



LABORATORIUM

Pomiar charakterystyki polaryzacyjnej elementów optycznych

Opracował: Grzegorz Wiśniewski

Zagadnienia do przygotowania

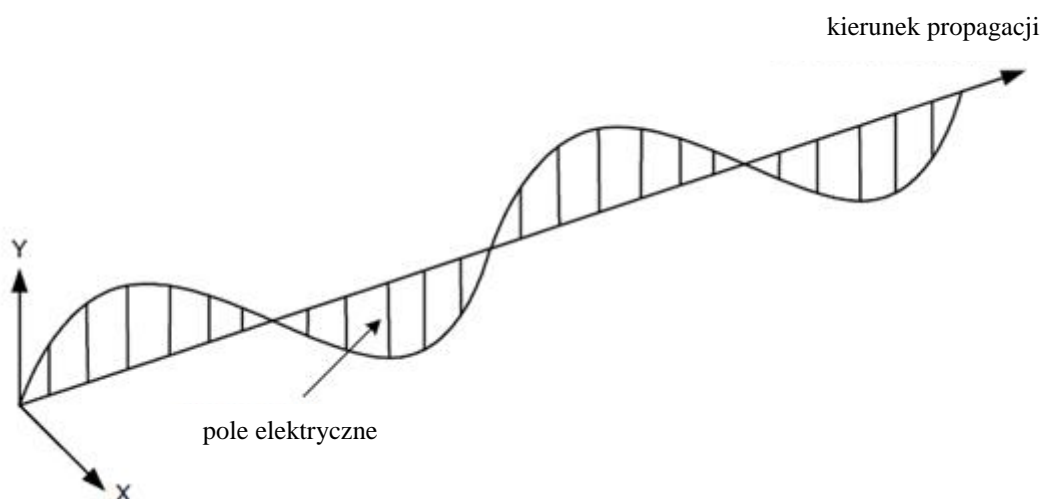
- Opisz budowę polaryzatorów.
- W jaki sposób światło jest polaryzowane, podaj przykładowe charakterystyki.
- Gdzie i do jakich celów stosuje się polaryzatory.
- Wymienić i opisać metody pomiarów charakterystyk polaryzatorów.

Literatura

- [1] Halliday David, Resnick Robert, Fizyka, Tom 2, PWM 1999.
- [2] Praca Dyplomowa "Światłowodowy kontroler polaryzacji" Grzegorz Marcjoniak

1) Wprowadzenie

Światło to fala elektromagnetyczna, która propaguje poprzez zmianę pola elektrycznego i magnetycznego. Wektory tych pól są prostopadłe do siebie i do kierunku rozchodzenia się fali. Jest to więc fala poprzeczna. Do określania orientacji fali elektromagnetycznej przyjmuje się kierunek drgań pola elektrycznego (Rys. 1.1). Nazywany jest on kierunkiem polaryzacji. Jeżeli drgania pola elektrycznego propagują w jednym kierunku to taką falę nazywamy spolaryzowaną liniowo (światło może być jeszcze spolaryzowane kołowo lub eliptycznie), jeśli drgania są propagowane w różnych kierunkach to takie światło jest wiązką światła niespolaryzowanego. Aparatura służąca do polaryzacji światła nazywana jest polaryzatorem. Urządzenia tego typu wykorzystują jeden z trzech podstawowych sposobów polaryzacji światła. Ćwiczenie ma na celu wykorzystanie jednego ze sposobów polaryzacji i zademonstrowanie możliwości wykorzystania zjawiska polaryzacji w modulowaniu sygnału optycznego.



Rys. 1.1 Przykład polaryzacji liniowej światła.

Fale elektromagnetyczne są istotnym składnikiem życia. Przenoszona przez nie energia, jest wykorzystywana w procesie fotosyntezy, która zachodzi w mitochondriach komórek roślinnych. Do Ziemi fale elektromagnetyczne dociera jako światło.

W codzienny życiu człowieka światło jest odbierane jako promień świetlny, ale tak mały, że niemożliwe jest jego wyodrębnienie przez siatkówkę oka. Ze względu na różny stopień wrażliwości odbierania światła przez oko człowieka, przyjmuje się za graniczne wartości długości fal widzianych w przedziale 380 - 780 nm.

W technice pod pojęciem światła rozumie się nieco szerszy zakres długości fal. A mianowicie, za promieniowanie optyczne uważa się także fale z sąsiednich zakresów, tzn. ultrafiolet oraz podczer-

wień. Fale te można opisać przy pomocy tych samych praw, które dotyczą światła widzialnego, a więc takiego promieniowania optycznego, którego długości fal podlegają prawom optyki geometrycznej oraz falowej. Po uwzględnieniu tego promieniowania zakres długości fal można rozszerzyć do przedziału 10 nm – 1 mm i wyróżnić trzy przedziały: podczerwień, światło widzialne i ultrafiolet.

