

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

Навчально-науковий інститут автоматики і електротехніки

(повне найменування інституту, назва факультету)

Кафедра програмованої електроніки, електротехніки і телекомунікацій

(повна назва кафедри)

«Допущений до захисту»

Завідувач кафедри



В. М. Рябенський

д.т.н., професор

« 15 » грудня 2025 р.

Кваліфікаційна робота

на здобуття ступеня вищої освіти «магістр»

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему: Мікропроцесорні засоби підвищення точності фотометричних вимірювань

Виконав: студент

6321м групи

І.А. Савун


(підпис)

Керівник роботи:

професор каф. ПЕЕТ, д.т.н., професор

(посада, науковий ступінь, вчене звання)


(підпис)

О.О. Ушкаренко

м. Миколаїв–2025року

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
Навчально-науковий інститут автоматики та електротехніки

Кафедра	<u>програмованої електроніки, електротехніки і телекомунікацій</u>
Спеціальність	<u>171«Електроніка»</u>
Освітня програма	<u>Електронні системи</u>

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Гарант освітньої програми

 В. М. Рябенський
(підпис)

« 09 » жовтня 2025 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ на здобуття ступеня вищої освіти «магістр» (освітньо-кваліфікаційний рівень)

Студенту Савуну Іллі Андрійовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Мікропроцесорні засоби підвищення точності фотометричних вимірювань

керівник роботи Ушкаренко Олександр Олегович, професор каф. ПЕЕТ, д.т.н., професор
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом ректора № 1217 від «14» жовтня 2025 року.

2. Термін подання роботи: 09.12.2025 р.

3. Вихідні дані по роботі: Живлення фотометра від мережі змінного струму напругою (220 ± 22) В, 50/60 Гц; споживана потужність при напрузі $(220 \pm 4,4)$ В, 50 Гц, В·А, не більше, 100Вт.

4. Перелік питань, що належать до розробки (найменування розділів)

1. Загальна характеристика комп'ютеризованої системи як об'єкта проектування

2. Розробка комп'ютеризованої системи фотометрії

3. Розробка алгоритму функціонування та програмного забезпечення мікроконтролерної системи. 4. Охорона праці

5. Перелік презентаційних матеріалів

1. Функціональна схема комп'ютеризованої системи фотометрії

2. Функціональні схеми блоку фоточутливого елементу та освітлювача

3. Електрична принципова схема фотометра

4. Електрична принципова схема підсилювача постійного струму

5. Блок-схема алгоритму програми для мікроконтролера

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	Тубальцев А.М.		

7. Дата видачі завдання « 15 » жовтня 2025 р.

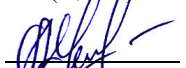
КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1.	Аналітичний огляд літератури і патентної інформації про засоби фотометрії, огляд методів досліджень	29.11.2024	виконано
2.	Розробка концепції комп'ютеризованої системи фотометрії, розробка функціональної схеми системи фотометрії	11.04.2025	виконано
3.	Розробка схем окремих блоків: живлення, фоточутливого елемента, сполучення з ПК, переміщення дифракційної решітки	12.06.2025	виконано
4.	Розробка алгоритмів та програмного забезпечення для мікроконтролера у складі комп'ютеризованої системи фотометрії, розробка друкованої плати	31.10.2025	виконано
5.	Підготовка розділу з охорони праці	28.11.2025	виконано
6.	Оформлення пояснювальної записки підготовка графічного матеріалу та доповіді	20.12.2025	виконано

Студент


(підпис)

Керівник роботи


(підпис)

І.А. Савун

(прізвище та ініціали)

О.О. Ушкаренко

(прізвище та ініціали)

Анотація

Метою магістерської кваліфікаційної роботи є підвищення точності фотометричних вимірювань шляхом застосування сучасних мікропроцесорних засобів та елементів інформаційної електроніки. У роботі розроблено функціональну, принципову електричну та оптичну схеми фотометра, створено друковану плату та алгоритм роботи мікроконтролера. Запропоновані рішення забезпечують покращення стабільності та точності вимірювань, а також підвищують надійність роботи пристрою. Розроблений фотометр може застосовуватися в медичних лабораторіях для аналізу біологічних рідин (визначення рівня цукру, білірубіну, глюкози, холестерину, креатину), а також у хімічних лабораторіях для дослідження складу загального білка, лугів, фосфатів і контролю якості води відповідно до вимог державних стандартів.

Ключові слова: фотометрія, мікропроцесорні системи, точність вимірювань, лабораторні дослідження, інформаційна електроніка.

Abstract

The aim of this master's thesis is to improve the accuracy of photometric measurements by implementing modern microprocessor-based systems and information electronics components. The work includes the development of the functional, electrical, and optical schematics of the photometer, as well as the design of a printed circuit board and a microcontroller algorithm. The proposed solutions enhance the stability and accuracy of measurements and increase the reliability of the device. The developed photometer can be used in medical laboratories for the analysis of biological fluids (such as the determination of sugar, bilirubin, glucose, cholesterol, creatinine levels) and in chemical laboratories for studying the composition of total protein, alkalis, phosphates, as well as for monitoring water quality according to state standards.

Keywords: photometry, microprocessor systems, measurement accuracy, laboratory analysis, information electronics.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ ТА ТЕРМІНІВ	5
ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНА	ХАРАКТЕРИСТИКА
КОМП'ЮТЕРИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ЯК ОБ'ЄКТА ПРОЕКТУВАННЯ	9
1.1. Аналітичний огляд літератури і патентної інформації про засоби фотометрії	9
1.2. Огляд схем фотометрів та принципів їх роботи.....	12
1.3. Огляд методів досліджень та засобів фотометрії.....	14
1.4. Структури турбінометра та спектрофотометра.....	20
РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА	КОМП'ЮТЕРИЗОВАНОЇ
СИСТЕМИ	ФОТОМЕТРІЇ
	25
2.1. Функціональна схема комп'ютеризованої системи фотометрії та принцип дії її блоків	25
2.2. Обґрунтування та визначення вимог до функціональних блоків та електронних вузлів розроблюваної системи	31
2.3. Розробка принципових схем окремих вузлів системи.....	33
2.4. Розробка схеми оптичної принципової	42
РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА	АЛГОРИТМУ
ФУНКЦІОНУВАННЯ	ТА
ПРОГРАМНОГО	ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ
МІКРОКОНТРОЛЕРНОЇ	СИСТЕМИ
	47
3.1. Алгоритмічні засади функціональної комп'ютеризованої системи фотометрії	47
3.2. Розробка алгоритму роботи мікроконтролера в складі комп'ютеризованої системи фотометрії.....	48
3.3. Алгоритм вимірів комп'ютеризованої системи фотометрії	51
3.4. Розробка друкованої та монтажною схеми системи керування фотометром.....	53
РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ	62
4.1. Вступ.....	62

4.2. Небезпечні та шкідливі чинники виробничого середовища на робочому місці оператор.....	63
4.3. Розрахунок захисного заземлення	67
4.4. Заходи щодо техніки безпеки.....	69
ВИСНОВКИ.....	71
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	72
ДОДАТОК А.....	75
ДОДАТОК Б	78
Програмний код реалізації керування кроковим двигуном	78

**ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ,
СКОРОЧЕНЬ ТА ТЕРМІНІВ**

АЦП – Аналого-цифровий перетворювач

БЖ – Блок живлення

БПП – Багатошарові печатні плати

ДПП – Двосторонні печатні плати

ДСТ – Державний стандарт

ДР – Дифракційна решітка

ЕМП – Електромагнітне поле

ЕРЕ – Електронні радіоелементи

МК – Мікроконтролер

ОПП – Односторонні печатні плати

ПЕОМ – Персональна електронна обчислювальна машина

ПКП – Перетворювач кута повороту

ПП – Печатна плата

ППС – Підсилювач постійного струму

СКС – Спеціалізована комп'ютерна система

УФ – Ультрафіолетове випромінювання

ФЧЕ – Фоточутливий елемент

ЦАП – Цифро-аналоговий перетворювач

КД – Кроковий двигун

					171.6321м.КР.ПЗ.Скорочення	Арк.
						5
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

ВСТУП

На сучасному етапі розвитку науки та техніки фотометричні методи вимірювань посідають одне з провідних місць у медичних та хімічних дослідженнях. Завдяки широкому спектру методик, розроблених для визначення більшості металів, неметалів та органічних сполук, фотометри знаходять застосування у клінічних лабораторіях, фармацевтичній промисловості, екологічному моніторингу та контролі якості води. Висока чутливість і точність, що забезпечуються фотометричними методами, дозволяють визначати оптичну щільність у заданому діапазоні довжин хвиль та обчислювати концентрацію речовини в розчині.

Разом з тим, існуючі прилади мають певні обмеження, пов'язані з точністю, стабільністю та швидкістю. Це зумовлює актуальність удосконалення засобів фотометрії шляхом застосування сучасної мікропроцесорної техніки та елементів інформаційної електроніки. Використання мікроконтролерів у фотометричних системах відкриває нові можливості для підвищення точності вимірювань, автоматизації процесу, реалізації алгоритмів цифрової обробки сигналів та спрощення інтерфейсу користувача.

Метою магістерської кваліфікаційної роботи є підвищення точності фотометричних вимірювань шляхом застосування мікропроцесорних засобів у складі вимірювальної системи.

Для досягнення поставленої мети у роботі вирішено такі завдання:

1. Виконано аналіз існуючих схем фотометрів та проведено порівняння їхніх характеристик.
2. Визначено норми та вимоги до оптичних вимірювальних пристроїв для хімічного аналізу.
3. Розроблено технічне завдання на створення фотометра.
4. Виконано структурний синтез функціональної схеми приладу та визначено параметри основних блоків.

					171.6321м.КР.ПЗ.Вступ	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

5. Створено електричну та принципові схеми системи.

6. Розроблено алгоритм роботи мікроконтролерної системи та програмне забезпечення.

7. Підготовлено конструкторську документацію для виготовлення системи.

Об'єкт дослідження – процес фотометричних вимірювань у медичних та хімічних лабораторних дослідженнях.

Предмет дослідження – мікропроцесорні засоби підвищення точності фотометричних вимірювань та методи їх реалізації.

Методи дослідження – теоретичний аналіз та порівняння існуючих схем фотометрів, методи математичного моделювання та цифрової обробки сигналів, розроблення та дослідження апаратно-програмних рішень на основі мікроконтролера, експериментальні методи випробування електронних схем.

Новизна отриманих результатів полягає у розробленні та реалізації фотометричної системи з використанням мікропроцесорних засобів, що забезпечує підвищену точність та стабільність вимірювань у порівнянні з традиційними аналоговими схемами. Запропоновані рішення дозволяють автоматизувати процес вимірювань, зменшити похибки, пов'язані з впливом зовнішніх факторів, та розширити функціональні можливості фотометра.

					171.6321м.КР.ПЗ.Вступ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

					171.6321м.КР.ПЗ.Р1			
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата				
Розробник		Савун І.А.			Загальна характеристика комп'ютеризованої системи як об'єкта проектування	Літ.	Арк.	Аркуші
Консультант							8	
Н. контр.		Добрінова Л. П.				НУК імені адмірала Макарова		
Керівник		Ушкаренко О.О.						
Зав. каф.		Рябенський В. М.						

РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА КОМП'ЮТЕРИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ЯК ОБ'ЄКТА ПРОЕКТУВАННЯ

1.1. Аналітичний огляд літератури і патентної інформації про засоби фотометрії

Історія розвитку фотометрії бере початок з робіт П. Бугера (1698–1758), який у XVIII столітті вперше описав метод порівняння світлових потоків і сформулював основні принципи вимірювань. Подальше становлення теорії забезпечив І. Ламберт (1728–1777), узагальнивши її та заклавши підґрунтя для вдосконалення практичних методів. Візуальна фотометрія й сьогодні використовується для оцінки слабких потоків випромінювання, де фізичні прилади не дають однозначних результатів.

Наприкінці XIX – на початку XX століття відбувся перехід до фізичної (електричної) фотометрії: у 1875 році В. Сміт створив перший напівпровідниковий фотометр, а у 1908 році Ш. Фері розробив електричний прилад, чутливість якого наближалася до ока людини. Відкриття фотоефекту Ю. Ельстером та Г. Гейтелем у 1889 році стало основою для подальшого розвитку фотоелектричних систем. Лише з удосконаленням вакуумних елементів і появою селенових фотодіодів у 1930-х роках електрична фотометрія отримала широке практичне застосування, особливо у наукових і промислових лабораторіях.

Фотометричні методи вимірювання є основою багатьох досліджень у сучасній медицині, хімії та біотехнологіях. Використання фотометрів дозволяє визначати концентрації хімічних речовин у розчинах із високою точністю та чутливістю. Останні десятиріччя характеризуються активним розвитком приладів для фотометричних вимірювань, зокрема завдяки інтеграції мікропроцесорних систем та сучасних електронних компонентів. За даними [1], фотометричні технології відіграють ключову роль у контролі якості води, харчових продуктів та в медичній діагностиці. Зокрема, автори наголошують, що точність визначення оптичної щільності залежить не лише

					171.6321м.КР.ПЗ.Р1	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

від оптичної схеми, але й від застосування цифрових алгоритмів обробки сигналів.

Суттєвою проблемою сучасних фотометрів є забезпечення стабільності вимірювань за наявності шумів та похибок від зовнішніх факторів. Дослідження [2] показали, що використання мікроконтролерів дозволяє реалізувати адаптивні алгоритми калібрування, які компенсують нестабільність джерел випромінювання та вплив навколишнього середовища. У роботі [3] підкреслюється важливість цифрової обробки сигналів, яка підвищує відношення сигнал/шум, що особливо актуально для визначення низьких концентрацій речовин.

Застосування світлодіодів як джерел випромінювання в фотометрах набуло значного поширення, адже вони характеризуються високою стабільністю та низьким енергоспоживанням [4]. Водночас питання точності вимірювань безпосередньо пов'язане з якістю фотоелектричних приймачів, що досліджується у [5], де показано ефективність фотодіодів нового покоління з низьким рівнем шумів. Подібні висновки зроблено у роботі [6], де запропоновано використання кремнієвих фотодетекторів у поєднанні з мікропроцесорною обробкою для досягнення більшої точності.

У вітчизняних дослідженнях [7; 8] наголошується, що фотометричні прилади залишаються ключовими у медичних лабораторіях, зокрема для визначення глюкози, білірубину, холестерину та інших важливих біохімічних показників. У [9] розглядається використання фотометрії для контролю складу питної води, що відповідає сучасним стандартам ДСТУ. Подібні приклади наведено у [10], де фотометричні методи застосовано для моніторингу вмісту фосфатів та органічних сполук у довкіллі.

Міжнародні дослідження підтверджують, що поєднання фотометричних технологій з мікропроцесорною технікою значно підвищує продуктивність і точність вимірювань. У [11] описано алгоритми цифрової корекції спектральних характеристик, які мінімізують похибку визначення

					171.6321м.КР.ПЗ.Р1	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

концентрацій. У [12] представлено систему автоматизованого фотометра для медичних лабораторій, що базується на ARM-мікроконтролері та забезпечує високу швидкодію. Аналогічно в [13] доведено, що використання AVR та STM32 мікроконтролерів дає можливість розробляти компактні та економічні фотометри.

Значна увага приділяється програмному забезпеченню фотометричних систем. У [14] розглядаються методи оптимізації алгоритмів цифрової фільтрації сигналів, а в [15] показано використання нейронних мереж для підвищення точності аналізу спектральних даних. Також у [16] наведено приклад застосування адаптивної обробки даних, що забезпечує корекцію похибок у реальному часі.

Останнім часом активно досліджуються портативні фотометри для польових вимірювань. Робота [17] демонструє розробку мобільного фотометра, який може застосовуватися в екологічному моніторингу. У [18] описано компактний пристрій для аналізу води з можливістю підключення до смартфона. Подібні рішення є надзвичайно актуальними для медичних та біохімічних досліджень поза межами стаціонарних лабораторій.

Щодо наукової новизни, варто виділити підхід [19], де фотометр інтегрується з бездротовою передачею даних, що дозволяє здійснювати віддалений моніторинг. У [20] досліджується застосування мікропроцесорних систем у комбінації з лазерними джерелами випромінювання, що забезпечує надзвичайно високу точність вимірювань. У [21] показано ефективність використання мікроконтролерів у поєднанні з багатоканальною обробкою сигналів для одночасного аналізу кількох зразків.

Таким чином, аналіз літератури свідчить, що сучасні дослідження у сфері фотометрії спрямовані на підвищення точності, чутливості та швидкодії вимірювань завдяки впровадженню мікропроцесорної техніки, сучасних джерел випромінювання та вдосконалених алгоритмів обробки сигналів. Це підтверджує актуальність і доцільність виконання магістерської

роботи, спрямованої на розробку мікропроцесорних засобів підвищення точності фотометричних вимірювань.

1.2. Огляд схем фотометрів та принципів їх роботи

На рис. 1.1 показана конструктивна схема фотометра Жолі. Прилад складається з двох брусків парафіну або воску, між якими розташована тонка прошка з непрозорої металевої фольги. Освітлення здійснюється з обох сторін, перпендикулярно до фольги, а спостереження ведеться вздовж її поверхні.

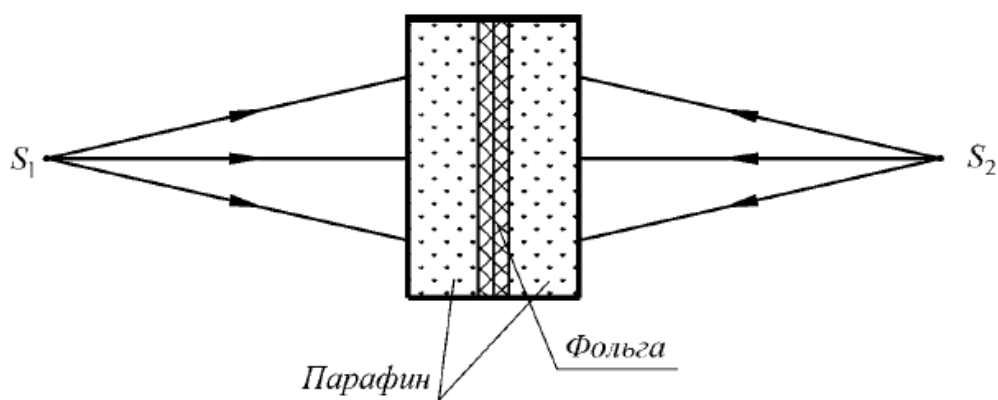


Рисунок 1.1 – Схема фотометра Жолі

У випадку довільного розташування фотометра між двома джерелами світла одна його половина зазвичай сприймається оком як значно яскравіша від іншої. Переміщуючи прилад уздовж лінії, що поєднує ці джерела, можна регулювати співвідношення яскравостей і досягати умов рівноваги.

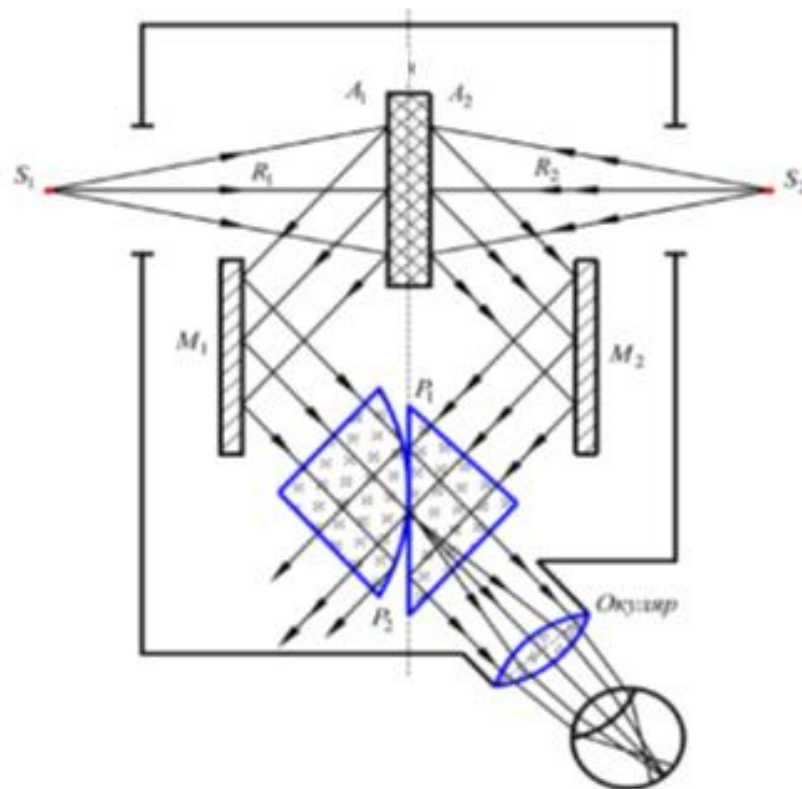


Рисунок 1.2 – Схема фотометра Люммера-Бродхуна

Більш досконалий варіант фотометра був створений німецькими дослідниками Люммером і Бродхуном (рис. 1.2). Ключовим елементом цього приладу є система з двох прямокутних скляних призм, які утворюють так званий ділильний куб. Поверхня гіпотенузи однієї з призм частково зашліфована у вигляді сферичного сегмента, при цьому в центрі зберігається плоска ділянка. Призми щільно стискаються гранями гіпотенуз до оптичного контакту, завдяки чому межа розділу фактично зникає, утворюючи єдине прозоре середовище.

