

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

магістр

Освітній рівень

Метод автоматизованого контролю якості полімерної плівки

Назва теми

КВРАКІТР.2023253.01.27.ПЗ

Рівень вищої освіти магістр

Галузь знань 17 «Електроніка, автоматизація та електронні комунікації»

Шифр, назва

Спеціальність 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка»

Шифр, назва

Освітня програма «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка»

Назва

Виконав:

студент II курсу, група АКІТРм-23-1

Підпис

Андрій ФАНДУЛЬ

Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Керівник

Підпис

Денис МАКАРИШКІН

Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Нормоконтролер

Підпис

Людмила КОРЕЦЬКА

Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

До захисту допускаю:
зав. кафедри АКІТтаР

Підпис

Валерій МАРТИНЮК

Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

« 13 » грудня 2024 р.

Хмельницький 2024

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інформаційних технологій

Кафедра автоматизації, комп'ютерно-інтегрованих технологій та робототехніки

Рівень вищої освіти другий (магістерський)

Галузь знань 17 – Електроніка, автоматизація та електронні комунікації

Спеціальність 174 – Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка

Освітня програма Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри АКИТтаР

Валерій МАРТИНЮК

01 вересня 2024р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Фандулю Андрію Володимировичу

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1 Тема роботи Метод автоматизованого контролю якості полімерної плівки

Керівник роботи Макаришкін Денис Анатолійович, к.т.н., доцент

Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, учене звання

Затверджено наказом ректора університету від 26.08.2024 р. №60

2 Строк подання студентом роботи на кафедру 02.12.2024р.





3 Вихідні дані до роботи Аналіз сучасного стану автоматизованих систем контролю якості виготовлення полімерної плівки. Розробка алгоритмічного та програмного забезпечення автоматизованої системи контролю якості виготовлення полімерної плівки із використанням ємнісних давачів.

4 Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

Вступ. Проблематика автоматизованого контролю якості полімерної плівки. Проектування системи автоматизованого контролю якості виготовлення полімерної плівки. Моделювання системи автоматизованого контролю якості виготовлення полімерної плівки. Дослідження системи автоматизованого контролю якості виготовлення полімерної плівки. Висновки.

5 Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень)
презентаційні матеріали (слайди)

6 Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Антиплагіат	Федула М.В., доцент кафедри АКИТтаР		
Нормоконтроль	Корецька Л.О., доцент кафедри АКИТтаР		

7 Дата видачі завдання 01 вересня 2024р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Назва розділу кваліфікаційної роботи	Строк виконання	Примітка
1 Вступ	20.09.2024р.	виконано
2 Проблематика автоматизованого контролю якості полімерної плівки	15.10.2024р.	виконано
3 Проектування системи автоматизованого контролю якості виготовлення полімерної плівки	30.10.2024р.	виконано
4 Моделювання системи автоматизованого контролю якості виготовлення полімерної плівки	15.11.2024р.	виконано
5 Дослідження системи автоматизованого контролю якості виготовлення полімерної плівки	25.11.2024р.	виконано
6 Висновки	30.11.2024р.	виконано
7 Оформлення пояснювальної записки до КРМ	01.12.2024р.	виконано
8 Оформлення презентаційних матеріалів	01.12.2024р.	виконано

Студент


Підпис

Андрій ФАНДУЛЬ

Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Керівник кваліфікаційної роботи


Підпис

Денис МАКАРИШКІН

Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

АНОТАЦІЯ

Тема кваліфікаційної роботи: «Метод автоматизованого контролю якості полімерної плівки».

Автор роботи: Фандуль Андрій Володимирович.

Керівник роботи: Макаришкін Денис Анатолійович

Пояснювальна записка: 78 с., 14 рис., 7 табл., 2 дод., 80 джерел.

Графічна частина: 12 презентаційних слайдів.

ПОЛІМЕРНА ПЛІВКА, МОДЕЛЮВАННЯ, АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА, ЄМНІСНИЙ ДАВАЧ, МІКРОСХЕМА.

Мета роботи: розробити автоматизовану систему контролю якості виготовлення полімерної плівки на основі ємнісних давачів. Розроблено структурну схему вимірювального пристрою та на її основі розроблено електричну принципову схему вимірювача ємності для якої також підібрано конструкцію мультиплексора. Виконано розрахунок інтенсивності відмов вимірювача товщини полімерної плівки, середнього часу напрацювання пристрою та габаритних розмірів вимірювального пристрою в цілому. Проведено дослідження моделі системи автоматизованого контролю якості виготовлення полімерної плівки.



Підпис студента

02.12.2024

Дата

ЗМІСТ

	с.
ВСТУП.....	4
1 ПРОБЛЕМАТИКА АВТОМАТИЗОВАНОГО КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ПОЛІМЕРНОЇ ПЛІВКИ.....	8
1.1 Огляд та аналіз технічних та технологічних рішень вимірювання товщини полімерної плівки.....	11
1.2 Підбір методу вимірювання товщини полімерної плівки і типу давача.....	26
1.3 Висновки до першого розділу.....	30
2 ПРОЄКТУВАННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ВИГОТОВЛЕННЯ ПОЛІМЕРНОЇ ПЛІВКИ.....	31
2.1 Завдання, які вирішуються при побудові приладу з ємнісним перетворювачем.....	31
2.2 Аналіз переваг та недоліків ємнісних давачів.....	33
2.3 Обґрунтування вибору контрольованого параметра ємнісного давача.....	37
2.4 Опис об'єкта контролю – полімерної плівки.....	46
2.5 Висновки до другого розділу.....	50
3 МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ВИГОТОВЛЕННЯ ПОЛІМЕРНОЇ ПЛІВКИ.....	51
3.1 Методика оцінювання різнотовщинності полімерних плівок.....	51
3.2 Підбір та обґрунтування структурної схеми вимірювального пристрою.....	57
3.3 Підбір та обґрунтування електричної принципової схеми вимірювача ємності.....	58
3.4 Підбір конструкції мультиплексора для вимірювальної схеми.....	63
3.5 Висновки до третього розділу.....	66
4 ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО КОНТРОЛЮ	

ЯКОСТІ ВИГОТОВЛЕННЯ ПОЛІМЕРНОЇ ПЛІВКИ.....	67
4.1 Розрахунок інтенсивності відмов вимірювача товщини полімерної плівки.....	67
4.2 Аналітичний розрахунок середнього часу напрацювання пристрою	69
4.3 Розрахунок габаритних розмірів вимірювального пристрою.....	70
4.4 Дослідження моделі системи автоматизованого контролю якості виготовлення полімерної плівки.....	73
4.5 Висновки до четвертого розділу.....	77
ВИСНОВКИ.....	78
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	79
ДОДАТКИ.....	88

ВСТУП

Загально відомо, що, наприклад, у США на рік встановлюють не менше сотні систем керування (СК) товщиною плівки в процесі виробництва. Дедалі більша кількість фірм-виробників, які постачають як вимірювальні давачі, так і спеціалізовані комплексні системи корекції товщини (КТ) з'являються на ринку.

Причому такі системи можуть бути як частиною технологічного процесу (ТП), так і просто лабораторним обладнанням. У даній кваліфікаційній роботі ми будемо розглядати переважно системи КТ, що працюють on-line, тобто в режимі реального часу.

Загалом система КТ складається з наступних частин: вимірювальний давач (сканер), програмне забезпечення (ПЗ) та виконавчий механізм (ВМ). Відповідно є фірми-виробники, що спеціалізуються на виробництві або однієї або декількох частин системи КТ, або ж, навіть, постачають ціле комплексне рішення.

У галузі давачів, які використовуються для вимірювання товщини в рукавній плівці відомі наступні фірми-виробники: Kuendig [1], Plast-Control [2], Sussex [3], NDC, Octagon Process Technology GmbH [4] та ін. Для вимірювання товщини в плоских плівках розповсюджені давачі наступних фірм-виробників: NDC, Electronic Systems (Italy) [5], Micro-Epsilon Messtechnik GmbH [6], Thermo-Fischer (USA) [7] тощо.

Частина із даних фірм-виробників постачають і спеціалізоване ПЗ для КТ, проте вони, за малим винятком, не займаються виготовленням ВМ, які відповідають за коригування товщини плівки. Комплексні системи КТ поставляються або фірмами-виробниками цілих ліній, які зазвичай оснащують дані машини власною системою КТ, що, як правило, є невід'ємною частиною лінії (одним із першопрохідців, що й донині має одну з найкращих систем КТ, є німецька компанія Windmüller & Hölscher [8]), або компаніями, що позиціонуються на світовому ринку в якості постачальників комплексних систем КТ «для всіх користувачів», тобто можуть продавати дані системи КТ як

виробникам машин, так і до налаштовувати системами КТ технологічні лінії, які працюють у користувача. До таких фірм-виробників відносять Octagon Process Technology GmbH [4], K-Design [9], Addex (USA) [10], Plast-Control [2], Macro Engineering (Canada) [11], яка, крім повних ліній з виробництва плівки, поставляє комплексні системи КТ.

Метою роботи є розробити автоматизовану систему контролю якості виготовлення полімерної плівки на основі ємнісних давачів.

Для досягнення цієї мети необхідно розв'язати наступні **завдання**:

- обрано метод вимірювання і тип давача;
- обґрунтувати контрольований параметр давача;
- розглянути питання зменшення можливої похибки від впливу перешкод;
- розробити блок-схему вимірювача товщини полімерної плівки системи автоматизованого контролю;
- розробити принципову електричну схему вимірювача товщини полімерної плівки;
- розглянути питання надійності вимірювача товщини полімерної плівки.

Об'єктом дослідження є процеси контролю якості виготовлення полімерної плівки на основі ємнісних давачів.

Предметом дослідження є методи та алгоритми контролю якості виготовлення полімерної плівки на основі ємнісних давачів.

Методи досліджень. Використовувались основні положення загальної теорії моделювання процесів, системного аналізу (декомпозиції, ієрархічності та ін.) та теорії систем. Внаслідок виконання моделювання процесу та розроблення методів керування автоматизованої системи контролю якості полімерної плівки використано методи концептуального моделювання, алгебру систем, апарат модельно-орієнтованих підходів, теоретико-множинні підходи, принципи побудови баз знань та формування логічного висновку, евристичні оцінки.

Наукова новизна отриманих результатів: розроблено модель системи автоматизованого контролю якості полімерної плівки в режимі реального часу.

Практична значимість отриманих результатів: розроблені програмно-технічні засоби для керування автоматизованою системою контролю якості полімерної плівки.

Апробація результатів дослідження: опубліковано повнотекстову статтю у фаховому виданні Міжнародний науково-технічний журнал «Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах» Випуск №4, 2024 рік.

Кваліфікаційна робота складається із вступу, чотирьох розділів, висновків до кожного розділу, загальних висновків, списку використаних джерел, двох додатків. Загальний обсяг роботи складає 78 сторінок комп'ютерного тексту, у тому числі: 14 рисунків та 7 таблиць, список використаних джерел вміщує 80 найменування.

У вступі сформульовано мету та завдання роботи, обґрунтована актуальність поставленої задачі, відображено основні наукові результати та практичне значення.

У першому розділі магістерської кваліфікаційної роботи розглянуто проблематику автоматизованого контролю якості полімерної плівки. А саме проведено огляд та аналіз технічних та технологічних рішень вимірювання товщини полімерної плівки, на основі якого виконано підбір методу вимірювання товщини полімерної і типу давача для виконання цього завдання.

У другому розділі кваліфікаційної роботи проаналізовано переваги та недоліки існуючих ємнісних давачів товщини, на основі даного аналізу обґрунтовано вибір контрольованого параметра ємнісного давача. Виконано опис об'єкта контролю – полімерної плівки.

У третьому розділі кваліфікаційної роботи магістра описана методика оцінювання різнотовщинності полімерних плівок. Розроблено структурну схему вимірювального пристрою та на її основі розроблено електричну принципову схему вимірювача ємності для якої також підібрано конструкцію мультиплексора.

У четвертому розділі кваліфікаційної роботи виконано розрахунок

інтенсивності відмов вимірювача товщини полімерної плівки, середнього часу напрацювання пристрою та габаритних розмірів вимірювального пристрою в цілому. Проведено дослідження моделі системи автоматизованого контролю якості виготовлення полімерної плівки.

У загальних висновках по кваліфікаційній роботі магістра представлено отримані результати роботи «Метод автоматизованого контролю якості полімерної плівки».

1 ПРОБЛЕМАТИКА АВТОМАТИЗОВАНОГО КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ПОЛІМЕРНОЇ ПЛІВКИ

Аналіз даного технічного завдання дає можливість зробити висновок, що якість - це певна матеріальна субстанція. Хороший рівень лабораторної чи технологічної перевірки якості отриманої плівки на сучасному етапі набувають особливого значення для підвищення надійності виробництва плівки. Полімерні плівки володіють цілою низкою важливих для переробників та кінцевих користувачів показників: жорсткість, прозорість, механічну міцність, здатність протистояти проколу та роздирання, здатність до зварювання, блиск, рівномірність забарвлення поверхні (або більш точніше прокрасу). Крім цього, переробники оцінюють також і якість рулонів плівки в цілому, тобто оцінюється геометрія рулону, а також щільність намотування. Все це необхідно для того, щоб під час переробки полімерної плівки у готовий виріб, наприклад, в упаковку мати можливість використовувати високопродуктивне обладнання, що володіє робочими швидкостями приблизно до 500 м/хв, обладнання для нанесення друку та ламінування, за необхідності. Високоякісна плівка надасть можливість також отримувати міцні та рівномірні зварні шви на спеціальних швидкісних пакетозварювальних машинах. Потрібна висока якість та при швидкісному груповому пакуванні в спеціальну термозбіжну плівку, і під час пакування продукції в термозбіжні та стретч-плівки [12-15].

Для оцінки якості готового продукту проводяться спеціалізовані лабораторні та технологічні випробування. У лабораторії, наприклад, визначають відхилення світлопропускання та прозорості, наявність сторонніх включень, загальної товщини, коефіцієнт тертя поверхні, блиск, міцність на розрив та прокол, рівень температури плавлення, бар'єрні властивості. Термозбіжну плівку крім того випробовують на коефіцієнти усадки та залишкову міцність. На практиці технологами для перевірки якості полімерної плівки також часто використовуються, в залежності від призначення матеріалу,

різні прикладні методи, що дають змогу безпосередньо оцінити функціональну придатність готового продукту. Наприклад, пакети випробовують на механічну міцність, наливаючи в них воду та витримуючи певний проміжок часу. Упаковку для сухих сумішей перевіряють на міцність, скидаючи пакети із певної висоти. Виробничники також оцінюють якість кінцевої продукції, отриманої з плівкових матеріалів, після ламінування, зварювання чи нанесення малюнка.

Одним із найважливіших чинників, що впливають на більшість основних властивостей полімерної плівки, є її загальна товщина. Однак загальна товщина полімерної плівки в процесі виробництва завжди має відхилення від номінального значення, розкид товщини, що носить назву - різнотовщинність. Згідно з діючими ISO/WD TR 19032 [16] та ISO 527-3 Tensile Test on Plastic Film [17] допустимою вважається різнотовщинність полімерної плівки у $\pm 20\%$, тобто для полімерної плівки із номінальною товщиною у 100 мікрон абсолютний допустимий мінімум за стандартом становитиме не менше 80 мікрон, а максимум не більше 120 мікрон.

Якщо полімерна плівка тонша за нижню границю номінальної товщини, то різко зростають втрати сировини при розривах плівкового полотна в процесі виробництва. Однак значно гірші наслідки спричиняє несвоєчасне виявлення відхилення загальної товщини, внаслідок чого бракованою виявляється вся партія виготовлених із полімерної плівки виробів. При цьому втрати будуть тим більшими, чим на більш пізній стадії виготовлення виробів виявлено відхилення. Щоб уникнути найгіршого, виробникам полімерної плівки доводиться завищувати номінальну товщину плівки. Звичайно, збільшення загальної товщини полімерної плівки дає змогу вирішити деякі проблеми.

Зрозуміло, що різнотовщинність відіграє ключову роль, тобто полімерна плівка з підвищеною різнотовщинністю стає непридатною для ламінування чи для отримання якісних зварних швів, або для переробки на швидкісних машинах. Для переробки полімерної плівки на швидкісних флексографських машинах допуск за загальною товщиною становить $\pm 3-4\%$, зазвичай це не

перевищує 1-2 мікрони. Допуск за загальною товщиною для термозбіжних плівок для швидкісного напіваавтоматичного пакування складає не більше як $\pm 4-6\%$, для харчової промисловості полімерна плівка повинна мати різнотовщинність, яка не перевищує $\pm 5-6\%$. Але особливо високі вимоги висуваються до полімерних плівок, які використовуються для ламінування, у яких розкид товщини по площі виробу не повинен перевищувати $\pm 2\%$ [16, 17].

Поперечна різнотовщинність сильно впливає на швидкість і якість процесів переробки полімерної плівки, наприклад, на зварювання, нанесення малюнка чи ламінування. Для таких ТП поздовжня різнотовщинність полімерної плівки не настільки критична. Однак з точки зору економії витрат сировини немає принципової різниці між поздовжньою чи поперечною різнотовщинністю. Якщо розглядати динаміку ТП, то поздовжня різнотовщинність буває швидко- і повільно змінна. У першому випадку період коливання загальної товщини становить від декількох секунд до хвилин. Причинами, так званої, «швидкої» поздовжньої різнотовщинності може бути, наприклад, коливань рівнів температури гарячого модуля, нерівномірна в часі подача полімерного розплаву зі сопла фільтри внаслідок недосконалості систем дозування полімеру або екструзійних пресів, дрейфу охолоджувального повітря тощо. Відносно швидкоплинні процеси зміни загальної товщини можуть спричиняти також нестабільність плівкового рукава, помилки системи регулювання діаметра рукава або недосконала конструкція системи внутрішнього охолодження, великі варіації швидкості тягових валків, підвищений рівень температура зони завантаження та багато іншого.

Інший вид, «повільна» поздовжня різнотовщинність, за якої зміни загальної товщини займають проміжок часу від хвилин до годин або навіть днів, найчастіше пов'язана із забрудненням фільтрів розплаву і неоднорідністю складу сировини, а також, наприклад, із можливим несправностями системи охолодження.

Можливе коригування «швидкої» поздовжньої різнотовщинності,

пов'язаної з екструзією. Іноді досвідчений інженер-технолог здатний підібрати необхідні параметри роботи екструзійного обладнання, які дають змогу знизити «швидку» різнотовщинність, викликану нестабільністю подачі розплаву з пресів або нестійкістю всього рукава, наприклад, за допомогою зміни швидкості обертання витяжних/охолоджувальних валків. Проте кращим рішенням буде виявлення та усунення відповідної несправності.

Що стосується «повільної» поздовжньої різнотовщинності, то її регулювання досягається шляхом зміни загальної швидкості ТП, наприклад шляхом регулювання подачі матеріалу за рахунок керування оборотами головного приводу із застосуванням автоматизованих систем дозування полімеру.

Очевидно, що тема кваліфікаційної роботи досить актуальна, оскільки вона спрямована на вдосконалення методів і засобів вимірювання загальної товщини полімерної плівки в процесі її виготовлення [16, 17].

1.1 Огляд та аналіз технічних та технологічних рішень вимірювання товщини полімерної плівки

Інтенсифікація сучасного виготовлення виробів вимагає розвитку високопродуктивних методів та необхідних засобів контролю якості готової продукції. Поперечні розміри (ширина, діаметр чи товщина) є одними з найважливіших параметрів для більшості виробів. Часто вони впливають на загальну якість, надійність чи навіть довговічність інших, більш складних виробів, саме тому, мають досить жорсткі технологічні допуски. Крім достатньо високої точності контролю зазвичай повинен бути забезпечений порівняно малий вплив на виріб, який контролюється. Наявні контактні вимірювачі поперечних розмірів володіють не лише порівняно низькою чутливістю, а й не задовольняють вимогам сучасного виробництва, оскільки мають досить низьку продуктивність і не дають можливості виконувати безперервний автоматичний контроль.

Безконтактні вимірювачі, засновані на різних методах також часто не дають можливості виміряти поперечні розміри виробів у необхідному діапазоні з встановленою точністю [18-21].

Крім того, багато засобів контролю поперечних розмірів, які загально відомі зараз, володіють значною похибкою. Тому на сучасному етапі було створено низку новітніх методів та приладів, зокрема інтерференційних, для виконання особливо точного вимірювання габаритних розмірів як відносним методом (порівняння зі зразковим кільцем або блоком кінцевих мір), так і безпосереднім порівнянням із довжиною світлової хвилі. Зазначені прилади хоча й дають можливість реалізувати досить високі технічні характеристики, але є достатньо дорогими і через це мають суттєво обмежене використання.

Тому завдання створення високоточних швидкодіючих та порівняно дешевих вимірювачів поперечних розмірів до розвитку ємнісного методу не мало достатнього ефективного вирішення.

Якісно нові можливості в створенні вимірювачів, які базуються на ємнісному методі вимірювання, стали наслідком двох обставин:

- розвитку теорії використання ємнісних перетворювачів;
- загального розвитку в галузі вимірювальної техніки;

Дані досягнення істотно розширили використання спеціальних ємнісних перетворювачів для вимірювання різних неелектричних величин і, зокрема, поперечних габаритних розмірів.

Ємнісні вимірювачі (ЄВ) [18-21] ґрунтуються, насамперед, на зміні величини зазору між встановленими електродами. З конструктивних міркувань розміри такого конденсатора повинні бути строго пов'язані із зміною величини зазору між електродами.

Важливою властивістю методів, що використовують зміну ємності при зміні величини зазору між встановленими електродами, є постійна відносна чутливість. Дана властивість вимірювачів іноді є перевагою, а іноді – суттєвим недоліком. Це означає, що відносна зміна величини ємності буде постійною при

зміні величини зазору між пластинами конденсатора на одну й ту саму відносну величину, наприклад, при зміні величини зазору в 1 мм на 0,1 мм величина ємності буде змінюватись на 10%, аналогічно тому, як у випадку величини зазору в 0,1 мм та його зміні на 0,01 мм. Даними методами можливо досить точно виміряти зміни і 0,001 мм, а в деяких випадках і 0,00001 мм. У даному випадку ємнісний метод більш чутливий, ніж, наприклад, оптичні методи.

На сучасному етапі розвитку засоби вимірювання, що застосовуються в електроніці і отримали загальну назву радіовимірювальних приладів (РВП), досягли досить високого рівня розвитку. Такі прилади, в більшості своїй, володіють вищою точністю (порівняно із засобами вимірювання інших фізичних величин - електричних, механічних, теплових тощо).

Більше того, розвиток засобів вимірювання фізичних величин неелектричного характеру протягом останніх років дедалі ближче за принципом і конструктивним виконанням до РВП: неелектрична величина за допомогою вимірювальних датчиків перетворюється на електричну, а надалі процес посилення, перетворення та відображення вимірювальної інформації ґрунтується саме на принципах і методах електронних засобів вимірювань [18-21].

Даний напрям розвитку ВП в найближчому майбутньому повинен набути значного поширення, оскільки дає можливість автоматизувати процес вимірювань, забезпечити конструктивну, інформаційну, метрологічну, енергетичну та експлуатаційну сумісність ВП між собою і з об'єктами вимірювань, а також виконувати необхідну обробку отриманих результатів вимірювань за допомогою спеціальних засобів обчислювальної техніки.

Вимірювання лінійних розмірів у діапазоні від 0,01 мкм до кількох десятків метрів (в нашому випадку - товщини) є завданням, яке дуже часто зустрічається в приладобудуванні та машинобудуванні. Вимірювання розмірів (лінійних чи кутових) зазвичай пов'язане з визначенням координат границь розділу окремих речовин, об'єктів чи середовищ, які відрізняються будь-якими параметрами. Тому багато методів і засобів вимірювань габаритних розмірів

засновані на використанні різних властивостей середовищ або об'єктів, що утворюють границі вимірюваного розміру.

Основні електричні методи та відповідні ВП лінійних чи кутових розмірів в залежності від наявності або відсутності безпосереднього механічного контакту між об'єктом та ВП класифікуються на контактні та безконтактні. В залежності від принципу вимірювального перетворення методи класифікують на електрофізичні, електромеханічні та хвильові (спектрометричні) [18-21].

Електрофізичні методи вимірювання в залежності від використовуваної фізичної властивості речовини або явища поділяються на магнітні, електромагнітні, ємнісні, електрокондуктометричні, багатопараметричні тощо.

Електромеханічні методи вимірювання в залежності від виду використовуваного первинного перетворювача класифікують на ємнісні, резистивні, оптоелектронні, індуктивні, методи обкатування тощо.

Хвильові (спектрометричні) методи вимірювання, з одного боку, класифікуються в залежності від довжини хвилі використовуваного випромінювання на звукові, радіохвильові, ультразвукові, надвисокочастотні (НВЧ), рентгенівські, оптичні (лазерні), радіоактивні. З іншого боку, в залежності від використовуваного явища або комбінації явищ спектрометричні методи класифікують на інтерферометричні, локальні, голографічні, рефрактометричні, доплерівські тощо [22-25].

Під час вибору методу вимірювання, схеми та конструкції ВП, для вимірювання геометричних величин базуються на умовах вимірювання, діапазоні вимірювань та вимогах до похибки. На вибір методу та ВП (або на розробку ВП) істотний вплив має характер вимірюваного об'єкта: чи допускає поверхня об'єкта вимірювання за допомогою використання елементів, що контактують із нею, чи можливе встановлення на об'єкті будь-яких ВП та деталей.

Контактні методи вимірювань габаритних розмірів засновані на використанні спеціального вимірювального наконечника (або щупа) чи ролика,

що контактують із поверхнею об'єкта вимірювання.

Переміщення такого щупа чи ролика відносно будь-якого фіксованого (наприклад, за допомогою зразкової міри) границі визначається за допомогою використання ВП.

