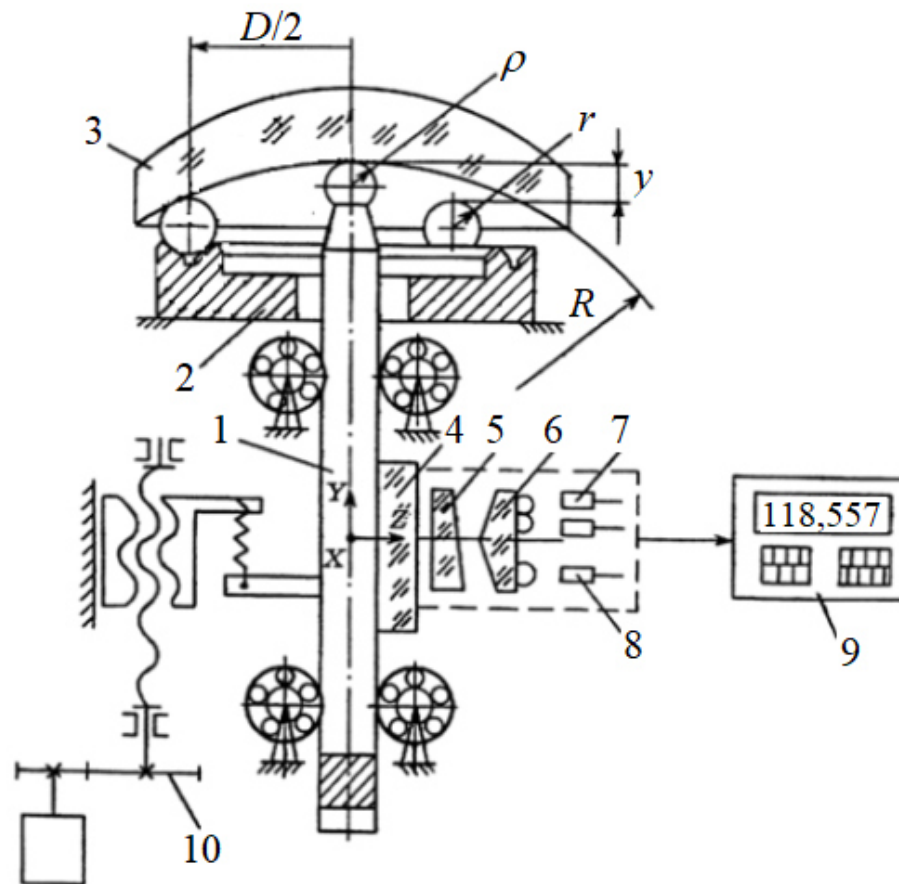


Рисунок 2.3 – Схема електрична функціональна автоматизованого оптичного сферометра

Автоматизований оптичний сферометра призначено для вимірювального контролю радіусів лінз в діапазоні від 10 мм до ∞ . Вимірювальний контроль величини радіусу сфери R деталі здійснюється завдяки визначенню стрілки

прогину кульового сегмента з вимірювальним штоком з подальшим розрахунком величини радіуса в мікроконтролері за аналітичною залежністю:

$$R = \frac{D^2}{8 \cdot y} + \frac{y}{2} \pm r = \frac{D^2}{8 \cdot n \cdot A} + \frac{n \cdot A}{2} \pm r,$$

де r – радіус кульки опорного кільця, який приймається зі знаком плюс для увігнутої поверхні та зі знаком мінус для поверхні, що є опуклою;

D – діаметр опорного кільця;

n – число лічильних імпульсів, що формується перетворювачем лінійних переміщень;

A – одиниця вимірювання імпульсу ($A = 0,1$ мкм).

До недоліків цього автоматичного оптичного сферометра відноситься велика вага та габарити.

2.3 Постановка задачі на проектування електронного пристрою

Аналіз електронних вимірювальних пристроїв лінійних переміщень показав, що принцип роботи переважної більшості пристроїв базується на пристроях зі зарядовим зв'язком та оптичних растрах. У зазначених пристрої необхідно використовувати доволі складу електронну апаратуру для обробки інформаційно-вимірювального сигналу, також ці пристрої мають обмежений динамічний діапазон.

Під час виконаного аналізу характеристик фотоприймачів розглянуто такі важливі параметри, як швидкодія, нелінійність, дискретність та простота обробки вимірювального сигналу. У табл. 2.1 приводиться значення базових характеристик та параметрів фотоприймачів.

Під час аналізу параметрів розглянутих фотоприймачів необхідно зробити висновок на користь використання фотоприймача мультискан. Це

дозволяє безпосередньо виконувати вимірювальний контроль оптичного випромінювання. Фотоприймач мультискан має практично однакові можливості, як і фотоприймач зі зарядовим зв'язком під час дії однакової швидкодії.

Таблиця 2.1 – Характеристики і параметри фотоприймачів

Тип фото- приймача	Розмір пик-селю	Довжи на фото- чутли вої ділянк и, мм	Швид- кодія, с	Неліній- ність, %	Дискрет ність, мкм	Обробка вихідного сигналу
PSD	48x48 мкм	37	$1 - 10 \cdot 10^{-3}$	6	25 – 50	спец. програма
Лінійка ПЗЗ	7x7 мкм	28	$0,1 - 10^{-3}$	0,1	8 – 12	спец. програма
КМОН	7x7 мкм	28,6	$1 - 10 \cdot 10^{-3}$	1	25 – 50	спец. програма
Фотодіод	1 x 1 мм	4x4	0,03	>1	50	спец. програма
Мультискан	10 мкм	18	10^{-5}	0,1	30	сигнал, що пропорц. переміщен ню

Під час застосування мультискана спрощується обробка електричного інформаційного сигналу, а також є можливість застосування алгоритмічної корекції результатів вимірювання, накопичення та обробки результатів вимірювання за допомогою мікроконтролерів. Ці переваги мультискана

дозволяють обрати його як пріоритет для розробки та створення електронних пристроїв вимірювання лінійних переміщень. Отже, можна розробити та створити прості, швидкодіючі та недорогі електронні пристрої.

Для побудови електронних пристроїв на базі мультискана потрібно розробити методики аналізу результатів вимірювання для порівняння їх з іншими пристроями такого самого класу точності.

У випускній кваліфікаційній роботі необхідно виконати дослідження можливість застосування мультискана як еталона міри вимірювань у електронних пристроях лінійних переміщень. Для підтвердження доцільності застосування мультискана в електронних пристроях необхідно вирішити такі завдання:

- розробити електричну функціональну схему пристрою на базі мультискану;
- визначити нормовані метрологічні характеристики засобу вимірювання та здійснити оцінку похибок вимірювання;
- визначити фактори, зміна яких суттєво впливає на точність результатів вимірювання.

Під час аналізу характеристик і параметрів різних типів фотоприймачів виявлено, що на базі мультискану можна реалізувати безперервний режим стеження за поточним значенням геометричних параметрів оптичного сигналу, а також високою величиною роздільної здатності, забезпечення фільтрації фотострумів від стороннього засвічування. Зазначений фотоприймач має однакові можливості, як і пристроїв зі зарядовим зв'язком, зі збільшеною величиною швидкодії. У мультискана є можливість забезпечення спрощеного методу обробкою вихідного сигналу, а також забезпечення алгоритмічної компенсації похибок у результатах вимірювань.

