Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет _____Електронної та біомедичної інженерії _____
(повна назва)

Кафедра _____Мікроелектроніки, електронних приладів та пристроїв _____
(повна назва)

АТЕСТАЦІЙНА РОБОТА

Пояснювальна записка

рівень вищої освіти_____другий (магістерський) _____

Розробка стенда з дослідження поляризаційних ефектів_____.
_____.
(тема)

Виконав:
студент 2 курсу, групи ЕППм-19-1
_____Маслов М. О. _____
(прізвище, ініціали)

Спеціальність 171 «Електроніка»_____

Тип програми освітньо-професійна_____

Освітня програма «Електронні прилади та пристрої»

Керівник ____доц. Галат О.Б.__
(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту

Зав. кафедри _____ Бондаренко І.М.
(підпис) (прізвище, ініціали)

2020 р.

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Електронної та біомедичної інженерії_____

Кафедра Мікроелектроніки, електронних приладів та пристроїв_____

Рівень вищої освіти_____другий (магістерський)_____

Спеціальність _____171 «Електроніка»_____ _____

Тип програми _____ освітньо-професійна_____

Освітня програма_____«Електронні прилади та пристрої» _____

ЗАТВЕРДЖУЮ:
Зав. кафедри

_____І.М.Бондаренко

«____»_____2020р.

ЗАВДАННЯ
НА АТЕСТАЦІЙНУ РОБОТУ

студентові_____Маслову Микиті Олександровичу _____
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи _____Розробка стенда з дослідження поляризаційних ефектів__ затверджена наказом по університету від ____ _____20__ р. № _____
2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії 10.12. 2020 р.
3. Вихідні дані до роботи: стенд має надавати можливість працювати с кількома зразками розчинів, стенд повинен мати зручний та зрозумілий інтерфейс, методика проведення лабораторної роботи повинна включати в себе знаходження невідомої концентрації цукру залежно від кута повороту площини поляризації
4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі
1) Теоретичне підґрунтя ефекту, що лежить в основі принципу дії стенду
2) Огляд вимірювальних приладів, які використовують явище поляризації.
3) Електрична, механічна, оптична схема лабораторного стенду
4) Методика виконання лабораторних робіт на стенді.

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій (слайдів) __*Презентація*_____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Терміни виконання етапів роботи	Примітка
1	Пошук загальної інформації по темі	11.11.2020	
2	Формування вступу	14.11.2020	
3	Аналіз фізики ефекту поляризації	15.11.2020	
4	Формування першого розділу роботи	16.11.2020	
5	Аналіз конкретних конструкцій приладів	18.11.2020	
6	Формування другого розділу роботи	21.11.2020	
7	Розробка власного варіанту приладу	24.11.2020	
8	Формування третього розділу роботи	25.11.2020	
9	Розробка методики проведення занять	29.11.2020	
10	Формування четвертого розділу роботи	03.12.2020	
11	Оформлення роботи згідно вимог	07.12.2020	
12	Подання роботи	10.12.2020	

Дата видачі завдання 09 .11. 2020 р.

Студент _____
(підпис)

Керівник роботи _____ _____
(підпис) (посада, прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка містить: 47 с. , 23 рис., 10 джерел, 2 додатки.

ПОЛЯРИЗАЦІЯ, ВИПРОМІНЮВАННЯ, ПОЛЯРОЇД, ПОЛЯРИМЕТР, РОЗЧИН, КУТ

Метою роботи є обґрунтування побудови та розробка конструкції лабораторного стенду для дослідження поляризаційних ефектів.

Метод дослідження – аналітичний. У роботі розглянуто явище поляризації електромагнітних хвиль, наведено приклади використовування поляризаційних ефектів в техніці. Виконано аналіз наявних промислових пристроїв для вимірювання кількісних характеристик складних речовин з використанням поляризаційних ефектів, досліджено електрофізичні та оптичні характеристики, особливості функціонування щодо можливості використання їх структур та конструкцій у лабораторному практикумі, вибір найбільш ефективного варіанту.

Зроблено огляд типових конструкцій приводів та систем керування, визначено їх переваги і недоліки, а також їх придатність до безпосереднього використання в стенді. Обґрунтовано вибір найбільш відповідних щодо наданих вимог варіантів конструкцій.

Унаслідок виконання роботи запропоновано структурну, функціональну та оптичну схеми лабораторного стенду, а також методи та засоби модернізації та його удосконалення.

ABSTRACT

The explanatory note contains: 47 p., 23 im., 10 s., 2 applications

POLARIZATION, RADIATION, POLAROID, POLYRAMETER, SOLUTIONS, ANGLE

The purpose of the work is to substantiate the construction and design of a laboratory stand for the study of polarization effects.

The research method is analytical. The phenomenon of polarization of electromagnetic waves is considered in the work, examples of use of polarization effects in engineering are given. The analysis of existing industrial devices for measuring quantitative characteristics of complex substances using polarization effects, electrophysical and optical characteristics, features of functioning in relation to the possibility of using their structures and structures in the laboratory, the choice of the most effective option.

An overview of typical designs of drives and control systems, their advantages and disadvantages, as well as their suitability for direct use in the stand. The choice of the most suitable for the given requirements of variants of designs is substantiated.

As a result of the work, the structural, functional and optical schemes of the laboratory stand, as well as methods and means of modernization and its improvement are proposed.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ……7
ВСТУП…….……8
1 ПОЛЯРИЗАЦІЙНІ ЕФЕКТИ……11
1.1 Теоретичні основи процесів вимірювання за допомоги використання поляризованого світла …….....12
1.2 Види оптичної активності речовин……..13
1.3 Поляриметричний аналіз……..15
1.4 Двозаломлення та хроматична поляризація……...17
1.5 Поляризаційна мікроскопія……..20
2 ПРИСТРОЇ ТА СИСТЕМИ З ВИКОРИСТАННЯМ ЯВИЩА ПОЛЯРИЗАЦІЇ…21
2.1 Прилади для аналізу складу рідких та газових сумішей……...21
2.2 Поляризаційні оптичні датчики для оцінки різних фізичних величин....30
3 РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДУ…….32
3.1 Оптична, електрична та механічна складова стенду……..32
3.2 Загальна компоновка лабораторного стенду……..37
4 РОЗРОБКА МЕТОДИКИ ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ НА СТЕНДІ…….40
4.1 Методика проведення експерименту……...40
4.2 Порядок виконання роботи……..43
4.3 Обробка результатів вимірювань……44
ВИСНОВКИ……..46
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ……47
ДОДАТОК А……48
ДОДАТОК В……49

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

ЕОМ – Електронно-обчислювальна машина

ІЧ – Інфрачервоний

ОА – Оптична активність

РК – Рідкокристалічний

УФ – Ультрафіолетовий

ВСТУП

Поліпшення якості промислової продукції є надійним шляхом більш повного задоволення потреб народного господарства, прискорення науково-технічного прогресу. У зв’язку з цим постійно збільшуються вимоги на дотримання метрологічних правил та норм, що направлені на збільшення рівня вимірювань, їх якості, надійності та продуктивності. Від точності та своєчасності вимірювальної інформації залежить правильність рішень, що приймаються. Від якості вимірювань залежать сучасні технології та наукові дослідження, вираховування та економія матеріальних ресурсів, технічна, екологічна та медична діагностика, великі наукові відкриття.

Оптичні вимірювання – технічна наука, основним змістом якої є вимірювання та контроль конструктивних параметрів оптичних елементів та систем, а також вимірювання фізичних характеристик об’єктів, що досліджуються за допомогою оптичних методів та оптичних пристроїв. Головна особливість оптичних вимірювань полягає в тому, що вони мають високу точність та наочність.

Якість підготовки фахівців за цим напрямом міцно пов’язана з можливістю якісно дослідити властивості оптичних явищ на практиці. Нажаль, ця можливість не завжди може бути надана, за різними причинами. Як правило, недолік намагаються виправити впровадженням в навчальну програму практичної складової у вигляді моделювання. Для розуміння теорії це може бути корисним, але студенту дуже необхідно проводити паралелі між теорією та практикою, і чим частіше – тим краще. Це дозволить безпосередньо переконатися в значимості самої теорії, вміти застосувати її для досягнення практичної мети, а також частково зрозуміти, як може формуватись чи корегуватись теорія під впливом практики.

Явище поляризації широко використовується у різноманітних галузях промисловості, науки, медицини, побутових додатках. Достатньо згадати

поляроідні окуляри, що поліпшують видимість за надлишкового сонячного освітлення, зовнішнього штучного засліплення потужними джерелами оптичного випромінювання, а також вночі за умови недостатнього освітлення та зовнішніх випромінювальних завад. Більш того, можливо істотно поліпшити зображення, отримане, наприклад, на великій глибині у океані та виявити певні об’єкти, що ховаються на тлі різноманітних завад.

Явище поляризації активно використовується в РК-моніторах у якості вентиля яскравості субпікселю, в лініях оптоволоконного зв’язку у якості модулятора променя (в обох випадках використовується активне середовище, яке під впливом напруги змінює орієнтацію своїх структурних одиниць, що призводить до повороту вектора поляризації світла, яке проходить через це середовище. Цими властивостями володіють, наприклад, рідкі кристали). При цьому у якості модулятора поляризатори використовують ще тому, що не завжди вигідно керувати інтенсивністю світіння зміною потужності джерела (наприклад, струму лазера) через можливе спадання якості випромінювання, а деколи – спадання швидкодії. У кінематографі використовують поляризаційні окуляри для створення стереоефекту, в яких поляроїд кожного окуляру розташовано відмінно один від одного (при цьому на екран проектується одночасно два зображення різної поляризації, тому кожне око отримує лише «своє» зображення).

Досить велику роль грають вимірювальні прилади з використанням вищезгаданого явища, зокрема вимірювачі концентрації компоненти рідинного розчину, датчики концентрації складових у газовому середовищі, індикатори розподілу напруженості механічних зусиль у складній розгалуженій конструкції. Для дослідження розподілу напружень в деталях механізмів створюють моделі з прозорих матеріалів, просвічують поляризованим світлом і дивляться на проекцію, де області великого напруження відображаються у вигляді, наприклад, зменшеної освітленості.

Явище поляризації використовують у лазерних технологіях, у поляризаційних мікроскопах для поліпшення якості зображення. Поляризаційний мікроскоп дозволяє не тільки побачити рельєф зразка, але й отримати деяку

інформацію що до його структури, завдяки підсвіченню зразка поляризованим світлом та наявності в оптичній системі мікроскопу поляроїдів.

У ході виконання атестаційної роботи розглянуто варіанти компоновки навчального стенду для дослідження поляризаційних ефектів.

Мета роботи – розробка та дослідження лабораторного стенду з вимірювальним блоком на основі поляризаційних ефектів.

У ході виконання завдання вирішуються наступні задачи:

– вибір компоновки лабораторного макету;

– розробка електричних та механічних блоків;

– розробка методики виконання досліджень.

1 ПОЛЯРИЗАЦІЙНІ ЕФЕКТИ

1.1 Теоретичні основи процесів вимірювання за допомоги використання поляризованого світла

Поляриметрія – методи дослідження, засновані на вимірі:

- ступеня поляризації світла і радіохвиль;

- оптичної активності, т. е. величини обертання площини поляризації світла при проходженні його через оптично-активні речовини та їх розчини.

