

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»
Факультет комп'ютерно-інтегрованих технологій, мехатроніки і робототехніки
Кафедра інформаційно-вимірювальних технологій

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до кваліфікаційної роботи
магістра

на тему: **Комп'ютеризована інформаційно-вимірювальна система
визначення довжини і швидкості переміщення промислових виробів**

Виконав: студент 2 курсу, групи ІВТ-2м

Спеціальності: 175 «Інформаційно-
вимірювальні технології»

Колесник І.І.

(прізвище та ініціали)

Керівник: доцент кафедри ІВТ

кандидат технічних наук, доцент

Чепюк Л.О.

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

Рецензент: _____

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

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»
Факультет комп'ютерно-інтегрованих технологій, мехатроніки і робототехніки
Кафедра інформаційно-вимірювальних технологій

Спеціальність 175 «Інформаційно-вимірювальні технології»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри інформаційно-
вимірювальних технологій

д.т.н., професор Подчашинський Ю.О.

« _____ » _____ 2024 р.

ЗАВДАННЯ
на кваліфікаційну роботу магістра

Студент _____ Колесник І.І.

1. Тема роботи: _____ визначення довжини і швидкості переміщення
 _____ промислових виробів

Керівник роботи: доцент кафедри ІВТ кандидат технічних наук,
 _____ доцент Чепюк Л.О.

затверджена наказом по університету від « 14 » листопада 2024 р. № 654/с

2. Термін здачі закінченої роботи на кафедру « 15 » _____ грудня _____ 2024р.

3. Вихідні дані до роботи об'єкт вимірювань – довжина і швидкість переміщення промислових виробів, діапазон вимірювання швидкості – 0 – 60 м/хв.; межі допустимих значень основної похибки – $\pm 2\%$, діапазон вимірювання довжини – 0 – 10000 м; межі допустимих значень основної похибки – $\pm 1\%$..

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які підлягають розробці)
 огляд та аналіз існуючих методів вимірювання довжини і швидкості переміщення промислових виробів, розробка структурної схеми системи, вибір технічних засобів вимірювального каналу, розрахунок метрологічних характеристик системи

5. Перелік графічного матеріалу
 структурна схема системи, електрична принципова схема підключень датчиків,

6. Консультанти кваліфікаційної роботи магістра із зазначенням розділів роботи, що їх стосуються

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв

7. Дата видачі завдання _____

Календарний план

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Огляд та аналіз джерел інформації	01.10.24 – 05.10.24	Виконано
2	Формулювання завдань кваліфікаційної роботи	06.10.24 – 10.10.24	Виконано
3	Розробка методу вимірювань довжини і швидкості переміщення промислових виробів	25.10.24 – 09.11.24	Виконано
4	Розробка структурної схеми	11.10.24 – 15.10.24	Виконано
6	Вибір технічних засобів системи	10.11.24 – 22.11.24	Виконано
7	Розрахунок метрологічних характеристик	23.11.24 – 03.12.24	Виконано
8.	Проведення моделювання та експериментальних досліджень	04.12.24 – 10.12.24	Виконано
9	Оформлення пояснювальної записки та презентаційного матеріалу	11.12.24 – 17.12.24	Виконано

Студент

(підпис)

Керівник роботи

(підпис)

Колесник І.І.

(прізвище та ініціали)

Чепюк Л. О.

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

В даній кваліфікаційній роботі розроблено комп'ютеризовану інформаційно-вимірювальну систему визначення довжини і швидкості переміщення промислових виробів.

В процесі виконання кваліфікаційної роботи було виконано аналіз методів визначення довжини і швидкості переміщення промислових виробів. Проведено вибір контрольованих параметрів та розробка на їх основі структури комп'ютеризованої інформаційно-вимірювальної системи визначення довжини і швидкості переміщення промислових виробів. Розроблено структурну схему комп'ютеризованої інформаційно-вимірювальної системи визначення довжини і швидкості переміщення промислових виробів. Вибрано вимірювальні засоби та елементну базу комп'ютеризованої інформаційно-вимірювальної системи визначення довжини і швидкості переміщення промислових виробів та розроблено метрологічне забезпечення комп'ютеризованої інформаційно-вимірювальної системи визначення довжини і швидкості переміщення промислових виробів.

Ключові слова: комп'ютеризована інформаційно-вимірювальна система, визначення довжини, визначення швидкості переміщення промислових виробів.

ABSTRACT

In this qualification work, a computerized information-measuring system for determining the length and speed of movement of industrial products was developed.

In the course of the qualification work, an analysis of methods for determining the length and speed of movement of industrial products was carried out. The selection of controlled parameters was made and the structure of the computerized information-measuring system for determining the length and speed of movement of industrial products was developed based on them. The structural scheme of the computerized information and measurement system for determining the length and speed of movement of industrial products has been developed. The measuring tools and element base of the computerized information-measuring system for determining the length and speed of movement of industrial products are selected, and the metrological support of the computerized information-measuring system for determining the length and speed of movement of industrial products is developed.

Key words: computerized information and measurement system, determination of length, determination of speed of movement of industrial products.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ	7
ВСТУП.....	8
1. ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ МЕТОДІВ ВИМІРЮВАННЯ ДОВЖИНИ ТА ШВИДКОСТІ ПРОТЯЖНИХ ВИРОБІВ	11
1.1. Протяжні вироби як об'єкти контролю	11
1.2. Методи вимірювання довжини та швидкості протяжних виробів	14
1.3. Прямі методи виміру	15
1.3.1. Метод безпосередньої оцінки.....	15
1.3.2. Контактний метод (електромеханічні вимірювачі).....	16
1.3.3. Електромеханічні ремінні вимірювачі.....	24
1.3.4. Електромеханічні вимірювачі виробів, що обертаються.....	26
1.3.5. Безконтактні методи виміру	28
1.4. Метод на основі ефекту Доплера.....	42
1.5. Порівняння методів вимірювання довжини та швидкості.....	45
2. РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ КОМП'ЮТЕРИЗОВАНОЇ ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ВИЗНАЧЕННЯ ДОВЖИНИ І ШВИДКОСТІ ПЕРЕМІЩЕННЯ ПРОМИСЛОВИХ ВИРОБІВ	48
2.1. Вибір методу вимірювання.....	48
2.2. Порівняльний аналіз доплерівських лазерних вимірювачів довжини.....	49
2.3. Розробка структурної схеми детектора	51
2.4. Вибір компонентів електричної принципової схеми	54

2.5. Оптична схема	61
2.6. Електрична принципова схема	64
3. РОЗРАХУНОК МЕТРОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК КОМП'ЮТЕРИЗОВАНОЇ ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ВИЗНАЧЕННЯ ДОВЖИНИ І ШВИДКОСТІ ПЕРЕМІЩЕННЯ ПРОМИСЛОВИХ ВИРОБІВ.....	71
ВИСНОВКИ	77
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ	78
ДОДАТКИ	80

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

ОВ – об'єкт виміру

ДВ – джерело випромінювання

ЛВ – лазерне випромінювання

ПОВ – приймач оптичного випромінювання)

ЛДВ – лазерний доплерівський вимірювач

ОП – операційний підсилювач

ВСТУП

Актуальність теми.

Контроль довжини та швидкості виробів найбільш актуальний для таких галузей промисловості, як кольорова та чорна металургія, легка, целюлозно-паперова та кабельна; актуальний і в транспортній сфері для полігонних випробувань та оцінки руху рейкового транспорту.

Насамперед промисловий контроль довжини та швидкості проводиться на підприємствах-виробниках, також він здійснюється на підприємствах торгівлі та підприємствах-споживачах продукції на дільницях приймання.

Точний та надійний вимір швидкості руху та довжини протяжних виробів є одним з важливих факторів підвищення ефективності технологічних процесів виробництва, розкрою та комерційного обліку продукції у відповідній галузі промисловості. , технічні параметри та внести зміни в конструкцію виробу. очевидної можливості зниження використання сировини та матеріалів, забезпечує підтримання електричних характеристик, пов'язаних з геометричними параметрами, деяких протяжних виробів, наприклад, кабелів.

Контроль довжини кабелю та швидкості його руху в процесі його руху по виробничій лінії має винятково важливе значення. та шкідливих факторів на результат вимірювання контрольованих параметрів сприяє зростанню економічності виробництва подібних виробів.

Складність точного вимірювання довжини та швидкості руху ще безпосередньо пов'язана з нерівномірністю руху протяжного виробу, непостійністю відстані між датчиками та об'єктом контролю та труднощами надійного забезпечення контакту датчиків з об'єктами, що рухаються, та зміною відстані між ними та об'єктом контролю.

Для вирішення подібних проблем необхідно визначити ступінь впливу кожного зовнішнього фактора, визначити залежність та відповідно оцінювати результуюче значення вимірюваного параметра.

Як об'єкт дослідження у цій роботі виступають методи та прилади контролю довжини та швидкості руху протяжних виробів.

Предмет дослідження – визначення конкретних чинників, що заважають, що найбільше впливають на результати вимірювання довжини і швидкості, і визначення ступеня їх впливу на точність вимірювань.

Результати досліджень, наведені в даній роботі, можуть бути застосовані на підприємствах кабельної промисловості, а також на підприємствах, які займаються виробництвом приладів для вимірювання відповідних параметрів під час виробництва кабелів.

Метою даної роботи є розробка нової комп'ютеризованої інформаційно-вимірювальної системи визначення довжини і швидкості переміщення промислових виробів.

Для досягнення даної мети необхідно вирішити наступні задачі:

- провести аналітичний огляд методів вимірювання довжини і швидкості переміщення промислових виробів як об'єкта контролю;
- провести вибір контрольованих параметрів і розробити на їх основі структури комп'ютеризованої інформаційно-вимірювальної системи визначення довжини і швидкості переміщення промислових виробів;
- розробити метрологічне забезпечення комп'ютеризованої інформаційно-вимірювальної системи визначення довжини і швидкості переміщення промислових виробів.

Об'єкт дослідження – процеси вимірювання довжини і швидкості переміщення промислових виробів.

Предмет дослідження – комп'ютеризована інформаційно-вимірювальна система визначення довжини і швидкості переміщення промислових виробів.

Методи дослідження базуються на аналітичному виведенні рівнянь математичної моделі вимірювального каналу, використанні обчислювальних блоків у вимірювальному каналі, застосуванні методів комп'ютерного моделювання з наступною статистичною обробкою отриманих результатів.

Наукова новизна даної роботи полягає в:

- вибрано нові датчики для вимірювання довжини і швидкості переміщення промислових виробів;
- удосконалено структурну схему комп'ютеризованої інформаційно-вимірювальної системи визначення довжини і швидкості переміщення промислових виробів;
- розроблено метрологічне забезпечення комп'ютеризованої інформаційно-вимірювальної системи визначення довжини і швидкості переміщення промислових виробів.

Практична цінність даної роботи полягає в:

- вибрано вимірювальні засоби та елементну базу комп'ютеризованої інформаційно-вимірювальної системи визначення довжини і швидкості переміщення промислових виробів;
- розраховано метрологічні характеристики комп'ютеризованої інформаційно-вимірювальної системи визначення довжини і швидкості переміщення промислових виробів;
- пропонується впровадити нову комп'ютеризовану інформаційно-вимірювальну систему визначення довжини і швидкості переміщення промислових виробів.

Структура та обсяг роботи. Дана робота складається з анотації, вступу, 3 основних розділів, висновків, переліку використаних літературних джерел та додатку. Робота викладена на 79 сторінках основного тексту і містить 42 рисунки та 13 таблиць.

1. ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ МЕТОДІВ ВИМІРЮВАННЯ ДОВЖИНИ ТА ШВИДКОСТІ ПРОТЯЖНИХ ВИРОБІВ

1.1. Протяжні вироби як об'єкти контролю

Інформаційні технології все глибше проникають у всі сфери науково-технічної діяльності людського суспільства. Центальною ланкою таких систем є технології інженерних знань, тому значні успіхи багато в чому визначаються інтелектуальним рівнем і загальною ефективністю комп'ютерних систем.

В наш час контроль якості, надійність, безпека та економічність лежать в основі виробництва будь-яких виробів у всіх сферах народного господарства.

Важливим фактором для розвитку виробництва є швидкодія пов'язаних з ним процесів.

Контроль довжини та швидкості виробів найбільш актуальний для таких галузей промисловості, як кольорова та чорна металургія, легка, целюлозно-паперова та кабельна; актуальний і в транспортній сфері для полігонних випробувань та оцінки руху рейкового транспорту.

Насамперед промисловий контроль довжини та швидкості проводиться на підприємствах-виробниках, також він здійснюється на підприємствах торгівлі та підприємствах-споживачах продукції на ділянках приймання.

Точний та надійний вимір швидкості руху та довжини протяжних виробів є одним з важливих факторів підвищення ефективності технологічних процесів виробництва, розкрою та комерційного обліку продукції у відповідній галузі промисловості. , технічні параметри та внести зміни в конструкцію виробу. очевидної можливості зниження використання сировини та матеріалів, забезпечує підтримання електричних характеристик, пов'язаних з геометричними параметрами, деяких протяжних виробів, наприклад, кабелів.

Контроль довжини кабелю та швидкості його руху в процесі його руху по виробничій лінії має винятково важливе значення. та шкідливих факторів на результат вимірювання контрольованих параметрів сприяє зростанню економічності виробництва подібних виробів.

Складність точного вимірювання довжини та швидкості руху ще безпосередньо пов'язана з нерівномірністю руху протяжного виробу, непостійністю відстані між датчиками та об'єктом контролю та труднощами надійного забезпечення контакту датчиків з об'єктами, що рухаються, та зміною відстані між ними та об'єктом контролю.

Для вирішення подібних проблем необхідно визначити ступінь впливу кожного зовнішнього фактора, визначити залежність та відповідно оцінювати результуюче значення вимірюваного параметра.

Як об'єкт дослідження у цій роботі виступають методи та прилади контролю довжини та швидкості руху протяжних виробів.

Предмет дослідження — визначення конкретних чинників, що заважають, що найбільше впливають на результати вимірювання довжини і швидкості, і визначення ступеня їх впливу на точність вимірювань.

Результати досліджень, наведені в даній роботі, можуть бути застосовані на підприємствах кабельної промисловості, а також на підприємствах, які займаються виробництвом приладів для вимірювання відповідних параметрів під час виробництва кабелів.

У багатьох галузях промисловості, особливо в таких як чорна та кольорова металургія, кабельне, текстильне та гумотехнічне виробництва найпоширенішими виробленими продуктами є ті, які можна об'єднати під однією назвою «протяжні вироби». Під протяжними також мають на увазі довгомірні, рулонні, профільовані і таке інше.

До виробництв протяжних виробів належать прядильні, прокатні та трубопрокатні, кабельні, дротяні, паперові, картонні, вироби профільованих гумових виробів, корду, а також шаруватих, імпрегнованих виробів з різних

матеріалів, виробництво опто волокна та деякі інші. Специфічними, але близькими по суті є вироби фото - та кіно матеріалів, магнітних стрічок, які останнім часом поступово витісняються за рахунок застосування інших носіїв інформації. Величезними масштабами відрізняються виробництва паперу та картону, рулонного металу та дроту з покриттями антикорозійного, декоративного та іншого призначення; прядильні виробництва; виробництва корду та гумових профільованих заготовок.

Протяжні вироби можуть виготовлятися різними методами: прокатка, волочіння, профільювання тощо. У кабельній промисловості, зокрема, найбільше застосування знайшли волочіння та прокатка. Виробництво кабелю характеризується потоковістю процесу та його безперервністю, тому вкрай важлива не лише висока продуктивність, а й висока якість виробництва та економічність. Необхідна якість процесу та економічність виробництва досягається за рахунок постійного контролю швидкості руху виробу, що виготовляється, та його довжини на кожному етапі виробництва.

Протяжні вироби як об'єкти контролю відрізняються номенклатурною різноманітністю, матеріаломісткістю, габаритністю та суттєвим перевищенням довжини над поперечним перерізом. Діагностування технологічних процесів виробництв протяжних виробів пов'язане з певними труднощами. Зважаючи на безперервний характер технологічних процесів (реалізується суміщенням технологічних операцій, що виконуються «на прохід») виникає необхідність проведення діагностичних процедур безпосередньо в процесі експлуатації обладнання. Як правило, усі вироби протяжних виробів характеризуються набором параметрів продукції, які необхідно безпосередньо та безперервно вимірювати в міру її випуску. Наприклад, у прокатному, трубопрокатному та дротяному виробництві – поточні значення геометричних розмірів, температури прокату та дроту; у кабельному виробництві – довжина, швидкість руху, товщина та ексцентричність шару ізоляції.

Складність вимірювання довжини та швидкості в процесі виробництва кабелю обумовлена нерівномірністю руху та зміною відстані між датчиками та об'єктом контролю, а також впливом зовнішніх факторів та контакту вимірювача з об'єктом контролю.

1.2. Методи вимірювання довжини та швидкості протяжних виробів

Говорячи про сучасне виробництво, необхідно обов'язково відзначити панівну тенденцію автоматизації процесів вимірювання та контролю. Але важливий не так сам процес об'єднання в єдиній технологічній лінії процесів виробництва та контролю, як досягнення необхідної вимірювальної точності.

Подібні віяння у промисловому виробництві породжують постійне зростання вимог до засобів та методів контролю. При контролі довжини та швидкості протяжних виробів до сучасних вимірювальних пристроїв пред'являються такі вимоги:

- висока надійність;
- універсальність;
- висока чутливість та стійкість до перешкод;
- ергономічність та простота експлуатації;
- можливість проведення безконтактних вимірів;
- широкий діапазон виміру.

В даний час всі методи вимірювання довжини поділяються на дві великі групи: прямі та опосередковані.

Прямі методи дозволяють відразу отримати потрібну величину без додаткових перетворень. Непрямими методами визначаються лише величини, функціонально пов'язані з шуканими величинами.

Далі, прямі методи з погляду технічної реалізації представлені двома великими класами: контактні вимірювачі довжини та безконтактні.