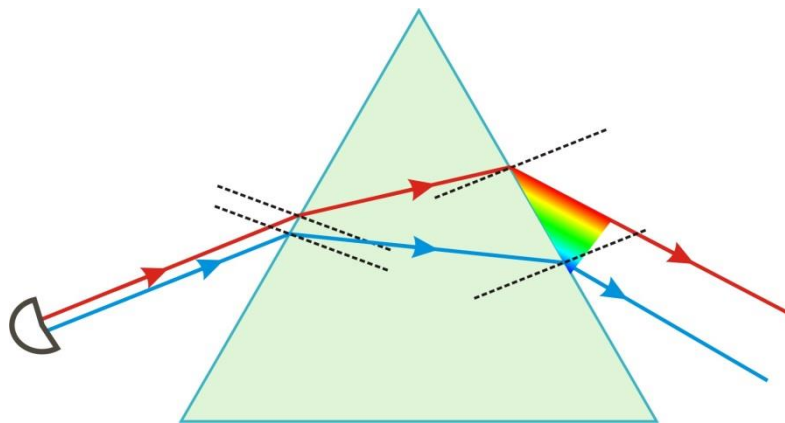
W nauce światło może być traktowane, jako strumień fotonów lub jako fala elektromagnetyczna. W rozważaniach makroskopowych, światło wygodniej jest traktować, jako promień świetlny. Do dwóch głównych zjawisk zachowania się światła zalicza się jego odbicie oraz załamanie. Zjawiska optyki geometrycznej z łatwością dają się opisać i wyjaśnić. Model geometryczny jest uproszczeniem rzeczywistego rozchodzenia się światła. Ogranicza to stosowanie tej metody do obiektów relatywnie dużych w odniesieniu do długości fali. Typowa długość fali widzialnej oscyluje wokół wartości 5 μm . Natomiast rozpatrywane tych zjawisk w interakcji z obiektami o wymiarach zbliżonych do wymiarów długości fali może sprawić, że modele geometryczne nie odwzorowują typowego zachowania się światła.

Jeżeli światło traktowane jest, jako fala elektromagnetyczna, to wtedy można rozpatrywać je jako ruch ściśle wzajemnie zależnych pól. Jednym z nich jest pole elektryczne, drugim - pole magnetyczne.

Według definicji, falę elektromagnetyczną nazywamy taką falę, emitowaną przez drgający ładunek (zwykle elektron), złożoną z dwóch drgających pól: elektrycznego i magnetycznego, które wzajemnie się odtwarzają. Falę taką traktować można jako przenoszenie drgań pola elektromagnetycznego od jednego punktu przestrzeni do drugiego. W próżni wszystkie fale elektromagnetyczne mają tę samą prędkość, a różnią się jedynie częstotliwością. Podział tych fal wg częstotliwości nazywa się widmem promieniowania elektromagnetycznego. Najniższa zaobserwowana częstotliwość to 0,01Hz. Fale o częstotliwości rzędu kilku tysięcy herców są falami radiowymi o bardzo niskich częstotliwościach. Fale mające częstotliwości ok. kilku milionów herców leżą w środku pasma radiowego AM, natomiast fale o bardzo wysokiej częstotliwości znajdują się w pasmach telewizyjnych VHF i paśmie radiowym FM. Następnie w kolejności występują częstotliwości ultra wysokie UHF, potem mikrofałe oraz fale podczerwone.

Za podczerwienią znajdują się fale świetlne, których zakres częstotliwości stanowi zaledwie milionową część procenta całego zakresu dostępnych nam częstotliwości. Najniższą częstotliwość, którą widzi oko ludzkie ma czerwień, zaś najwyższa odpowiada światłu fioletowemu i jest blisko 2 razy większa, niż częstotliwość związana ze światłem czerwonym. Większe częstotliwości ma nadfiolet, którego fale powstają np. podczas burz słonecznych. Jeszcze większe częstotliwości odpowiadają promieniom Roentgena oraz promieniom gamma. Między poszczególnymi obszarami nie ma wyraźnych granic, lecz występuje silne nakładanie się.

Fale elektromagnetyczne mogą być wytwarzane w sposób naturalny lub sztuczny, wymagający udziału człowieka. Gdy fale elektromagnetyczne rozchodzą się w jakimś ośrodku, wtedy na ogół prędkość rozchodzenia będzie różna dla fal o różnych długościach. Pojawiają się więc różnice w rozchodzeniu się fal (Rys. 1.2). Różnice między falami elektromagnetycznymi o różnych częstotliwościach uwydatniają się szczególnie wyraźnie w wytwarzaniu i wykrywaniu promieniowania elektromagnetycznego. Stąd właśnie pochodzi idea podziału całego widma elektromagnetycznego na szereg zakresów. Kryterium podziału stanowią właściwości promieniowania, a także sposoby jego wytwarzania i detekcji. Nie należy się spodziewać dokładnych granic każdego z zakresów widma i podane liczby są w znacznej mierze umowne. Granice dotyczą w zasadzie częstotliwości, gdyż długość fali zależy również od właściwości ośrodka. Jeśli jednak podaje się długości fali ograniczające każdy zakres, to odpowiadają one próżni.



Rys. 1.2 Efekt rozszczepienia się fal o różnych długościach na przykładzie pryzmatu.

Obserwując promień światła, można stwierdzić, że składa się on z wielu fal biegnących w tym samym kierunku, różniących się kierunkiem wyznaczanym przez wektor pola elektrycznego. Taką wiązkę nazywa się światłem niespolaryzowanym. Kierunki określone przez wektory pól elektrycznych i prostopadłych do nich pól magnetycznych są losowe.

