



Politechnika Wroclawska

Ćwiczenie 2

Wydział

Elektryczny

Mechaniczny

Elektroniki Mikrosystemów i Fotoniki

LABORATORIUM
ZASTOSOWAŃ OPTOELEKTRONIKI

Badanie tłumienności światłowodów

Opracował: Grzegorz Wiśniewski

Zagadnienia do przygotowania

- Opisz budowę światłowodu,
- Jakie czynniki wpływają na straty w światłowodach,
- Opisz budowę i zasadę działania monochromatora,
- Co to jest barwa światła,
- Jakie środki ostrożności należy zachować i dlaczego podczas eksploatacji torów światłowodowych.

Literatura

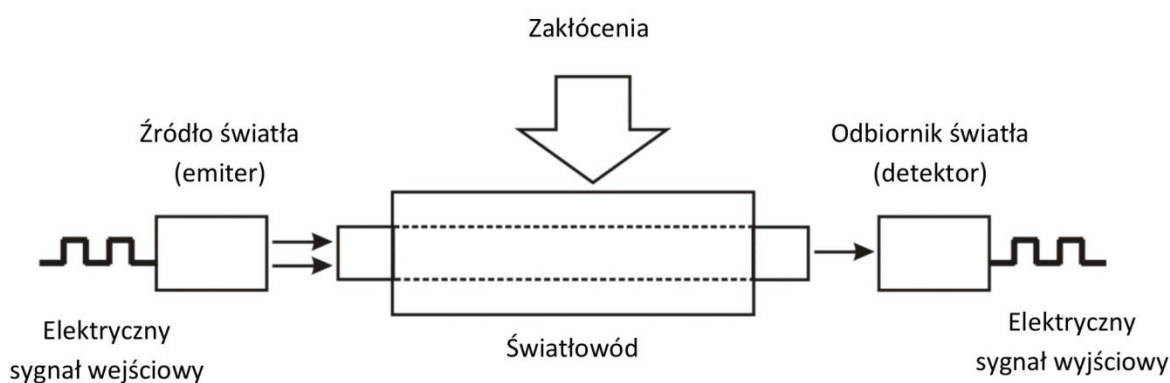
[1]<http://www.fiber-optics.info/>

[2] <http://physics.stackexchange.com/questions/98287/characteristic-quantities-in-fiber-optics>

1) Wprowadzenie

Ze względu na liczne zalety światłowodów, takie jak: odporność na zakłócenia i przesłuchy, ogromną potencjalną przepustowość, izolację elektryczną, niskie straty sygnału, wysoką niezawodność i niskie koszty komunikacji światłowod zastępuje tradycyjne kable koncentryczne, zwiększając szybkość transmisji danych i jednocześnie zaoszczędzenie miejsca w tym samym czasie.

Najprostsze transmisyjna droga składa się z nadajnika, odbiornika i medium transmisyjnego (włókna optycznego) co przedstawiono na (Rys. 1.1)



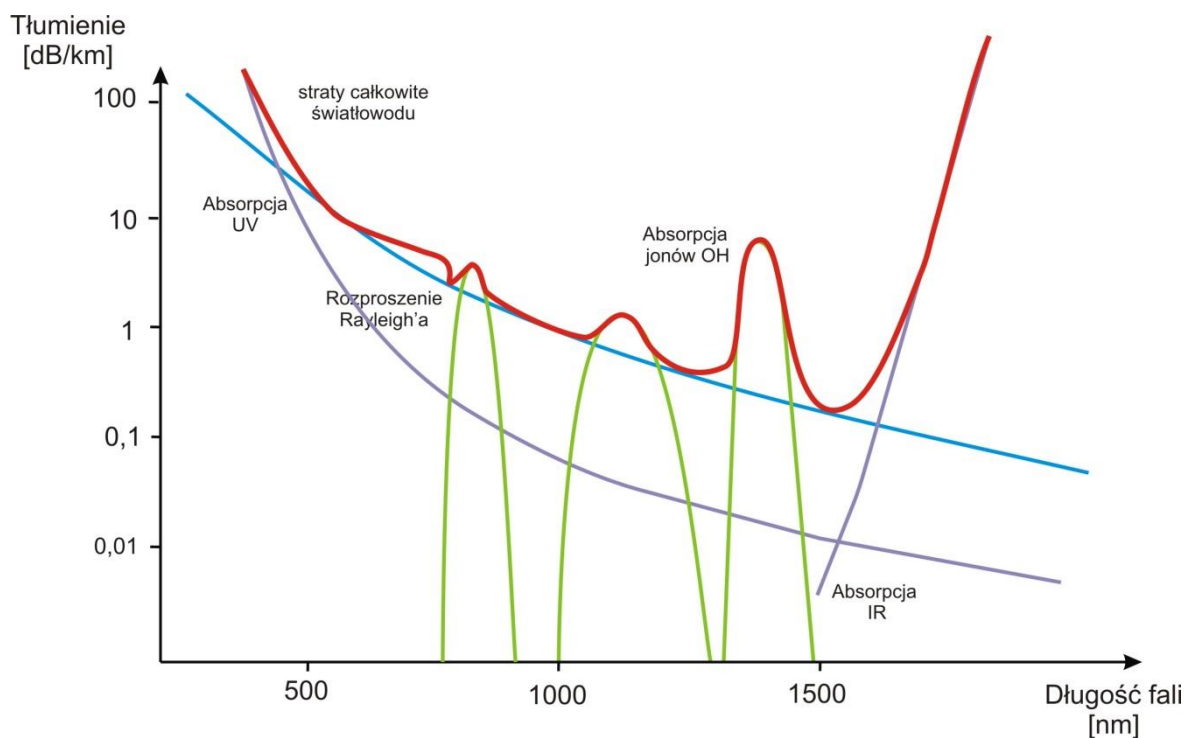
Rys. 1.1 Uproszczony schemat toru transmisji z zastosowaniem włókna optycznego