Метод прямого виміру представлений засобами прямого контактного виміру та електромеханічними вимірювачами. Непрямі методи вимірювання представлені методами на основі ефекту Доплера, кореляційними та растровими методами. Класифікація методів представлена на рис. 1.1 [1]:

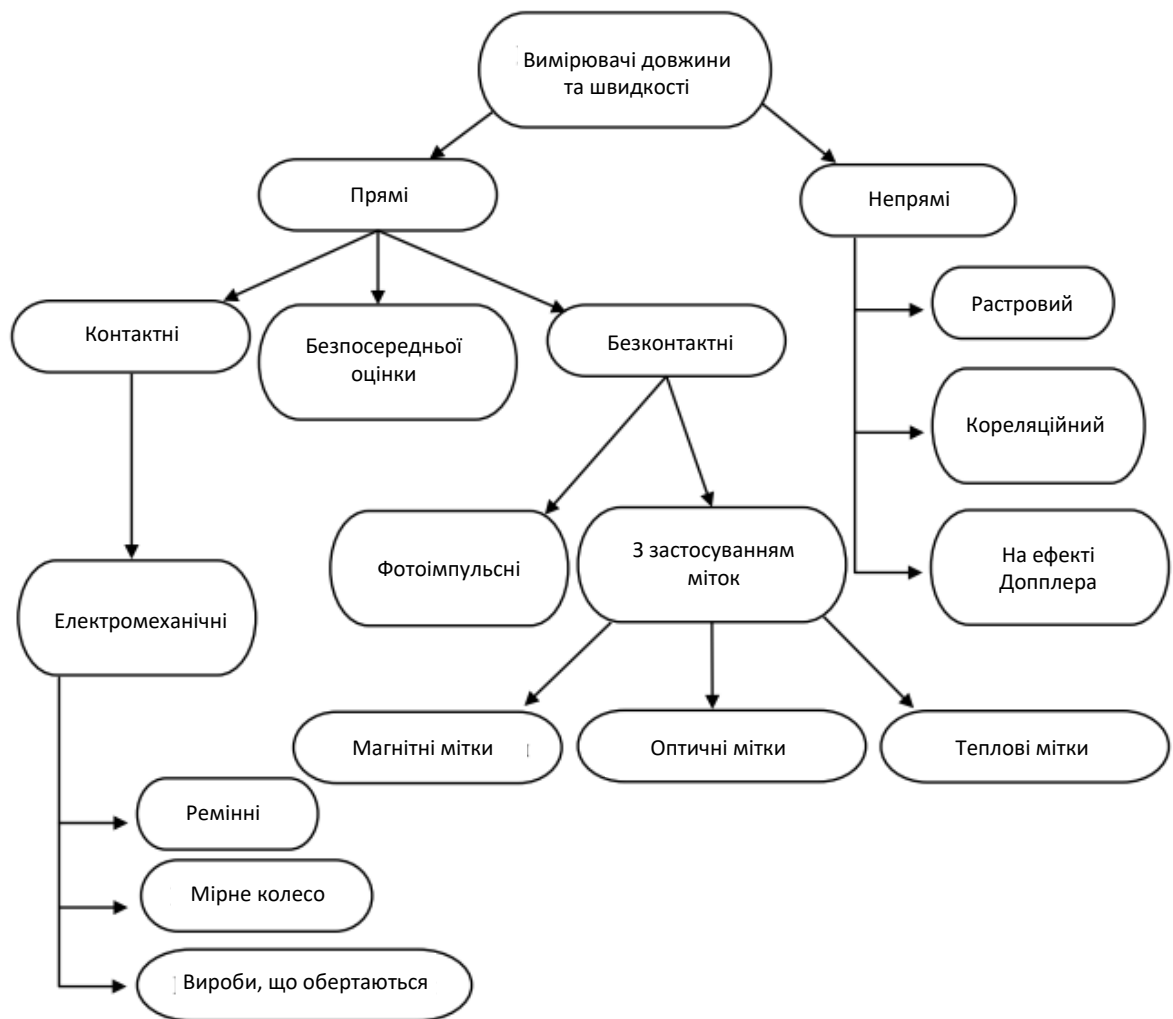


Рис. 1.1 – Схема методів вимірювання швидкості та довжини

1.3. Прямі методи виміру

1.3.1. Метод безпосередньої оцінки

Подібний метод вимірювання довжини є найпростішим у своєму роді. Для вимірювань прямим контактним методом використовуються

метражні механічні пристрої з похибкою вимірювання не більше 1 %, а також мірні стрічки та лінійки, що відповідають технічній документації [2].

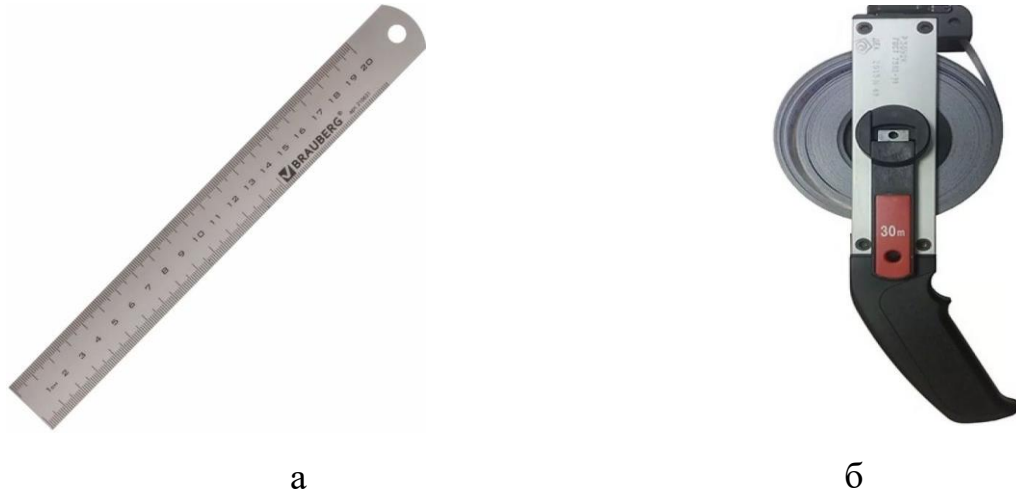


Рис. 1.2 – Приклади вимірювачів методом безпосередньої оцінки:
а – лінійка; б – рулетка

Вище перелічені засоби вимірювання дуже дешеві і прості, але мають ряд істотних недоліків: не мають достатньої точності; потребують постійної участі людини; не застосовні для вимірювання швидкості; утруднений безперервний контроль у процесі виробництва.

1.3.2. Контактний метод (електромеханічні вимірювачі)

Електромеханічні вимірювачі на основі мірного колеса серед усіх механічних вимірювачів користуються найбільшою популярністю. Принцип роботи полягає в наступному: круглі вимірювальні валики, що обертаються навколо власної осі, притискаються до протяжного виробу, що контролюється, і обкатують його при поступальному русі.

З кожним валиком безпосередньо пов'язаний імпульсний датчик, що видає певну кількість імпульсів за один оберт валика. У цьому випадку дуже важливо визначити ціну імпульсу:

$$k = \frac{\pi D}{n\mu}, \quad (1.1)$$

де D – діаметр вимірювального валика; n – число імпульсів на один оберт датчика; μ – передаточне відношення між валиком та датчиком.

У процесі виробництва дуже важливо враховувати і своєчасно оцінювати знос вимірювального валика. З огляду на це ціна імпульсу може бути визначена наступним чином:

$$\Delta k = \frac{\pi \Delta D}{n\mu} = \frac{k \Delta D}{D}. \quad (1.2)$$

Підрахувавши число імпульсів m , можна визначити довжину виробу L за відсутності прослизання:

$$L = k \cdot m, \quad (1.3)$$

До основних недоліків методу, що розглядається, можна віднести можливе прослизання валика по виробу. Як засоби рішення застосовуються різні додаткові або спеціальні засоби. До них належать спеціальні притиски та магнітні ролики.

Ще одним істотним недоліком є зниження точності вимірювання, обумовлене зносом валика і, відповідно, зменшенням його діаметра. Так як відносна зміна діаметра ролика зменшується з його збільшенням, то для зниження помилки вимірювання за інших рівних умов ролик виготовляється більшого діаметру. Додатково для зменшення зношування часто передбачені змінні сорочки [2].

Важливим конструктивним елементом у складі електромеханічного вимірювача є енкодер. При виборі енкодера слід звертати увагу на його основний параметр – стабільність імпульсу, що видається при повороті

вимірювального валика, та його технічне виконання. Схема електромеханічного вимірника на основі мірного колеса представлена на рис. 1.3:

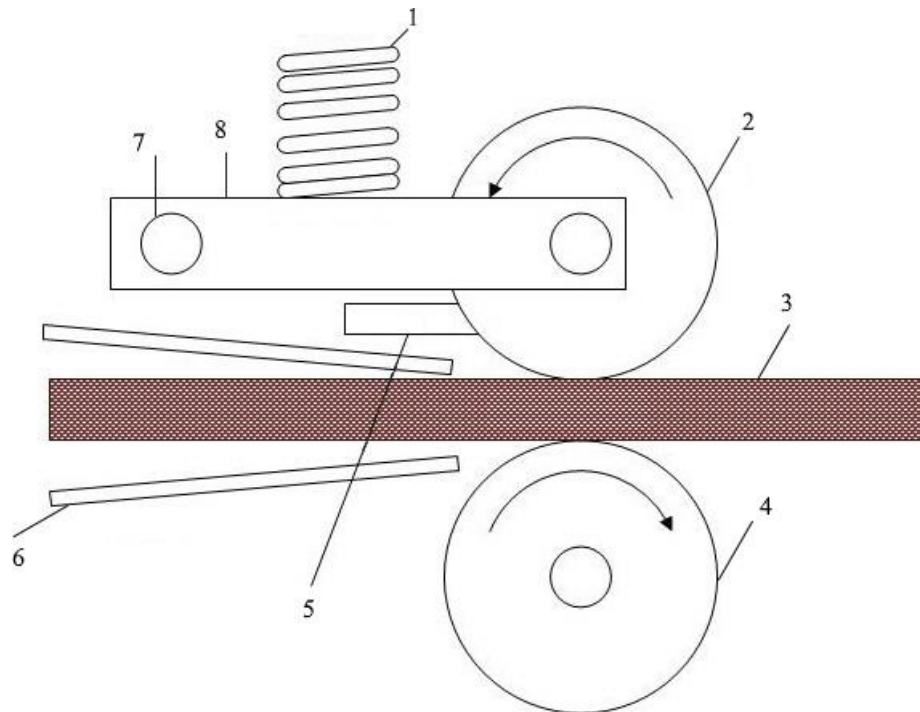


Рис. 1.3 – Схема електромеханічного вимірювача:

1 – притискний пристрій; 2 – рухливий вимірювальний ролик з енкодером;
3 - об'єкт, що вимірюється; 4 – притискний ролик; 5 – зафіксований упор
зворотного ходу; 6 – напрямні; 7 - точка опора обертового ролика; 8 –
натяжний важіль

Незважаючи на всі заходи, повністю уникнути прослизання між роликом і виробом не вдається, особливо в перехідних режимах. Помилка виміру в цьому випадку залежить від довжини виробу і може досягати величин, що не задовольняють вимоги виробництва. У зв'язку з цим схему вимірювальної установки будують так, що виробляють вимір за допомогою вимірювального ролика не всього виробу, а лише частини, що дорівнює перевищенню довжини виробу над так званою базовою відстанню. Враховуючи потенціальну можливість пробуксовування вимірювальних

валиків на будь-якій ділянці протяжного виробу, вводять фіксовану контрольну довжину l_0 , рівну одному імпульсу. Ці дві довжини зазвичай поєднуються. У такому разі, точність відчутно підвищується.

Блок-схема електромеханічного вимірювача представлена на рис. 1.4.

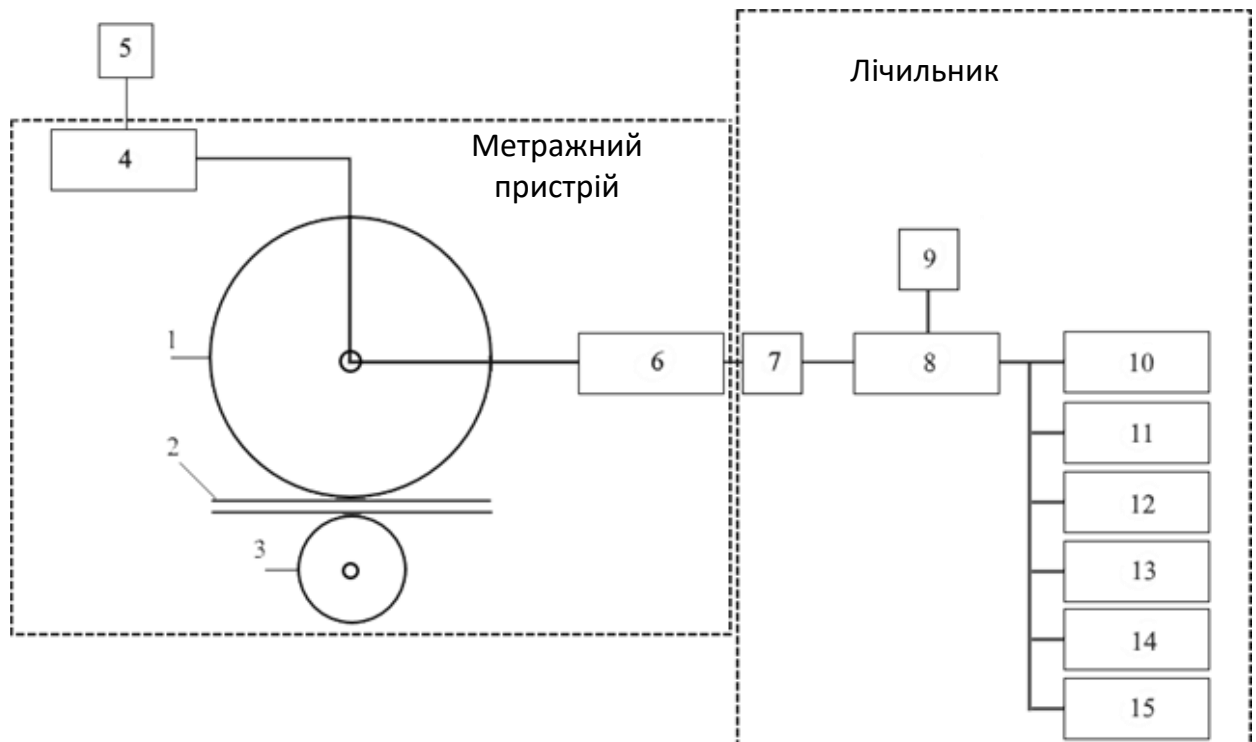


Рис. 1.4 – Блок-схема електромеханічного вимірювача довжини з базової L_6 і контрольної довжиною L_0 :

1 – мірне колесо; 2 – об'єкт контролю; 3 – притискний ролик;
 4 – система притиску (пневматична); 5 – пневмоблок; 6 – реверсивні енкодери; 7 – гальванічна розв'язка; 8 – мікроконтролер; 9 – EEPROM пам'ять; 10 – індикатор загальної довжини; 11 – індикатор довжини бухти; 12 – індикатор швидкості; 13 – індикатор настановного значення довжини бухти; 14 – автоматика; 15 – виходи цифрових інтерфейсів.

Відповідно до схеми (рис. 1.4) класичний електромеханічний вимірник конструктивно можна розділити на дві частини: метражний пристрій та

лічильник.

Мірне колесо 1, як правило, розташовується над контрольованим об'єктом 2, а для більш тісного та постійного контакту об'єкт притискається до мірного колеса за допомогою притискного валика 3. У свою чергу, мірне колесо має можливість здійснювати незначне рух по вертикалі за рахунок системи притиску 4, виконаної в більшості випадків на основі пневматики. Пневматика регулює силу притиску вимірювального ролика, не даючи тиснути на виріб із занадто великою силою, оскільки, в іншому випадку, колесо починає притискатися до об'єкта контролю і в розрахунках довжини необхідно враховувати діаметр контрольованого об'єкта. Пневматикою керує пневмоблок 5. Виробленням імпульсів при обороті мірного колеса займається реверсивний енкодер 6. Реверсивний означає, що він може вести вимірювання при русі об'єкта в обидві сторони. Також варто враховувати, що метражний пристрій та лічильник гальванічно розв'язані. Це зроблено для того, щоб збільшити завадозахищеність у проводах, що з'єднують лічильник з вимірювальною частиною, оскільки з'єднувальні проводи часто бувають дуже великою довжиною і вплив зовнішніх факторів, таких як зовнішні електромагнітні поля, дуже великий.

Основним елементом лічильника є мікроконтролер 8, що є обчислювальним мозком усієї конструкції. На ньому здійснюється перерахунок імпульсів, що надходять від енкодера, у довжину відповідно до формул 1.1 і 1.3. До складу мікроконтролера, крім іншого, включено таймер, що вимірює час. З мікроконтролером у парі додатково працює блок EEPROM пам'яті 9. Він призначений для попереднього введення деяких значень, відповідно до яких здійснюється контроль об'єкта. Далі розраховані значення довжини та швидкості руху протяжного виробу надходять на блоки вихідних даних: індикатор загальної довжини 10, на якому показується поточна довжина об'єкта, що вимірюється; індикатор довжини бухти 11, де показується значення довжини намотаного на бухту кабелю (бухта – кабель,

згорнутий колами і намотаний на котушку); індикатор швидкості 12, на якому вказується швидкість кабелю, що простягається; індикатор настановного значення бухти 13, на якому показується заздалегідь введене значення, відповідно до якого відбувається намотування кабелю на бухту і не більше; у сучасних вимірниках є виходи цифрових інтерфейсів 15, що дозволяють виводити всю інформацію на комп'ютери і дозволяють через них змінювати настановні дані. Управління всіма процесами здійснюється через блок автоматики 14.

Як конкретний приклад лічильника можна навести СДУ-1 (рис. 1.5).