Procesem uporządkowania wektorów, nazywa się polaryzowaniem fali. Należy jednak zaznaczyć, że polaryzacja występuje w kilku typach:

- pierwszym naturalnym sposobem polaryzacji, jest polaryzacja liniowa. Wektor pola elektrycznego, przy takiej polaryzacji może zmieniać się jedynie po linii prostej.
- drugim typem polaryzacji jest polaryzacja kołowa. Drgania wektora pola odpowiadają poruszaniu się wektora po okręgu.
- trzecim sposobem jest polaryzacja eliptyczna. Analogicznie jak dla polaryzacji kołowej, polaryzacja eliptyczna jest ruchem wektora po torze elipsy.

W warunkach laboratoryjnych światło spolaryzowane otrzymuje się na drodze podziału światła na dwie składowe wzajemnie prostopadłe. Po wyeliminowaniu jednej z nich otrzymuje się falę spolaryzowaną. Proces ten jest łatwy do przeprowadzenia. Wadą takiego rozwiązania jest mała wydajność. W praktyce stosuje się wiele różnych typów polaryzatorów, działających w oparciu o różne zasady. Stosunkowo często stosuje się klasę polaryzatorów, których działanie opiera się na wykorzystaniu asymetrii pochłaniania, czyli dichroizmu” [1]. Podstawowym rozwiązaniem technicznym jest polaryzator siatkowy. Zbudowany jest z ułożonych równolegle cienkich przewodów. Ich wymiary poprzeczne muszą być mniejsze od długości fali, a rozstaw kolejnych przewodników zbliżony do jej długości. Kiedy niespolaryzowana wiązka trafia na taką siatkę, fale których wektory pola są równoległe do przewodów, indukują w nich prąd. Energia pola zostaje przekształcona w energię elektryczną. Energia ta zostaje rozproszona na rezystancji przewodów w postaci ciepła. Pole - którego wektory są prostopadłe do ułożonej siatki - przenika przez nią nie indukując prądu. Z przechodzącej wiązki fale równoległe zostają pochłonięte przez siatkę, a fale prostopadłe przechodzą praktycznie bez osłabienia.[1] Małe wymiary poprzeczne przewodów są wymagane, ze względu na ograniczenie do minimum wytwarzania prądów od fal prostopadłych. Z tego powodu wykonanie tego typu siatki dla fal długich jest stosunkowo łatwe. Dla fal świetlnych problematyczne staje się wykonanie siatki o odpowiednich parametrach. W praktyce stosuje się polaroidy. Są to odpowiedniki polaryzatorów siatkowych. „Wytwarza się je w procesie chemicznego nanoszenia długich łańcuchów polimerowych. W cząsteczkach tych atomy wodoru są częściowo wymienione na atomy jodu. W przypadku równoległego ułożenia wszystkich cząsteczek, materiał taki przepuszcza tylko fale, w których kierunki drgań są prostopadłe do osi łańcuchów polimeru. Technologia wytwarzania polaroidów bazuje na alkoholach poliwinylowych. Początkowa błona zbudowana jest z nieregularnie ułożonych łańcuchów. W celu ułożenia ich równoległe, materiał podgrzewa się, a następnie rozciąga. Podczas tego procesu łańcuch rozplątują się i układają równoległe. W celu wymiany części atomów błonę płucze się w roztworze jodu. Po ostygnięciu i wysuszeniu materiał jest gotowy. Idealny polaroid przepuszcza połowę energii padającej wiązki padającej na błonę. Rzeczywiste polaroidy przepuszczają nieco mniej, co jest spowodowane nie w pełni równoległym ułożeniem łańcuchów. [1]

Polaryzator można scharakteryzować dwoma parametrami. Parametr k_1 określa przepuszczalność płytki polaryzatora, który został oświetlony wiązką spolaryzowaną liniowo tak zorientowaną, aby uzyskać maksymalną moc na wyjściu. Parametr k_2 określa przepuszczalność przy takim ustawieniu płaszczyzn polaryzatora i wiązki padającej, aby moc na wyjściu była minimalna.

W idealnym przypadku wartości te przyjmują wartość $k_1 = 1$, $k_2 = 0$. W rzeczywistych obiektach parametry te równają się stosunkowi wartości natężenia wiązki wychodzącej do natężenia wiązki padającej:

$$k_i = \frac{I_{wy}}{I_{we}} \quad (2.1.)$$

Wartość natężenia wiązki wychodzącej w rzeczywistych polaryzatorach może przyjmować wartości z przedziału $\langle k_1, k_2 \rangle$ i jest zależna od kąta między płaszczyzną polaryzatora, a płaszczyzną wiązki spolaryzowanej.

2) Przebieg ćwiczenia

Badanie polaryzatora przeprowadza się w celu wyznaczenia charakterystyki polaryzatora. Funkcja ta przedstawia zależność natężenia wiązki wyjściowej od kąta ϑ . Układ pomiarowy składa się z badanego polaryzatora, źródła światła spolaryzowanego oraz detektora. Idea wyznaczania charakterystyki polaryzatora polega na oświetleniu polaryzatora wiązką światła spolaryzowanego i pomiarze natężenia światła na wyjściu, przy zmianie kąta ϑ .