Поляризоване світло – це світло з переважним напрямком коливань: переважним для одного з поперечних напрямків або для певного напрямку обертання. На рис. 1.1 наведено параметри еліптично-поляризованого променя.

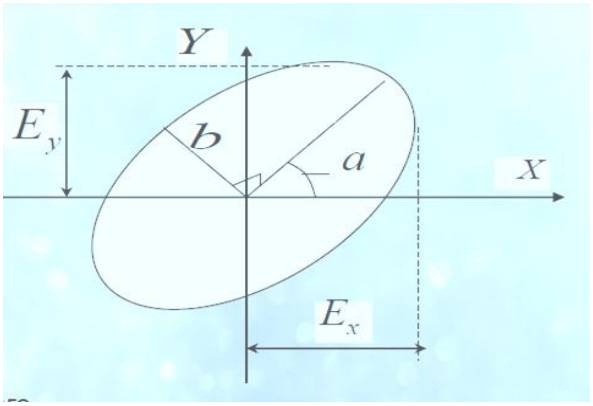


Рисунок 1.1 – Параметри еліптично-поляризованого променя

До основних параметрів еліптично-поляризованого світла можна віднести наступні:

- α – азимут поляризації – кут, складений великою піввіссю еліпса з віссю X, α змінюється від -90 до 90;

- b / a – еліптичність – відношення довжин малої і великої

піввісі еліпса, змінюється у межах $0 \leq 1$;

- кут еліптичності β, визначається з умови

$\beta = \text{arctg}\,(b / a)$, $-\pi / 4 \le \beta \le \pi / 4$;

A - амплітуда еліптичного коливання, A^2 пропорційна інтенсивності випромінювання;

δ - абсолютна фаза еліптично поляризованої хвилі визначає кут між початковим становищем електричного вектора і великою віссю еліпса, змінюється у межах ($-\pi \le \delta \le \pi$);

– угол эллиптичности β , определяется из условия

$\beta = \text{arctg}\,(b / a)$, $-\pi/4 \le \beta \le \pi/4$;

Існують різні види поляризації світла в залежності від походження випромінювання, процесів взаємодії променя з речовиною, що відбулися на протязі його розповсюдження [2,3] . Найбільш поширені наведені в табл. 1.1.

Для кількісного аналізу поляризації світла важливим є ступінь поляризації, що певною мірою розрізняє світло природних джерел та світло, що пройшло через відповідні середовища та кордони між ними (табл.. 1.2).

Таблиця 1.1 – Види поляризації

Поляризація (типи)	*Кількість форм поляризації*	*Признаки*
Еліптична	∞	Азимут α; еліптичність a/b; напрям обертання вектора
Лінійна	∞	Азимут α
Циркулярна	2	Напрям обертання вектора

Таблиця 1.2 – Ступінь поляризації

Тип поляризації випромінювання	*Формула для обчислення і значення ступеня поляризації P*
Лінійна, еліптична	$P = (I_1-I_2)/(I_1+I_2)$, $-1 \le P \le 1$
Циркулярна	$P = (I_{пр}-I_л)/(I_{пр}+I_л)$, $-1 \le P \le 1$
I_1 та I_2 – інтенсивності ортогонально лінійно поляризованих компонентів пучка, $I_{пр}$ та $I_л$ и – інтенсивності право- і лівоциркулярно поляризованих компонентів пучка відповідно.	
Природне світло	$P = 0$
Повністю поляризоване світло	$P = 1$

Середовища та кордони між ними є засобами, що змінюють тип та ступінь поляризації випромінювання. Також штучні джерела випромінювання можуть генерувати поляризоване випромінювання (табл.. 1.3).

Таблиця 1.3 – Засоби поляризації світла

Засоби поляризації світла	
Фізичні явища	*Поляризаційні пристрої*
Випромінювання елементарним випромінювачем	Диполь
Двозаломлення	Кристали, призми Ніколя, Аренса, Волластона, Рошона, Глана - Фуко і ін.
Діхроізм	Діхроічние поляризатори, поляроїдні плівки
Відображення від кордону розділу середовищ	Середовища, що межують між собою
Заломлення на границі розділа середовищ	
Розсіювання випромінювання на неоднорідностях середовища	Оптично неоднорідні середовища
Генерація вимушеного випромінювання	Лазери, мазери

1.2 Види оптичної активності речовин

Оптична активність (ОА), або гірація притаманна певним речовинам, які мають досить інтенсивну взаємодію з випромінюванням (рис. 1.2). Ступінь цієї взаємодії визначається розміром молекул речовини, їх формою, наявністю значної діелектричної або магнітної поляризації. Ці електричні та магнітні властивості описуються відповідними параметрами ε та μ. Також велике значення має ступінь взаємодії складових елементів речовини між собою. Наприклад у рідких кристалах взаємодія молекул між собою призводить до встановлення певного порядку розподілу молекул, що притаманне більш кристалічним речовинам. У результаті рідкокристалічні речовини мають властивості анізотропії та впливають

на світло, що проходить крізь них, зокрема на ступінь поляризації. Аналогічно можуть діяти і розчини речовин.

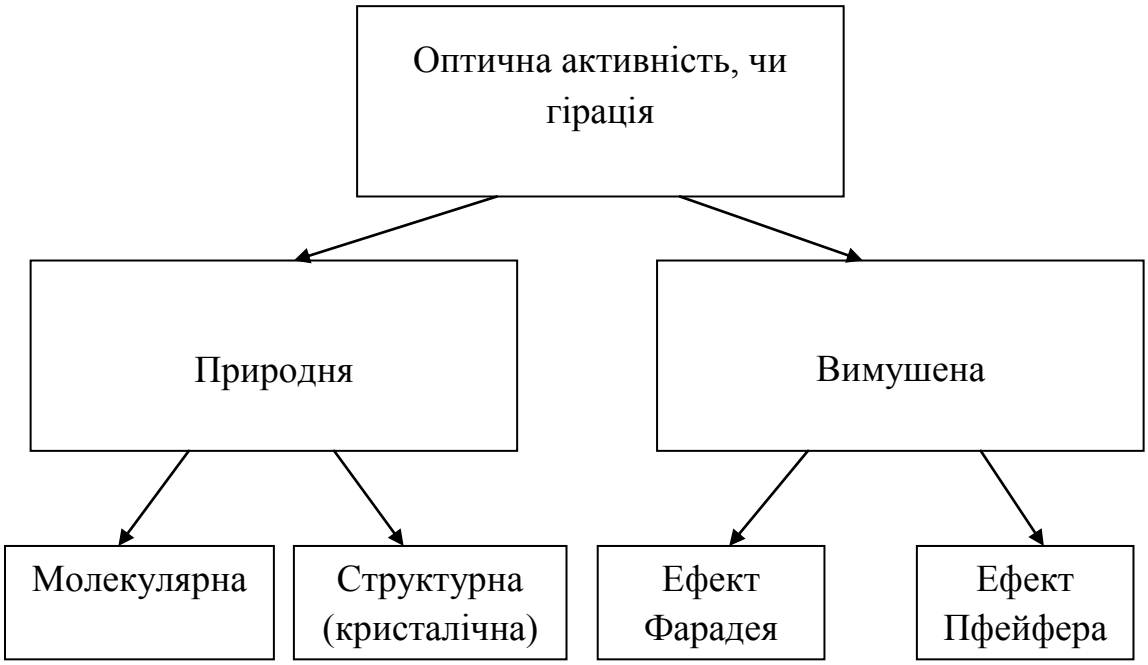


Рисунок 1.2 – Види оптичної активності

При плавленні або розчиненні речовини ОА, як правило, зникає.

Властивість хиральности, або оптичної активності молекул обумовлено існуванням дзеркально подібних ізомерів - енантіомерів. Енантіомери молекул одного хімічного складу мають однакові фізичні і хімічні властивості: у них однакові:

-температури плавлення і кипіння,

-тиск пара,

-щільність,

-показник переломлення,

-коливальний і електронний спектри,

- реакційна здатність при взаємодії з ахіральнимі реагентами

У них різні:

- обертання площини поляризації лінійно поляризованого світла;

- істотно - поведінка в реакціях з хіральними реагентами або реакції, що каталізуються хіральними реагентами

У таблиці 1.4 представлені різновиди природної гіротропії.

Таблиця 1.4 – Різновиди природної гіротропії

Тип речовини	Природна гіротропія	Залежність коефіцієнта від довжини хвилі λ	Приклади
Кристали	$\varphi = \alpha d$	Має місце дисперсія обертання	Кварц, d = const: λ1 = 589 нм – φ = 21,7°; λ2 = 404,7 нм − φ = 48,9°
Розчини, аморфні тіла	Закон Біо $\varphi = \alpha d$c	$[\alpha] \sim 1/\lambda^2$	λ = 589 нм, шар никотину d = 10 см: φ = 164°.
Ефект Фарадея $\varphi = \rho dH$; $\rho = A/\lambda^2 + \beta/\lambda^4$; плівка заліза товщиною 0,1 мкм в поле напруженістю 10000 Е переломлює на 2 °			
Інтерпретація оптичної активності по теорії Френеля $\varphi = \pi d(n_{пр} - n_л)/\lambda_0$		Якщо кут повороту площини поляризації визначається з похибкою 0,01 ○, то при d = 10 см і λ = 500 нм можна визначити відмінність Δn ~ 10-9	

Кут обертання площини поляризації при температурі t в монохроматичному світлі з довжиною хвилі λ розчином, що містить 100 г речовини в 100 см3 розчину, коли промінь проходить в такому розчині шлях, рівний 100 мм, називають питомою обертанням площини поляризації α (табл.. 1.5).

Оскільки кут обертання площини поляризації є специфічною характеристикою конкретної речовини (його абсолютна величина, напрям обертання), вимірювання цього кута дозволяє ідентифікувати наявність того чи іншого інгредієнта у розчині чи суміші.

1.3 Поляриметричний аналіз

Процес отримання якісних та кількісних характеристик та параметрів складу речовини за допомоги ефектів, пов’язаних з поляризацією речовини називають поляриметричним аналізом.

Поляриметричний аналіз можна поділити на:

– якісний;

– кількісний.

Якісний аналіз характеризується наступними властивостями:

– ідентифікація індивідуальних речовин, тому що питоме обертання площини поляризації, виміряний при певних температурі і довжині хвилі лінійно поляризованого світла, є константою, характерною для даної речовини;

– дуже широке застосування в дослідженні будови речовини, наприклад абсолютної конфігурації хіральних молекул, має спектрополяриметрія;

– достовірність якісної ідентифікації значно підвищується при збігу кривих дисперсії оптичного обертання ідентифікованого речовини і еталона.