3 РОЗРОБКА ЕЛЕКТРОННОГО ВИМІРЮВАЛЬНОГО ПРИСТРОЮ ЛІНІЙНИХ ПЕРЕМІЩЕНЬ НА ОСНОВІ ПОЗИЦІЙНО-ЧУТЛИВОГО ФОТОПРИЙМАЧА

Розроблено структуру електронного пристрою вимірювання лінійних переміщень, де як чутливий елемент використано позиційно-чутливий фотоприймальний пристрій. У основу цих пристроїв, які мають просту конструкцію, розширений діапазон вимірювання, а також підвищеною швидкістю, як базовий чутливий елемент використано мультискан, а на його базі запропоновано розроблені схеми електронних пристроїв.

Одним з розповсюджених електронних пристроїв для вимірювання лінійних переміщень є індикатор.

Індикатори є механічні або електронні відокремлені конструктивного чутливі елементи, які мають в своєму складі корпус з механізмом передачі, шкалою та стрілочним пристроєм або вимірювальним електронним перетворювачем і дисплей, також до складу електронного пристрою входить стрижень, що рухається, з вимірювальним наконечником та елементами кріплення [16].

Індикатори умовно поділяють на групи:

- механічні індикатори у вигляді годинників, які мають зубчасту передачу, стрілку та шкалу;
- механічні індикатори, які мають важільно та зубчасту передачу, стрілку та шкалу;
- електронні індикатори з дисплеєм відображення інформації.

Механічні індикатори, які мають в своєму складі стрілку та кутову шкалу розроблено та створено доволі давно. Це точні прилади, які призначено для здійснення відносних вимірювань. Зі застосуванням індикаторів розроблено та створено контрольні пристрої, використання яких дозволяє здійснювати вимірювати геометричних розмірів деталей в промислових та лабораторних

умовах, а також під час обробки цих деталей на верстатах [16].

Механічні індикатори у переважній більшості застосовувалися у вимірювальній техніці до появи індуктивних і пневматичних пристроїв. Ці механічні пристрої мали відносно високу точність вимірювання, достатньо широкі шкали, а також можливість формувати сигнали керування промисловими верстатами.

У теперішній час механічні індикатори також застосовуються для здійснення відносно простих вимірювань. До переваг механічних індикаторів можна віднести їх високі показники надійності, а також низьку вартість.

Протягом деякого періоду часу не було змоги підвищити точність вимірювання індикаторів вартового типу, які мали відносно велике значення похибки вимірювання завдяки биттю триба, який з'єднується зі зубчастою рейкою стрижня, а також зазорів у опорах осей трибів і відхилень профілів у зубчастих колесах.

Фотоелектричні індикатори, які мають у своєму складі інкрементні перетворювачі, розроблено та створено порівняно недавно. Ці індикатори мають підвищену точність, більш широкий діапазони вимірювань, цифровий дисплей, а також зручність експлуатації.

До переваг електронних індикаторів можна віднести цифровий дисплей та розширений діапазон вимірювання. Цифровий дисплей є доволі зручним у порівнянні з відліком годинникового типу, який має дві аналогові шкали в механічних індикаторах. Електронний індикатор у порівнянні з механічним не потребує налаштування нуля зі застосуванням додаткових заходів. Під час налаштування на нуль здійснюється натискання на кнопку «нуль» у будь-якому діапазоні вимірювання.

У електронних індикаторах використовуються безконтактні перетворювачі: фотоелектричні, ємнісні та індуктивні. Зазначені індикатори мають доволі складну конструкцію та низьке значення швидкодії. Фотоелектричні індикатори мають у своєму складі більш складну електронну систему обробки вихідного сигналу [16].

Розроблена схема електрична структурна індикатора на основі позиційно-чутливого фотоприймача мультискан, що має змогу спростити конструкцію електронного пристрою та схему обробку вимірювальних інформаційних даних, під час цього точність вимірювання не зменшується. Аналоги цієї розробленої структурної схеми наведено в [17, 18]. Під час реалізації індикатора зі запропонованою схемою можна забезпечити алгоритмічну корекцію похибки результатів вимірювання, що істотно збільшує точність. Схему електричну функціональна схема індикатора на основі позиційно-чутливого фотоприймача мультискан наведено на рис. 3.1, де позначено: 1 – вимірювальний шток; 2 – джерело оптичного випромінювання; 3 – фотоприймальний пристрій мультискан; 4 – блок електронної обробки; 5 – цифровий дисплей.

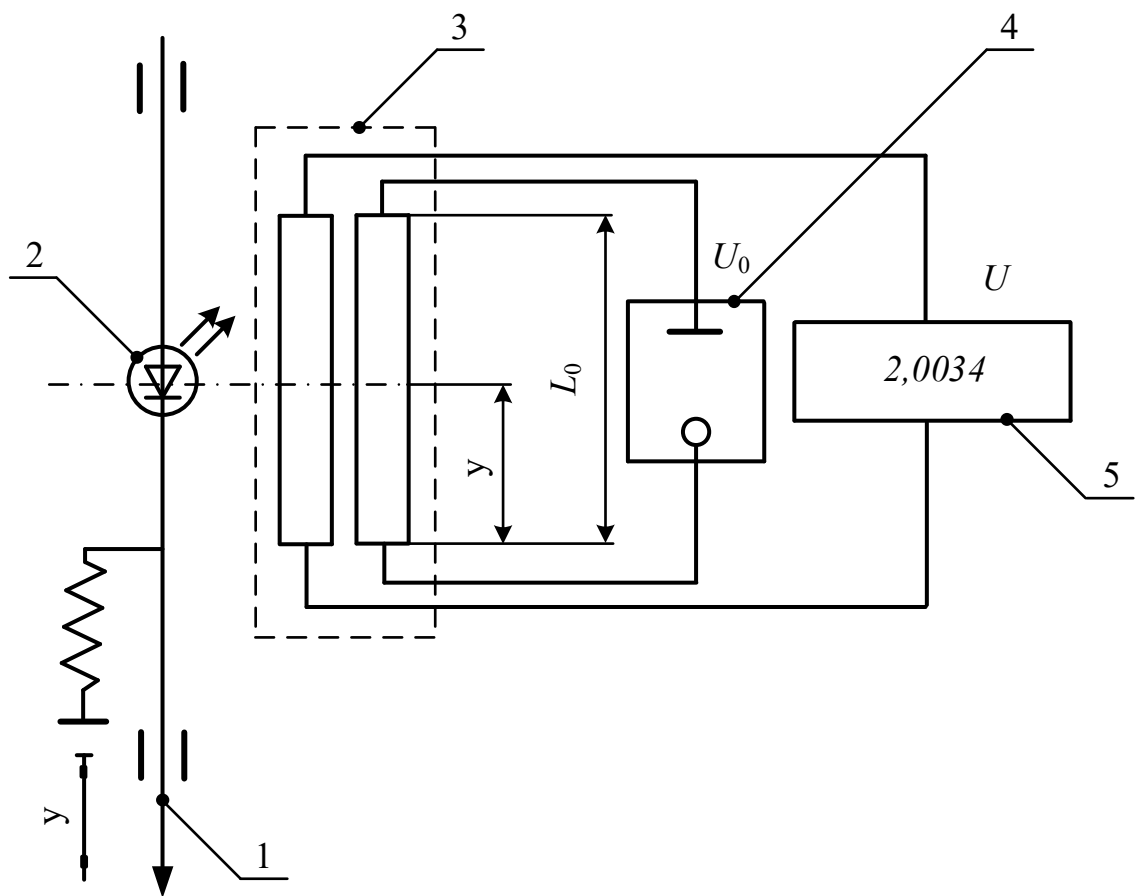


Рисунок 3.1 – Схема електрична функціональна індикатора на основі позиційно-чутливого фотоприймача мультискан

Під час переміщення вимірювального штока 1 має місце зсув центру оптичної плями, що утворено світлодіодом 2, на чутливій до опромінювання ділянці мультискана 3, з якого вимірюється аналоговий електричний сигнал U . Зсув штока y та значення вихідного електричного сигналу U зв'язано таким аналітичним виразом:

$$y = \frac{L_0}{U_0} \cdot U,$$

де U_0 – значення опорної напруги, що подається на мультискан;

L_0 – довжина чутливої до опромінювання ділянки мультискана.