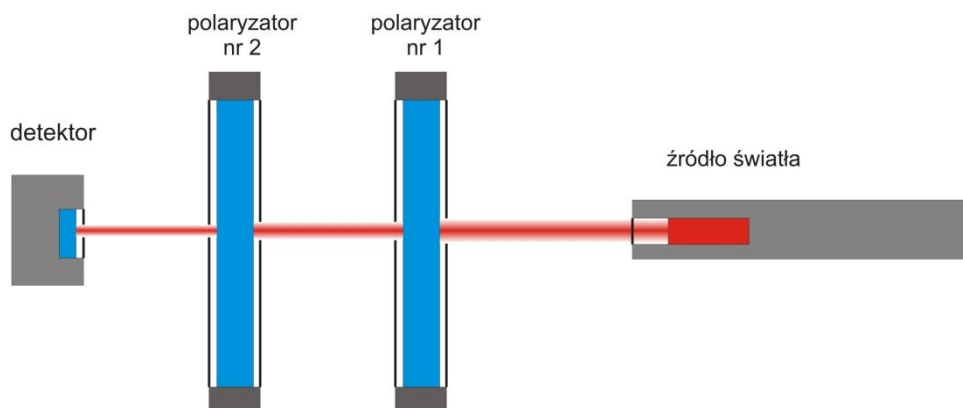
W praktyce stosuje się układ z dwoma polaryzatorami oraz wiązki laserowej jako źródło światła. Ta modyfikacja ma na celu ułatwienie pomiarów i ograniczenie błędów podczas pomiarów. Światło laserowe ze względu na swoje właściwości pozwala na w miarę dokładny pomiar.

Szczególną zaletą światła laserowego jest spójność wiązki światła, a co za tym idzie, promienie nie przechodzące przez polaryzatory, nie zostają dodane do szumu otoczenia. Inną, ważną zaletą źródła światła laserowego jest łatwość spolaryzowania wiązki. Wiązka taka przepuszczona przez polaryzator można traktować jako praktycznie w pełni spolaryzowaną.

Pomiar składa się z dwóch etapów. Pierwszym jest pomiar wartości progowych. Wartość minimalna jest to wartość natężenia szumu otoczenia. Przy wyłączonym zasilaniu źródła światła,

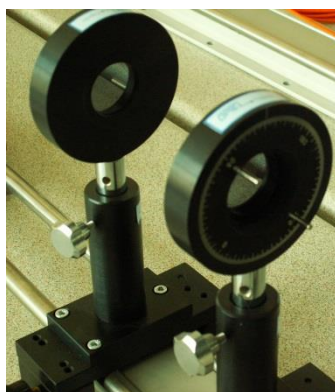
mierzy się natężenie światła jakie dociera do detektora. Zmierzona wartość napięcia na detektorze, jest zależna jedynie od poziomu szumu.

Wartość maksymalna jest to wartość natężenia światła docierającego do detektora przy włączonym zasilaniu lasera. Obie te wartości określają wartości krańcowe, czyli wpływ otoczenia oraz wartość natężenia światła padającego na badany polaryzator.



Rys. 2.1 Uproszczony schemat układu pomiarowego.

Drugim etapem jest pomiar badanego polaryzatora. Do układu wstawia się badany polaryzator (Rys. 2.1). Mocowanie płytki posiada obrotowy rdzeń na którym naniesiona jest podziałka kątowna. Najpierw należy określić miejsce zerowego kąta między osiami polaryzacji. Przez obrót badanego polaryzatora (Rys. 2.2) szuka się takiego położenia, w którym natężenie wiązki padającej na detektor osiąga wartość maksymalną. Dalsze pomiary odbywają się krokowo, przez obrót badanego polaryzatora i pomiar natężenia światła przechodzącego przez układ optyczny.