Таблиця 1.5 –Питоме обертання площини поляризації лінійно поляризованого світла деякими органічними речовинами (водні розчини; 20ºС)

Речовина	Питоме обертання
α-молочна кислота	+1,7
D-винна кислота	+12,0
L-винна кислота	-12,0
L-аскорбінова кислота	+21,0
D-глюкоза	112,2 → +52,5
Фруктоза	-135,5 → 92,4
Рафіноза	+121,3
Сахароза	+66,5
Інвертний цукор (суміш сахарози і фруктози)	-19,5
D-ксилоза	-93,6 → +18,8
L-ксилоза	-79,3 → -18,6

Кількісний аналіз заснований на тому, що кут обертання площини поляризації розчину залежить не тільки від природи розчиненої речовини і розчинника, але і від концентрації розчину. Кількісний склад розчинів можна визначати по попередньо побудованому графіку залежності кута обертання площини поляризації від концентрації розчиненого оптично активної речовини або розрахунковим методом - за законом Біо.

Аналітичні характеристики поляриметрії мають свої переваги та недоліки. До переваг можна віднести:

- простота і доступність використовуваного обладнання, простота виконання вимірювань, і, як наслідок, відсутність необхідності в висококваліфікованому персоналі;

- проба, використана при вимірах, може бути використана для дослідження іншими методами або в практичних цілях;

- експресність;

- економічність.

До недоліків слід віднести наступні риси:

- невисока чутливість, тому його можна використовувати для цілей кількісного аналізу, якщо концентрація визначається компонента в розчині не нижче 1%;

- порівняно низька точність кількісного поляриметричного аналізу;

- низька селективність, обумовлена тим, що оптична активність для різних речовин може бути дуже близькою і навіть збігатися. Тому метод можна надійно використовувати тільки при аналізі індивідуальних речовин або їх розчинів.

1.4 Двозаломлення та хроматична поляризація

Природні кристалічні речовини характеризуються двозаломленням, тобто мають властивість розділяти промінь, що проходить скрізь них на два променя, які мають різні показники заломлення n_o та $n_{емакс}$. n_o – це показник заломлення для так званого «звичайного» променя, а $n_{емакс}$ – це показник заломлення для так званого «незвичайного» променя (табл. 1.6). Показник D_n характеризує різницю n_o та $n_{емакс}$.

Деякі речовини [1, 3], зокрема прозорі, мають властивість хроматичної поляризації світла. Хроматична поляризація світла обумовлена залежністю всіх інтерференційних явищ від довжини хвилі випромінювання. Вона проявляється,

зокрема, у фарбуванні інтерференційної картини, що виникає при інтерференції білого світла.

Таблиця 1.6 – Природні двозаломлюючи кристали

Кристал	n_o	$n_{емакс}$	$D_n = n_{емакс} - n_o$
Ісландський шпат	1,65836	1,48639	-0,17197
Кварц	1,5442	1,5533	+0,0091
Каломель	1,9733	2,6559	+0,6826
Натрієва селітра	1,587	1,336	-0,251

На цих явищах заснований метод вивчення розподілу механічних напружень в прозорих деталях або моделях проектованих пристроїв (наприклад, в моделі моста) - метод фотопружності (рис. 1.7).

Рисунок 1.7 – Розподіл механичних навантажень у прозорій моделі елементу конструкції

Ще одним важливим використанням хроматичної поляризації світла е аналіз насичених розчинів в умовах, близьких до кристалізації (рис. 1.8).

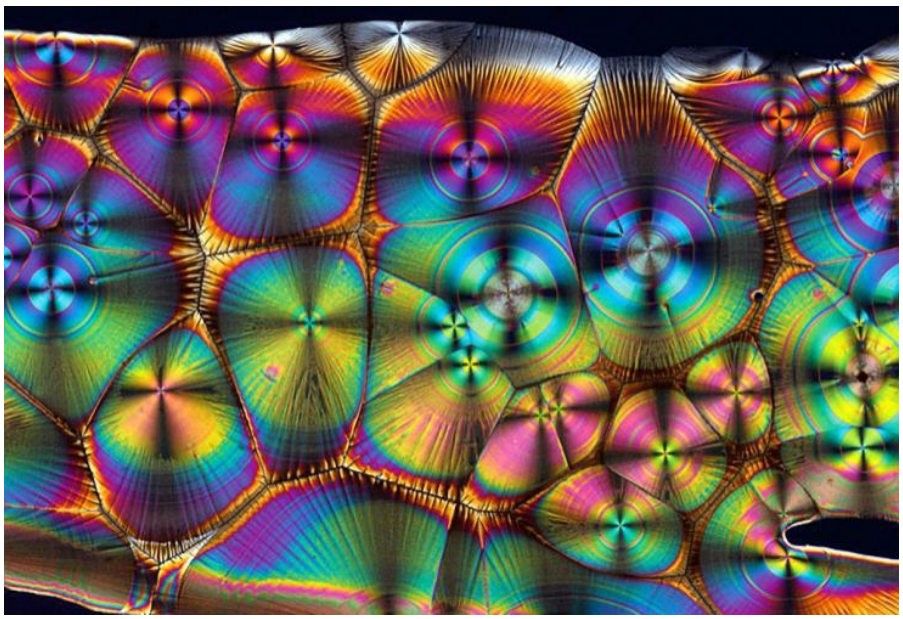


Рисунок 1.8 – Інтерференційна картина, що виникає при проходженні випромінювання через насичений розчин вітаміна С

Інтерференційна картина дозволяє отримати такі результати:

– приблизна оцінка по інтерференційної забарвленням спостерігається картини;

– кількісна оцінка різниці ходу О і Е-променів за допомогою компенсатора (рис. 1.8).

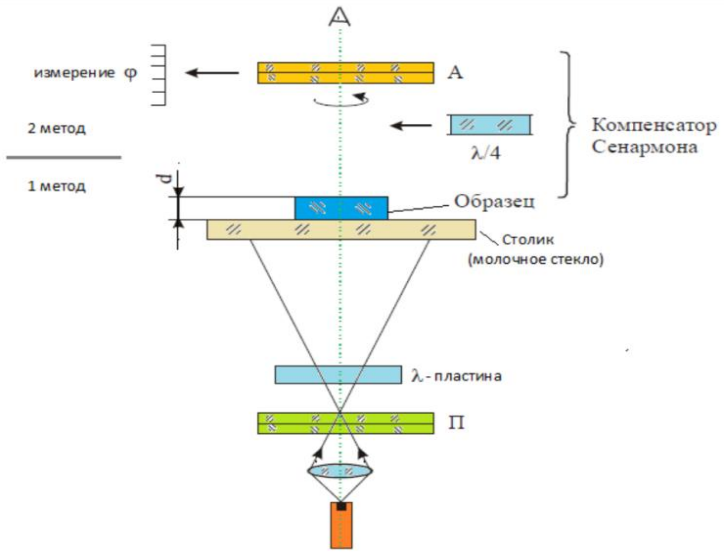
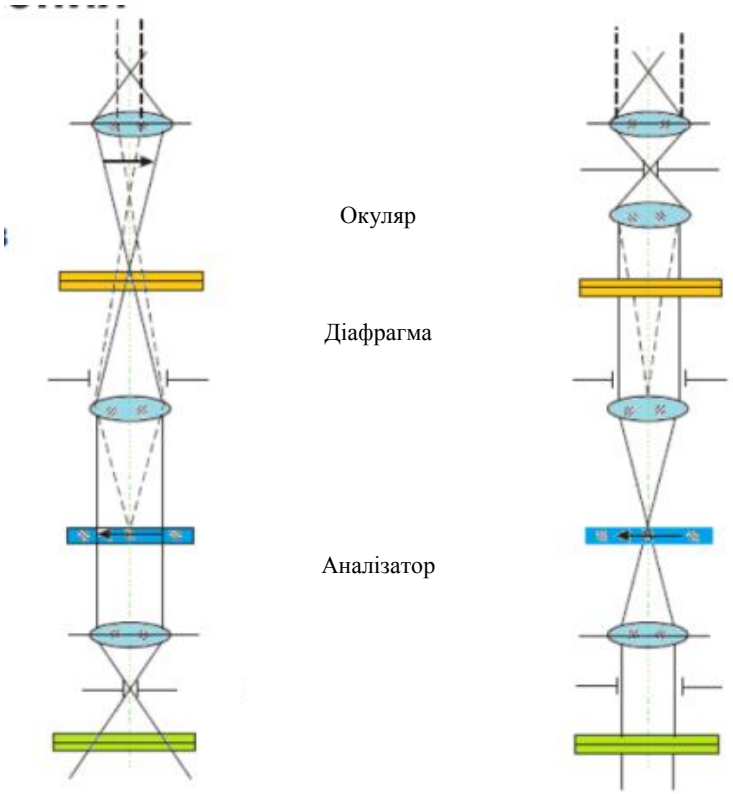


Рисунок 1.8 – Схема вимірювання різниці ходу променів

1.5 Поляризаційна мікроскопія

Ще один напрям використання явищ інтерференції – поляризаційна мікроскопія. Під цим мається на увазі оптична мікроскопія з використанням поляризованого випромінювання. Цей метод дозволяє отримати аналіз складу різноманітних сумішей, мінералів (особливо кристалічних), а також біологічних об’єктів, зокрема з вмістом речовин з різною оптичною активністю. На рис. 1.9 представлена схема поляризаційного мікроскопу та варіанти отримання зображень.



а – отоскопічне дослідження, б – коноскопічне дослідження

Рисунок 1.9 – Оптична схема поляризаційного мікроскопу

2 ПРИСТРОЇ ТА СИСТЕМИ З ВИКОРИСТАННЯМ ЯВИЩА ПОЛЯРИЗАЦІЇ

2.1 Прилади для аналізу складу рідких та газових сумішей

Існує велика кількість приладів для якісного та кількісного вимірювання складу речовин [1…5]. Простіше це можна зробити, якщо речовина являє собою розчин, тобто невелика кількість твердої чи рідкої речовини (оптично активної складової) розчинена у великій кількості розчинника. У такому випадку у разі збільшення концентрації оптично активної складової лінійно змінюється певний оптичний параметр середовища. Це призводить до відповідної зміни характеристик променя світла, що проходить крізь середовище. Оптичні елементи, що входять до складу приладу, перетворюють цю зміну у видиме зображення, яке безпосередньо відображається на екрані. У автоматичних приладах використовують відповідні датчики, що перетворюють оптичні характеристики на електричні.

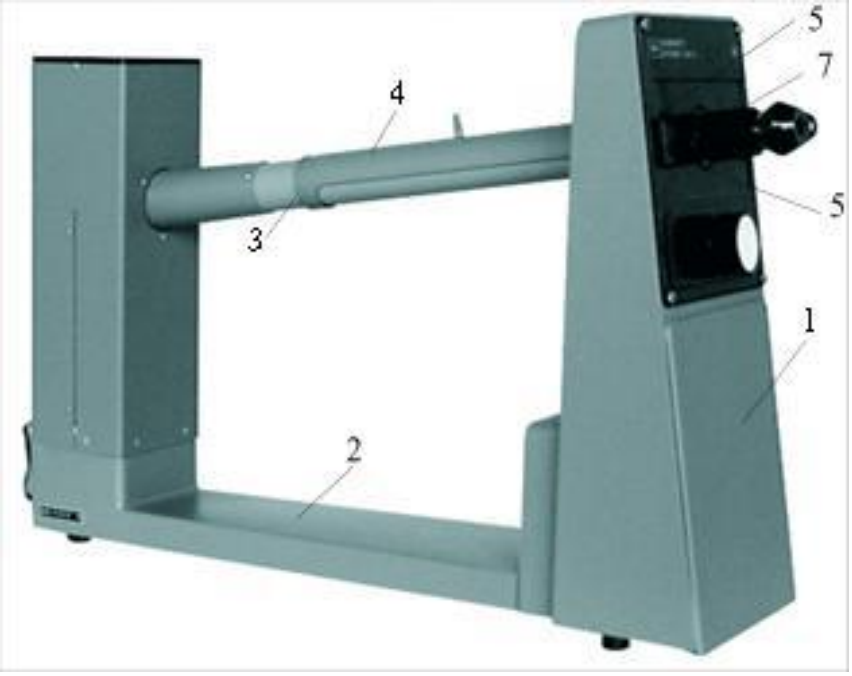
Найбільш поширеними є прилади, у яких явище поляризації світла використовують для аналізу кількісного складу розчинів.