Рис. 1.5 – Лічильник СДУ-1

Працюючи у складі вимірювача довжини кабелю, виконує такі основні функції:

- живлення імпульсного датчика (енкодера) метражного пристрою постійною напругою +12 В;
- прямий та зворотний рахунок «загальної довжини» виробу, що проходить через метражний пристрій;
- прямий та зворотний рахунок поточної довжини виробу, що проходить через метражний пристрій;
- відображення на окремому незалежному індикаторі швидкості руху вимірюваного виробу [4].

Такий лічильник знайшов своє застосування на всіх електромеханічних

вимірниках виробництва компанії «Редвілл».

Прикладом електромеханічного вимірювача на основі мірного колеса є прилад ІДМ-20 (рис. 1.6).



Рис. 1.6 – Вимірювальна установка ІДМ-20

Вимірювач довжини ІДМ-20 призначений для вимірювання довгомірних матеріалів (кабель, дріт, трос, канат тощо) діаметром від 3 до 20 мм і може використовуватися як самостійний засіб вимірювання, так і у складі пристроїв для перемотування кабельно-провідникової продукції. Встановлюється як на ручні верстати для перемотування кабелю, так і верстати з приводом [7].

Основні технічні характеристики вимірювача ІДМ-20 представлені в таблиці 1.1.

До складу лічильника ІДМ-20 входить таймер, що дає змогу рахувати час проходження кабелю через вимірювач. У свою чергу, пройдена довжина ділиться в лічильнику на час проходження і, відповідно до малюнку 5, середня швидкість руху виробу, що контролюється, показується на індикаторі швидкості 13.

Даний метод вимірювання, крім уже згадуваних недоліків – зменшення точності через знос роликів та прослизання (просковзування та значні вібрації не дозволяють вимірювати швидкості понад 15 м/с) – не може

похвалитися універсальністю свого застосування: важливо враховувати обмеження застосування для певних умов контролю та видів об'єктів контролю, наприклад, гарячий прокат, пов'язаний з високими температурами навколишнього середовища, та виробництво оптоволоконних кабелів через їх крихкість. Додатково до недоліків методу відносяться різке зниження точності виміру нерівних виробів; можлива деформація об'єкта, що контролюється, в процесі контролю; значна помилка вимірювання, зумовлена вигином (відповідно та деформацією) вимірюваного виробу в місці контакту з колесом.

Таблиця 1.1 – Технічні характеристики вимірювача ІДМ-20

Діапазон вимірювання довжини при рахунку довжини в прямому напрямку лічильником ЗАГАЛЬНИЙ, м	0 – 10 000
Діапазон вимірювання довжини при рахунку довжини в прямому напрямку лічильником БУХТА, м	0 – 10 000
Допустимий діаметр вимірюваного кабелю, мм	3 – 20
Дозвіл, м	0,001 м
Максимальна швидкість кабелю, м/хв.	400 м/хв.
Максимальна основна похибка виміру довжини, %	1
Максимальна основна похибка вимірювання швидкості, %	5
Потужність, не більше	5
Габарити метражного пристрою, д×в×г, трохи більше	202×130×14 8
Габарити лічильника, д×в×г, не більше	120×94×57
Маса установки, не більше, кг	4

1.3.3. Електромеханічні ремінні вимірювачі

Для нівелювання більшості недоліків стандартних електромеханічних вимірювачів довжини та швидкості руху протяжних виробів застосовуються електромеханічні ремінні вимірювачі. Вони також у своїй основі використовують мірне колесо та притискні ролики, але тільки вимірювальні ролики об'єднані ременем (такі вимірники ще називають гусеничними).

Використання ремінної передачі в електромеханічних вимірниках характеризується такими позитивними сторонами:

- відсутність прослизання виробу (об'єкт контролю притискається не до ролика безпосередньо, а до ременя, причому, за більшою площею ременя по відношенню до площі зіткнення у мірного колеса);
- відсутність помилки виміру нерівних поверхонь;
- точність вимірювання не залежить від ступеня зносу ременів (на відміну від стандартних вимірювачів на основі мірного колеса в ремінних вимірниках зносу піддаються тільки ремені, а не вимірювальні ролики, але внесок ступеня зносу ременя в точність вимірювань через його малу товщину є незначним);
- відсутність деформації виробу, що вимірюється (за рахунок більш щільного притискання виробу до ременя відбувається рівномірний розподіл навантаження вимірювальної частини на об'єкт);
- відсутність похибки, пов'язаної з вигином виробу.

Компанія «Елеконт» також займається розробкою ремінних електромеханічних вимірювачів. Прикладом служить вимірювач ІД-50 (рис. 1.7)



Рис. 1.7 – Вимірювальна установка ІД-50

Основні технічні характеристики вимірювача ІД-50 представлені в таблиці 1.2:

Таблиця 1.2 – Технічні характеристики вимірювача ІД-50

Діапазон вимірювання довжини при рахунку довжини в прямому напрямку лічильником загальний, м	0 – 100 000
Діапазон вимірювання довжини при рахунку довжини в прямому напрямку лічильником БУХТА, м	0 – 10 000
Допустимий діаметр вимірюваного кабелю, мм	3 – 50
Дозвіл, м	0.0005
Максимальна швидкість кабелю, м/хв.	250
Максимальна основна похибка виміру довжини, %	0,2
Максимальна основна похибка вимірювання швидкості, %	2
Наявність цифрового інтерфейсу	RS-485
Потужність, не більше	15
Габарити метражного пристрою, д×в×г, трохи більше	570×440×47 0

Маса метражного пристрою, не більше, кг	40
Габарити лічильника, д×в×г, не більше	350×200×160
Маса установки, не більше, кг	2,5

Як можна побачити, ремінна установка ІД-50 не поступається за технічними характеристиками установки ІДМ-20, яка використовує тільки мірне колесо при вимірі. При цьому ІД-50 позбавлена таких недоліків, які властиві

ІДМ-20, що робить його більш привабливим для вимірювання довжини та швидкості.

1.3.4. Електромеханічні вимірювачі виробів, що обертаються

Електромеханічні вимірювачі можуть бути призначені для вимірювання виробів, що обертаються. Як приклад таких вимірювачів виступає ІД-30Р (рис. 1.8).



Рис. 1.8 – Вимірювальна установка ІД-30Р

ІД-30Р є пристроєм механічного типу. Складається з вимірювальних роликів, що кінематично пов'язані між собою і мають прямий контакт із кабельним виробом. Тиск роликів на кабельний виріб, що вимірюється, регулюється пневматикою, що дозволяє забезпечити надійне зчеплення вимірювальних роликів з кабельним виробом. За рахунок застосування в конструкції поперечних роликів система дозволяти продукту вільно прокручуватися в поздовжній осі. Вбудоване програмне забезпечення дозволяє автоматично коригувати результат вимірювання з урахуванням діаметра кабельного виробу. Діаметр виробу вводиться оператором. Додатково до складу системи може бути включений безконтактний вимірювач діаметра, що зробить процес виміру довжини повністю автоматичним. Метражний пристрій має можливість встановлення другого енкодера [6].

Таблиця 1.3 – Технічні характеристики вимірювача ІД-30Р

Діапазон вимірювання довжини при рахунку довжини в прямому напрямку лічильником ЗАГАЛЬНИЙ, м	0 – 100 000
Діапазон вимірювання довжини при рахунку довжини в прямому напрямку лічильником БУХТА, м	0 – 10 000
Допустимий діаметр вимірюваного кабелю, мм	5 – 30
Дозвіл, м	0,1
Максимальна швидкість кабелю, м/хв.	100
Максимальна основна похибка виміру довжини, %	0,5
Максимальна основна похибка вимірювання швидкості, %	2
Наявність цифрового інтерфейсу	RS-485
Потужність, не більше	15

Габарити метражного пристрою, д×в×г, трохи більше	370×320×240
Маса метражного пристрою, не більше, кг	15
Габарити лічильника, д×в×г, не більше	350×200×160
Маса установки, не більше, кг	2,5

1.3.5. Безконтактні методи виміру

Особливою популярністю серед різних методів виміру займають безконтактні. Їхня потреба пояснюється додатковими можливостями при вимірюваннях у тих випадках, коли немає можливості з якоїсь причини використовувати контактні методи. До виробництв, де застосування безконтактних методів є необхідним, належать, наприклад, виробництва оптоволоконних кабелів: занадто висока крихкість продукції не дозволяє використовувати електромеханічні вимірювачі; виробництва арматурних виробів, канатів зі сталі, сталевих прокатів: при контролі таких виробів запасу міцності мірних коліс недостатньо, внаслідок чого вони не витримують навантажень і швидко стають непридатними. Ще одним вагомим доказом віддати перевагу безконтактним вимірювачам є відсутність обмежень у швидкості руху контролюваного виробу: при швидкості руху понад 1000 м/хв на результат вимірювання сильний вплив починає надавати інерційність електромеханічного вимірювача.

Приладам, що належать до видів вимірювання, що розглядаються, притаманні й деякі недоліки (порівняно з електромеханічними методами вимірювання): висока дорожнеча, відносно висока складність, мають меншу надійність.

Фото імпульсний метод вимірювання

Фото імпульсні вимірювальні пристрої поділяються на різні категорії в залежності від умов вимірювань та роду інформації, що отримується. В основному вимірювачі діляться на три групи:

- вимірювання часу проходження датчика об'єктом вимірювання із середньою швидкістю руху;
- прямий рахунок імпульсів;
- з використання систем розгортання.

Схема вимірювача довжини від часу проходження датчика об'єктом вимірювання представлена на рис. 1.9, а.

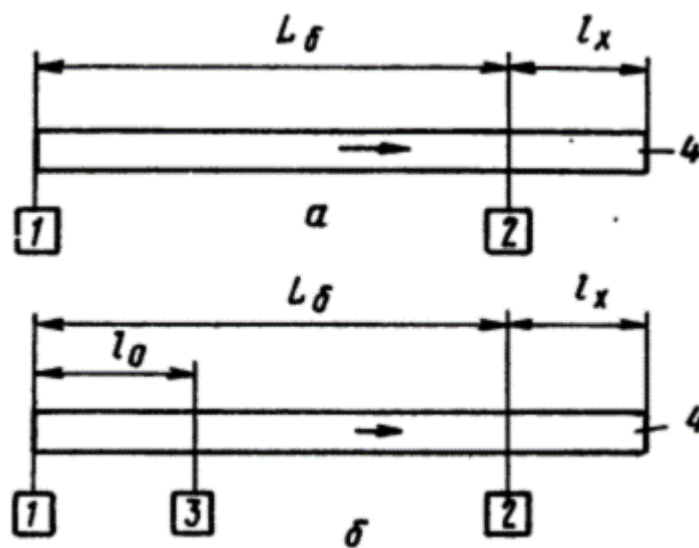


Рис. 1.9 – Схема розташування фотодатчиків при вимірюванні довжини фото імпульсним методом: а – без урахування швидкості; б – з урахуванням швидкості; 1-3 – фотодатчик; 4 – об'єкт

На рис. 1.9 а на об'єкті контролю 4 відмічено ділянку довжини L_{δ} . Ця відстань вибирається в якості мінімальної, яка може бути виміряно, і приймається за мінімальний розмір об'єкта, що вимірюється. Вимір відбувається за допомогою фотодатчиків 1 і 2, розташованих на кінцях

ділянки довжини ? Якщо крім мінімальної довжини є ще ділянка l_x , то за довжину всього об'єкта приймається сума цих двох довжин. При цьому виникає додаткове завдання – необхідність вимірювати довжину l_x . Довжина l_x прямо пропорційна швидкості руху виробу v і часу t_x , що дорівнює часу проходження контрольованою ділянкою від фотодатчика 2 до фотодатчика 1:

$$l_x = vt_x, \quad (1.4)$$

Вираз 4 має місце за умови, що швидкість руху об'єкта контролю постійна. Таким чином, час t_x може бути мірою відрізка об'єкта l_x [7].

Головним фактором, що ускладнює при використанні розглянутої ранньої схеми - мінливість швидкості руху. Для вирішення цієї проблеми слід використовувати схему, що дозволяє додатково вимірювати швидкість (рис. 1.19, б). Згідно з новою схемою, додається додатковий датчик 3, розташований на шляху руху виробу. При цьому новий датчик, як правило, розташовується на відстані від фотодатчика l_0 1. Дуже важливо в такому випадку враховувати час подолання шляху l_0 . З урахуванням вищевикладених факторів довжина виробу може бути визначена таким чином:\

$$l_x = vt_x = \frac{l_0 t_x}{t_y}, \quad (1.5)$$

де t_y – час подолання шляху l_0 .

Цей метод не користується великою популярністю, оскільки помилка, що вноситься постійною зміною швидкості, особливо довгомірних об'єктів, є надто значною.

Іншим фото імпульсним методом є метод прямого рахунку імпульсів.

Суть методу полягає у реєстрації імпульсів, що відповідають певній довжині, вимірювальним пристроєм при проходженні об'єкта повз фотодатчики. Найпростіша схема показана на рис. 1.10, а.

Робота схеми влаштована наступним чином: кожен фотодатчик послідовно виробляє імпульси у міру влучення в зону їхньої дії контрольованого об'єкта в процесі свого руху. Кожному імпульсу відповідає певна відстань L . Усі імпульси надходять у лічильник 8, де вони підсумовуються. За рахунок цього довжина об'єкта визначається так:

$$l_x = L(n - 1), \quad (1.6)$$

де n – кількість засвічених фотоелементів.

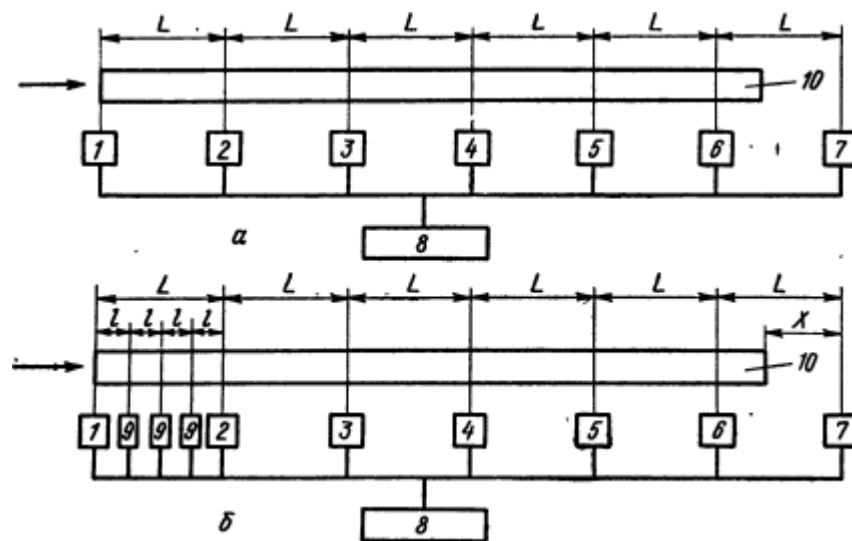


Рис. 1.10 – Схема вимірювання прямого рахунку імпульсів: а — за принципом грубого відліку; б - за принципом грубого та точного відліку; 1...7 – фотодатчики грубого відліку; 8 - лічильник; 9 – фотодатчики точного відліку; 10 – об'єкт контролю

Вироблення імпульсів припиняється відразу, як тільки кінець край

об'єкта перерахунок фотодатчик 1.

Найважливішим параметром, що впливає на точність вимірів, є крок встановлення датчиків L . Невелика кількість датчиків сильно зменшує точність контролю, тоді як зростання їх числа точність збільшує, але точність зростає разом із вартістю контролю. Для збереження балансу вартості та точності застосовують схему змішаного контролю: з використанням грубого та точного відліків (рис. 1.10, б). Дана схема передбачає відлік по обидва кінці об'єкта контролю.

За такою схемою, поки задній кінець зразка знаходиться в зоні дії фотодатчика 1 і використовується для точного відліку, передній кінець застосовується для проведення грубого відліку. При цьому точний відлік триває до тих пір, поки задній кінець не вийде із зони фотодатчика 1 і не потрапить під дію наступного датчика, що робить грубий відлік (рисунок 11, фотодатчик 2).

Довжина дорівнюватиме:

$$l_n = L(n-1) + (L - l_m), \quad (1.7)$$

Ще одним методом фото імпульсних вимірів є **метод розгортаючих систем**. В даний час переважно застосовуються вимірювачі з електричними системами.

Зручність та гнучкість вимірів за схемою, представленою на рис. 1.11 забезпечується багато в чому за рахунок використання дзеркал 5. Конструктивно дзеркала у вимірнику виконані так, щоб вони знаходилися перпендикулярно один до одного. На проти дзеркал розташовується камера 3, у площині розгортки якої здійснюється суміщення зображення зразка і градуйованої шкали 6, розташованої паралельно оптичної осі камери. Поєднання зображення зразка та шкали здійснюється шляхом вирівнювання положень дзеркал та системи лінз 4. За допомогою такого

методу може проводитися вимірювання з іншого кінця об'єкта: це досягається шляхом зміни кута повороту дзеркал, що призводить до зміщення градуювання шкали та поєднання її початку з іншим кінцем .

За допомогою систем розгортання можливий вимір довжини об'єктів в межах від 3.65 до 11 м/с похибкою ± 3 мм.

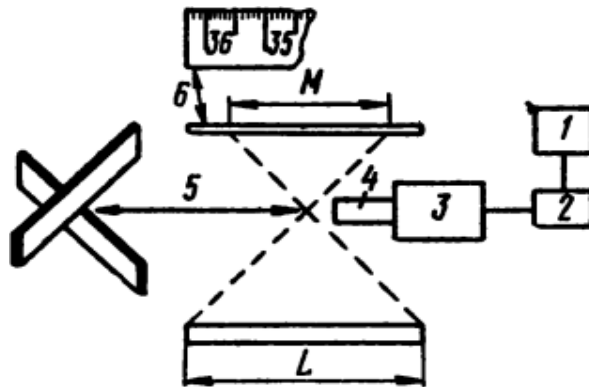


Рис. 1.11 – Блок-схема вимірювача шляхом розгортаючих систем: 1 – контрольний прилад; 2 – джерело живлення; 3 – телевізійна камера; 4 — система лінз; 5 – дзеркала, що схрещуються; 6 – шкала

Серед фото імпульсних вимірювачів найбільшою популярністю користуються прилади на основі прямого лічби імпульсів. Прикладом такого приладу є вимірювач ІДТ-1 (рис. .1.12).