При подачі двох світлових потоків на куб кожен з них у зоні оптичного контакту проходить без змін, тоді як частини променів, що потрапляють на незіткнені ділянки гіпотенуз, зазнають повного внутрішнього відбиття через те, що кут падіння перевищує критичний для межі скло–повітря. У результаті в напрямку до спостерігача потрапляють одночасно пучки як від лівого, так і від правого джерела.

Позаду блоку призм розташований окуляр, який дозволяє сфокусувати зір на площині екрана. У полі зору спостерігача формується центральна овальна пляма, утворена відбитим світлом з однієї сторони матового екрана, оточена кільцем від іншої сторони. При точному фокусуванні зображення не перекриваються. Змінюючи положення одного з джерел випромінювання, можна спостерігати перевагу яскравості овала або кільця та добитися їх рівності. Це свідчить про однаковий рівень освітленості обох частин екрана.

1.3. Огляд методів досліджень та засобів фотометрії

Фотометричні методи займають особливе місце в роботах сучасних аналітичних хіміків і привертають значну увагу науковців, про що свідчить велика кількість публікацій. Основний розвиток отримали методики визначення елементів із використанням органічних реагентів, а також проведені ґрунтовні дослідження з теоретичних основ фотометрії. Суть цих методів полягає у вимірюванні поглинання електромагнітного випромінювання розчинами речовин, що аналізуються. Спектральні характеристики поглинання дають можливість виконувати якісну ідентифікацію сполук, тоді як величина світлопоглинання є кількісним показником, який прямо пропорційно залежить від концентрації визначуваного компонента.

Під фотометрією розуміють широкий спектр підходів, які в різні часи мали назви колориметричних, спектрофотометричних, фотоелектроколориметричних методів тощо. В їх основі лежить один і той самий принцип – здатність речовини поглинати світло у видимій, ультрафіолетовій чи інфрачервоній ділянці спектра.

Зараз фотометричний аналіз широко використовується в дослідженнях різних об'єктів завдяки низькій межі виявлення, простоті, доступності, швидкості та прийнятній точності (зазвичай похибка становить 5-10 %). Важливим є й те, що методики розроблені для більшості хімічних елементів і

					171.6321м.КР.ПЗ.Р1	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

значної кількості органічних сполук. Перед вимірюванням часто проводять перетворення визначуваного компонента в іншу форму, яка краще поглинає світло. Зазвичай це пофарбовані комплекси або сполуки з інтенсивним поглинанням у УФ- чи ІЧ-областях. Завданням теорії фотометричних методів є розробка таких перетворень, оптимізація умов їх утворення, а також усунення завад від домішок.

Найбільш поширені прийоми базуються на утворенні пофарбованих комплексів із органічними реагентами. Саме дослідженням їх реакцій і присвячена значна частина наукових робіт. Якщо раніше використовували здебільшого емпірично підібрані кольорові реакції без глибокого розуміння їх сутності, то нині детально вивчено механізми більшості таких перетворень, описано їхню стійкість у розчинах та інші фізико-хімічні властивості. Вирішальний внесок у розвиток теорії зробили українські вчені А. К. Бабко та А. Т. Пилипенко, які сформулювали основні вимоги до сучасних фотометричних методів.

Як фотометричні реагенти використовують широкий спектр сполук – від простих неорганічних (галогеніди, роданіди, аміак, перекис водню, гетерополікислоти) до складних органічних речовин з функціональними групами, що визначають здатність до утворення забарвлених комплексів. Значних результатів досягнуто у створенні багатокомпонентних реагентів, які забезпечують високу селективність і чутливість. Великий внесок зробили дослідження В. І. Кузнєцова та С. Б. Саввіна, які розробили реагенти групи арсеназо та торону, що використовуються для визначення рідкісноземельних елементів, торію, урану, ніобію. Ці реагенти поширені й сьогодні в багатьох лабораторіях світу. Значний практичний інтерес мають також реагенти, запропоновані В. П. Живописцевим, Ю. А. Банківським та іншими вченими, які розширили можливості фотометрії для визначення галію, ренію, титану, літію та інших елементів.

					171.6321м.КР.ПЗ.Р1	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

У контексті створення мікропроцесорних засобів підвищення точності фотометричних вимірювань важливим є поєднання апаратних та програмних рішень. У підручнику [22] детально розглянуто архітектуру мікропроцесорних систем і засоби їх використання в електронних пристроях. Матеріали цього видання формують теоретичну основу для побудови високоточних систем керування фотометричними процесами, зокрема для організації збору та обробки даних від сенсорних елементів.

Суттєве значення для апаратної реалізації мають роботи [23] та [27], присвячені цифровому проектуванню пристроїв на ПЛІС із використанням середовища MAX+plus II та мови Verilog. Такі засоби дозволяють реалізувати високопродуктивні блоки керування, а також створювати алгоритми цифрової фільтрації сигналів, що зменшує похибки фотометричних вимірювань.

Питання взаємодії апаратної частини з користувачем висвітлені в [24], де описано апаратно-програмні засоби відображення інформації. Це особливо актуально для систем, у яких необхідний зручний інтерфейс контролю параметрів вимірювань і візуалізації результатів.

У підручнику [25] представлено програмовані електронні системи збору та обробки інформації, які можуть бути використані для організації адаптивних алгоритмів обробки фотометричних сигналів, що підвищує точність кінцевих результатів. Додатково, у роботі [28] наведено програмні методи аналізу та розрахунку електричних кіл, що дозволяє реалізувати алгоритмічну частину фотометричної системи з урахуванням можливих похибок і нестабільностей.

Особливе значення для перевірки працездатності та оптимізації системи має моделювання. У праці [26] розглянуто сучасні підходи до математичного та схемного моделювання електронних і електротехнічних систем, що дає змогу оцінити вплив конструктивних та програмних рішень на точність фотометричних вимірювань ще на етапі проектування.

					171.6321м.КР.ПЗ.Р1	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Таким чином, літературні джерела [22-28] створюють комплексну науково-методичну базу для розробки апаратної частини та програмного забезпечення мікропроцесорних систем підвищеної точності фотометричних вимірювань, охоплюючи питання схемотехніки, цифрового проєктування, моделювання та програмної обробки даних.

Сьогодні фотометрія використовується не лише для аналізу малих концентрацій, але й для визначення більших вмістів завдяки методам диференціальної фотометрії. Цей напрям аналітичної хімії і сьогодні залишається одним із найдинамічніших, поєднуючи багатий історичний досвід з активним пошуком нових реагентів, методик та технічних рішень.

Фотоелектричний колориметр ФЕК-М

Цей прилад (рис. 1.3) широко використовується в медичних лабораторіях різного профілю.

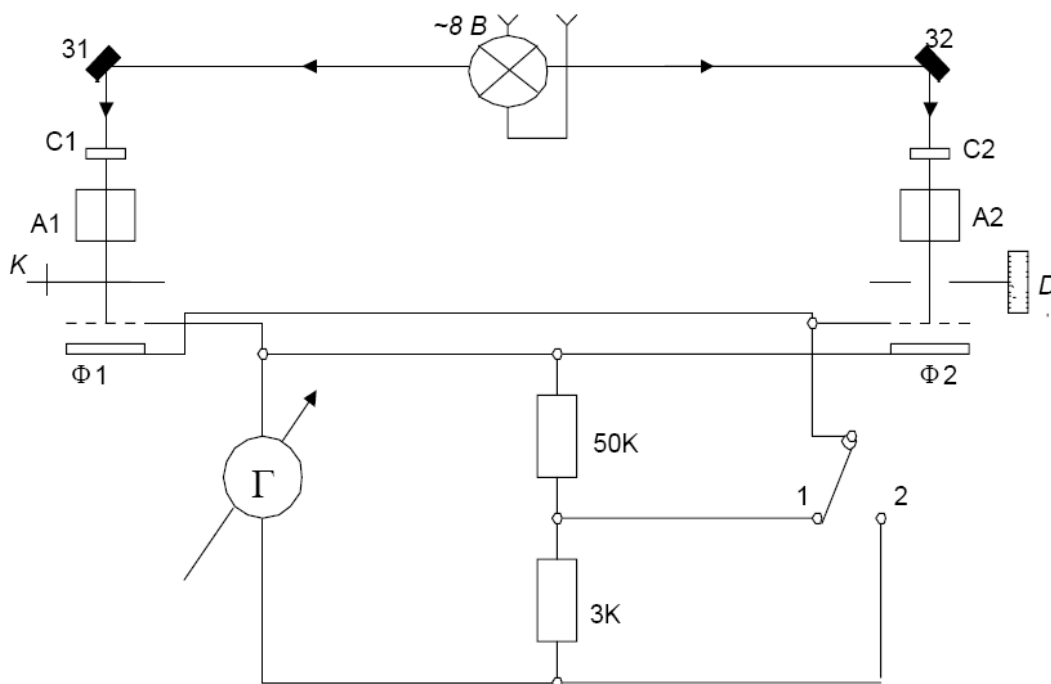


Рисунок 1.3 – Фотоелектричний колориметр ФЕК-М

Основні технічні параметри:

- кількість каналів – 2;
- робочий діапазон коефіцієнтів екстинкції – 2...100%;
- середня похибка – близько 1%;

– спектральний діапазон світлофільтрів (червоний, синій, зелений) – 300...700 нм.

На рис. 1.3 позначено: 31, 32 – дзеркала; 31, 32 – світлофільтри; А1, А2 – кювети з контрольним та досліджуваним розчинами; Ф1, Ф2 – селенові фотоелементи; ДО – клин-заслінка для регулювання інтенсивності світлового потоку; D – діафрагма з мікрометричним гвинтом і шкалою в одиницях коефіцієнта екстинкції; Г – гальванометр. Фотоелементи підключені за диференціальною схемою, тому при однакових умовах світлові струми компенсують один одного, і гальванометр показує нуль. Це досягається рівністю фотоелементів та симетрією світлових потоків. Перемикач дозволяє вибрати режим чутливості: зменшену або повну.

Послідовність роботи з приладом наступна. У кювети А1 та А2 спочатку наливають однаковий контрольний розчин. Діафрагму виставляють на 100%. Регулюванням клина добиваються нульового показу гальванометра. Після цього в кювету А1 вміщують розчин для аналізу. Стрілка приладу відхиляється від нуля. Перемикачем змінюють чутливість, а обертанням діафрагми знову встановлюють нульове положення. Значення коефіцієнта екстинкції зчитують зі шкали діафрагми.

Фотоелектричний однаканальний колориметр КФО

Прилад КФО застосовується в аналітичних лабораторіях для визначення коефіцієнта пропускання світла розчинами на певних довжинах хвиль.

					171.6321м.КР.ПЗ.Р1	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

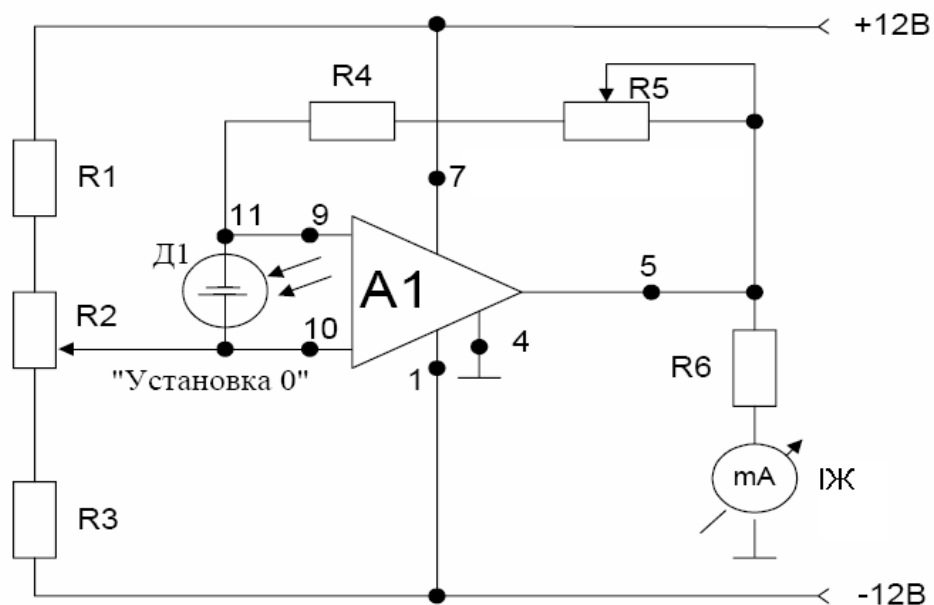


Рисунок 1.4 – Колориметр фотоелектричний однаканальний КФО

Технічні дані:

- діапазон коефіцієнта пропускання – 5...100%;
- похибка вимірювання – 1...5%;
- робочі довжини хвиль: 415 нм (синій), 500 нм (синьо-зелений), 530 нм (зелений), 600 нм (оранжевий), 630 нм (червоний), 320–720 нм (нейтральний діапазон).

У конструкції використовується лампа розжарювання та селеновий фотоприймач. Принцип роботи базується на однаканальній системі: спочатку аналізується контрольний розчин, а потім досліджуваний, тобто вимірювання виконуються послідовно.

Схема пристрою показана на рис. 1.4, де Д1 – селеновий фотоприймач, А1 – операційний підсилювач, R1, R2, R5 – резистори для встановлення нульової відмітки, ІІ – індикаторний прилад, R4, R5 – елементи кола зворотного зв'язку, що регулюють чутливість системи.

Порядок роботи такий. Спочатку фотоприймач закривають і потенціометром R2 встановлюють нуль на шкалі. Потім вводять контрольний розчин ($\lambda = 5...100\%$) і регулюють R5 так, щоб показ приладу відповідав

максимальному значенню Φ_0 . Далі замість контрольного розчину в кювету поміщають досліджуваний. Показ вимірювального приладу дорівнює $\Phi_{\text{вим}}$. Коефіцієнт пропускання розраховують за формулою $\lambda = \Phi_{\text{вим}}/\Phi_0$.

1.4. Структури турбінометра та спектрофотометра

Пристрій АОМ-102 (рис. 1.5) призначений для визначення концентрацій розчинів шляхом вимірювання їх оптичної густини.

Основні технічні параметри АОМ-102:

- робочий діапазон оптичної густини: 0...1,5;
- допустима похибка: 0,015;
- межі регулювання нуля: 0...0,5;
- час стабілізації показань: 5 с.

На рисунку 1.5 показані: ДЖ – джерело живлення, БІ – індикаторний модуль, ФППК – фотоприймач каналу порівняння, МБ – мікропроцесорний модуль, ФПВК – фотоприймач вимірювального каналу, ОР – оптичні з'єднання, СВ – світловоди, Л – лінзова система.

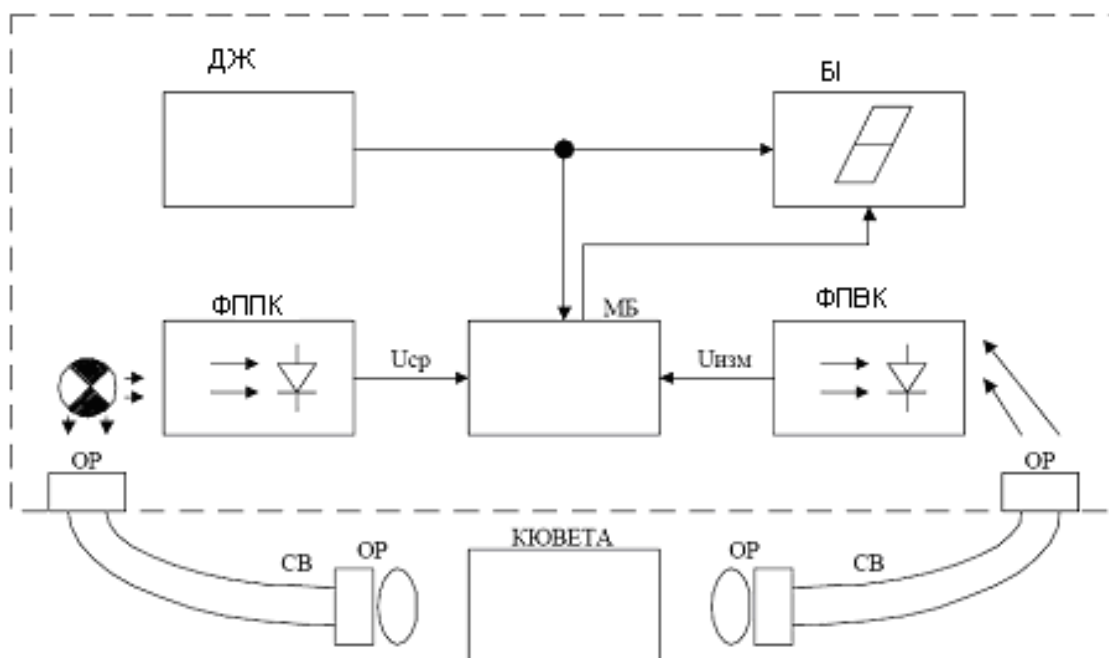


Рисунок 1.5 – Аналітичний турбінометр АОМ-102

Основою роботи є турбінометричний метод аналізу рідини – вивчення інтенсивності світлового потоку, який проходить крізь зразок.

Прилад АОМ-102 має два канали: вимірювальний і порівняльний. Сигнали від фотоприймачів (U_{cp} і U_{zm}) обробляються мікропроцесорним блоком за такими співвідношеннями:

$$D = (\lg U_{cp} - \lg U_{zm}) + D_{комп},$$

$$З = K_c \cdot D,$$

де $D_{комп}$ – параметр, що компенсує відмінності між каналами.

Цей коефіцієнт автоматично формується системою «автонуль», яка перебуває під керуванням мікропроцесора. Процесор також генерує цифрові дані для відображення на індикаторному блоці. Градуирований коефіцієнт вводиться за допомогою клавіатури.

Перевага АОМ-102 полягає в тому, що це сучасний мікропроцесорний прилад, який базується на використанні світловодної технології.

Спектрофотометр (рис. 1.6) використовується для визначення коефіцієнта пропускання, вимірювання оптичної густини розчинів і твердих матеріалів, а також швидкості зміни цієї густини та концентрації речовини у розчинах.

Основні технічні параметри пристрою:

- коефіцієнт пропускання: 1...100%;
- похибка визначення коефіцієнта пропускання: 1%;
- діапазон довжин хвиль: 315...980 нм;
- оптична густина: 0...2.

					171.6321м.КР.ПЗ.Р1	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

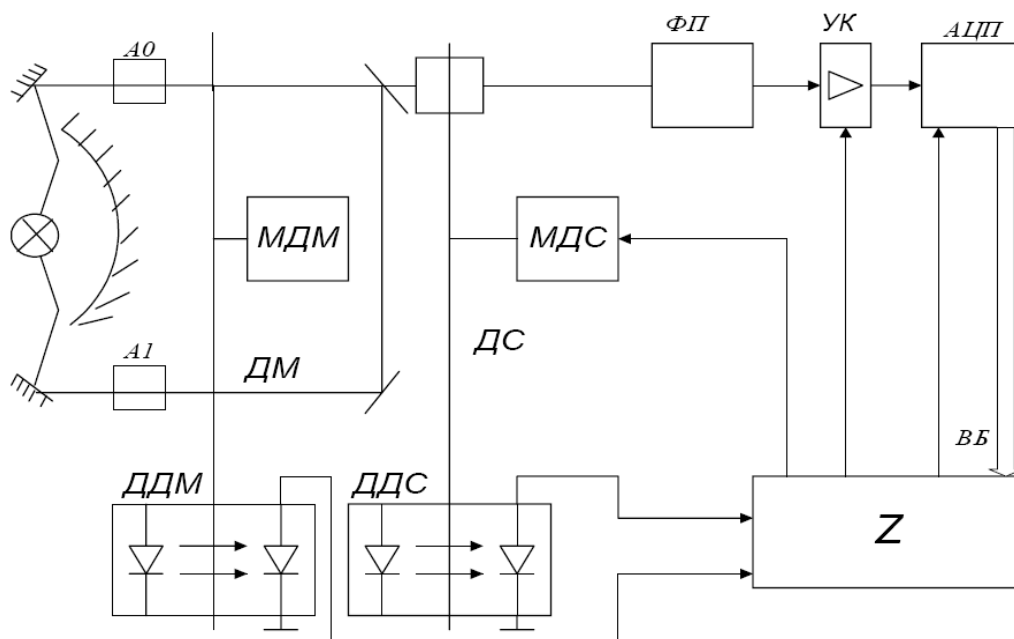


Рисунок 1.6 – Медичний аналітичний спектрофотометр МЕФАН-2001

На рисунку позначені: МДМ – електродвигун диска модулятора, ДМ – диск модулятора, МДС – двигун диска світлофільтрів (ДС), ДДМ – сенсор положення диска модулятора, ДДС – датчик диска світлофільтра, ФП – фотоприймач, КК – підсилювач-коректор, ВБ – обчислювальний блок, АТ – кювета з контрольним зразком, АІ – кювета з досліджуваним розчином.