Під час розробки схеми електричної функціональної виконано аналіз кількох варіантів розміщення мультискану та джерела випромінювання, що наведено на рис. 3.2 – 3.4. Схему встановлення мультискана, який розміщено на відстані X_1 від осі вимірювального штока 1 наведено на рис. 3.2, де позначено: 1 – вимірювальний шток; 2 – джерело оптичного випромінювання; 3 – позиційно-чутливий фотоприймач мультискан.

Схему установки мультискана, що наведено на рис. 3.3, де позначено: 1 – вимірювальний шток; 2 – джерело оптичного випромінювання; 3 – позиційно-чутливий фотоприймач мультискан, коли вісь штока збігається з площиною чутливого елемента та мультискан закріплено на штоці 1.

Схему установки мультискана, що наведено на рис. 3.4, де позначено: : 1 – вимірювальний шток; 2 – джерело оптичного випромінювання; 3 – позиційно-чутливий фотоприймач мультискан, коли мультискан встановлено поза межами вимірювального штока.

Зменшення величини похибки, що обумовлено розбіжністю площини оптично-чутливої ділянки мультискана та ліній вимірювання. Це обумовлено відхиленням від співвідносності та паралельності, наявності похибок форми поверхонь, зазорів, биття, деформацій тощо [19, 20].