ВП, що використовують контактні методи вимірювання, мають стандартну блок-схему, що складається з контрольованої деталі (об'єкту), чутливого елемента, наприклад, наконечнику, спеціального вимірювального перетворювача, вторинного перетворювача (зазвичай, електронного) і пристрою, що реєструє покази.

В якості ВП найчастіше використовують - механічні, оптико-механічні, пневматичні чи електричні.

Прилади, робота яких базується на використанні електричних методів перетворення, володіють більш широкими можливостями щодо автоматизації вимірювань ТП і загалом до застосування в спеціальних інформаційно-вимірювальних системах.

Метрологічні характеристики контактних методів вимірювання визначаються за допомогою використання 2 факторів: взаємодією вимірювального наконечника з поверхнею об'єкта вимірювання та метрологічними характеристиками самих ВП [18-21].

Прилади робота яких базується на електроконтактних методах вимірювання, зазвичай, застосовують у системах активного контролю габаритних розмірів. Принцип роботи базується на тому, що вимірювальний шток або безпосередньо, або через спеціалізовану важільну, фрикційну чи зубчасту передачу з'єднаний рухомий контакт, що взаємодіє із установленими на відстані, нерухомим контактом, відстань установки повинна відповідати полю допуску вимірюваного об'єкта. Контакти зазвичай монтують в електронну релейну схему, що забезпечує або керування ВП або просто індикацію величини.

Перевага даного методу перетворення - відносна простота конструкції. Головний недолік - низька надійність, зумовлена наявністю відкритих контактів,

а, відповідно, і зношення, що призводить до збільшення похибки контролю.

Принцип дії ВП із використанням резистивного ВП полягає в наступному. Потенціометр із електродвигуном включають в спеціальну мостову схему, вибір визначається вимогами до точності ВП. Перевага використання – простота конструкції. Головний недолік - низька надійність, зумовлена наявністю контакту ковзанням.

Ємнісний ВП може бути під'єднаний до спеціальної мостової схеми або до перетворювача (фазового або частотного). Під час монтування до мостової схеми нижчу похибку забезпечують схеми ємнісних ВП з урівноваженням [18-24].

Досить близькі метрологічні характеристики будуть забезпечувати ВП із використанням індуктивних елементів, найчастіше застосування знайшли спеціалізовані диференціальні перетворювачі. Монтують зазвичай у мостові схеми змінної сили струму.

До переваг індуктивного та ємнісного ВП відносять високу надійність і гарну чутливість, що досягає сотих мікрометра, а також можливість виконання дистанційних вимірювань розмірів. Недоліки – досить високі вимоги, що пред'являються використовуваних матеріалів та до конструкції в цілому, а також наявність контакту ковзанням.

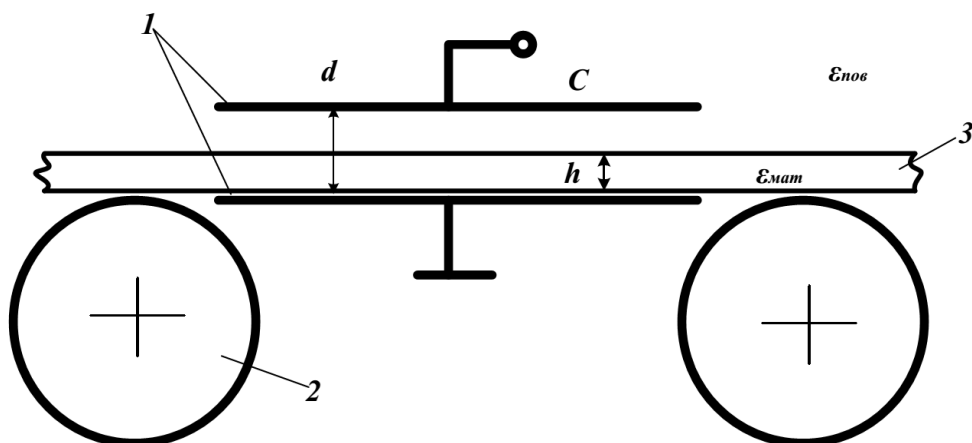


Рисунок 1.1 – Загальний вигляд процесу вимірювання товщини полімерної плівки [18-24]:

1 – вимірювальний конденсатор; 2 – опорні ролики; 3 – плівка

До контактних методів вимірювання відносять спеціальний спосіб обкочування. Вимірювання лінійної довжини шляхом обкатування, що застосовуються в машинобудуванні, базується на обрахунку кута повороту (або якщо точніше числа обертів) колеса або ролика певного діаметра, що торкається вимірюваної поверхні об'єкта й обкочується вздовж поверхні без проковзування. Даний метод може бути застосовано для вимірювання довжини кола чи діаметра об'єкта вимірювання.

Наприклад, під час вимірювання діаметр D об'єкту визначається з наступної формули [18-23]:

$$D = \frac{\varphi_p}{\varphi_D \cdot d_p}, \quad (1.1)$$

де φ_D - кут повороту деталі, рад; φ_p - кут повороту ролика, рад; d_p - діаметр ролика, мм.

При безперервному обертанні деталі (наприклад, при виконанні активного контролю на верстаті) діаметр об'єкту може бути визначений з наступної формули [18-23]:

$$D = n_p \cdot \left(\frac{d_p}{n_D} \right). \quad (1.2)$$

Безконтактні методи вимірювання габаритних розмірів об'єкту класифікують на прямі і непрямі.

При прямих методах вимірювання габаритні розміри, наприклад товщина об'єкту, будуть зіставлені з, наприклад довжиною хвилі або розміром шкали.

За непрямих методів вимірювання розмірів використовують різні залежності геометричних розмірів, наприклад, від поглинання радіаційного

випромінювання товщиною матеріалу об'єкту; часу проходжень акустичних коливань; зміни витрати повітря через щілину між вимірювальним соплом і поверхнею об'єкту тощо.

Електромеханічні методи вимірювання, або інакше методи дотикового щупа, базуються на перетворенні вимірюваного параметра в переміщення чутливого елемента ВП, який або один до одного або в певному масштабі відтворює вимірюваний габаритний розмір. В якості ВП застосовуються тензорезистивні, контактні реостатні, п'єзоелектричні, ємнісні, індуктивні, оптоелектронні, електрохімічні та інші типи ВП, вхідною величиною для яких є переміщення. Для отримання досить високої точності та цифрового виходу широке використання в ТП знайшли спеціальні кодові лінійки, диски, растрові та інші типи просторових ВП типу сигнал-код. Електромеханічні методи вимірювання широко застосовуються для вимірювання розмірів у машинобудуванні (наприклад, мініметри, контактні мікрометри, профілометри). У перерахованих ВП просторові координати сигналу перетворюються на лінійні переміщення щупа - голки, а потім на електричний сигнал за допомогою використання ємнісних чи індуктивних типів перетворювачів.

Відома схема цифрового вимірювача внутрішніх діаметрів виробів на основі ємнісного ВП, який в свою чергу, є елементом кварцового генератора. Ємнісний давач складається із нерухомого золотого електрода, напиленого на полірований скляний брусок, і рухомого електрода, який жорстко пов'язаний із щупом. Давач за допомогою короткого коаксіального кабелю з'єднаний із кварцовим генератором, частота генератора якраз і є інформативним параметром [18-23].

Кварцовий генератор збуджується на частоті послідовного резонансу, що, в свою чергу, буде забезпечувати високу температурну та часову стабільність створеної частоти. Вхідна та вихідна ємності активного чотириполюсника, яким є кварцовий генератор, також мають низький вплив на частоту генератора, що змінюється лише під час зміни ємності ВП, тобто під час руху рухомого

електрода. Частота кварцового генератора згідно формули $f_{кв} = F(x)$ після перетворення за допомогою використання опорного генератора, вимірювача періоду, лінеаризатора (або точніше мікропроцесора) надходить на цифровий відліковий пристрій, який в свою чергу відображає результат в мікрометрах або в міліметрах. Поріг чутливості мікрметра складає 0,01 мкм.

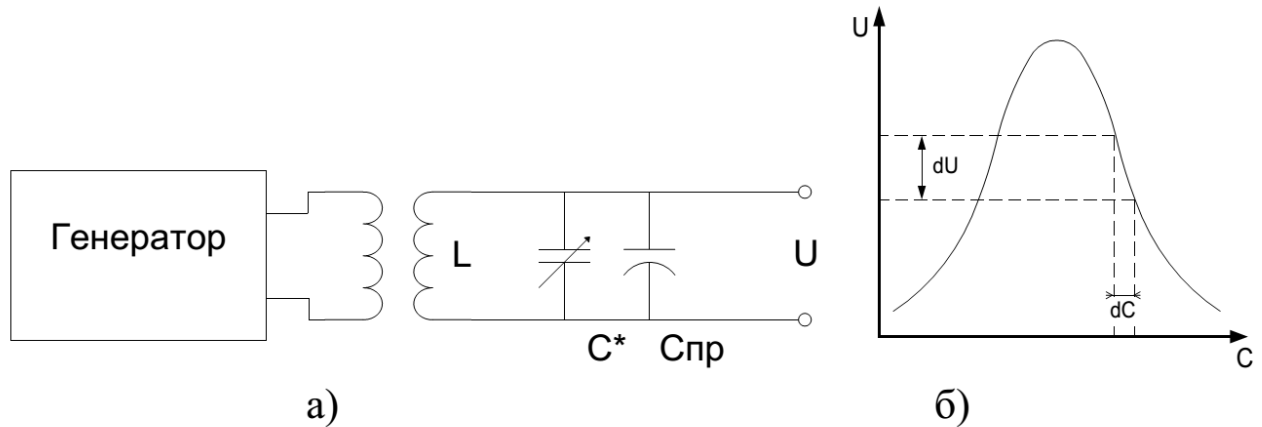


Рисунок 1.2 – Загальний вигляд схеми підключення ємнісного перетворювача

Під час використання подібних ВП мають місце похибки через нелінійні спотворення, зумовлені способом перебудови реального профілю поверхні об'єкта в лінійне переміщення щупа (наприклад, ролика) в деяких точках поверхні об'єкта та внаслідок деформації (пластичної та пружної) поверхні об'єкта під дією зусилля з боку ролика. Дане зусилля в загальному випадку непостійне і може змінюватися в залежності від інерційності ВП, радіуса ролика, властивостей матеріалу та профілю поверхні досліджуваного об'єкта. У такому випадку перевагу має застосування спеціального віброконтактного методу, який засновано на перетворенні в електричний сигнал коливань спеціального віброуючого щупа, амплітуда коливань автоматично регулюється та встановлюється, відповідно, рівною розміру, що вимірюється [18-23].

Віброконтактний метод вимірювання дає змогу виконувати вимірювання за умови незначних зусиль щупа, який тільки періодично стикається з поверхнею об'єкту.

Висока надійність вимірювань розмірів поверхонь забезпечується за умови застосування спеціалізованих індуктосинів - багатополюсних трансформаторних перетворювачів, беззалізних, із друкованими обмотками. Індуктосини використовуються для вимірювання не лише лінійних, а і кутових розмірів (чи, навіть, переміщень). Вихідним сигналом індуктосина є індукована у вторинній обмотці електрорушійна сила, амплітуда (або фаза) залежать від вимірюваного габаритного розміру (чи переміщення).

Цифрові засоби вимірювань із використанням в конструкції індуктосинів забезпечують вимірювання лінійних розмірів величиною до 1м з похибкою в діапазоні від 1 до 2 мкм.

На основі індуктивних і ємнісних ВП уже створено аналогові та цифрові мікрометри та розробляються нові, більш досконалі ВП.

Електрофізичні методи вимірювань розмірів ґрунтуються на використанні відмінності фізичних властивостей речовин, що розташовуються на різних сторонах границь, які визначають розмір, що вимірюється. Для вимірювання кутових та лінійних розмірів використовують методи та прилади, що базуються на різних електричних, теплових, механічних (густина, в'язкість), магнітних та інших властивостях речовин або сполук.

Електромагнітні методи - засновані на поєднанні магнітних та електричних властивостей. Найбільш поширеними з таких методів є вихрострумівий і резонансний методи вимірювання [18-23].

Вихрострумівий метод, широко застосовуваний для вимірювання товщини тонких листових виробів чи покриттів, базується на відношенні глибини проникнення електромагнітних коливань у матеріал об'єкту в залежності від питомої електропровідності ν , магнітної проникності μ і частоти коливань f :

$$Z_{0,05} = \delta_{cp} = \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{n} \cdot \sqrt{\frac{1}{\pi \cdot \mu \cdot \nu \cdot f}}, \quad (1.3)$$

де $Z_{0,05}$ - глибина об'єкту, на якій коливання загасають на 95%.

Вихрострумний ВП зазвичай складається з індуктивного вихрострумного перетворювача та вимірювального ланцюга для визначення реактивного та активного опору давача.

Головний недолік вихрострумних перетворень полягає в наявності досить високих похибок, зумовлених головним чином температурними змінами електричної провідності об'єкту.

Резонансний метод вимірювань лінійних габаритних розмірів базується на залежності частоти власних коливань об'ємного ендівбратора від розмірів порожнини та, відповідно, від магнітної та діелектричної проникності діелектрика, що заповнює порожнину [18-23].

Радіоактивний метод - базується на відмінності в здатності речовин послаблювати, поглинати або відбивати радіоактивні випромінювання, широко використовується для знаходження лінійних габаритних розмірів. Метод дає можливість виконувати безконтактні вимірювання, що зумовлює досить широке застосування для вимірювання розмірів об'єктів в безперервних ТП або за відсутності прямого доступу до границь вимірюваного об'єкту. Прилади, що базуються на даному методі, зазвичай містять в структурі джерело та приймач радіоактивного випромінювання, для перетворення інтенсивності відбитого випромінювання в електричний сигнал [18-23].

Електрокондуктометричний метод вимірювання лінійних габаритних розмірів базується на використанні відмінності між питомою електропровідністю середовищ, що розташовані на різних сторонах границь вимірюваного розміру. Метод зазвичай застосовують для вимірювання кутів повороту різних об'єктів, рівнів електропровідних рідких речовин, а також для визначення товщини електропровідних об'єктів при одностороннього доступі.

Тепловий (або термокондуктометричний) метод вимірювання габаритних розмірів базується на відмінності теплових властивостей речовин, що утворюють границі вимірюваного об'єкту. Для вимірювання діаметрів метод не

використовується.

Магнітний метод вимірювання використовується головним чином для знаходження товщини феромагнітних об'єктів чи немагнітних покриттів на феромагнітній основі при односторонньому доступі до вимірюваного об'єкту.

Ємнісний метод вимірювання базується на відмінності діелектричної проникності середовищ, що знаходяться на різних сторонах границь вимірюваного об'єкту. Метод є досить універсальним, має широке використання, зокрема для визначення діаметрів (зовнішніх чи внутрішніх) об'єкту.

Найточнішими методами вимірювань кутових чи лінійних розмірів об'єкту є саме спектрометричні методи, що базуються на вимірюванні параметрів різних випромінювань у достатньо широкому діапазоні довжин хвиль (ультразвукові, звукові, оптичні, радіохвильові, радіоізотопні), під час взаємодії хвиль з поверхньою досліджуваного об'єкту. Достатньо висока точність вимірювань, характерна для таких методів, зумовлена тим, що в даних методах використовується порівняння вимірюваного розміру об'єкту з лінійними та круговими шкалами, до яких, можливо віднести лінійні шкали електромагнітних та акустичних хвиль, часові шкали на основі атомних генераторів, шкали на основі міжатомних відстаней у сучасних монокристалах тощо [18-23].

Висока точність спектрометричних методів вимірювання зумовлена тим, що відбувається відтворення вихідних сигналів, інформативними параметрами яких є частота, час, число інтерференційних смуг, число довжин хвиль або різниця фаз, які можуть бути визначені з достатньо високою точністю. Особливо широкого використання набули методи, що використовують оптичний і радіохвильовий діапазони довжин хвиль.

Так, ширина спектра випромінювання газових лазерів становить $\Delta\lambda = 10^{-4} \sim 10^{-9} \text{ нм}$, що на приблизно десять порядків менше за ширину спектра випромінювання лампи розжарювання, у яких довжина хвилі - $\Delta\lambda = 10^3 \text{ нм}$. Розхідність газових лазерів складає декілька кутових хвилин, а в разі

використання спеціальних пристроїв досягається розбіжність у декілька кутових секунд.

Спектрометричні методи найчастіше використовуються для виконання більш точних вимірювань кутових чи лінійних розмірів практично у всіх необхідних діапазонах вимірювань. Так, лінійні габаритні розміри за допомогою даних методів можна вимірювати, починаючи із розмірів атомних решіток (або 10^{-12} м) і закінчуючи відстанями, які необхідно визначати при дослідженні космосу [18-23].

Проаналізуємо найпоширеніші спектрометричні методи, до яких відносять інтерферометричний, локаційний та голографічний [26-29].

Інтерференційний метод вимірювання кутових та лінійних габаритних розмірів і переміщень базується на порівнянні вимірюваної величини об'єкта з природною шкалою акустичних або електромагнітних хвиль з використанням інтерференційних властивостей, обумовлених хвильовою природою випромінювання. Класифікують різні модифікації даного методу та досить численні шини інтерферометрів.

Найбільш широко розвинені методи оптичної інтерферометрії, точність і області застосування значно зросли в результаті використання спеціалізованих лазерних джерел випромінювання. Лазерне випромінювання характеризується високою часовою і просторовою когерентністю, є ідеальним джерелом світла для отримання чітких і яскравих інтерференційних картинок, що дає можливість виконувати автоматичний рахунок інтерференційних смуг.

Метод лазерної інтерференції базується на порівнянні вимірюваного розміру об'єкту з встановленою довжиною хвилі випромінювання від стабілізованого за частотою лазера. Лазерні інтерферометри досить успішно використовують не лише в якості лабораторних установок, а й для виконання точних вимірювань у виробничих умовах, особливо у машинобудуванні, де знайшли використання в координатно-вимірювальних машинах, а також для вимірювання різних габаритних розмірів у гнучких автоматизованих

виробництвах. Інтерференційний метод із використанням лазерного випромінювання використовується для вимірювання розмірів об'єкта від сотих мікрометра до кількох десятків метрів [26-29].

Локаційний метод використовується для вимірювання розмірів у різномірних середовищах, заснований на вимірюванні часу проходження хвилею, швидкість якої відома і залишається константою в усьому процесі вимірювань. Практично для виконання локаційного методу можна використовувати всі види випромінювання, проте найбільш широко застосовуються засоби та методи оптичної, радіо- та акустичної локації. У разі використання звукових чи, навіть, ультразвукових хвиль локаційний метод часто носить назву ехо-звукового.

Зазвичай вимірювач та приймач розташовують на одній границі вимірюваного розміру об'єкту, а на іншій границі розташовують спеціальний відбивач або в якості відбивача використовується границя об'єкта вимірювання, до якої і визначається відстань.

Радіо- та оптичні локаційні методи використовують переважно для вимірювань достатньо великих відстаней - від кількох десятків чи сотень метрів до багатьох мільйонів кілометрів [26-29].

Акустична локація використовується в різних середовищах - рідких, твердих чи газоподібних, для вимірювання розмірів чи відстаней в межах від декількох міліметрів до декількох кілометрів, тобто в тому діапазоні, у якому застосування оптичної та радіолокації досить складне через необхідність вимірювати достатньо малі часові інтервали (від 10^{-9} до 10^{-11} с), що пов'язано із досить великою швидкістю руху електромагнітних хвиль або внаслідок достатньо швидкого загасання електромагнітних коливань.

Лінійна швидкість поширення звукових та ультразвукових коливань у повітрі складає приблизно 333 м/с, у морській воді - 1500 м/с, у металах від 3000 до 10000 м/с, тобто приблизно в 5 разів нижча за швидкість поширення електромагнітних коливань, що накладає обмеження використовувати акустичну локацію лише для вимірювання невеликих відстаней [26-29].

Схема конструкції для здійснення локаційного методу містить випромінювач, що випромінює в об'єкт вимірювання сигнал від генератора коливачів. Сигнал, що пройшов через об'єкт вимірювання (або відбитий від об'єкту) надходить на приймач, посилюється підсилювачем і подається на схему вимірювання часу Δt проходження сигналу через відстань L . З виходу схеми отриманий сигнал подається на спеціальний індикатор розміру. Розмір L визначається за наступною формулою [26-29]:

$$L = c \cdot \Delta t, \quad (1.4)$$

де c – усереднена величина швидкості проходження сигналу від випромінювача до приймача.

Або за іншою формулою:

$$L = \sqrt{\left(\frac{c \cdot \Delta t}{2}\right)^2 - \left(\frac{r}{2}\right)^2}, \quad (1.5)$$

де r - відстань між центрами приймачами та випромінювача, якщо вони розташовані в одній площині.

Або за формулою [26-29]:

$$L = \frac{c \cdot \Delta t}{2}. \quad (1.6)$$

Формули (1.4-1.6) допускають різне розташування випромінювача і приймача.

Відносна похибка вимірювання габаритних розмірів за допомогою використання електронно-акустичної апаратури складає в діапазоні від 1 до 5%.

Основними джерелами похибок виконання вимірювання є, неточність

вимірювання часу проходження сигналу через середовище або матеріал об'єкта вимірювання, а також залежність величини швидкості звуку від рівня температури, хімічного складу чи густини середовища [26-29].

1.2 Підбір методу вимірювання товщини полімерної плівки і типу давача

Проведений аналітичний огляд методів вимірювання лінійних розмірів дає можливість виконати вибір методу, який найкраще підходить для реалізації технічного завдання.

Очевидно, що контактні методи мають нижчий пріоритет, оскільки дають можливість створювати пристрої значно із нижчою надійністю, ніж ті, які можна створити на основі безконтактних методів.

Прямі методи вимірювання більш точні, ніж непрямі, але використання непрямих методів значно простіше за конструктивними ознаками.

Всі електромеханічні методи вимірювання розмірів є контактними, тому були виключені із подальшого розгляду.

Спектрометричні методи, базуються на використанні внутрішньоатомних та, навіть, ядерних явищ, на які практично не мають впливу зміни навколишніх умов, особливо перспективні для використання при вимірюванні геометричних розмірів. Дані методи дають можливість створювати достатньо чутливі та точні засоби вимірювання, але при цьому складність та досить висока вартість таких засобів вимірювання обмежують широке використання спектрометричних методів [18-29].

Електрофізичні методи, що базуються на використанні інтегральних властивостей речовини, таких як теплопровідність, електропровідність, магнітна та діелектрична проникність тощо часто привертають увагу розробників через наступні переваги: висока чутливість та точність, простота використання, хороша пристосованість до умов промислового виробництва.

З електрофізичних методів вимірювання розмірів дедалі більшого

значення і розвитку набувають ємнісні методи вимірювання. Вони володіють багатьма перевагами, що робить такі методи особливо доцільними в машинобудуванні та інших галузях. Дані методи, також мають обмеження і певні недоліки і тільки при правильній оцінці позитивних та негативних сторін методу можливо отримати потрібний результат.

Ємнісні методи вимірювання розмірів базуються на застосуванні ємнісних первинних ВП (або давачів), які відносяться до найважливішої групи пасивних давачів, також носять назву модуляторів або параметричних. Зазначена група носить назву - група імпедансних давачів, де термін імпеданс - опір змінній силі струму. Даний опір може бути по величині таким самим, як і для постійної сили струму, тобто активним опором, у якому енергія електричної сили струму перетворюється, наприклад, на теплову енергію.

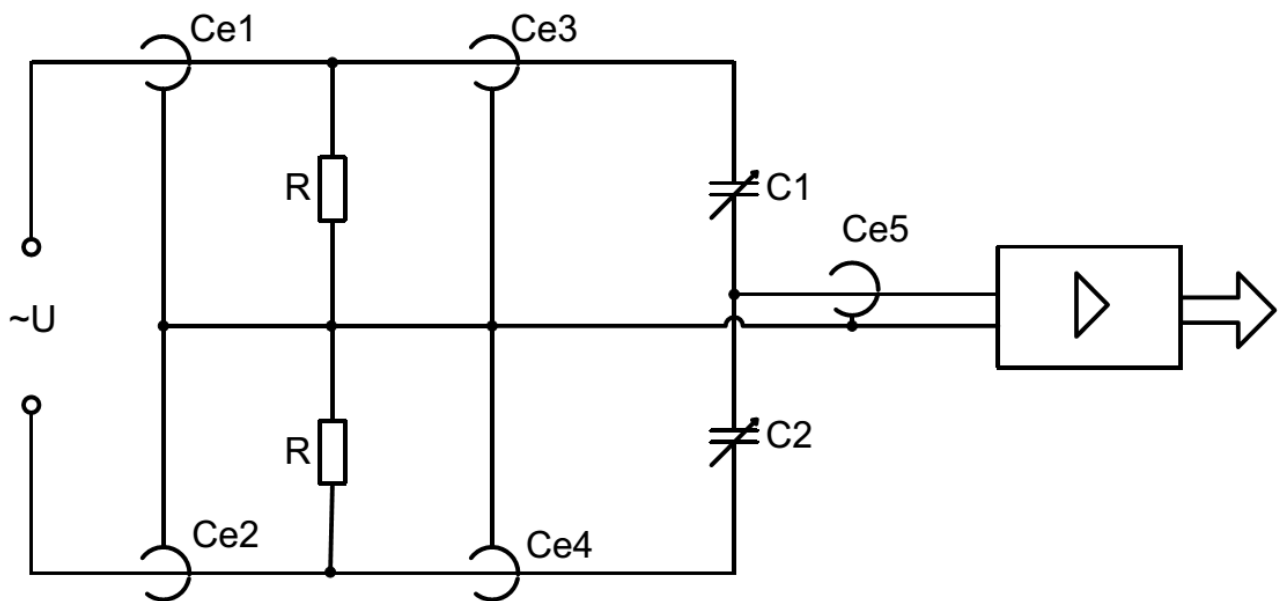


Рисунок 1.3 – Загальний вигляд мостової схеми включення для диференціального ємнісного перетворювача [18, 19]

В іншому випадку це може бути опір котушки (або точніше індуктивний опір), який зростає із частотою, але не споживає активної потужності, оскільки спричиняє запізнювання фази сили струму на чверть періоду відносно фази напруги. Опір, створюваний за допомогою використання ємності, або так званий

ємнісний опір, також не споживає активної енергії і спричиняє запізнювання фази напруги на чверть періоду відносно фази сили струму. Проте необхідно пам'ятати, що опір може бути і змішаним, тобто включати в себе всі наведені вище складові і тому може мати для різних частот абсолютно різну величину.