У верхньому каналі оптичної системи встановлюється кювета з еталонним розчином, у нижньому – з аналізованим зразком. У спільному каналі перед фотоприймачем розташовано світлофільтр, закріплений на диску світлофільтрів (ДС). Поворот ДС забезпечує двигун (МДС), роботою якого керує мікропроцесор. Положення потрібного світлофільтра фіксують датчики (ДДС). Сигнал від фотоприймача після обробки підсилювачем-коректором надходить на АЦП і далі у цифровому вигляді вводиться до мікропроцесора.

До основних функцій обчислювального блоку належать:

- управління двигуном ДС;
- регулювання параметрів підсилювача-коректора (зміна коефіцієнта підсилення залежно від обраного світлофільтра);

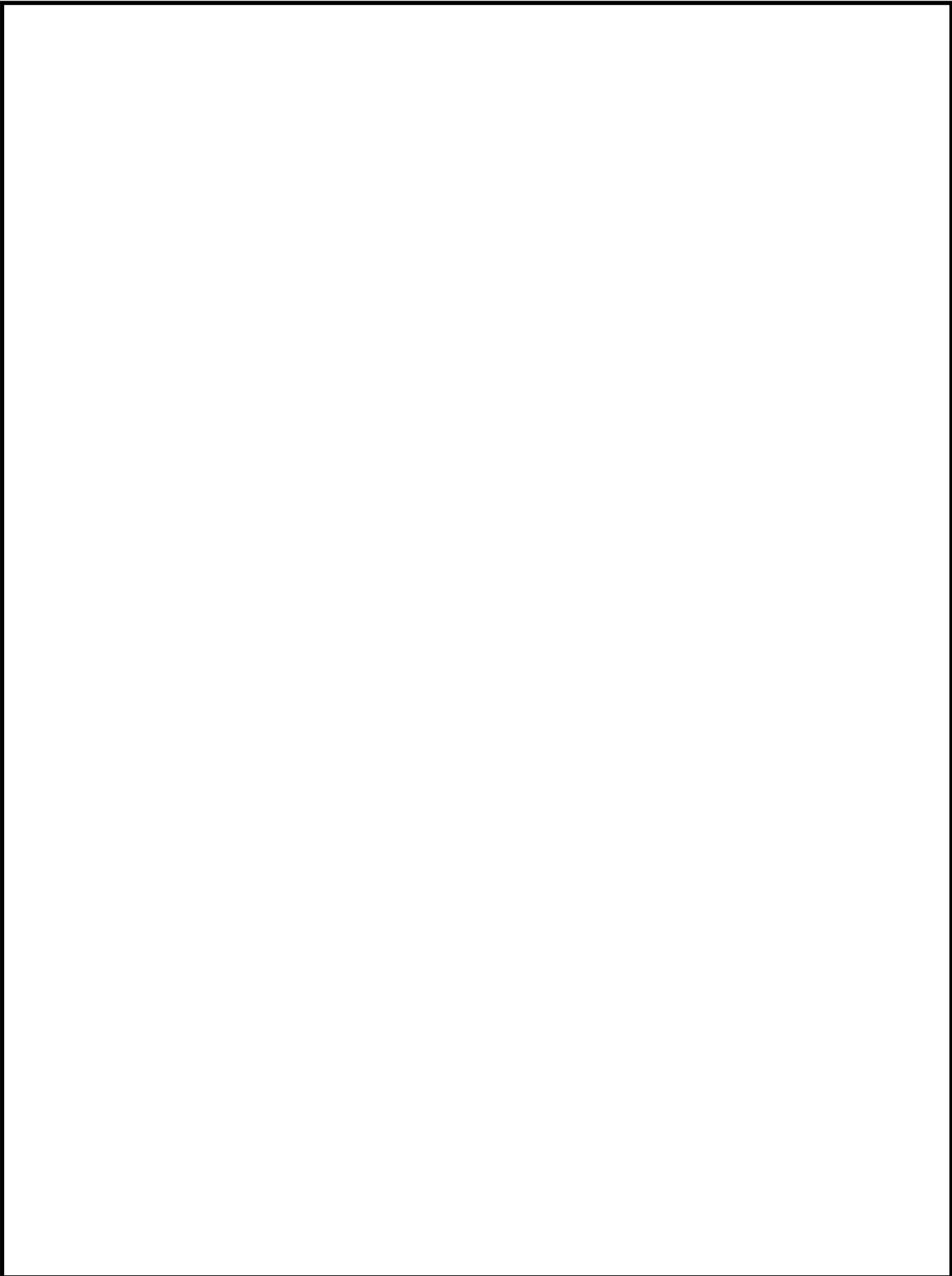
- керування роботою АЦП;
- взаємодія з зовнішніми пристроями через інтерфейси ИРПР або «Стик-2»;
- цифрова обробка 12-розрядного коду з АЦП;
- самодіагностика та виведення результатів на індикатор.

Таймер задає тактову частоту, необхідну для роботи всіх його вузлів, і здійснює синхронізацію. Оперативна пам'ять (ОЗП) виконує базові цифрові дії: арифметичні обчислення, пересилання масивів інформації та інші операції. У постійній пам'яті (ПЗП) зберігається програма функціонування обчислювального блоку, включно з алгоритмами розрахунку оптичної густини, швидкості її зміни та визначення концентрації досліджуваних речовин.

Адресний селектор забезпечує підключення інших компонентів ВБ до шин адрес і даних. Центральний процесор координує роботу всіх елементів системи. Контролери дозволяють приєднувати до шин зовнішні пристрої – клавіатуру, дисплей та допоміжні модулі.

Основна перевага спектрофотометра полягає в автоматизованому вимірюванні фотометричних характеристик з високим ступенем точності.

					171.6321м.КР.ПЗ.Р1	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		



					171.6321м.КР.ПЗ.Р2			
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата				
Розробник		Савун І.А.			Розробка комп'ютеризованої системи фотометрії	Літ.	Арк.	Аркуші
Консультант							24	
Н. контр.		Добрінова Л. П.				НУК імені адмірала Макарова		
Керівник		Ушкаренко О.О.						
Зав. каф.		Рябенський В. М.						

РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА КОМП'ЮТЕРИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ФОТОМЕТРІЇ

2.1. Функціональна схема комп'ютеризованої системи фотометрії та принцип дії її блоків

На рис. 2.1 представлена функціональна схема комп'ютеризованої системи фотометрії.

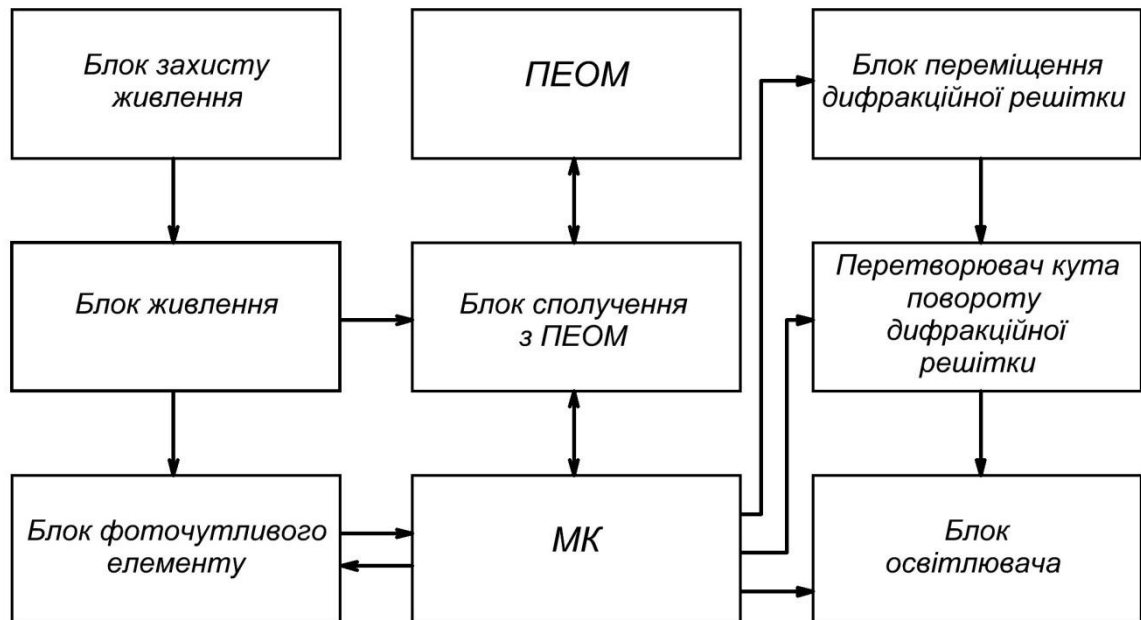


Рисунок 2.1 – Функціональна схема комп'ютеризованої системи фотометрії

Блок живлення виконує функції перетворення, випрямлення та стабілізації електричної напруги, забезпечуючи необхідним живленням усі функціональні вузли системи. Його структура включає силовий трансформатор та стабілізатори напруги. Блок освітлювача містить стабілізатор, який забезпечує стабільне живлення джерела світла відповідно до спектральних характеристик фотометра. У якості джерела випромінювання застосовується галогенна лампа, яка формує світловий потік для подальших вимірювань. Механізм обертання дифракційної решітки здійснює її поворот на заданий кут за допомогою крокового електродвигуна, що дозволяє отримати необхідну ділянку спектра. Перетворювач кута повороту забезпечує трансформацію механічного зсуву решітки в електричний сигнал, який використовується мікроконтролером та блоком

освітлювача. Блок фоточутливого елемента складається із сенсора та підсилювача постійного струму. Фоточутливий сенсор реєструє інтенсивність світлового потоку, який проходить крізь досліджуваний розчин, і генерує електричний сигнал, пропорційний рівню освітленості. Сигнал додатково підсилюється електронним підсилювачем і передається на мікроконтролер. Мікроконтролерний модуль здійснює обробку отриманих даних, координує роботу усіх блоків системи та виконує функції керування. Він також з'єднаний з інтерфейсним блоком, що забезпечує комунікацію фотометра з персональною електронно-обчислювальною машиною.

На рис. 2.2 Функціональна схема блоку живлення.

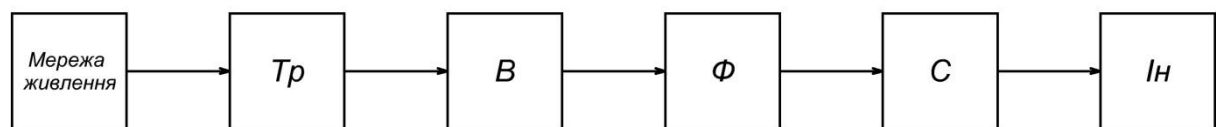


Рисунок 2.2 – Функціональна схема блоку живлення

На рисунку позначено: Tr – Трансформатор, B – Випрямляч, Ф – Фільтр, C – Стабілізатор напруги, In – навантаження.

Блок живлення реалізований відповідно до класичної функціональної схеми, яка включає трансформатор, випрямляч, фільтр, стабілізатор напруги та навантаження. Трансформатор являє собою електромагнітний пристрій з індуктивно зв'язаними обмотками, призначений для зміни рівня змінної напруги або струму. За функціональним призначенням трансформатори поділяються на силові, імпульсні та узгоджувальні. Незалежно від різновидів, фізичні процеси, що відбуваються у трансформаторі, залишаються однаковими, а конструктивна побудова має уніфікований характер. Магнітопровід трансформатора забезпечує максимально ефективний зв'язок між первинною і вторинною обмотками, сприяючи концентрації магнітного потоку. Розрізняють три основні типи магнітопроводів – стрижневі, броньові та тороїдальні. У броньових

трансформаторах застосовуються як пластинчасті, так і стрічкові сердечники. Стрічкова конструкція складається з однієї котушки з обмотками та чотирьох С-подібних елементів. Вона має низку переваг: зменшення трудомісткості виготовлення, скорочення матеріальних відходів та зниження рівня енергетичних втрат. Завдяки оптимальному розташуванню магнітних силових ліній уздовж напрямку прокату металу у стрічкових сердечниках досягається зменшення габаритів та маси трансформатора при збереженні високої ефективності. У даній конструкції блоку живлення застосовуються броньові стрічкові трансформатори, оскільки вони відповідають вимогам щодо потужності, надійності, компактності та економічності.

Випрямляч перетворює змінну напругу у постійну, використовуючи напівпровідникові діоди, з'єднані у випрямний міст. Найпоширенішими є германієві та кремнієві діоди, які мають один р-п перехід. Фільтри електричних сигналів забезпечують обмеження частотного діапазону або виділення сигналів у визначеній смузі частот. Для стабілізації вихідної напруги застосовується стабілітрон – спеціалізований напівпровідниковий діод із низькою контрольованою напругою пробою, здатний утримувати постійне значення напруги навіть за значних змін струму у зворотному напрямку. Завдяки цьому забезпечується стабільність роботи блоку живлення та усієї фотометричної системи.

На рис. 2.3 позначено: ГЛ – Галогенна лампа, ФЕ – фоточутливий елемент – приймач випромінювання, напівпровідниковий фотодіод; ППС – підсилювач постійного струму; МК – мікроконтролер.

При опроміненні фоточутливого елемента світловим потоком у ньому формується постійний електричний струм, який підсилюється підсилювачем постійного струму та подається на вхід мікроконтролера. У випадку вимірювань в ультрафіолетовому діапазоні гранична чутливість фотоприймальної системи визначається мінімальним струмом фотодіода при довжині хвилі 315 нм. З цієї причини в зазначеному спектральному діапазоні

					171.6321м.КР.ПЗ.Р2	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

необхідно підвищити коефіцієнт підсилення фотоприймального тракту у 10 разів. Для реалізації цього завдання мікроконтролер формує керуючий сигнал на електронний ключ, що забезпечує активацію підсилення із коефіцієнтом 1:10.

Крокові електродвигуни поділяються на два основні типи: двигуни з постійним магнітом та двигуни зі змінним магнітним опором, відомі також як гібридні. Двигуни з постійними магнітами зазвичай містять дві незалежні обмотки, які можуть мати центральний відвід (уніполярна конструкція) або не мати його (біполярна конструкція). Керування біполярними двигунами реалізується шляхом складнішого алгоритму реверсування полярності у кожній парі полюсів.

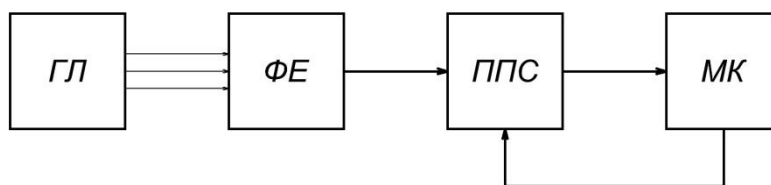


Рисунок 2.3 – Функціональна схема блоку фоточутливого елементу

Блок сполучення з персональною ЕОМ представлено на рис. 2.4.

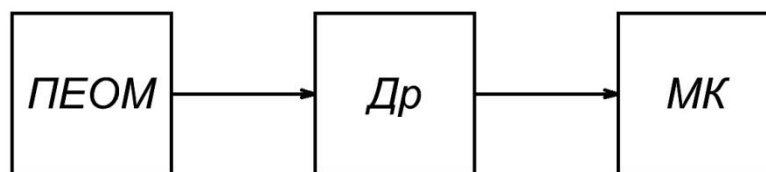


Рисунок 2.4 – Блок сполучення з ПЕОМ

На рисунку використано наступні позначення: ПЕОМ – персональна електронна обчислювальна машина; Др. – драйвер/приймач сполучення з ПЕОМ; МК- мікроконтролер.

На рис. 2.5 показано функціональну схему мікроконтролерного блоку.

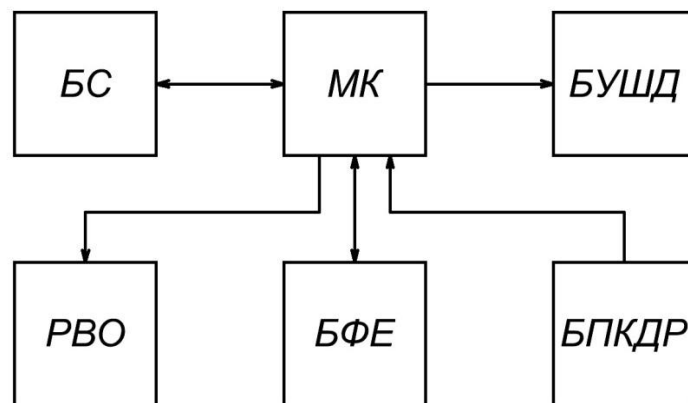


Рисунок 2.5 – Функціональна схема мікроконтролерного блоку

На рисунку позначено: БС – блок сполучення з ПЕОМ; РВО – Реле включення освітлювача галогенної лампи; БФЕ – блок фоточутливого елементу; БУШД – блок управління кроковим двигуном; БПКДР – блок перетворювача кута дифракційної решітки.

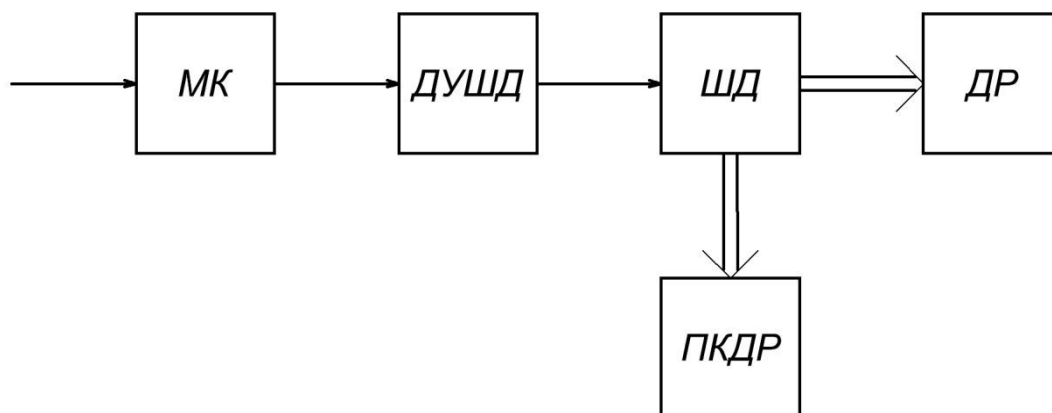


Рисунок 2.6 – Функціональна схема блоку переміщення дифракційної решітки

На рисунку позначено: ДУШД – драйвер управління шаговим двигуном; ШД – кроковий двигун; ДР – дифракційна решітка; ПКДР – потенціометр кута дифракційної решітки.

У повнокроковому режимі роботи, коли активовані дві фази одночасно, положення рівноваги ротора зміщується на півкроку. Ротор фіксується в заданій позиції лише під час подачі живлення, але після відключення струму утримання положення не зберігається, що призводить до його зміщення на півкроку при наступному вмиканні або вимиканні. Для запобігання цьому в обмотки необхідно подавати утримуючий струм. Аналогічна ситуація характерна і для напівкрокового та мікрокрокового режимів. Слід враховувати, що у випадку механічного повороту ротора в стані знеструмлення після повторного вмикання живлення можливий його зсув не лише на половину, а й на більшу величину кроку.

Блок перетворювач кута повороту дифракційної решітки представлено на рис. 2.7.

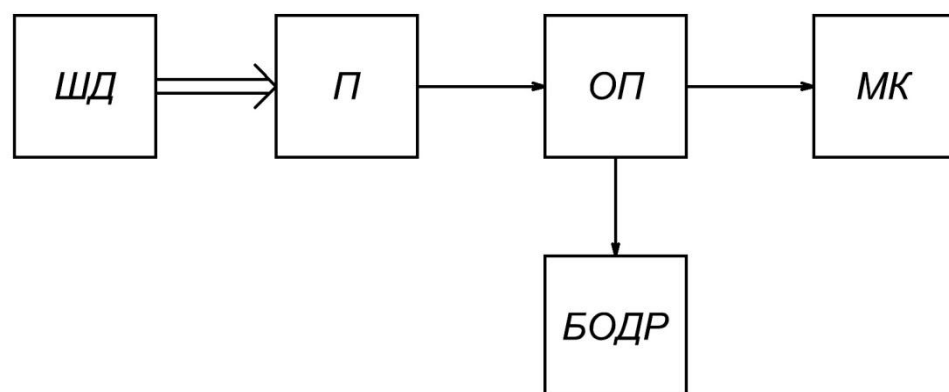


Рисунок 2.7– Функціональна схема блоку перетворювача дифракційної решітки

На рисунку позначено: ШД – кроковий двигун; П – потенціометр; ОП – операційний підсилювач; МК – мікроконтролер; БОДР – блок освітлювача дифракційної решітки.