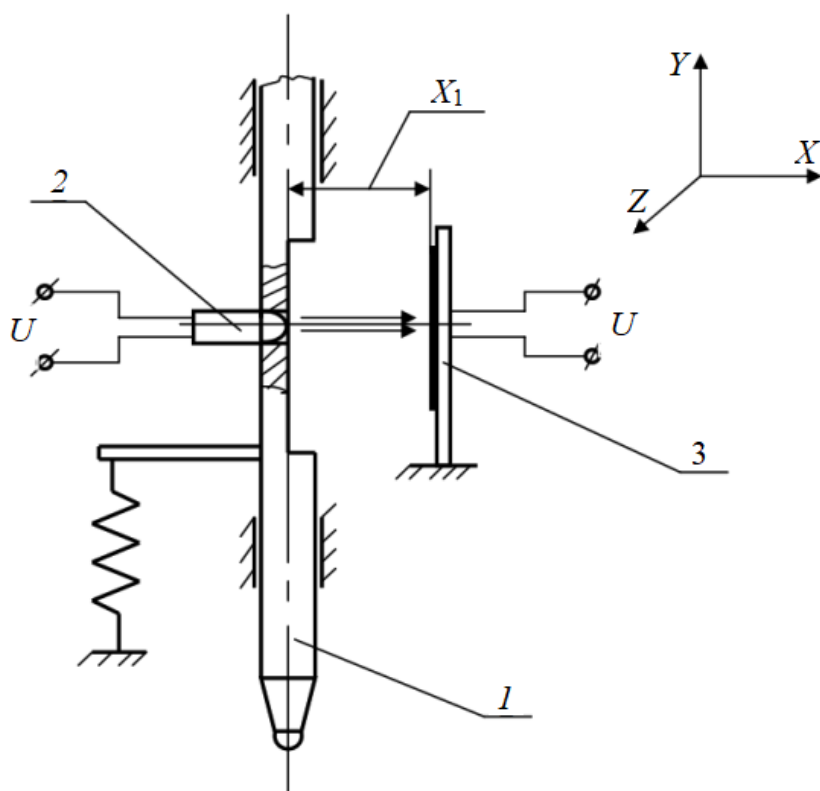


Рисунок 3.2 – Схеми індикатора з рухомим джерелом випромінювання

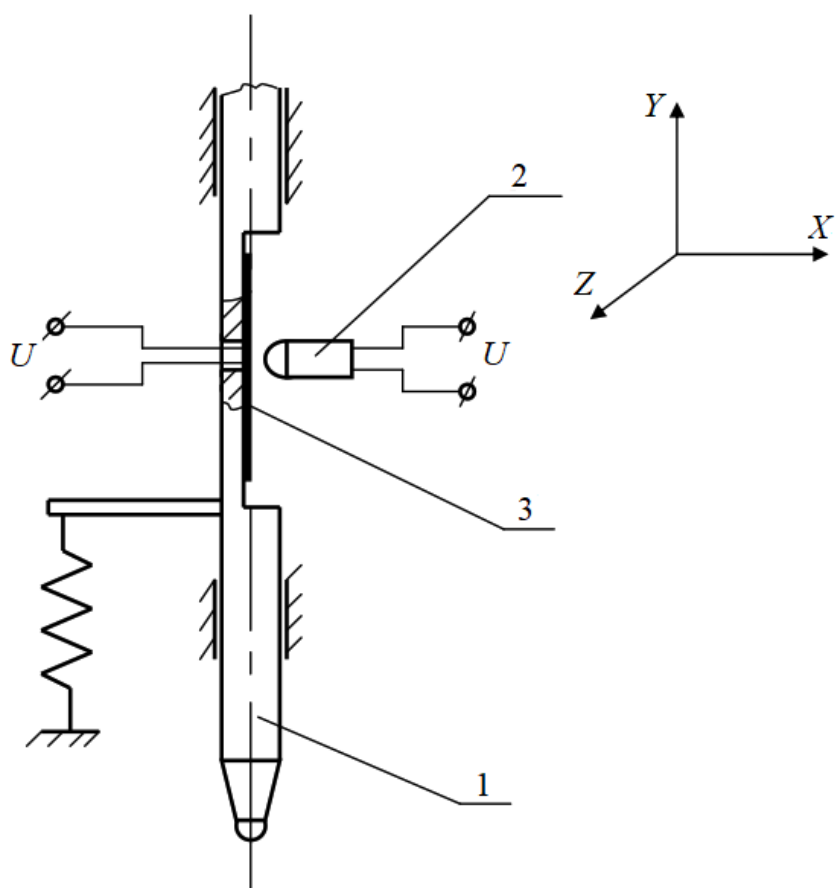


Рисунок 3.3 – Схеми індикатора з рухомим мультисканом

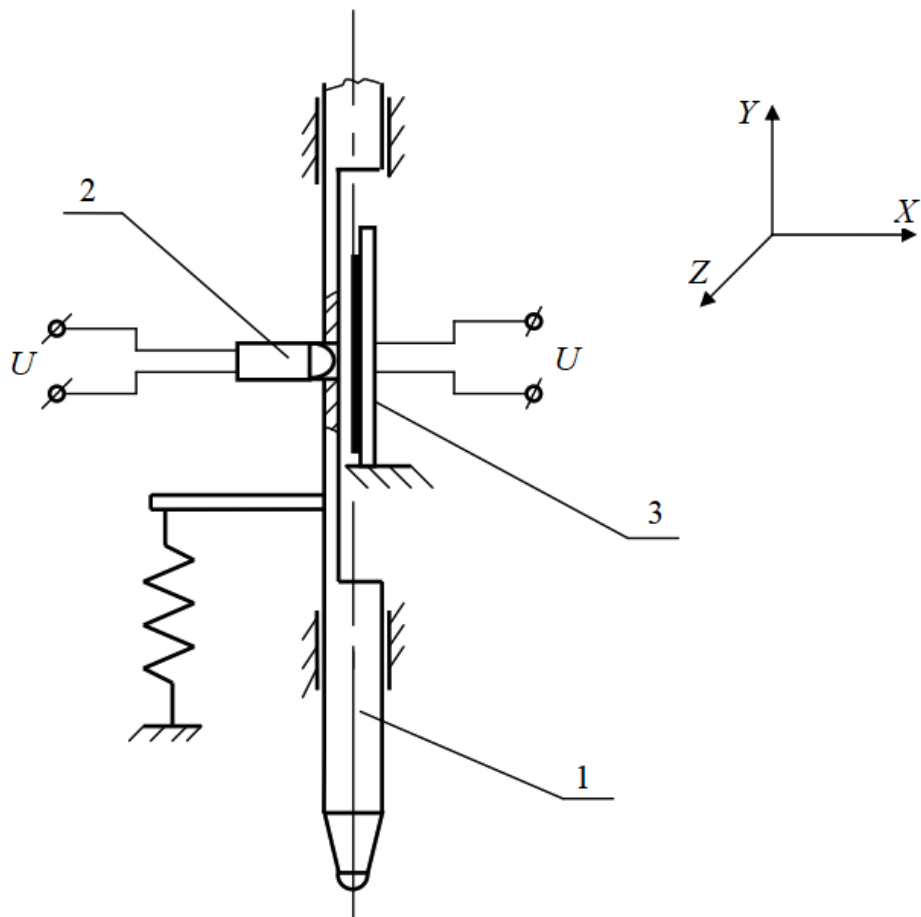


Рисунок 3.4 – Схеми індикатора з нерухомим мультисканом

У конструкції, що наведено на рис. 3.2, позиційно-чутливий приймач, який є еталонним елементом пристрою, що розробляється, розташовано не співвісно з вимірювальним штоком.

У схемах, що наведено на рис. 3.3 та 3.4, позиційно-чутливий фотоприймач мультискан, який є еталонним елементом пристрою, що розробляється, розташовано на одній осі з вимірювальним штоком, проте схема, що наведено на рис. 3.4 є більш технологічною з точки зору виготовлення в умовах промисловості та експлуатації.

У кваліфікаційній роботі виконано детальний аналіз взаємного розташування зазначених елементів за наявності несоосності та непаралельності, схему яку наведено на рис. 3.5 де позначено: 1 – вимірювальний шток; 2 – джерело оптичного випромінювання; 3 – позиційно-чутливий фотоприймач мультискан; L – переміщення штока; Y_1 – зсув оптичної

плями; Y_2 – зсув оптичної плями під час переміщення штока на відстань L ; X_1 – значення неспіввісності; X_2 – значення непаралельності.

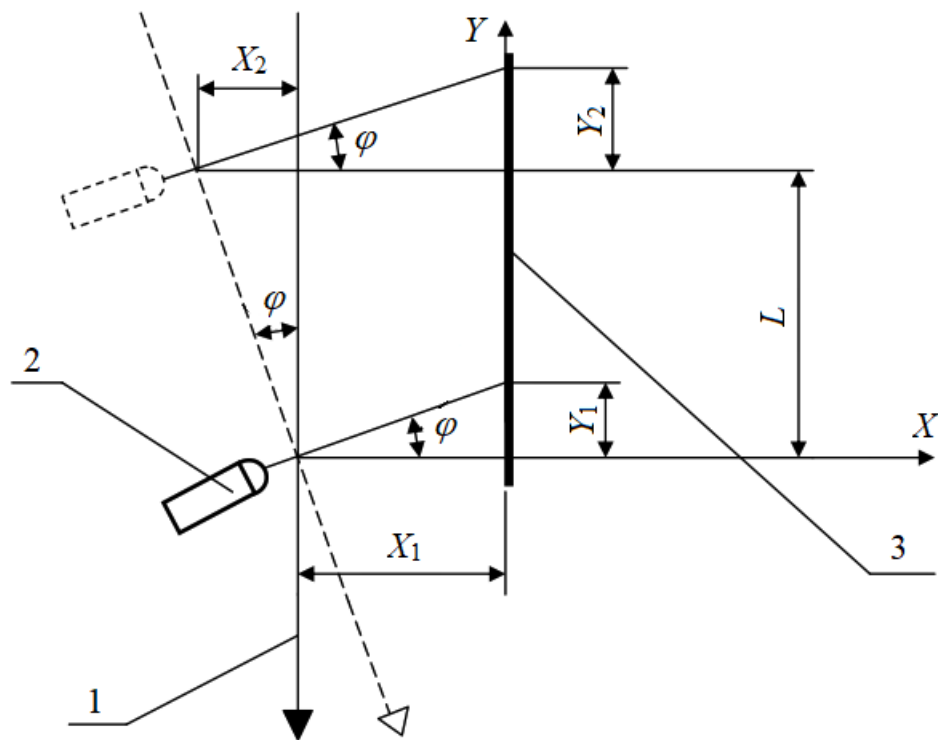


Рисунок 3.5 – Розрахункова схему зсуву оптичної плями

З аналізу схему, що наведено на рис. 3.5 можна зробити висновок, що під час дії несоосності та непаралельності розміщення позиційно-чутливого фотоприймача щодо штока має місце зсув оптичної плями:

$$Y_1 = \operatorname{tg}(\varphi) \cdot X_1.$$

Під час дії непаралельного зсуву штока на довжину L оптична пляма зсувається на:

$$Y_2 = \operatorname{tg}(\varphi) \cdot (X_1 + X_2).$$

Під час дії непаралельності $X_2 = 0,020$ мм зсув штока на довжину $L = 18$ мм та несоосності $X_1 = 2,5$ мм, величина кута відхилення джерела оптичного випромінювання становить:

$$\varphi = \operatorname{artg}\left(\frac{X_2}{L}\right) = 0,064^\circ,$$

а величина зсуву оптичної плями на чутливій ділянці мультискана дорівнює:

$$Y_1 = \operatorname{tg}(\varphi) \cdot X_1 = 2,79 \cdot 10^{-3} \text{ мм},$$

та, відповідно:

$$Y_2 = \operatorname{tg}(\varphi) \cdot (X_1 + X_2) = 2,81 \cdot 10^{-3} \text{ мм}.$$

Залежність зсуву Y_2 оптичної плями від неспіввісності X_1 та непаралельності у деяких діапазонах вимірювання наведено на рис. 3.6 – 3.8.

Під час аналізу залежності, яку наведено на рис. 3.6 можна зробити висновок, що зі зменшенням значення зсуву оптичної плями необхідно зменшити несоосність X_1 та непаралельність X_2 до необхідної величини.