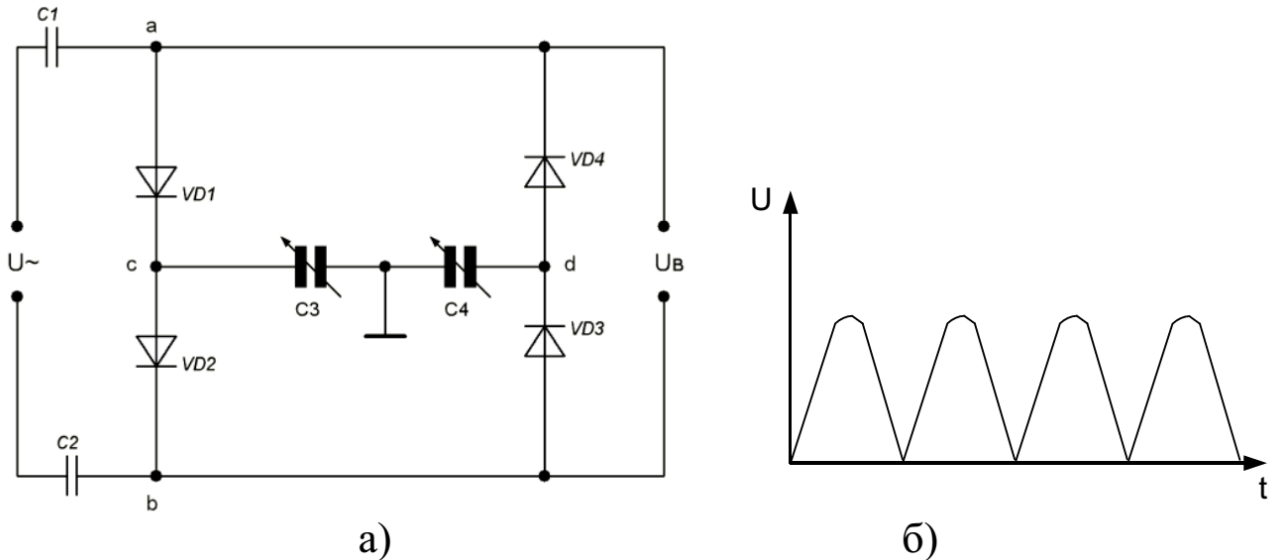


Рисунок 1.4 – Загальний вигляд діодної схеми включення для диференціального ємнісного перетворювача

З використанням ємнісних давачів можливо виконувати вимірювання за допомогою тих самих приладів, що й у разі використання інших імпедансних давачів, особливо заснованих на зміні рівня індуктивності, а іноді й на зміні величини активного опору. В такому випадку полегшується розробка конструкції найскладніших пристроїв, у яких не можливо обійтися лише використанням ємнісних давачів. У такому випадку можна за наявності одного приладу користуватися досить великим вибором давачів.

Властивості, якими повинен володіти давач вельми різні й часто суперечливі. Розглянемо, принаймні найважливіші і вкажемо, як вони виражені у ємнісних давачів порівняно з іншими типами давачів:

- зручна форма залежності між вихідною і вхідною величинами, зазвичай лінійна. Ємнісні давачі дають можливість реалізувати не лише лінійні, а й будь-які інші форми залежності, особливо логарифмічні, експоненціальні,

гіперболічні, степеневі тощо;

- однозначність залежності між вихідною та вхідною величинами, без гістерезису. Даний тип властивості обумовлено суто конструктивними і технологічними характеристиками і не пов'язано із принципом дії давача, так що дана вимога може бути добре виконана у більшості типів давачів: проте слід пам'ятати, що вимога не повністю виконується у давачів, дія яких заснована на зміні властивостей твердого діелектрика (наприклад, залежності від рівня температури), де іноді з'являється явище гістерезис;

- стабільність характеристик у часі також залежить від типу давача: у повітряних конденсаторів - задовільна, діелектричні давачі - нестабільні;

- чутливість ємнісних давачів важко порівняти з чутливістю давачів інших типів. За звичайних умов чутливість таких давачів приблизно дорівнює чутливості інших імпедансних давачів (порівнюючи, наприклад, мікрометри, засновані на різних принципах). Величина вихідного сигналу може коливатись в межах від декількох мілівольт до одного вольт, проте, за необхідності можливо домогтися величини і в декілька вольт;

- односпрямованість дії - навантаження вихідного ланцюга не повинно спричиняти вплив на неелектричну величину, що вимірюється. У ємнісного типу давачів дана умова виконується ідеально.

- мала стала часу - більшість типів ємнісних давачів дає можливість отримати меншу сталу порівняно з іншими давачами; кращими в такому випадку є тільки фотоелектричні та радіаційні давачі;

- здатність до великого перевантаження, також є властивістю суто конструктивною і, рідко коли можливо взагалі перевантажити давач. Поки давач утримує дане зусилля, вихідному електричному ланцюга перевантаження не буде загрозувати;

- найменший вплив зовнішніх незалежних факторів на характеристики. Рівень температури, положення, величина вібрація тощо мають впливають, який можливо врахувати під час конструювання. Тільки давачі, засновані на явищі

зміни діелектричної сталої різних матеріалів, бувають, чутливі до зміни рівнів температури;

- технологічність та простота конструкції. Ємнісний тип давачів якраз ідеально підходить для конструювання і виробництва: переважну більшість давачів можливо виготовити на звичайних верстатах, наприклад, на токарних;

- стійкість щодо атмосферних, хімічних чи інших типів впливів також є властивістю конструкції, ніяк не обмежена принципом дії давачів;

- простота встановлення та експлуатації, ємнісний тип давачів можуть виготовляти як звичайні деталі типу арматури тощо;

- можлива взаємозамінність окремих зразків, точність дотримання параметрів під час виготовлення значно вища за встановлену. Тому ємнісний тип давачів відрізняється від аналогічних індуктивних або давачів опору;

- вимога не використовувати дефіцитних металів чи речовин, шкідливі для здоров'я люди-оператора, тварин або для навколишніх матеріалів чи середовищ.

Із вище наведеного зрозуміло, що ємнісний тип давачів добре відповідає більшості перерахованих вимог [18-29].

1.3 Висновки до першого розділу

В першому розділі кваліфікаційної роботи магістра було розглянуто проблематику автоматизованого контролю якості полімерної плівки. А саме проведено огляд та аналіз технічних та технологічних рішень вимірювання товщини полімерної плівки, на основі якого виконано підбір методу вимірювання товщини полімерної і типу давача для виконання цього завдання.

2 ПРОЄКТУВАННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ВИГОТОВЛЕННЯ ПОЛІМЕРНОЇ ПЛІВКИ

2.1 Завдання, які вирішуються при побудові приладу з ємнісним перетворювачем

Загально відомо, що товщиномір, як і будь-який інший прилад для вимірювання неелектричних величин, складається з двох базових частин: первинного вимірювального перетворювача (ПВП) та ВП. Відповідно, ємнісний тип товщиноміру складається з ЄВ, що відповідає за перетворення поперечних розмірів виробів в величину ємності, та вимірювача величини ємності, шкала якого відградує в одиницях вимірюваної величини. Якість та особливості ємнісних мікромірів насамперед визначаються технічними параметрами самих ємнісних перетворювачів [30-34].

За принципом дії ЄВ відносять до класу пасивних, або інакше параметричних перетворювачів, тобто таких, що базуються на зміні величини ємності під дією вимірюваної величини. На відміну від принципу роботи активних перетворювачів, що генерують у процесі роботи слабкий електричний сигнал, пасивні перетворювачі завжди має в своєму складі зовнішнє джерело живлення. Так як вихідний опір ємнісного перетворювача (ЄП) знижується із зростанням частоти напруги живлення, то рівень напруги доцільно вибирати досить високим, проте при цьому зростає вплив різних зовнішніх перешкод. Тому ЄП, що використовуються в спеціальних нутромірах, живляться змінною силою струму порівняно низької частоти, як правило, що лежить у діапазоні від 1 до 10 кГц. Електричні поля та сили струму при частотах є квазістаціонарними, що впливає з критерієм $e \ll \lambda$, де e – найбільший розмір вимірювального пристрою; λ - довжина хвилі напруги живлення, при частоті $f = 3$ кГц. Звідки:

$$\lambda = \frac{c}{f}; \quad (2.1)$$

$$\lambda = \frac{3 \cdot 10^8}{3 \cdot 10^3} = 10^5 \text{ м.}$$

Оскільки розмір вимірювального пристрою менший за метр, то довжина хвилі змінної сили струму приблизно в 5 разів перевищує розмір пристрою для вимірювання. Дані розрахунки підтверджують квазістаціонарність поля, з якої випливає, що параметри, характеризують роботу ЄП, вважатимуться стабільними. Якщо ця умова виконується під час виконання вимірювання, тоді приймається гіпотеза, що кожен із провідників практично екіпотенційний, і для виконання аналізу процесів у перетворювачах та розрахунку поля та величин ємностей може бути застосована аналогія між електростатичним і електричним полями.

ЄП, як і будь-які інші, мають власні переваги і недоліки. До переваг ЄП відносяться: простота конструкції, висока чутливість, незначні маса і габарити, низька інерційність та похибка від впливу магнітних і електричних параметрів виробів, суттєво малий зворотний вплив на об'єкт, що вимірюється. Основними недоліками ЄП є: похибка від впливу навколишнього середовища та інших факторів, значний внутрішній опір, необхідність ретельного екранування провідників та вжиття всіх можливих заходів для зниження впливу паразитних ємностей та зовнішніх електромагнітних полів. Як очевидно з технічної літератури [18-23, 26-34] з даного питання, суттєвого прогресу при розробці ємнісних нутромірів, вдається досягти через ефективне використання переваг ЄП, кінцева ціль якого – визначення необхідних конструктивно–технологічних параметрів, а також вимог до допустимих відхилень отриманих показників від номінальних значень. Для досягнення вказаної цілі необхідно:

- знайти номінальну статичну характеристику ЄП та відносну чутливість;

- вибрати форму та тип ЄП;
- визначити часткові похибки ЄП при відхиленні отриманих показників, від номінальних значень;
- визначити залежність ємності ЄП від геометричних параметрів об'єкта вимірювань та отриманих показників;
- визначити умови, за яких сумарна похибка ЄП не перевищує вказану.

За відомими параметрами ЄП та об'єкта досліджень може бути визначений діапазон зміни ємності ВП, виходячи з якого буде обрано необхідний вимірювач ємності [30-34].

Слід відмітити, що зазначені вище завдання є занадто розмитими, щоб мати можливість вирішення в рамках однієї кваліфікаційної роботи, тому ми розглядаємо лише питання, описані в технічному завданні.

2.2 Аналіз переваг та недоліків ємнісних давачів

Вимірювана неелектрична величина може бути певним технологічним параметром конденсатора, наприклад, при вимірюванні ексцентриситету маховика преса змінюється зазор між краєм маховика та встановленою нерухомою обкладкою. Однак вимірювану неелектричну величину можна також перетворювати в зміну величини ємності плоскопаралельного конденсатора, як, наприклад, при контролі товщини текстильних волокон, до яких прилягає ролик, що транспортує на собі пластину конденсатора. Іншим прикладом роботи може бути вимірювання ємності мембрани, що прогинається, відносно нерухомо встановленого електрода; діелектрична проникність будь-якої речовини може бути змінною під впливом рівня температури; крім того відомо, що діелектрична проникність може визначатись складом суміші, що використовується при аналізі складу газів та рідин [18-21].

Більш складним є конденсатор із діелектриком, що має втрати, дані втрати можуть залежати від величини тиску, рівня температури або концентрації

речовини. Залежність втрат діелектрика від впливу частоти можна вважати ще однією суттєвою характеристикою, що визначає головні властивості діелектрика.

Основна перевага ємнісних методів у порівнянні з подібними методами полягає в тому, що конденсатори можна виготовляти з достатньо високою точністю та низькими втратами; отже, конденсатор може бути майже ідеальним порівняно з котушкою індуктивності. Якість конденсатора найкраще характеризується сталою часу, тобто, добутком величини ємності та активного опору; значення сталої часу у паперових конденсаторів досягає кількох тисяч, у керамічних та слюдяних – ще більше. При напрузі змінної сили струму якість конденсатора найкраще характеризувати наступним виразом [30-34]:

$$Q = \omega \cdot R \cdot C = \omega \cdot \tau, \quad (2.2)$$

де ω - частота змінної сили струму; R, C – відповідно активний опір та ємність конденсатора; τ – стала часу.

Активний опір на високих частотах змінної сили струму визначається не лише ізоляцією, а й включає в себе і інші типи втрат, особливо на діелектричний гістерезис, і тому зростає не пропорційно до зростання частоти.

Коефіцієнт Q – може сягати навіть декількох сотень тисяч, тобто, можна виготовити майже ідеальний конденсатор. Досить часто поле конденсатора, отже, і величину ємності можна розрахувати чи навіть оцінити графічно-аналітичним методом.

Велика перевага конденсатора в якості давача в порівнянні з котушкою індуктивності або давача опору полягає в тому, що механічні зусилля в конденсаторному давачеві (тобто величина впливу електричної схеми на механічну) дуже низькі і ними можливо знехтувати. Сила взаємодії двох паралельних пластин, які є стандартною формою конденсатора, визначається за наступною формулою [30-34]:

$$F = \frac{\varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot S \cdot U^2}{2 \cdot d^2}. \quad (2.3)$$

Наприклад, дві пластини площею 100 см² розташовані в повітрі на відстані 1 мм, заряджені до різниці фаз в 100 В, притягуються з силою приблизно в 0,4 мН, це відповідає вазі 40 мг.

Великою перевагою ємнісних давачів є можливість легкого пристосування форми конденсатора до виконання різних завдань, що за допомогою однієї вимірювальної електричної схеми виконувати різноманітні виміри неелектричних величин.

Суттєвим недоліком ємнісних методів вимірювання є досить низька ємність конденсаторів, що використовуються в якості давачів. В залежності від обставин дана ємність коливається від сотень і максимум, тисяч пікофарад, до сотих і тисячних сотих, або в якості винятку мільйонних часток пікофаради. Тому для виконання вимірів переважно використовувалися раніше високочастотні методи, які через свої недоліки викликали багато критики і проти ємнісних давачів.

Іноді недоліком могли бути точність виготовлення конденсатора, яка може бути змінена під впливом навколишнього середовища, тобто, рівня вологості, рівня температури, вібрації, грубого поводження.

Ємність, що входить в структуру ланцюга змінної сили струму, поводить як реактивний опір, тим менше, чим вона більша і чим вища частота змінної сили струму. Дана залежність виражається наступною формулою [30-34]:

$$X_c = \frac{1}{\omega \cdot c} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot c} = \frac{0,165}{f \cdot c}. \quad (2.4)$$

Як відомо, ємнісний опір володіє певною властивістю, що протікання по ньому електричної сили струму не супроводжується виділенням тепла. Напруга

та сила струму у ємнісному давачеві не знаходяться у співпадинні фаз; напруга на чверть періоду відстає від сили струму. Ємнісний давач, отже, не буде нагріватись та при використанні високого рівня вимірювальної напруги.

У реальному конденсаторі кут зсуву, на який напруга відстає від сили струму, становить не рівно 90° . Величина кута зсуву може бути визначена згідно із формулою 2.2, що виражає зв'язок між частотою сили струму та сталою часу конденсатора. При $Q=10$ кут втрат – $5^\circ 45'$, що відповідало б дуже поганій конструкції конденсатору. При $Q=100$ кут втрат складає всього лише $34'$ але навіть такі вимірювальні конденсатори не можуть використовуватись на практиці.

У гарної конструкції конденсатора Q - більше тисячі, відповідно, кут втрат нижчий за $3'$, а у конструкцій конденсаторів із твердим діелектриком кут втрат складає менше $1'$. У конденсаторів, що використовуються в якості вимірювальних давачів, точність ще вища. Значення даного кута краще відобразити, якщо графічно зобразити ємнісний (реактивний) опір конденсатора одним катетом трикутника, а паралельний (активний) опір втрат за допомогою іншого катету.

Оскільки ємнісний (реактивний) опір конденсатора при частотах, що використовуються на практиці, складає не більше декількох десятків або сотень МОм, тоді як активний опір ізоляції перевищує на багато порядків.

У конструкції плоскопаралельного конденсатора, найлегше розрахувати величину ємності, яка є пропорційною площі діелектрика та обернено пропорційною величині зазору. Якщо залишимо величину зазору сталою, то зі зростанням площі пластин буде зростати ємність і спадати опір. Аналогічно при сталому значенні площі пластин конденсатору зі зменшенням величини зазору зростатиме ємність та опір спадатиме. Відомо, що тангенс кута втрат є характеристикою діелектрика, яка не залежить ні від форми ні від розмірів конденсатора.

2.3 Обґрунтування вибору контрольованого параметра ємнісного давача

Якщо звернутися до формули для конструкції плоского ємнісного конденсатора, то необхідно відмітити, що для вимірювання неелектричної величини можливо виконувати зміну площі частини діелектрика, охопленої електродами, відстань між встановленими електродами, діелектричну проникність (або інакше діелектричну постійну) чи навіть кут втрат. Дані обставини можуть бути використані для виконання вимірювання величин.

Під величиною S ми розуміємо не лише власну площу пластин конденсатора, а в більшій мірі змінну площу діелектрика, загальну для обох встановлених електродів. Тобто діелектрична рідина заповнює простір між встановленими нерухомими електродами, замінюючи собою вакуум або газ. Інша велика група давачів, робота яких базується саме на зміні площі обкладок - це давачі кутових і лінійних переміщень. З ними тісно пов'язані функціональні генератори, тобто електричні схеми, на виході яких отримуємо різні форми напруги, що найбільш часто використовуються при виконанні вимірювання.

В якості прикладу давача лінійного переміщення можна привести давач шляху руху поршня в циліндрі пристрою для зняття діаграм рівнів тиску теплових двигунів; давач утворений рухомим конденсатором. Статор та ротор виконані у вигляді коаксіальних циліндричних поверхонь, таким чином, що їх можна всувати один в одного. Така конструкція дозволяє отримати величину ємності близько одного пікофараду. Проте необхідно при виготовленні точно витримати співвісність та концентричність обох електродів.

Аналогічно виконується визначення обертового руху. Зубчасте колесо або рейка періодично змінює власну величину ємності відносно нерухомо встановленого електрода; для вимірювання величини швидкості обертання колеса можливо застосовувати нерівномірності на колі колеса (сегменти балансування або шліци).

Швидкість обертового руху можливо визначити за допомогою

використання двох електродів, що мають форму напів циліндрів, так що при обертанні величина ємності спочатку рівномірно зростає, а в другий напів період рівномірно спадає.

Перевагою ємнісного методу вимірювання є те, що будь-який закон зміни функції можна аналітично визначити заздалегідь з достатнім ступенем точності, а потім і виконати шляхом виготовлення електрода відповідно до аналітики.

На зміні величини відстані між встановленими електродами засновані насамперед ємнісні мікрометри. Якщо використовувати відносно малі площі пластин конденсатору (менше за 10 см^2), то при величині відстані між пластинами конденсатору в один міліметр величина ємності складе приблизно дев'ять пікофарад, а при зміні величини зазору на одну десяту міліметра, тобто, на десять відсотків дана величина ємності також зміниться на десять відсотків. Якщо вибрати величину зазору на порядок нижчою, то величина ємності буде рівною дев'яносто пікофарад, а оскільки величина зміни в один пікофарад визначається ще досить надійно, то виконання вимірювань у даному випадку можна виконувати з чутливістю (а при ретельному виготовленні конденсатору і з точністю) вище, ніж у один мікрометр.

Найбільша група вимірювань заснована якраз на зміні величини діелектричної проникності. До даної групи вимірювань відносять і ємнісний рівнемір, згаданий вже серед конденсаторів зі змінною площею середовища діелектрика. Зміна величини ємності в даному випадку пропорційне висоті рівня діелектрика. Змінюючи форму встановлених електродів, можна отримати функції, відмінні від лінійної, наприклад, коли перетин посудини не є константою, а необхідно отримати значення, пропорційні кількості речовини, а не висоті рівня речовини. Інша велика група вимірювань, що базується на визначенні діелектричної проникності, контролює сталість складу діелектричних матеріалів, наприклад, слюди. Якщо виміряти величину ємності між встановленими електродами певної площі і якщо, відома величина відстані між встановленими електродами, можливо визначити діелектричну проникність і

сталість складу діелектрику.

Величину відстані між встановленими електродами або товщину матеріалу об'єкту можливо вимірювати повітряним конденсатором, встановлені пластини якого розсуваються відповідно до товщини матеріалу об'єкту.

Цікавим різновидом речовини діелектрика є рідина, що включає дрібні бульбашки або навіть краплі з іншою діелектричною проникністю. Величина діелектричної проникності рідини, що включає в свій хімічний склад, наприклад, 0,1% повітря відрізняється на 0,15% від вихідного складу. Таким чином, шляхом вимірювання величини ємності можна виконувати із високою чутливістю індикацію забруднення рідини діелектрика сторонніми домішками.

При змінної поляризації у кожному реальному діелектрику виникають певні втрати енергії, які вважатимуться величиною, що може характеризувати діелектрик. Втрати можуть залежати від рівня температури, величини напруги, рівня частоти, рівня тиску та інших величин, які, можливо аналітично визначити шляхом вимірювання тангенсу кута діелектричних втрат. Найчастіше вимірювання кута втрат використовується для визначення складу суміші, особливо в тому випадку, коли необхідно визначити вологість деяких матеріалів.

Виконаний аналіз існуючих типів ЄП дозволяє провести вибір параметра ємнісного давача для реалізації теми кваліфікаційної роботи. В якості параметра найзручніше використовувати величину відстані між встановленими обкладками конденсатора, а в основу конструкції ємнісного давача покласти коаксіальні циліндри, що і будуть виконувати функції обкладок вимірювального конденсатора.

Схеми включення ємнісних давачів [30-34].

Величина ємності більшості ЄП складає в діапазоні від 10 до 100 пФ, і тому інші при відносно високих частотах напруги живлення (в діапазоні від 10^5 до 10^7 Гц) вихідні опори великі і рівні згідно формули 2.4:

$$X_c = \frac{1}{\omega \cdot c} = 10^3 \sim 10^7 \text{ Ом.}$$

Вихідні потужності ЄП відносно малі, і в вимірювальних пристроях необхідно використовувати спеціальні підсилювачі. Допустимі значення напруги живлення ЄП досить високі і напруга живлення, як правило, обмежується неможливістю перетворення напруги, а умовою створення спеціального вимірювального ланцюга (СВЛ).

Основною складністю побудови СВЛ з ЄП є захист від виникнення наведень. Для цих цілей як самі ЄП, так і всі сполучні лінії повинні ретельно екрануватись.

Однак екранований провід має ємність між жилою та встановленим екраном (близько 50 пФ/м), яка при невдалому виборі точки приєднання екрану може виявитися під'єднаною в СВЛ паралельно ємності перетворювача. При цьому різко спадає чутливість перетворювача, оскільки відносна зміна величини ємності знижується на величину згідно формули [30-34]:

$$x = \frac{\Delta C_0}{C} - \frac{\Delta C_0}{(C_0 + C_e)}. \quad (2.5)$$

В такому випадку виникає дуже суттєва за значенням похибка, викликана нестабільністю величини ємності C_e , оскільки будь-які зміни величини даної ємності сприймаються як зміна робочої величини ємності ΔC_0 . Тому при побудові СВЛ з ЄП насамперед звертається увага на виключення будь-яких паразитних ємностей.

Крім цього слід увагу звертати на лінійну характеристику залежності вихідного параметра СВЛ від вимірюваної величини, що ЄМ є перетворювачами високоомними, а величина, що вимірюється, може бути пов'язана лінійним характером залежності як з опором ЄП при вимірюванні величини зазору δ , при

зміні площі обкладок S або величини діелектричної проникності ε .

Для роботи з ЄП використовуються СВЛ, в основу яких покладені різні структури: спеціальні вимірювальні мости, дільники напруги, резонансні контури, ємнісно-діодні ланцюги. Найчастіше у складі сучасних СВЛ включають також операційні підсилювачі (ОП). Наприклад, використовується електрична схема ланцюга із ОП, побудована за принципом дільника напруги. В даному випадку $U_{вих} = \frac{U_c \cdot C_1}{C_2}$. Очевидно, за допомогою такого типу СВЛ зручно

перетворювати на величину напруги зміну величини зазору між встановленими обкладками конденсатора C_2 [30-34]:

$$U_{вих} = U_c \cdot \frac{C_1 \cdot \delta_2}{\varepsilon_0 \cdot S_2}, \quad (2.6)$$

де S_2, δ_2 – відповідно площа встановлених пластин та величина зазору конденсатора C_2 ; ε_0 – діелектрична проникність повітря константа.

За допомогою даного ж СВЛ зручно перетворювати на напругу зміну площі обкладок конденсатора C_1 :

$$U_{вих} = U_c \cdot \frac{\varepsilon_0 \cdot S_1}{C_2 \cdot \delta_1}, \quad (2.7)$$

де S_1, δ_1 - відповідно площа встановлених пластин та величина зазору конденсатора C_1 .