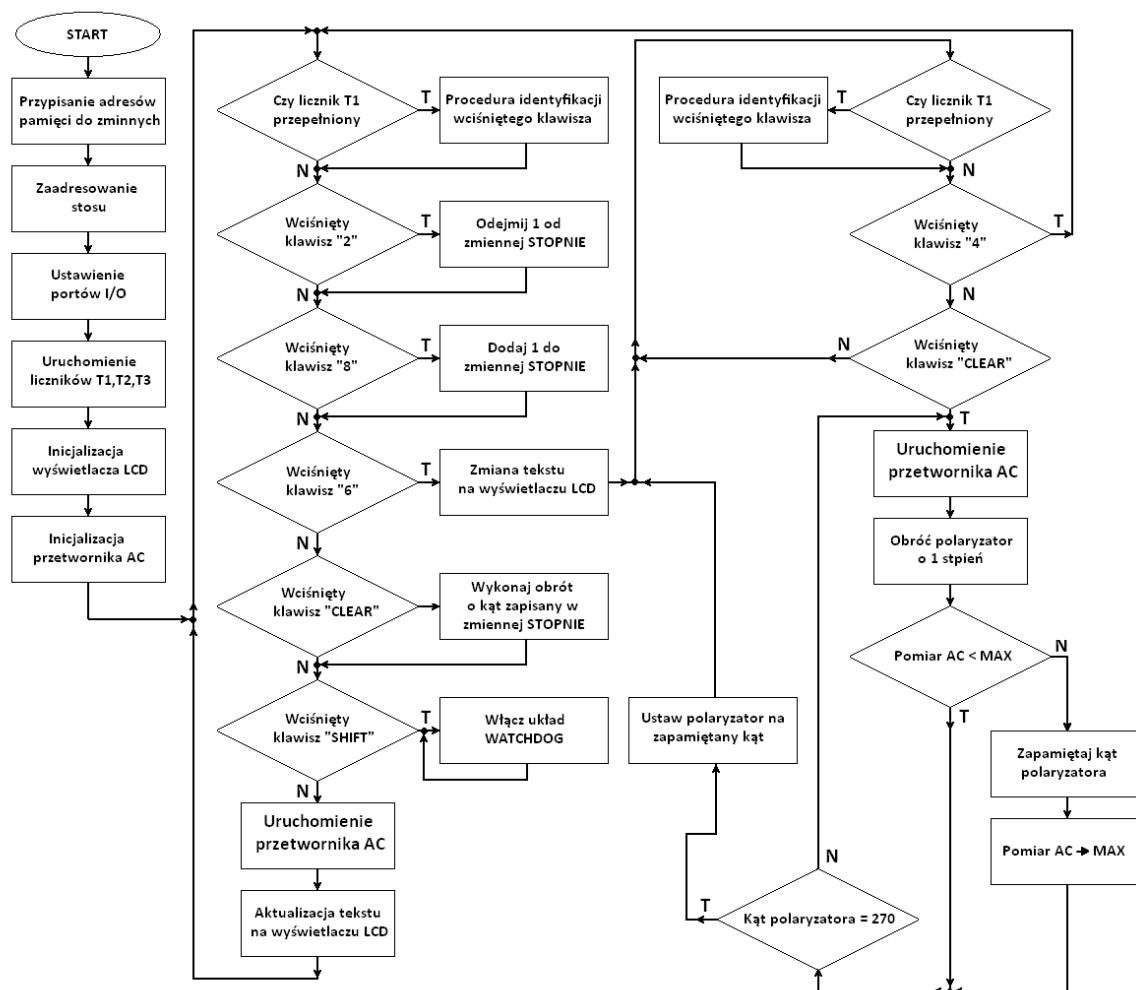
Rys. 2.2 Zdjęcie ilustrujące rzeczywisty wygląd polaryzatorów.

Ze względu na ograniczenie wpływu otoczenia, badany układ powinien być odizolowany od obcych źródeł światła. W tym celu stanowisko pomiarowe zostało zabudowane skrzynią z materiału nieprzepuszczalnego dla światła.

Problematiczne jest jednak częste usuwanie obudowy, aby dokonać obrotu rdzenia z badaną płytką. W celu dokładnego wyznaczenia charakterystyki liczba punktów pomiarowych powinna być stosunkowo duża, a zastosowanie sterownika umożliwiającego zdalne obracanie powoduje znaczne przyspieszenie pomiarów i poprawa ich komfort wykonywania.

Stanowisko pomiarowe i obsługa sterownika

Program do obsługi sterownika można podzielić na trzy bloki. Schemat blokowy programu przedstawia rysunek (Rys. 2.3). Pierwszym z nich jest blok wstępnego ustawiania parametrów. Odpowiedzialny jest on za ustawienie adresów stosu, określenia adresu poszczególnych zmiennych w pamięci SRAM oraz ustawienia wszelkich parametrów elementów składowych mikrokontrolera. Ponadto w tym obszarze działania uruchamiane są bloki funkcyjne, takie jak: przetwornik analogowo-cyfrowy, porty wejścia-wyjścia oraz liczniki czasowe, wykorzystywane do obsługi wyświetlacza LCD i klawiatury.



Rys. 2.3 Schemat blokowy programu sterownika

Część druga to pętla główna programu. Wykonywana cyklicznie sprawdza stan mikrokontrolera i jego urządzeń peryferyjnych. W chwili wystąpienia przerwania lub wykrycia zmiany stanu klawiatury, program wywołuje jedną z procedur, zapisanych w bloku 3. Dla użytkownika program jest prosty w obsłudze ponieważ aplikację uproszczono do minimum, zapewniając w ten sposób postawione wymagania projektu.

Praca programu przebiega dwutorowo sterownik może pracować:

- w trybie automatycznym (wymagane jest wtedy doprowadzenie sygnału pomiarowego za pomocą sondy – jej obecność lub brak należy sprawdzić przed wykonaniem ćwiczenia). Jeden z torów obsługuje automatyczne wyszukiwanie maksymalnego sygnału z detektora, a drugi wykonuje prace pomiarowe. Wyszukiwanie maksimum jest procedurą określenia takiego położenia polaryzatorów względem siebie, aby sygnał odbierany przez detektor miał wartość największą.
- w trybie manualnym pomiar możliwy jest poprzez zadanie kąta przesunięcia o zadaną wartości oraz manualne wykonanie obrotu polaryzatora. Po uruchomieniu sterownika, program przechodzi do tego trybu pracy.