Непаралельність, яку можна досягти технологічно, складає $X_2 = 0,006$ мм, а несоосність $X_1 = 0,020$ мм під час зсуву штока на $L = 18$ мм, значення нахилу джерела оптичного випромінювання відносно чутливого елемента X_2 фотоприймача мультискана дорівнює:

$$\varphi = \operatorname{artg}\left(\frac{X_2}{L}\right) = 0,019^\circ,$$

а значення зсуву оптичної плями на:

$$Y_2 = \operatorname{tg}(\varphi) \cdot X_1 = 6,63 \cdot 10^{-6} \text{ мм},$$

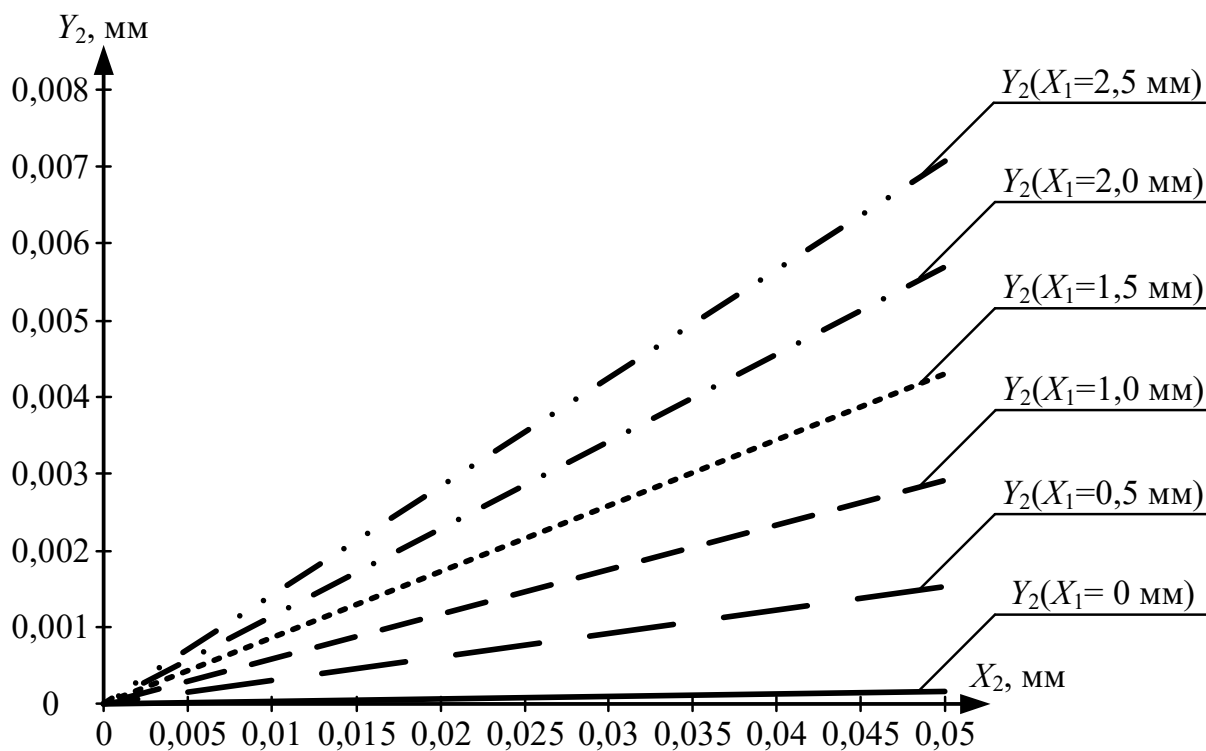


Рисунок 3.6 – Залежність зсуву оптичної плями на краю діапазону вимірювання (якщо $X_1 = (0 \dots 2,5) \text{ мм}$, $X_2 = (0 \dots 0,05) \text{ мм}$)

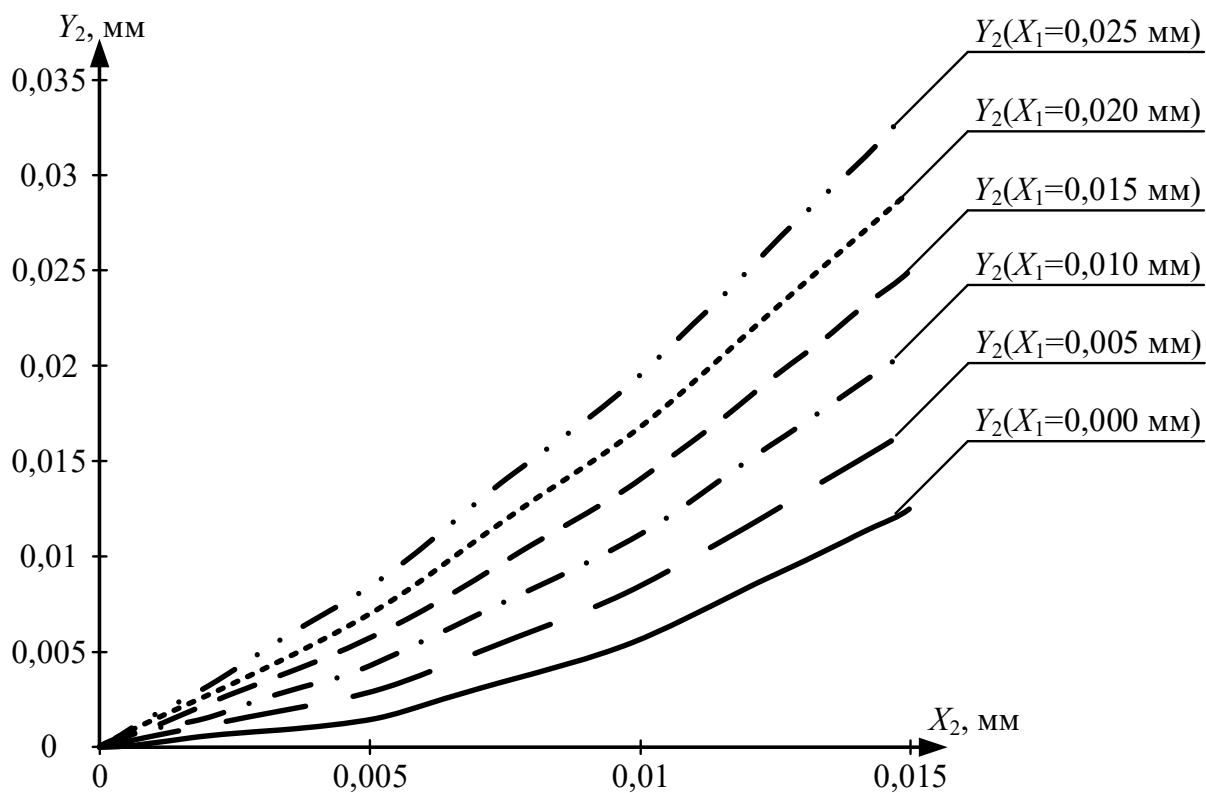


Рисунок 3.7 – Залежність зсуву оптичної плями на верхній межі діапазону вимірювання (якщо $X_1 = (0 \dots 0,025) \text{ мм}$, $X_2 = (0 \dots 0,015) \text{ мм}$)