Прилади для поляриметричного і спектрополяріметрического аналізу можна розділити на такі:

- поляриметри;
- цукрометри;
- спектрополяриметри.

У більшості поляриметрів детектування результатів вимірювань проводиться візуальним способом , а в спектрополяриметр - за допомогою високочутливих фотоелектронних помножувачів. На рис. 2.1 представлений круговий поляриметр СМ-3 [3]. Принципова оптична схема поляриметра кругового СМ-3 наведена на рис. 2.2. У якості освітлювача використовується лампа марки ДНаС (газорозрядна натрієва), що забезпечує лінійчатий спектр випромінювання. ДНаС (дугові натрієві у розсіюючий світло колбі) - призначені

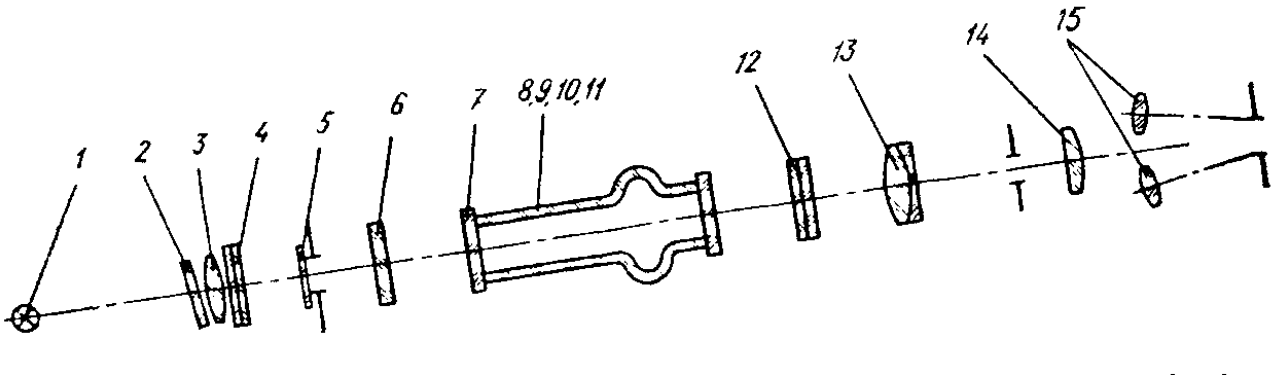
для прямої заміни ртутних газорозрядних ламп (ДРЛ). Пальник цих ламп поміщено в скляну зовнішню колбу, таку як і у ламп ДРЛ. Але замість відповідного люмінофора лампа зсередини вкрита тонким шаром пігменту, що розсіює випромінювання та дозволяє використовувати ці лампи в освітлювачах, призначених для газорозрядних ламп ДРЛ, практично без погіршення їх світлотехнічних характеристик. Пальники цих ламп наповнюються сумішшю Пеннінга (у якості буферного газу), для спрощення процесу запалювання



1- корпус; 2 - підставка в зборі; 3 - корпус кюветного відділення; 4 - кришка; 5 - лімб; 6 - ноніуси відлікових пристроїв; 7 - втулка для установки різкості зображення

Рисунок 2.1 – Загальний вигляд поляриметра кругового СМ-3

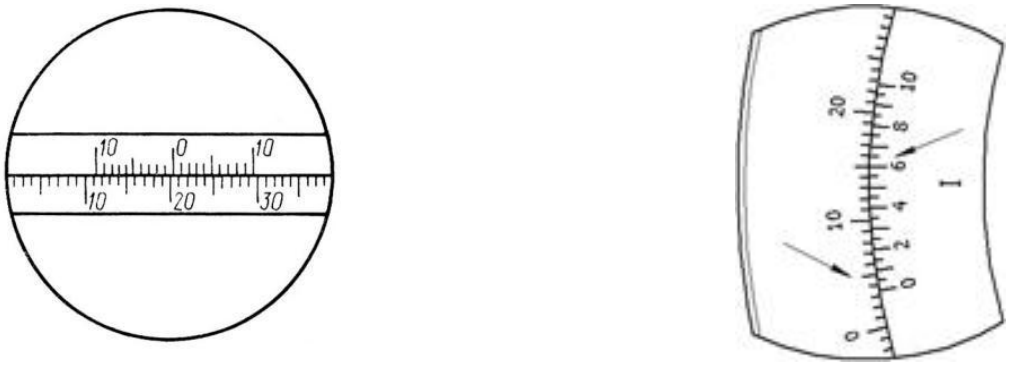
У приладі застосований принцип зрівнювання освітленості поля зору в окулярі 14, розділеного на дві (в СМ-3) або три (в П-161) частини.



1 - лампа марки ДНаС 18.04.2; 2 - світлофільтр: 3 - конденсор; 4 - поляризатор; 5 - хроматична фазова пластинка, 6 - захисне скло, 7 - два покривних скла; 8, 9, 10 і 11 - трубки; 12 - аналізатор; 13 - об'єктив; 14 -окуляр; 15 - дві лупи

Рисунок 2.2 – Принципова оптична схема поляриметра кругового СМ-3

Точність відліку кута обертання поляроїда забезпечується ноніусною шкалою (рис. 2.3) .



а б

Рисунок 2.3 – Загальний вигляд шкали приладу: а – лінійна шкала, б – кругова шкала

Після конденсора 3 і поляризатора 4 одна частина світлового пучка проходить через хроматичну фазову пластинку 5, захисне скло 6, кювету і аналізатор 12, а інша - тільки через захисне скло 6, кювету і аналізатор 12. В результаті одна половинка поля порівняння в окулярі освітлена, а друга затемнена. Обертаючи аналізатор, освітленості полів порівняння зрівнюють поблизу повного затемнення поля зору. У разі рівного розподілу мінімальних освітленостей порівнюваних полів кут між площинами поляризації поляризатора і аналізатора становить 86,5.

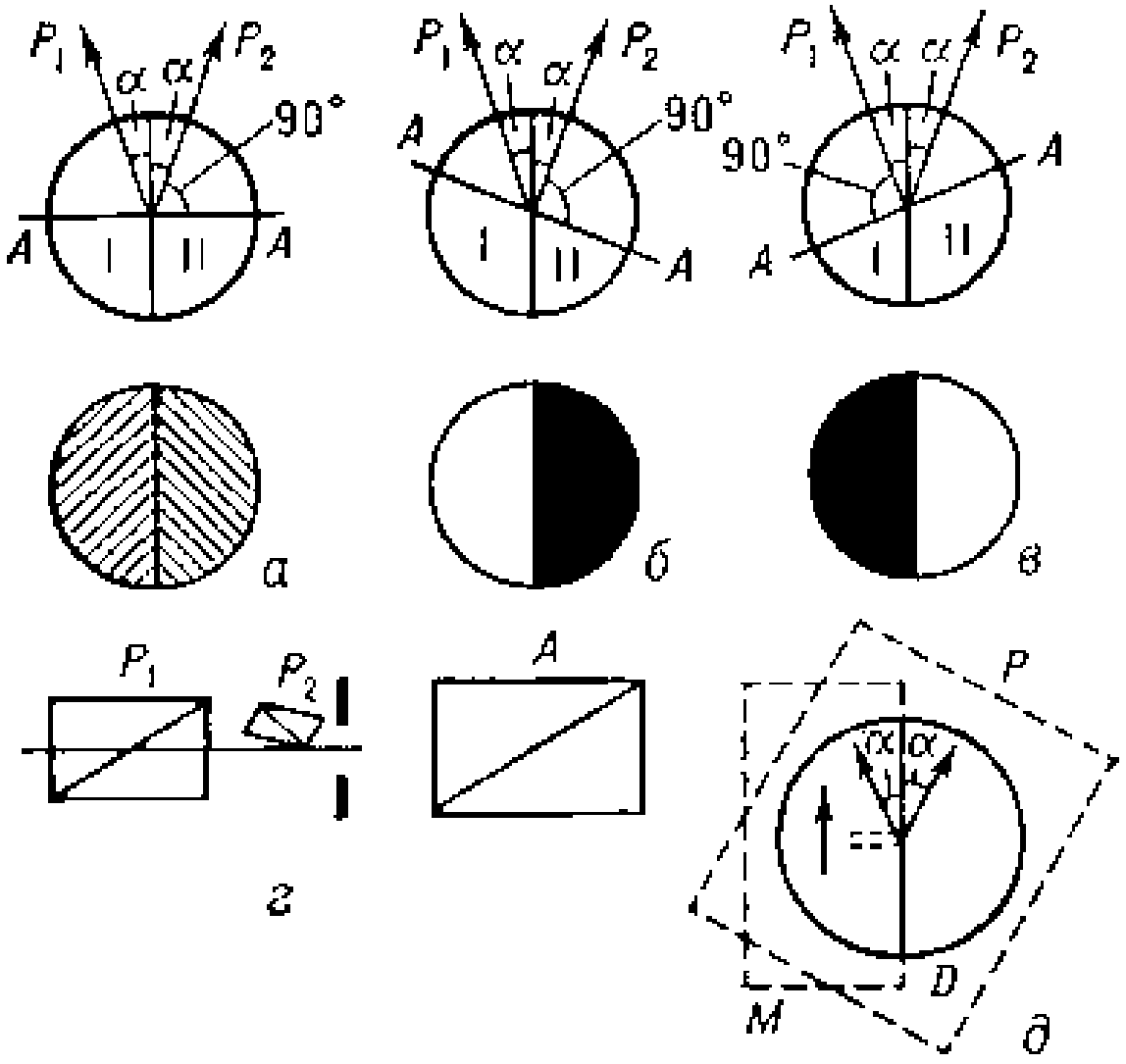


Рисунок 2.4 – Принцип дії поляриметра

Більш сучасна конструкція поляриметра представлена на рис. 2.5. Ця конструкція приладу поєднує порівняно невелику складність, простоту користування та достатню для лабораторних досліджень точність вимірів [4].

.

Рисунок 2.5 – Круговий поляриметр P1000-LED

Круговий поляриметр P1000-LED, A. KRUSS Optronic (Німеччина) може використовуватися для проведення найпростіших вимірювань в лабораторії або для навчальних цілей. Прилад працює за принципом напівкіл, результати вимірювань зчитуються через окуляр і 2 ноніуса. Поляриметр P1000-LED має міцне металеве підставу, на якому розташована камера для кювет довжиною до 220 мм. Для підсвічування зразка використовуються світлодіоди, які служать в 500 разів довше, ніж стандартна натрієва лампа.