Рис. 1.12 – Прилад ІДТ-1

Прилад застосовується при високоточному вимірі довжини труб круглого перерізу, що рухаються рольгангом. У плані технічної реалізації є основою з оптоелектронних датчиків та мікропроцесорної техніки, що забезпечують високу точність вимірювань [8].

Таблиця 1.4 – Технічні характеристики вимірювача ІДТ-1

Діапазон вимірювання довжини, м	5 – 13
Швидкість руху труб, м/с	0,2. – 2
Максимальна основна похибка виміру довжини, %	0,2
Потужність, не більше, Вт	350
Вихід на ПЕОМ та табло	RS485
Час реакції датчика, мкс	100
Число окремо стоять датчиків грубого відліку, шт.	9
Відстань між осями датчиків грубого відліку, м	$1 \pm 0,1$
Число датчиків точного відліку у вимірювальній лінійці, шт.	13
Відстань між осями датчиків точного відліку, мм	$100 \pm 0,1$

Метод міток

Принцип роботи вимірювачів методом міток мало чим відрізняється від вимірювачів із прямим рахунком імпульсів. Застосовують переважно теплові, оптичні та магнітні мітки. Основа вимірювання полягає в обладнанні кожною міткою власною ціною довжини та зчитуванні реєструючим пристроєм міток при їх проходженні.

Принцип роботи вимірювача згідно зі схемою (рис. 1.13) полягає в наступному: у процесі проходження контрольованого об'єкта через вимірник його передній край потрапляє спочатку в зону дії фотодатчика 1. У цей момент за допомогою записуючого приладу подається команда про

нанесення мітки на виріб. на приймальному пристрої 4 нанесена мітка зчитується та приймається рішення про нанесення нової мітки.

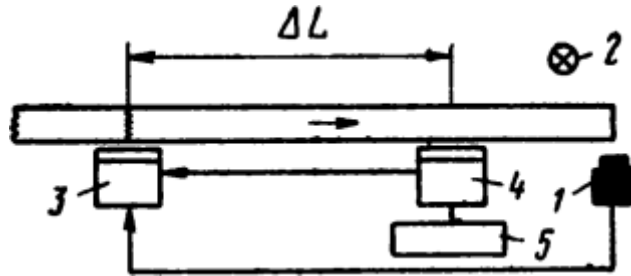


Рис. 1.13 – Блок-схема вимірювача методом міток:

1 – фотодатчик; 2 – освітлювач; 3 – головка записуючого приладу;
4 – приймач; 5 – лічильник імпульсів

Шлях, пройдений об'єктом, визначається за такою формулою:

$$L = \Delta L n, \quad (1.8)$$

де n – число міток; ΔL – відстань між головкою, що записує, і приймачем.

Даний метод вимірювання добре зарекомендував себе при вимірюваннях особливо довгих виробів. Додатковою перевагою є ще й те, що швидкість практично не впливає на точність вимірів.

Як мітковий вимірювача застосовують датчик ІСПР-1 (рис. 1.14)

Датчик призначений для точного вимірювання швидкості об'єктів на мірній ділянці під час проведення краш - тестів, а також для абсолютного калібрування будь-яких інших датчиків швидкості та стендів – еталонів швидкості. Вимірювання засноване на реєстрації оптичних міток, розташованих на об'єкті, що контролюється [9].



Рис. 1.14 – Прилад ІСПР-1

Таблиця 1.5 – Технічні характеристики вимірювача ІСПР-1

Діапазон вимірювання швидкостей, км/год.	0,1 – 100
Точність вимірювання швидкості, %	0,02 – 0,04
Діапазон відстаней до об'єкта, м	1 – 25
Маса вимірювальної системи, кг	1,4

Непрямі методи вимірів

Основним інформативним параметром установок, що застосовують непрямі виміри, є швидкість.

$$L = \int_0^t V(t)dt, \quad (1.9)$$

де L – довжина об'єкта; V – швидкість об'єкта; t – час вимірювання.

Непрямі методи вимірювання представлені растровим, кореляційним

та доплерівським методами вимірювання.

Растровий метод

Конструкція більшості растрових вимірювачів відповідає схемі на рис.1.15.

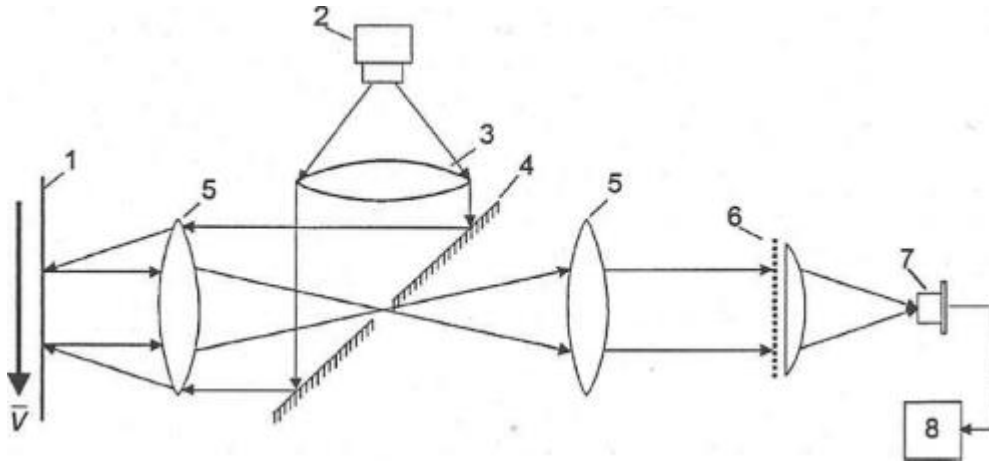


Рис. 1.15 – Схема оптичного растрового вимірювача швидкості:

- 1 – об'єкт, що контролюється; 2 – випромінювач; 3 – конденсор;
 4 – дзеркало; 5 – лінзи; 6 – растровий аналізатор; 7 – фотоприймач;
 8 – вимірювач частоти

Здебільшого растрові вимірювачі мають наступний принцип роботи: випромінювання, генероване випромінювачем 2, проходячи через систему лінз і дзеркал 4 і 5, фокусується на об'єкті контролю 1. Далі, розсіяне нерівностями контрольованої поверхні випромінювання фокусується на растровим аналізаторі 6. аналізатора сигнал надходить на фотоприймач 7, після чого він приймається вимірювачем частоти. Після вимірювача частоти відбувається обчислення значень довжини та швидкості на обчислювальному пристрої.

Вихідна частота оптичної системи пов'язана зі швидкістю руху виробу наступним співвідношенням:

$$f = \frac{M v}{d}, \quad (1.10)$$

де d - крок растрового аналізатора; M – масштаб оптичної системи.

Як правило, у растрових вимірниках використовується афокальна система з теле центричним перебігом променів. У вимірювачах, що використовують оптику, для збереження точності вимірювань необхідно підтримувати розмір зображення контрольованого виробу незалежним. Але це досить важке завдання, тому що на це впливає велика кількість факторів, основною з яких є робоча відстань від вимірювача до об'єкта. Застосування афокальної системи забезпечує незалежність розміру зображення об'єкта, що вимірюється, від зміни робочої відстані. Іншими факторами, що впливають на якість вимірювань, є аберація та труднощі налаштування оптичної системи. Для мінімізації цих труднощів застосовується теле центричний перебіг променів.

Серед растрових вимірювачів популярністю користуються вимірники ІСД-3 (рис. 1.16).

Прилад застосовується для високоточного та безконтактного вимірювання швидкості та пройденого шляху транспортним засобом, а також для вимірювання швидкості та довжини матеріалів, що рухаються щодо приладу [10].



Рис. 1 16 – Прилад ІСД-3

Таблиця 1.6 – Технічні характеристики вимірювача ІСД-3

Діапазон вимірювання швидкості, км/год	0,5 – 250
Максимальна основна похибка вимірювання швидкості, %	0,2
Точність виміру довжини, %	0,5
Частота вимірів, Гц	35,5
Напруги живлення, В	12
Потужність, Вт	19,5
Маса вимірювальної системи, г	760

Кореляційний метод

Кореляційний метод вимірювання швидкості заснований на реєстрації тимчасової затримки між відбитими одними і тими самими точками поверхні сигналами.

Кореляційні вимірювачі мають вбудовану оптичну систему, яка займається відображенням на контрольованій поверхні світлових штрихів, причому їх осі повинні бути перпендикулярні осі руху об'єкта. Оптична система повинна бути налагоджена таким чином, щоб відстань між проєктованими штрихами залишалася постійно однаковою. Ця відстань дорівнює l . Кожен штрих має певну яскравість (саме яскравість реєструється фотоприймачами), яка змінюється через наявність неоднорідностей на поверхні об'єкта. Після засвічення об'єкта приймальна оптична система передає зображення штрихів на фотоелементи. Інтенсивність сигналів, що виробляються фотоелементами, безпосередньо залежить від яскравості штрихів. За рахунок того, що кожен наступний штрих зміщений по відношенню до попереднього (наприклад, другий щодо першого), сигнал від першого штриха $f_1(t)$ збігається з сигналом від

другого $f_2(t - \tau)$ з деякою тимчасовою затримкою Величина τ пов'язана зі швидкістю руху наступним чином:

$$\tau = \frac{l}{v}, \quad (1.11)$$

де τ - час запізнення; l – відстань між штрихами; v – швидкість руху об'єкта.

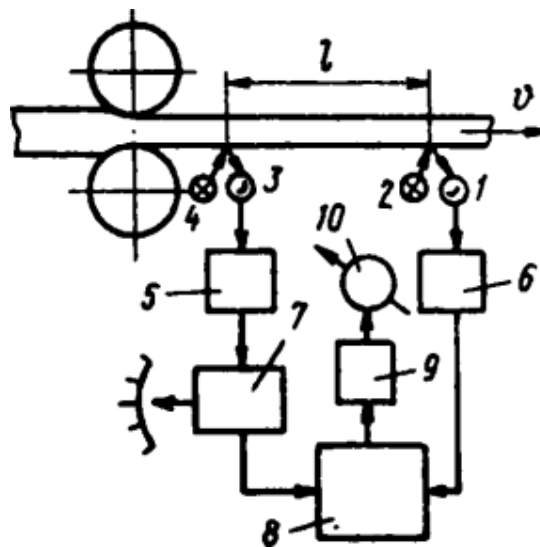


Рис. 1.17 – Блок-схема кореляційного вимірювача швидкості: 1, 3 – фотоеlementи; 2, 4 – освітлювачі; 5, 6 – підсилювачі; 7 – блок регульованого запізнення (БРЗ); 8 – розмножувальний пристрій; 9 – фільтр, що згладжує; 10 – індикатор

Якщо відстань між штрихами вдається підтримувати постійним, знаючи час запізнення, можна визначити швидкість контролюваного виробу. Через поперечні зсуви смуги руху об'єкта, відмінності в характеристиках елементів каналів вимірювання сигнали не ідентичні, хоча й близькі за формою [11].

Вимірювання величини часу запізнення τ відбувається за допомогою блоку запізнювання, що регулюється (БРЗ). Цей блок включається до складу

вимірювального каналу першого сигналу. У більшості випадків БРЗ може бути виконаний у вигляді магнітної стрічки або магнітного барабана з рухомою головкою зчитування, що встановлюється за допомогою ходового гвинта. Головка, що зчитує, призначена для випадків, коли необхідно відрегулювати час регульованого запізнення $\tau_{РЗ}$. Зміна $\tau_{РЗ}$ впливає на вихідний сигнал, тому, з урахуванням перемноження сигналів з фотоелементів у множнику, вихідний сигнал, що подається у вигляді добутку двох сигналів, набуде наступного вигляду: $f_1(t) - f_1(t - \tau_{РЗ})$ і $f_2(t) - f_1(t - \tau)$. З попередніх двох виразів випливає, що вихідний сигнал буде найбільшим у випадку, коли $\tau_{РЗ} = \tau$. Для отримання такої умови достатньо змінювати величину запізнення, після чого проводиться визначення швидкості руху об'єкта, що контролюється.

Прикладом кореляційних вимірювачів швидкості є вимірювач «Інкомет» (рис. 1.18)

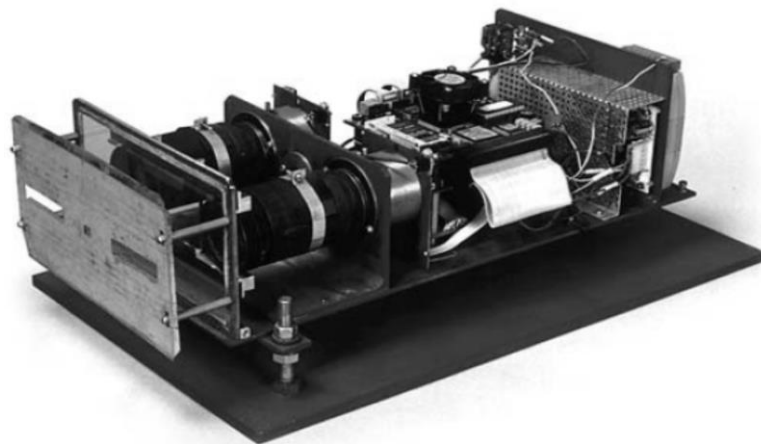


Рис. 1.18 – Прилад «Інкомет»

"Інокмет" дозволяє з досить високою точністю визначати величину швидкості рухомих контрольованих поверхонь. Принцип роботи полягає в наступному: об'єкти фокусує зображення на поверхні, яке фіксується оптичним датчиком з певною частотою, потім набір послідовно отриманих кадрів

Таблиця 1. 7 – Технічні характеристики вимірювача «Інкомет»

Максимальна основна похибка вимірювання швидкості, %	0,5
Частота зміни кадру, кадри/с	2000 – 6469

Додатковими перевагами є відносна простота конструкції такого типу вимірювачів; невисока залежність точності вимірювання від відстані між вимірювачем та контрольованою поверхнею.

1.4. Метод на основі ефекту Доплера

В основі роботи доплерівських вимірників закладено ефект Доплера. Ефект Доплера полягає в реєстрації зміни частоти світлової хвилі в процесі руху джерела світла та приймача. Зміна частоти світлової хвилі, або, можна сказати, лазера відбувається в результаті його розсіювання оптичними неоднорідностями об'єкта, що рухається.

Вимірники на основі ефекту Доплера ще називають лазерними доплерівськими вимірниками (ЛДВ).

Загальна схема ЛДВ (рис. 1.19) включає, як правило, лазер; для передачі та прийому світлового випромінювання застосовується система з оптичних пристроїв; фото приймальна система; обробний пристрій для виділення та аналізу доплерівського сигналу.

У джерелі випромінювання 1 формується випромінювання зі спектром потужності $S_1(\nu_0)$, після чого відбувається його розщеплення на розщеплювачі 7 і надходження частини розділеного пучка в передавальний оптичний тракт 2. З тракту вже подається випромінювання зі спектром потужності $S_2(\nu_0)$, що надходить на вимірюваний об'єкт 3 і . На об'єкті, що вимірюється, відбувається розсіювання пучка. Через амплітудну, фазову і частотну модуляцію середовища розсіяний пучок у загальному випадку

змінить значення свого спектра потужності на $S_3(v_0 + v_D)$.

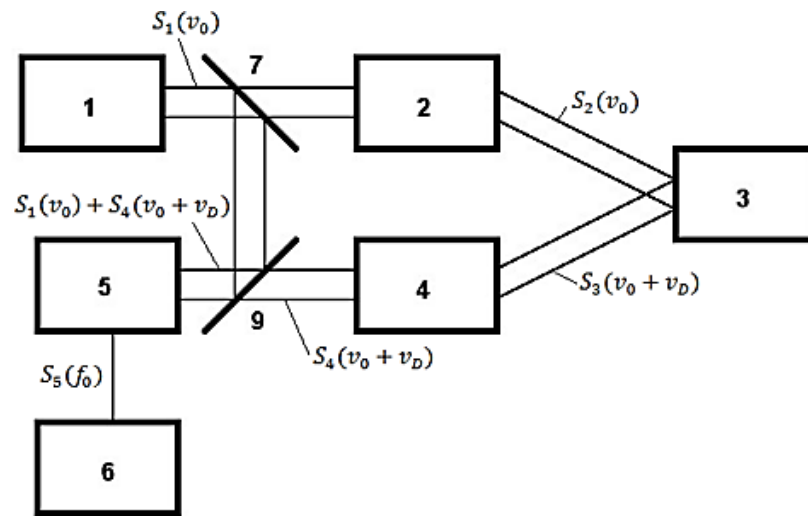


Рис. 1.19 – Блок-схема ЛДВ: 1 – джерело випромінювання – лазер;
2 – оптичний тракт, що передає; 3 – досліджуваний об'єкт; 4 –
приймальний оптичний тракт; 5 – блок виділення доплерівського зсуву
частоти; 6 – блок обробки інформації; 7,9 – розщеплювачі пучка.

Розсіяний пучок фіксується приємним оптичним трактом 4, і на його виході утворюється випромінювання потужністю $S_4(v_0 + v_D)$ (лише частина розсіяної об'єктом потужності). Потім пучок знову розщеплюється на розщеплювачі 9 і новий пучок разом з розділеним на початку надходять на блок виділення доплерівського сигналу 5, в якому формується випромінювання зі спектром потужності $S_1(v_0) + S_4(v_0 + v_D)$. Після блоку виділення доплерівського зсуву частот 5 на виході утворюється електричний сигнал певної частоти $S_5(f_0)$ [13]. Частота сигналу, що утворюється, пропорційна швидкості руху контрольованого об'єкта і дорівнює:

$$f_0 = \frac{V}{d} = \frac{2V \sin(Q/2)}{\lambda}, \quad (1.12)$$

де f_0 - частота вихідного електричного сигналу; V – швидкість об'єкта; Q – кут між лазерними променями; λ – довжина хвилі лазера; d – період інтерференційної картини.