В обох випадках залежність величини вихідної напруги від вимірюваної величини матиме лінійний характер.

Існують схеми, в яких величини ємності екранованих проводів практично не впливають на роботу ВП.

Диференціальні ЄП під'єднуються переважно у мостові ВЛ. Існують електричні схеми ВЛ, що складаються із мостів з індуктивно-зв'язаними плечима.

Наприклад, вихідний сигнал у ВЛ може бути поданий на вхід повторювача напруги, виконаного на ОП. У даному випадку величина вихідної напруги буде рівною [30-34]:

$$U_{вих} = U_2 \cdot \frac{C_1 - C_2}{C_1 + C_2}. \quad (2.8)$$

Величини ємності C_1, C_2 екранованих проводів, що з'єднують давач із трансформатором, паралельно включені напівобмоткам трансформатора і не мають суттєвого впливу. Для зменшення впливу величини ємності екранованого дроту, що з'єднує давач із підсилювачем, використовується спеціальна еквіпотенційна схема захисту. Для цього зазвичай використовується провід із подвійним екраном.

Необхідність у використанні двох екранів відпадає при під'єднанні виходу моста до входу, що виконує інвертування. Оскільки різниця потенціалів на цьому вході підсилювача прямує до нуля, то сила струму між проводом, приєднаним до цього входу, і екраном, що його оточує, буде також рівною нулю. Визначити можливо з наступної формули [30-34]:

$$U_{вих} = U_2 \cdot \frac{C_1 - C_2}{C_3}. \quad (2.9)$$

Існує модифікація мостової електричної схеми при ємнісному струмоznіманні з встановленої рухомої пластини.

Загальним недоліком перерахованих схем є те, що вони можуть бути рекомендовані тільки для давачів, у яких усі встановлені пластини ізольовані від

корпусу, що на практиці важко реалізувати. При заземленні однієї із встановлених пластин (зазвичай встановленої рухомої пластини) бажано елементи ВЛ розташовувати в одному корпусі з давачем.

Іноді доцільно використовувати ВЛ із спеціальним резонансним контуром. Подібні ВЛ живляться від джерел із сталою частотою ω_0 . При зміні величини ємності перетворювача опір контуру змінюється відповідно до резонансної кривої і досягне свого максимуму при виконанні наступного відношення [30-34]:

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{L \cdot C}}. \quad (2.10)$$

На схилах резонансної кривої можливо обрати ділянку, яка більш-менш наближається до лінійних характеристик.

$$\begin{aligned} C &= C_0 \pm \Delta C \\ \omega_0 &= k \cdot \sqrt{\frac{1}{L \cdot C}} \\ Q &= \frac{\omega_0 \cdot L}{R_1} \\ \rho &= \sqrt{\frac{L}{C}}, \end{aligned} \quad (2.11)$$

Тоді величину напруги на контурі можливо виразити наступним співвідношенням [30-34]:

$$\frac{U_k}{U_{num}} = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{1}{Q^2 \cdot \left[1 + k^2 \cdot \left(1 + \frac{\Delta C}{C_0} \right) \right]^2}}}. \quad (2.12)$$

Більш детально схеми ВЛ та рекомендації щодо використання представлені в технічній літературі [18-23, 26-34].

Зменшення величини похибок від впливу паразитних опорів та перешкод у ВЛ.

Точність вимірювання необхідних параметрів електричних ланцюгів в значній мірі визначається саме способом підключення об'єкта до ВЛ приладу, що пояснюється наявністю у приєднувального ланцюга цілого ряду паразитних параметрів, які в свою чергу обумовлені опорами проводів, що приєднуються, паразитними ємностями монтажу, індуктивностями і взаємними індуктивностями, це призводить до спотворення результатів вимірювання, що викликає необхідність використання різних конструктивних та схематичних заходів захисту від зовнішніх впливів.

Найбільш простою електричною схемою включення є 2-затискна. Дана схема найбільше схильна до впливу зовнішніх паразитних параметрів. Вплив послідовних і паралельних імпедансів елементів, що приєднуються, може бути знижено шляхом зменшення розмірів приєднувального ланцюга або створенням спеціальних приєднувальних пристроїв жорсткої конструкції, наприклад, як в ємнісно вимірювальній системі 1621 фірми General Radar Corp. [35], в якій вимірювана величина ємності підключається до 2-затискного коаксіального розніму.

Вплив електричних та магнітних полів можливо знизити, використовуючи спеціальний захисний екран, з'єднаний з одним із затискачів вимірюваного об'єкта, що дозволяє стабілізувати ємнісні зв'язки з навколишнім середовищем і, усунути зовнішній вплив розрахунковим шляхом або компенсацією ВЛ.

2-затискна схема підключення об'єкта, що вимірюється, використовується у вимірювачах індуктивностей та ємностей резонансного типу E7-5A [36], E7-9 [37] та у вимірювачах E4-7 [38], E4-7A (BM – 560), E4-10 [39], E4-11 [39], E4-12 [39] Похибка вимірювання за допомогою даних приладів коливається в діапазоні від 15 до 20% і зростає зі збільшенням частоти напруги.

При використанні 3-затискної схеми підключення об'єкт, що вимірюється, і приєднувальні ланцюги монтуються в спеціальний екран, що крім того ізолюваний від обох затискачів. Така конструкція дозволяє виключити вплив електричних полів та витоків на корпус приладу, що забезпечує можливість створення зразкових вимірювальних пристроїв малої ємності.

3-затискна схема включення використовується у вимірювачах величини ємності типу E8-1, E8-2 [40], в універсальному мості типу E7-4 [41]; зразкових ВП типу P596 [42], P597 [43], КМЕ-11 [44] та ін.

4-затискна схема підключення усуває вплив послідовних паразитних імпедансів і передбачає наявність в конструкції двох пар затискачів: двох струмових та двох потенціальних. До струмових затискачів об'єкта, що вимірюється, підводиться сила струму з джерела живлення із стабілізатором, потенціальні затискачі підключаються до ВЛ із великим вихідним опором, що виключає вплив проводів приєднання та затискачів струмового ланцюга. Це дозволяє виконувати вимірювання дуже малих опорів (в діапазоні від 10^{-4} до 10^{-7} Ом).

Застосування конструкція 4-затискних схем включення знайшли у вимірювачах неперехідних опорів контактних з'єднань: міліометрах типу E6-12 [45], E6-15 [46], E6-18 [47]; цифрових мікроометрах типу DMO310 фірми A.P.T. ELECTRONICS LTD [48].

Існує варіант 4-затискного елемента ланцюга, укладеного в ізолюваний від затискачів екран, що утворює спеціальну 5-затискну схему підключення, що поєднує всі переваги три- та 4-затискних схем підключення ВП.

Незважаючи на складність виконання, 5-затискні схеми включення об'єкта, що вимірюється, знаходять досить широке використання в точних вимірювачах (індуктивностей, ємностей чи опорів) різного виробництва: універсальних мостових вимірювачах типу E7-8 [49], E7-11 [50], E7-10 [51], P5016 [52], P50/20 [53]; автоматичному цифровому приладі типу 1683 фірми General Radar [35]; вимірювачах ємності типу E8-4, E8-5 [40]; точному напівавтоматичному мосту

ВМ – 483 фірми TESLA BRNO [54] та ін.

Проте 5-затискне підключення об'єкта, як і 4-затискне, виключає вплив взаємоіндукції та опорів проводів приєднання. Для зниження даного впливу підключення об'єкта виконується за допомогою використання екранованих коаксіальних кабелів. При цьому використовують 2-парне, 4-парне та багатопарне підключення об'єкта.

Використання спеціальних коаксіальних кабелів дозволяє пропускати по зовнішніх обплетеннях і відповідних центральних жилах протилежно спрямовані, але рівні за значенням сили струму, що усуває зовнішнє магнітне поле кожного окремого коаксіального кабелю і, отже, виникнення взаємоіндукції між кабелями. Перевагою 2-, 4- та багатопарних підключень є також те, що вони дозволяють зберігати інші переваги, притаманні 3-, 4- та 5-затискним схемам підключення об'єкту відповідно.

Для забезпечення захисту від виникаючих перешкоди при вимірюваннях та отримання достовірних результатів досліджень потрібно використовувати парне (2-, 4- та багато-) підключення об'єкта вимірювань.

2.4 Опис об'єкта контролю – полімерної плівки

Об'єктом контролю є поліетиленова рукавна плівка, яка нормується згідно із ISO/WD TR 19032 [16] і ISO 527-3 Tensile Test on Plastic Film [17].

Даний державний стандарт поширюється на поліетиленову плівку, виготовлену методом екструзії з поліетилену високого тиску (і відповідно, низької щільності), а також композицій на основі поліетилену, що містять стабілізатори, барвники, антистатичні, ковзаючі та модифікуючі добавки.

Поліетиленова плівка використовується в сільському господарстві, в водогосподарському та меліоративному будівництві; для виготовлення споживчих товарів; в якості пакувального матеріалу у різних галузях господарства.

В залежності від призначення та вихідної композиції поліетиленову плівку випускають наступних марок [16, 17]:

Т - для виготовлення виробів технічного призначення, пакування та комбінованих плівок; захисних укриттів; будівництва тимчасових споруд; випускають - пофарбовану та нефарбовану, нестабілізовану та стабілізовану;

М - для виготовлення транспортних мішків та інших виробів, що вимагають використання полімерних плівок найвищої міцності, випускають - пофарбовану та нефарбовану, нестабілізовану та стабілізовану;

СК - для використання лише в сільському господарстві під час консервації кормів; випускають – пофарбовану/нефарбовану та нестабілізовану;

СТ - для використання в сільському господарстві в якості світлопрозорого атмосферостійкого покриття спеціалізованих споруд (наприклад, теплиць чи парників); випускають – стабілізовану та пофарбовану/нефарбовану;

СІК - для використання в сільському господарстві в якості світлопрозорого атмосферостійкого покриття теплиць, що забезпечує підвищений тепличний ефект; випускають – стабілізовану з адсорбентом ІЧ-випромінювання та нефарбовану;

В, В¹ - для використання в якості протифільтраційних екранів в меліоративному та водогосподарському будівництві; В - випускається високомолекулярною, нефарбованою, комплексно стабілізованою; В¹ – випускається – стабілізованою за допомогою сажею, нефарбованою;

СМ - для використання в сільському господарстві в якості матеріалу для мульчування; випускають – стабілізовану за допомогою сажі та нефарбовану;

Н - для пакування, виготовлення виробів і побутового призначення; випускають – пофарбовану/нефарбовану та стабілізовану/нестабілізовану.

Поліетиленова плівка випускається змотаною в рулони у вигляді напіврукава (розрізаний по всій довжині з однієї сторони), рукава, складеного вдвічі, рукава, рукава з фальцюванням (зі складками), полотна (розрізаний по всій довжині з двох боків з обрізкою або без обрізки кромки), та інших видів.

Максимальна ширина поліетиленової плівки всіх марок - шість м [16, 17].

Товщина поліетиленової плівки різних марок представлена в табличному вигляді (табл. 2.1).

Проте, відомо, що виготовляють поліетиленову плівку інших розмірів у границях вказаних максимальних значень товщини і ширини.

Таблиця 2.1 – Товщини поліетиленових плівок різних марок [16, 17]

Паспортна товщина поліетиленової плівки, мм					Граничне відхилення від паспортної товщини, %	
СК, СТ	М, Т, Н	СМ	СІК	В,В ¹	Перший сорт	Вищий сорт
-	0,015	-	-	-	Плюс мінус 30	Плюс мінус 20
-	0,02	-	-	-		
	0,03	-	-	-		
	0,04	-	-	-		
	0,05	-	-	-		
	0,06	-	-	-		
	0,07	-	-	-		
	0,08	-	-	-		
	0,1	-	-	-		
	0,12	-	-	-		
	0,15	-	-	-		
	0,2	0,18	-	-		
	0,22	-	0,2	-		
	0,25	-	0,22	0,25		
	0,3	-	0,25	0,3		
	0,35	-	-	0,35		
	0,4	-	-	0,4		
-	0,5	-	-	-		

Умовне позначення поліетиленової плівки складається із назви матеріалу, марки плівки, виду добавок (с - стабілізатор, п - пігмент або барвник, а - антистатична добавка, ф - модифікуюча добавка, т - ковзна добавка), виду плівки (напіврукав, рукав, полотно і інші), ширини і товщини в міліметрах, сорту та позначення державного стандарту.

Умовне позначення поліетиленової плівки, яка допускається до контакту із харчовими продуктами, просто доповнюється словом «харчова».

Наприклад, наведемо умовне позначення поліетиленової плівки марки Т,

що містить в складі стабілізатор, плівка виготовлена у вигляді полотна, ширина в рулоні 1400 мм, товщина 0,100 мм, вищий сорт:

Плівка поліетиленова, Тс, полотно, 0,100x1400, вищий сорт, ISO 527-3 Tensile Test on Plastic Film [17].

Поліетиленова плівка повинна бути виготовлена відповідно до вимог державного стандарту за встановленим технологічним регламентом, затвердженим у установленому порядку, поліетиленова плівка не повинна мати запресованих складок, тріщин, розривів чи отворів.

Для проведення необхідних випробувань від кожного рулону по всій ширині поліетиленової плівки відрізають 2 смужки загальною довжиною не менше 0,2 м та площею 0,5-2 м² кожна, на відстані не менше одного метру одна від одної. Товщину поліетиленової плівки вимірюють відповідно до державного стандарту ДСТУ ГОСТ 17035-86 [55] за методом А в нормальних умовах. Вимірювання виконується по всій ширині смуги.

Перше вимірювання товщини поліетиленової плівки виконують на відстані 10±2 мм від кромки смуги, наступні - через кожні 50±5 мм для поліетиленової плівки шириною до 1,5 м і через 300±5 мм для поліетиленової плівки шириною понад 1,5 м.

Для вимірювань використовують спеціальні прилади та пристрої відповідно до державних стандартів ГОСТ 28798-90 [56], ГОСТ 11007-66 [57], ГОСТ 11098-75 [58] або інші з похибкою вимірювання приладу в залежності від товщини поліетиленової плівки відповідно до державного стандарту ГОСТ 17035-86 [55] із вимірювальними поверхнями «плоска/плоска».

Якщо в окремо взятій точці товщина полімерної плівки відхиляється від вказаної, то вимірюють в іншій точці, уздовж лінії вимірювання на відстані не менше як 20±2 мм від початкової точки. При цьому не потрібно враховувати результат вимірювання товщини поліетиленової плівки в першій точці.

За результатами даних вимірювань визначають мінімальне та максимальне значення товщини поліетиленової плівки в рулоні та відхилення від паспортної

товщини [55].

Ширину поліетиленової плівки в рулоні визначають за двома лініями на відстані 5 ± 2 см від кінців кожної зі смуг, відібраних, як зазначено в державному стандарті. Вимірювання виконують за допомогою використання металевої лінійки із ціною поділки 1 мм виготовленої згідно державного стандарту ГОСТ 427-75 [59] або іншим вимірювальним інструментом з аналогічною ціною поділки. За результатами чотирьох незалежних вимірювань визначають мінімальне та максимальне значення ширини поліетиленової плівки в рулоні та відхилення від паспортного значення.

Довжину поліетиленової плівки вимірюють у процесі виготовлення за допомогою використання лічильнику метражу із власною похибкою яка не перевищує 1%.

2.5 Висновки до другого розділу

Проаналізовано переваги та недоліки існуючих ємнісних давачів товщини, на основі даного аналізу обґрунтовано вибір контрольованого параметра ємнісного давача. Виконано опис об'єкта контролю – полімерної плівки.

3 МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ВИГОТОВЛЕННЯ ПОЛІМЕРНОЇ ПЛІВКИ

3.1 Методика оцінювання різновтовщинності полімерних плівок

Загально відомо, що величина ємності конденсатора залежить від геометричних розмірів та форми встановлених електродів, від діелектричної проникності та від загальної відстані між обкладками. Для певних форм електродів величину ємності достатньо легко аналітично визначити. Найбільш поширеною є формула для величини ємності плоскопаралельного конденсатора, площа перекриття пластин якого рівна S , діелектрична проникність - ε , яка обумовлюється типом діелектрика, що використовується, і відстань між встановленими обкладками - d . З точки зору завдань, сформульованих в технічному завданні роботи, зручно використовувати формула, що вказує дану ємність конденсатора у пікофарадах, причому зазор між обкладками враховується у міліметрах, а площу поверхні електродів - у квадратних сантиметрах:

$$C = \frac{\varepsilon \cdot 0,866 \cdot S}{d} \approx \frac{\varepsilon \cdot S}{d}. \quad (3.1)$$

Виконавши заміну 0,866 на 1 у формулі (3.1), ми отримаємо у підсумку помилку в 11%, що проте є допустимою похибкою для якісної оцінки.

Розрахунок виконаємо для фторопластової плівки типу КО, товщина якої може варіюватись в межах від 0,015 до 0,5 мм [16, 17]. Для виконання аналітичних розрахунків обираємо площу пластини конденсатора 100 мм², відстань між встановленими обкладками не більше 1 мм. Підставивши вказані цифрові значення у формулу 3.1, отримаємо $C = 120$ пФ. Принцип дії ЄП для вимірювання товщини поліетиленової плівки з діелектрика полягає в

наступному: випробувана плівка протягується за допомогою роликів між обкладками встановленого конденсатора. Якщо величину зазору між обкладками конденсатора позначити δ , площу обкладок S , товщину стрічки δ_c та величину діелектричну проникність ε_c , то величину ємності C можливо записати наступним чином:

$$C = \frac{S}{(\delta - \delta_c)/\varepsilon_0 + \delta_c/\varepsilon_c}, \quad (3.2)$$

де ε_c - величина відносної діелектричної проникності плівки; $\varepsilon_0 = 1$ - величина відносної діелектричної проникності повітря.

Виконаємо аналітичні розрахунки величини ємності конденсатора за формулою (3.2), підставляючи наступні значення:

$$S = 0,12 \cdot 0,2 = 0,024 \text{ м}^2;$$

$$\delta = 0,1 \cdot 10^{-3} = 1 \cdot 10^{-4} \text{ м};$$

$$\delta_{c \max} = 0,04 \text{ мм};$$

$$\delta_{c \min} = 0,005 \text{ мм};$$

$$\varepsilon_0 = 1;$$

$$\varepsilon_c = 2.$$

У результаті аналітичного розрахунку отримаємо наступні значення:

$$C_{\min} = 1000 \text{ нФ};$$

$$C_{\max} = 10013 \text{ нФ}.$$

Результати аналітичного розрахунку дають можливість виконати вибір діапазону вимірювання спеціального вимірювача *RLC*.

Відомо, що актуальною проблемою при виробництві полімерної плівки, є зменшення різновтовщинності продукції, яку ми отримуємо. Полімерну плівку постійної товщини отримати практично неможливо. Міцність полімерної плівки визначається звичайно ділянками мінімальної товщини. Це означає, що на більш товстих ділянках полімерної плівки надлишок матеріалу не працює, тобто

надлишок матеріалу витрачено задарма. В умовах сучасного виробництва від 60 до 80% собівартості полімерної плівки включають в себе саме витрати на придбання сировини для виготовлення. Зазначимо, що різнотовщинність істотно знижує якість і здатність полімерної плівки до переробки (ресайклінг) і призводить, у деяких випадках навіть до відбраковування всієї партії продукції. Таким чином, різнотовщинність можна вважати критерієм якості роботи обладнання по виготовленню полімерної плівки.

Загально відомо, що різнотовщинність можна класифікувати на окружну і поздовжню. Проблема виникнення поздовжньої різнотовщинності полімерної плівки є менш визначеною науковцями, причини появи до кінця не вивчені, але можливо вважати, що одна із головних причин - пульсація під час роботи екструдера.

Причини появи окружної різнотовщинності полімерної плівки, навпаки, є відомими. Дані причини можливо класифікувати як технологічні, конструктивні та випадкові. До технологічних причин відносять регулювання рівномірності обдування, точність регулювання зазору формувальної щілини, правильність підбору температурних режимів екструдера та головки. До конструктивних причин утворення різнотовщинності відносять якість виготовлення та конфігурацію формувального інструменту та спеціального обдувного кільця. До випадкових причин відносять – зовнішні повітряні потоки (або точніше протяги) у зоні охолодження рукава, неоднорідність властивостей розплаву полімерного матеріалу, точність виготовлення формувального інструменту тощо.

Зі всього перерахованого зрозуміло, що на товщину полімерної плівки впливає багато чинників, зокрема випадкових, тому товщину та відхилення полімерної плівки доцільно оцінювати спеціальними методами математичної статистики.

Для аналізу впливу різних чинників необхідно виконати декілька експериментальних досліджень. Наприклад, для виявлення впливу на різнотовщинність полімерної плівки нерівномірності обдування

охладжувальним повітрям доцільно провести не менше як три експериментальні дослідження, дані експерименти виконуються при вимкненому обертанні головки. Після закінчення кожного експериментального дослідження головку повертають приблизно на $25-30^\circ$ відносно встановленого повітряного кільця. Після проведення експериментальних досліджень відбираються зразки полімерної плівки шириною до 120 мм. Вимірювання товщини полімерної плівки необхідно виконувати по всій довжині отриманого зразка в точках через кожні 0,025 м. Далі по отриманим результатам будуються графічні залежності товщини полімерної плівки від довжини отриманого зразка. Виявлення впливу нерівномірності обдування на різнотовщинність полімерної плівки виконується шляхом порівняння графічних залежностей, отриманих під час виконання кожного експериментального дослідження.

Визначення товщини полімерної плівки.

Представлена методика визначення товщини полімерної плівки повністю відповідає державному стандарту ГОСТ 1703-86 [55] у частині методу А та міжнародному стандарту ISO 4593 – 79 [60].

Для визначення товщини полімерної плівки необхідно вирізати щонайменше дві смуги вздовж всієї ширини рулону полімерної плівки на відстані не менше 1 м одна від одної. Ширина кожної окремої смуги повинна складати приблизно 120 мм. Смуги не повинні мати подряпин, складок та інших видимих дефектів. Для визначення товщини полімерної плівки використовують прилади із плоскою та опуклою або двома плоскими вимірювальними поверхнями та похибкою вимірювань відповідно до табл. 3.1.

Ціна поділки приладу повинна становити не більше 2 мкм, в залежності від товщини вимірюваної полімерної плівки.

Перед кожним окремим експериментальним дослідженням товщини полімерної плівки і після нього перевіряють установку ВП в нульовому положенні. Під час серійних експериментальних досліджень вважається достатнім, якщо контроль нульового положення виконується приблизно після

кожних десяти окремих вимірювань. Товщину полімерної плівки вимірюють в окремих точках уздовж середньої лінії зразка на відстані не більше як 50 мм одна від одної, відступивши від кромки не менше як на 20 мм.

Таблиця 3.1 – Похибка вимірювання в залежності від товщини полімерної плівки [55, 60]

Товщина зразка, мкм	Границя допустимої похибки приладу, %
Більше 1000	±20,0
Від 500 до 1000	±10,0
Від 250 до 500	±5,0
Від 100 до 250	±2,0
Від 50 до 100	±1,0
Від 20 до 50	±0,5
Від 10 до 20	±0,2
До 10	Не більше як ±2,0

Обробку результатів експериментальних досліджень виконують наступним чином. За окремі значення товщини полімерної плівки приймають показання ВП. Далі виконують обчислення середнього арифметичного значення:

$$\delta_{\text{сер}} = \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{n}. \quad (3.3)$$

Та виконують оцінку статистичної дисперсії

$$D = \sum_{i=1}^n \frac{(\delta_i - \delta_{\text{сер}})^2}{n}, \quad (3.4)$$

де n - загальне кількість виконаних вимірювань. Середнє квадратичне відхилення товщини полімерної плівки від середнього арифметичного обчислюється за наступним виразом:

$$\sigma_{\text{сер}} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(\delta_i - \delta_{\text{сер}})^2}{n}} = \sqrt{D}. \quad (3.5)$$

Величина $\sigma_{\text{сер}}$ характеризує різновтовщинність полімерної плівки. Результати аналітичних розрахунків можна представити у наступному вигляді $\delta_{\text{сер}} \mp \sigma_{\text{сер}}$. Протокол випробувань повинен містити тип вимірювального пристрою, повне позначення матеріалу, що випробується, кількість вимірювань, максимальне і мінімальне значення товщини полімерного плівки, середнє арифметичне значення товщини полімерної плівки, середнє арифметичне значення, середнє квадратичне відхилення, дату виконання експериментального випробування, дату проведення експериментального дослідження і позначення стандарту ДСТУ ГОСТ 17035- 86 [55].

Визначення коефіцієнта надмірності матеріалу при виготовлені полімерної плівки.

Як відомо, часто міцність полімерної плівки визначається найтоншим місцем в рулоні. При цьому решта полімерної плівки не чинить суттєвого впливу на загальну міцність. Для оцінки кількості надлишкового матеріалу в рулоні полімерної плівки можна ввести спеціальний коефіцієнт надмірності:

$$k_{\text{надл}} = \frac{S - \delta_{\text{min}} \cdot l}{S} = 1 - \frac{\delta_{\text{min}} \cdot l}{S} = 1 - \frac{\delta_{\text{min}}}{\delta_{\text{сер}}}, \quad (3.6)$$

де δ_{min} - мінімальна товщина зразка полімерної плівки; S - площа поперечного перерізу зразка полімерної плівки; l - довжина зразка полімерної плівки.

Аналітично вирахувати площу поперечного перерізу зразка полімерної плівки можна виконавши розбивку зразка на прямокутники. Очевидно, що введений подібним чином коефіцієнт надмірності може варіюватись від 0 до 1

при $\delta_{\min} \cdot l \rightarrow S, \delta_{\min} \rightarrow 0$ відповідно. Можна також ввести оцінку якості полімерної плівки за даним коефіцієнтом надмірності.