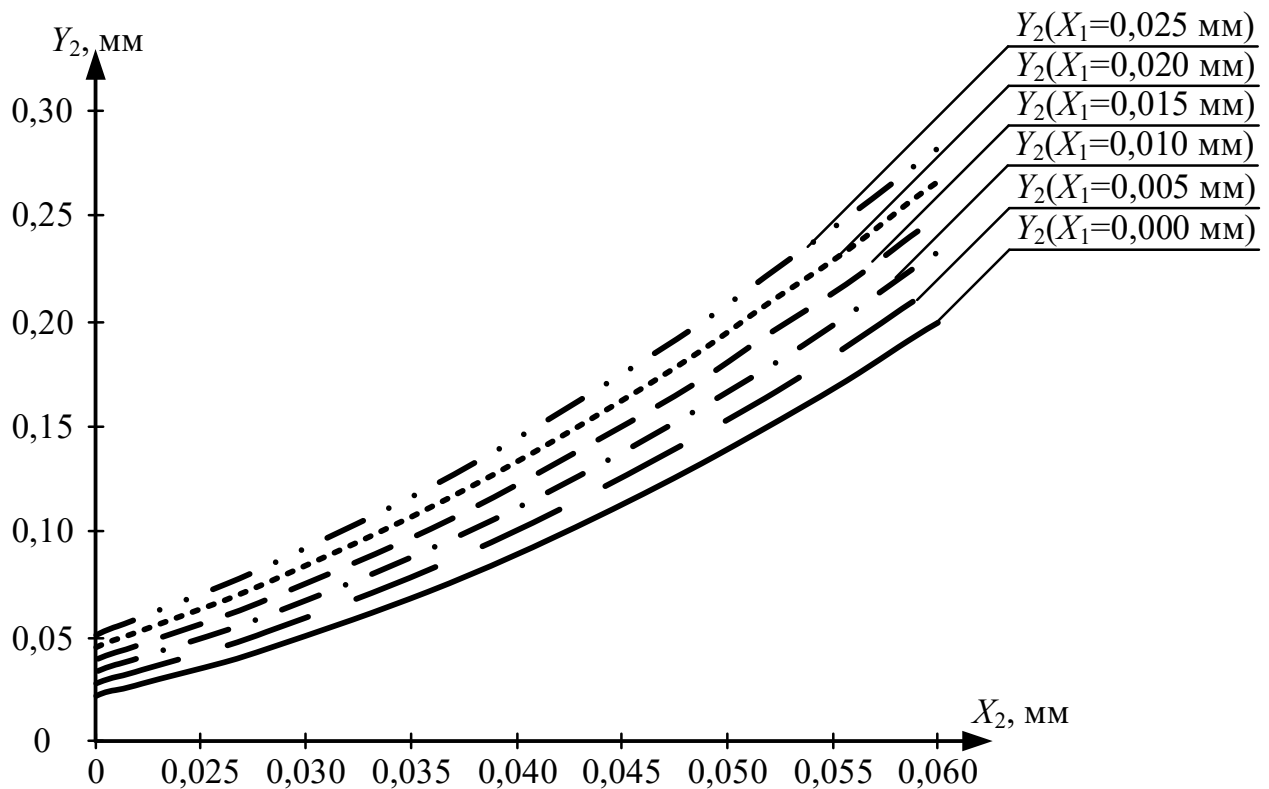


Рисунок 3.8 – Залежність зсуву оптичної плями на верхній межі діапазону вимірювання (якщо $X_1 = (0 \dots 0,025)$ мм, $X_2 = (0,02 \dots 0,060)$ мм)

на верхній межі діапазону вимірювання

$$Y_2 = \operatorname{tg}(\varphi) \cdot (X_1 + X_2) = 8,62 \cdot 10^{-6} \text{ мм.}$$

З аналізу наведених технічних розрахунків та графічних залежностей можна зробити висновок, що зсув оптичної плями під час заданих вимог несоосності та непаралельності складає доволі мале значення та практично не впливає на точність результатів вимірювання. На базі заведеного аналізу можна зробити висновок, що схеми встановлення позиційно-чутливого фотоприймача мультискан, що наведено на рис. 3.3 та 3.4, є рекомендованими для розробки конструкції електронного пристрою вимірювання лінійних переміщень.

ВИСНОВКИ

Під час аналізу електронних вимірювальних пристроїв лінійних переміщень виявлено, що принцип роботи переважної більшості пристроїв базується на пристроях зі зарядовим зв'язком та оптичних растрах. У зазначених пристрої необхідно використовувати доволі складу електронну апаратуру для обробки інформаційно-вимірювального сигналу, також ці пристрої мають обмежений динамічний діапазон.

Під час аналізу параметрів розглянутих фотоприймачів обґрунтовано необхідність використання фотоприймача мультискан. Це дозволяє безпосередньо виконувати вимірювальний контроль оптичного випромінювання. Фотоприймач мультискан має практично однакові можливості, як і фотоприймач зі зарядовим зв'язком під час однакової швидкодії.

Під час застосування мультискана спрощується обробка електричного інформаційного сигналу, а також є можливість застосування алгоритмічної корекції результатів вимірювання, накопичення та обробки результатів вимірювання за допомогою мікроконтролерів. Ці переваги мультискана дозволяють обрати його як пріоритет для розробки та створення електронних пристроїв вимірювання лінійних переміщень. Отже, можна розробити та створити прості, швидкодіючі та недорогі електронні пристрої.

Для побудови електронних пристроїв на базі мультискана потрібно розробити методики аналізу результатів вимірювання для порівняння їх з іншими пристроями такого самого класу точності.

Під час аналізу характеристик і параметрів різних типів фотоприймачів виявлено, що на базі мультискану можна реалізувати безперервний режим стеження за поточним значенням геометричних параметрів оптичного сигналу, а також високою величиною роздільної здатності, забезпечення фільтрації фотострумів від стороннього засвічування. Зазначений фотоприймач має

однакові можливості, як і пристроїв зі зарядовим зв'язком, зі збільшеною величиною швидкодії. У мультискана є можливість забезпечення спрощеного методу обробкою вихідного сигналу, а також забезпечення алгоритмічної компенсації похибок у результатах вимірювань.

Розроблена схема електрична структурна індикатора на основі позиційно-чутливого фотоприймача мультискан, що дає змогу спростити конструкцію електронного пристрою та схему обробку вимірювальних інформаційних даних, під час цього точність вимірювання не зменшується. Під час реалізації індикатора зі запропонованою схемою можна забезпечити алгоритмічну корекцію похибки результатів вимірювання, що істотно збільшує точність.

У кваліфікаційній роботі виконано детальний аналіз взаємного розташування елементів схеми електронного пристрою лінійних переміщень за наявності несоосності та непаралельності. З аналізу наведених технічних розрахунків та графічних залежностей можна зробити висновок, що зсув оптичної плями під час заданих вимог несоосності та непаралельності складає доволі мале значення та практично не впливає на точність результатів вимірювання. На базі виконаного аналізу можна зробити висновок, що схеми встановлення позиційно-чутливого фотоприймача мультискан є рекомендованими для розробки конструкції електронного пристрою вимірювання лінійних переміщень.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Носов, Ю.Р. Приборы зарядовой связи / Ю.Р. Носов. – М.: Знание, 1989. – 64 с.
2. Пресс, Ф.П. Фоточувствительные приборы с зарядовой связью / Ф.П. Пресс. – М.: Радио и связь, 1991. – 264 с.
3. Willard, S. Boyle. Nobel Lecture: CCD—An extension of man's view / S. Boyle Willard // Rev. Mod. Phys.. – 2010. – В. 3. – Т. 82. – P. 2305 – 2306.
4. Костюков, Е. Фоточувствительные приборы с зарядовой связью / Е. Костюков и др. // Электронные компоненты, 2003. – №4. – С. 83 – 88.
5. Неизвестный, С.И. Приборы с зарядовой связью. Устройство и основные принципы действия / С.И. Неизвестный, О.Ю. Никулин //Электротехника, 2005. – С. 14 – 20.
6. Приборы с зарядовой связью: пер. с англ. / под ред. Д.Ф. Барба. – М.: Мир, 1982. – 240 с.
7. Пресс, Ф.П. Фоточувствительные приборы с зарядовой связью / Ф.П. Пресс. – М.: Радио и связь, 1991. – 264 с.
8. Ишанин, Г.Г. Приемники излучения / Г.Г. Ишанин, В.В. Козлов. – СПб.: СПбГУ ИТМО, 2005. – 214 с.
9. Ишанин, Г.Г. Приемники излучения / Г.Г. Ишанин, Э.Д. Панков, В.П. Челибанов. – СПб.: СПб ГУИТМО, 2003. – 527 с.
10. Xunjun, Qi. Design realization and characterization of a position sensitive detector for fast optical measurement / Qi Xunjun, Lin Bin, Chen Dongyan and etc. // Optical engineering, 2006. – Vol. 45(1). – P. 402 – 415.
11. Chien-Hung, Liu. Development of a simple test device for spindle error measurement using a position sensitive detector / Liu Chien-Hung, Jywe Wen-Yuh, Lee Hau-Wei // Meas. Sei. Technol., 2004. – Vol. 15. – P. 1733 – 1741.
12. Шарапов, В.М. Датчики. Мир электроники / В.М. Шарапов, Е.С. Полищук, Н.Д. Кошевой и др. – СПб.: ТЕХНОСФЕРА, 2012 – 624 с.