Таким чином, знаючи вихідну частоту можна знайти швидкість. Довжина виробу визначається шляхом її інтегрування:

$$L = \int_0^t V(t) dt, \quad (1.13)$$

де t – час вимірювання.

У ЛДВ можуть застосовуватися різні лазери залежно від особливостей умов роботи вимірювача, необхідної потужності випромінювання, діапазону довжин хвиль і різновиду випромінювання. Особливо важливий показник потужності, оскільки від нього залежить відстань роботи вимірювальної системи.

Допплерівським вимірником є вимірювач ІСД-5 (рис. 1. 20).



Рис. 1.20 – Датчик ІСД-5

Датчик довжини та пройденого шляху ІСД-5 призначений для безконтактного вимірювання в металургійній, кабельній, хімічній, целюлозно-паперовій, текстильній та деревообробній промисловості в автоматизованих системах управління, розкрою та обліку.

При встановленні сенсора на рухомому об'єкті він здатний вимірювати швидкість і пройдений шлях. Також він здатний вимірювати швидкості та лінійні розміри транспортних засобів, рухомих пристроїв, конструкцій, що проходять повз. [14].

Таблиця 1.8 – Технічні характеристики вимірювача ІСД-5

Діапазон вимірюваних швидкостей, м/с	0,01
Точність вимірюваної швидкості, %	0,15
Абсолютна точність вимірювання довжини, %	0,4
Частота вимірів, Гц	27 – 70
Номінальні відстані від оптики сенсора до поверхні, м	0,18; 0,3; 0,5; 0,75; 1,3
Потужність, Вт	5
Маса, г	320

1.5. Порівняння методів вимірювання довжини та швидкості

Для вимірювання довжини та швидкості можуть застосовуватись прилади на різних принципах роботи. Порівняти всі зразки між собою найзручніше у вигляді таблиці 1.9

Таблиця 1.9 – Порівняльна характеристика параметрів різних методів вимірювання

Критерій оцінки	Методи вимірювання					
	М _{ЕР}	М _Ф	М _М	М _Р	М _К	М _Д
Універсальність вимірювань	γ	γ	х	γ	γ	γ
Простота пристрою	γ	х	х	х	х	х
Зручність експлуатації	γ	γ	х	х	х	х
Енергоекономічність	γ	+	-	γ	-	γ
Надійність	γ	х	х	х	х	х
Невисока вартість	γ	х	х	х	х	х
Відносно висока точність вимірювання довжини	γ	γ	-	х	-	х
Можливість безконтактного виміру	х	γ	γ	γ	γ	γ
Незалежність від діаметра виробу	х	γ	γ	γ	γ	γ

У таблиці введено такі позначення: М_{ЕР} – метод електромеханічний ремінний; М_Ф – метод фото імпульсний; М_М – метод міток; М_Р – растровий метод; М_К – кореляційний метод; М_Д – доплерівський метод; γ – знак, що позначає відповідність критерію методу вимірювань; х – знак, що означає невідповідність критерію методу вимірів; - – відсутність даних.

Кожному методу властива універсальність вимірювань – кожен із них дозволяє вимірювати довжину та швидкість руху. З погляду простоти

пристрою найбільше виділяється ремінний вимірювач; на відміну від нього, всі інші мають високоточну і крихку оптику, а також високоточні системи розрахунку (особливо виділяється кореляційний вимірювач, де потрібно визначати відповідність зображень однієї і тієї ж ділянки контрольованої поверхні). З точки зору зручності експлуатації для ремінного та фото імпульсного вимірювачів, вони досить прості в роботі і не вимагають високого професіоналізму робітника; також вони прості у плані процесу проведення вимірювань. З погляду енергоекономічності ремінний електрофізичний прилад вимагає одне з найменших значень потужності живлення. Критерій надійності найбільше відповідає ремінному методу вимірювань за рахунок простоти його пристрою, чого не скажеш про інші методи. Також ремінний вимірювач, як і більшість електромеханічних, відрізняється дешевизною за рахунок простоти конструкції та експлуатації. Ремінний вимірник може бути цілком конкурентоспроможний з точки зору точності вимірювання довжини (перевищує багато методів). З іншого боку, ремінний вимірювач має деякі недоліки: відсутність можливості безконтактного вимірювання та залежність від діаметра об'єкта, що вимірюється: при занадто значенні діаметра для вимірювання необхідно використовувати більший ремінний вимірювач.

З урахуванням розглянутих переваг та недоліків різних методів вимірювання, а також поставленої науковим керівником задачі найбільш оптимально використовуватиме електромеханічний ремінний вимірювач (ІД-50). Простий в експлуатації, досить висока точність вимірювань, зручні для вимірювань зразки роблять використання такого вимірника доцільним у цій роботі.

2. РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ КОМП'ЮТЕРИЗОВАНОЇ ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ВИЗНАЧЕННЯ ДОВЖИНИ І ШВИДКОСТІ ПЕРЕМІЩЕННЯ ПРОМИСЛОВИХ ВИРОБІВ

2.1. Вибір методу вимірювання

Широко використовувані контактні методи на даний момент перестали відповідати сучасним вимогам щодо точності, швидкодії та надійності. На додаток до цього існують обмеження до номенклатури об'єктів, що контролюються, оскільки немає можливості вимірювати високотемпературні, деформовані, крихкі або клейкі матеріали.

Останню проблему вирішують безконтактні методи вимірювання, наприклад фото імпульсний метод або метод з використанням міток. Так як прилади не мають механічного контакту, немає похибок, викликаних проковзуванням, зносом вимірювальних коліс, брудом, що налипає. У той же час вони не вимагають такого ретельного профілактичного обслуговування. Однак останнім часом важливим параметром контролю поряд з довжиною об'єкта стає швидкість, яка у наведених вище методах усереднюється по довжині об'єкта. Можливість вимірювання не тільки середньої, але миттєвої швидкості мають непрямі методи вимірювання.

Прилади на основі кореляційного методу не знайшли широкого застосування та не випускаються серійно. Це зумовлено значними труднощами при реалізації обробки даних, що надходять, так як при змінній швидкості руху об'єктів, що контролюються, потрібно виконувати безперервний пошук екстремального значення авто кореляційної функції. Така операція можлива шляхом дискретної зміни інтервалу кореляції τ з кроком дискретизації $\Delta\tau \ll \tau$ та порівняння коефіцієнтів кореляції, обчислених при різних значеннях $\pm \Delta\tau$. У процесі контролю треба безперервно підлаштовувати інтервал кореляції за максимальним

коефіцієнтом кореляції, що практично призводить до значного збільшення обсягу обчислювальних операцій та обмеження точності кореляційних вимірювань [4].

Растровий метод найбільш доцільно застосовувати при невеликих вібраціях (до ± 15 мм), необхідної похибки (0.1...0.3 %) та відстанях до об'єкта 30...200 мм. Його застосування у виробництві при значних вібраціях об'єкта виміру утруднено [3].

Застосування методу на основі ефекту Допплера можливе за значних вібрацій об'єкта (до ± 100 мм). У цьому даний метод забезпечує підвищену точність (до 0,05...0.1 %) з можливістю дистанційних вимірах (200...2000 мм) [6].

2.1. Порівняльний аналіз доплерівських лазерних вимірювачів довжини

На даний момент розроблено різні конструкції лазерних доплерівських вимірювачів швидкості, їх головні виробники та основні параметри приладів представлені в таблиці 1 [8].

Таблиця 2.1 – Приклади реалізованих ЛДВ

Фірма	Похибка виміру довжини, %
POLYTEC GmbH	± 0.1
PROTON PRODUCTS Ltd	± 0.05
CANON	± 0.2
DANTEC	± 0.1

Всі вищенаведені прилади відрізняються високою точністю та швидкодією. Дані прилади не є критичними до типу поверхні, мають можливість вимірювання прокату, листової сталі, слябів, заготовок, труб, профілю, нитки, паперу, фольги, плівки, дроту, кабелю, стрічки, упаковки,

тканини, нетканих матеріалів, будівельних матеріалів та ін. Програмне забезпечення використовує перетворення Фур'є та кореляційний аналіз. Для легкого інтегрування в технологічну лінію підтримують різні інтерфейси, зокрема Ethernet, RS-232, RS-422, RS-485 імпульсний та аналоговий виходи. Прилади використовують лазерне випромінювання видимого діапазону для зручності монтажу та юстування. Усі пристрої дозволяють вимірювати у двох режимах: стандартному та пакетному. У стандартному режимі довжина вимірюється в межах вимірювача. У пакетному режимі можливе встановлення певної довжини пакета в межах діапазону вимірювань, при цьому відбуватиметься накопичення інформації про кількість виміряних пакетів.

Залежно від модифікації приладу різняться діапазон відстаней до об'єкта, що вимірюється, глибина діапазону вимірювання і максимальна швидкість об'єкта.

До відмінностей можна віднести те, що прилади фірми Proton підтримують продування повітрям, а Polytec також водяне охолодження для роботи в умовах гарячих цехів. Всі прилади крім фірм Canon мають вбудовану функцію автоматичного визначення наявності об'єкта в діапазоні вимірювання, а Polytec також визначення напрямку руху. Ця можливість зручна під час вимірювання довжини об'єкта. Також прилади фірми Polytec підтримують функцію автоматичної адаптації, що підлаштовує обробку сигналу відповідно до змін властивостей поверхні об'єкта, появою пари та пилу на шляху променя. На основі наведеного вище аналізу слід зробити висновок, що існуючі прилади не мають принципових відмінностей, крім деяких додаткових можливостей приладів Polytec і Proton, обумовлених специфікою їх використання в металургії.

2.3. Розробка структурної схеми детектора

У ході досліджень було обрано метод вимірювання швидкості та довжини протяжних об'єктів за допомогою лазерного доплерівського вимірювача швидкості. Даний метод має низку ключових переваг. Застосування методу на основі ефекту Доплера можливе за значних вібрацій об'єкта (до ± 100 мм). При цьому даний метод забезпечує підвищену точність (до 0,05...0,1%) з можливістю дистанційних вимірів (200...2000 мм). Так само метод не обмежується номенклатурою контрольованих об'єктів, оскільки контактні методи не мають можливості вимірювати високотемпературні, деформовані, крихкі або клейкі матеріали.

Відомо, що, коли перетинаються дві когерентні хвилі в заданій точці простору утворюється інтерференційна картина, що представляє собою світлі і темні смуги, що чергуються. Відстань Δs між ними залежить від кута φ та довжини хвилі λ :

$$\Delta s = \frac{\lambda}{2 \cdot \sin \varphi}, \quad (2.1)$$

Коли ділянка поверхні, що розсіює світло, рухається через інтерференційну картину, вона відбиває світло від кожної смужки. При цьому сигнал має модуляцію яскравості на доплерівській частоті f_D , помноживши яку на Δs можна отримати поточне значення швидкості поверхні v_p :

$$v_p = \Delta s \cdot f_D, \quad (2.2)$$

При математичному моделюванні використовуючи формули (2.1) та (2.2) було побудовано графік залежності доплерівської частоти від

швидкості руху об'єкта (рис. 2.1).

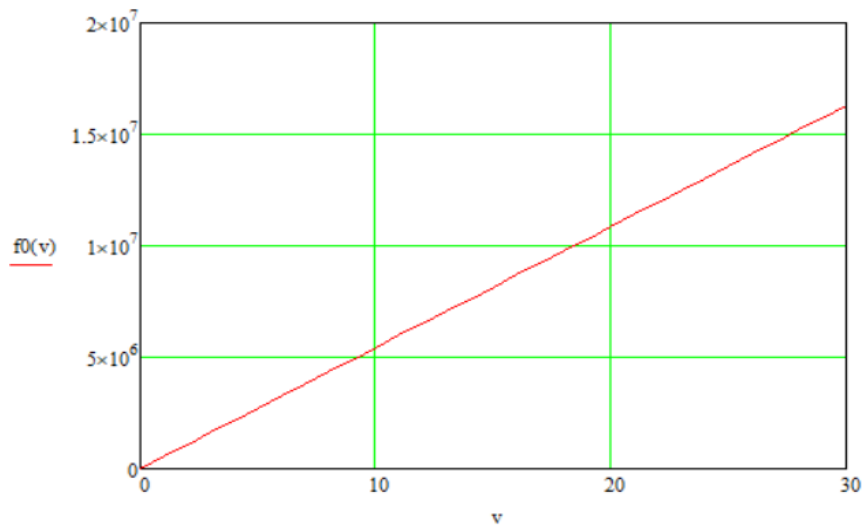


Рис.2.1 – Аналітична залежність доплерівської частоти від швидкості руху об'єкта

Так само спираючись на дані аналізу профільної літератури, було прийнято рішення про синтезування найпростішої структурної, а відтак і оптичної схеми. Найпростіша структурна схема лазерного доплерівського вимірювача (рис. 2.2) повинна мати в собі ряд ключових компонентів, таких як джерело когерентного оптичного випромінювання (в даному випадку напівпровідниковий лазер), призму-дільник оптичного випромінювання, дзеркала, лінзи, що збирають, фотоприймач (в даному випадку пристрій з високочастотним фотодіодом як чутливий елемент).

Однією з найважливіших частин цієї схеми є фотоприймач. Цей пристрій призначений для реєстрації оптичного випромінювання, відображеного від об'єкта контролю. При цьому реєструвати потрібно саме доплерівську частоту оптичного випромінювання, минаючи різноманітних перешкод і посилюючи слабкий сигнал, що надходить з контактів фотодіода.

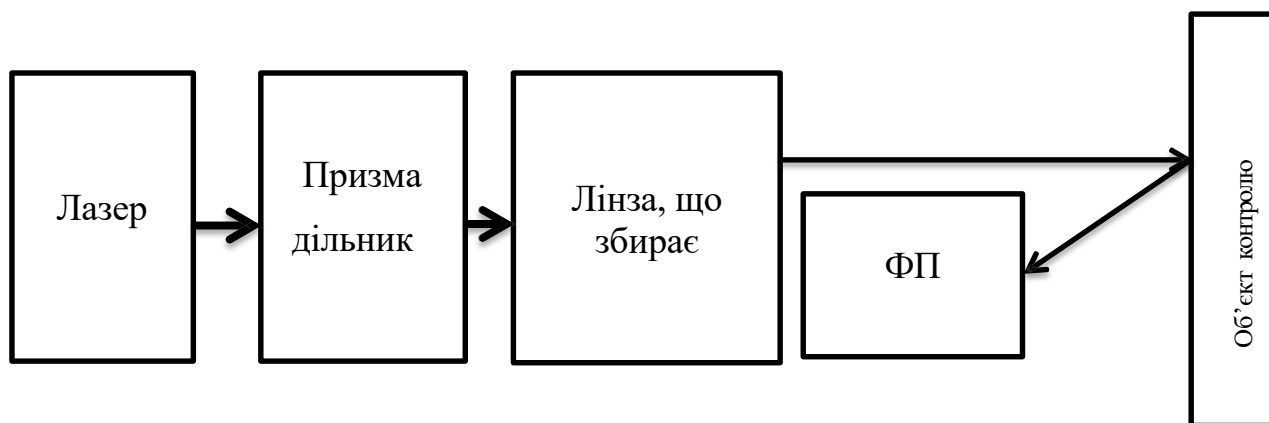


Рис. 2.2 – Структурна схема лазерного доплерівського вимірювача швидкості

Найпростіша структурна схема фотоприймача (рис. 2.3) повинна містити в собі чутливий елемент, підсилювач і фільтр вихідного сигналу та блок живлення (може використовуватися багатоканальне прецизійне джерело живлення одночасного використання як джерело опорної напруги схеми включення фотодіода).

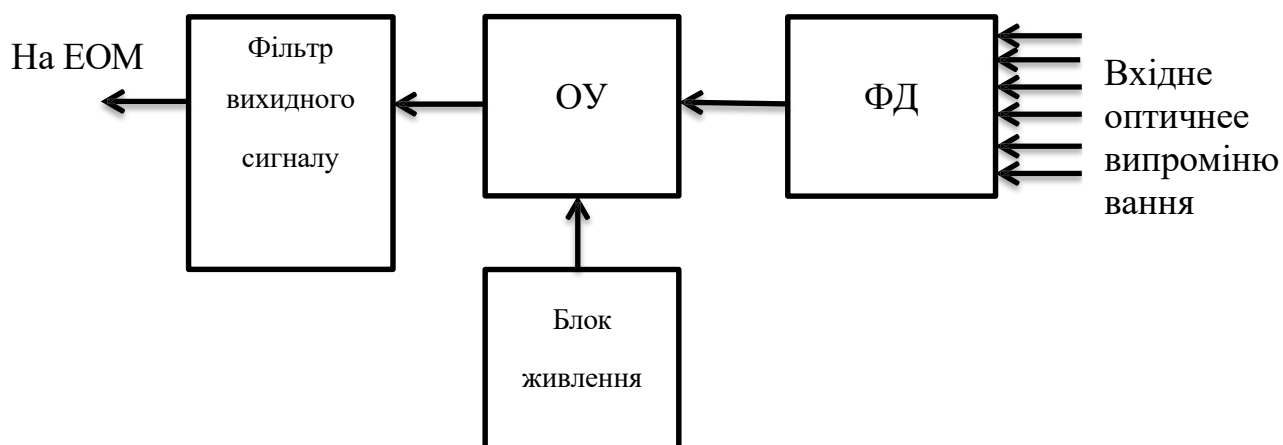


Рис. 2.3 – Структурна схема фотоприймача

На рис. 2.4 представлена структурна схема макету для дослідження роботи системи.