Wyświetlacz sterownika w górnym wierszu wyświetla zadany kąt, o jaki ma być obrócony polaryzator. W dolnym wierszu wyświetlane są informacje o obecnym kącie obrotu względem początku pomiarów oraz napięcie na detektorze wyrażone w miliwoltach [mV] (gdy obecna jest sonda pomiarowa). Użytkownik klawiszami 2↓ i 8↑, ustawia parametr Stopnie. Jednokrotne wciśnięcie 8↑ powoduje dodanie jedności do wartości przesunięcia natomiast przyciśnięcie 2↓ - odjęcie jedności od wartości przesunięcia. Po ustawieniu zadanego kąta obrotu, w celu wykonania polecenia, użytkownik zatwierdza rozkaz przez wciśnięcie klawisza CLR.⌵. Sterownik przechodzi do procedury wykonania obrotu. Na ten okres czasu zostaje zablokowana klawiatura. Po wykonaniu obrotu, dane na wyświetlaczu zostają zaktualizowane. Wartość Kat (kąt od początku pomiarów) i Nap (napięcie na detektorze (opcjonalnie)), wyświetlają aktualne wartości. Ustawienie kąta wykonywane powinno być tylko w jedną stronę. Oznacza to, że wartości mierzone są od 0 do 999 stopni. Zakres taki pozwala na dokonanie dwóch serii pomiarów, po 360 stopni każdy. Mechanizm sterujący polaryzatorami został tak wykonany by możliwy był jedynie obrót do przodu, nie wolno więc zadawać wartości ujemnych kąta. Klawisz

Shift służy do zerowania pomiarów. Po jego wciśnięciu wartość Kat jest zerowana, bez możliwości odzyskania wcześniejszych danych.

Aby przejść do trybu automatycznego wyszukiwania maksimum, należy wcisnąć klawisz 6→. Wówczas zostaje wyświetlona informacja o zmianie trybu pracy sterownika. W celu uruchomienia wyszukiwania należy wcisnąć klawisz zatwierdzenia CLR↵. Sterownik blokuje klawiaturę i uruchamia procedurę wyszukiwania maksymalnego sygnału. Sterownik w pierwszym etapie skanuje wartości jakie występują przy zmianie kąta obrotu polaryzatora, a następnie ustawia go w położeniu, w którym wartość sygnału zwrotnego jest największa.

Po ustawieniu polaryzatora, sterownik odblokowuje klawiaturę. Użytkownik może wybrać ponowne wyszukiwanie przez kolejne zatwierdzenie lub przejść do trybu pomiaru przez naciśnięcie klawisza 4←.

Przykładowa procedura pomiarowa.

Podczas pracy w trybie pomiarowym, wyświetlane są trzy informacje. W pierwszej linii wyświetlane jest parametry „Stopnie”. W linii drugiej „Kat” i „Nap”. Zmianę parametru „Stopnie” dokonuje się przez wciśnięcie klawiszy (2↑) i (8↓).

Stopnie – wyświetlany jest kąt o jaki zostanie obrócony badany polaryzator.

Kat – wyświetlany jest kąt między obecnym ustawieniem polaryzatora, a początkiem pomiarów.

Nap – wyświetlane jest napięcie na detektorze w [mV].

Po ustawieniu żądanej zmiany, w celu wykonania obrotu należy wcisnąć klawisz (CLEAR↵). Sterownik po wykonaniu polecenia zaktualizuje wartości „Kat” i „Nap”. Obrót polaryzatora może być wykonany jedynie w kierunku dodatnim „do przodu” i wtedy ustawiony kąt obrotu ma wartość dodatnią, polaryzator zostanie obrócony w prawo. Klawisz „Shift” pełni funkcje zerowania sterownika. Wartość „Stopnie” i „Kat” zostają wyzerowane.

PRZYKŁAD

Pomiar manualny:

- 1) Ustawić żądany krok pomiarowy – klawisz (2↓) i (8↑).
- 2) Odczytać wartość napięcia na detektorze.
- 3) Przejść do następnego punktu pomiarowego – klawisz (CLEAR↵).
- 4) Odczytać nową wartość napięcia dla nowego punktu pomiarowego.
- 5) Kolejne czynności są identyczne jak w punkcie 3 i 4 do chwili wykonania pełnego obrotu polaryzatora.

Pomiar automatyczny:

- 1) Po uruchomieniu sterownika przejść do trybu „AUTOMATYCZNEGO WYSZUKIWANIA.” - Klawisz (6→).
- 2) Uruchomić procedurę wyszukiwania – klawisz (CLEAR↵).
- 3) Przejść do trybu pomiaru – klawisz (4←).