13. Берковская, К.Ф. Позиционно-чувствительный фотоприемник мультискан с высоким координатным разрешением / К.Ф. Берковская, Н.В. Кириллова, Б.Г. Подласкин и др. // Сб. Научно-технические достижения. – № 2. – М.: ВИМИ. – С. 22 – 25.

14. Подласкин, Б.Г. Анализ компенсации искажений оптических сигналов с помощью позиционно-чувствительного фотоприемника мультискан методом формирования квазимедианы / Б.Г. Подласкин, Е.Г. Гук // Журнал технической физики, 2007. – Т. 77. – № 2. – С. 95 – 98.

15. Фотоэлектрические преобразователи информации / Под общ. ред. Л.Н. Преснухина и др. – М.: Машиностроение, 1974. – 376 с.

16. Латыев, С.М. Компенсация погрешностей в оптических приборах / С.М. Латыев. – Л.: Машиностроение, 1985. – 248 с.

17. Абакшина, О.А. Модернизация фотоэлектрического индикатора / О.А. Абакшина // XXXVIII Неделя науки СПбГПУ. Материалы международной научно-практической конференции. – СПб.: Издательство Политехнического университета, 2009. – Ч.9. – С. 156 – 158.

18. Абакшина, О.А. Фотоэлектрические приборы и устройства, основанные на позиционночувствительных приемниках / О.А. Абакшина, Г.В. Егоров, С.М. Латыев и др. // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. – №4/55, 2012. – С. 88 – 97.

19. Чудов, В.А. Размерный контроль в машиностроении / В.А. Чудов, Ф.В. Цидулко, Н.И. Фрейдгейм. – М.: Машиностроение, 1982. – 328 с.

20. Дич, Л.З. О погрешности Аббе в преобразователях линейных перемещений на дифракционных решетках / Л.З. Дич, С.М. Латыев // Опτικο-электронные методы и средства в контрольно-измерительной технике. – М.: МДНТП, 1991. – С. 24 – 30.

ДОДАТОК А – Охорона праці та безпека під час надзвичайних ситуаціях на підприємстві

До приміщення науково-дослідного відділу та організації робочого місця з обліком шкідливих виробничих факторів пред'являється ряд вимог. Приміщення, в якому знаходиться робоче місце з персональним комп'ютером, повинно мати природне освітлення, бажано з однобічним розміщенням світових прорізів, площа осклянілості яких не повинна перевищувати 25 % від площі стіни світових прорізів. Віконні прорізи в приміщенні з персональним комп'ютером повинні мати регульовані жалюзі чи занавіски або інші сонцезахисні пристрої. Не допускається розташування робочих місць з персональним комп'ютером у підвальних і цокольних поверхах. Робочі місця з персональними комп'ютерами рекомендується розміщувати в окремих приміщеннях. Площа на одного працюючого з персональним комп'ютером повинна складати 6 м², об'єм – 20 м³. Неприпустиме розташування персонального комп'ютера, під час якого працюючий звернений обличчям або спиною до вікон чи кімнати задньої частини персонального комп'ютера, де монтуються вентилятори.

Забороняється застосовувати для обробки інтер'єра приміщень з персональними комп'ютерами полімерні матеріали (дерев'яностружечні плити, шпалери, що миються, плівкові та рулоні синтетичні матеріали, шаруватий паперовий пластик та ін.), що виділяються в повітря шкідливі хімічні речовини, що перевищують гранично допустимі концентрації, не включені до «Переліку дозволених, МЗ» 1977-1985 р.

У лабораторії вимірювальної техніки та науково-дослідної роботи робочі місця з персональними комп'ютерами розташовані від стіни з вікнами на відстані 1 м, відстань між столами 3 м. Екрани моніторів знаходяться від очей користувача на відстані 700 мм відповідно до СН 512-78, приміщення ($S=21 \text{ м}^2$, $V=73,5 \text{ м}^3$) дозволяє розташовувати більше 3 робочих місця.

Робочі місця в положенні сидячі відповідають вимогам ДСТ 12.2.032 – 78 та ДСТ 12.2.029 – 77. Поверхня робочого столу знаходиться на висоті 0,75 м від підлоги, розміри робочої поверхні стільниці складають 1050x590 міліметрів, розміри вільного простору для ніг під столом складає висота 650, глибина 550, ширина 450 міліметрів, відповідно. Робочий стілець оснащений підйомно-поворотним пристроєм, що забезпечує регуляцію висоти сидіння та спинки, пневматичним і гідравлічними амортизаторами та обладнанні підлокітниками.

А.1 Мікроклімат робочого місця

У приміщенні науково-дослідного відділу є джерела тепловиділення, тому необхідно визначити необхідні умови його вентильовання. Витрати повітря в приміщенні з додатковим тепловиділенням визначаються за формулою:

$$L = \frac{Q_{\text{НАД}}}{c \cdot p \cdot (t_{\text{В}} - t_{\text{Н}})}, \quad (\text{A.1})$$

де $Q_{\text{НАД}}$ – надлишкове виділення тепла в робочому приміщенні, ккал/год.;

c – теплоємність повітря (0,237 ккал/кг);

p – об'ємна вага повітря (1,226 кг/м³);

$t_{\text{В}}$ – температура витяжного повітря (30°C);

$t_{\text{Н}}$ – температура приточного повітря (20°C).

Розраховується надлишкове надходження тепла за формулою:

$$Q_{\text{НАД}} = Q_{\text{УСТ}} + Q_{\text{ПЕР}} + Q_{\text{ОСВ}} + Q_{\text{СР}}, \quad (\text{A.2})$$

де $Q_{\text{уст}}$ – виділення тепла від устаткування;

$Q_{\text{пер}}$ – виділення тепла від персоналу;

$Q_{\text{осв}}$ – надходження тепла від електричного освітлення;

$Q_{\text{ср}}$ – надходження тепла від сонячної радіації через вікна.