У стандартний комплект поставки входять 2 скляні кювети довжиною 100 і 200 мм.

Базові характеристики кругового поляриметра представлені у табл.. 2.1.

У порівнянні з поляриметром СМ-3 розглянутий пристрій суттєво розрізнюється. Завдяки більш якісній шкалі точність зчитування у ньому 0.05º,

джерело випромінювання більш сучасне та забезпечує вужчий діапазон випромінювання. Це підвищує точність візуального порівняння яскравості півкуль на екрані.

Таблиця 2.1 – Характеристики кругового поляриметра P1000-LED

Діапазон вимірювання	2 півкола (0-180º)
Скляні кювети	100 і 200 мм
Роздільна здатність шкали	1º
Точність зчитування	0.05º (з ноніусом)
Джерело світла	Світлодіод 589 нм
Розміри і вага	14.0 x 33.0 x 50.0 см, 4,3 кг

Наступним кроком у вдосконаленні систем поляриметрії є автоматизація процесу вимірювання. Цей процес потребує значного ускладнення схеми та принципу дії приладу. Але у сучасному світі досить часто потрібно терміново проводити аналіз речовини, або таких зразків досить багато. Прикладом втілення цих прагнень є відповідні автоматичні поляриметри.

Представниками цієї категорії є цифрові поляриметри серії P8000. Новий модельний ряд поляриметрів P8000 дозволяє проводити вимірювання в короткий час (менше 1 секунди) та з максимальною точністю. Сенсорний дисплей з підказками, інтуїтивно зрозумілий інтерфейс, порти RS232 і USB забезпечують максимальну зручність в роботі і відповідають найсучаснішим вимогам до вимірювальної техніки. Прилади даної серії можуть застосовуватися для вирішення аналітичних задач в самих різних галузях - від харчової промисловості

до фармацевтики. Роздільна здатність ангулярної шкали «до третього знака» відповідає міжнародним фармакопеям. Технічні характеристики:

- вимірювальний режим:оптичне обертання;цукрова шкала;концентрація; шкала користувача;

- діапазон вимірювань: ± 90 º; градуси цукрової шкали (ºZ) ± 259 ºZ; 0 ... 99,9 г / 100 мл;

- одиниці вимірювань: ангуляр (º); ; г / 100 мл;

- роздільна здатність шкали: 0,001 º; 0,01 ºZ; 0,01 г / 100 мл;

- точність: ± 0,003 º (P8000); ± 0,002 º (P8100); ± 0,01 ºZ; ± 0,5 г / 100 мл;

- відтворюваність: ± 0,002 º;

- тривалість виконання вимірювання в діапазоні ± 90 º: 1 секунда;

- джерело світла: вольфрам-галогенова лампа з фільтром 589 нм;

- довжина хвилі: 589 нм; інші довжини хвиль - по додатковому замовленню;

- температурний датчик: Pt 100;

- вимірювання температури: 0 ... 99,9 ° C; : 0,1 ° C; точність: ± 0,2 ° C;

- точка контролю температури: безпосередньо осередок зі зразком;

- вбудований термостат Пельтьє (моделі P8000-T і P8100-T): 15 ... 40 ºC, ± 0,2 ° C;

- максимальна довжина кювети: 220 мм;

- мінімальне світлопропускання: 0,1% (3 ABS);

- калібрування: автоматичне, кероване з меню приладу;

- дисплей: монохромний РК, 5,7 дюйма, 320 х 249 пікселів;

- керуюча клавіатура: сенсорний екран;

- реєстратор даних: є, на 100 звітів;

- інтерфейсні порти: RS232 / USB (опціонально).

Один з них представлений на рис. 2.6. Враховуючи специфіку його використання можна виправдати досить велику вартість (670000 грн.) та умови експлуатації. Прилад використовується у контрольних органах Управління з санітарного нагляду за якістю харчових продуктів і медикаментів США. Пристрій

призначений для використання в FDA-регульованих секторах в зв'язку з їх відповідністю GLP (GLP (Good Laboratory Practice) - Належна лабораторна практика (ГОСТ Р-53434-2009 "Принципи належної лабораторної практики") - система норм, правил і вказівок, спрямованих на забезпечення узгодженості та достовірності результатів лабораторних досліджень).

Прилад має інтегроване користувальне керування і повну підтримку мережі, для простого підключення в лабораторних умовах.

Рисунок 2.6 – Зовнішній вигляд автоматичного цифрового поляриметра P8100

Наявні також мобільні прилади вимірювань. Вони поєднують компактність та зручність використання. Як приклад, можна представити переносний прилад HP 100 [2] (рис. 2.7)

Рисунок 2.7 – Зовнішній вигляд ручного поляриметра HP 100

Ручний поляриметр HP 100. Автоматичний ручний поляриметр HP 100 є першим в світі мобільним поляриметром, розроблений для швидкого і простого проведення вхідного контролю, добре підходить для використання в польових умовах. Може використовуватися у фармацевтичній, хімічній, цукрової та харчової промисловості.

Основні характеристики прилада:

- рідкокристалічний (РК) дисплей;
- Діапазон вимірювання -35 ° ... + 35 °;
- Точність 0,01 ° (<15 °), 0,05 ° (> 15 °);
- Джерело світла: натрієва лампа 589 нм;
- Шкала: опт. обертання (°), ICUMSA (° Z), концентрація (г / мл);
- Пам'ять: 99 вимірювань.
- Ціна: 9945,00 Євро з ПДВ *.

1.2 Поляризаційні мікроскопи

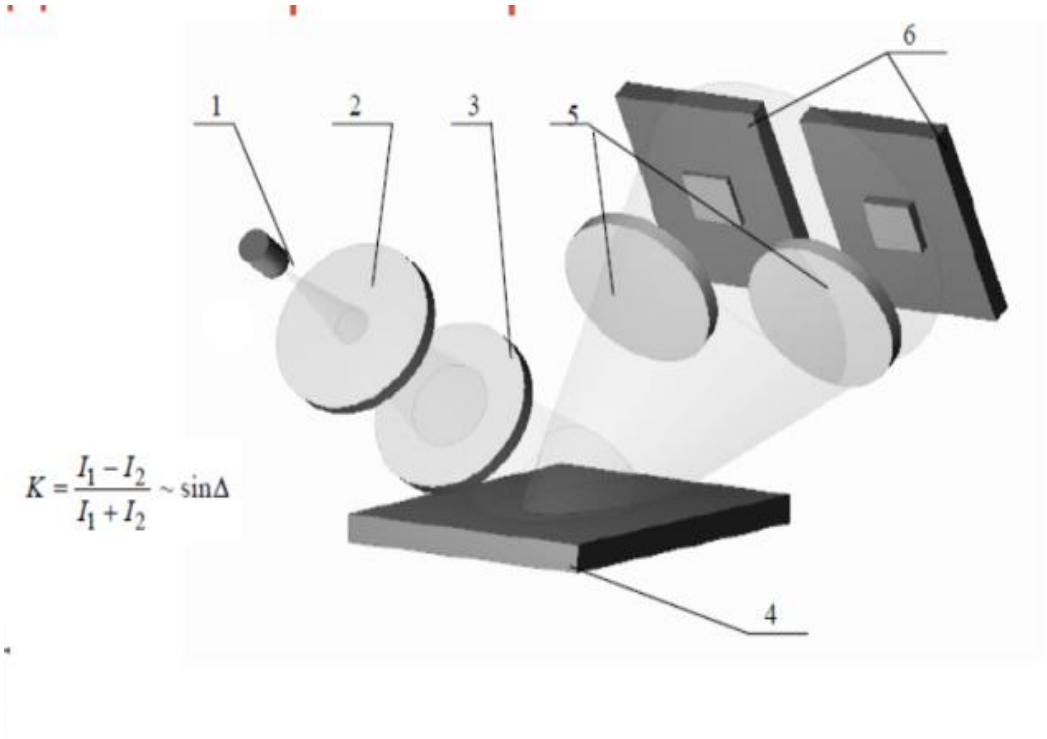
Поляризаційні мікроскопи мають значно більше можливостей, ніж звичайні оптичні. Вони дозволяють досліджувати не тільки мілкі деталі структури речовин та об’єктів, але і отримати дані про агрегатний стан, хімічний склад, співвідношення компонент тощо. На рис. 2.8 представлений мікроскоп японської фірми Nicon Eclipce E200POL. Це прилад порівняно недорогий, але з відомою оптикою CF160. Для пыдсвычування використовують галогенний освітлювач потужністю 20 Вт. Наявний револьверний прістрій зміни об’єктиву на 4 позиції з можливістю встановлення компенсатора , бінокулярний тубус, окуляри 10х/20х з незалежною діоптрійною підстройкою, а також поляризатор та аналізатор.

Рисунок 2.8 – Поляризаційний мікроскоп японської фірми Nicon Eclipce E200POL

2.2 Поляризаційні оптичні датчики для оцінки різних фізичних величин

Явище поляризації також використовують у різноманітних датчиках фізичних величин (довжини, тиску, напруженості електричного та магнітного полів тощо). Ці пристрої використовують фізичні залежності оптичних параметрів прозорих речовин від впливу фізичних факторів.

Схема використання датчика [3], що вимірює відмінності інтенсивності горизонтально та вертикально поляризованого світла, що виникає за відбивання променя від досліджуваного зразка, наведена на рис. 2.9. Зразок у залежності від зовнішніх чинників змінює фізичний стан. при цьому змінюються умови віддзеркалення світла, зокрема співвідношення горизонтально та вертикально поляризованого світла. Це призводить до зміни сигналів на фотоприймачах.



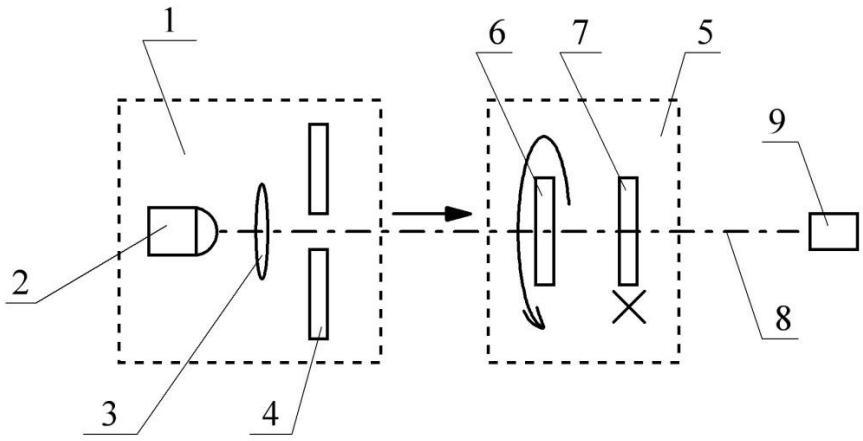
1- випромінювач (світло діод або лазер), 2 та 5 – плівкові поляризатори, 3 – фазова пластинка λ/4, 4 – об’єкт вимірювання, 6 - фотодіоди

Рисунок 2.9 – Схема датчика вимірювання фізичної величини

3 РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДУ

3.1 Оптична, електрична та механічна складова стенду

Головними частинами макету є джерело випромінювання, модуляційна система та приймач випромінювання. Вони розташовані в такій самій послідовності на спільній оптичній вісі.