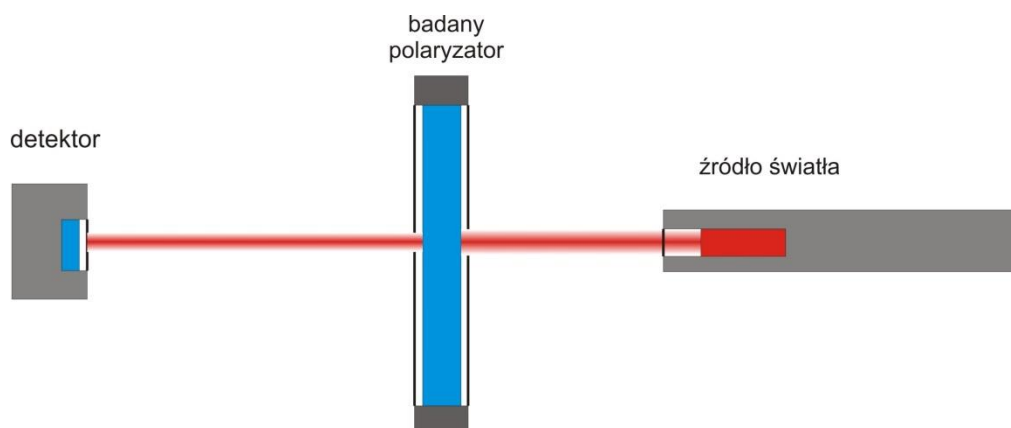
3) Przebieg ćwiczenia

I. Zapoznanie się ze stanowiskiem pomiarowym – dostępnym oprzyrządowaniem.

II. Pomiar charakterystyki polaryzatora nr 1 lub 2 (Rys. 3.1).

Procedura pomiarowa:

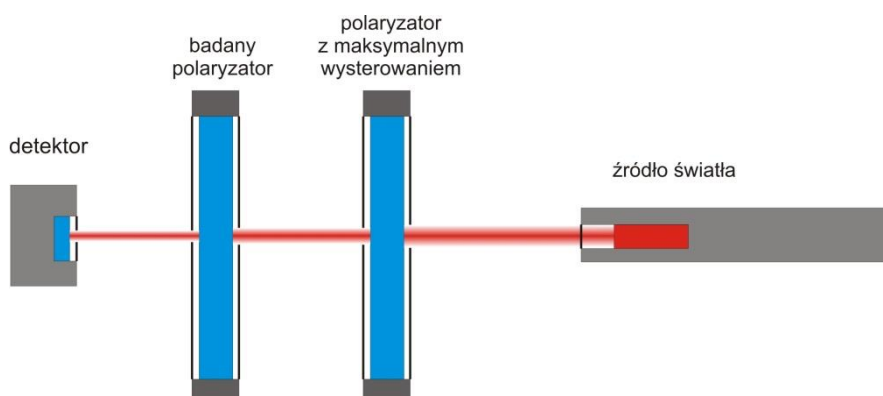
- Uruchomić laser,
- Zjustować położenie wiązki światła, aby uzyskać maksymalny sygnał na detektorze (pomiar mikrowoltomierzem lub oscyloskopem).
- Zamontować wybrany polaryzator (jeden z dwóch),
- Ustawić polaryzator na wartość bliską uzyskania efektu wygaszenia światła.
- Zmierzyć charakterystyki polaryzatorów,
- Wyłączyć laser,
- Sprawdzić dokładność naniesienia noniusza w skali stopniowej.
- Określić straty wprowadzane przez polaryzatory.
- Dokonać analizy otrzymanych wyników i na jej podstawie przedstawić wnioski.



Rys. 3.1. Schemat układu probierczego do badania charakterystyki kątowej polaryzatora.

III. Pomiar charakterystyki polaryzatora nr 1 lub 2 (Rys. 3.2) z wstępnym spolaryzowaniem światła.

- Uruchomić laser, zamontować drugi polaryzator,
- Zjustować położenie wiązki światła, aby uzyskać maksymalny sygnał na detektorze (pomiar mikrowoltomierzem lub oscyloskopem).
- Ustawić polaryzator usytuowany najbliżej źródła światła na wartość max. np. „180” lub inną tak, aby uzyskać efekt maksymalnego przepuszczania światła.
- Zmierzyć charakterystykę polaryzatora usytuowanego najbliżej detektora,
- Wyłączyć laser,
- Sprawdzić dokładność naniesienia noniusza w skali stopniowej.
- Określić straty wprowadzane przez polaryzatory.
- Dokonać analizy otrzymanych wyników i na jej podstawie przedstawić wnioski.



Rys. 3.2 Schemat układu probierczego do badania charakterystyki kątowej polaryzatora z wstępnie spolaryzowanym światłem.

IV. Pomiar charakterystyk polaryzatorów.

Pomiary należy wykonać dla dwóch polaryzatorów zgodnie z warunkami początkowymi zamieszczonymi w tabeli (Tabela 1). Łącznie powstanie 6 konfiguracji pomiarowych.

Tabela 1 Warunki początkowe które należy przyjąć przed wykonaniem pomiarów.

Lp.	Polaryzator usytuowany przy źródle światła	Kąt polaryzatora usytuowanego przy źródle światła	Polaryzator usytuowany przy detektorze	Kąt polaryzatora usytuowanego przy detektorze
	[-]	[°]	[-]	[°]
I	1	var	--	--
II	2	var	--	--
III	2	max const	1	var
IV	1	max const	2	var
V	1	var	2	max const
VI	2	var	1	max const

Gdzie:

var – zmiana kąta od wartości początkowej do 360°,

max const– ustawiony na stałe maksymalny kąt otrzymany podczas pomiaru 1 lub 2 (w zależności od zastosowanego polaryzatora).