Straty w światłowodach

Tłumienie jest jedną z podstawowych wad światłowodu. Nie powoduje ono zmiany kształtu sygnału, zmniejsza jedynie jego moc. Tłumienie światłowodów kwarcowych zależy od długości fali światła, rodzaju i czystości szkła kwarcowego, z którego zbudowany jest rdzeń (Rys. 1.2). Tłumienie rośnie wraz ze wzrostem długości łącza – ma więc bezpośredni wpływ na zasięg łącza.

Mechanizmy odpowiedzialne za powstawanie strat to np.:

- rozpraszanie Rayleigha
- absorpcja
- mikro- i makroskopowe zgięcia włókien
- rozpraszanie nieliniowe



Rys. 1.2 Zależność tłumienia światłowodu od długości fali [2]

Rozpraszanie Rayleigha

Rozpraszanie Rayleigha to rozpraszanie fali elektromagnetycznej w materiale, wywołane przez niejednorodności materiału o rozmiarach małych w porównaniu z długością fali światła. Istnieją dwie przyczyny niejednorodności: fluktuacje gęstości i składu szkła.

Rozpraszanie Rayleigha szybko maleje wraz ze wzrostem długości fali:

$$\alpha \approx \frac{1}{\lambda^4} \quad (3)$$

W światłowodach wykonanych ze szkła kwarcowego domieszkowanego germanem minimalne tłumienie jest zdominowane rozpraszaniem Rayleigha, w związku z czym tego typu światłowody mają tłumienność około 0,15 - 0,17 dB/km dla 1550 nm. Włókna które mogą prowadzić światło o większej długości fali będą się charakteryzować mniejszym rozpraszaniem Rayleigha i mniejszym tłumieniem. Na przykład światłowody ZBLAN (ZBLAN to nazwa szkła z grupy ciężkich szkieł fluorkowych (heavy-metal fluoride glasses)). Typowe szkło tworzone jest na bazie krzemu: cząsteczki dwutlenku krzemu (kwarc lub zwyczajny piasek) plus inne składniki tworzą szkło o żądanych parametrach. W szklach ZBLAN fluor łączony jest z metalami: cyrkonem, barem, lantanem, aluminium, i sodem (Zr, Ba, La, Al, Na - stąd nazwa). Światłowody ze szkieł ZBLAN mogą przenosić falę nawet o długości 4000 nm, i teoretycznie mogą mieć tłumienie dochodzące do 0,001 dB/km. Włókna ZBLAN mogą być domieszkowane prazeodymem. Włókna takie wchodzi w skład wzmacniaczy światłowodowych o

długości fali 1300 nm. Wzmacniacze takie oznaczane są skrótem PDFA (Praseodymium Doped Fiber Amplifiers), które transmitują światło o długości fali powyżej 2000 nm teoretycznie mogą mieć tłumienność 0.001 dB/km [1].

Absorpcja

Absorpcja jest procesem polegającym na konwersji energii pola elektromagnetycznego na inne formy energii (np. związanej z drganiami sieci). W czystym szkle kwarcowym absorpcja występuje zarówno w zakresie nadfioletu jak i w podczerwieni. Absorpcja w zakresie podczerwieni widoczna jest dla fal dłuższych od 1,6 μm . Inny problem stanowi absorpcja spowodowana zanieczyszczeniami. W obecnej chwili źródłem największego tłumienia włókien kwarcowych są jony (OH^-). Najsilniejsze straty związane z jonami OH^- występują na falach o długości 950, 1250 i 1380 nm (Rys. 1.2).