1 – джерело випромінювання; 2 – світлодіод; 3 – лінза фокусу; 4 – діафрагма; 5 – модуляційна система; 6 – рухомий поляроїд; 7 – нерухомий поляроїд; 8 – оптична вісь; 9 – фотодіод.

Рисунок 3.1 – Структура оптичної системи стенду

Працює стенд наступним чином. Світлодіод 2 (рис. 2.1) випромінює розсіяне неполяризоване світло. Лінза 3 фокусує це світло в тонкий промінь. Діафрагма 4 вирівнює промінь, обрізаючи його по краях, через це він набуває рівномірності по товщині на потрібній відстані. Виходячи з джерела випромінювання 1 промінь проходить через перший поляроїд, після чого стає поляризованим. Внаслідок цього, через другий поляроїд промінь пройде лише на

стільки, наскільки напрям його поляризації співпадає з положенням цього поляроїду. Змінюючи взаємну орієнтацію поляроїдів за рахунок кутового переміщення рухомого відносно нерухомого, ми спостерігаємо різну кількість світла, яке проходить наскрізь. Ці зміни дозволяє зареєструвати фотодіод 9, розташований у кінці системи. Його фото-ЕРС буде змінюватися пропорційно освітленню, таким чином відображати величину у зручному для індикації вигляді.

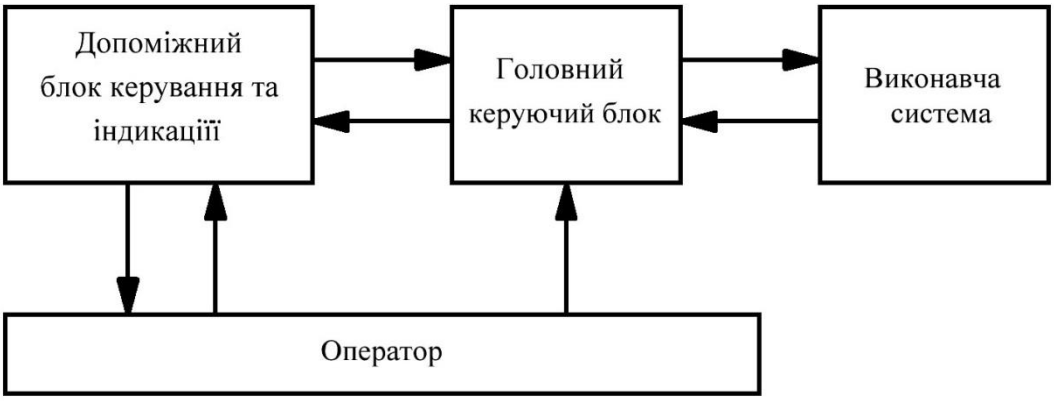


Рисунок 3.2 – Структурна схема системи руху поляроїда, а також напрями обміну інформацією між її блоками та оператором

Знімати сигнал з фотодіода можна безпосередньо, підключивши до нього, наприклад, мікроамперметр. Але якщо вимірювальний прилад не може працювати в такому діапазоні або через малу потужність світлодіода чи через великі оптичні втрати сигнал на приймачі дуже слабкий, доцільним буде використання підсилювача. Зі сказаного вище випливає, що відстань між джерелом та приймачем повинна буди мінімальною, а потужність світлодіода якомога більшою.

Перевага віддається джерелу саме неполяризованого світла, тому що більш доступним для зрозуміння та пізнання студентом буде перетворювання яких-небудь властивостей об’єкта в нього на очах, максимально з початкового стану.

Цим обґрунтовується невикористання у якості джерела лазерної указки, яка б надала можливість виключити з конструкції зовнішню лінзу та діафрагму.

Для того, щоб реалізувати крок руху поляроїду в 5 градусів, зовсім не обов'язково використовувати аналогову систему позиціонування, а тим більше, індикатор з ціною ділення, меншою ніж зазначений крок. Метою стенду, що розробляється, є виключно дослідження самого ефекту, але ні в якому разі не підвищення метрологічних навичок. Тому досить гарним рішенням буде квантування діапазону можливих положень рухомої частини з кроком у 5 градусів. Це дозволить студентам повністю зосередитися на залежності, не відволікаючись на тонкощі точного позиціонування і тим самим заощаджуючи час.

Напівавтоматичною система повинна бути зі схожих причин. Окрім того, йдеться про можливість виключення механічного впливу користувача на рухливу систему безпосередньо. Це дозволить суттєво спростити інтерфейс взаємодії з користувачем, підвищити ресурс системи. Очевидним рішенням є система, в якій користувач надає команди з панелі керування, а рухому частину приводить в дію електропривід.

Панель керування включає в себе три кнопки: прямий рух, зворотній рух, паркування в нульове положення. Якщо короткочасно натискати кнопку руху в прямому чи зворотньому напрямках, з кожним натисканням система робить лише по одному кроку та зупиняється. Це зроблено для виключення ненавмисного перескоку на кілька кроків через нерозрахунок тривалості утримування кнопки. Якщо треба прискорити переміщення, можна натискати кнопку з великою частотою, але це незручно. Тут на допомогу прийде функція «залипання». При натисканні кнопки руху та її утримуванні система одразу зробить один крок та зупиниться, але через деякий час вона ідентифікує утримування як бажання прискорити рух в данному напрямку і буде робити крок за кроком з максимальною швидкістю до тих пір, поки кнопку не буде відпущено.