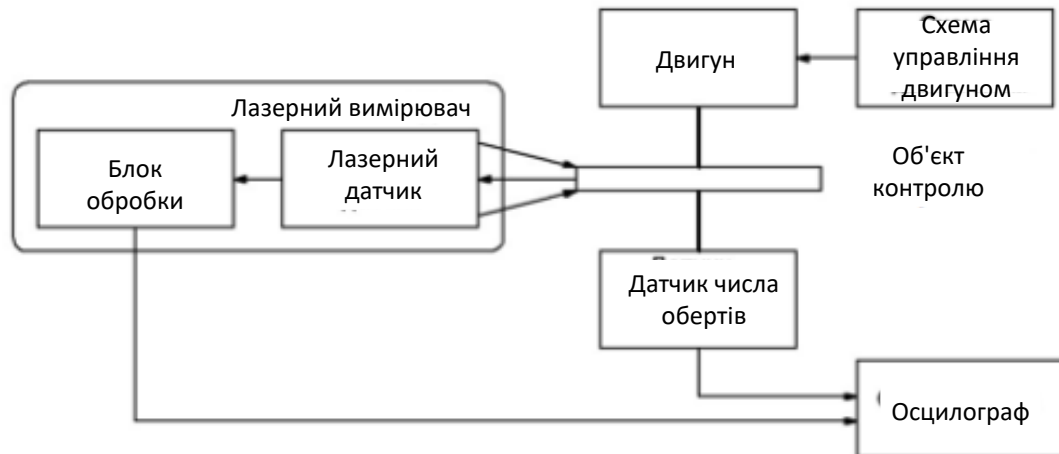


Рис. 2.4 – Структурна схема макету для дослідження роботи системи.

Колесо, що імітує безперервно рухомий об'єкт, обертається за допомогою двигуна, контрольованого схемою управління. Швидкість руху колеса реєструється лазерним датчиком і одночасно датчиком числа обертів, дані з яких після обробки направляються пристрій збору інформації.

Далі розглянуто основні елементи запропонованої структурної схеми.

2.4. Вибір компонентів електричної принципової схеми

Попередній підбір компонентів проводиться для найпростішого моделювання приладу, його роботи та прогнозування можливих труднощів та особливостей збирання. Мною проводився вибір ключових компонентів для первинного випробування працездатності схеми в цілому.

Основні компоненти ЛДВ можна розділити на чотири великі складові, такі як приймач оптичного випромінювання, джерело когерентного випромінювання (лазер), оптична та електрична схеми.

2.4.1. Вибір джерела оптичного випромінювання

Випромінювання лазера характеризується такими параметрами як:

- спрямованість;
- когерентність;
- монохроматичність;
- інтенсивність;

Однією з основних властивостей лазерного випромінювання є його спрямованість. Без застосування додаткової оптичної системи розбіжність пучка напівпровідникових лазерів становить від одиниць до десятків градусів.

Важливою характеристикою лазерного випромінювання для ЛДВ є високий ступінь просторової когерентності. Якщо один пучок розщеплюють на дві компоненти, які потім знову з'єднують, щоб отримати інтерференційні смуги, то різниця ходу вздовж пучків повинна бути значно меншою за довжину когерентності.

У ЛДВ найперспективніше використання одно частотних лазерів, хоча вони мають недостатню вихідну потужність. Всі реальні джерела світла дають тільки квазі монохроматичне випромінювання, амплітуда і фаза якого флюктують випадковим чином. Бо в реальних схемах ЛДВ сигнальний і опорний пучки утворюються з одного і того ж джерела лазерного випромінювання, то процес фото зміщення є по суті двопроменевою інтерферометрією з реєстрацією інтерференційної картини, що біжить.

При математичному моделюванні використовуючи формули 11 і 12 було побудовано графік залежності доплерівської частоти від довжини хвилі лазерного випромінювання ЛВ (рис. 2.5).

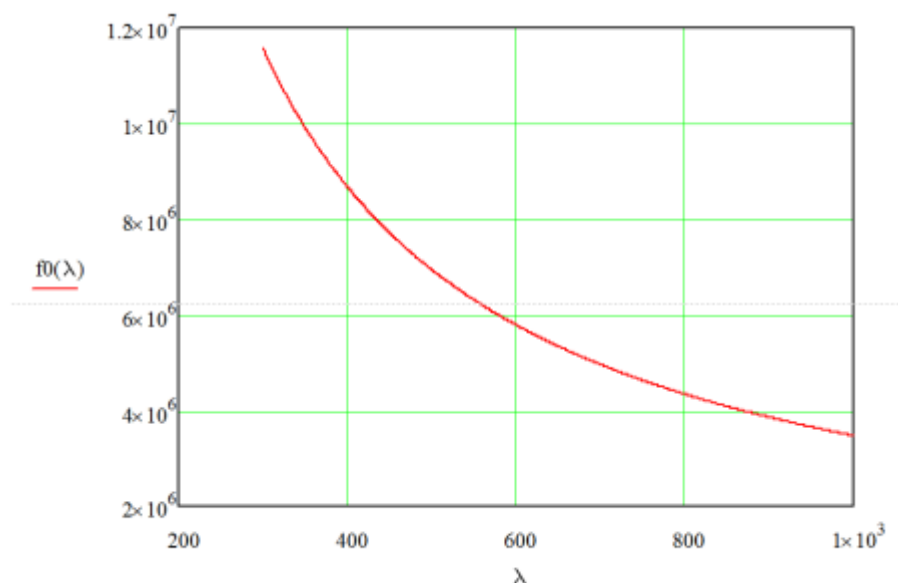


Рис. 2.5 – Аналітична залежність доплерівської частоти від довжини хвилі ЛВІ

Потрібно підібрати саме напівпровідниковий лазер, оскільки це зумовлено багатьма чинниками:

- відносно низька ціна
- розмір
- широкий асортимент
- простота в підключенні, використанні, налаштуванні та заміні

Виходячи з можливостей і того факту, що проект знаходиться на ранній стадії проектування було прийнято рішення вибрати лазерний діод з мінімальною шириною спектральної лінії.

Так було вибрано лазерний діод моделі ML101U29 (рис. 2.6) з довжиною хвилі світлового випромінювання $\lambda = 660 \pm 5$ нм.

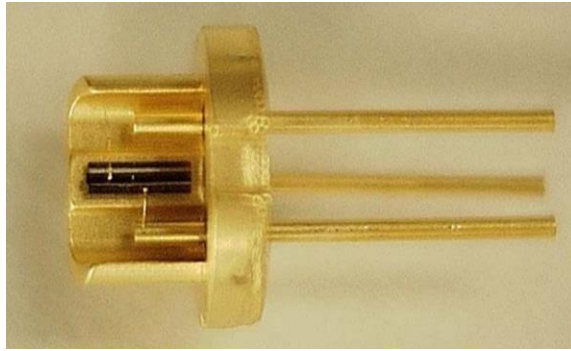


Рис. 2.6 – Лазерний діод ML101U29.

Для проведення подальшого дослідження розглянемо напівпровідникового лазера видимої ділянки спектра з довжиною хвилі 532 нм оскільки на цій довжині хвилі доплерівська частота вбирається у поріг чутливості приймача оптичного випромінювання (ПОВ) ($2 \cdot 10^7 > 6,9 \cdot 10^6$ Гц).

2.4.2. Вибір приймача оптичного випромінювання

З різних видів фотодіодів оптимально підходить *pin*-фотодіод. Швидкодія *pin*-фотодіода значно вища ніж у звичайного *p-n*-фотодіода. Це з тим, що між *p* і *n* шарами домішкового напівпровідника введений власний шар напівпровідника (*i*). Ширина *i*-шару зазвичай становить 500-700 мкм. На відміну від *i*-зони, леговані шари зроблені набагато тонше. Все разом це зроблено для того, щоб все оптичне випромінювання поглиналося в *i* шарі і скорочувався час перенесення зарядів з *i* - зони в леговані області.

Підбір приймача оптичного випромінювання визначається двома параметрами, спектральної чутливістю в заданому діапазоні і швидкістю спрацьовування. У кабельній промисловості максимальні швидкості виробництва сягають 17 м/с. З рис. 3.1 видно, що порогова частота дорівнює $1,1 \cdot 10^7$ Гц.

Так само, при виборі якого керувалися такими принципами:

- місткість фотодіода якнайменше;
- темновий опір якнайбільше;
- робоча площа повинна бути якнайменшою для забезпечення малої ємності та високого темнового опору.

Під цю частоту добре підходить PIN-фотодіод VISHAY BPW24R (рис. 2.7), нижче наведено його основні характеристики.



Рис. 2.7 – PIN-фотодіод BPW-24R

Таблиця 2.2 – Основні характеристики VISHAY BPW24R

Зворотна напруга, В	60
Зворотний темновий струм, нА	4
Частота спрацьовування, Гц	$2 \cdot 10^7$
Спектральний діапазон чутливості, нм	400 – 1000

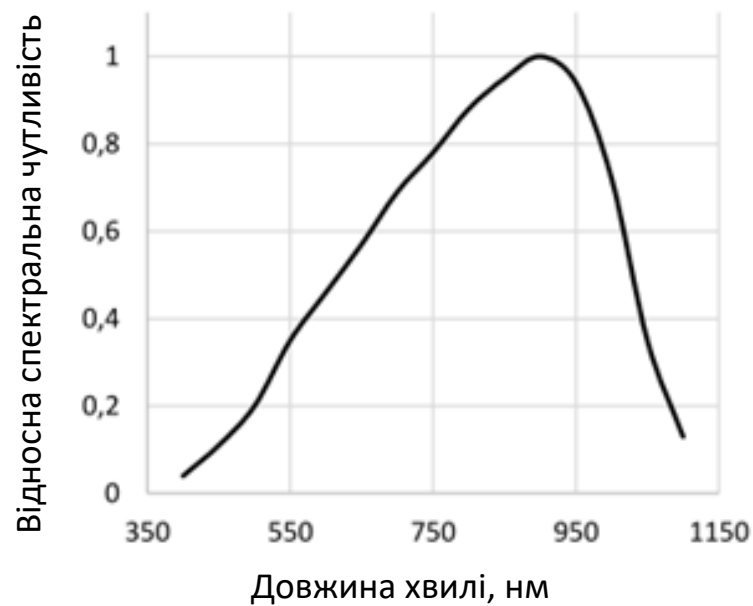


Рис. 2.8 – Спектральна чутливість рін-фотодіода BPW24R

Об'єктом зміни в даній системі виступає колесо, що рухається за допомогою електродвигуна. Схема керування двигуном представлена на рис. 2.9.

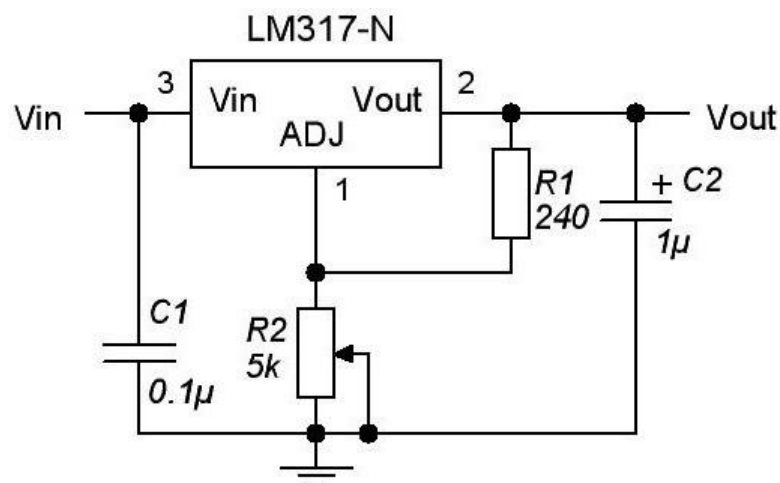


Рис. 2.9 - Схема регулятора швидкості обертання колеса

Вихідна напруга цієї схеми визначається за формулою:

$$V_{out} = 1,25 \cdot \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) + I_{ADJ} \cdot R_2.$$

Таким чином, зміною змінного опору R_2 можливо регулювання швидкості обертання колеса.

Швидкість об'єкта контролюється за допомогою оптичного щілинного датчика KTIR0311s. Конструкція датчика реалізована таким чином, щоб при безпосередньому засвіченні фото транзистора фотодіодом вихідний сигнал дорівнював логічному нулю, в той час як при присутності об'єкта в щілині датчика на виході датчика - була логічна одиниця.

Разом з об'єктом виміру (колесом) рухається зачорнений диск, (рис. 2.10). Чорніння застосовано для усунення можливості помилкового спрацьовування щілинного датчика. У диску зроблено пропил. При проходженні пропилом щілинного датчика відбувається засвічування фото транзистора від фотодіода. На вихідному сигналі це відображається короткочасною зміною з логічної одиниці на логічний нуль.



Рис.2.10 – Колесо із зачорненим диском.

Схема вмикання оптичного щілинного датчика представлена на рис. 2.11.

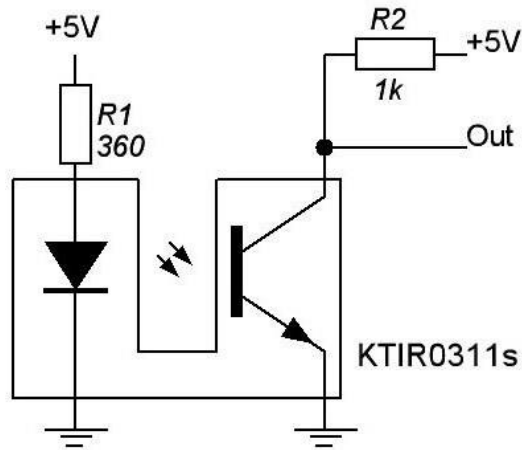


Рис. 2.11 – Схема увімкнення щілинного оптичного датчика KTIR0311s

За частотою зміни сигналу f , що знімається з оптичного щілинного датчика, можливе обчислення лінійної швидкості обертання v вимірюваного колеса за формулою

$$v = 2\pi Rf ,$$

де R — радіус колеса.

2.5. Оптична схема

Для проектування моделі системи було розроблено оптичну схему, зображену на рис. 2.12.

Пучок променів, що вийшли з лазера розщеплюється призмою-куб на два пучки, які за допомогою дзеркал 3 і рухомого дзеркала 4 встановленого на спеціальній каретці з мікро гвинтом направляються на колесо 5, що виконує роль об'єкта, що рухається. Отримане зображення на торці колеса

фокусується лінзою 6 приймач оптичного випромінювання 7.

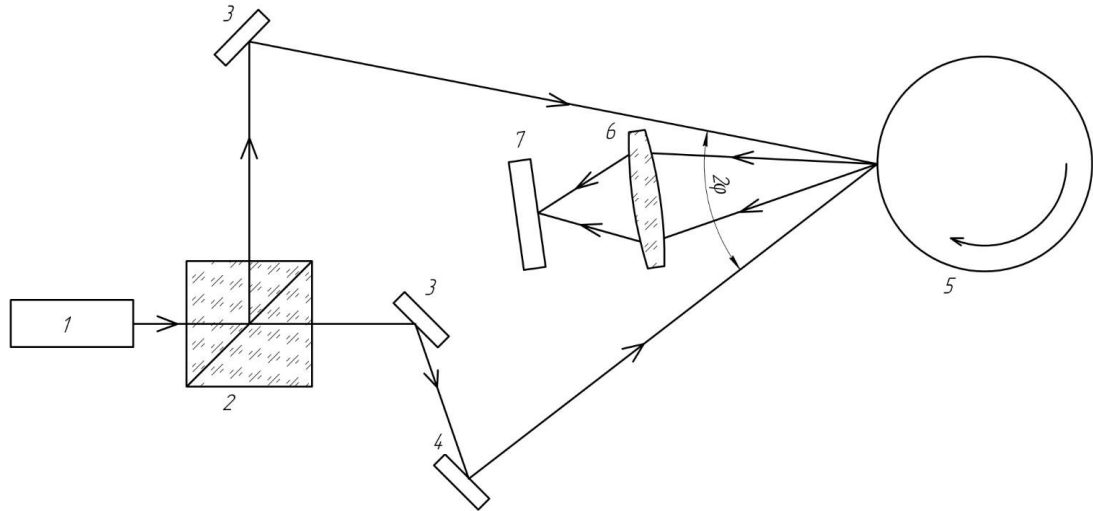


Рис. 2.12 – Оптична схема моделі системи

1 – джерело випромінювання (лазер); 2 – призма куб; 3 – дзеркала; 4 – рухоме дзеркало; 5 – об'єкт виміру (колесо); 6 – лінза; 7 – приймач випромінювання.

Необхідно врахувати кут між променями від дзеркал 3 та 4 оскільки він впливає на доплерівську частоту. Для цього побудуємо аналітичну залежність доплерівської частоти від кута падаючого променя

В даній моделі системи кут між променями варіюється від 22° до 27° . Такий кут спеціально підібраний щоб доплерівська частота не перевищувала поріг чутливості ПОВ ($2 \cdot 10^7$ Гц).

Так само при побудові оптичної схеми було враховано довжину когерентності напівпровідникового лазера, внаслідок чого довелося максимально зрівняти геометричні шляхи променів.

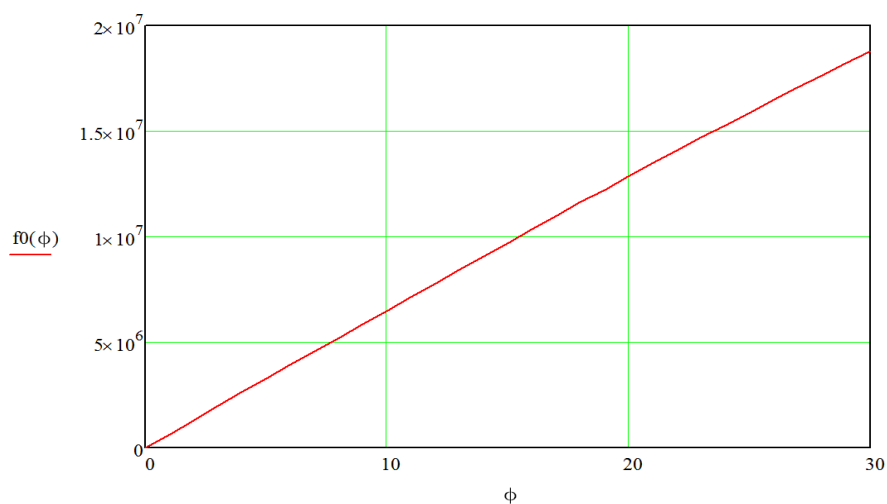


Рис.2.13 – Аналітична залежність доплерівської частоти від кута падіння променів

Для отримання стабільної інтерференційної картини необхідно щоб її довжина когерентності була $> 1,5$ мм. Теоретичний розрахунок містить у собі вимірювання ширини спектра лазера (532 нм), за допомогою спектрофотометра AvaSres та перерахунку довжини когерентності. Як видно із рис. 2.14, ширина спектра становить $\Delta\lambda = 2$ нм.