Otrzymane wyniki należy znormalizować do wartości odniesienia. Dolną wartość przyjęto jako wartość zero, a górną - jako wartość jeden. Normalizację można przeprowadzić zgodnie z wzorem 5.1.:

$$X_i = \frac{X_p - W_D}{W_G - W_D} \quad (5.1.)$$

gdzie:

X_i – wartość unormowana pomiaru,

- Xp – wartość zmierzona,
 WD – dolna wartość odniesienia,
 WG – górna wartość odniesienia.

Otrzymane wyniki pomiarów należy zestawić w tabelach (Tabela 2 -Tabela 4), a także przedstawić na wykresach. Przykładową charakterystykę pokazano na rysunku (Rys. 3.3).

Tabela 2 Wartości odniesienia

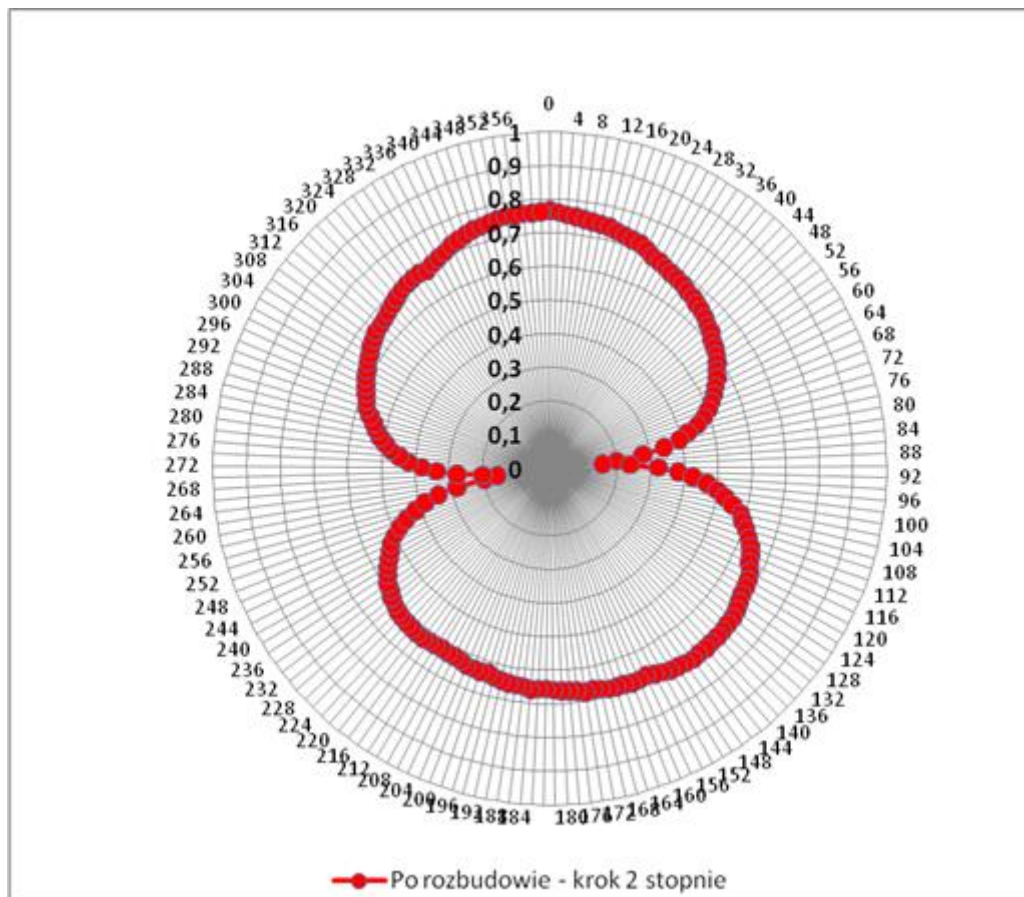
Lp.	Parametr	Wynik pomiarów [mV]
1	Dolna wartość odniesienia	
2	Górna wartość odniesienia	

Tabela 3 Natężenia światła po przejściu przez poszczególne polaryzatory w funkcji kąta θ

Lp	Kąt θ [°]	Polaryzator 1		Polaryzator 2	
		wartości zmierzone [mV]	wartości względne	wartości zmierzone [mV]	wartości względne
1	0	439	0,912	268	0,708
2	2	380	0,755	266	0,702
3	4	395	0,795	292	0,787
4	6	377	0,747	301	0,816
5	8	393	0,789	298	0,807

Tabela 4 Natężenia światła po przejściu przez układ dwóch polaryzatorów, krok III

Lp.	Kąt θ [°]	wartości zmierzone [mV]	wartości względne
1	0	286	0.767
2	2	284	0.761
3	4	282	0.754
4	6	281	0.751
5	8	280	0.748
6	10	279	0.744



Rys. 3.3 Wykres natężenia światła po przejściu przez układ dwóch polaryzatorów, krok III.

4) W sprawozdaniu uwzględnić:

- A. Wyniki pomiarów, wykresy pojedynczych polaryzatorów, zestawień polaryzatorów,
- B. Wnioski i komentarze do otrzymanych wyników.

5) Pytania kontrolne

- Opisz budowę polaryzatorów.
- W jaki sposób światło jest polaryzowane, podaj przykładowe charakterystyki.
- Gdzie i do jakich celów stosuje się polaryzatory.
- Wymienić i opisać metody pomiarów charakterystyk polaryzatorów.