Запропонована методика визначення $k_{надл}$ не передбачена державними стандартами. Тому кожен виробник полімерної плівки має право використовувати власні оцінки можливої перевитрати матеріалу при виготовленні полімерної плівки та оцінювати кінцеву якість продукції.

3.2 Підбір та обґрунтування структурної схеми вимірювального пристрою

Відповідно до перерахованого раніше вимірювач величини ємності, що проектується, повинен відповідати наступним вимогам:

- діапазон вимірювання величини ємності від 0,01 пФ до 0,5мкФ;
- сила струму споживання не повинна перевищувати 50мА;
- похибка вимірювання величини ємності не повинна перевищувати 0,5%.

У вимірювачі величини ємності доцільно використовувати резонансний метод вимірювання, оскільки даний метод є найбільш ефективним у використанні. У коливальний контур вимірювального генератора, утворений за допомогою індуктивності та еталонного конденсатору буде паралельно підключатись ємнісний давач. Далі створений сигнал повинен потрапити на формувач та надійти на мікроконтролер (МК).

Окрему увагу варто звернути на МК, який повинен володіти досить високою швидкодією, мати можливість переналаштування, відзначатись невеликим споживанням струму та невисокою вартістю.

В якості пристрою для індикації можливо застосувати будь-який LCD дисплей стандартного формату 2x16 [61].

Для виконання якісної стабілізації необхідно застосовувати спеціальний стабілізатор на мікросхемі, розрахований для пристроїв із низьким споживанням струму і живленням від джерела.

Таким чином схема повинна складатися з вхідного блоку, вимірювального

генератора, блоків - вимірювання, індикації, живлення та стабілізації рівня напруги. Загальний вигляд структурної схеми даного вимірювального пристрою представлено на рисунку 3.1.

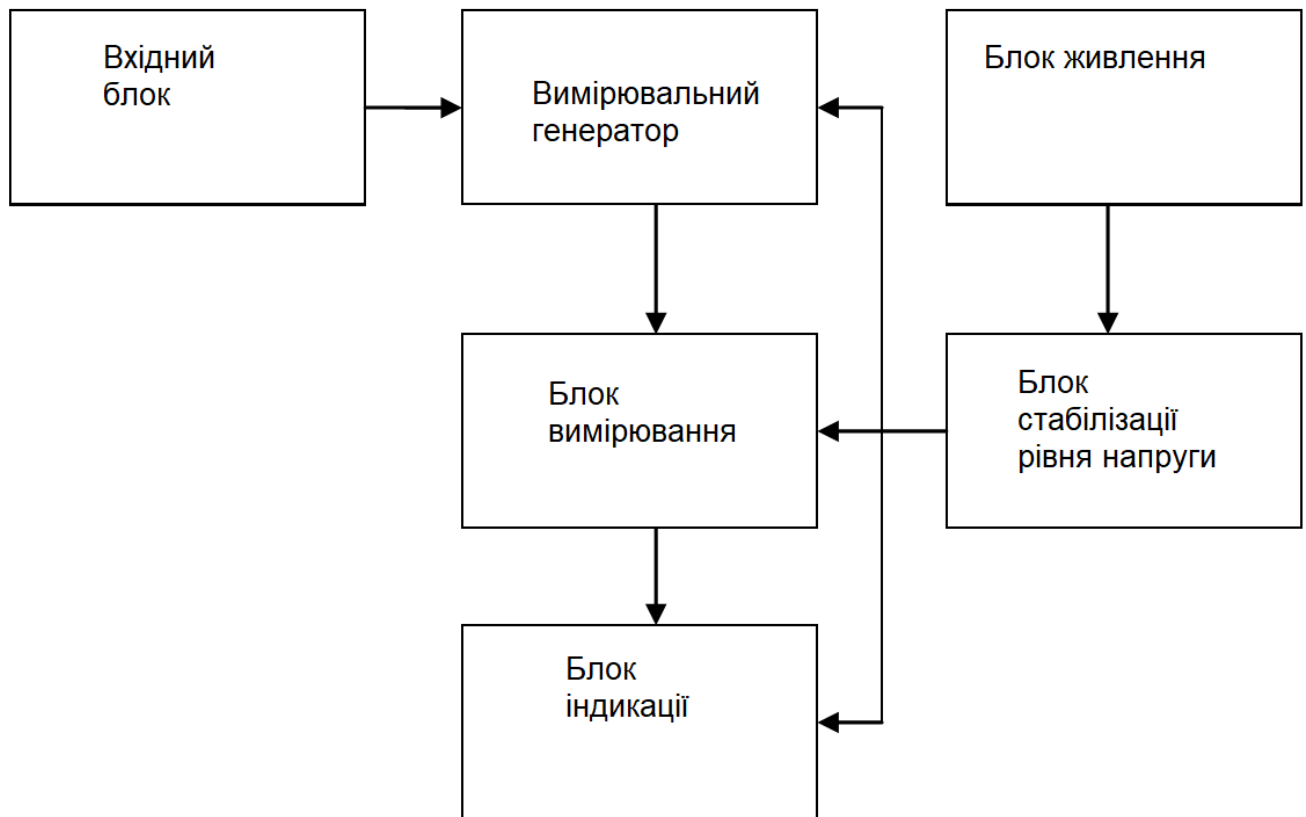


Рисунок 3.1 – Загальний вигляд структурної схеми вимірювального пристрою

3.3 Підбір та обґрунтування електричної принципової схеми вимірювача ємності

Електрична принципова схема одноканального вимірювача величини ємності (див. рис. 3.2) розроблена на базі структурної схеми, описаної вище. У електричній принциповій схемі виділено наступні основні вузли:

- вхідний блок;
- блок вимірювання на DD1;
- вимірювальний генератор на DA1;
- блок стабілізації напруги на DA2;
- блок індикації на LCD;

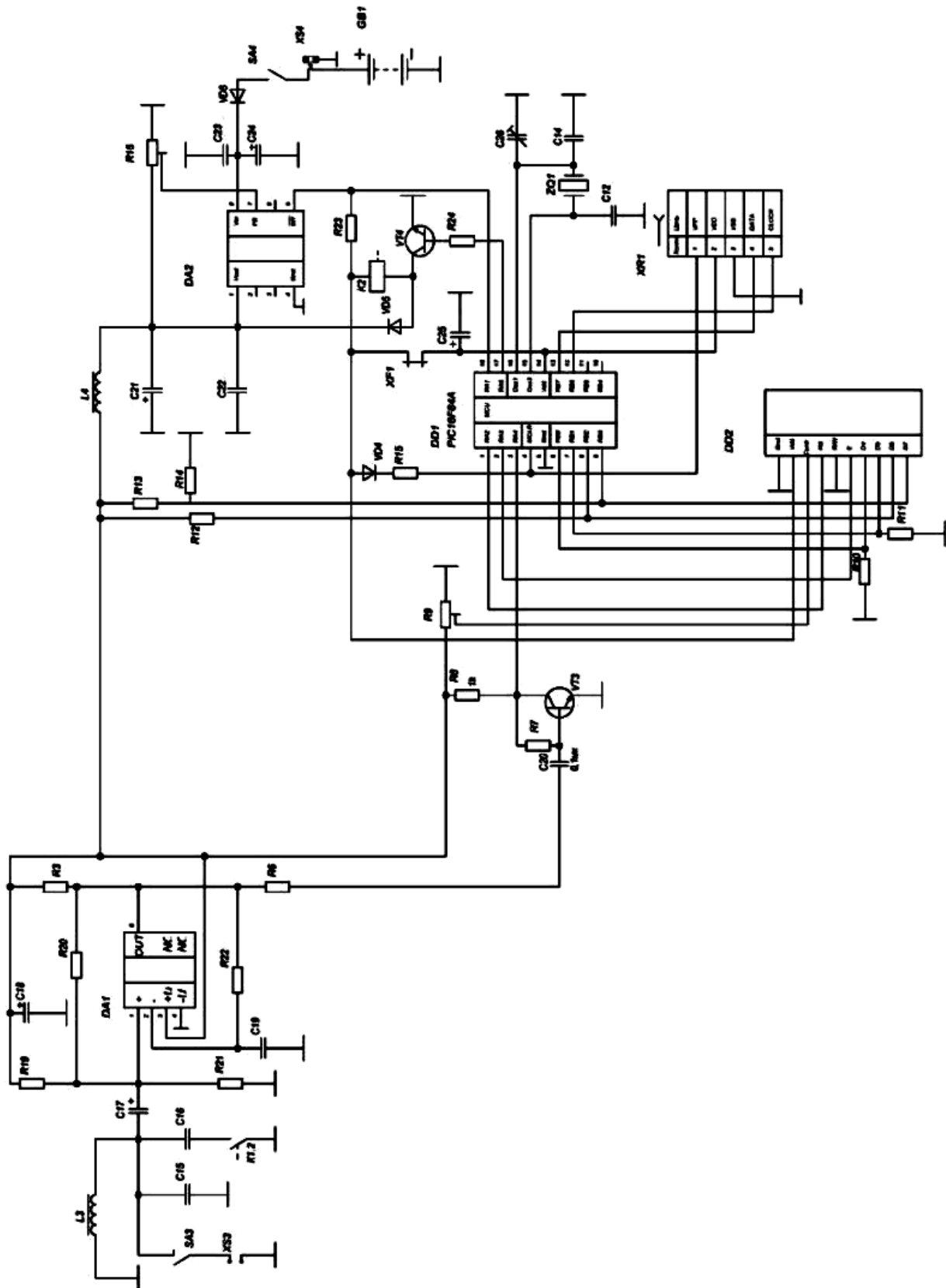


Рисунок 3.2 – Електрична принципова схема одноканального вимірювача величини ємності

- блок живлення.

Обрана електрична принципова схема вимірювача величини ємності працює за принципом резонансу: вимірювальні давачі підключаються в коливальний контур із вже відомими параметрами, який в свою чергу, входить до складу вимірювального генератора. За зміною рівня частоти, що генерується, за загальновідомою формулою $F^2 = \frac{1}{4} \pi^2 \cdot L \cdot C$ аналітично розраховується значення. Для визначення власних параметрів коливального контуру необхідно до нього підімкнути відому додаткову ємність – тобто еталонний конденсатор С1. Вимірювальний генератор зібрано на мікросхемі-компараторі типу ІL311 (DA1) [62]. Дана схема добре зарекомендувала себе в якості генератору рівня частоти до 800 кГц, забезпечуючи на виході сигнал, близький по формі до меандру. Для забезпечення стабільних показань вимірювальний генератор потребує узгодженого за опором і стабільного рівня навантаження.

Рівень частоти задається за допомогою елементів вимірювального генератора - вимірювальної котушки індуктивності L1 та еталонного конденсатору С1. Вимірювальні давачі під'єднується до клем XS1 (див. рис. 3.2) паралельно до встановленого еталонного конденсатора [62].

З виходу вимірювального генератору створений сигнал через спеціальний резистор розв'язки R7 надходить на формувач, побудований на транзисторі VT1. Вихід формувача безпосередньо під'єднано до спеціального тригера Шмідта, що входить у склад МК Шмідта [64-66]. МК працює з тактовою частотою в 4МГц, при цьому МК швидкодія складає приблизно один мільйон операцій за секунду. Результат розрахунків виводиться на алфавітно-цифровий дисплей (тобто LCD) з інтерфейсом HD44780 [63].

У ВП передбачено можливість внутрішньосхемного перепрограмування за допомогою використання розніму ICSP. Для цього необхідно видалити спеціальну перемичку XF1 (див. рис. 3.2), ізолювавши таким чином ланцюг живлення МК від решти електричної принципової схеми. Далі підключається

програматор до розніму і «заливається» необхідна програма, після чого перемичка XF1 встановлюється на старе місце.

Джерелом живлення є гальванічна батарея з рівнем напруги в 9 В, також можливо використовувати стандартний адаптер живлення з рівнем напруги в діапазоні від 6 до 15 В. Мікросхема DA2 [62] (рис. 3.2) є високоякісним стабілізатором рівня напруги в 5 В з низьким залишковим рівнем напруги та сигналізатором залишкового розряду батареї живлення. Дана мікросхема спеціально розроблялася для використання в вимірювальних пристроях із низьким споживанням струму та живленням від батарей. У ланцюгу живлення вмонтовано діод VD3 для захисту вимірювального приладу від неправильного підключення. Конденсатори C9 та C10 призначені для усунення високо- та низькочастотних перешкод.

Резистор R15, носить назву підлаштовувального, використовується для встановлення рівня напруги в 5 В на виводі 1 мікросхеми DA2 під час складання приладу (рис. 3.2). За допомогою використання транзистору VT2 зібрано спеціальний ключ керування реле, що відповідає за підключення еталонного конденсатору C2.

Найважливішим елементом, від якості якого залежить точність і стабільність показань вимірювача, є котушка індуктивності L1, яка повинна мати максимальну добротність та мінімальну власну величину ємності.

В схемі можливо використовувати стандартний дросель типу LGV [67] з індуктивністю в діапазоні від 100 до 125мкГн. До еталонного конденсатора C1 також висувають досить високі вимоги, особливо щодо термостабільності. В якості еталонного конденсатору можливо застосувати наприклад K71-7. Аналогічні вимоги висувають і до конденсатору C2.

Також можливо мікросхему DA1 замість IL311 замінити на LM311 [68] або K544CA3 [69].

Оскільки під час випробувань товщини поліетиленової плівки зручно використовувати багатоканальний вимірювач величини ємності.

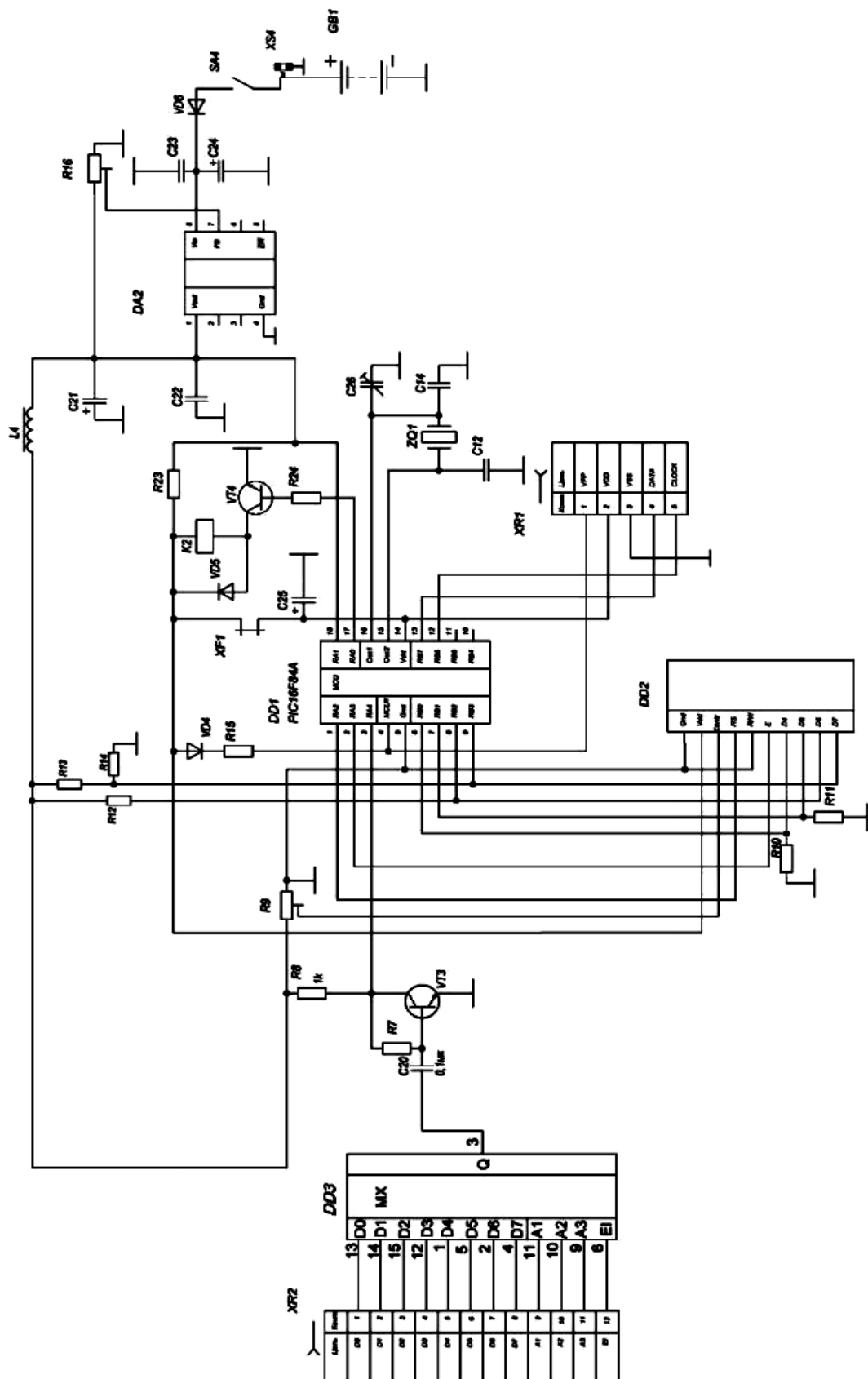


Рисунок 3.3 – Електрична принципова схема багатоканального вимірювача величини ємності

Даний варіант побудови пристрою передбачає, що паралельно із каналом, зібраним на операційному підсилювачі DA1 будуть функціонувати аналогічні вхідні блоки, які за допомогою використання мультиплексору підключаються до перетворювальної схеми і реєструються за допомогою індикатору або від мультиплексора передаються на ПК, де виконується обробка відповідно до необхідного алгоритму. Загальний вигляд електричної принципової схеми багатоканального вимірювача (вхідні блоки не показані) представлено на рисунку 3.3.

3.4 Підбір конструкції мультиплексора для вимірювальної схеми

Вимірювальні схеми на МОП структурах володіють низкою переваг порівняно зі схемами які базуються на біполярних транзисторах. Такі схеми технологічні, володіють достатньо високу завадостійкість, конструктивно прості, володіють малою потужністю розсіювання, високою швидкістю і навантажувальною здатністю. Основні серії вимірювальних схем КМОП, їхні вітчизняні аналоги та фірми розробники наведено в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 - Серії логічних вимірювальних схем КМОП [70, 71]

Серія ВС	Фірма розробник	Аналог	Напруга живлення, В
CD4000	RCA	164, 176	9
CD4000A		561, 564	Від 3 до 15
CD4000B		КР1561	Від 3 до 18
54НС		1564	Від 3 до 15
МС14000А	Motorolla	-	Від 2 до 6

В порівнянні з вимірювальними схемами на транзисторно-транзисторній логіці мікросхеми КМОП мають наступні характеристики:

- достатньо широкий діапазон рівнів напруги живлення (від 3 до 15В);

- мала споживана потужність у всьому діапазоні частот до 2МГц (споживана потужність у статичному режимі не більше 1мкВт);

- дуже високий вхідний опір (вище за 1 МОм);

- велика здатність до навантаження (коефіцієнт розгалуження вище за 50).

До недоліків вимірювальних схем КМОП відносять:

- завищене значення рівня вихідного опору (не більше 1кОм);

- велике значення часу затримки (не більше 200нс);

- значний розкид усіх параметрів.

Рівні всіх сигналів залежать від рівня напруги живлення. Рівень логічної одиниці дорівнює не більше $0,8E_{живл}$, а рівень логічного нуля в діапазоні від 0,3 до 2,5 В.

Основні характеристики різних серій вимірювальних схем КМОП зведено до табличного вигляду (див. табл. 3.3).

Для розроблення цифрової частини електронного блока, що проектується, було використано мікросхеми стандартної серії К561, оскільки номенклатура елементів даної серії, а також технічні та економічні характеристики найкраще підходять для розв'язання поставлених завдань.

Таблиця 3.3 - Основні характеристики вимірювальних схем КМОП [70, 71]

Серія ВС	Споживана потужність, мВт	Максимальна частота, МГц	Час затримки, нс	Коефіцієнт розгалуження
CD4000	30	5	200	50
CD4000A	50		100	
CD4000B	100	10	30	100
54НС	100		10	50

Для побудови схеми реверсивного лічильника зручно використовувати стандартну мікросхему К561КП2 [72] (рис. 3.4.). Дана мікросхема призначена для комутації аналогових та цифрових сигналів. Вона оснащена вісьмома

інформаційними входами (з D0, D1, до D7) та одним виходом (Q). Мультиплексор керується за допомогою трирозрядного вхідного коду (A1, A2, A3), крім того оснащено спеціальним входом дозволу (EI). Якщо на вході дозволу (EI) присутній високий рівень сигналу, усі канали буде розімкнено. Номери увімкненого каналу, що відповідають кодам входів, та рівні сигналу можливо визначити за таблицею 3.4.

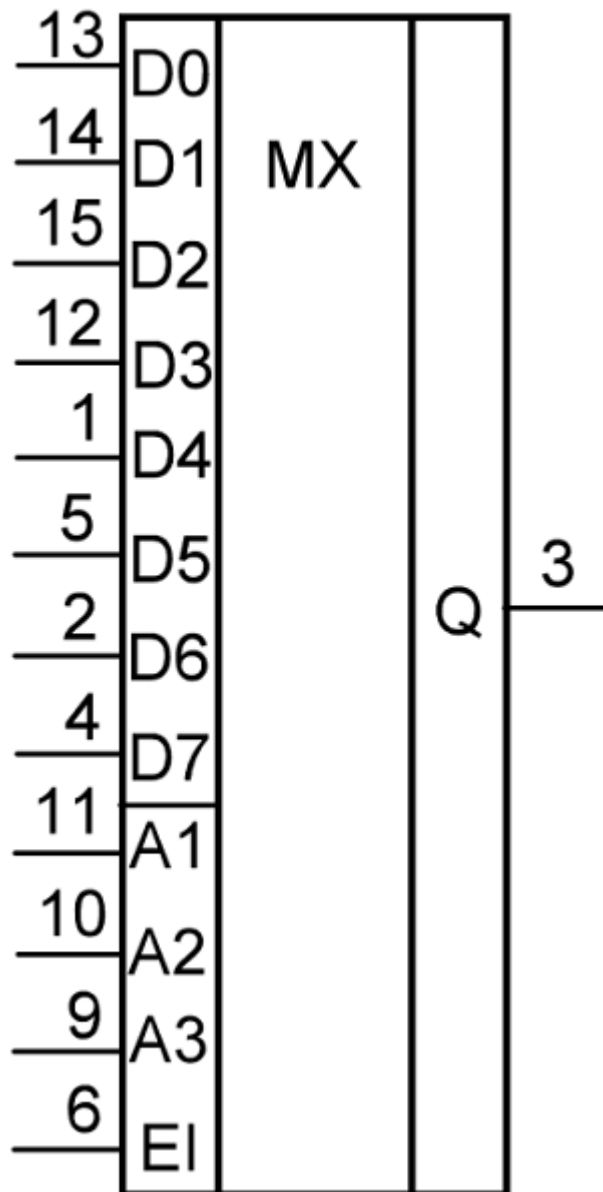


Рисунок 3.4 – Загальний вигляд виходів мікросхеми K561KP2 [72]

Таблиця 3.4 - Керування каналами в мікросхемі К561КП2 [72]

Вхід мікросхеми				Вихід Q
A1	A2	A3	EI	
Н	Н	Н	Н	D0
В	Н	Н	Н	D1
Н	В	Н	Н	D2
В	В	Н	Н	D3
Н	Н	В	Н	D4
В	Н	В	Н	D5
Н	В	В	Н	D6
В	В	В	Н	D7
Х	Х	Х	В	-

Примітка: В - високий статичний (вхідний або вихідний) рівень сигналу; Н - низький статичний рівень сигналу; Х - схема не реагує на будь-які рівні сигналів на даному вході.

3.5 Висновки до третього розділу

Описана методика оцінювання різновисчинності полімерних плівок. Розроблено структурну схему вимірювального пристрою та на її основі розроблено електричну принципову схему вимірювача ємності для якої також підібрано конструкцію мультиплексора.

4 ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ВИГОТОВЛЕННЯ ПОЛІМЕРНОЇ ПЛІВКИ

4.1 Розрахунок інтенсивності відмов вимірювача товщини полімерної плівки

Надійність радіотехнічного вимірювального пристрою, зазвичай, визначається кількістю та надійністю встановлених елементів. Оскільки надійність є одним з базових параметрів вимірювача, то, виконуючи проектування апаратури, необхідно оцінювати поряд з іншими технологічними параметрами і на основі даних аналітичних розрахунків робити висновки про правильність обраної принципової схеми та конструкції вимірювального пристрою. Надійність елементів є одним із головних чинників, що істотно впливають на інтенсивність відмов радіотехнічної вимірювальної апаратури в цілому. Інтенсивність відмов елементів залежить від якості виготовлення, конструкції, від умов експлуатації та, звичайно, від величин електричних навантажень у принциповій схемі. Забезпечення надійності - усунення можливих причин порушення властивостей обладнання в процесі конструювання і виготовлення. Щоб забезпечити високу надійність необхідно виконати наступні пункти [73, 74]:

- захист від зовнішніх незалежних кліматичних і механічних впливів;
- правильний підбір елементів, відповідно, за параметрами надійності;
- захист від можливих внутрішніх впливів.

Розрахунок відмови вузла, що проєктується.

Даний пристрій складається із невеликої кількості елементів та з'єднань, які потенційно можуть бути чи стати причиною відмови всього вимірювального пристрою в цілому. Тому необхідно розрахувати надійність вимірювального пристрою, враховуючи всі елементи.

У таблиці 4.1 представлено значення інтенсивності відмов усіх елементів

принципової схеми вимірювача величини ємності.