Кроковий двигун обертає дифракційну решітку та потенціометр який механічно зв’язаний з двигуном.

Функціональну схему блоку освітлювача наведено на рис. 2.8.

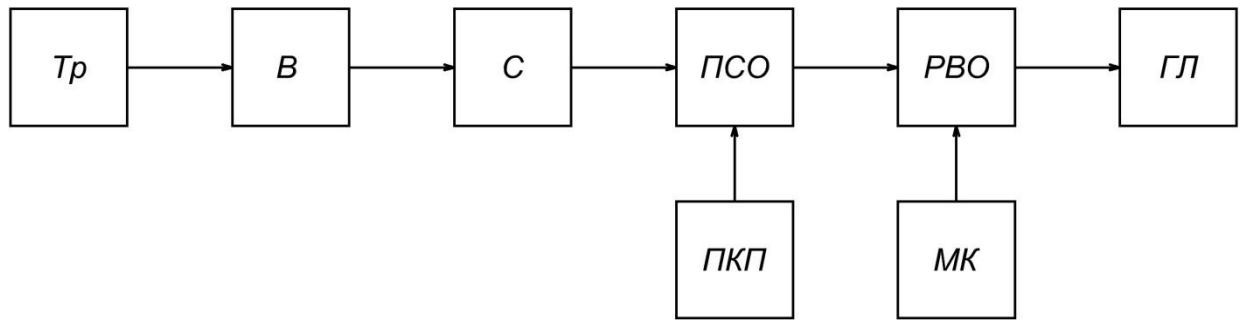


Рисунок 2.8 – Функціональна схема блоку освітлювача

На рисунку позначено: В – випрямляч напруги; С – стабілізатор напруги, ПСО – підсилювач струму; ПКП – блок перетворювач кута повороту; МК – мікроконтролер; РВО – реле включення галогенної лампи; ГЛ – галогенна лампа.

2.2. Обґрунтування та визначення вимог до функціональних блоків та електронних вузлів розроблюваної системи

Склад комп'ютеризованої системи фотометрії і вимоги до конструкторського пристрою наведено в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Склад продукції пристрою

Найменування	Кількість
Фотометр лабораторний біохімічний комп'ютеризований, однохвильовий з дифракційною решіткою	1
Приналежність	
Комплект змінних частин	1
Комплект запасних частин	1
Шнур з'єднання з ПЕОМ	1
Комплект упаковок	1
Кювета 10мм оптична скляна ГОСТ 20903	1
Контрольна міра КМ1 (бланк) ДГВІ.203319.022	1
Контрольна міра КМ2 ДГВІ.203319.004	1

Набір скляних мір оптичної щільності НОСМОП-7 ТУ 9443-015-11254896-00	1
Експлуатаційна документація	
Диск з драйверами і програмою роботи вимірювань	1
Керівництво по експлуатації з методикою перевірок	1

В склад фотометра повинно входити такі складові частини і кількість, як зазначено в табл. 2.1. Фотометр – це основний пристрій для вимірювання оптичної щільності розчину і виявлення по вимірюванню оптичної щільності концентрації досліджуваної речовини в розчині з перерахунком по фактору. Спектральний діапазон пристрою роботи фотометра від 315 до 990нм. В якості диспергируючого елементу фотометра застосовується дифракційна решітка. Фотометр повинен здійснювати з'єднання з ПЕОМ через інтерфейс RS-232 а також:

- Габаритні розміри: не більше 500х500х200 мм.
- Маса не більше 16 кг.
- Зміну спектра дифракційної решітки повинен забезпечувати кроковий двигун, вводом робочої довжини спектру робочою програмою ПЕОМ.

Показники системи

- Спектральний інтервал, виділюваний монохроматором фотометра, не більше 7 нм.
- Межі вимірювання:
 - коефіцієнта пропускання 1-100%;
 - оптичної щільності – 3.
- В діапазоні виміру оптичної щільності від 2 до 3 або коефіцієнти пропускання від 1 до 0,1%.
- Межа значення, що допускає, основну абсолютну похибку фотометра при вимірі коефіцієнта пропускання 0,5%.
- Границя абсолютної похибки, що допускає основний, установки довжини хвилі, не більше 0,9.
- Межа що допускає середньоквадратичне відхилення випадкової складової

					171.6321м.КР.ПЗ.Р2	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

основної абсолютної похибці не більше 0,15%.

- Границя відхилення, що допускає, додаткову похибку фотометра при вимірі коефіцієнта пропусчення в інтервалі температур від 20° до 35°С і від 20° до 10°С, не більше 0,3%.
 - Результати вимірів коефіцієнта пропусчення оптичної щільності, концентрації і швидкості зміни оптичної щільності, а також довжини хвилі, на якій проводиться вимір, повинні передаватись через інтерфейс на ПЕОМ.
 - Мікропроцесорна система повинна забезпечувати виконання семи задач:
 - Нуль-вимірювання і облік сигналу при не освітлюваному фотоприймачі:
 - Г – градування фотометра;
 - Е - вимірювання оптичної щільності;
 - П - вимірювання коефіцієнта пропусчення;
 - С - вимірювання концентрації;
 - А - вимірювання швидкості зміни оптичної щільності;
 - F - введення коефіцієнта факторизації.
- Позначення оптичної щільності Е і пропусчення П умовно. Всі дані обробляються програмою ПЕОМ і виводяться на дисплей.
- Живлення фотометра від мережі змінного струму напругою (220 ± 22) В, 50/60 Гц.
 - Споживана потужність при напрузі $220 \pm 4,4$ В, 50 Гц, не більше 100Вт.

2.3. Розробка принципових схем окремих вузлів системи

На рис. 2.9 представлено електричну принципову схему блоку живлення.

					171.6321м.КР.ПЗ.Р2	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

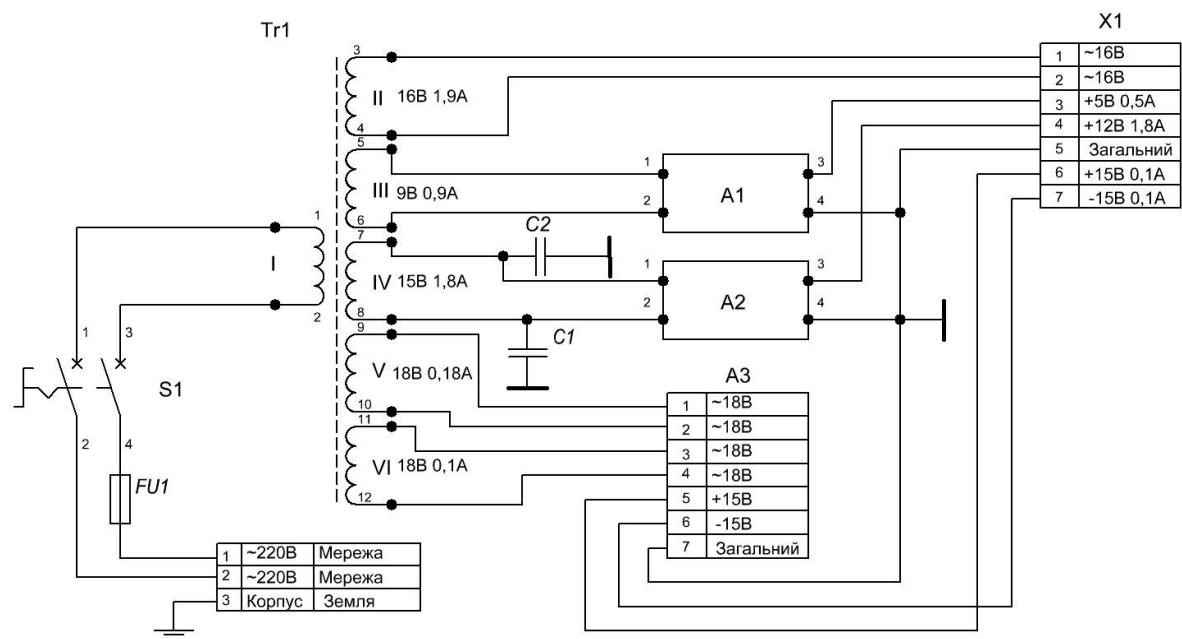


Рисунок 2.9 – Принципова схема блоку живлення

Усі вузли живлення фотометра підключаються до електромережі з параметрами (220 ± 22) В, 50/60 Гц через єдиний силовий трансформатор Tr1. У складі блоку живлення реалізовано три стабілізатори напруги з вихідними характеристиками: 5 В, 0,5 А; ± 15 В, 0,1 А та 12 В, 1,8 А (схема наведена на рисунку 3.1). Для забезпечення електробезпеки та захисту пристрою від перевантажень застосовується плавкий запобіжник FU1 номіналом 0,6 А, а також тумблер S1, що виконує функцію мережевого вимикача. Як силовий елемент використовується броньовий стрічковий трансформатор з робочою частотою 50 Гц і номінальною вхідною напругою 220 В, який має шість обмоток: одна первинна (I) та п'ять вторинних (II–VI).

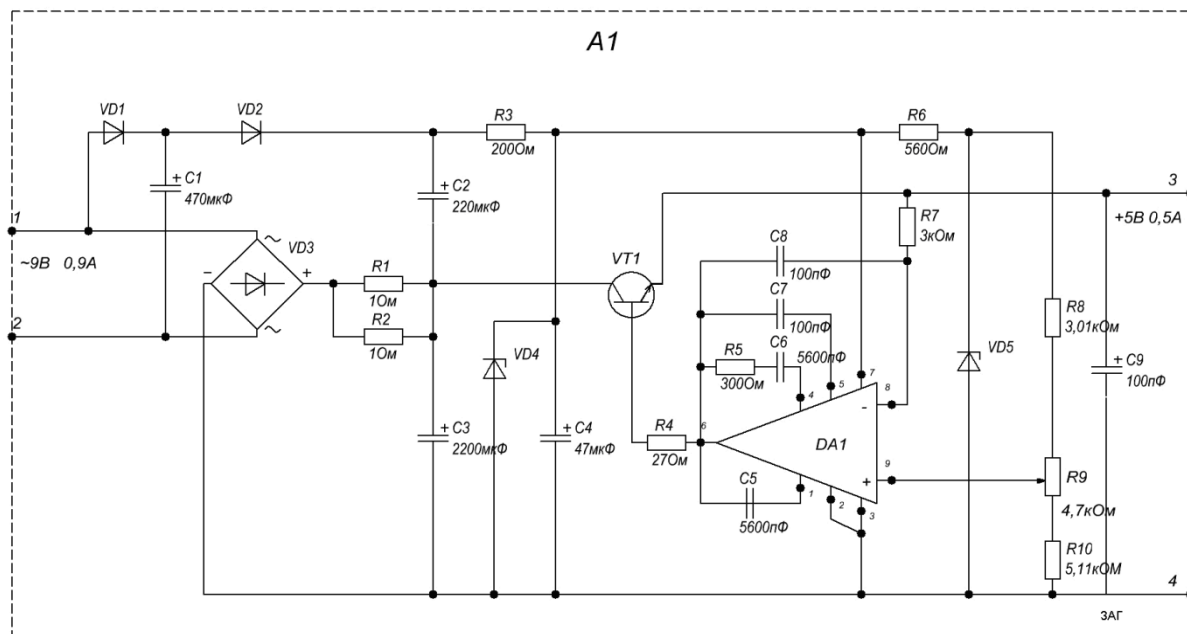


Рисунок 2.10 – Принципова схема стабілізатора напруги 5В 0,5А

На рисунку 2.10 представлена електрична принципова схема стабілізатора напруги 5 В, 0,5 А, реалізованого на основі операційного підсилювача типу К157УД1 та складеного транзистора КТ829Б, який виконує функцію регулювального елемента. Опорна напруга формується змінним резистором R9, що одночасно використовується для встановлення вихідного рівня 5 В. Захист стабілізатора від короточасних коротких замикань у вихідному колі забезпечується послідовним підключенням резисторів R1 та R2 до регулювального транзистора VT1.

Стабілізатор напруги на 12 В, 0,1 А (рис. 2.11) за схемотехнічним виконанням є ідентичним стабілізаторам ± 15 В, відрізняючись від них лише параметрами вхідної та вихідної напруги.

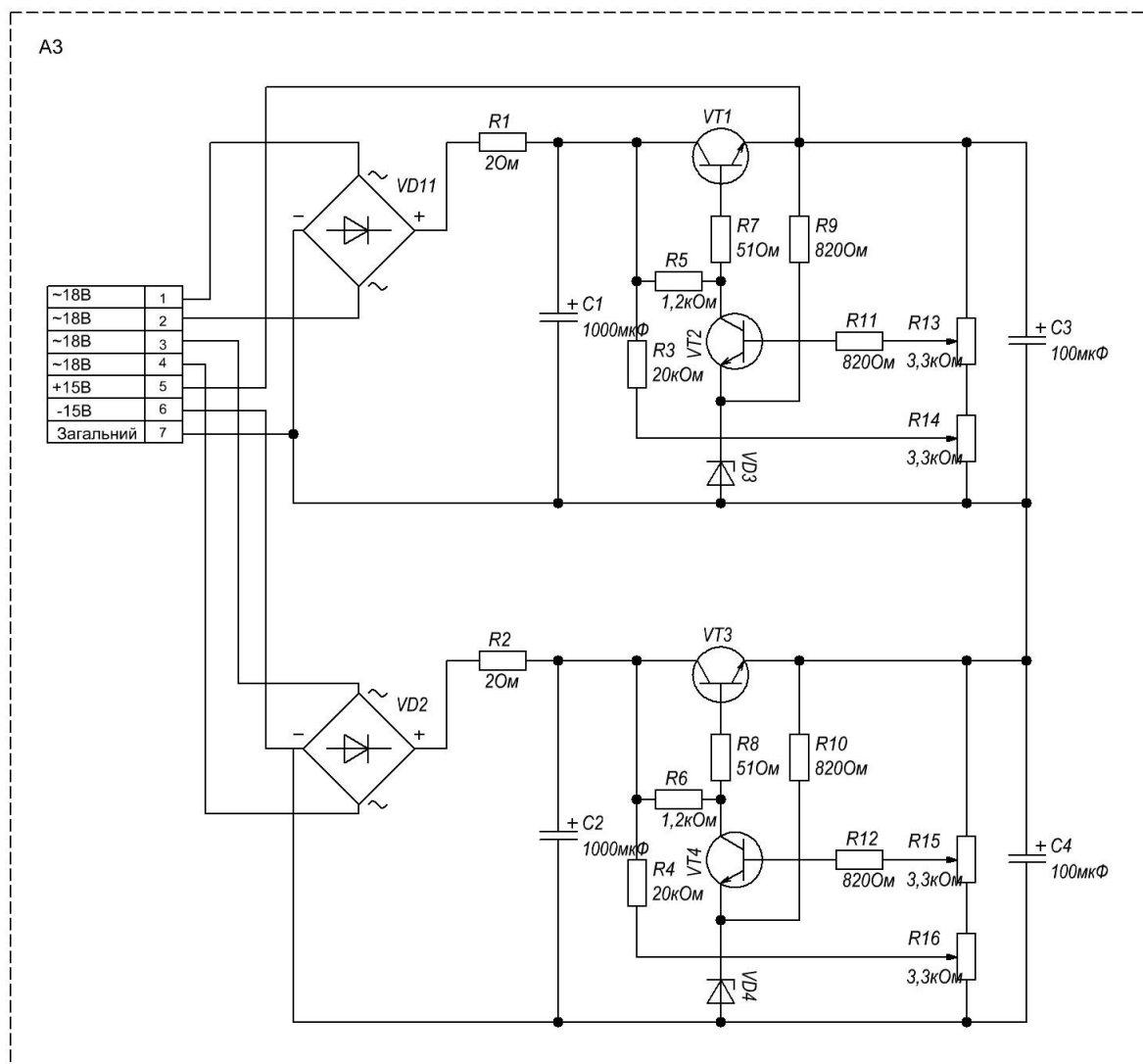


Рисунок 2.11 – Електрична принципова схема стабілізатора напруги

Електрична принципова схема фотометра представлена на (рис. 2.12). Вона складається з перетворювача світлового випромінювання в електричний сигнал (фотодіод УД1), підсилювача постійного струму A_1 (надалі – ППС), мікропроцесорної системи A_2 , перетворювача кута повороту дифракційної решітки у напругу A_3 , стабілізатора напруги освітлювача A_4 і блок живлення фотометра A_5 .

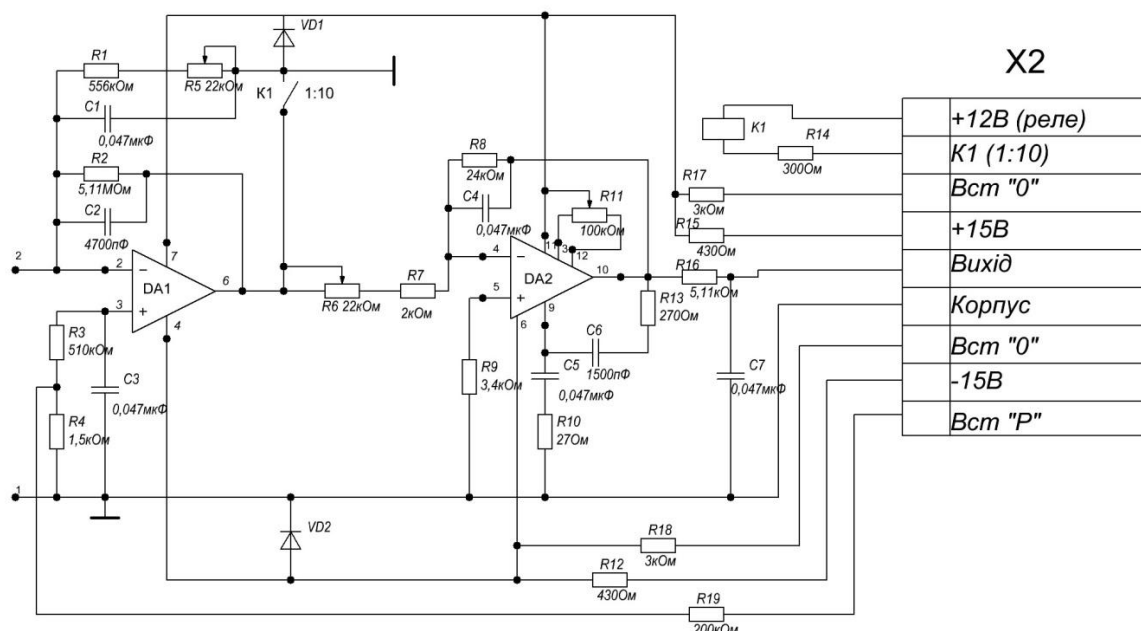


Рисунок 2.13 – Електрична принципова схема підсилювача постійного струму

Схемотехніка підсилювача реалізована на двох операційних підсилювачах. У першому каскаді застосовано мікросхему КР544УД1А з надзвичайно малими вхідними струмами (не більше 0,05 нА), у другому – прецизійний операційний підсилювач КР551УД1А, що характеризується малою напругою зсуву та високою стабільністю параметрів.

Струм фотодіода (див. рисунок 3.5) при постійному світловому потоці в діапазоні довжин хвиль від 315 до 990 нм змінюється приблизно на три порядки, істотно знижуючись у ділянці ультрафіолетового спектра. З метою компенсації цього ефекту в схемі фотоприймального пристрою передбачена можливість зміни чутливості за рахунок перемикавання навантажувального опору фотодіода (реле ДО1). Максимальна чутливість визначається мінімальним вимірюваним струмом при довжині хвилі 315 нм. Загальний коефіцієнт підсилення та величини навантажувальних резисторів обрано таким чином, щоб забезпечити на зазначеній довжині хвилі вихідну напругу не менше 0,1 В, достатню для коректної роботи мікропроцесорної системи.

Для калібрування та регламентних операцій застосовується змінний резистор R5, за допомогою якого встановлюється кратність підсилення 1:10.

Вибір чутливості фотоприймального тракту здійснюється автоматично мікропроцесорною системою шляхом активації реле ДО1. Крім того, змінний резистор у другому каскаді, що дозволяє варіювати коефіцієнт підсилення у межах від 1,0 до 12,0, використовується для налаштування загальної чутливості фотометра під час заводських регулювань і планових технічних робіт. Це може бути необхідно, наприклад, для компенсації зниження чутливості фотодіода або зменшення інтенсивності світлового потоку освітлювача в процесі експлуатації приладу.

Для балансування підсилювача постійного струму, тобто встановлення нульового рівня напруги на його виході за умови перекритого світлового потоку, застосовується змінний резистор R1, вісь регулювання якого зі шліцом виведена на праву бокову панель фотометра. Підсилювач постійного струму обладнаний внутрішньою параметричною стабілізацією напруги живлення мікросхем (УД1 – R15 та УД2 – R12), що забезпечує підвищену стабільність його електричних характеристик. Підсилений сигнал із виходу ППС через відповідний роз'єм передається до мікропроцесорної системи, де здійснюється його цифрова обробка. Отримані результати відображаються на індикаторному табло системи.