Zależą one od jakości technologii wytwarzania światłowodów, zwykle utrzymywana na niskim poziomie. W przypadku włókien kwarcowych, najniższa tłumienność wynosząca około 0,18 dB/km, osiągalna jest w okolicach 1550 nm. Wartość ta jest bardzo bliska fundamentalnej granicy związanej z rozpraszaniem Rayleigha. Dla większych długości fal tłumienie kwarcu wzrasta. Aby uzyskać włókna o tłumienności niższej od światłowodów kwarcowych należy zastosować inne materiały charakteryzujące się niską absorpcją samoistną w zakresie długofalowym.

Zgięcia makroskopowe i mikroskopowe

Zagięcia makroskopowe powstają głównie na etapie instalacji kabli światłowodowych. Gdy średnica zgięcia jest większa od 50 mm straty są zanedbywalnie małe. Zagięcia (odkształcenia) mikroskopowe powstają na skutek lokalnych zniekształceń geometrii włókna, lub niejednorodności współczynnika załamania.

Wymuszone rozpraszanie Ramana

Wymuszone rozpraszanie Ramana (Stimulated Raman Scattering SRS) jest nieliniowym procesem transferowania mocy, pomiędzy dwoma falami biegnącymi w tym samym kierunku z udziałem fal akustycznych, o częstotliwości, przy czym moc krótszej fali przekazywana jest częściowo fali dłuższej. Rozpraszanie Ramana jest oddziaływaniem szerokopasmowym i pokrywa praktycznie całe okno transmisyjne. Znaczy to, że energia kanałów położonych w dolnej części okna, będzie zakłócać transmisję współbieżną we wszystkich pozostałych kanałach w całym oknie. Rozpraszanie Ramana pojawia się poprzez dwa efekty: zmianę natężenia światła w poszczególnych kanałach oraz przenik zdalny. Pierwszy z nich można kompensować odpowiednią charakterystyką wzmocnienia, drugi ogranicza maksymalną moc jaką można transmitować w kanale składowym WDM. Wiązka SRS propaguje się w obu kierunkach. Progowa moc optyczna wynosi:

$$P_R = 5,9 \cdot 10^{-2} d^2 \lambda^2 \alpha_{dB} \nu \quad (4)$$

gdzie: d - średnica rdzenia światłowodu, α_{dB} - tłumienność włókna, ν - szerokość widma optycznego wiązki, λ - długość fali wiązki optycznej

Wymuszone rozpraszanie Brillouina

Wymuszone rozpraszanie Brillouina (Stimulated Brillouin Backscattering SBS) jest to zjawisko podobne do rozpraszania Ramana, ponieważ polega na oddziaływaniu fal świetlnych i dźwiękowych w światłowodzie. Powoduje przemianę częstotliwości i odwrócenie kierunku rozchodzenia się fali świetlnej. Padająca fala świetlna zamieniana jest na falę Stokesa o większej długości i jednocześnie wzbudzany jest foton akustyczny. Różnicą między rozpraszaniem Ramana jest fakt, że rozpraszanie Brillouina zachodzi w światłowodach jednodomowych jedynie w kierunku wstecznym, podczas gdy rozpraszanie Ramana zachodzi zarówno w kierunku zgodnym jak i przeciwnym do kierunku rozchodzenia się fali pompującej. Rozpraszanie Brillouina w niewątpliwy sposób zmniejsza moc fali rozchodzącej się w światłowodzie, ponieważ fala rozproszona wstecz zmniejsza moc fali pierwotnej, a w dodatku generuje potencjalnie silną falę rozproszoną w kierunku nadajnika. Widmo SBS jest bardzo wąskie i przesunięte o kilka GHz. Moc progowa efektu SBS wynosi:

$$P_b = 4,4 \cdot 10^{-3} d^2 \lambda^2 \alpha_{dB} \nu \quad (5)$$

gdzie: d - średnica rdzenia światłowodu, α_{dB} - tłumienność włókna, ν - szerokość widma optycznego wiązki, λ - długość fali wiązki optycznej

Źródła tłumienia w światłowodach

Do źródeł tłumienia w światłowodach zaliczamy straty materiałowe oraz straty falowodowe.