Таблиця 4.1 - Інтенсивність відмов радіоелементів принципової схеми вимірювача величини ємності [73, 74]

Елементи принципової схеми	Значення інтенсивності відмов λ , 1/год	Кількість деталей, шт
Котушки індуктивності	$0,5 \cdot 10^{-6}$	2
Конденсатори (керамічні)	$0,44 \cdot 10^{-6}$	9
Конденсатори (електролітичні)	$1,1 \cdot 10^{-6}$	5
Кварц	$0,15 \cdot 10^{-6}$	1
Змінні резистори	$4,0 \cdot 10^{-6}$	2
Резистори	$0,04 \cdot 10^{-6}$	15
Транзистори	$0,3 \cdot 10^{-6}$	2
Інтегральні мікросхеми	$2,3 \cdot 10^{-6}$	3
Розніми	$2,5 \cdot 10^{-6}$	2
Дисплей	$4,0 \cdot 10^{-6}$	1
Реле	$1,0 \cdot 10^{-6}$	1
Печатні плати	$0,0005 \cdot 10^{-6}$	1
Провідники	$0,005 \cdot 10^{-6}$	50

Використовуючи наведені в таблиці 4.1 значення інтенсивності відмов λ_{ei} окремих елементів, виконаємо розрахунок інтенсивності відмов всього виробу λ :

$$\lambda = \sum_{i=1}^n \lambda_{ei}; \quad (4.1)$$

$$\begin{aligned} \lambda = & 0,44 \cdot 10^{-6} \cdot 9 + 1,1 \cdot 10^{-6} \cdot 5 + 0,05 \cdot 10^{-6} \cdot 2 + 0,4 \cdot 10^{-6} \cdot 15 + \\ & + 4,0 \cdot 10^{-6} \cdot 2 + 0,15 \cdot 10^{-6} \cdot 1 + 0,3 \cdot 10^{-6} \cdot 2 + 2,3 \cdot 10^{-6} \cdot 3 + 2,5 \cdot 10^{-6} \cdot 2 + \\ & + 1,0 \cdot 10^{-6} \cdot 1 + 4,0 \cdot 10^{-6} \cdot 1 + 1,0 \cdot 10^{-6} \cdot 162 + 0,0005 \cdot 10^{-6} \cdot 1 + \\ & + 0,005 \cdot 10^{-6} \cdot 50 = 198,06 \cdot 10^{-6} \frac{1}{\text{год}}. \end{aligned}$$

4.2 Аналітичний розрахунок середнього часу напрацювання пристрою

Середнє напрацювання до першої відмови будемо визначати згідно формули [73, 74]:

$$T_{\text{напрац}} = \frac{1}{\lambda}. \quad (4.2)$$

Розраховуємо середній час напрацювання всього пристрою згідно (4.2), для цього виконаємо підстановку визначених значень інтенсивності відмов:

$$T_{\text{напрац}} = \frac{1}{198,06 \cdot 10^{-6}} = 5048 \text{ год}.$$

Для того щоб пристрій, що проектується був надійним та довговічним необхідно враховувати наступні чинники:

- правильний вибір елементів комплектування;
- чітке визначення умов експлуатації пристрою;
- конструктивні та схемні способи, що забезпечують нормальний режим роботи елементів.

За розрахунками середнє напрацювання до першої можливої відмови всього пристрою складає 5048 годин.

4.3 Розрахунок габаритних розмірів вимірювального пристрою

Площу вимірювального пристрою, що проектується, визначимо за наступною формулою [73, 74]:

$$S_{\Sigma} = k_{S_{\Sigma}} \sum_{i=1}^n S_{Yi}, \quad (4.3)$$

де $k_{S_{\Sigma}} = 1...3$ - коефіцієнт, що залежить від призначення та умов експлуатації пристрою та елементів, приймаємо для розрахунку $k_{S_{\Sigma}} = 2$; S_{Yi} - установча площа елементів принципової схеми; N - кількість елементів принципової схеми.

Для оцінки сумарної установчої площі елементів принципової схеми складемо таблицю елементів, використовуючи перелік елементів до електричної принципової схеми (табл.4.2).

Таблиця 4.2 - Перелік елементів електричної принципової схеми

Типорозмір елементів принципової схеми	Кількість, шт	Габаритні розміри, ДхШ, мм	Площа, яку займає елемент, мм ²	Площа для монтажу, мм ²
Конденсатори С10-С17	9	2х1,4	2,8	25,2
Дросель L1	2	25х26	650	1300
Діод КД522	3	3,8х1,9	7,22	21,66
Електролітичний конденсатор	5	9,3х4,3	39,99	199,95
Резистори	16	3х1,5	4,5	72

Закінчення таблиці 4.2

Транзистор КТ368	1	5,84x3	17,52	17,52
Транзистор КТ315	1	5x3	15	15
Резистори налаштування	2	4,5x3	13,5	27
Реле	1	5,84x3	17,52	17,52
Перемикач SA1	1	7x7	49	49
Перемикач SA2	1	14x8	112	112
Мікросхема PIC16F84A	1	11,5x7,5	86,25	86,25
Мікросхеми DA1, DA2	2	5x4	20	40
Кварцевий генератор	1	11x4	44	44
Конденсатор налаштування	1	5x4,5	22,5	22,5
Сумарна площа для монтажу елементів принципової схеми	-	-	-	2046

Площа вимірювального пристрою складе:

$$S_{\Sigma} = 2 \cdot 2046 = 4092 \text{ мм}^2.$$

Згідно із державним стандартом ГОСТ 10317-79 [75] підбираємо довжину і ширину вимірювального пристрою.

Приймаємо наступні значення: ширина - 60мм; довжина - 140мм.

Розрахунок довжини електричних зв'язків. Сумарну довжину зв'язків визначаємо за наступною формулою:

$$L_{CB} = \beta \cdot (L_X + L_Y) \cdot n_{вив}, \quad (4.4)$$

де β - коефіцієнт пропорційності, що враховує вплив ширини та кроку провідників, ефективності виконання трасування, форми корпусу елемента принципової схеми та монтажного поля, приймаємо $\beta = 0,06$; L_X, L_Y - відповідно, габаритні розміри вимірювального пристрою; $n_{вив}$ - кількість задіяних виводів усіх елементів принципової схеми, що встановлюються у пристрій.

$$L_{CB} = 0,06 \cdot (60 + 140) \cdot 136 = 1632 \text{ мм.}$$

Кількість логічних або сигнальних шарів визначимо за наступною формулою:

$$n_{ЛОГ} = \frac{L_{CB} \cdot l_n}{L_X \cdot L_Y \cdot \eta_{mp}}, \quad (4.5)$$

де l_n - величина кроку координатної сітки; η_{mp} - коефіцієнт трасування, прийmemo $\eta_{mp} = 0,95$.

$$n_{ЛОГ} = \frac{1632 \cdot 0,95}{60 \cdot 140 \cdot 0,95} = 0,204.$$

Відповідно до завдання в даній кваліфікаційній роботі розроблено вимірювач товщини поліетиленової рукавної плівки, виготовленої методом екструзії з поліетилену високого тиску (або низької щільності) та можливих композицій на основі поліетилену, що містять стабілізатори, барвники, антистатичні, ковзаючі або модифікуючі добавки. Вимірювання відбувається лише безконтактним способом. Спроектований пристрій має наступні основні технічні характеристики:

- граничне допустиме відхилення від номінальної товщини поліетиленової плівки не перевищує $\pm 20\%$;
- діапазон вимірювання товщини полімерної плівки від 0,015 до 0,5 мм;
- відносна похибка вимірювання контрольованого технологічного параметра не перевищує 10%;
- діапазон рівнів температури навколишнього повітря від $+19$ до $+21^{\circ}\text{C}$;
- відносна вологість навколишнього повітря в діапазоні від 40 до 80%;
- діапазон атмосферного тиску від 84,0 до 106,7кПа (нормальні умови).

Під час розроблення конструкції вимірювача використано надійний та достатньо точний первинний вимірювальний перетворювач. Розроблюваний вимірювач товщини полімерної плівки оснащено цифровою індикацією результатів виконаних вимірювань. Розроблений вимірювальний пристрій може входити до складу автоматизованої системи, яка може бути керована комп'ютером.

4.4 Дослідження моделі системи автоматизованого контролю якості виготовлення полімерної плівки

Розв'язати диференціальні рівняння - значить отримати функцію, що є змінною в часі. Метод розв'язання диференціальних рівнянь відрізняється від традиційного. Необхідно буде створити зворотний зв'язок між вихідним значенням інтегратора і новим значенням перемінної.

Інструментарій Simulink пакета MatLab [76-80] якраз і дає змогу моделювати й досліджувати поведінку систем керування, що описуються будь-якими (лінійними, лінійними зі змінними коефіцієнтами та нелінійними) диференціальними рівняннями.

Єдина вимога до диференціальних рівнянь - вони повинні бути представлені у вигляді структурних схем [76-80].

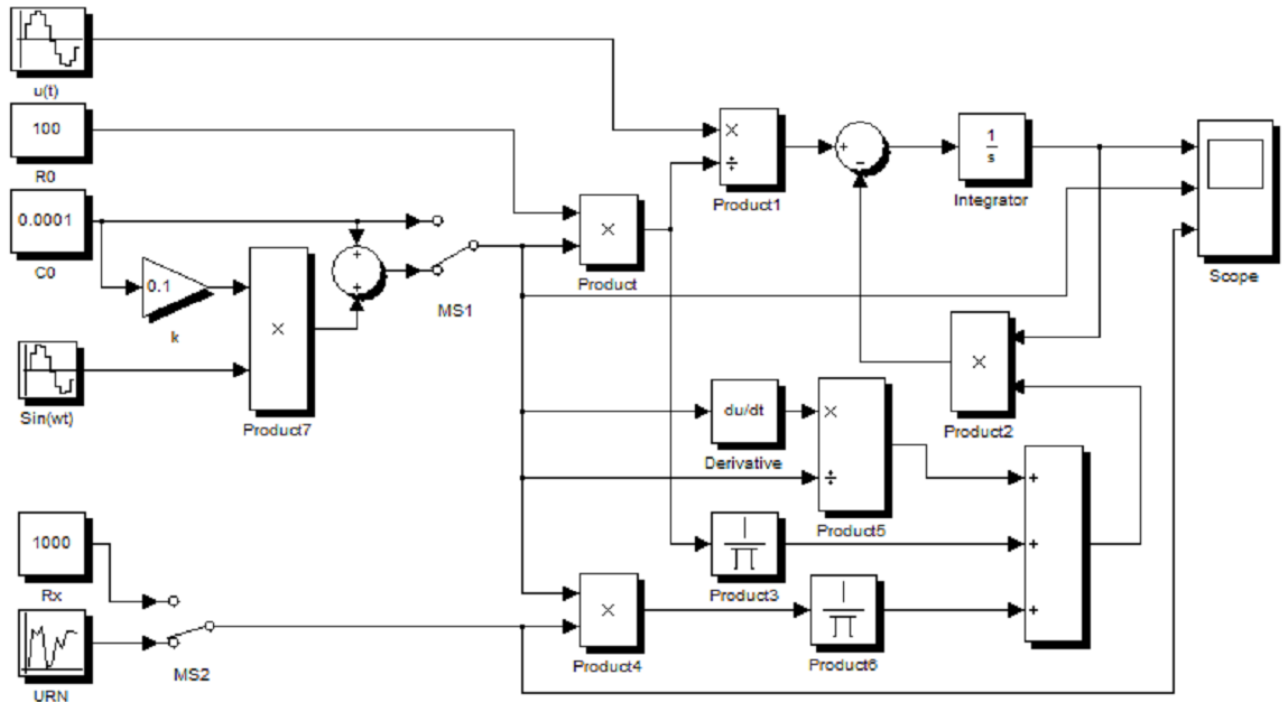


Рисунок 4.1 – Загальний вигляд структурної схеми розв’язку диференціального рівняння

Описаний підхід для моделювання роботи ємнісного давача у динамічному режимі володіє одним суттєвим недоліком: потрібно правильно скласти диференціальне рівняння всього ланцюга. Проте такий недолік легко усувається завдяки використанню імітаційних моделей під час моделювання роботи ємнісних давачів у динамічному режимі.

На рисунку 4.2 зображено таку модель ємнісного давача. Модель може працювати як у статичному, так і динамічному (ключі $MS1, MS2, MS3$) режимах, а на рисунку 4.3 представлено моделі підсистеми $R_x(t)$ та $C_x(t)$.

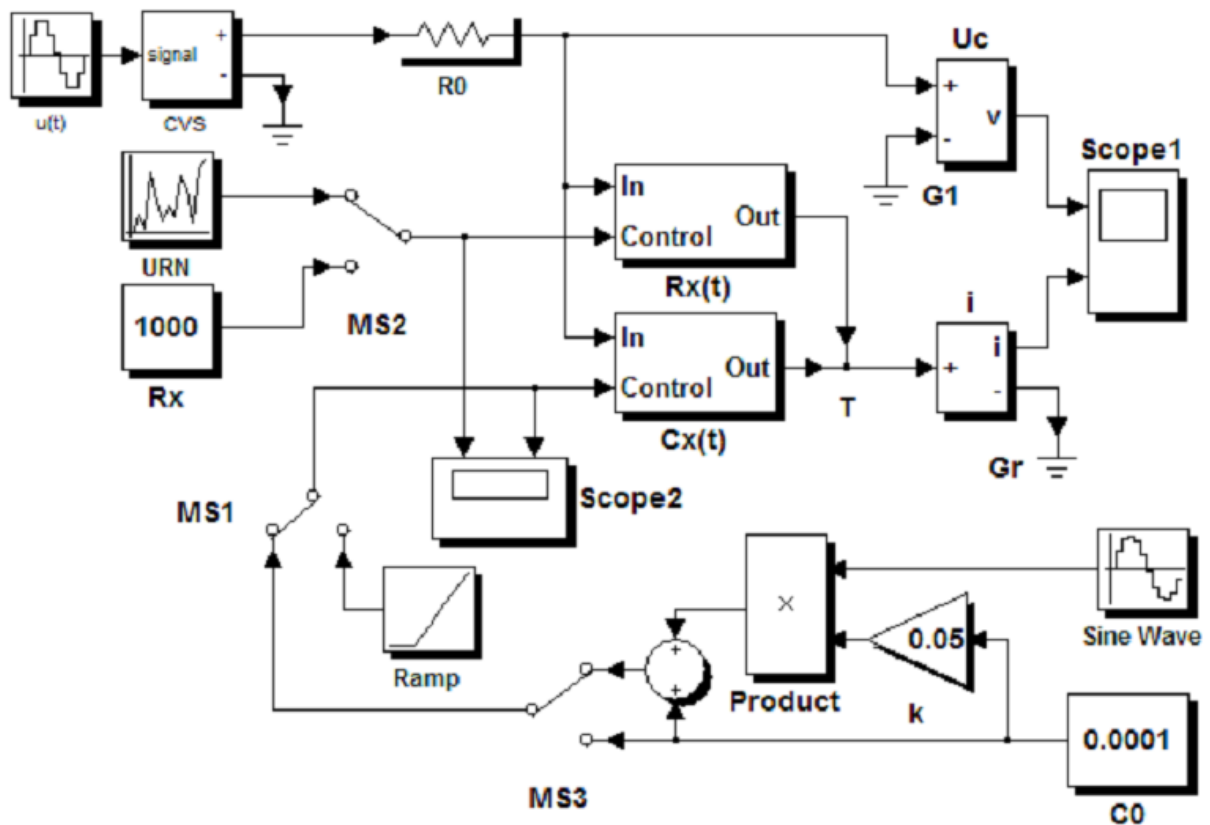


Рисунок 4.2 – Загальний вигляд моделі ємнісного давача в середовищі Simulink [76-80]

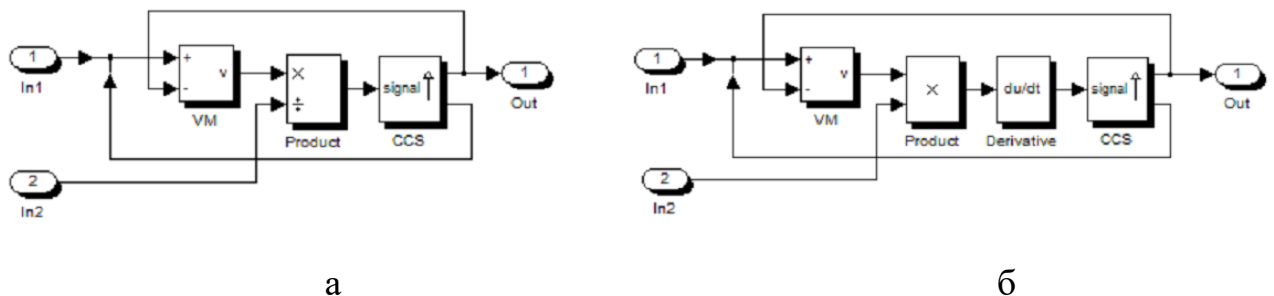


Рисунок 4.3 – Загальний вигляд моделей підсистеми:
а – модель підсистеми $R_x(t)$; б – модель підсистеми $C_x(t)$

Закон зміни перемінних параметрів керованих R, L, C-елементів описується згідно наступної формули:

$$X(t) = X_0 + m \sin(\omega t) = X_0 \cdot (1 + k \sin(\omega t)), \quad (4.6)$$

де $m = kX_0$ - глибина модуляції відносно X_0 .

Схема моделювання перемінних значень керованих R, L, C-елементів ємнісного давача представлена на рисунку 4.4.

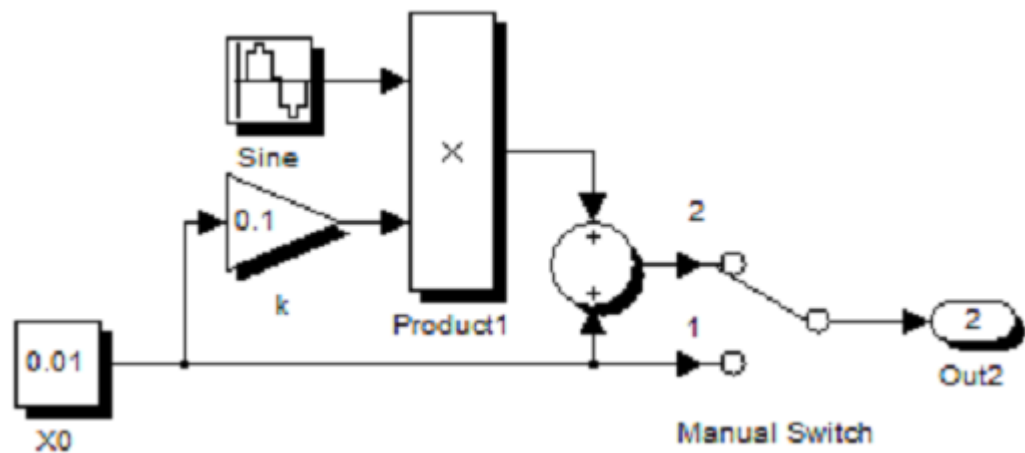


Рисунок 4.4 – Загальний вигляд зміни в часі значень керованих R, L, C-елементів ємнісного давача [76-80]

У положенні 1 ключа Manual Switch значення керованого елемента є $X(t) = X_0 = const$ і не залежить від часу. А в положення 2 - відповідно $X(t) = X_0 \cdot (1 + k \sin(\omega t))$. Введення в принципову схему ключа дасть змогу без переналаштування схеми оперувати як з сталими, так і зі перемінними в часі параметрами елементів ємнісного давача.

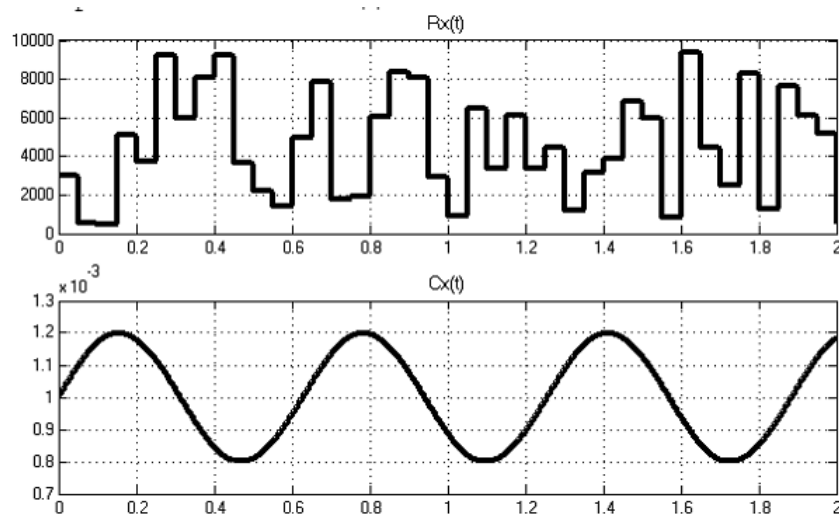


Рисунок 4.5 – Графічні залежності параметрів $R_x(t), C_x(t)$ ємнісного давача

На рисунку 4.6 представлено осцилограми роботи моделі ємнісного давача у динамічному режимі для різних значень елементів схеми.

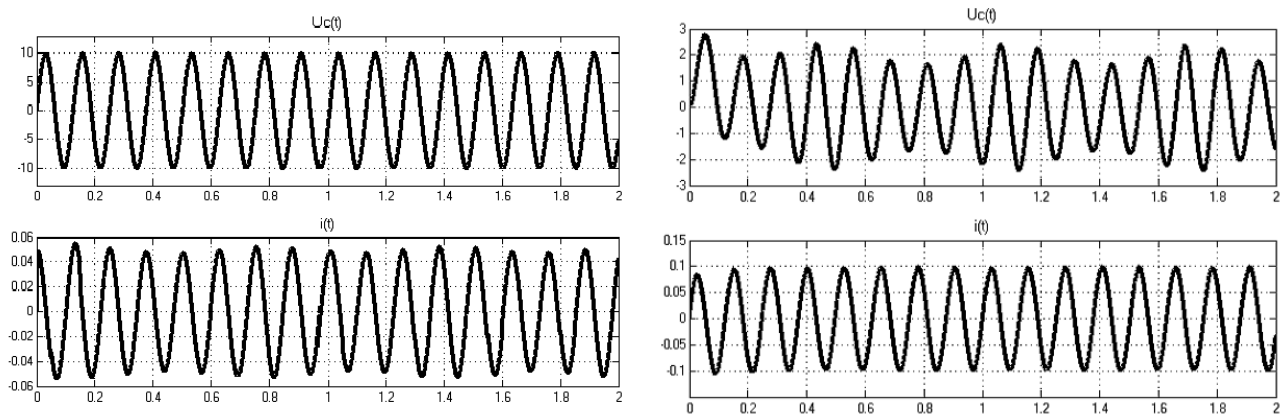


Рисунок 4.6 – Графічні залежності рівнів напруги та сили струму на виході ємнісного давача в динамічному режимі:

а – при $R_0 = 100\text{Ом}$, $C_0 = 0,0001\text{Ф}$, $k = 0,05$; б – при $R_0 = 100\text{Ом}$, $C_0 = 0,001\text{Ф}$, $k = 0,2$

Слід звернути увагу на те, що при введенні однакових вихідних даних, як в імітаційну модель ємнісного давача, так і в модель диференційного рівняння, що описує роботу давача, результуючі осцилограми роботи ємнісного давача повністю збігаються. Звідси випливає висновок, що роботу ємнісного давача в динамічному режимі можна описати як диференційне рівняння, так і за посередництвом імітаційного моделювання.

4.5 Висновки до четвертого розділу

Виконано розрахунок інтенсивності відмов вимірювача товщини полімерної плівки, середнього часу напрацювання пристрою та габаритних розмірів вимірювального пристрою в цілому. Проведено дослідження моделі системи автоматизованого контролю якості виготовлення полімерної плівки.

ВИСНОВКИ

В першому розділі кваліфікаційної роботи магістра було розглянуто проблематику автоматизованого контролю якості полімерної плівки. А саме проведено огляд та аналіз технічних та технологічних рішень вимірювання товщини полімерної плівки, на основі якого виконано підбір методу вимірювання товщини полімерної і типу давача для виконання цього завдання.

В другому розділі проаналізовано переваги та недоліки існуючих ємнісних давачів товщини, на основі даного аналізу обґрунтовано вибір контрольованого параметра ємнісного давача. Виконано опис об'єкта контролю – полімерної плівки.

В третьому розділі описана методика оцінювання різнотовщинності полімерних плівок. Розроблено структурну схему вимірювального пристрою та на її основі розроблено електричну принципову схему вимірювача ємності для якої також підібрано конструкцію мультиплексора.

В четвертому розділі виконано розрахунок інтенсивності відмов вимірювача товщини полімерної плівки, середнього часу напрацювання пристрою та габаритних розмірів вимірювального пристрою в цілому. Проведено дослідження моделі системи автоматизованого контролю якості виготовлення полімерної плівки.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Innovation We strive to exceed. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.kuendig.com/en/>
2. PLAST-CONTROL - a success story. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.plastcontrol.de/en/>
3. Research at Sussex. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.sussex.ac.uk/>
4. Octagon. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://octagon.com.ua/>
5. THE POWER OF CONTROL. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.electronicssystem.it/>
6. Cutting-edge technology for high precision measurements. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.micro-epsilon.com/>
7. Accelerating Science. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.thermofisher.com/ua/en/home.html>
8. Start with your vision. The all-new ALPHAFLEX CI flexo press. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.wh.group/int/en/>
9. Creative agency for a sustainable, connected future. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.k-design.io/>
10. Research And Development. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.addextherapeutics.com/en/>
11. Macro. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.macroeng.com/>
12. Осадчук, В. С. Радіовимірювальні перетворювачі для визначення товщини плівок на основі пристроїв з від’ємним опором : монографія / В. С. Осадчук, О. В. Осадчук, Р. В. Криночкін. — Вінниця : ВНТУ, 2013. — 136 с. ISBN 978-966-641-550-6
13. Осадчук О. В. Проблеми вимірювання товщини нанесеного покриття та методи підвищення його точності / О. В. Осадчук, Р. В. Криночкін // Нові

технології. Науковий вісник КУЕІТУ. – 2009. – № 1. – С. 102–105.