Перетворювач кута повороту дифракційної решітки в напругу реалізований на основі датчика кута повороту, виконаного у вигляді десятиобертного потенціометра з високою роздільною здатністю та мінімальним відхиленням від лінійності, а також повторювача напруги R3 на операційному підсилювачі з великим вхідним опором (див. рисунок 3.5). Потенціометр механічно з'єднаний з вузлом повороту дифракційної решітки таким чином, що при положенні, яке відповідає виходу випромінювання з довжиною хвилі $\lambda = 315$ нм, його опір має мінімальне значення, а при $\lambda = 1000$ нм – максимальне. Використовуючи потенціометр

					171.6321м.КР.ПЗ.Р2	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

як дільник стабільного джерела напруги, забезпечується перетворення кута повороту решітки в електричну напругу, яка є пропорційною довжині хвилі випромінювання. Отримане значення напруги, чисельно еквівалентне довжині хвилі у вибраному масштабі, відображається на цифровому індикаторі мікропроцесорної системи.

Повторювач напруги (рис. 2.14) введений у схему з метою усунення впливу вхідного опору обчислювальної системи на лінійність роботи дільника, а також для узгодження масштабу при подачі напруги на вхід мікропроцесорної системи.

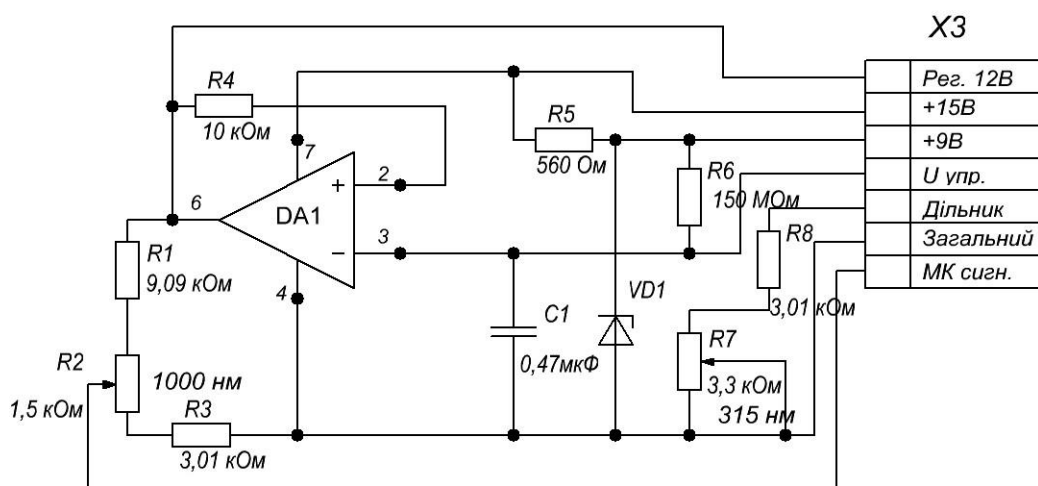


Рисунок 2.14 – Принципова схема перетворювача кута повороту

У фотометрі як джерело випромінювання використовується галогенна лампа розжарювання типу КГМ12-10. Для її живлення необхідне джерело постійної напруги 12 В при споживаному струмі близько 0,90 А. З метою компенсації спектральної залежності струму фотодіода від довжини хвилі передбачене лінійне регулювання напруги живлення лампи залежно від положення дифракційної решітки. У положенні решітки, що відповідає довжині хвилі випромінювання 315 нм, напруга живлення становить $12,6 \pm 0,2$ В, а при положенні, яке відповідає 990 нм, вона знижується до $10,0 \pm 0,2$ В.

Електрична принципова схема стабілізатора напруги освітлювача наведена на рис. 2.15. При розімкненій перемичці 6–7 пристрій функціонує як стандартний стабілізатор напруги 12,6 В з опорною напругою, сформованою стабілітроном УД8. При замиканні контактів 6–7 у схему вводиться додатковий канал керування, що забезпечує зміну вихідної напруги від 12,6 В до 10,0 В у діапазоні довжин хвиль від 315 до 990 нм. Це реалізується шляхом корекції опорної напруги на неінверсному вході операційного підсилювача ДА1 за допомогою додаткового операційного підсилювача ДА2, який отримує сигнал із перетворювача кута повороту дифракційної решітки в напругу.

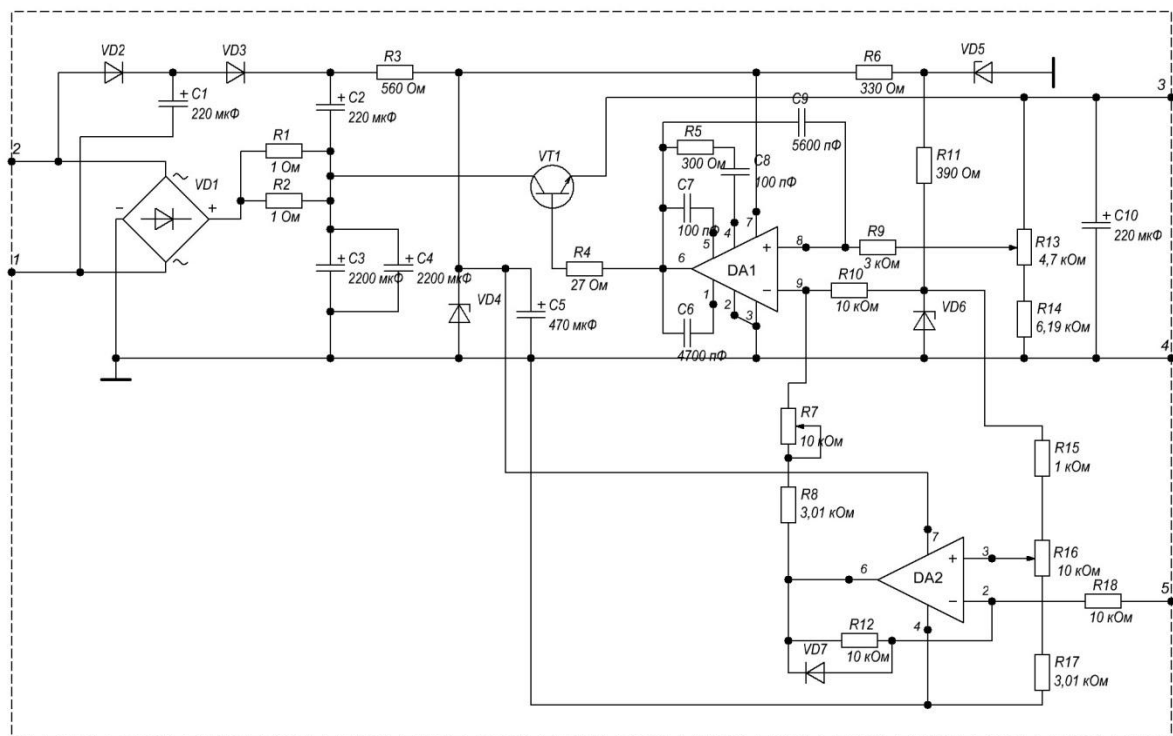


Рисунок 2.15 – Електрична принципова схема стабілізатора напруги освітлювача

У положенні решітки, що відповідає довжині хвилі $\lambda = 315$ нм, вихідна напруга мікросхеми ДА2 дорівнює опорній напрузі стабілітрона УД8 і не впливає на роботу стабілізатора, налаштування якого виконується резистором R16. При переміщенні решітки у положення, що відповідає $\lambda =$

990 нм, вихідна напруга ДА2 знижується, що призводить до зменшення напруги живлення лампи. Резистором R7 встановлюється напруга $10,0 \pm 0,2$ В у положенні решітки при $\lambda = 1000$ нм.

Таким чином, у процесі роботи лампа живиться змінною напругою в межах $12,6 \pm 0,2$ В – $10,0 \pm 0,2$ В при зміні довжини хвилі випромінювання від 315 до 990 нм. При цьому забезпечується коефіцієнт стабілізації не нижче ніж 200 у всьому діапазоні регулювання.

2.4. Розробка схеми оптичної принципової

Оптична система призначена для формування робочого пучка випромінювання. У фотометрі необхідно забезпечити проходження крізь розчин світлового потоку з довжиною хвилі у діапазоні 315-990 нм, для чого використовується дифракційна решітка.

На рис. 2.16 наведено схему обмеження світлових променів від осьових точок об'єкта. Тут позначено: ВВ – апертурна діафрагма, В1В1 – вхідна зіниця, L1 – конденсор, L2 – дифракційна решітка.

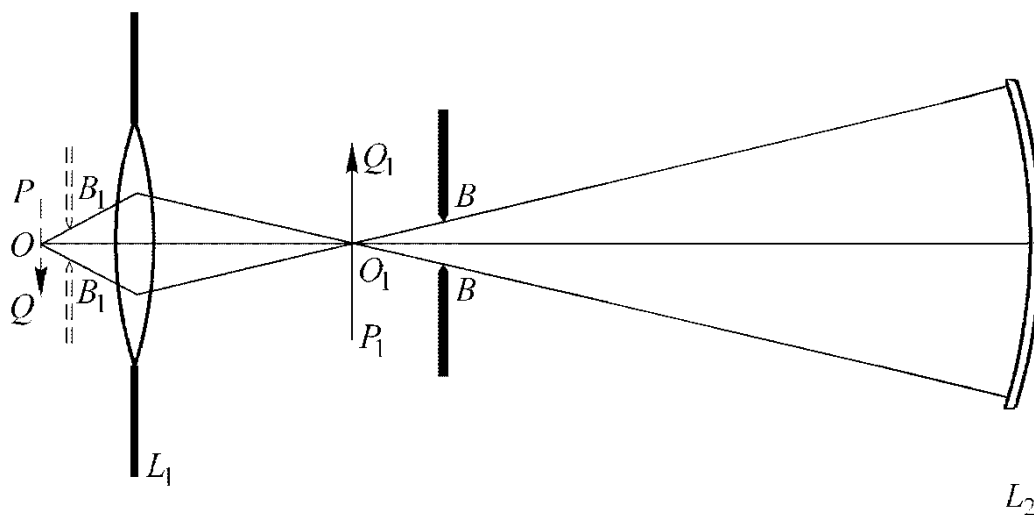


Рисунок 2.16 – Обмеження пучків світла від осьових крапок предмета

Активні пучки формуються таким чином, що промінь, який проходить через край В1, обов'язково перетинає відповідний край В, оскільки ці точки

взаємопов'язані. Вхідною зіницею називають той із реальних отворів або їхніх зображень, який максимально обмежує вхідний пучок, тобто спостерігається під найменшим кутом із точки перетину оптичної осі з площиною об'єкта. Вихідною зіницею є отвір або його зображення, що визначає межі вихідного пучка випромінювання з системи. Таким чином, вхідна та вихідна зіниці є парними елементами для всієї оптичної схеми.

Функцію вхідної зіниці може виконувати будь-який отвір (оправа лінзи, спеціальна діафрагма) або його зображення (реальне чи уявне). У випадках, коли об'єктом виступає освітлений отвір (наприклад, щілина спектрографа), його підсвічування здійснюється або безпосередньо джерелом світла, розташованим поблизу, або додатковим конденсором. В залежності від конфігурації системи, вхідною зіницею може бути край джерела світла, його зображення або межа конденсора.

Якщо апертурна діафрагма ВВ встановлена перед системою, то вона збігається із вхідною зіницею, а її зображення виступає вихідною. При розташуванні діафрагми за системою вона відповідає вихідній зіниці, тоді як вхідною буде її зображення всередині системи. Якщо ж апертурна діафрагма розміщена всередині системи, то її зображення у передній частині виконує роль вхідної зіниці.

У спектральних приладах істотну роль відіграють дифракційні ефекти. Якщо вузька щілина освітлюється віддаленим джерелом світла, яке формує майже паралельний пучок, то на коліматорний об'єктив надходить дуже обмежений пучок. Це означало б використання лише незначної частини об'єктива, що призводило б до низької роздільної здатності та нечіткого зображення щілини на приймачі. Проте завдяки дифракції світла на щілині весь коліматор заповнюється випромінюванням, що відповідає її розмірам.

У випадку вузької щілини апертура коліматорного об'єктива повинна бути достатньо великою, щоб пропускати як центральний максимум дифракційної картини, так і значну кількість бокових максимумів. Неминуче

					171.6321м.КР.ПЗ.Р2	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

відсічення вищих порядків призводить до певного розширення зображення щілини. Чим менша апертура об'єктива, тим сильніше це явище. Як правило, у спектрографах діаметри об'єктивів (коліматорного і камерного) вибираються більшими за розмір поперечного перерізу призмної системи. Тому вирішальний вплив на дифракційне розширення зображення має геометричне обмеження, що вноситься призмою.

На рис. 2.17 подано оптичну схему.

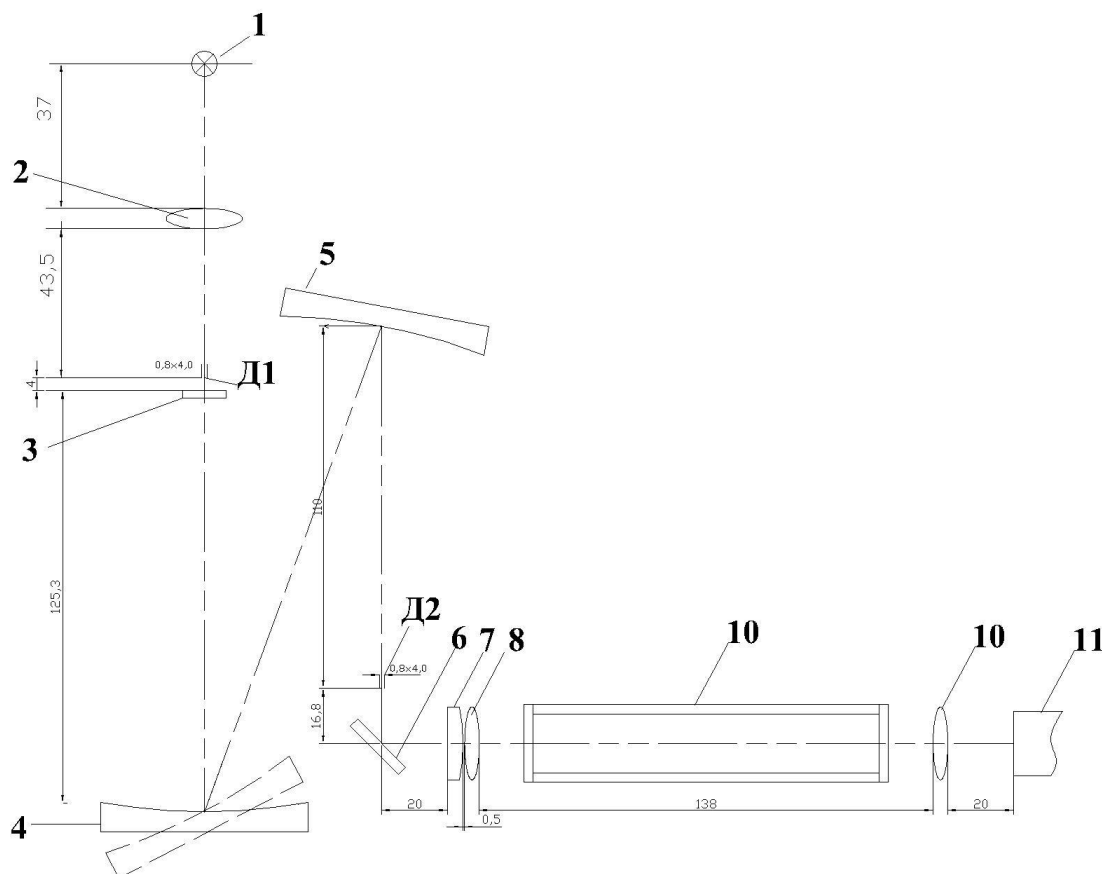


Рисунок 2.17 – Оптична принципова схема

Світлова нитка лампи 1 за допомогою конденсора 2 проектується у площину входної щілини ($0,8 \times 4,0$ мм), рівномірно заповнюючи її світлом. Далі ця щілина відтворюється увігнутими дифракційними решітками 4 та увігнутим дзеркалом 5 у площині аналогічної щілини ($0,8 \times 4,0$ мм). Решітки разом із дзеркалом формують у цій площині спектральний розподіл. Поворотом решіток навколо осі, паралельної штрихам, можна вибрати

випромінювання будь-якої довжини хвилі в діапазоні 315-990 нм. Об'єктиви 7 і 8 створюють у кюветному відсіку слабо збіжний пучок і формують збільшене зображення щілини перед лінзою 10. Лінза 10 фокусує світловий пучок на приймачі 11 у вигляді рівномірно освітленого диска. Для зменшення впливу розсіяного світла в ультрафіолетовому діапазоні після щілини встановлено світлофільтр 3, який працює у спектральній області 315-400 нм та потім автоматично відводиться з тракту. У кюветному відділенні (між об'єктивами 7, 8 та лінзою 10) розташовуються прямокутні кювети 9.

Висновки до розділу

У другому розділі було здійснено детальну розробку комп'ютеризованої системи фотометрії, починаючи з побудови її функціональної схеми та опису принципу дії окремих блоків. Проведене обґрунтування дозволило визначити вимоги до кожного з функціональних блоків і електронних вузлів, що забезпечують необхідні метрологічні характеристики системи, стабільність роботи та зручність експлуатації. На основі сформульованих вимог були розроблені принципові електричні схеми ключових вузлів, що забезпечують обробку сигналів, керування оптичними та електронними елементами, а також їх інтеграцію в єдину систему. Окремо виконано проектування принципової оптичної схеми, яка визначає точність та чутливість фотометричних вимірювань. У результаті отримано повну структурну та принципову основу для подальшої реалізації апаратно-програмного комплексу, що створює підґрунтя для практичної реалізації та дослідження системи в наступних етапах роботи.

					171.6321м.КР.ПЗ.Р2	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

					171.6321м.КР.ПЗ.РЗ			
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата				
Розробник		Савун І.А.			Розробка алгоритму функціонування та програмного забезпечення мікроконтролерної	Літ.	Арк.	Аркуші
Консультант							46	
Н. контр.		Добрінова Л. П.				НУК імені адмірала Макарова		
Керівник		Ушкаренко О.О.						
Зав. каф.		Рябенський В. М.						

РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ ФУНКЦІОНУВАННЯ ТА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МІКРОКОНТРОЛЕРНОЇ СИСТЕМИ

3.1. Алгоритмічні засади функціональної комп'ютеризованої системи фотометрії

Принцип дії фотометра заснований на порівнянні світлового потоку Φ_0 , що пройшов через розчинник або контрольний розчин, відносно якого виробляється вимірювання, і світлового потоку Φ , що пройшов через досліджуване середовище.

Світові потоки Φ_0 та Φ фотоприймачем перетворюються в електричні сигнали U_0 , U і U_T (U_T – сигнал при неосвітленому приймачі), які обробляються мікроконтролером фотометра і передаються на комп'ютер, такі дані, як коефіцієнт пропускання, коефіцієнт оптичної щільності, швидкість зміни (градієнт) оптичної щільності концентрації.

Коефіцієнт пропускання (τ) досліджуваного розчину можна визначити як відношення потоків або сигналів у відповідності з рівнянням:

$$\tau \approx \frac{\Phi}{\Phi_0} \cdot 100\% = \frac{U - U_T}{U_0 - U_T} \cdot 100\% \quad (3.1)$$

Оптична щільність (D) визначається з рівняння:

$$D = \lg \frac{I}{\tau} = \lg \frac{U_0 - U_T}{U - U_T} \quad (3.2)$$

Швидкість виміру оптичної щільності (A):

$$A = \frac{D_2 - D_1}{t} \quad (3.3)$$

де $D_2 - D_1$ – різниця значень оптичних щільності за часовий інтервал t у хвилинах. Час t може приймати значення 1, 2, 3, 4 5, 6, 7, 8 і 9 хвилин.

Концентрація:

$$C = D \cdot F \quad (3.4)$$

					171.6321м.КР.ПЗ.РЗ	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

де F – коефіцієнт факторизації, який вводиться з клавіатури комп'ютера або фотометра в межах від 0,001 до 9.

3.2. Розробка алгоритму роботи мікроконтролера в складі комп'ютеризованої системи фотометрії

Алгоритм роботи програми для мікроконтролера (рис. 3.1), що реалізує керування фотометром, має чітку послідовність етапів, які забезпечують синхронізацію роботи датчиків, виконавчих механізмів та підсистеми збору даних. Нижче наведено детальний опис, який може бути використаний у магістерській роботі як роз'яснення до блок-схеми.