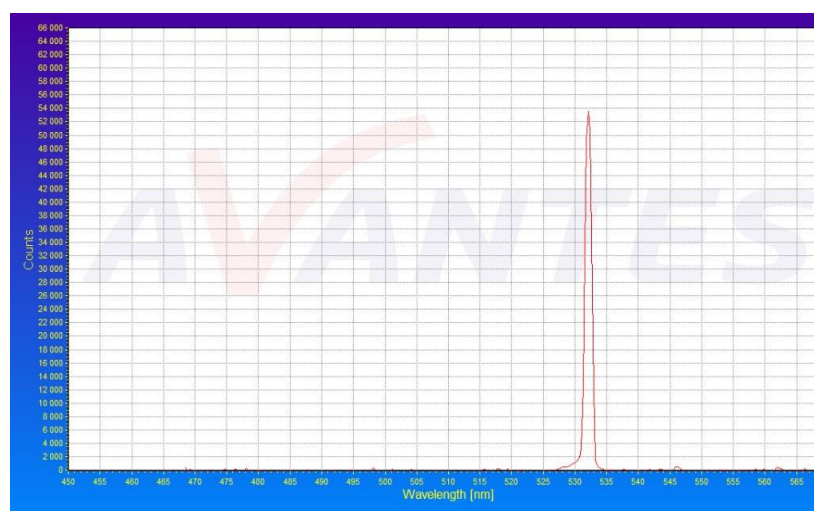


Рис. 2.14 – Спектр випромінювання напівпровідникового лазера (532 нм)

Розрахуємо теоретичну довжину когерентності

$$\Delta\lambda = \frac{c}{V_2} - \frac{c}{V_1} = \frac{c(\Delta\nu)}{V^2},$$

$$\Delta\nu = \frac{\Delta\lambda \cdot V^2}{c} = \frac{2 \cdot 10^{-9}(\text{м}) \cdot 31,8 \cdot 10^{28}(\text{Гц}^2)}{3 \cdot 10^8(\text{м/с})} = 2,17 \cdot 10^{12}(\text{Гц}),$$

$$\tau = \frac{1}{\Delta\nu} = 0,46 \cdot 10^{-12}(\text{с}),$$

$$l = \tau \cdot c = 0,138(\text{мм}),$$

де c – швидкість світла у вакуумі;

$\Delta\nu$ – фазова частота;

τ – час когерентності;

$l_{\text{ког.}}$ – довжина когерентності.

2.6. Електрична принципова схема

Вихідна частота лазерного датчика f розраховується як

$$\frac{f = 2V \sin(\varphi)}{\lambda},$$

де V – швидкість об'єкта; φ – кут між лазерними променями; λ – довжина хвилі лазера.

При русі об'єкта зі швидкістю близько сотень м/хв, частота лазерного датчика досягає одиниць МГц. Таким чином, одним з основних завдань при побудові схеми, що приймається, є забезпечення необхідної швидкодії при прийнятному відношенні сигнал/шум.

Датчиком на вході електричної схеми є фотоприймач. Як фотоприймач використовується швидкодіючий PIN-фотодіод BPW-24R, при виборі якого керувалися такими принципами:

- Ємність фотодіода якнайменше;
- Темновий опір якнайбільше;
- Робоча площа має бути якнайменше для забезпечення малої ємності та високого темнового опору;

Увімкнення фотодіода проводилося у фотодіодному режимі, представленому на рис. 2.15. Цей режим відрізняється такими особливостями:

- Висока швидкість реагування;
- Лінійність;
- Широкою смугою пропускання.

До недоліків даного режиму можна віднести збільшення темнового та шумового струмів.

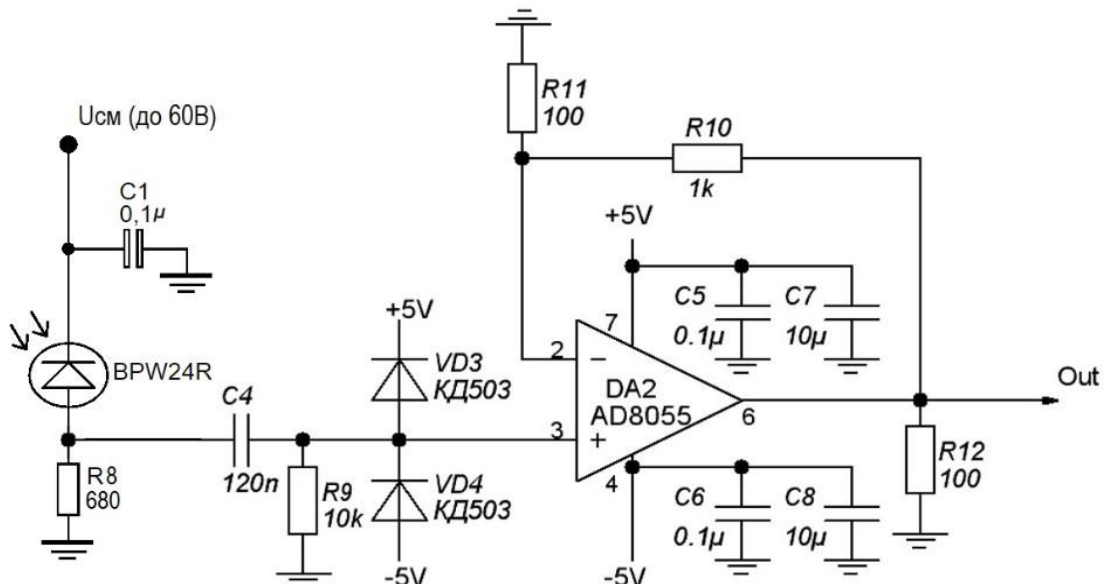


Рис. 2.15 – Схема увімкнення фотодіода у фотодіодному режимі

При проектуванні макету проводилося поетапне налагодження схеми.

Контроль параметрів вихідного сигналу проводився послідовно після кожної ланки, що підключається. Осцилограма сигналу на виході фотодіода представлена на рис. 2.16. Сигнал сильно зашумлений і має постійну складову.

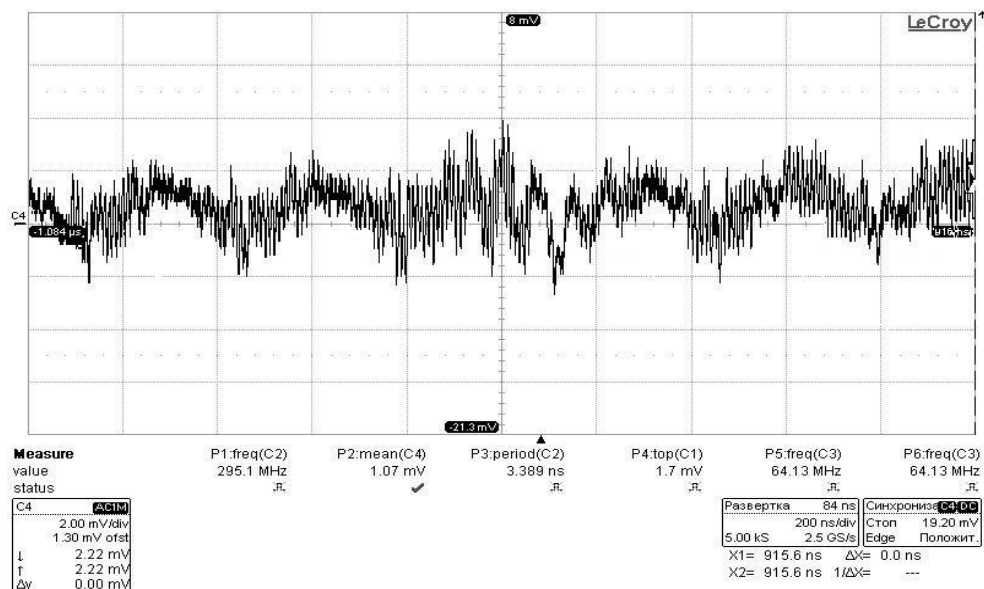


Рис. 2.16 – Осцилограма сигналу з виходу фотодіода

Постійна складова сигналу з виходу фотодіода, що з'являється при включенні у фотодіодному режимі, забирається за допомогою конденсатора *C4*. Імпульсні діодні обмежувачі *VD1* та *VD2* захищають вхід операційного підсилювача від можливих стрибків вхідного сигналу під час увімкнення.

Вихідна напруга цієї схеми розраховується як

$$U_{вих} = R_8 \left(1 + \frac{R_{10}}{R_{11}} \right) I_m, \quad (18)$$

де I_T — зворотній струм.

Збільшення опору R_8 у цій схемі дозволяє зменшити шум, але ціною погіршення швидкодії. Емпіричним шляхом цей опір обрано рівним 680 Ом.

Великий вхідний імпеданс підсилювача дозволяє уникнути зменшення ефективного навантаження фотодіода. За допомогою резисторів R_{10} і R_{11} задається посилення, що дорівнює 11. Керамічні конденсатори ємністю 0.1 мкФ та 10 мкФ з'єднані з висновками живлення та заземлені іншим кінцем. Паралельне з'єднання конденсаторів з різною ємністю дає впевненість, що на живленнях буде низький імпеданс по змінному струму в широкому діапазоні частот. Забезпечення низького імпедансу не дає небажаним перешкод потрапити до операційного підсилювача.

При виборі операційного підсилювача враховувалися такі фактори:

- малий вхідний струм;
- низький рівень шуму;
- висока швидкодія.

Було обрано операційний підсилювач AD8055. Сигнал із виходу першого операційного підсилювача представлений на рис. 2.17.

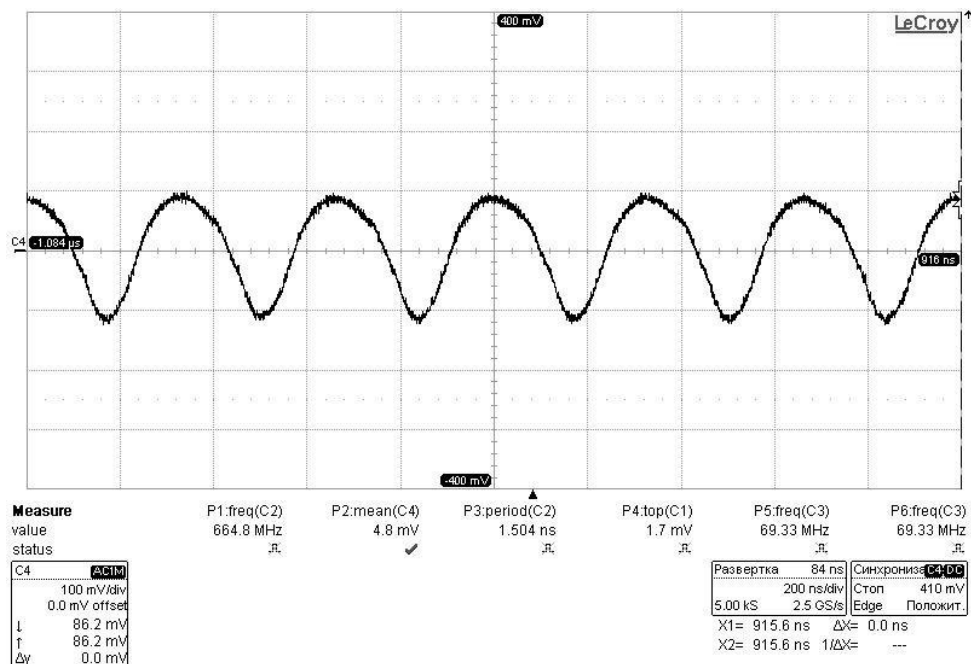


Рис. 2.17 – Осцилограма сигналу після першого операційного підсилювача

На базі цього підсилювача побудований другий каскад посилення з коефіцієнтом посилення рівним 11, осцилограма вихідного сигналу якого представлена на рис. 2.18.

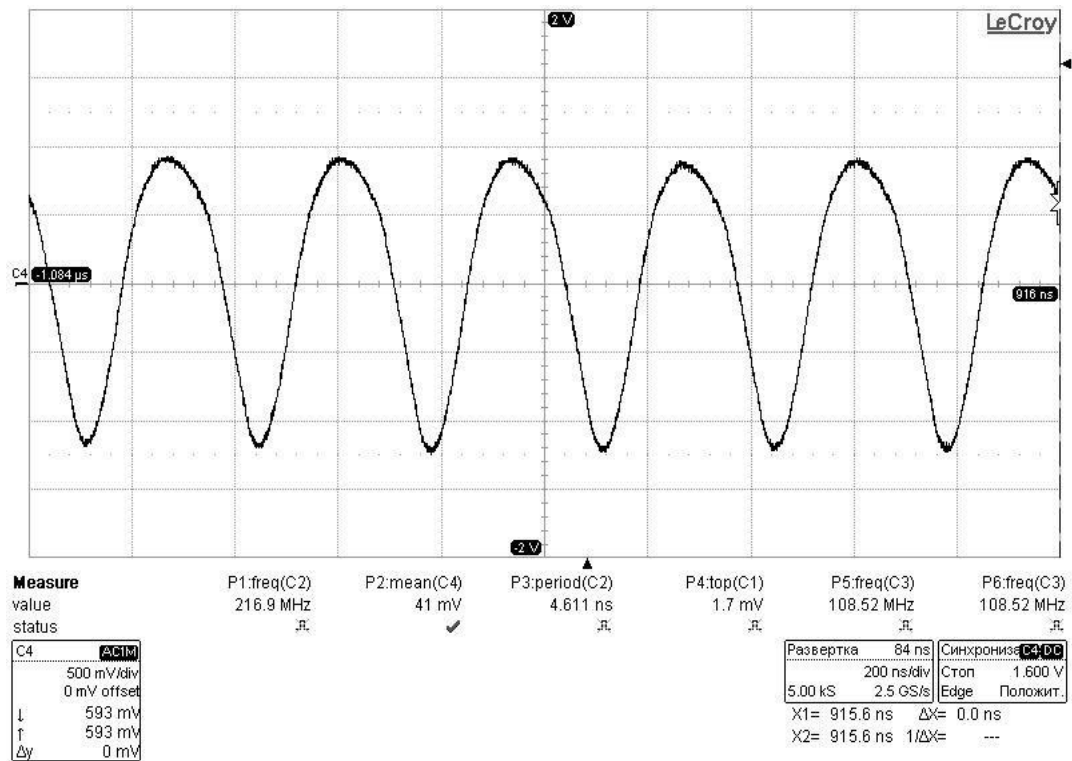


Рис. 2.18 – Осцилограма сигналу після другого операційного підсилювача

Подальше перетворення сигналу проводилося на компараторі AD8611. Хоча застосування операційного підсилювача економічно вигідніше, забезпечує низький вхідний струм і малу напругу зміщення, параметри швидкодії значно поступаються компараторам через ризик входу операційного підсилювача в режим насичення під час проведення експерименту. порівнюється із землею, на виході видаючи сигнал із розмахом порядку 3.5, представленому на рис. 2.19.

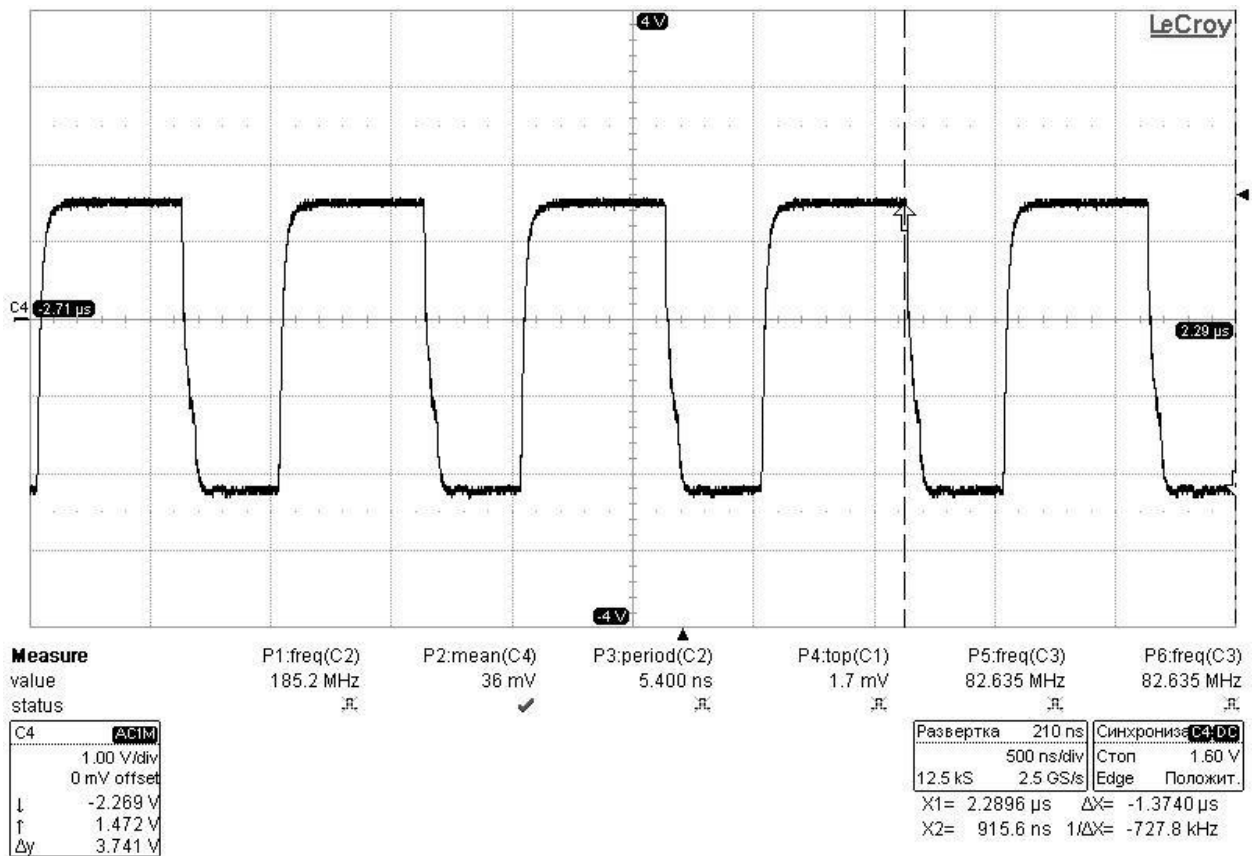


Рис. 2.19 – Осцилограма сигналу на виході компаратора

Принципова схема блоку обробки представлена рис. 2.20.