14. Теоретичні основи інформаційно-вимірювальних систем / Єременко В.С., Бабак В.П., Бабак С.В. та ін.: за ред. Бабака В.П. – К.: Ун-т новітніх технологій НАУ, 2017. – 496 с.

15. Готра З. Ю. Мікроелектронні сенсори фізичних величин : Т. 2. / З. Ю. Готра. – Львов : Ліга-Прес, 2003. – 592 с.

16. ISO/WD TR 19032. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.iso.org/standard/88061.html>

17. ISO 527-3 Tensile Test on Plastic Film. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.zwickroell.com/industries/plastics/thin-sheeting-and-plastic-films/tensile-properties-iso-527-3/>

18. Перетворювачі механічних величин в електричні. Конспект лекцій [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології», освітньо-професійної програми «Комп'ютерно-інтегровані системи та технології в приладобудуванні» / О.М. Безвесільна, Ю.В. Киричук, Н.М. Назаренко; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 3,5 Мбайт). – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 156 с.

19. Вимірювальні перетворювачі : лабораторний практикум/ [Кучерук В. Ю., В.М. Севастьянов, О.Г. Ігнатенко, В.С. Маньковська] – Вінниця: ВНТУ, 2013. – 183 с.

20. Bishop R. H. The Mechatronics Handbook / R. H. Bishop. – Boca Raton : CRC Press, 2002. – 1229 p.

21. Левицький А.С., Федоренко Г.М., Грубой О.П. Контроль стану потужних гідро- та турбогенераторів за допомогою ємнісних вимірювачів параметрів механічних дефектів.–Київ: Ін-т електродинаміки НАН України, 2011.– 242с.

22. Афанасьєва О.В. Курський Ю.С., Одаренко Є.М. Оптичні вимірювання: навч. посібник. – Харків: ХНУРЕ, 2021. Ч.1 – 180 с. ISBN 978-966-

659-325-5

23. Технологічні вимірювання і прилади. Вимірювання рівня та витрат [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: С. Г. Бондаренко, Д. М. Складанний, А. О. Абрамова. – Електронні текстові данні (1 файл: 2 Мбайт). – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 117 с.

24. ISO 11554:2017(E) Optics and photonics — Lasers and laser-related equipment — Test methods for laser beam power, energy and temporal characteristics. [Дійсний із 2018-01-01]. Geneva : ISO. 2017. 18 p. (Інформація та документи).

25. ISO 13695:2004 Optics and photonics -- Lasers and laser-related equipment - Test methods for the spectral characteristics of lasers. [Дійсний із 2005-01-01]. Geneva : ISO. 2004. 24 p. (Інформація та документи).

26. Мас-спектрометрія : підручник / О. В. Іщенко, С. В. Гайдай, О. А. Беда. – К. : ВПЦ "Київський університет". 2018. – 244 с. ISBN 978-966-933-003-1

27. Метрологія [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 152 «Метрологія та інформаційно-вимірювальні технології» / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: Н.М. Защепкіна. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 397 с.

28. Поліщук Є.С. Методи та засоби вимірювань неелектричних величин. – Львів: Видавництво НУ «Львівська політехніка», 2000. – 360 с.

29. Поліщук Є.С., Дорожовець М.М., Яцук В.О. та ін. Метрологія та вимірювальна техніка: Підручник/Є.С. Поліщук, М.М.Дорожовець, В.О. Яцук, В.М. Ванько, Т.Г. Бойко; За ред. проф. Є.С. Поліщука. – Львів: Видавництво «Бескид Біт», 2003. – 544 с.

30. Нестерчук Д.М. Контрольно-вимірювальні прилади з основами метрології: конспект лекцій/ Д.М.Нестерчук. – Мелітополь: Видавничо-поліграфічний центр «Люкс», 2020. - 256 с.

31. Вступ до техніки вимірювань. Конспект лекцій [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальності 153 «Мікро- та наносистемна техніка»,

освітньої програми «Електронні мікро- і наносистеми та технології» та спеціальності 171 «Електроніка», освітньої програми «Електроніка та телекомунікації»/ КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: І.Д. Шовкун, О.В. Семеновська, Т.А. Саурова – Електронні текстові данні (1 файл: 3317 Кбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 147 с.

32. Решетник В.Я. Основи метрології та електричних вимірювань : навчально-методичний посібник для студентів електромеханічного факультету / В. Я. Решетник, С. М. Бабюк. – Тернопіль : Вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя, 2015. – 160 с.

33. Лавренова Д.Л. Основи метрології та електричних вимірювань [Електронний ресурс]: навчальний посібник / Д. Л. Лавренова, В. М. Хлистов; Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут». Київ: НТУУ «КПІ», 2016. – 123 с.
<http://ela.kpi.ua/handle/123456789/15988>

34. Шпінь О.П. Прикладна метрологія: навчальний посібник / О. П. Шпінь ; НТУУ "КПІ". Київ : НТУУ "КПІ", 2007. – 140 с.

35. General Radar Corp. [Електронний ресурс] – Режим доступу:

<https://www.genrad.com/>

36. E7-5A вимірник RLC. [Електронний ресурс] – Режим доступу:

<https://standart-pribor.com.ua/product/e7-5a-izmeritel-rlc/>

37. Вимірювач RLC E7-9. [Електронний ресурс] – Режим доступу:

https://cels.com.ua/ua/production/vymiruvachi_rlc/e7-9.html

38. E4-7 вимірник добротності. [Електронний ресурс] – Режим доступу:

<https://standart-pribor.com.ua/product/e4-7-izmeritel-dobrotnosti/>

39. Вимірювачі добротності (E4- та інші). [Електронний ресурс] – Режим доступу:

<https://zapadpribor.com/ua/category/vimiryuvachi-dobrotnosti/>

40. Прилади E8. [Електронний ресурс] – Режим доступу:

<https://zapadpribor.com/ua/category/prylady-e8/>

41. E7-4. [Електронний ресурс] – Режим доступу:

<https://zapadpribor.com/ua/e7-4/>

42. P596 Міра індуктивності зразкова. [Електронний ресурс] – Режим доступу:

http://rostok-pribor.com/ua/device_85.html

43. P597 Міра ємності зразкова. [Електронний ресурс] – Режим доступу:

http://rostok-pribor.com/ua/device_61.html

44. КМЕ-11 міра малої ємності. [Електронний ресурс] – Режим доступу:

<https://zapadpribor.com/ua/kme-11/>

45. E6-12 вимірювач опору. [Електронний ресурс] – Режим доступу:

<https://standart-pribor.com.ua/product/e6-12-izmeritel-soprotivleniya/>

46. E6-15 вимірювач опору. [Електронний ресурс] – Режим доступу:

<https://standart-pribor.com.ua/product/e6-15-izmeritel-soprotivleniya/>

47. Вимірювач RLC E6-18 / 1. [Електронний ресурс] – Режим доступу:

https://cels.com.ua/ua/production/vymiruvachi_rlc/e6-18_1.html

48. APT Electronics Co., Ltd. [Електронний ресурс] – Режим доступу:

<http://www.apr-hk.com/en/>

49. Вимірювач RLC E7-8. [Електронний ресурс] – Режим доступу:

<https://zapadpribor.com/ua/e7-8/>

50. Вимірювач RLC E7-11. [Електронний ресурс] – Режим доступу:

https://cels.com.ua/ua/production/izmeriteli_rlc/e7-11.html

51. E7-10 вимірник RLC. [Електронний ресурс] – Режим доступу:

<https://standart-pribor.com.ua/product/e7-10-izmeritel-rlc/>

52. P5016 Міст змінного струму. [Електронний ресурс] – Режим доступу:

<https://zapadpribor.com/ua/r5016/>

53. P50/20 ротаметр. [Електронний ресурс] – Режим доступу:

<https://zapadpribor.com/ua/r50-20/>

54. Ukládání energie. [Електронний ресурс] – Режим доступу:

https://www.tesla.com/cs_CZ/findus/location/store/teslabrno

55. ГОСТ 17035-86. Пластмаси. Методи визначення товщини плівок і листів. [Електронний ресурс] – Режим доступу:

https://dnaop.com/html/41839/doc-%D0%93%D0%9E%D0%A1%D0%A2_17035-86

56. ГОСТ 28798-90. Головки вимірювальні пружинні пружинні. Загальні технічні умови. [Електронний ресурс] – Режим доступу:

https://dnaop.com/html/77068/doc-%D0%93%D0%9E%D0%A1%D0%A2_28798-90

57. ГОСТ 11007-66. Наконечники вимірювальні до приладів для лінійних вимірювань. Технічні умови. [Електронний ресурс] – Режим доступу:

https://dnaop.com/html/72282/doc-%D0%93%D0%9E%D0%A1%D0%A2_11007-66

58. ГОСТ 11098-75. Скоби з відліковим пристроєм. [Електронний ресурс] – Режим доступу:

https://toolsua.com.ua/upload/gallery/11098-75.pdf?srsltid=AfmBOooautVYAmuK6_IECYtymVZyWppOO2_SPMBRMA5mga83esaPMpCR

59. ГОСТ 427-75. Лінійки вимірювальні металеві. Технічні умови. [Електронний ресурс] – Режим доступу:

https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=6612

60. ISO 4593 – 79. Plastics - Film and sheleting - Determination of thickness by mechanical scanning. [Електронний ресурс] – Режим доступу:

<https://cdn.standards.iteh.ai/samples/10530/e3c48ce7657147cd922644d920957501/ISO-4593-1979.pdf>

61. LCD 1602 символний дисплей 16x2. [Електронний ресурс] – Режим доступу:

<https://arduino.ua/ru/prod1813-lcd-1602-simvolnii-displei-16x2-jeltii?srsltid=AfmBOor2spEZ8omO4KgszsTegcDbOa5m5MTw6KyyifODeORBP3Z996z6>

62. LM311P. Texas Instruments Incorporated (TI). [Електронний ресурс] – Режим доступу:

https://www.sea.com.ua/ua/elektronnye-komponenty/mikroshemy-komparatory/lm311p/?srsltid=AfmBOopZatKOzV3OQTykLzRbpRPyNiKNrFqN_RKkliK-fzK2RLMoqaN2

63. LCD дисплей 2004 (HD44780) із зеленим підсвічуванням. [Електронний ресурс] – Режим доступу:

<https://ardushop.in.ua/arduino/lcd-display-2004-hd44780-with-green-backlight>

64. Нарожний В.В. Цифрові електронно-обчислювальні машини: Конспект лекцій. – Харків: УкрДАЗТ, 2010. – 105 с.

65. Глухов О.В., Кравчук О.О., Левченко Є.В. Вивчення властивостей мікроконтролерів і електронних систем на базі платформи Ардуіно: навч. посібник для студентів ВНЗ. Харків: ХНУРЕ, 2019. – 192 с. ISBN 978-966-659-273-9

66. Терещенко Т. О. Мікропроцесорні пристрої: навч. посібник для студентів зі спец-ті «Електроніка» / Т. О. Терещенко, В. А. Тодоренко, Л. М. Батрак, Ю. С. Ямненко. – К.: Кафедра, 2017. – 244 с. ISBN 978-617-7301-37-9

67. Дросель ДПМ0.1-470. [Електронний ресурс] – Режим доступу:

<https://standart-pribor.com.ua/product/dpm0-1-470-drossel/>

68. LM311 компаратор напруги DIP-8. [Електронний ресурс] – Режим доступу:

https://uamper.com/index.php?route=product/product&product_id=651&srsltid=AfmBOopgZ1wIAu8MugdGmX_MB_wIZeKs6vI5yQ9_w3ZdlyW8yov5j_-W

69. K544CA3. [Електронний ресурс] – Режим доступу:

<http://www.radio-tochka.com.ua/product/lm311p-k544sa3>

70. Технологічні основи електроніки. Книга 1. Технологія виробництва мікросхем [Електронний ресурс] : навчальний посібник для студентів спеціальності 171 «Електроніка», спеціалізації «Електронні прилади та пристрої» / А. І. Кузьмичев, Л. Д. Писаренко, Л. Ю. Цибульський ; КПІ ім. Ігоря

Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 3,74 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 127 с. – Назва з екрана.
<https://ela.kpi.ua/handle/123456789/30141>

71. Технологічні основи виготовлення елементів напівпровідникових інтегральних мікросхем : конспект лекцій / укладач І. П. Бурик. – Суми : Сумський державний університет, 2015. – 65 с.

72. K561КП2 8-канальний мультиплексор (аналог CD4051A). [Електронний ресурс] – Режим доступу:

<https://led-stars.com.ua/ua/p91236683-k561kp2-kanalnyj-multipleksor.html>

73. Васілевський, О. М. Нормування показників надійності технічних засобів : навчальний посібник / О. М. Васілевський, В. О. Поджаренко. – Вінниця : ВНТУ, 2010. – 129 с.

74. Кустов В.Ф. Основи теорії надійності та функційної безпечності систем залізничної автоматики: Навчальний посібник. – Харків: УкрДАЗТ, 2008. - 218 с.

75. ГОСТ 10317-79. Плати друковані. Основні розміри. [Електронний ресурс] – Режим доступу:

https://dnaop.com/html/65648/doc-%D0%93%D0%9E%D0%A1%D0%A2_10317-79

76. Лазарєв Ю. Ф. Довідник з MATLAB / Електронний навчальний посібник з курсового і дипломного проектування. – К.: НТУУ "КПІ", 2013. – 132 с.

77. Довгий Б.П. Використання математичного пакета MATLAB для розв'язування прикладних задач / Б.П.Довгий, Є.С.Вакал, Ю.Є.Вакал, А.В.Попов. – К.:Фітосоціоцентр,2012. – 77 с.

78. Лазарєв Ю. Ф. MATLAB і моделювання динамічних систем. Навчальний посібник. Глава 2. Програмування у Matlab. – Київ: НТУУ "КПІ", 2009. – 60 с.

79. Гурко О.Г., Єрмоєнко І.Ф. Аналіз та синтез систем автоматичного керування в MATLAB. Навчальний посібник/ О.Г. Гурко, І.Ф.Єрмоєнко. –

Харків: ХНАДУ, 2011. - 286 с.

80. Арсеньєва С. І. Використання програмних засобів MATLAB для розв'язання типових задач аналогової автоматизації: навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів / С. І. Арсеньєва – Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2019. – 118 с. ISBN 978-617-529-244-0

Додаток А

Стаття у фаховому журналі

Міжнародний науково-технічний журнал
«Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах»

ISSN 2219-9365

<https://doi.org/10.31891/2219-9365-2024-80-35>

УДК 681.5:629.3

ФАНДУЛЬ Андрій

Хмельницький національний університет

МАЙДАН Павло

Хмельницький національний університет

<https://orcid.org/0000-0003-3319-8730>

maidanps@gmail.com

МАКАРИШКІН Денис

Хмельницький національний університет

<https://orcid.org/0000-0003-3447-811X>

makaryshkind@khmnu.edu.ua

СОКОЛАН Юлія

Хмельницький національний університет

<https://orcid.org/0000-0002-0273-5719>

sokolan.julia@gmail.com

МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ВИГОТОВЛЕННЯ ПОЛІМЕРНОЇ ПЛІВКИ

Загально відомо, що, наприклад, у США на рік встановлюють не менше сотні систем керування (СК) товщиною плівки в процесі виробництва. Дедалі більша кількість фірм-виробників, які постачають як вимірювальні давачі, так і спеціалізовані комплексні системи корекції товщини (КТ) з'являються на ринку. Причому такі системи можуть бути як частиною технологічного процесу (ТП), так і просто лабораторним обладнанням. У даній кваліфікаційній роботі ми будемо розглядати переважно системи КТ, що працюють on-line, тобто в режимі реального часу.

Інтенсифікація сучасного виготовлення виробів вимагає розвитку високо продуктивних методів та необхідних засобів контролю якості готової продукції. Поперечні розміри (ширина, діаметр чи товщина) є одними з найважливіших параметрів для більшості виробів. Часто вони впливають на загальну якість, надійність чи навіть довговічність інших, більш складних виробів, саме тому, мають досить жорсткі технологічні допуски. Крім достатньо високої точності контролю зазвичай повинен бути забезпечений порівняно малий вплив на виріб, який контролюється. Наявні контактні вимірювачі поперечних розмірів володіють не лише порівняно низькою чутливістю, а й не задовольняють вимогам сучасного виробництва, оскільки мають досить низьку продуктивність і не дають можливості виконувати безперервний автоматичний контроль. Тому завдання створення високоточних швидкодіючих та порівняно дешевих вимірювачів поперечних розмірів до розвитку ємнісного методу не мало достатнього ефективного вирішення.

В роботі виконано розробку структурної схеми вимірювального ємнісного пристрою та на її основі розроблено електричну принципову схему вимірювача ємності.

Ключові слова: полімерна плівка, моделювання, автоматизована система, ємнісний давач, мікросхема.

FANDUL Andriy, MAIDAN Pavlo, MAKARYSHKIN Denys, SOKOLAN Iuliia

Khmelnitskyi National University

MODELING OF THE SYSTEM OF AUTOMATED QUALITY CONTROL OF POLYMER FILM PRODUCTION

It is well known that, for example, in the United States, at least a hundred film thickness control systems (TCS) are installed in the production process every year. An increasing number of manufacturers supplying both measuring sensors and specialized integrated thickness correction (TC) systems are appearing on the market. Such systems can be either a part of the technological process (TP) or just laboratory equipment. In this qualification paper, we will mainly consider TC systems that operate on-line, i.e. in real time.

The intensification of modern product manufacturing requires the development of high-performance methods and the necessary means of quality control of finished products. Transverse dimensions (width, diameter, or thickness) are among the most important parameters for most products. They often affect the overall quality, reliability or even durability of other, more complex products, which is why they have rather tight manufacturing tolerances. In addition to a sufficiently high inspection accuracy, it is usually necessary to ensure that the product under inspection is subjected to relatively low impact. Existing contact transverse dimensional gauges not only have relatively low sensitivity, but also do not meet the requirements of modern production, as they have rather low productivity and do not allow for continuous automatic control. Therefore, the task of creating high-precision, high-speed, and relatively cheap transverse dimension gauges before the development of the capacitive method was not sufficiently effective.

In this work, we have developed a structural diagram of a capacitive measuring device and, on its basis, developed an electrical circuit diagram of a capacitance meter.

Keywords: polymer film, modeling, automated system, capacitive sensor, microcircuit.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ У ЗАГАЛЬНОМУ ВИГЛЯДІ ТА ЇЇ ЗВ'ЯЗОКІЗ ВАЖЛИВИМИ НАУКОВИМИ ЧИ ПРАКТИЧНИМИ ЗАВДАННЯМИ

Загально відомо, що, наприклад, у США на рік встановлюють не менше сотні систем керування (СК) товщиною плівки в процесі виробництва. Дедалі більша кількість фірм-виробників, які постачають як вимірювальні давачі, так і спеціалізовані комплексні системи корекції товщини (КТ) з'являються на ринку.

Причому такі системи можуть бути як частиною технологічного процесу (ТП), так і просто лабораторним обладнанням. У даній кваліфікаційній роботі ми будемо розглядати переважно системи КТ, що працюють on-line, тобто в режимі реального часу.

Загалом система КТ складається з наступних частин: вимірювальний давач (сканер), програмне забезпечення (ПЗ) та виконавчий механізм (ВМ). Відповідно є фірми-виробники, що спеціалізуються на виробництві або однієї або декількох частин системи КТ, або ж, навіть, постачають ціле комплексне рішення.

У галузі давачів, які використовуються для вимірювання товщини в рукавній плівці відомі наступні фірми-виробники: Kuendig [1], Plast-Control [2], Sussex [3], NDC, Octagon Process Technology GmbH [4] та ін. Для вимірювання товщини в плоских плівках розповсюджені давачі наступних фірм-виробників: NDC, Electronic Systems (Italy) [5], Micro-Epsilon Messtechnik GmbH [6], Thermo-Fischer (USA) [7] тощо.

Частина із даних фірм-виробників постачають і спеціалізоване ПЗ для КТ, проте вони, за малим винятком, не займаються виготовленням ВМ, які відповідають за коригування товщини плівки. Комплексні системи КТ поставляються або фірмами-виробниками цілих ліній, які зазвичай оснащують дані машини власною системою КТ, що, як правило, є невід'ємною частиною лінії (одним із першопрохідців, що й донині має одну з найкращих систем КТ, є німецька компанія Windmüller & Hölscher [8]), або компаніями, що позиціонуються на світовому ринку в якості постачальників комплексних систем КТ «для всіх користувачів», тобто можуть продавати дані системи КТ як виробникам машин, так і до налаштовувати системами КТ технологічні лінії, які працюють у користувача. До таких фірм-виробників відносять Octagon Process Technology GmbH [4], K-Design [9], Addex (USA) [10], Plast-Control [2], Macro Engineering (Canada) [11], яка, крім повних ліній з виробництва плівки, постачає комплексні системи КТ.

АНАЛІЗ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ПУБЛІКАЦІЙ

Інтенсифікація сучасного виготовлення виробів вимагає розвитку високо продуктивних методів та необхідних засобів контролю якості готової продукції. Поперечні розміри (ширина, діаметр чи товщина) є одними з найважливіших параметрів для більшості виробів. Часто вони впливають на загальну якість, надійність чи навіть довговічність інших, більш складних виробів, саме тому, мають досить жорсткі технологічні допуски. Крім достатньо високої точності контролю зазвичай повинен бути забезпечений порівняно малий вплив на виріб, який контролюється. Найвні контактні вимірювачі поперечних розмірів володіють не лише порівняно низькою чутливістю, а й не задовольняють вимогам сучасного виробництва, оскільки мають досить низьку продуктивність і не дають можливості виконувати безперервний автоматичний контроль. Безконтактні вимірювачі (рис. 1), засновані на різних методах також часто не дають можливості виміряти поперечні розміри виробів у необхідному діапазоні з встановленою точністю [12-17].

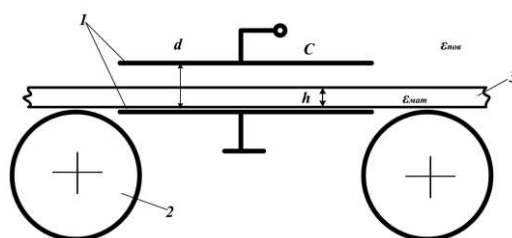


Рис. 1. Загальний вигляд процесу вимірювання товщини полімерної плівки:
1 – вимірювальний конденсатор; 2 – опорні ролики; 3 – плівка

Крім того, багато засобів контролю поперечних розмірів, які загально відомі зараз, володіють значною похибкою. Тому на сучасному етапі було створено низку новітніх методів та приладів, зокрема інтерференційних, для виконання особливо точного вимірювання габаритних розмірів як відносним методом (порівняння зі зразковим кільцем або блоком кінцевих мір), так і безпосереднім порівнянням із довжиною світлової хвилі. Зазначені прилади хоча й дають можливість реалізувати досить високі технічні характеристики, але є достатньо дорогими і через це мають суттєво обмежене використання.

Тому завдання створення високоточних швидкодіючих та порівняно дешевих вимірювачів поперечних розмірів до розвитку емнісного методу не мало достатнього ефективного вирішення.

ФОРМУЛЮВАННЯ ЦІЛЕЙ СТАТТІ

Метою роботи є: розроблення автоматизованої системи контролю якості виготовлення полімерної плівки на основі ємнісних давачів.

ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Проведений аналітичний огляд методів вимірювання лінійних розмірів дає можливість виконати вибір методу, який найкраще підходить для реалізації обраного технічного завдання.

Очевидно, що контактні методи володіють нижчим пріоритетом, оскільки дають можливість створювати пристрої значно із нижчою надійністю, ніж ті, які можна створити на основі безконтактних методів.

Прямі методи вимірювання більш точні, ніж непрямі, але використання непрямих методів значно простіше за конструктивними ознаками. Всі електромеханічні методи вимірювання розмірів є контактними, тому були виключені із подальшого розгляду.

Спектрометричні методи, базуються на використанні внутрішньоатомних та, навіть, ядерних явищ, на які практично не мають впливу зміни навколишніх умов, особливо перспективні для використання при вимірюванні геометричних розмірів. Дані методи дають можливість створювати достатньо чутливі та точні засоби вимірювання, але при цьому складність та досить висока вартість таких засобів вимірювання обмежують широке використання спектрометричних методів [12-17].

Електрофізичні методи, що базуються на використанні інтегральних властивостей речовини, таких як теплопровідність, електропровідність, магнітна та діелектрична проникність тощо часто привертають увагу розробників через наступні переваги: висока чутливість та точність, простота використання, хороша пристосованість до умов промислового виробництва.

З електрофізичних методів вимірювання розмірів дедалі більшого значення і розвитку набувають ємнісні методи вимірювання. Вони володіють багатьма перевагами, що робить такі методи особливо доцільними в машинобудуванні та інших галузях. Дані методи, також мають обмеження і певні недоліки і тільки при правильній оцінці позитивних та негативних сторін методу можливо отримати потрібний результат.

Ємнісні методи вимірювання розмірів базуються на застосуванні ємнісних первинних вимірювальних пристроїв (або давачів), які відносяться до найважливішої групи пасивних давачів, також носять назву модуляторів або параметричних. Зазначена група носить назву - група імпедансних давачів, де термін імпеданс - опір змінній силі струму. Даний опір може бути по величині таким самим, як і для постійної сили струму, тобто активним опором, у якому енергія електричної сили струму перетворюється, наприклад, на теплову енергію.

В іншому випадку це може бути опір котушки (або точніше індуктивний опір), який зростає із частотою, але не споживає активної потужності, оскільки спричиняє запізнювання фази сили струму на чверть періоду відносно фази напруги. Опір, створений за допомогою використання ємності, або так званий ємнісний опір, також не споживає активної енергії і спричиняє запізнювання фази напруги на чверть періоду відносно фази сили струму. Проте необхідно пам'ятати, що опір може бути і змішаним, тобто включати в себе всі наведені вище складові і тому може мати для різних частот абсолютно різну величину.