На першому етапі здійснюється ініціалізація системи та вхід у головний цикл роботи. Програма починає з прийому даних від персональної електронно-обчислювальної машини (ПЕОМ), яка виступає в ролі керуючого пристрою. Від ПЕОМ надходить значення довжини хвилі $S1$, яке визначає параметри випромінювання, що повинні бути встановлені в системі. Цей параметр використовується для налаштування положення оптичних елементів фотометра відповідно до вимог експерименту чи вимірювальної процедури.

Паралельно з цим виконується обробка сигналу від датчика положення (ДР), який контролює кут повороту відповідного механізму. Результат обробки цього сигналу записується у змінну K . Таким чином, на цьому етапі система має два значення: поточне положення механізму K та бажане положення, яке відповідає введеній довжині хвилі $S1$.

Далі відбувається порівняння цих двох величин. Якщо виявляється, що $S1$ і K рівні, отже, кут повороту вже встановлений у потрібне положення, і переміщення не потрібно. У цьому випадку система переходить до наступних операцій без залучення виконавчого механізму. Якщо ж виявляється, що значення не співпадають, виконується обчислення необхідного зсуву.

					171.6321м.КР.ПЗ.РЗ	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

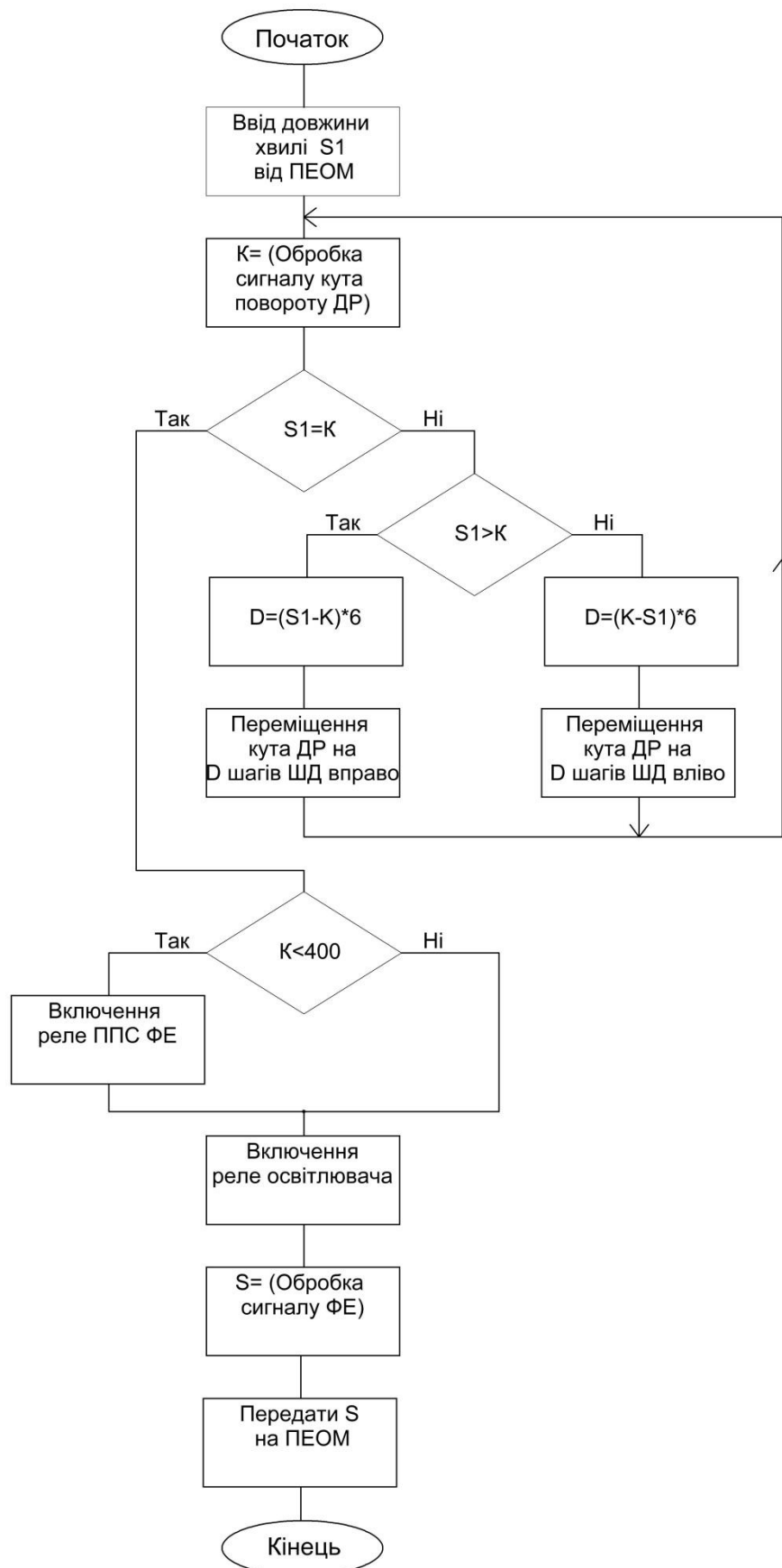


Рисунок 3.1 – Блок-схема алгоритму роботи МК

У випадку, коли $S1 > K$, різниця між цими величинами визначає величину зсуву D , яка обчислюється за формулою:

$$D = (S1 - K) * 6.$$

Це значення відповідає кількості кроків, які має здійснити кроковий двигун, щоб повернути датчик у потрібне положення вправо. Множник 6 у формулі використовується для перетворення різниці між показниками у відповідну кількість дискретних кроків двигуна, що відповідає кутовому переміщенню механізму.

Аналогічно, якщо $S1 < K$, виконується обчислення за формулою:

$$D = (K - S1) * 6,$$

після чого кроковий двигун переміщує датчик на (D) кроків уліво. Таким чином, алгоритм завжди забезпечує приведення поточного положення механізму у відповідність із заданим положенням, гарантуючи точність позиціонування.

Після встановлення положення виконується перевірка умови $K < 400$. Це обмеження введене для контролю коректності роботи системи та перевірки діапазону значень кута повороту. Якщо умова виконується, вмикається реле попереднього підсилювача сигналу фотометра (ППС ФЕ). Це дозволяє підготувати підсилювач до прийому сигналу від фотоприймача та забезпечує коректний рівень сигналу для подальшої обробки.

Наступним кроком є включення реле освітлювача. Це забезпечує створення необхідного світлового потоку для вимірювань. Важливою частиною роботи алгоритму є обробка сигналу фотоприймача (ФЕ). Після ввімкнення освітлювача фотоприймач реєструє інтенсивність світлового потоку, яка залежить від довжини хвилі та характеристик досліджуваного середовища. Отриманий сигнал обробляється мікроконтролером, і результат зберігається у змінній S .

На завершальному етапі оброблене значення сигналу S передається на ПЕОМ. Передача цього результату забезпечує можливість подальшої

					171.6321м.КР.ПЗ.РЗ	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

обробки, відображення, збереження чи аналізу даних користувачем або зовнішнім програмним забезпеченням. Після передачі результатів цикл алгоритму може бути завершений або повторений у випадку необхідності виконання серії вимірювань.

Таким чином, описаний алгоритм реалізує повний цикл автоматизованої роботи фотометра. Він включає отримання вхідних параметрів від ПЕОМ, точне позиціонування оптичного механізму за допомогою крокового двигуна, керування реле підсилювача та освітлювача, обробку сигналу від фотоприймача та передачу результатів назад на ПЕОМ. Завдяки такій структурі досягається висока точність позиціонування, надійність вимірювань та інтеграція фотометра з обчислювальними засобами.

3.3. Алгоритм вимірів комп'ютеризованої системи фотометрії

Робота системи виконується за визначеною послідовністю дій.

1. Вимірювання коефіцієнта пропускання або оптичної густини:

а. У відсік для кювет поміщаються зразки: одна кювета з розчинником чи контрольним зразком, відносно якого здійснюється порівняння, та інша – з досліджуваним розчином.

б. У програмному забезпеченні на ПЕОМ задається потрібна довжина хвилі, на якій проводитиметься аналіз.

в. Після закриття кришки кюветного відсіку у меню програми вибирається функція «Г» (градування). Далі задається режим: «П» (визначення коефіцієнта пропускання) або «Е» (обчислення оптичної густини). У випадку вимірювання пропускання результат виводиться у вигляді « $100,0 \pm 0,2$ », а при визначенні оптичної густини – « $0,000 \pm 0,002$ ». Якщо показники відрізняються від цих значень більше, ніж допустиме відхилення, необхідно повторно обрати функцію «Г», «П» або «Е» після короткої паузи (3-5 секунд). Потім відкривається кришка відсіку, у програмі

					171.6321м.КР.ПЗ.РЗ	Арк.
						51
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

активується функція «НУЛЬ», кришка знову закривається, після чого повторно обирається режим «П» або «Е».

г. Далі у світловий промінь встановлюється кювета з досліджуваним зразком, у програмі задається потрібний режим – пропускання або оптична густина.

д. Усі операції від пункту а) до г) виконуються тричі, після чого програма автоматично обчислює середнє арифметичне результатів.

е. Спектральна характеристика формується програмою у вигляді графіка залежності пропускання чи оптичної густини від довжини хвилі: по осі абсцис відкладається довжина хвилі (нм), а по осі ординат – відповідне значення вимірюваного параметра.

2) Визначення концентрації речовини у розчині:

Для проведення вимірювань необхідно виконати підготовчі дії:

- вибрати довжину хвилі;
- підібрати відповідну кювету;
- побудувати калібрувальний графік для досліджуваної речовини та визначити коефіцієнт факторизації F ;
- ввести значення коефіцієнта F у програму;
- здійснити вимірювання концентрації.

а. Вибір довжини хвилі. Щоб зменшити похибку визначення, потрібно обрати оптимальну довжину хвилі. Для цього використовується спектральна крива досліджуваного розчину, отримана на етапі 1). Обирається ділянка, де оптична густина є максимальною і крива майже паралельна осі абсцис, тобто значення мало залежить від довжини хвилі. Якщо умова паралельності не виконується, довжина хвилі вибирається за критерієм максимальної густини.

б. Вибір кювети. Абсолютна похибка при вимірюванні коефіцієнта пропускання не перевищує 0,5%. Відносна похибка визначення оптичної густини мінімальна при значеннях близько 0,4. Тому рекомендується

					171.6321м.КР.ПЗ.РЗ	Арк.
						52
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

підбирати довжину оптичного шляху кювет так, щоб оптична густина досліджуваного зразка перебувала у межах 0,3-0,6.

в. Побудова калібрувального графіка та визначення коефіцієнта факторизації. Для цього готують серію розчинів із відомими концентраціями, що охоплюють необхідний діапазон. Після вимірювання оптичних густин кожного зразка будують калібрувальну криву. У випадку, коли залежність між густиною та концентрацією є лінійною, вона описується прямою, а коефіцієнт факторизації F обчислюється програмою за формулою (3.5). Якщо залежність нелінійна, значення F не визначається, і розрахунок концентрації здійснюється безпосередньо за графіком.

$$F = \frac{C}{D} \quad (3.5)$$

г. Введення коефіцієнта факторизації. Для збереження обчисленого значення у пам'яті програми необхідно зафіксувати результат.

д. Визначення концентрації. Виконуються операції, аналогічні пунктам 1 а) – г). При цьому розчин заливається у кювету тієї ж довжини оптичного шляху, що й під час градування, а довжина хвилі встановлюється за результатами підпункту а). У меню програми обирається функція «визначення концентрації», після чого на дисплеї відображається результат вимірювання.

3.4. Розробка друкованої та монтажною схеми системи керування фотометром

У магістерській роботі для розробки друкованих плат застосовувався редактор Sprint-Layout. Даний програмний засіб підтримує багат шарове представлення плати, де під шаром розуміють рівень з металізацією, тобто з нанесеними мідними провідниками. У Sprint-Layout передбачено чотири шари, з яких лише два використовуються безпосередньо для трасування доріжок.

					171.6321м.КР.ПЗ.РЗ	Арк.
						53
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

База даних друкованої плати містить інформацію про корпуси елементів, що відповідають схемі, створеній у принциповому редакторі. Разом з корпусами у ній зберігаються дані про електричні з'єднання та характеристики компонентів, що забезпечує файл спеціального формату.

Для проектування друкованої плати комп'ютеризованої фотометричної системи була створена власна бібліотека компонентів, яка надалі застосовувалася у процесі трасування.

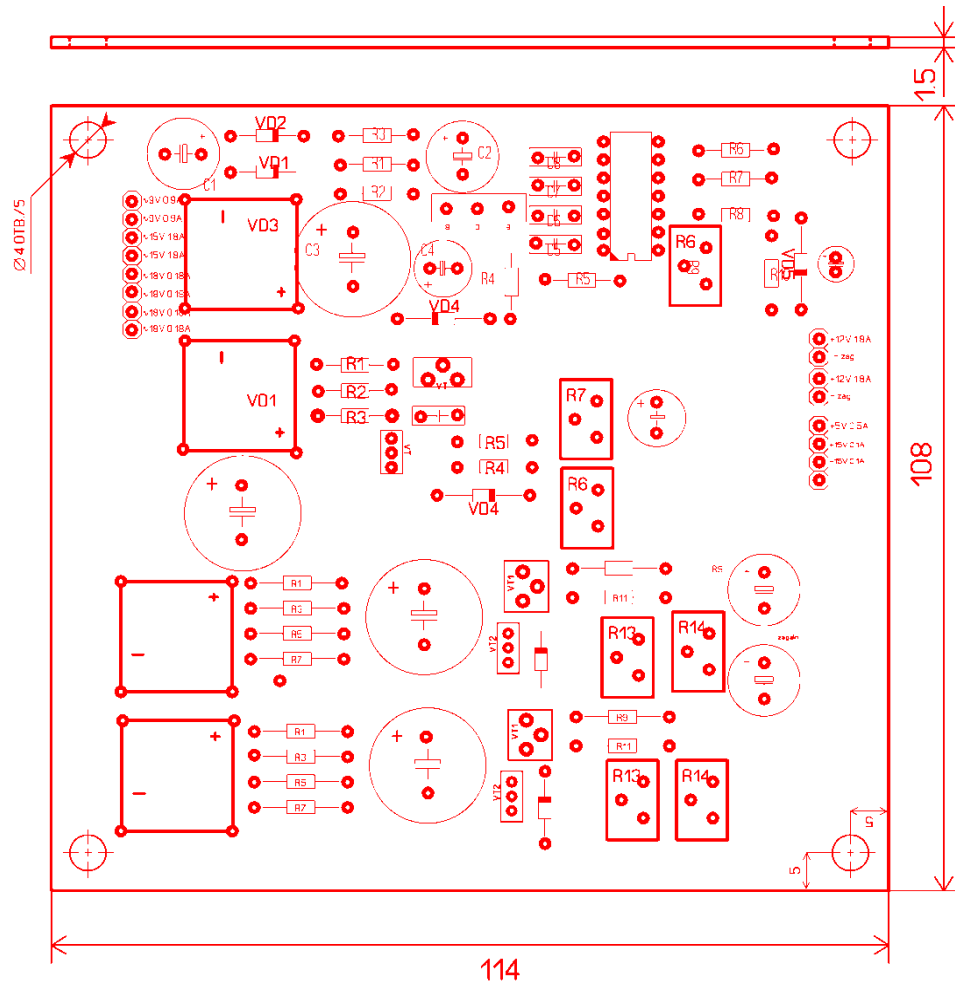


Рисунок 3.2 – Розташування елементів на друкованій платі блоку живлення

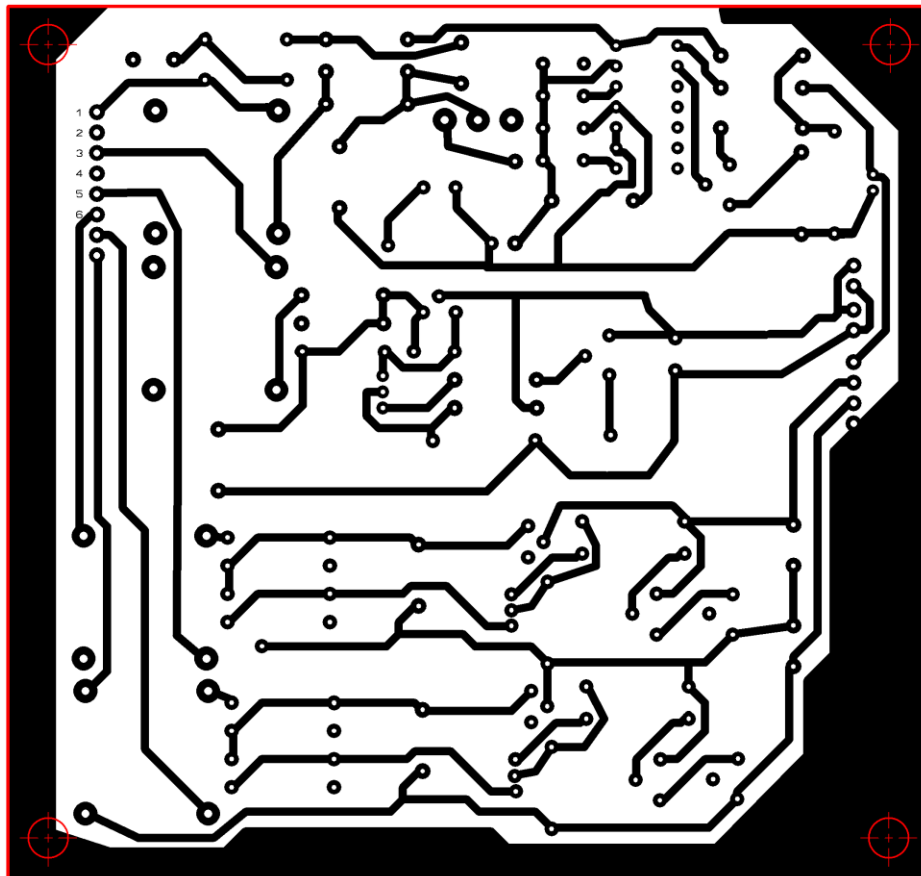


Рисунок 3.3 – Друкована плата блоку живлення, сторона А

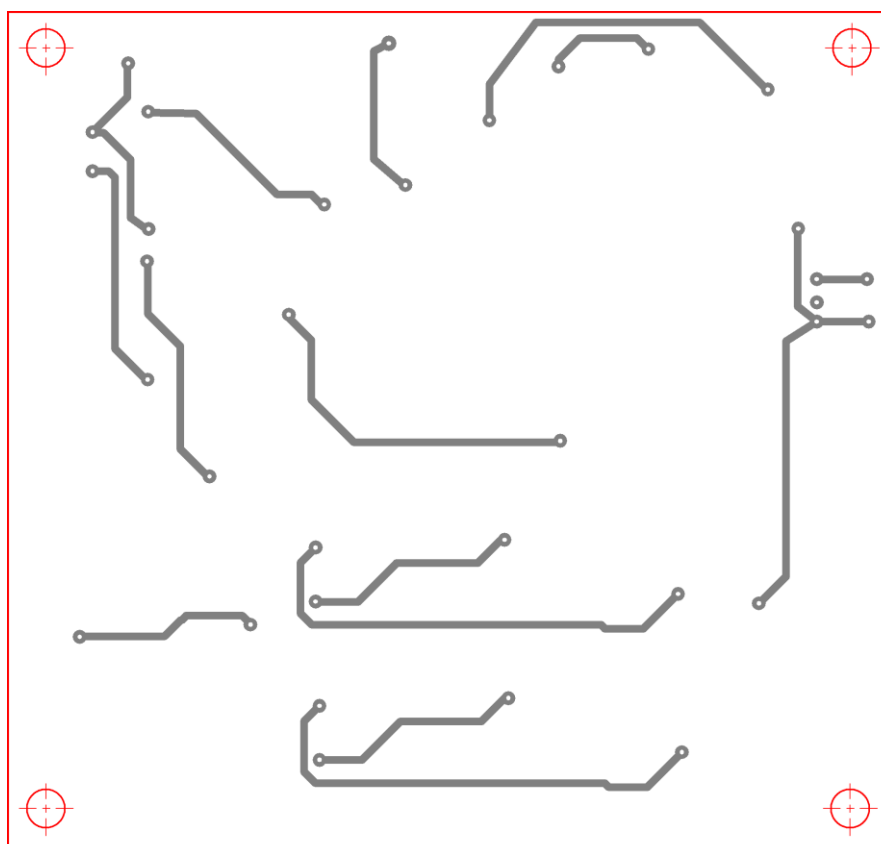


Рисунок 3.4 – Друкована плата блоку живлення, сторона Б

					171.6321м.КР.ПЗ.РЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		55

Друковані плати системи фотометрії складаються з двох окремих плат. Перша з них виконує функцію блоку живлення (рис. 3.2), тоді як друга містить усі основні вузли: модуль мікроконтролера, блок переміщення дифракційної решітки, вузол перетворення кута повороту решітки у напругу, освітлювач, фотоприймальний елемент та інтерфейс для підключення до персонального комп'ютера (рис. 3.5).