Straty materiałowe

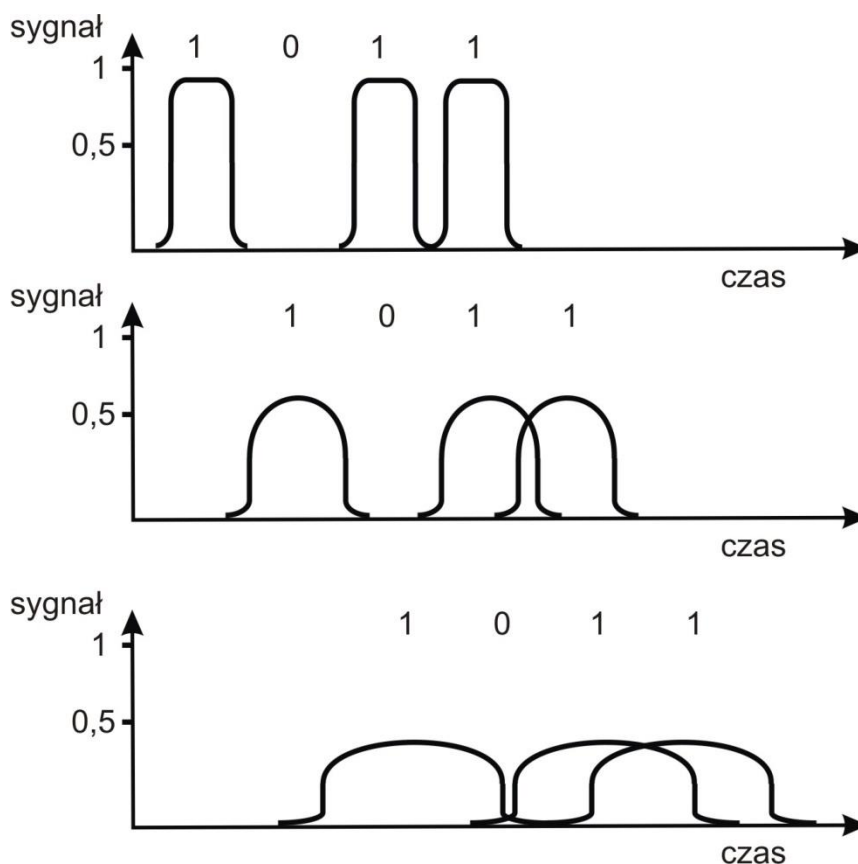
Większość światłowodów wykonana jest ze szkła kwarcowego SiO_2 . Światło ulega rozproszeniu z powodu fluktuacji gęstości materiału rdzenia, a ta spowodowana jest niedoskonałością struktury szkła. Dla czystego szkła kwarcowego stała materiałowa $k=0,8$, a tłumienność spowodowana rozproszeniem Rayleigha wynosi dla długości fali widzianej przez światłowód $l=850$ nm 1,53 dB/km, dla $l=1300$ nm 0,28 dB/km, a dla $l=1550$ nm 0,138 dB/km. Oprócz rozpraszania Rayleigha istnieje silna absorpcja zarówno w podczerwieni, jak i nadfiolecie związana bezpośrednio z samymi własnościami szkła krzemowego SiO_2 . Nie pozwala ona na wykorzystanie jeszcze dłuższych fal do transmisji.

Straty falowodowe

Straty falowodowe wynikają z niejednorodności światłowodu powodowanymi fluktuacjami średnicy rdzenia, zgięciami włókna, nierównomiernością rozkładu współczynnika załamania w rdzeniu i w płaszczu, oraz wszelkimi innymi odstępstwami od geometrii idealnego światłowodu cylindrycznego. Deformacje włókna mające duży wpływ na tłumienie światłowodu to mikrozmęczenia i makrozmęczenia.

Mikrozmęczenia powstają w procesie wytwarzania włókien i są to nieregularności kształtu rdzenia i płaszczu rozłożone wzdłuż włókna losowo lub okresowo. Wywołują w światłowodzie wielomodowym mieszanie się modów i ich konwersję w mody wyciekające do płaszczu. W światłowodzie jednomodowym mikrozmęczenia powodują natomiast rozmycie modu.

Tłumienie wywołane makrozmęczeniami, czyli wywołane fizycznym zakrzywieniem włókna światłowodowego, jest pomijalnie małe dla promieni zakrzywień większych od kilku centymetrów. Mniejsze powodują zmianę współczynnika załamania w obszarze zgięcia, co także prowadzi do tworzenia się modów wyciekających i uwidacznia się efektem świecenia włókna na powierzchni. Straty mocy sygnału powodowane są również przez przesunięcia, rozsunięcia oraz wzajemny obrót światłowodów.



Rys. 1.3 Zjawisko dyspersji

Impuls biegnący w falowodzie ulega wydłużeniu (rozmyciu), co ogranicza maksymalną częstotliwość sygnału przesyłanego przez falowód. Zjawisko to jest wynikiem dyspersji, fale świetlne biegnące w falowodzie nie mają dokładnie jednakowej długości fali, ale różnią się nieznacznie. W wyniku różnic w prędkości poruszania się fal o różnych długościach, fale wysłane jednocześnie nie docierają do odbiornika w tym samym czasie. W rezultacie na wyjściu pojawia się szerszy impuls, który rośnie wraz ze wzrostem długości światłowodu. Przepływność transmisyjna włókna jest, więc określona przez to, jak blisko siebie można transmitować kolejne impulsy bez ich wzajemnego nakładania się na siebie (przy zbyt bliskich impulsach zleją się one w światłowodzie w jedną ciągłą falę (Rys. 1.3)). Dyspersja ogranicza długość światłowodu, przez który może być transmitowany sygnał. Rozróżnia się dwa typy dyspersji – dyspersję międzymodową występującą w światłowodach wielomodowych oraz dyspersję chromatyczną występującą w włóknach jednomodowych.