З використанням ємнісних давачів можливо виконувати вимірювання за допомогою тих самих приладів, що й у разі використання інших імпедансних давачів, особливо заснованих на зміні рівня індуктивності, а іноді й на зміні величини активного опору. В такому випадку полегшується розробка конструкції найскладніших пристроїв, у яких не можливо обійтися лише використанням ємнісних давачів. У такому випадку можна за наявності одного приладу користуватися досить великим вибором давачів.

Відповідно до перерахованого раніше вимірювач величини ємності, що проектується, повинен відповідати наступним вимогам:

- діапазон вимірювання величини ємності від 0,01 пФ до 0,5мкФ;
- сила струму споживання не повинна перевищувати 50мА;
- похибка вимірювання величини ємності не повинна перевищувати 0,5%.

У вимірювачі величини ємності доцільно використовувати резонансний метод вимірювання, оскільки даний метод є найбільш ефективним у використанні. У коливальний контур вимірювального генератора, утворений за допомогою індуктивності та еталонного конденсатора буде паралельно підключатись ємнісний давач. Далі створений сигнал повинен потрапити на формувач та надійти на мікроконтролер.

Окрему увагу варто звернути на МК, який повинен володіти досить високою швидкістю, мати можливість переналаштування, відзначатись невеликим споживанням струму та невисокою вартістю.

В якості пристрою для індикації можливо застосувати будь-який LCD дисплей стандартного формату 2x16. Для виконання якісної стабілізації необхідно застосовувати спеціальний стабілізатор на мікросхемі, розрахований для пристроїв із низьким споживанням струму і живленням від джерела.

Таким чином схема повинна складатися з вхідного блоку, вимірювального генератора, блоків - вимірювання, індикації, живлення та стабілізації рівня напруги. Загальний вигляд структурної схеми даного вимірювального пристрою представлено на рисунку 2 [12-17].

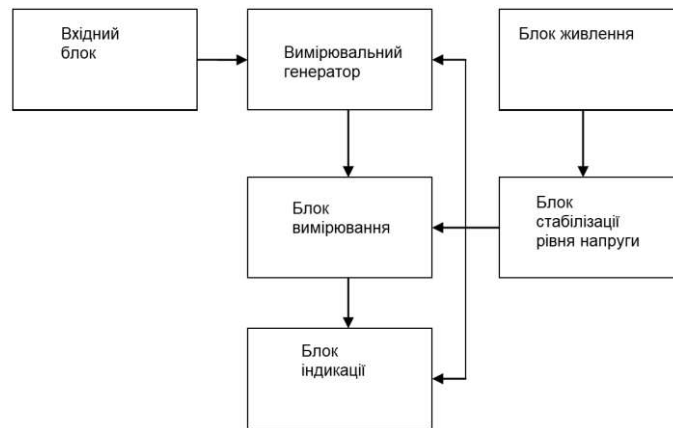


Рис. 2. Загальний вигляд структурної схеми вимірювального пристрою

Електрична принципова схема одноканального вимірювача величини ємності (див. рис. 3) розроблена на базі структурної схеми, описаної вище. У електричній принциповій схемі виділено наступні основні вузли:

- вхідний блок;
- блок вимірювання на DD1;
- вимірювальний генератор на DA1;
- блок стабілізації напруги на DA2;
- блок індикації на LCD;
- блок живлення.

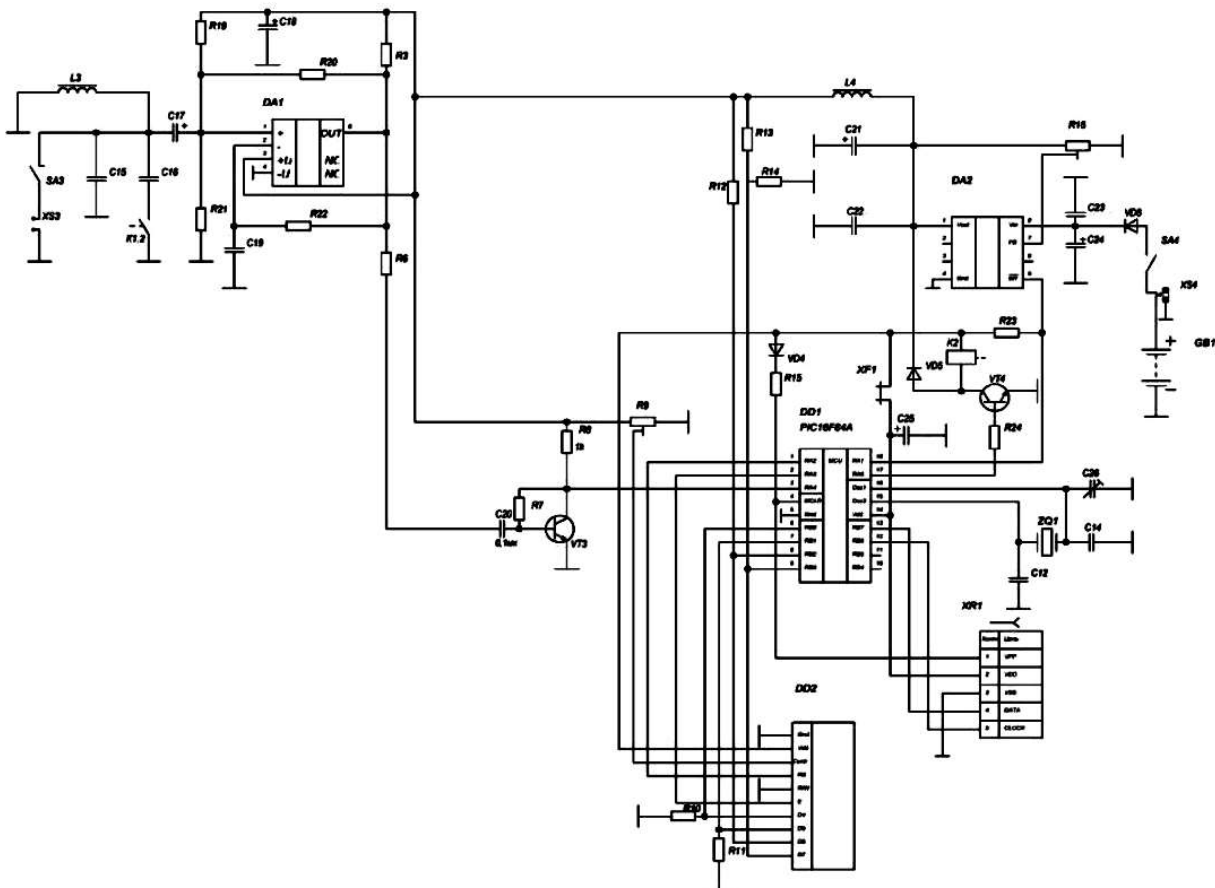


Рис. 3. Електрична принципова схема одноканального вимірювача величини ємності

Обрана електрична принципова схема вимірювача величини ємності працює за принципом резонансу: вимірювальні давачі підключаються в коливальний контур із вже відомими параметрами, який в свою чергу, входить до складу вимірювального генератора. За зміною рівня частоти, що генерується, за загальновідомою

формулою $F^2 = \frac{1}{4} \pi^2 \cdot L \cdot C$ аналітично розраховується значення. Для визначення власних параметрів коливального контуру необхідно до нього підімкнути відому додаткову ємність – тобто еталонний конденсатор С1. Вимірювальний генератор зібрано на мікросхемі-компараторі типу ІL311 (DA1). Дана схема добре зарекомендувала себе в якості генератору рівня частоти до 800 кГц, забезпечуючи на виході сигнал, близький по формі до меандру. Для забезпечення стабільних показань вимірювальний генератор потребує узгодженого за опором і стабільного рівня навантаження.

Рівень частоти задається за допомогою елементів вимірювального генератора - вимірювальної котушки індуктивності L1 та еталонного конденсатору С1. Вимірювальні давачі під'єднується до клем XS1 (див. рис. 3) паралельно до встановленого еталонного конденсатора.

З виходу вимірювального генератора створений сигнал через спеціальний резистор розв'язки R7 надходить на формувач, побудований на транзисторі VT1. Вихід формувача безпосередньо під'єднано до спеціального тригера Шмідта, що входить у склад мікроконтролера Шмідта. Мікроконтролер працює з тактовою частотою в 4МГц, при цьому швидкодія складає приблизно один мільйон операцій за секунду. Результат розрахунків виводиться на алфавітно-цифровий дисплей (тобто LCD) з інтерфейсом HD44780.

У ВП передбачено можливість внутрішньосхемного перепрограмування за допомогою використання розніму ICSP. Для цього необхідно видалити спеціальну перемичку XF1 (див. рис. 3), ізолювавши таким чином ланцюг живлення МК від решти електричної принципової схеми. Далі підключається програматор до розніму і «заливається» необхідна програма, після чого перемичка XF1 встановлюється на старе місце.

Джерелом живлення є гальванічна батарея з рівнем напруги в 9 В, також можливо використовувати стандартний адаптер живлення з рівнем напруги в діапазоні від 6 до 15 В. Мікросхема DA2 (рис. 3) є високоякісним стабілізатором рівня напруги в 5 В з низьким залишковим рівнем напруги та сигналізатором залишкового розряду батареї живлення. Дана мікросхема спеціально розроблялася для використання в вимірювальних пристроях із низьким споживанням струму та живленням від батарей. У ланцюгу живлення вмонтовано діод VD3 для захисту вимірювального приладу від неправильного підключення. Конденсатори С9 та С10 призначені для усунення високо- та низькочастотних перешкод.

Резистор R15, носить назву підлаштовувального, використовується для встановлення рівня напруги в 5 В на виводі 1 мікросхеми DA2 під час складання приладу (рис. 3). За допомогою використання транзистору VT2 зібрано спеціальний ключ керування реле, що відповідає за підключення еталонного конденсатору С2.

Найважливішим елементом, від якості якого залежить точність і стабільність показань вимірювача, є котушка індуктивності L1, яка повинна мати максимальну добротність та мінімальну власну величину ємності.

В схемі можливо використовувати стандартний дросель типу LGV з індуктивністю в діапазоні від 100 до 125мкГн. До еталонного конденсатора С1 також висувають досить високі вимоги, особливо щодо термостабільності. В якості еталонного конденсатору можливо застосувати наприклад К71-7. Аналогічні вимоги висувають і до конденсатору С2.

Також можливо мікросхему DA1 замість ІL311 замінити на LM311 або К544СА3.

ВИСНОВКИ З ДАНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ І ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШИХ РОЗВІДОК У ДАНОМУ НАПРЯМІ

В роботі виконано розробку структурної схеми вимірювального ємнісного пристрою та на її основі розроблено електричну принципову схему вимірювача ємності.

Оскільки під час випробувань товщини поліетиленової плівки зручно використовувати багатоканальний вимірювач величини ємності. Тоді є необхідність в створенні іншого варіанту побудови пристрою, який передбачає, що паралельно із каналом, зібраним на операційному підсилювачі DA1 будуть функціонувати аналогічні вхідні блоки, які за допомогою використання мультиплексору підключаються до перетворювальної схеми і реєструються за допомогою індикатору або від мультиплексора передаються на ПК, де виконується обробка відповідно до необхідного алгоритму.

Література

1. Innovation We strive to exceed. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.kuendig.com/en/>
2. PLAST-CONTROL - a success story. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.plastcontrol.de/en/>
3. Research at Sussex. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.sussex.ac.uk/>
4. Octagon. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://octagon.com.ua/>
5. THE POWER OF CONTROL. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.electronicssystem.it/>
6. Cutting-edge technology for high precision measurements. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.micro-epsilon.com/>

7. Accelerating Science. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.thermofisher.com/ua/en/home.html>
8. Start with your vision. The all-new ALPHAFLEX CI flexo press. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.wh.group/int/en/>
9. Creative agency for a sustainable, connected future. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.k-design.io/>
10. Research And Development. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.addextherapeutics.com/en/>
11. Macro. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.macroeng.com/> Robocuprescue 2014-robot league team hector darmstadt (Germany) // Kohlbrecher S., Meyer J., Graber T., Petersen K., Von Stryk O., Klingauf U. RoboCupRescue 2014.
12. Перетворювачі механічних величин в електричні. Конспект лекцій [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології», освітньо-професійної програми «Комп'ютерно-інтегровані системи та технології в приладобудуванні» / О.М. Безвесільна, Ю.В. Киричук, Н.М. Назаренко; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 3,5 Мбайт). – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 156 с.
13. Вимірювальні перетворювачі : лабораторний практикум/ [Кучерук В. Ю., В.М. Севастьянов, О.Г. Ігнатенко, В.С. Маньковська] – Вінниця: ВНТУ, 2013. – 183 с.
14. Bishop R. H. The Mechatronics Handbook / R. H. Bishop. – Boca Raton : CRC Press, 2002. – 1229 p.
15. Левицький А.С., Федоренко Г.М., Грубой О.П. Контроль стану потужних гідро- та турбогенераторів за допомогою ємнісних вимірювачів параметрів механічних дефектів– Київ: Ін-т електродинаміки НАН України, 2011– 242с. A dynamic simulator for underwater vehicle-manipulators // Kermorgant O. - International Conference on Simulation, Modeling, and Programming for Autonomous Robots. 2014. pp. 25-36.
16. Технологічні вимірювання і прилади. Вимірювання рівня та витрат [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: С. Г. Бондаренко, Д. М. Складаний, А. О. Абрамова. – Електронні текстові дані (1 файл: 2 Мбайт). – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 117 с.
17. Метрологія [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 152 «Метрологія та інформаційно-вимірювальні технології» / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: Н.М. Защепкіна. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 397 с.

References

1. Innovation We strive to exceed. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.kuendig.com/en/>
2. PLAST-CONTROL - a success story. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.plastcontrol.de/en/>
3. Research at Sussex. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.sussex.ac.uk/>
4. Octagon. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://octagon.com.ua/>
5. THE POWER OF CONTROL. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.electronicssystemst.it/>
6. Cutting-edge technology for high precision measurements. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.micro-epsilon.com/>
7. Accelerating Science. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.thermofisher.com/ua/en/home.html>
8. Start with your vision. The all-new ALPHAFLEX CI flexo press. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.wh.group/int/en/>
9. Creative agency for a sustainable, connected future. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.k-design.io/>
10. Research And Development. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.addextherapeutics.com/en/>
11. Macro. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.macroeng.com/> Robocuprescue 2014-robot league team hector darmstadt (Germany) // Kohlbrecher S., Meyer J., Graber T., Petersen K., Von Stryk O., Klingauf U. RoboCupRescue 2014.
12. Peretvoriuvachi mekhanichnykh velychyn v elektrychni. Konspekt leksii [Elektronnyi resurs]: navch. posib. dlia stud. spetsialnosti 151 «Avtomatyzatsiia ta kompiuterno-intehrovani tekhnolohii», osvitno-profesiinoini prohramy «Kompiuterno-intehrovani systemy ta tekhnolohii v prykladobuduvanni» / O.M. Bezvesilna, Yu.V. Kyrychuk, N.M. Nazarenko; KPI im. Ihoria Sikorskoho. – Elektronni tekstovi dani (1 fail: 3,5 Mбайт). – Kyiv: KPI im. Ihoria Sikorskoho, 2022. – 156 s.
13. Vymiriuvalni peretvoriuvachi : laboratornyi praktykum/ [Kucheruk V. Yu., V.M. Sevastianov, O.H. Ihnatenko, V.S. Mankovska] – Vinnytsia: VNTU, 2013. – 183 s.
14. Bishop R. H. The Mechatronics Handbook / R. H. Bishop. – Boca Raton : CRC Press, 2002. – 1229 p.
15. Levytskyi A.S., Fedorenko H.M., Hruboi O.P. Kontrol stanu potuzhnykh hidro- ta turbogeneratoriv za dopomohoiu yemnisnykh vymiriuvachiv parametriv mekhanichnykh defektiv–Kyiv: In-t elektrodynamiky NAN Ukrainy, 2011–242s. A dynamic simulator for underwater vehicle-manipulators // Kermorgant O. - International Conference on Simulation, Modeling, and Programming for Autonomous Robots. 2014. pp. 25-36.
16. Tekhnolohichni vymiriuvannia i prylady. Vymiriuvannia rinvnia ta vytrat [Elektronnyi resurs]: navch. posib. dlia stud. spetsialnosti 151 «Avtomatyzatsiia ta kompiuterno-intehrovani tekhnolohii» / KPI im. Ihoria Sikorskoho; uklad.: S. H. Bondarenko, D. M. Skladannyi, A. O. Abramova. – Elektronni tekstovi dani (1 fail: 2 Mбайт). – Kyiv: KPI im. Ihoria Sikorskoho, 2020. – 117 s.
17. Metrolohiia [Elektronnyi resurs] : navch. posib. dlia stud. spetsialnosti 152 «Metrolohiia ta informatsiino-vymiriuvalni tekhnolohii» / KPI im. Ihoria Sikorskoho; uklad.: N.M. Zashchepkina. – Kyiv : KPI im. Ihoria Sikorskoho, 2022. – 397 s.

РЕЦЕНЗІЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Дипломник: Фандуль Андрій Володимирович

Тема: Метод автоматизованого контролю якості полімерної плівки

Спеціальність: 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка»

Обсяг кваліфікаційної роботи:

Кількість сторінок записки 78

1. Короткий зміст роботи та прийнятих рішень: Метою роботи є розробка автоматизовану систему контролю якості виготовлення полімерної плівки на основі ємнісних давачів

2. Висновок про відповідність роботи дипломному завданню: Робота повністю відповідає поставленому завданню

3. Характеристика виконання кожного розділу, ступінь використання останніх досягнень науки і техніки і передових методів роботи: У першому розділі проведено огляд та аналіз технічних та технологічних рішень вимірювання товщини полімерної плівки, на основі якого виконано підбір методу вимірювання товщини полімерної і типу давача для виконання цього завдання. У другому розділі проаналізовано переваги та недоліки існуючих ємнісних давачів товщини, на основі даного аналізу обґрунтовано вибір контрольованого параметра ємнісного давача. У третьому розділі Розроблено структурну схему вимірювального пристрою та на її основі розроблено електричну принципову схему вимірювача ємності для якої також підібрано конструкцію мультиплексора. У четвертому розділі розрахунок інтенсивності відмов вимірювача товщини полімерної плівки, середнього часу напрацювання пристрою та габаритних розмірів вимірювального пристрою в цілому. Проведено дослідження моделі системи автоматизованого контролю якості виготовлення полімерної плівки

4. Позитивні сторони роботи: висока практична цінність роботи, розроблено вимірювач товщини поліетиленової рукавної плівки, виготовленої методом екструзії з поліетилену високого тиску

5. Негативні сторони роботи: у роботі недостатньо уваги приділяється аналізу існуючих технічних рішень

6. Оцінка графічного оформлення та пояснювальної записки роботи: Пояснювальна записка оформлена коректно, згідно діючих стандартів оформлення документації


7. Відгук про роботу в цілому: Робота виконана на належному науково-технічному рівні.

8. Інші зауваження: відсутні

9. Оцінка дипломної роботи: добре (4,5/В)

Рецензент (прізвище, ім'я, по батькові, посада, місце роботи) Майдан Павло Сергійович, канд. техн. наук, доцент кафедри МАЕЕС

“12” 12 2024 р.

 (підпис)

Завідувачу кафедри АКІТтаР
д-ру техн.наук, проф. Мартинюку В.В.

Фандуля А.В.

ІІБ здобувача вищої освіти

ФІТ, 2 курс, групи АКІТРм-23-1

ЗАЯВА

З правилами чинного Положення «Про систему забезпечення академічної доброчесності у Хмельницькому національному університеті» від 01.07.2022, згідно з яким виявлення плагіату є підставою для відмови в допуску кваліфікаційної роботи до захисту та застосування заходів дисциплінарної та академічної відповідальності, ознайомлений (а). Про використання програмно-технічних засобів для перевірки кваліфікаційних робіт здобувачів вищої освіти на наявність плагіату ознайомлений(а) та надаю свою згоду на обробку та збереження університетом моєї роботи в інституційному репозитарії університету.

Також надаю університету право на передачу моєї роботи для обробки та збереження в базах даних програмно-технічних засобів (Strike Plagiarism та Anti-Plagiarism) та використання роботи для виявлення плагіату в інших роботах, які перевіряються програмно-технічними засобами та користувачами, що мають доступ до цих програмно-технічних засобів, виключно в обмежених цілях для виявлення плагіату в текстах робіт.

Робота для перевірки університетом надається в друкованому та електронному варіанті. Електронна версія моєї роботи збігається (ідентична) з друкованою.

02.12.2024

дата



підпис

Протокол аналізу звіту подібності науковим керівником

Заявляю, що я ознайомився (-лась) з Повним звітом подібності, який був згенерований Системою виявлення і запобігання плагіату щодо роботи:

Автор: Андрій ФАНДУЛЬ

Співавтор:

Назва: МКР Фандуль

Науковий керівник: Денис МАКАРИШКІН

Підрозділ: Кафедра автоматизації, комп'ютерно-інтегрованих технологій та робототехніки

Коефіцієнт подібності 1: 7.4%

Коефіцієнт подібності 2: 2.2%

Мікропробіли: 0

Заміна букв: 14

Інтервали: 0

Білі знаки: 1

Дата створення звіту: 2024-12-13 08:20:29.0

Після аналізу Звіту подібності констатую наступне:

Запозичення, виявлені в роботі є законними і не є плагіатом. Рівень подібності не перевищує допустимої межі. Таким чином робота незалежна і приймається.


Запозичення не є плагіатом, але перевищено граничне значення рівня подібностей. Таким чином робота повертається на доопрацювання.

Виявлено запозичення і плагіат або навмисні текстові спотворення (маніпуляції), як передбачувані спроби укриття плагіату, які роблять роботу невідповідною вимогам законодавства (Ст. 32. ЗУ Про вищу освіту, пункт 3.1, Ст. 42. ЗУ Про освіту) та вимог НАЗЯВО (Критерій 5), а також кодексу етики і процедурам. Таким чином робота не приймається.

Обґрунтування:

2024-12-13

Дата


експерт

Anti-Plagiarism v-15.257

Максимальне співпадіння з одним документом 2.0%

Словники перевірки: en_US, ru_RU, ua_UA. **Помилоч в документах: 9%**

ID: 158539 Назва: МКР Метод автоматизованого контролю якості полімерної плівки Додано в БД: 2024-12-13 Автора: Андрій ФАНДУЛЬ Керівники: Денис МАКАРИШКІН Консультанти: Опоненти:	Документ		Сумарний збіг по Базі Даних	
	Символи	Лексеми	Символи	Лексеми
	104941	1522	5798 (6%)	59 (4%)

Джерело плагіату

ID	Опис	Наявність плагіату в документі	
		Символи	Лексеми

РІШЕННЯ ЕКСПЕРНОЇ КОМІСІЇ
КАФЕДРИ АВТОМАТИЗАЦІЇ, КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ТА
РОБОТОТЕХНІКИ
ПРО ДОПУСК КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ ДО ЗАХИСТУ

Підтверджуємо ознайомлення з результатом звіту подібності щодо роботи, генерованого системою виявлення текстових збігів/ідентичності/схожості:

Назва: Метод автоматизованого контролю якості полімерної плівки

Автор: Фандуль Андрій Володимирович

Спеціальність: 174 – Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка

Освітня програма: Освітньо-професійна програма «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка»

Науковий керівник: Макаришкін Денис Анатолійович, кандидат технічних наук, доцент

Після аналізу звіту подібності зроблено такий висновок:

№	Висновок	Позначка про відповідність
1	Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом. Робота приймається до захисту.	відповідає
2	Виявлені запозичення не є плагіатом, розміщені в розділах, які не описують безпосередньо авторське дослідження, але кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. Робота приймається до захисту, але має бути відкоригована. Відкоригований варіант має бути поданий на кафедру за 2 дні до захисту, разом із заявою щодо самостійності виконання письмової роботи та ідентичності друкованої й електронної версії роботи	
3	Виявлені запозичення не є плагіатом, але частково розміщені в розділах, які описують безпосередньо авторське дослідження, а кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. В зв'язку з цим мета роботи та поставлені завдання не були досягнені. Робота може бути допущена до захисту (наступного року) після того, як буде відкоригована та допрацьована і успішно пройде повторну перевірку на академічний плагіат.	
4	Робота містить навмисні текстові спотворення, передбачувані спроби укриття запозичень або інші прояви академічного плагіату. Робота містить фабрикацію або фальсифікацію даних. Робота не допускається до захисту.	
5	Інше:	

Підтвердження:

Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом, оскільки:

1) у тексті кваліфікаційної роботи системами перевірки на плагіат виявлено схожість з деякими документами в частині загальноживаних обов'язкових словосполучень у стандартних бланках (титулка, відомість документів), у структурі змісту, назвах розділів/підрозділів тощо, у назвах публікацій у переліку джерел посилання;

2) усі запозичення є фрагментарними або мають належним чином оформленні посилання;

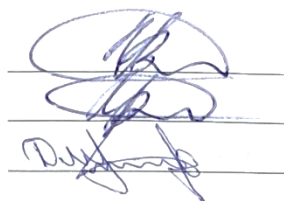
3) виявлені модифікації тексту не впливають на відсоток схожості.

Сумарний обсяг всіх запозичень, визначений системою виявлення збігів ідентичності/схожості, складає 7,4% і адресується до 57 джерел, що, з урахуванням наведених обґрунтувань, відповідає характеру теми і свідчить на користь кваліфікаційної роботи.

Завідувач кафедри

Гарант освітньої програми

Керівник кваліфікаційної роботи



Валерій МАРТИНЮК

Валерій МАРТИНЮК

Денис МАКАРИШКІН