Зображення друкованих плат подані окремо для кожної сторони. Для блоку живлення наведено розташування елементів та вигляд плати з боку А (рис. 3.3) і боку Б (рис. 3.4). Для плати фотометра представлено схему розміщення елементів, а також друковані провідники для сторони А (рис. 3.6) і сторони Б (рис. 3.7).

					171.6321м.КР.ПЗ.РЗ	Арк.
						56
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

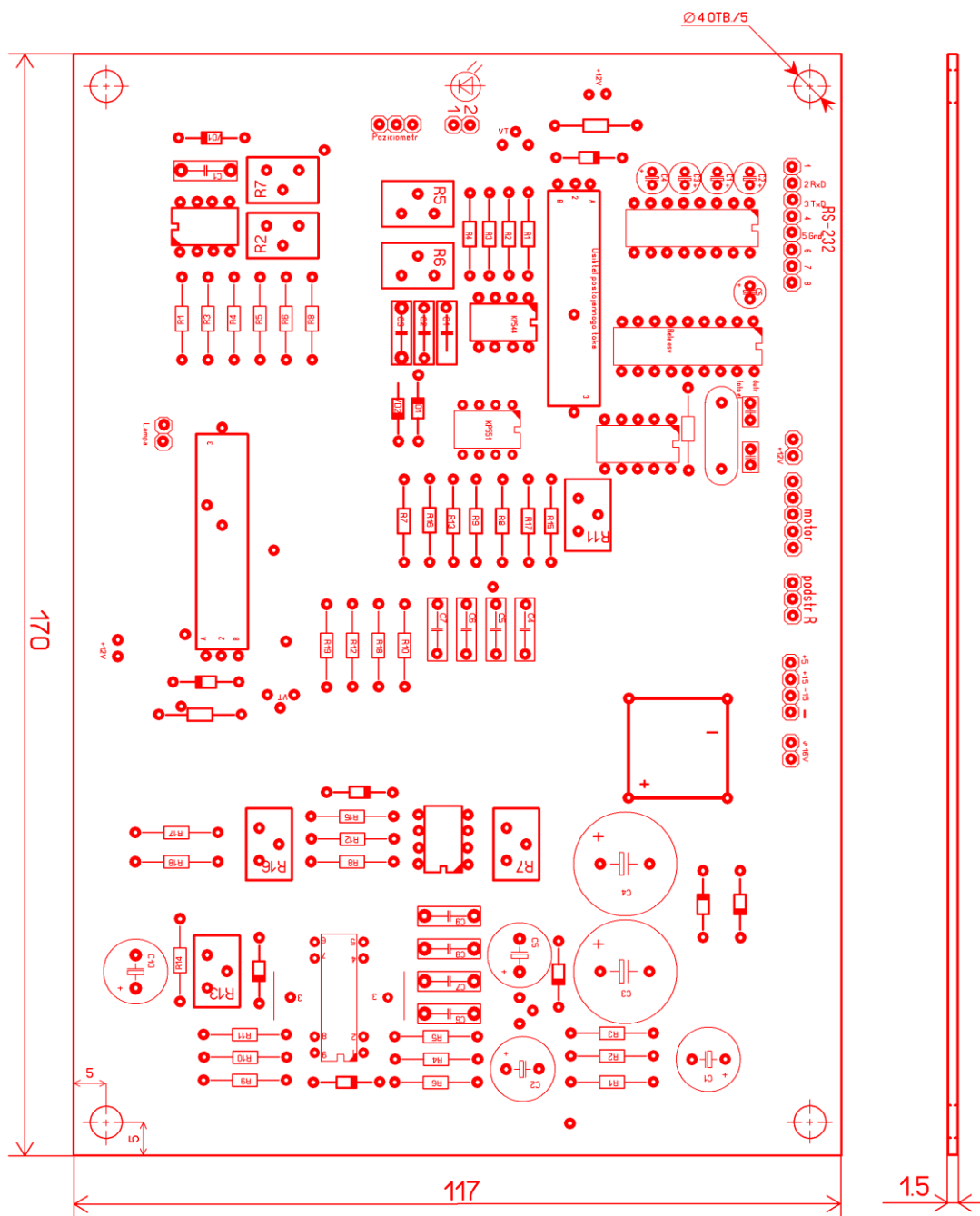


Рисунок 3.5 – Розташування елементів на друкованій платі блоку фотометра

					171.6321м.КР.ПЗ.РЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		57

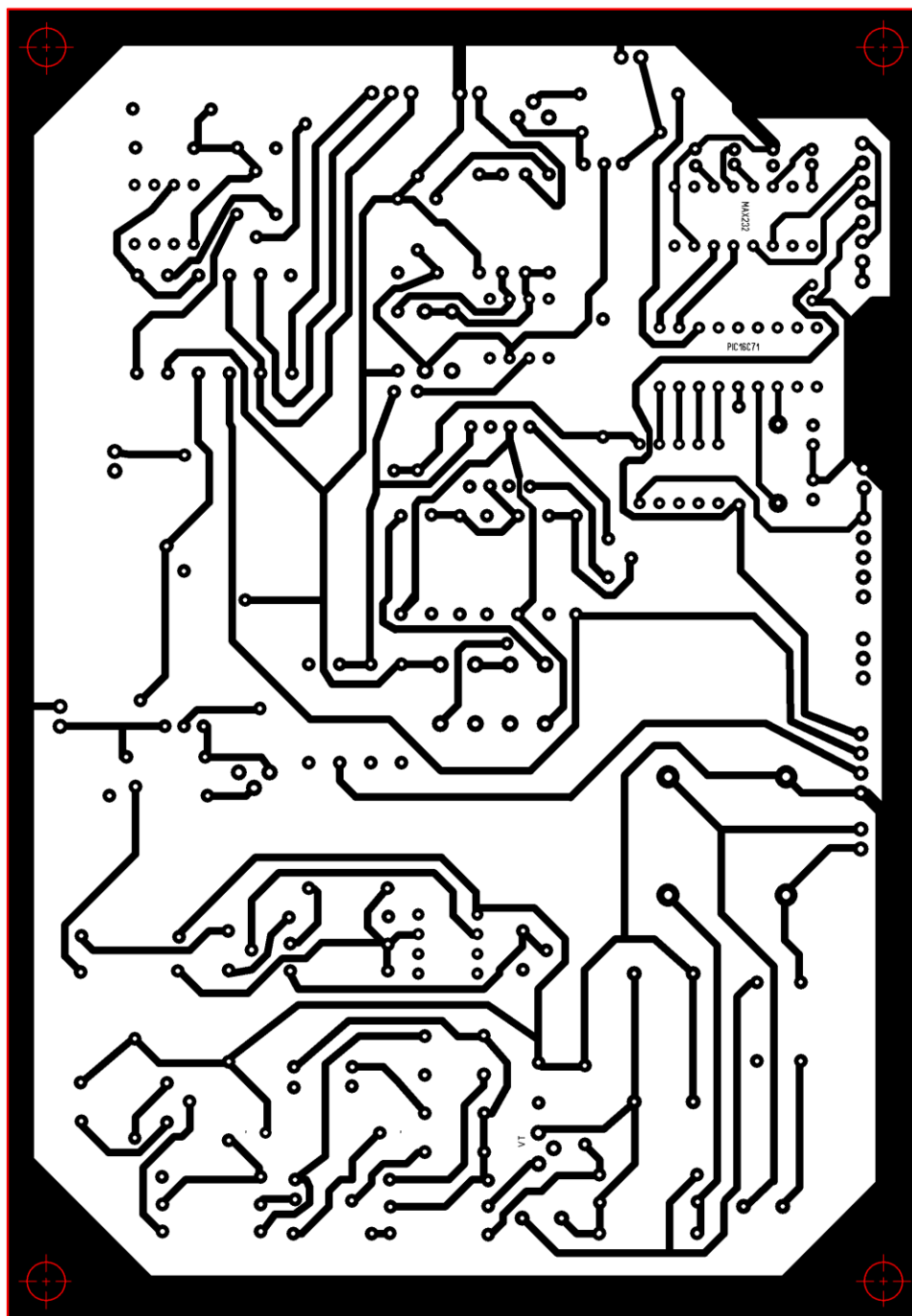


Рисунок 3.6 – Друкована плата блоку фотометра, сторона А

					171.6321м.КР.ПЗ.РЗ	Арк.
						58
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

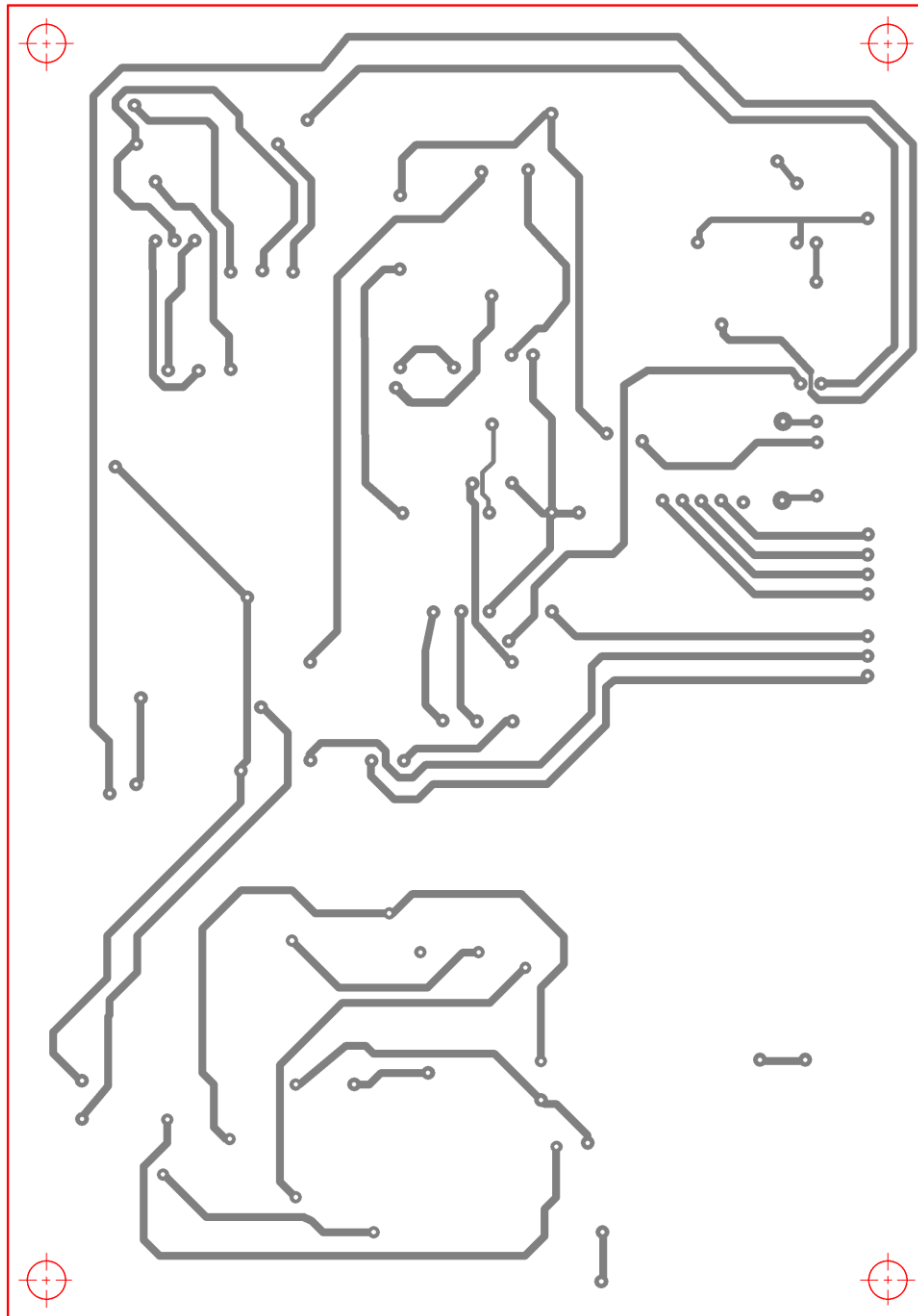


Рисунок 3.7 – Друкована плата блоку фотометра, сторона Б

Висновки по розділу

У третьому розділі було виконано комплекс робіт, спрямованих на створення програмної частини мікроконтролерної системи для фотометрії. Спочатку визначено алгоритмічні основи функціонування системи, які дозволили сформувати загальну структуру її роботи та забезпечили узгодженість між апаратними та програмними компонентами. Далі розроблено алгоритм роботи мікроконтролера, що забезпечує керування

					171.6321м.КР.ПЗ.РЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		59

ключовими блоками системи та їх взаємодію з персональним комп'ютером. Окрему увагу приділено алгоритму проведення вимірювань, який охоплює процедури градування, визначення коефіцієнта пропускання, оптичної густини та концентрації досліджуваних речовин. Це дало змогу підвищити точність та відтворюваність результатів. Завершальним етапом стала розробка друкованих і монтажних схем керування фотометром, що забезпечили фізичну реалізацію системи з урахуванням вимог до компактності, надійності та простоти обслуговування. Загалом результати розділу демонструють цілісність підходу до проєктування системи, поєднання алгоритмічних рішень із практичною реалізацією та створення основи для подальших експериментальних досліджень.

					171.6321м.КР.ПЗ.РЗ	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

					171.6321м.КР.ПЗ.Р4			
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата				
Розробник		Савун І.А.			Охорона праці	Літ.	Арк.	Аркуші
Консультант		Губальцев А. М.					61	
Н. контр.		Добрінова Л. П.				НУК імені адмірала Макарова		
Керівник		Ушкаренко О.О.						
Зав. каф.		Рябенський В. М.						

РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1. Вступ

Одним із головних завдань державної політики є гарантування збереження життя та здоров'я працівників у процесі їхньої професійної діяльності, що передбачає формування безпечних і нешкідливих умов праці. За даними Міжнародної організації праці, смертність від виробничих травм посідає третє місце після серцево-судинних та онкологічних захворювань, причому найбільше потерпають особи працездатного віку до 40 років. Українська статистика засвідчує, що серед чоловіків працездатного віку провідними причинами летальних випадків є травми, отруєння та нещасні випадки, які складають близько 30–35 % усіх випадків смертності в цій віковій групі.

Охорона праці має важливе соціальне значення, оскільки жодні виробничі досягнення не здатні компенсувати втрату здоров'я чи життя людини. Поряд із цим, вона виконує й вагомий економічний функцію: створення безпечних умов праці підвищує ефективність виробництва, знижує витрати на виплату лікарняних і компенсацій за роботу в небезпечних або шкідливих умовах. За оцінками МОП, глобальні економічні збитки від виробничого травматизму сягають близько 1 % світового ВВП. Щорічно у світі реєструється близько 125 млн виробничих травм, з яких приблизно 220 тис. закінчуються смертельно. При цьому рівень професійного травматизму та захворюваності у країнах, що розвиваються, є суттєво вищим, ніж у розвинених державах.

Згідно з висновками міжнародних експертів МОП, які працювали в Україні, високі показники смертності на виробництві зумовлені низкою причин: недостатнім рівнем підготовки працівників і керівників у сфері охорони праці; браком дієвого контролю за станом безпеки на робочих місцях; незадовільним забезпеченням засобами індивідуального захисту; повільним упровадженням колективних систем безпеки; а також експлуатацією застарілого й технічно несправного обладнання.

					171.6321м.КР.ПЗ.Р4	Арк.
						62
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

Правову основу охорони праці в Україні формують Конституція України, закони України “Про охорону праці”, “Про охорону здоров’я”, “Про пожежну безпеку”, “Про використання ядерної енергії та радіаційний захист”, “Про забезпечення санітарного та епідеміологічного благополуччя населення”, а також Кодекс законів про працю України. Ключовим нормативно-правовим актом у цій сфері є Закон України “Про охорону праці”, дія якого поширюється на всі підприємства, установи та організації незалежно від форми власності й виду діяльності, а також на всіх працівників і осіб, залучених до виконання трудових обов’язків.

Під охороною праці розуміють систему правових, соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів, спрямованих на забезпечення безпеки, збереження здоров’я та підтримання працездатності людини в процесі виконання професійної діяльності.

4.2. небезпечні та шкідливі чинники виробничого середовища на робочому місці оператор

Під робочим місцем (РМ) слід розуміти частину приміщення або лабораторії, обладнану комплексом засобів обчислювальної техніки, де лаборант (оператор) персонального комп’ютера постійно чи тимчасово виконує свої функціональні обов’язки.

На оператора ПЕОМ одночасно діє понад 30 несприятливих факторів. Їх джерелами виступають не лише монітор та інші компоненти комп’ютерного комплексу, а й умови зовнішнього середовища, кількість і характер яких залежать від особливостей конкретного робочого місця. При цьому безпосередньо ПЕОМ генерує близько 20 % усіх шкідливих впливів на людину.

Основні чинники, що походять від ПЕОМ:

1. Електромагнітні поля та випромінювання.

					171.6321м.КР.ПЗ.Р4	Арк.
						63
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Комп'ютер створює у навколишньому просторі широкий спектр електромагнітних полів різної інтенсивності, серед яких:

- електростатичне поле;
- змінні низькочастотні ЕМП;
- випромінювання у радіочастотному діапазоні;
- електромагнітне випромінювання видимого спектра;
- ультрафіолетове та рентгенівське випромінювання електронно-променевих трубок (ЕПТ).

Крім того, робоче місце оператора завжди перебуває під впливом фонових ЕМП промислової частоти, які виникають як від комп'ютера, так і від сторонніх електроприладів.

Ультрафіолетове та рентгенівське випромінювання практично повністю поглинаються корпусом дисплея, а рівень радіочастотних хвиль настільки малий, що не має санітарного значення, що підтверджено численними експериментальними вимірюваннями у різних країнах. Тому радіохвилі, УФ- та рентгенівське випромінювання в даному випадку не враховуються як суттєві шкідливі фактори.

Головним джерелом електростатичного поля виступає екран дисплея, який має високий потенціал (прискорювальна напруга ЕПТ). До формування електростатичного поля також спричиняється клавіатура і миша, що накопичують заряд у результаті тертя. Це поле не лише впливає на організм людини, а й сприяє накопиченню пилу між користувачем та екраном. Потрапляючи до дихальних шляхів, такий пил може провокувати алергічні реакції та бронхо-легеневі захворювання. Крім того, він осідає на клавіатурі й, проникаючи у шкіру рук, викликає дерматологічні проблеми.

Сучасні дисплеї (після 1998 р. випуску) зазвичай оснащені захисними системами від електростатичного поля. Однак у деяких моделях використовується компенсаційний метод, що ефективний лише при стабільному режимі роботи. У моменти вмикання чи вимикання екран може

					171.6321м.КР.ПЗ.Р4	Арк.
						64
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

мати надмірний електростатичний потенціал, у десятки разів вищий від робочого, чого достатньо для електризації пилу та навколишніх предметів.

Джерелами змінних ЕМП є вузли комп'ютера, що працюють при високих напругах і значних струмах. Просторові розподіли магнітної та електричної складових поблизу дисплея наведено на рис. 4.1 і рис. 4.2.

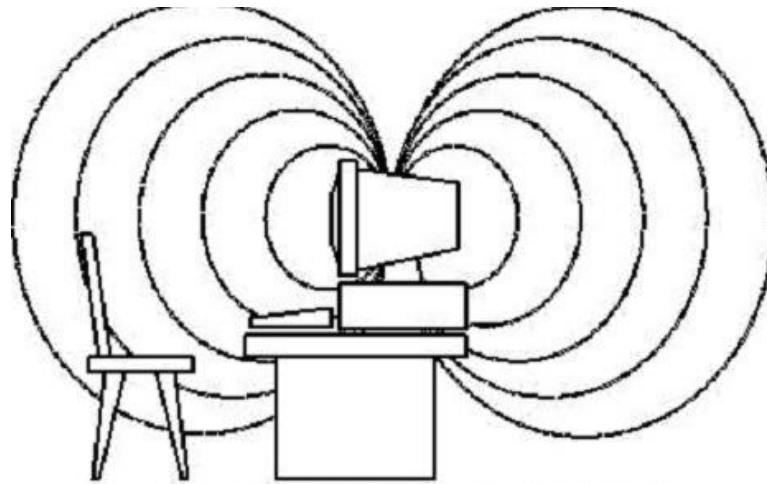


Рисунок 4.1 – Силкові лінії магнітного поля навколо дисплея

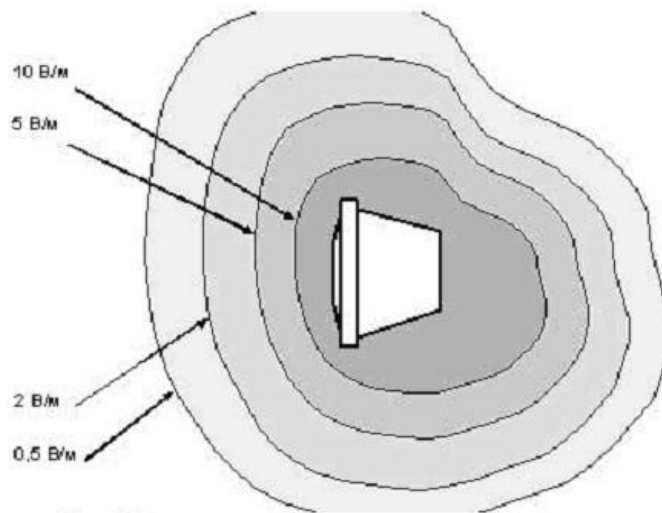


Рисунок 4.2 – Просторова діаграма розподілу інтенсивності електричного поля навколо монітору

За частотним діапазоном ці поля поділяють на дві групи:

– низькочастотні (до 2 кГц), що виникають у блоці живлення та блоці кадрової розгортки;

– високочастотні (2–400 кГц), які створюються блоком рядкової розгортки та імпульсними блоками живлення.