Wykorzystanie w systemach światłowodowych większych długości fali przede wszystkim ok. 1300 nm, zamiast 830-900 nm wykorzystywanych w pierwszych systemach przynosi poważne korzyści, jeśli chodzi o dyspersję, gdyż dyspersja materiałowa w tym obszarze długości fali jest praktycznie równa zero. Co więcej, w miarę doskonalenia procesu produkcji włókna, zaczęło się okazywać, że dla bardzo suchych (o małej zawartości jonów OH) rodzajów szkła, można uzyskać dla fali 850 nm wartości tłumienności znacznie poniżej 3-5 dB/km, dla fali 1300 nm wartości tłumienności rzędu od 1 - 0,5 dB/km. i dla fali 1550 nm tłumienność rzędu 0,2 dB/km.

Dyspersja

Dyspersja to obok tłumienia i zjawisk nieliniowych jedno z najważniejszych zjawisk zachodzących podczas transmisji sygnału świetlnego światłowodem, które prowadzi do zniekształceń i wzrostu szumów zarówno w przypadku sygnałów analogowych, jak i cyfrowych. Zjawisko to polega na postępującym podczas propagacji falowodem rozmywaniu się impulsów świetlnych w wyniku różnic prędkości poruszania się czoła i zbocza opadającego impulsu, czyli na rozszerzeniu się w czasie i jednocześnie zmniejszeniu amplitudy. Podczas transmisji na relatywnie duże odległości rozmyte impulsy zaczynają się na siebie nakładać, jest to tzw. interferencja międzysymbolowa, która w efekcie prowadzi do błędów (Rys. 1.3).

Dyspersja modowa

Dyspersja modowa występuje w światłowodach wielomodowych. Impuls światła wiedziony przez światłowód jest superpozycją wielu modów, z których prawie każdy, na skutek różnych kątów odbicia od granicy rdzenia, ma do przebycia inną długość drogi między odbiornikiem a nadajnikiem.

Dyspersja modowa światłowodów skokowych przekracza znacznie wszystkie pozostałe dyspersje. Dodatkowo z powodu dużego tłumienia jednostkowego tych włókien docierający sygnał ma wyraźnie inny kształt i mniejszą amplitudę. Zniekształcenie to rośnie wraz z długością światłowodu. Ograniczenie dyspersji modowej i zwiększenie pasma światłowodów wielomodowych do 1200 MHz×km uzyskano wprowadzając włókna gradientowe.

Dyspersja chromatyczna

Dyspersja chromatyczna z racji tego, że światłowody jednomodowe propagują tylko jeden mod, nie występuje tutaj zjawisko dyspersji międzymodowej. Uwidacznia się natomiast inny, dotychczas niewidoczny rodzaj dyspersji, dyspersja chromatyczna. Składają się na nią dwa zjawiska: dyspersja materiałowa i falowa.

Dyspersja materiałowa

Dyspersja materiałowa powodowana jest zmianą współczynnika załamania szkła kwarcowego w funkcji długości fali. Ponieważ nie istnieje źródło światła ściśle monochromatyczne, gdyż każdy impuls światła składa się z grupy rozproszonych częstotliwości optycznych rozchodzących się z różną prędkością, docierający po przebyciu fragmentu włókna mod charakteryzuje się rozmyciem w czasie.

Dyspersja falowa

Dyspersja falowa częściowo powodowana jest wnikaniem wiązki do płaszcza światłowodu. Szybkość rozchodzenia się zależy od właściwości materiałowych.

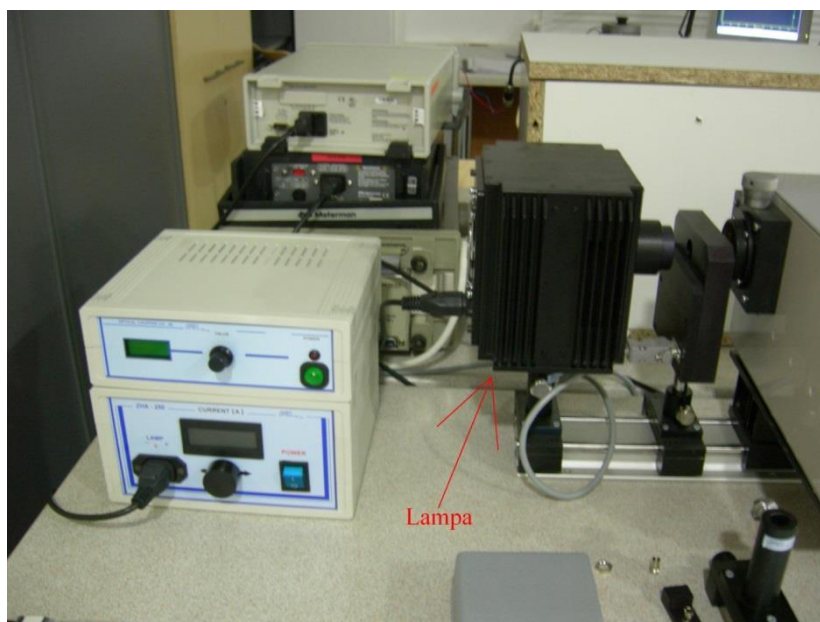
2) Układ pomiarowy do badania tłumienia

Opis stanowiska

Stanowisko do badania tłumienności światłowodów składa się z następujących elementów:

- Lampa –Rys. 2.1
- Zasilacz lampy ZHA -250 – Rys. 2.2
- Optical Chopper CH – 40 – Rys. 2.2
- Monochromator M250 300nm – 1200nm – Rys. 2.3
- Detektor światła
- Oscyloskop
- Kable światłowodowe

Wiązka światła białego wychodząca z lampy rozszczepia się w monochromatorze. Elementami rozszczepiającymi są pryzmaty i zwierciadła (4 elementy nieruchome i 1 ruchomy). Na wyjściu monochromatora umieszczony jest detektor światła, który podłączony jest do oscyloskopu.



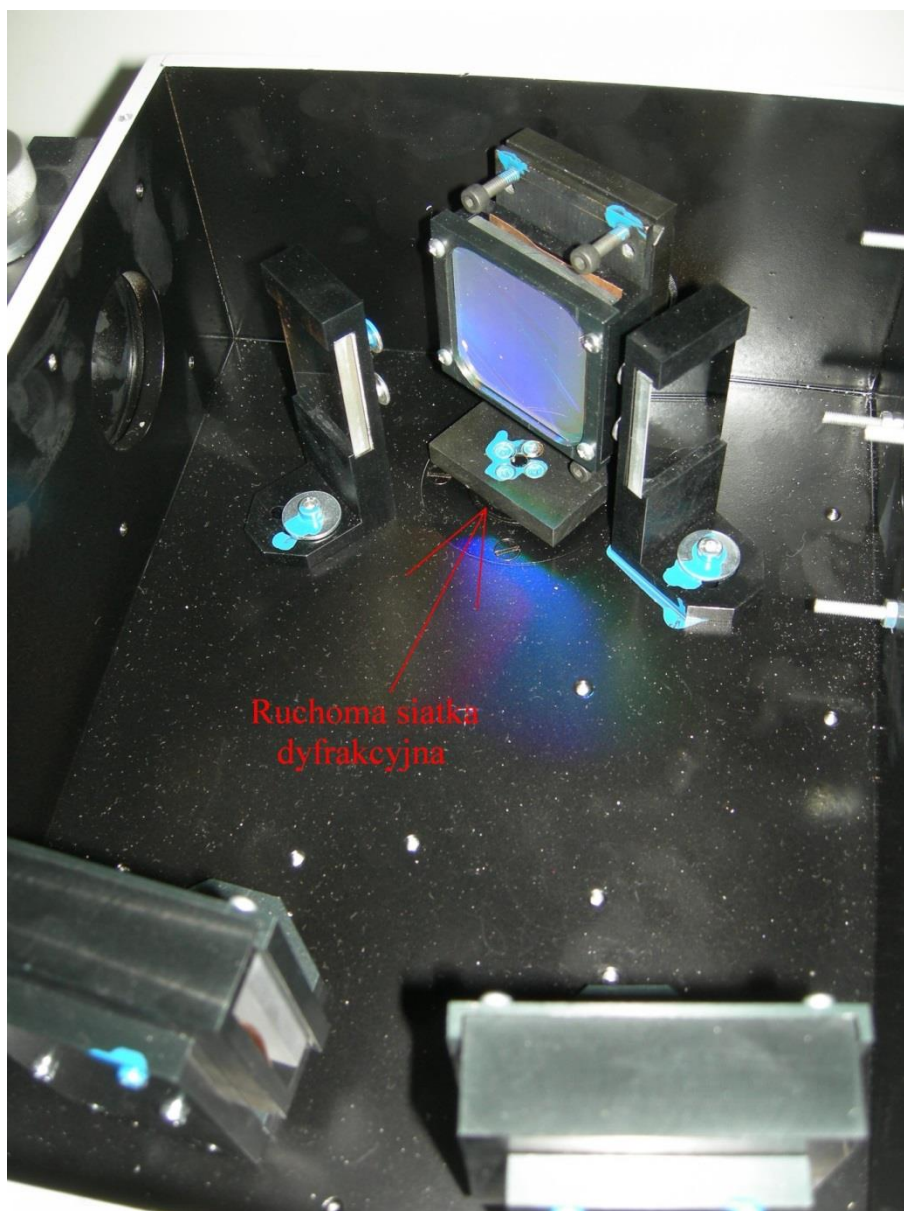
Rys. 2.1 Źródło światła w monochromatorze



Rys. 2.2 Zasilacz lampy ZHA – 250 i sterownik choppera optycznego CH- 40



Rys. 2.3 Monochromator M250



Rys. 2.4 Wnętrze monochromatora M250

2.1 Kalibracja Monochromatora M250

Przed wykonaniem pomiarów konieczna jest kalibracja Monochromatora M250.