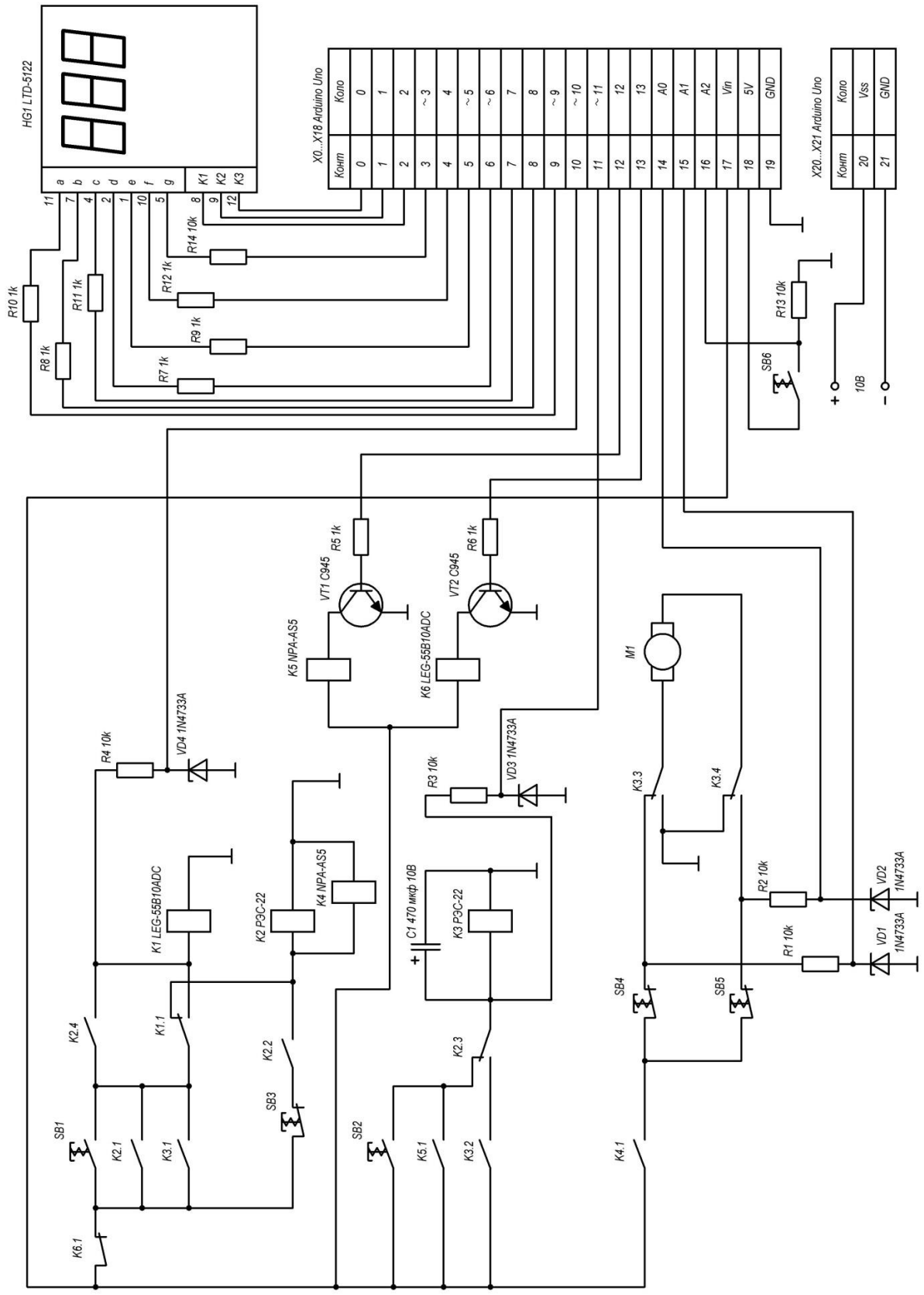


Рисунок 3.3 – Схема електрична принципова макету

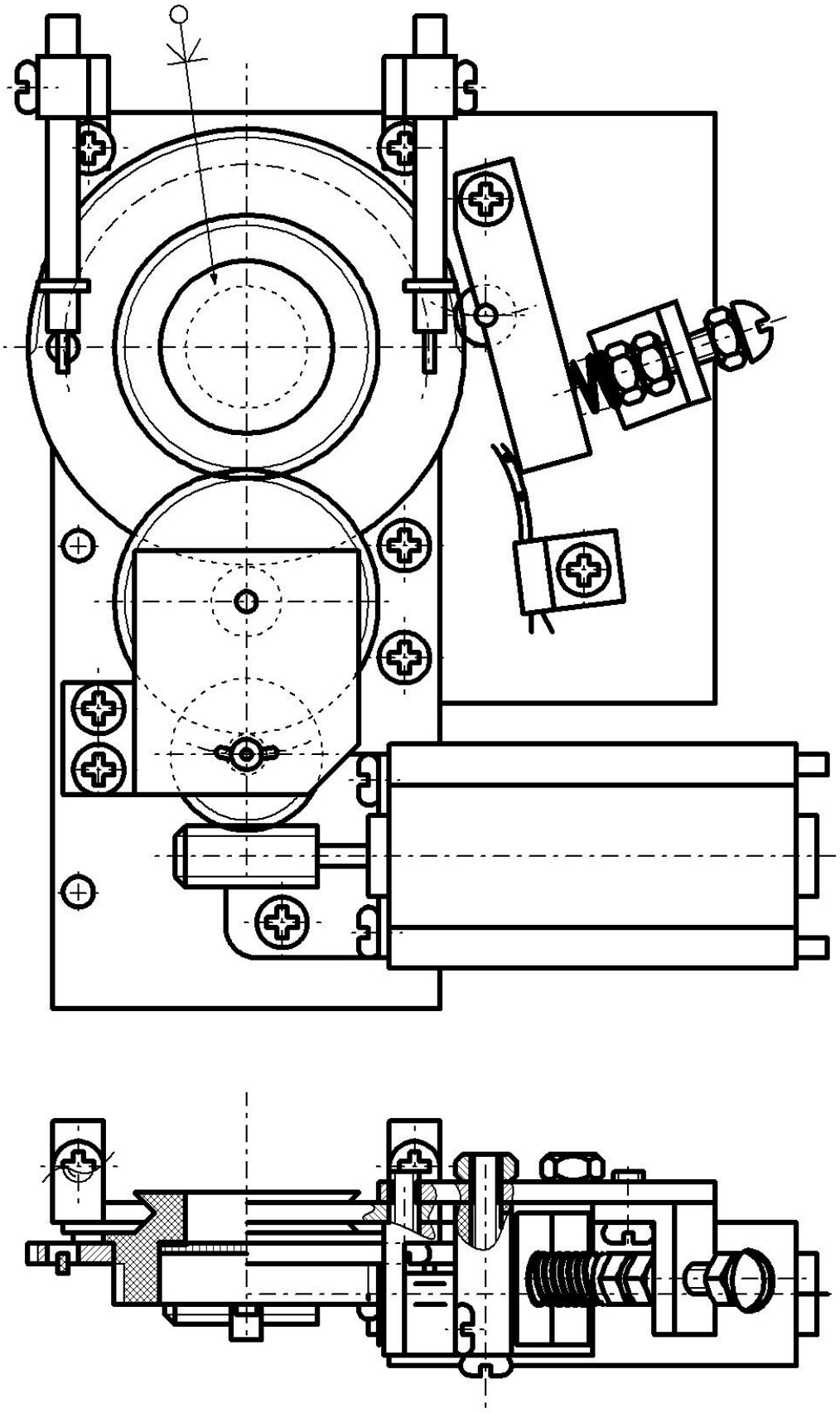


Рисунок 3.4 – Загальний вигляд приводу. З’єднувальні провідники не позначено

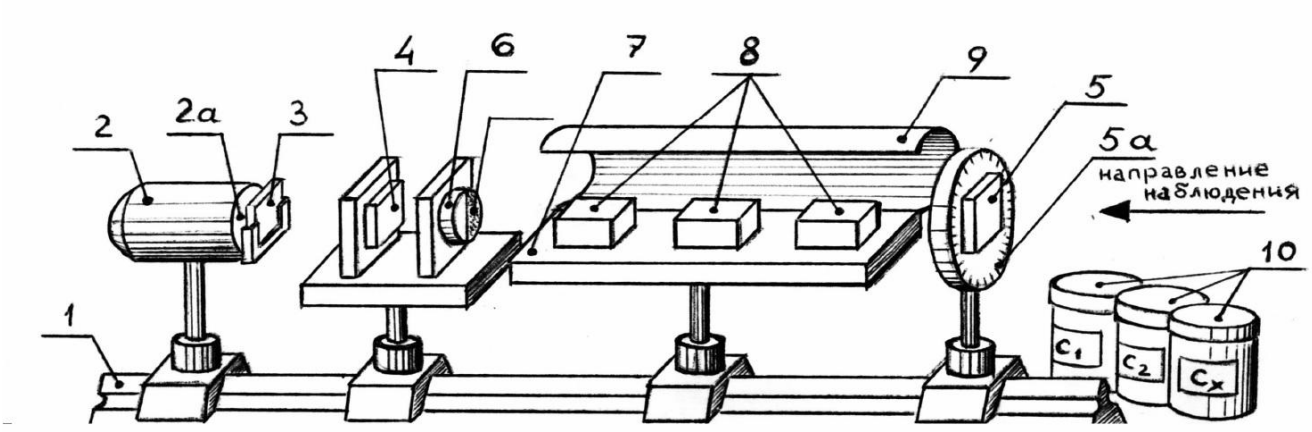
3.2 Загальна компоновка лабораторного стенду

Не менш перспективним є макет, в якому досліджується не лише залежність світлового потоку від кута між поляроїдами, а ще залежність кута повороту площини поляризації від концентрації цукру в розчині. Якщо перший варіант більш схожий на дослідження самого явища, то другий концентрує увагу на безпосередньому застосуванні цього явища для вирішення прикладних задач.

Головна відміна структури макету полягає в наступному: замість першого (нерухомого) поляроїда розташовується прозора ємність для речовини (розчину), що досліджується. Вона буде грати роль первинного поляризатора. Кут повороту площини поляризації визначається кутовим положенням рухомого поляроїда, який відповідає максимальної (чи мінімальної) яскравості світла, що влучає на фотоприймач.

Установка (рис. 3.5) призначена для проведення досліджень залежності кута повороту площини поляризації від: а) товщини шару оптично активного розчину речовини, проходить світло; б) концентрації речовини в розчині. У даній роботі в якості досліджуваного речовини використовується цукор, розчинений у воді.

Всі елементи установки змонтовані на оптичній лаві 1. Освітлювач 2 має вікно закрите матовим склом 2а, на поверхні якого створюється рівномірне світлове поле. Світлофільтр 3 забезпечує монохроматичність світла. В якості поляризатора 4 і аналізатора 5 використовуються поляроїди, що уявляють собою целулоїдну плівку, покриту однаково орієнтованими кристалами герапатіта (сульфату йодистого хініну). Аналізатор 5 укладений в оправу з лімбом 5а, що обертається навколо горизонтальної осі, що збігається з оптичною віссю установки. Ціна поділки лімба вказується на установці.



1 – оптична лава; 2 – освітлювач; 3 – світлофільтр; 4 – поляризатор; 5 – аналізатор; 5а – оправка з лімбом; 6 – скляна пластина; 6а – оптично активна плівка; 7 – предметний столик; 8 – кювети; 9 – кришка; 10 – ємності з розчинами цукру відомої та невідомої концентрації.

Рисунок 3.5 – Експериментальна установка

Для підвищення точності вимірювання кута повороту площини поляризації використовується принцип зрівнювання яскравості розділеного на дві частини поля зору, яке здійснюється введенням в оптичну систему скляної пластини 6 з наклеєної на неї плівкою 6а з оптично активного матеріалу (наприклад, поліетиленова плівка). Це, так звана, напівтіньова пластинка (рис. 3.6) складається з двох половинок: чистої (С) і покритої плівкою (П). АВ - межа розділу. Якщо на пластину падає монохроматичне лінійно поляризоване світло з площиною поляризації РР, то через чисте скло світло проходить, не змінивши площині коливань, а світло, що пройшло через оптично активну плівку П матиме нову площину коливань, наприклад, Р1Р1. Тепер, якщо розглядати світлове поле напівтіньовій пластини через аналізатор, у якого площину коливань перпендикулярна РР, то ліва половина поля зору (С) буде темною, а права половина (П) буде світлою. І, відповідно, навпаки, якщо площину коливань

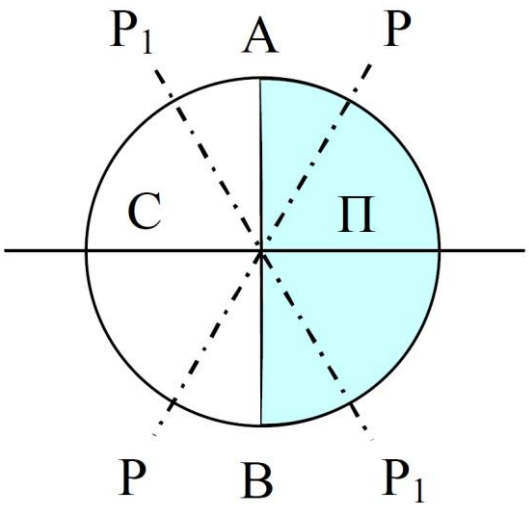


Рисунок 3.6 – Напівтіньова пластинка

аналізатора перпендикулярна P1P1, то ліва половина поля зору (С) буде світлою, а права половина (П) буде темною. В середньому положенні аналізатора обидві половини поля будуть освітлені однаково – це, так звана, "нульова точка". Незначне відхилення аналізатора від цього положення призводить до явного порушення рівності освітленості обох половин поля зору, що і дозволяє підвищити точність вимірювання. На предметному столику 7 (див рис. 3.5) встановлюються кювети 8 з розчином цукру, досліджуваного на обертання площини поляризації. Кювети виготовлено з оптично неактивного скла. Кришка 9 запобігає проникнення стороннього світла на розчин. Розчини цукру з відомими концентраціями С1, С2 і С3, і невідомої концентрацією Сх зберігаються в ємностях 10.

4 РОЗРОБКА МЕТОДИКИ ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ НА СТЕНДІ

4.1 Методика проведення експерименту

1. Спочатку встановлюється "нульова точка". Для цього, обертаючи оправу аналізатора 5, домагаються однакової освітленості двох частин поля зору на напівтіньовій пластині 6.

Примітка. Для чистоти експерименту треба було б встановити кювети з чистою водою, щоб компенсувати кут повороту площини поляризації, виробленої кюветами з водою без цукру. Але практично можливо виводити нульовий відлік і без кювет, так як, ні вода, ні скло кювет не оказують обертання площини поляризації.

2. Потім в одну з кювет 8 заливають розчин цукру відомої концентрації С1, встановлюють її на предметному столику 7 і визначають кут повороту φ площини поляризації, на який треба повернути аналізатор 5, щоб встановити однакову освітленість поля зору на напівтіньовій пластині 6. Далі послідовно заповнюючи другу і третю кювети 8 з розчином цукру тієї ж концентрації С1, як би нарощуючи товщину прохідного шару, і визначають відповідно кути повороту площини поляризації. За отриманими даними визначають питому постійну $[\alpha]$ для цукру за формулою,

$$[\alpha] = \frac{\varphi}{C \cdot l} \qquad (1)$$

і будують графік (рис.) залежно кута повороту φ від товщини *l* шару рас
твора, проходить світло. Звернути увагу на лінійний характер зазалежності.

3. Визначення залежності кута повороту φ площини поляризації від концентрації цукру в розчині проводиться з використанням однієї і тієї

ж кювети. З цією метою змінюється цукровий розчин в одній з кювет на другой з відомою концентрацією С2 і визначається кут повороту φ площини

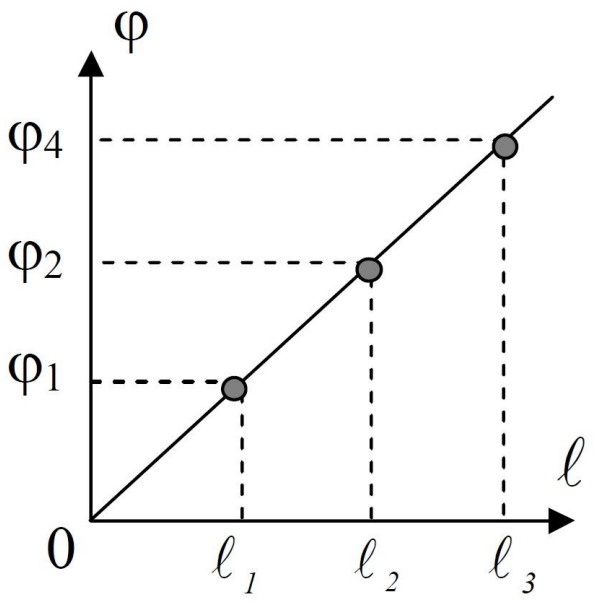


Рисунок 4.1 – Будування графіка залежності кута повороту від товщини шару

поляризації. Потім, те ж саме відбувається з цукровим розчином з відомою концентрацією С3. За отриманими даними φ (С1), φ (С2), φ (С3) будують графік (рис. 4.1) залежності кута повороту φ від концентрації С цукру. Необхідно переконатися, що ця залежність також має лінійний характер. Використовуючи формулу (1) визначити питому постійну $[\alpha]$ для цукру, і визначити напрям обертання площини поляризації.