Алгоритм виміру частоти перебував у підрахунку числа переходів доплерівських коливань через заданий рівень, тобто. відповідав алгоритму роботи електронно-лічильного частотоміра. Швидкість V розраховувалася за формулою

$$V = K_{ep} f ,$$

де K_{ep} – градувальний коефіцієнт.

Живлення схеми здійснюється з джерела живлення GPC 3030D. Для скорочення кількості використаних висновків джерела використовувався

компактний DC – DC перетворювач AM1D-1205DH52Z з гальванічною розв'язкою 5200 В DC та вихідною потужністю 1 Вт.

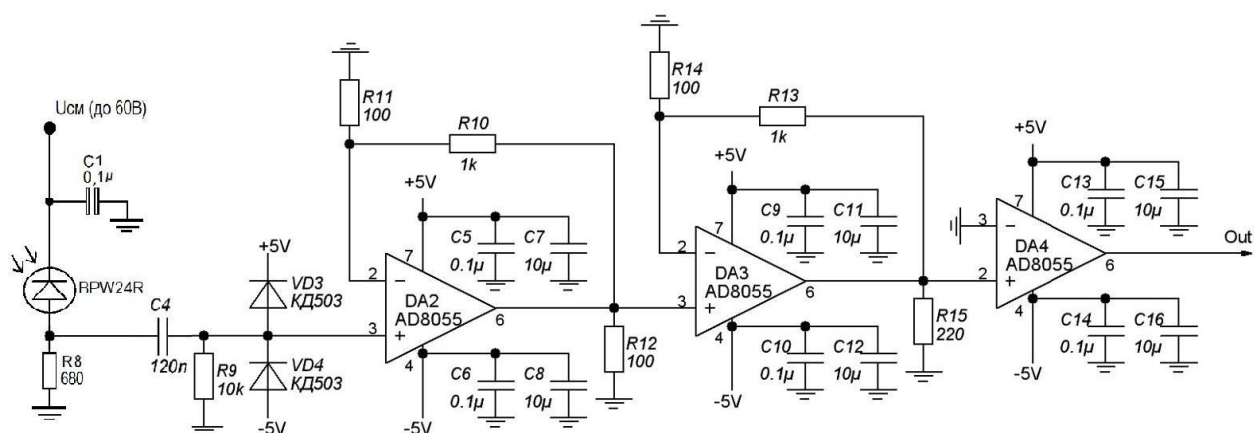


Рис. 2.20 Принципова схема блока обробки

3. РОЗРАХУНОК МЕТРОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК КОМП'ЮТЕРИЗОВАНОЇ ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ВИЗНАЧЕННЯ ДОВЖИНИ І ШВИДКОСТІ ПЕРЕМІЩЕННЯ ПРОМИСЛОВИХ ВИРОБІВ

Було здійснено вимірювання швидкості обертання колеса за допомогою ЛДВ. Швидкість колеса V пропорційна вихідній частоті вимірювача f і обчислюється за формулою

$$V = \frac{\lambda \cdot f}{2 \sin(\varphi)},$$

де φ – кут між лазерними променями, що дорівнює 24° в розробленому макеті; λ – довжина хвилі лазера (532 нм), $K_{\text{гр}}$ – градувальний коефіцієнт.

Швидкість колеса також контролювалася щілинним датчиком. Виміряна частота та розрахована за формулою (27) швидкість представлені в табл.3.1.

Таблиця 3.1 – Частота та швидкість обертання колеса

Частота ЛДВ, Гц	Швидкість ЛДВ, м/хв	Швидкість з щілинного датчика, м/хв
146293,75	11,23	9,61
159060,26	12,21	10,62
164271,08	12,61	10,73
180424,62	13,85	11,71
199704,65	15,33	13,13
200356,00	15,38	13,46
223283,61	17,14	14,98
241651,75	18,55	15,76
250119,33	19,20	16,46

254287,98	19,52	16,71
272265,31	20,90	18,05
273307,47	20,98	17,90
274089,10	21,04	17,91
299231,30	22,97	19,73
317990,25	24,41	21,24
341699,48	26,23	22,71
365278,43	28,04	24,31
386251,98	29,65	25,73
407225,53	31,26	26,76
418949,87	32,16	27,56
428850,43	32,92	28,43
451126,68	34,63	29,94
469234,28	36,02	30,84
494376,48	37,95	32,39
510530,02	39,19	33,72
526292,75	40,40	34,93
531243,03	40,78	35,21
538017,09	41,30	35,29
557297,13	42,78	36,87
564592,27	43,34	37,26
591427,99	45,40	39,16
618133,44	47,45	40,83
634547,52	48,71	42,12
648095,65	49,75	42,81
663728,11	50,95	43,92
678709,22	52,10	44,63
690433,56	53,00	45,49

703721,15	54,02	46,51
713491,44	54,77	46,95
737852,02	56,64	48,63
748403,92	57,45	49,63
759998,00	58,34	50,10
777584,51	59,69	51,12
792435,35	60,83	52,34
796864,54	61,17	52,40
819140,80	62,88	53,83
847930,57	65,09	56,22

Для визначення реального градувального коефіцієнта $K_{гр}$ побудовано залежність швидкості колеса від частоти (рис. 30). Реальний коефіцієнт не збігається з розрахованим, тому введений додатковий коефіцієнт K_d . З введенням даного коефіцієнта залежність швидкості від частоти виглядає так (рис. 3.1).

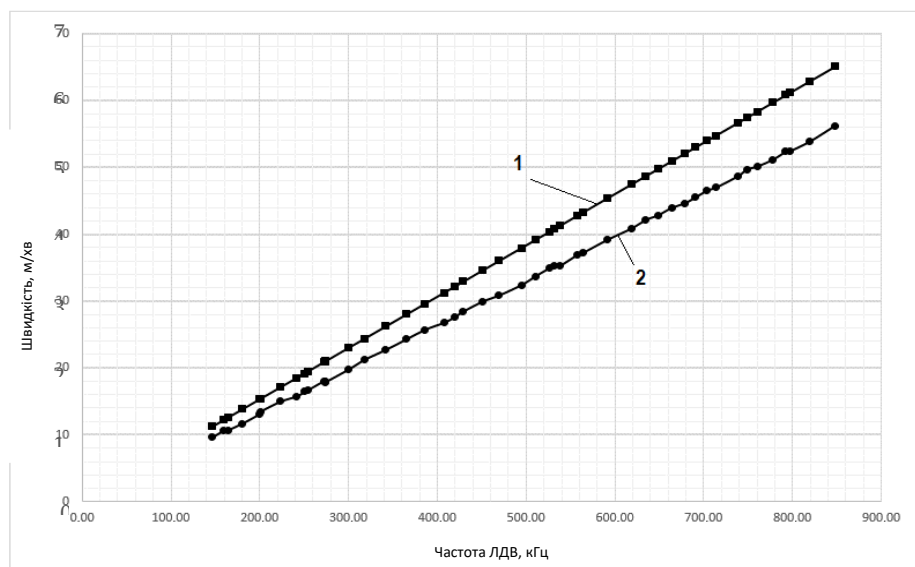


Рис.3.1 – Залежність швидкості колеса від частоти 1 - швидкість з ЛДВ, 2 - швидкість з щілинного датчика

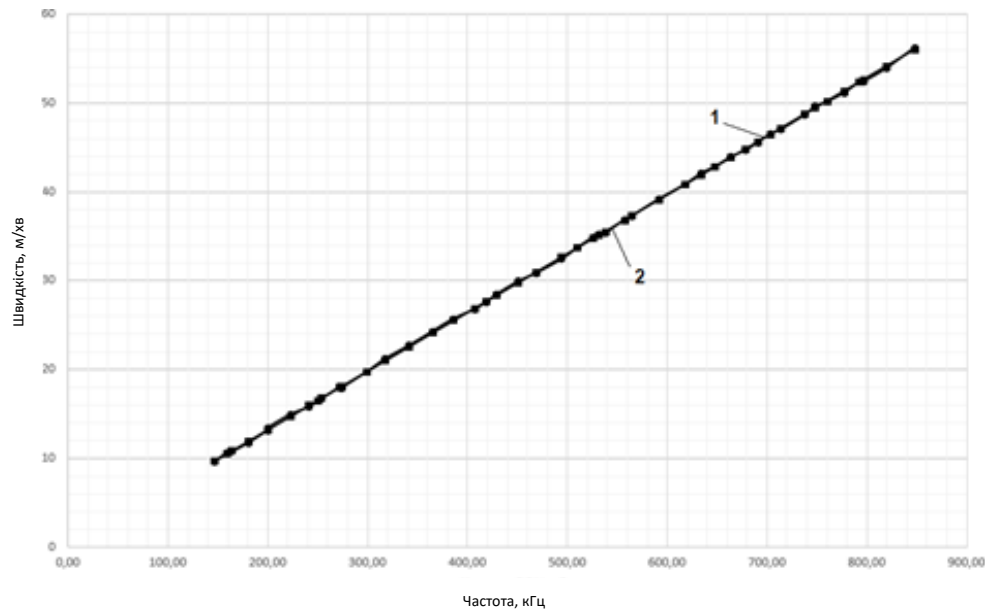


Рис. 3.2 – Залежність швидкості калібрувального колеса від частоти після введення додаткового коефіцієнта K_d 1 – швидкість з лазерного вимірювача, 2 – швидкість з щілинного датчика

Після введення додаткового коефіцієнта K_d похибка лазерного вимірювача значно знижується. Дані представлені у табл. 3.2. Максимальне значення похибки до запровадження коефіцієнта K_d становить 18.24%, після коригування похибка вбирається у 1.77%.

Таблиця 3.2 Похибка лазерного вимірювача з додаванням коефіцієнта K_d

Швидкість з щілинного датчика, м/хв	Швидкість лазерного вимірювача, м/хв	Похибка%	Швидкість лазерного вимірювача, з K_d , м/хв	Похибка з K_d , %
9,61	11,23	16,88	9,66	0,52
10,62	12,21	15,03	10,50	1,08
10,73	12,61	17,44	10,84	1,00
11,71	13,85	18,24	11,91	1,68

13,13	15,33	16,81	13,19	0,45
13,46	15,38	14,22	13,23	1,77
14,98	17,14	14,37	14,74	1,64
15,76	18,55	17,74	15,96	1,26
16,46	19,20	16,64	16,51	0,31
16,71	19,52	16,82	16,79	0,47
18,05	20,90	15,82	17,98	0,39
17,90	20,98	17,22	18,05	0,81
17,91	21,04	17,53	18,10	1,08
19,73	22,97	16,43	19,75	0,13
21,24	24,41	14,94	21,00	1,15
22,71	26,23	15,46	22,55	0,71
24,31	28,04	15,34	24,12	0,81
25,73	29,65	15,24	25,50	0,89
26,76	31,26	16,78	26,88	0,43
27,56	32,16	16,70	27,66	0,36
28,43	32,92	15,76	28,31	0,44
29,94	34,63	15,65	29,78	0,54
30,84	36,02	16,80	30,97	0,45
32,39	37,95	17,17	32,64	0,77
33,72	39,19	16,24	33,70	0,04
34,93	40,40	15,65	34,75	0,54
35,21	40,78	15,81	35,07	0,41
35,29	41,30	17,03	35,52	0,65
36,87	42,78	16,02	36,79	0,23
37,26	43,34	16,34	37,28	0,05
39,16	45,40	15,94	39,05	0,29
40,83	47,45	16,21	40,81	0,06

42,12	48,71	15,65	41,89	0,54
42,81	49,75	16,19	42,78	0,08
43,92	50,95	16,02	43,82	0,22
44,63	52,10	16,72	44,80	0,38
45,49	53,00	16,51	45,58	0,20
46,51	54,02	16,15	46,46	0,11
46,95	54,77	16,66	47,10	0,33
48,63	56,64	16,47	48,71	0,16
49,63	57,45	15,75	49,41	0,45
50,10	58,34	16,44	50,17	0,14
51,12	59,69	16,77	51,34	0,42
52,34	60,83	16,22	52,31	0,05
52,40	61,17	16,75	52,61	0,41
53,83	62,88	16,81	54,08	0,45
56,22	65,09	15,79	55,98	0,42

Загальна ідея проведеного експерименту зводилася до порівняння значень швидкості, отриманих з лазерного доплерівського вимірювача та щілинного датчика. В результаті проведених досліджень встановлено, що при зміні швидкості обертання колеса в діапазоні $V = (29 \dots 65)$ м/хв максимальна розбіжність із показаннями щілинного датчика не перевищує 1.77 %, при цьому похибка вища на малих швидкостях.

ВИСНОВКИ

У результаті виконання кваліфікаційної роботи розроблено комп'ютеризовану інформаційно-вимірювальну систему визначення довжини і швидкості переміщення промислових виробів.

У результаті виконання кваліфікаційної роботи було:

- виконано аналіз методів визначення довжини і швидкості переміщення
- проведено вибір контрольованих параметрів та розробка на їх основі структури комп'ютеризованої інформаційно-вимірювальної системи визначення довжини і швидкості переміщення промислових виробів;
- розроблено структурну схему та комп'ютеризованої інформаційно-вимірювальної системи визначення довжини і швидкості переміщення промислових виробів;
- вибрано вимірювальні засоби та елементну базу комп'ютеризованої інформаційно-вимірювальної системи визначення довжини і швидкості переміщення промислових виробів;
- розроблено метрологічне забезпечення комп'ютеризованої інформаційно-вимірювальної системи визначення довжини і швидкості переміщення промислових виробів.

Впровадження комп'ютеризованої інформаційно-вимірювальної системи визначення довжини і швидкості переміщення промислових виробів дає змогу підвищити точність вимірювання довжини та швидкості переміщення приладами технологічного контролю для кабельної, трубної, оптоволоконної та ін. областей промисловості.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- 1) Є. С. Поліщук, М. М. Дорожовець, Б. І. Стадник та ін., Засоби та методи вимірювань неелектричних величин: підручник, Львів: Вид-во "Бескид Біт", 2008.
- 2) <https://klaster.ua/ua/services/kabelnye-seti/modernizacija-i-optimizacija/izmerenie-dliny-kabelja/?srsltid=AfmBOoqjs0jJNRkcLd4sLoNHnv16dXgYCB0-FtTxA-IDw8ae1qex3PPJ>.
- 3) https://chemtest.com.ua/ua/vimiryuvach_instruments_pce-clt_10_dovzhini_kabelyu?srsltid=AfmBOoppS37mnDsjeVRO-unc40AoK_LEktxB5V0qlftIZ4m9MuCd93B5
- 4) <https://elecont.prom.ua/ua/p538539390-izmeritel-dliny-kabelja.html>
- 5) <https://www.elecont-ua.com/products/cable-lenght/metrazh.html>
- 6) <https://www.elecont-ua.com/products/cable-lenght/metrazh-k.html>
- 7) <https://detectori.com.ua/ua/catalog/izmeritel-dliny-kabelja-lc-218/>
- 8) <https://detectori.com.ua/ua/catalog/izmeritel-dliny-cm5645-s-vynosnym-enkoderom-4333/>
- 9) <https://www.polytec.com/int/velocimetry/areas-of-application/cables-wires>
- 10) <http://www.elecont-ua.com/products/cable-lenght/metrazh.html>
- 11) <https://www.oborud.info/product/jump.php?44164&c=1413>
- 12) British standard BS EN 50356:2002 «Method for spark testing of cables».
- 13) «Laser diffraction and projection sensors for measuring fibre optic diameter» // EuroWire – November 2003.
- 14) Du B. Polymer Insulation Applied for HVDC Transmission. Handbook. Singapore, Springer, 2021. 674 p.
- 15) H. Clinton. Grounding of conductors during the spark test. Wire Journal, 1986.

- 16) <https://www.polytec.com/int/velocimetry/technology>
- 17) https://www.onosokki.co.jp/English/hp_e/products/keisoku/laser/lv7000.htm
- 18) https://www.delta-usa.com/images/documents/en-GB/DL4000/dl4000_e4300_1017.pdf
- 19) <https://tts-systems.com/non-contact-speed-length-laser-measurement/>
- 20) <https://www.polytec.com/int/velocimetry/optical-encoder>
- 21) <https://www.ssktrinec.cz/en/solution-and-services/length-and-speed-measurement>
- 22) <https://dbmsteel.com/product/laser-doppler-velocimeter/>
- 23) Thomas J. Bruno, Paris D. N. Svoronos. CRC Handbook of Fundamental Spectroscopic Correlation Charts. CRC Press, 2005. 240 p.
- 24) Є. Т. Володарський, В. В. Кухарчук, В. О. Поджаренко, Г. Б. Сердюк, «Метрологічне забезпечення вимірювань і контролю: навч. посіб», Вінниця: ВДТУ, 2001.