Kalibracja dokładna.

Do dokładnej kalibracji może posłużyć np.: spektrometr podłączony do monochromatora za pomocą światłowodu. Przy użyciu pokrętki licznika monochromatora zmienia się położenie siatki dyfrakcyjnej, co dzięki zastosowaniu zwierciadeł zmienia długość fali. Wartość długości fali odczytuje się z wskazań spektrofotometru. Znając równocześnie wskazanie licznika monochromatora oraz wartości długości fali, można stworzyć zależność pozwalającą na obliczenie w łatwy sposób długości fali, mając dane

tylko wskazanie licznika. Wszystkie pomiary wykonuje się dla stałej wartości częstotliwości oraz wartości prądu lampy. Wyniki pomiarów należy przedstawić w tabeli (Tabela 1).

Tabela 1 Kalibracja Monochromatora M250

Lp.	Wskazanie licznika	λ [nm]
1	875,8	363,57

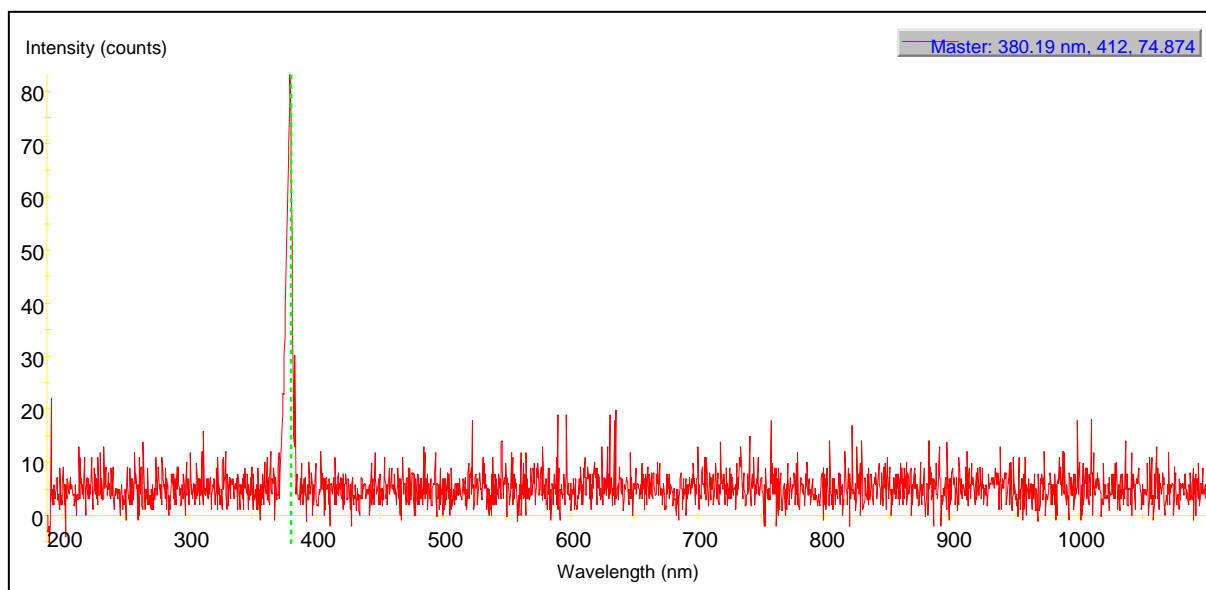
	0,0	550,00

	370,7	1049,68

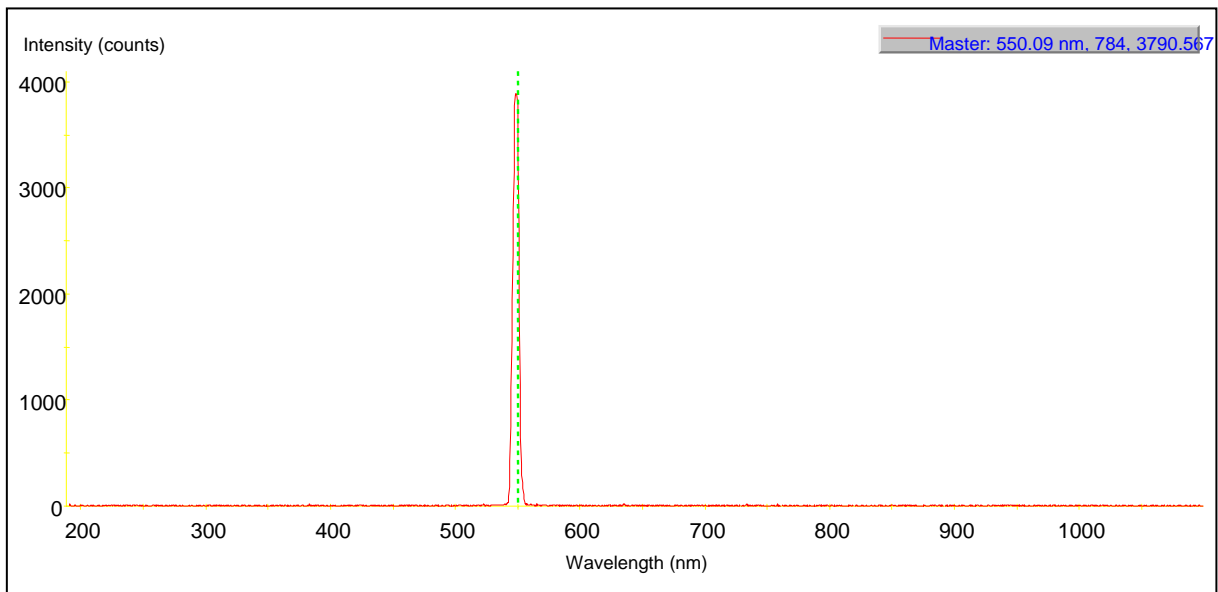
Prąd lampy – $I = 10,0A$