4. Використовуючи отримані значення $[\alpha]$, розраховується її середнє значення.

5. Визначення невідомої концентрації Сх розчину цукру виконується на одній з кювет, яку заповнюють цим розчином, встановлюють на предметному столику 7 і визначають кут повороту φ площини поляризації. Знаючи внутрішню довжину кювети *l*, питому постійну $[\alpha]$, за формулою (1) розраховують

концентрацію Сх. Цю ж величину можна визначити по отриманому графіку (рис. 4.1), при використанні тієї ж кювети.

4.2 Порядок виконання роботи

1. Включити освітлювач 2 (за вказівкою лаборанта).

2. Закрити кришку 9 (на столику 7 не повинно бути кювет).

3. Обертанням аналізатора 5 домогтися рівномірної яскравості на напівтеневій пластині 6, яка проглядається крізь установку вздовж оптичної осі у напрямку спостереження (рис. 3.6).

4. Провести відлік кута повороту β0 по лімбу 5а і записати в таблицю 2 (Стовпець 5).

5. Відкрити кришку 9.

6. Заповнити кювету №1 (№2, №3) цукровим розчином відомої концентрации С1 і встановити на предметному столі 7. Записати в таблицю 2 значення концентрації С1 (стовпець 3).

7. Закрити кришку 9.

8. Обертанням аналізатора 5 знову домогтися рівномірного освітлення поля зору.

9. Провести відлік кута повороту β по лімбу 5а і записати в таблицю 2 (Стовпець 5).

10. Повторити операції 5,6,7,8,9 спочатку з кюветой №2, потім з кюветой №3, не чіпаючи при цьому вже встановлені на предметному столику кювети. Таким чином, після закінчення всіх цих операцій, будуть встановлені всі три кювети з одним і тим же розчином відомої концентрації С1.

11. Відкрити кришку 9.

12. Злити з кювет розчин в відповідну ємність. При цьому бути особливо уважним, щоб не переплутати розчини.

13. У кювету №1 залити розчин цукру відомої концентрації С2 і встановити була на колишнє місце на предметному столі 7. Записати в таблицю 2 значення концентрації С2 (стовпець 3).

14. Повторити операції 7,8,9.

15. Відкрити кришку 9.

16. Вилити з кювети №1 розчин в відповідну ємність. Треба бути уважним, щоб не переплутати розчин.

17. У кювету №1 залити розчин цукру відомої концентрації С3 і встановити на попереднє місце на предметному столі 7. Записати в таблицю 2 значення концентрації С3 (стовпець 3).

18. Повторити операції 7,8,9.

19. Відкрити кришку 9.

20. Вилити з кювети №1 розчин в відповідну ємність. Треба бути уважним, щоб не переплутати розчин.

21. Заповнити кювету №1 розчином цукру невідомої концентрації Сх і встановити її на предметному столику 7.

22. Повторити операції 7,8,9 після закінчення відкрити кришку 9 і злити розчин в ємність з невідомою концентрацією Сх.

$$\varphi = [\alpha] \cdot \mathrm{C} \cdot l \qquad (2)$$

4.3 Обробка результатів вимірювань

1. Розрахувати товщину шару розчину *l* проходить світло в кожному

досвіді. Вона дорівнює сумі внутрішніх довжин всіх кювет, що значаться в стовпці 2 табл. 4.1 і занести отримані результати в стовпець 4 по відповідному рядку.

2. Розрахувати кути повороту φ площині поляризатора в кожному за формулою $\varphi = \beta - \beta_0 0$ та занести в стовпець 6 табл. 4.2.

3. За даними таблиці 4.2 побудувати графіки залежності кута повороту φ

площини поляризації від:

а) товщини шару цукрового розчину, проходить світло, тобто $\varphi = \varphi(l)$, використовуючи рядки 2, 3, 4;

б) концентрації цукрового розчину, тобто $\varphi = \varphi(\mathrm{C})$, використовуючи рядки 2, 5 (рис. 4.2).

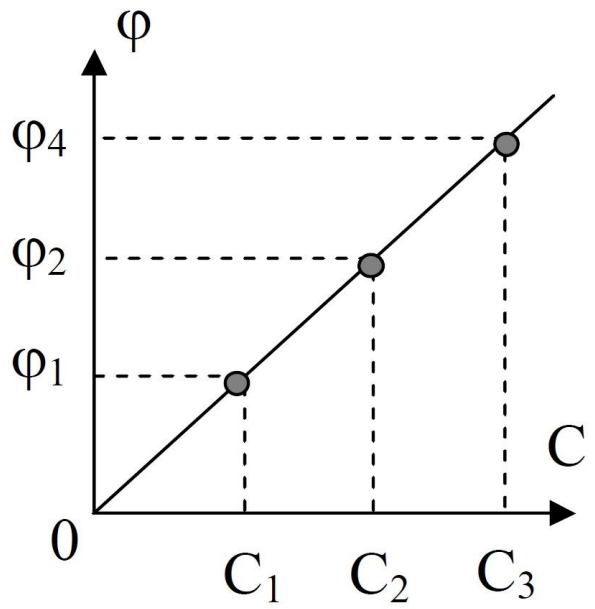


Рисунок 4.2 – Будування графіка залежності кута повороту від концентрації цукру у розчині

4. Розрахувати питому постійну обертання $[\alpha]$ цукру використовуючи формулу (2) для кожного спостереження з відомою концентрацією, тобто в рядках 2, 3, 4, 5 та занести в стовпець 7 табл. 4.2.

5. Розрахувати середнє значення питомої постійної обертання $[\alpha]$ср за формулою $[\alpha]_{-\mathrm{p}} = \frac{1}{5} \cdot \sum_{i=1}^{5} [\alpha]$ та занести в стовпець 8 табл. 4.2.

6. За графіком $\varphi = \varphi(\mathrm{C})$ визначити невідому концентрацію Сх цукру в розчині, використовуючи рядок 6 в табл. 4.2. Результат занести в стовпець 3 цієї ж таблиці.

Таблиця 4.1 – Внутрішня довжина кювет

Внутрішня довжина кювети L_i, дм				Ціна поділки лімбу, k, град/діл
№1	№2	№3	№4	

Таблиця 4.2 – Результати вимірів та розрахунків

№ досвіду	№ кювет	Концентр. Цукру С, г/см^3	Товщина шару розчину, l, дм	Кут повороту аналізатора, β, поділка лімба	Кут повороту площини поляризації, φ, град.	$[\alpha]$	$[\alpha]$ср
1	2	3	4	5	6	7	8
1	---	---	---	β_0=	---	---	
2	1	C_1=	l_1=	β_1=	φ_1=		
3	1, 2		l_2=	β_2=	φ_2=		
4	1, 2, 3		l_3=	β_3=	φ_3=		
5	1	C_2=	l_1=	β_4=	φ_4=		
6	1	C_3=	l_1=	β_5=	φ_5=		
7	1	C_x=	l_1=	β_6=	φ_6=	---	

ВИСНОВКИ

В результаті виконання атестаційної роботи розглянуто ефект поляризації, його актуальність та необхідність його зручного вивчення шляхом створення досконалого учбового стенду. Проаналізовано завдання та вихідні данні до нього, що дозволило більш детально зосередитись на можливих принципах реалізації його рішення. Наступним кроком був пошук інформації про вже існуючі рішення або потенційні складові майбутнього. Зваживши переваги та недоліки знайдених складових була спроектована механічна та електрична частина проекту. Проектування проходило за експериментальним принципом, але багато де приходилось користуватись своїм досвідом. Внаслідок експериментів спроектовано схему електричну принципову системи напівавтоматичного керування рухомою частиною.

Внаслідок аналізу існуючих конструкцій вимірювальних приладів, які використовують ефект поляризації, та міркувань ергономіки було розроблено загальну компоновку стенду.

Більшу частину часу зайняло проектування методики виконання лабораторних робіт з використанням стенду, де треба було враховувати особливості розуміння інструкції людиною, дотримуватися певного рівня стислості.

Вважаю, що розроблена конструкція є досить впевненим кроком до підвищення не тільки продуктивності вивчення поляризаційних ефектів, а й взагалі підвищення рівня підходу до створення іншого учбового устаткування.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. В мире поляризованого света. URL:https://www.nkj.ru/archive/articles/13930/(дата звернення 16.10.2020).

2. Оптические измерения https://core.ac.uk/download/pdf/76001667.pdf: (дата звернення 16.11.2020).

3. Круговой поляриметр СМ-3. URL:https://tsput.ru/res/fizika/9/instruction/SM-3_i.pdf (дата звернення 17.11.2020).

4. Поляриметр лабораторный KRUSS P1000 URL:https://www.labanalyt.com/ru/catalog/spektrometry-spektrofotometry-polyarimetry-refraktometry/polyarimetr-laboratornyy-kruss-r1000/ (Дата звернення 12.11.2020)

5. Поляриметр автоматический цифровой P8100 URL:https://labtime.ua/polyarimetr-avtomaticheskiy-cifrovoy-r8100-p239 (дата звернення 12.11.2020)

6. A.B. Galat Simulation of an Optimal Design for (P)-a-Si:H/(N)-c-Si Photovoltaic Converters Using the Analytical Model / Telecommunications and Radio Engineering, vol. 74, 2015, N13, hh. 1215-1223

7. Электромагнитные реле. Виды и работа. Устройство и применение. URL:https://electrosam.ru/glavnaja/jelektrooborudovanie/rozetki-vykljuchateli/elektromagnitnye-rele/ (дата звернення 30.05.19).

8. Методичні вказівки до підготовки атестаційної роботи бакалавра для студентів усіх форм навчання спеціальностей:171 Електроніка (освітня програма «Електронні пристрої та системи»), 153 Мікро- та наносистемна техніка (освітня програма «Мікро- та наноелектроніка») / Упоряд.: Н. Є. Шевченко, О.Б.Галат, І.М.Бондаренко – Харків: ХНУРЕ, 2019. – 45 с.

9. ДСТУ 3008:2015. Інформація та документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура та правила оформлювання : чинний з 01.07.2007. – Київ. : УкрНДНЦ, 2016. – 26 с.

10. Мацько Л. І. Культура української фахової мови : [навч. посіб.] / Л. І. Мацько, Л. В. Кравець. – Київ. Академія, 2007. – 360 с.