Тривалий вплив змінних ЕМП понад допустимі норми здатний призводити до порушень у діяльності нервової, ендокринної та серцево-судинної систем. Це проявляється у вигляді головного болю, швидкої втомлюваності, безсоння, гіпертонічних станів, загальмованості реакцій. У деяких випадках спостерігаються зміни складу крові, помутніння кришталика ока, нервово-психічні розлади, а також трофічні порушення (ламкість нігтів, випадіння волосся).

Зазвичай такі зміни є зворотними, проте без профілактики вони можуть накопичуватись і стати хронічними. Ступінь небезпеки визначається інтенсивністю впливу, його тривалістю та індивідуальними особливостями організму.

Додатковим джерелом фонових ЕМП промислової частоти виступає електропроводка (незалежно від її типу – прихованої чи відкритої), різне електрообладнання (розетки, щити, вимикачі), а також побутова техніка (освітлювальні прилади, холодильники, кондиціонери, телевізори тощо). Фонове поле формується як самим приміщенням, так і зовнішніми джерелами (трансформаторні підстанції тощо).

У більшості офісних приміщень напруженість фонових полів у десятки разів нижча від нормативних показників, тому прямий вплив на користувача незначний. Проте для дисплея існує інший ефект: при рівнях магнітної складової понад 1 мкТл зображення на екрані стає нестабільним (спостерігається тремтіння та мерехтіння). Це створює додаткове навантаження на зорову систему і опосередковано впливає на самопочуття оператора.

Схематичний механізм такого опосередкованого впливу зображений на рис. 4.3:

					171.6321м.КР.ПЗ.Р4	Арк.
						66
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		



Рисунок 4.3 – Механізм опосередкованих впливів магнітного поля промислової частоти

1. Прямий вплив магнітного поля на людину.
2. Вплив на систему відхилення ЕПТ, що призводить до нестабільності картинки.
3. Перевантаження зорового апарату, поява дискомфорту, підвищеної втоми.

Отже, під час організації робочих місць із комп'ютерами обов'язково необхідно враховувати механізм побічного шкідливого впливу змінних магнітних полів на користувача.

4.3. Розрахунок захисного заземлення

Найбільш розповсюдженим і результативним способом захисту людини від ураження електричним струмом є заземлення – спеціально створене електричне з'єднання металевих неструмопровідних елементів, які у разі пошкодження можуть опинитися під напругою, із ґрунтом або його аналогом.

У проєктованому приміщенні використовується напруга живлення 220В. Виконуємо розрахунок системи заземлення для обладнання з робочою напругою до 1000В. Для таких електроустановок допустиме значення опору заземлювального пристрою не повинно перевищувати 4 Ом.

Конструктивно заземлення реалізується за допомогою сталевого стрижня довжиною 5 м і діаметром 0,015 м, заглибленого на 0,8 м від рівня поверхні землі. Між собою стрижні з'єднуються сталеву смугою розміром 40×4 мм.

Нижче наведені розрахункові формули для визначення опору вертикального заземлювача, верхня частина якого розташована на глибині до 0,8 м:

$$r_b = 0,366 \frac{P_p}{l} \cdot \left(\lg \frac{2l}{d} + 0,5 \lg \frac{4t + 3l}{4t + l} \right) \quad (4.1)$$

де l – довжина стрижня, м; d – діаметр стрижня, м; t – відстань від поверхні землі до вершини стрижня, м; P_p – розрахунковий питомий опір, Ом·м.

$$P_p = k_e p \quad (4.2)$$

де k_e – коефіцієнт сезону для вертикальних стрижнів. Для Миколаївського регіону $k_e = 1,6 \dots 18$.

Опір заземлення горизонтальної смуги довжиною 1 метр і шириною b метрів, розташованої на глибині t метрів від поверхні землі, можна підрахувати по формулі:

$$r_z = 0,366 \frac{P_p}{l} \lg \frac{2l^2}{bt} \quad (4.3)$$

де

$$P_p = k_z p \quad (4.4)$$

k_z – коефіцієнт сезону для горизонтальних заземлювачів (для Миколаївського регіону 3,5...45).

Розрахуємо опір заземлювача зі сталевго прутка діаметром 10 мм, довжиною 5 м, що забивається із приямка глибиною 1 м.

$$r_b = 0,366 \frac{1,7 \cdot 100}{5} \left(\lg \frac{2 \cdot 5}{0,015} + 0,5 \lg \frac{4 \cdot 0,8 + 3 \cdot 5}{4 \cdot 0,8 + 5} \right) = 37 \text{ Ом} \quad (4.5)$$

Опір заземлюючого пристрою в мережі 380/220 В повинне бути не більше 4 Ом.

					171.6321м.КР.ПЗ.Р4	Арк.
						68
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

Кількість стержнів 37/4 буде 9 шт.

Приклад розрахунку реального заземлювального контуру виконано для будівлі з довжиною стіни 20 м. З метою забезпечення оптимального розтікання струму та вирівнювання потенціалів передбачено встановлення 9 стрижнів, параметри яких були визначені раніше, рівномірно розташованих уздовж периметра споруди. Усі стрижні об'єднуються між собою сталевією смугою завширшки 40 мм.

Спочатку розрахуємо опір горизонтального заземлювача:

$$n = 0,366 \frac{4 \cdot 100}{80} \lg \frac{2 \cdot 80^2}{0,04 \cdot 0,8} = 10,25 \text{ Ом} \quad (4.6)$$

Сумарний опір вертикальних заземлювачів дорівнює $40 / 10 = 4 \text{ Ом}$

Загальний опір заземлюючого пристрою буде дорівнює:

$$r_{\text{общ}} = \frac{10,25 \cdot 4}{10,25 + 4} = 2,87 \text{ Ом} \quad (4.7)$$

4.4. Заходи щодо техніки безпеки

Працівники, що використовують ПЕОМ понад 50 % робочого часу, належать до категорії зі шкідливими умовами праці (3-й клас). Роботодавець зобов'язаний організовувати попередні та щорічні медичні огляди, проводити вступний, первинний і повторний інструктажі з охорони праці, обмежувати роботу вагітних жінок із ПЕОМ та відображати шкідливі фактори у трудовому договорі відповідно до результатів атестації робочих місць.

Захисні екранні фільтри є ефективним засобом зменшення електростатичних і змінних електричних полів, покращують ергономічні характеристики дисплеїв і знижують інтенсивність шкідливих світлових потоків. Якість фільтрів визначається коефіцієнтом пропускання, підтверджується гігієнічним сертифікатом і залежить від правильного заземлення.

					171.6321м.КР.ПЗ.Р4	Арк.
						69
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Контроль рівнів електромагнітних полів здійснюється у два етапи: сертифікаційні випробування техніки та перевірка на робочих місцях. Через експлуатацію застарілого обладнання другий рівень контролю має вирішальне значення. Вимірювання параметрів ЕМП проводяться під час введення в експлуатацію, атестації та у рамках нагляду, оцінка здійснюється за напруженістю електричних і магнітних складових у діапазонах 5 Гц – 400 кГц та потенціалом поверхні екрану.

					171.6321м.КР.ПЗ.Р4	Арк.
						70
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

У магістерській роботі було виконано повний цикл розробки комп'ютеризованої системи фотометрії – від аналітичного огляду існуючих засобів до створення апаратно-програмного комплексу. На основі вивчення літературних джерел, патентних матеріалів та схемних рішень визначено основні тенденції у сфері фотометрії та сформульовано вимоги до системи. У другому розділі розроблено функціональну та принципові схеми, що охоплюють електронні та оптичні вузли, а також обґрунтовано вибір їх характеристик для забезпечення точності та стабільності вимірювань. Третій розділ присвячено створенню алгоритмічного та програмного забезпечення мікроконтролера, яке забезпечує автоматизоване керування усіма блоками системи, проведення вимірювань та обробку даних. Також розроблено друковані та монтажні схеми, що підтверджує можливість практичної реалізації комплексу.

Отримані результати демонструють, що запропонована система відповідає сучасним вимогам до фотометричних приладів: забезпечує високу точність, відтворюваність і зручність у використанні. Впровадження розробленого комплексу може сприяти підвищенню ефективності лабораторних досліджень та відкриває перспективи для подальшого вдосконалення систем фотометрії.

					171.6321м.КР.ПЗ.Висновки	Арк.
						71
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ISO 17381:2014. Water quality – Selection and application of ready-to-use test kit methods in water analysis. Geneva: ISO, 2014. 25 p.
2. Sharma R., Mehta P. Design of Microcontroller-Based Photometric System. International Journal of Electronics and Communication Engineering. 2017. Vol. 11, No. 2. P. 145–152.
3. Zhang H., Li J., Wang X. Digital Signal Processing in Optical Measurement Systems. Optics and Lasers in Engineering. 2018. Vol. 110. P. 28–35.
4. Chen Y., Wu Z. LED-Based Photometric Devices for Chemical Analysis. Sensors. 2019. Vol. 19, No. 9. P. 2045.
5. Nguyen T., Park S. Low-Noise Photodiodes for Precision Optical Measurements. IEEE Sensors Journal. 2018. Vol. 18, No. 12. P. 4875–4882.
6. Kim J., Choi H. Silicon Photodetectors for Biomedical Applications. Biomedical Optics Express. 2020. Vol. 11, No. 7. P. 3685–3694.
7. Кравченко В. В., Мельник І. С. Сучасні фотометричні прилади для медичних лабораторій. Вісник ХНУРЕ. 2016. № 3. С. 112–118.
8. Петренко П. І., Орел А. В. Використання фотометрії у біохімічних дослідженнях. Лабораторна діагностика. 2017. № 4. С. 55–61.
9. ДСТУ 7525:2014. Вода питна. Вимоги та методи контролю якості. Київ: Мінекономрозвитку України, 2015. 30 с.
10. Гнатюк О. С., Левченко Р. М. Фотометричні методи контролю стану довкілля. Науковий вісник НУВГП. 2018. № 4. С. 98–104.
11. Singh A., Patel K. Digital Correction in Photometric Systems. Measurement Science and Technology. 2019. Vol. 30, No. 11. 115103.
12. Wang L., Zhou M. ARM-Based Photometer for Clinical Laboratories. Journal of Medical Devices. 2017. Vol. 11, No. 2. 024501.

					171.6321м.КР.ПЗ.Джерела	Арк.
						72
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

13. Rahman M., Hossain S. Embedded Systems in Photometric Instrumentation. International Journal of Embedded Systems. 2020. Vol. 12, No. 4. P. 321–329.

14. Li X., Zhou Y. Optimization of Digital Filters for Photometric Applications. Applied Optics. 2018. Vol. 57, No. 22. P. 6427–6434.

15. Torres J., Silva M. Neural Networks in Photometric Data Analysis. Artificial Intelligence in Medicine. 2021. Vol. 112. 102018.

16. Müller T., Braun H. Adaptive Signal Processing for Optical Measurements. Measurement. 2019. Vol. 146. P. 752–759.

17. Oliveira D., Costa R. Portable Photometers for Environmental Monitoring. Environmental Monitoring and Assessment. 2017. Vol. 189, No. 8. P. 403.

18. Zhang Y., Liu K. Smartphone-Based Photometer for Water Quality Analysis. Analytical Chemistry. 2019. Vol. 91, No. 1. P. 453–459.

19. Ivanov D., Petrov A. Wireless Data Transmission in Photometric Devices. Journal of Sensors and Sensor Systems. 2020. Vol. 9, No. 2. P. 215–222.

20. Brown T., Johnson R. Laser-Based Photometric Measurement Systems. Review of Scientific Instruments. 2021. Vol. 92, No. 4. 045104.

21. Gupta N., Sharma P. Multichannel Photometry with Microcontrollers. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement. 2022. Vol. 71. P. 1–8.

22. Рябенський В.М. Схемотехніка електронних пристроїв та систем : підручник. У 6 т. Т. 3. Мікропроцесорна техніка / В.М. Рябенський, О.О. Ушкаренко, В.С. Буряк. Миколаїв : Іліон, 2012. 445 с.

23. Рябенський В.М. MAX+plus II. Основи проектування цифрових пристроїв на ПЛІС / В.М. Рябенський, О.О. Ушкаренко. К.: «Корнійчук», 2004. 253 с.

24. Рябенський В.М. Схемотехніка електронних пристроїв та систем : підручник. У 6 т. Т. 6. Апаратно-програмні засоби відображення інформації / В.М. Рябенський, О.О. Ушкаренко. Миколаїв : Іліон, 2013. 464 с.

					171.6321м.КР.ПЗ.Джерела	Арк.
						73
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

25. Рябенський В.М. Програмовані електронні системи керування, збору та обробки інформації : підручник / В.М. Рябенський, О.О. Ушкаренко. Миколаїв : НУК, 2019. 490 с.

26. Рябенський В.М. Моделювання електронних, електротехнічних та електроенергетичних систем / Рябенський В.М., Ушкаренко О.О., Махмуд М.С. Аль-Суод. Миколаїв : Іліон, 2024. 424 с.

27. Рябенський В.М. Verilog. Практика проектування цифрових пристроїв на ПЛІС. : навч. посібник / В.М. Рябенський, О.О. Ушкаренко. Миколаїв : Іліон, 2007. 324 с.

28. Рябенський В.М. Програмна реалізація методів розрахунку та аналізу електричних кіл : навч. посібник / В.М. Рябенський, О.О. Ушкаренко, М.Я. Островерхов, М.С. Махмуд Аль-суод. Київ : Вид-во Ліра-К, 2021. 462 с.

					171.6321м.КР.ПЗ.Джерела	Арк.
						74
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

ДОДАТОК А

Реалізація алгоритму керування кроковим двигуном

```
#include <avr/io.h>
#include <util/delay.h>

// Таблиця комутації обмоток ШД для напівкрокового режиму
// Кожне значення відповідає стану обмоток (PORTB)
const uint8_t step_table[8] = {
    0b00001001,
    0b00000001,
    0b00000011,
    0b00000010,
    0b00000110,
    0b00000100,
    0b00001100,
    0b00001000
};

volatile uint8_t stepnr = 0; // лічильник півкроків

// Функція затримки на один півкрок (еквівалент step_delay)
void step_delay(void) {
    // Тривалість визначається характеристиками двигуна і
    навантаженням
    _delay_ms(5); // можна підібрати експериментально
}

// Один крок (еквівалент onestep)
void onestep(void) {
    // Вибір стану з таблиці комутації
    uint8_t pattern = step_table[stepnr];
    PORTB = pattern; // подача сигналу на виходи порту
    step_delay();    // пауза для стабілізації положення
}
```

					171.6321м.КР.ПЗ.Додатки	Арк.
						75
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

```

}

// Обертання вправо (еквівалент right)
void step_right(void) {
    stepnr++;          // збільшуємо лічильник
    stepnr &= 0x07;     // обмежуємо значення в діапазоні 0-7
    onestep();         // виконуємо півкрок
}

// Обертання вліво (еквівалент left)
void step_left(void) {
    stepnr--;          // зменшуємо лічильник
    stepnr &= 0x07;     // обмежуємо значення в діапазоні 0-7
    onestep();         // виконуємо півкрок
}

// Реалізація затримок для тривалих інтервалів (еквівалент
delay500, delay100 тощо)
void delay_ms_custom(uint16_t ms) {
    while (ms--) {
        _delay_ms(1); // затримка 1 мс
    }
}

// Приклад використання: затримки 2с, 1с, 500мс
void delay_2s(void) { delay_ms_custom(2000); }
void delay_1s(void) { delay_ms_custom(1000); }
void delay_500ms(void) { delay_ms_custom(500); }
void delay_300ms(void) { delay_ms_custom(300); }
void delay_200ms(void) { delay_ms_custom(200); }
void delay_100ms(void) { delay_ms_custom(100); }
void delay_50ms(void) { delay_ms_custom(50); }

// Основна програма
int main(void) {

```

					171.6321м.КР.ПЗ.Додатки	Арк.
						76
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

```

        DDRB = 0xFF; // порт В на вихід (керування обмотками ШД)
        PORTB = 0x00;

        while (1) {
            // Приклад: 10 кроків вправо, затримка 1с, 10 кроків
вліво
            for (uint8_t i = 0; i < 10; i++) {
                step_right();
            }
            delay_1s();
            for (uint8_t i = 0; i < 10; i++) {
                step_left();
            }
            delay_1s();
        }
    }
}

```

					171.6321м.КР.ПЗ.Додатки	Арк.
						77
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

ДОДАТОК Б

Програмний код реалізації керування кроковим двигуном

```
#define F_CPU 8000000UL    // Частота тактового генератора 8
МГц

#include <avr/io.h>
#include <stdlib.h>
#include <util/delay.h>

// Оголошення можливих станів крокового двигуна
typedef enum {STATE_1, STATE_2, STATE_3, STATE_4} STATE;

// Змінні для зберігання параметрів двигуна
volatile unsigned char *g_port;
char g_pin1, g_pin2, g_pin3, g_pin4;
STATE g_state;

// Ініціалізація крокового двигуна
void Stepper_Init(volatile unsigned char *port, char pin1,
char pin2, char pin3, char pin4)
{
    g_port = port;
    g_pin1 = pin1;
    g_pin2 = pin2;
    g_pin3 = pin3;
    g_pin4 = pin4;
    g_state = STATE_1;

    // Налаштування ліній порту як виходи (DDR = PORT - 1)
    *(g_port - 1) |= ((1<<g_pin1) | (1<<g_pin2) |
(1<<g_pin3) | (1<<g_pin4));
}
```

					171.6321м.КР.ПЗ.Додатки	Арк.
						78
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

```
// Встановлення вихідних сигналів для керування обмотками
двигуна
```

```
void Stepper_SetPinStates()
{
    switch(g_state)
    {
        case STATE_1:
            *g_port = (1<<g_pin2) | (1<<g_pin3);
            break;
        case STATE_2:
            *g_port = (1<<g_pin2) | (1<<g_pin4);
            break;
        case STATE_3:
            *g_port = (1<<g_pin1) | (1<<g_pin4);
            break;
        case STATE_4:
            *g_port = (1<<g_pin1) | (1<<g_pin3);
            break;
    }
}
```

```
// Крок за годинниковою стрілкою (CW)
```

```
void Stepper_StepCW()
{
    switch(g_state)
    {
        case STATE_1:
            g_state = STATE_2;
            break;
        case STATE_2:
            g_state = STATE_3;
            break;
        case STATE_3:
            g_state = STATE_4;
```

					171.6321м.КР.ПЗ.Додатки	Арк.
						79
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

```

        break;
    case STATE_4:
        g_state = STATE_1;
        break;
    }
    Stepper_SetPinStates();
}

// Крок проти годинникової стрілки (CCW)
void Stepper_StepCCW()
{
    switch(g_state)
    {
        case STATE_1:
            g_state = STATE_4;
            break;
        case STATE_2:
            g_state = STATE_1;
            break;
        case STATE_3:
            g_state = STATE_2;
            break;
        case STATE_4:
            g_state = STATE_3;
            break;
    }
    Stepper_SetPinStates();
}

// Обертання двигуна на певний кут
// angle - кут (від'ємний - проти годинникової стрілки,
// додатний - за годинниковою)
// delta - величина кута на один крок
void Stepper_Rotate(int angle, double delta)
{

```

					171.6321м.КР.ПЗ.Додатки	Арк.
						80
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

```

        unsigned int steps = (unsigned int)abs(angle) / delta;
        // Кількість кроків
        for(unsigned int i = 0; i < steps; i++)
        {
            if(angle < 0)
            {
                Stepper_StepCCW();
            }
            else
            {
                Stepper_StepCW();
            }
            _delay_ms(250); // Затримка між кроками
        }
    }

int main(void)
{
    // Ініціалізація двигуна: PORTD, виводи 4-7
    Stepper_Init(&PORTD, 4, 5, 6, 7);

    // Основний цикл
    while (1)
    {
        Stepper_StepCCW(); // Крок проти годинникової стрілки
        _delay_ms(250);    // Затримка для стабільної роботи
    }
}

```

					171.6321м.КР.ПЗ.Додатки	Арк.
						81
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		