Визначається виділення тепла від устаткування за формулою:

$$Q_{\text{уст}} = P \cdot K_a \cdot K_6 \cdot 860, \quad (\text{A.3})$$

де P – сумарна потужність устаткування, кВт/год;

K_a – коефіцієнт установленної потужності (0,95);

K_6 – коефіцієнт одночасної роботи (1,0).

$$\begin{aligned} Q_{\text{уст}} &= [x_1 \cdot k_1 + x_2 \cdot k_2 + x_3 \cdot k_3 + x_4 \cdot k_4 + x_5 \cdot k_5 + x_6 \cdot k_6 + x_7 \cdot k_7 + \\ &+ x_8 \cdot k_8 + x_9 \cdot k_9] \cdot K_a \cdot K_6 \cdot 860 = \\ &= [1 \cdot 0,5 + 1 \cdot 0,1 + 1 \cdot 0,07 + 2 \cdot 0,4 + 1 \cdot 0,06 + 1 \cdot 0,05 + 1 \cdot 0,6 + 4 \cdot 0,15 + \\ &+ 1 \cdot 3,5] \cdot 0,95 \cdot 1 \cdot 860 = 5131 \text{ ккал/год.} \end{aligned}$$

Визначається виділення тепла від обслуговуючого персоналу за допомогою формули:

$$Q_{\text{пер}} = n \cdot g = 2 \cdot 100 = 200 \text{ ккал/год,} \quad (\text{A.4})$$

де n – кількість працюючих;

g – кількість тепла, що виділяє один працівник за годину (100 ккал/год.).

Визначається надходження тепла від електричного освітлення за формулою:

$$Q_{\text{осв}} = E_m \cdot g_1 \cdot S = 300 \cdot 0,05 \cdot 21 = 315 \text{ ккал/год,} \quad (\text{A.5})$$

де E_M – нормована освітленість для зорової роботи, величина якої дорівнює 300 лк;

g_1 – питома тепловиділення на 1 м² підлоги під час освітленості в 1 лк (для люмінесцентних ламп – 0,05 ккал/год.);

S – площа приміщення, м².

Визначається надходження тепла від сонячної радіації через вікна за формулою:

$$Q_{CP} = F \cdot g_2 \cdot K_{OCL} = 7,5 \cdot 65 \cdot 0,4 = 195 \text{ ккал/год}, \quad (A.6)$$

де F – площа віконних прорізів (3 x 2,5=7,5 м²);

g_2 – кількість тепла, що надходить через 1 м² віконного прорізу (65 ккал/год.);

K_{OCL} – коефіцієнт ослаблення, приймається 0,4.

Визначається кількість надлишкового тепла:

$$Q_{HAД} = Q_{УСТ} + Q_{ПЕР} + Q_{OCB} + Q_{CP} = 5131 + 200 + 315 + 195 = 5841 \text{ ккал/год.}$$

Визначаються витрати повітря в приміщенні:

$$L = \frac{Q_{HAД}}{c \cdot p \cdot (t_B - t_H)} = \frac{5848}{0,237 \cdot 1,226 \cdot (30 - 20)} = 2010 \text{ м}^3 / \text{год.}$$

Існуюча в наявності система кондиціонування та вентилявання має продуктивність 2200 м³/год., що задовольняє необхідним нормативам.

Параметри мікроклімату на робочих місцях регламентуються ДНАОП 0.03.3.15 – 86 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень № 4088–86». Відповідно доданих санітарних норм температура повітря, швидкість руху повітря та відносна вологість у холодні періоди року повинна складати

(22 – 24) градуса за Цельсієм, 0,1 метра в секунду та (40 – 60) %, відповідно. Під час збереження всіх параметрів можливе коливання температури від 21 до 25 градусів Цельсія. У теплі періоди року температура повітря повинна складати (23 – 25) градусів Цельсія, швидкість руху повітря (0,1 – 0,2) метрів в секунду, вологість (40 – 60) %. Температура може коливатися від 22 до 26 градусів Цельсія під час збереження всіх інших параметрів мікроклімату. Вище зазначені норми цілком відповідають фактичним даним приміщення лабораторії вимірювальної техніки та науково-дослідним відділом.

А.2.2 Розрахунок системи загального рівномірного освітлення з лампами розжарювання для приміщення, в якому використовуються зорові роботи високої точності

Розміри приміщення: довжина ($a=6$ м), ширина ($b=3,5$ м), висота ($H=3,5$ м). Приміщення має світлу побілку: коефіцієнт відбиття $P_{\text{стелі}} = 70$ %, $P_{\text{стін}} = 50$ %. Висота робочих поверхонь (столів) $h_p = 0,7$ м. Для освітлення прийнято світильники типу УПМ-15, що розташовано на стелі, відстань від світильника до стелі $h_c = 0,4$ м. Мінімальна освітленість за нормами $E=200$ лк.

1) Визначається висота підвісу світильників над підлогою:

$$h_0 = H - h_c = 3,5 - 0,4 = 3,1 \text{ м.}$$

Для світильників загального освітлення з лампами розжарювання потужністю до 200 Вт мінімальна висота підвісу над підлогою відповідно до СНІП П-4-79 повинна бути в межах (2,5 – 4,0) м, залежно від характеристики світильника. Освітлення лабораторії вимірювальної техніки та науково-дослідного відділу відповідає цій вимозі.

2) Визначається висота підвісу світильника над робочою поверхнею:

$$h = h_0 - h_p = 3,1 - 0,7 = 2,4 \text{ м.}$$

Рівномірність освітлення досягається під час відповідного співвідношення відстані між світильниками (L) та висоти їх підвісу (h).

3) Визначається рекомендована відстань між світильниками:

$$L = 0,7 \cdot h = 0,7 \cdot 2,4 = 1,68 \text{ м.}$$

4) Розраховується необхідна кількість світильників:

$$N = \frac{a \cdot b}{L^2} = \frac{6 \cdot 3,5}{1,68^2} = 7,4.$$

Приймається 8 світильників, з обліком розмірів приміщення вони розташовуються у два ряди по 4 штуки.

5) Світловий потік лампи світильника ($\Phi_{\text{л}}$) визначається за формулою:

$$\Phi_{\text{л}} = \frac{E \cdot K_3 \cdot S \cdot Z}{N \cdot n \cdot \eta},$$

де E – нормативна освітленість, лк;

K_3 – коефіцієнт запасу, який враховує зниження освітленості в результаті забруднення та старіння ламп;

S – площа приміщення, що освітлюється, м²;

Z – коефіцієнт нерівномірності освітлення для ламп розширювання (1,15);

N – кількість світильників;

n – кількість ламп у світильнику;

η – коефіцієнт використання світового потоку, що визначається за світлотехнічними таблицями залежно від показника приміщення (i) та

коефіцієнтів відбиття стін і стелі.

6) Визначається показник приміщення:

$$i = \frac{a \cdot b}{h \cdot (a + b)} = \frac{6 \cdot 3,5}{3,5 \cdot (6 + 3,5)} = 2,21.$$

Коефіцієнт використання $\eta = 0,48$ для світильника УПМ-15 ($i = 2,5$, $P_{\text{стелі}} = 70\%$, $P_{\text{стін}} = 50\%$)

Світловий потік одного світильника, а значить і лампи, оскільки за конструктивним виконанням у світильнику цього типу встановлена лише одна лампа, дорівнює:

$$\Phi_{\text{л}} = \frac{E \cdot S \cdot Z}{N \cdot n \cdot \eta} = \frac{200 \cdot 21 \cdot 1,15}{6 \cdot 1 \cdot 0,48} = 1677 \text{ лм.}$$

9) обирається лампа Б-150 потужністю 150 Вт, світловий потік якої дорівнює 2000 лм. Хоча це значення на 19,2 % більше розрахованого, проте не перевищує встановлену норму ($-0\% < \Phi_{\text{л}} < +20\%$). Сумарна електрична потужність усіх світильників, встановлених у приміщенні становить:

$$P_{\text{св}} = P \cdot N = 150 \cdot 8 = 1200 \text{ Вт.}$$