Częstotliwość – $f = 100Hz$

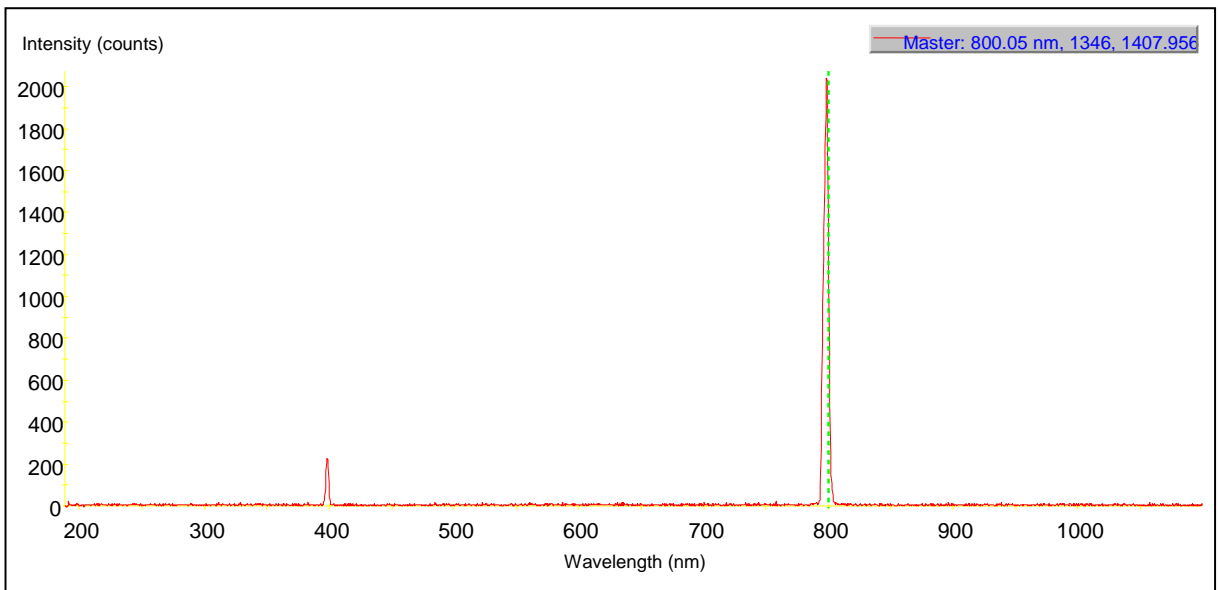
Długości fali 363,57nm oraz 1049,68nm są wielkościami granicznymi. Poniżej wartości 363,5nm fala znajduje się w zakresie szumów i odczyt jej jest niemożliwy. Analogicznie jest z wielkościami powyżej 1049,68nm. Zakres odczytu długości fali obejmuje 636,43nm (od 363,57 do 1049,68nm). Temu zakresowi odpowiadają 494,9 punkty licznika monochromatora (875,8 do 000,0 – 124,2pkt oraz od 000,0 do 370,7pkt). Wykonując proste działanie matematyczne otrzymujemy wartość długości fali odpowiadającą 1pkt wskazania licznika monochromatora. Jest to zatem 0,138nm. Punkt 0000 wskazania monochromatora jak i wartość długości fali 550,11nm stanowią punkt wyjściowy do dalszych obliczeń. Na rysunkach (Rys.2.5 - Rys.2.9) przedstawiono kilka przykładowych odczytów wartości długości fali podczas pomiarów spektrometrem.



Rys.2.5 Sygnał odczytany przy długości fali 380,19nm

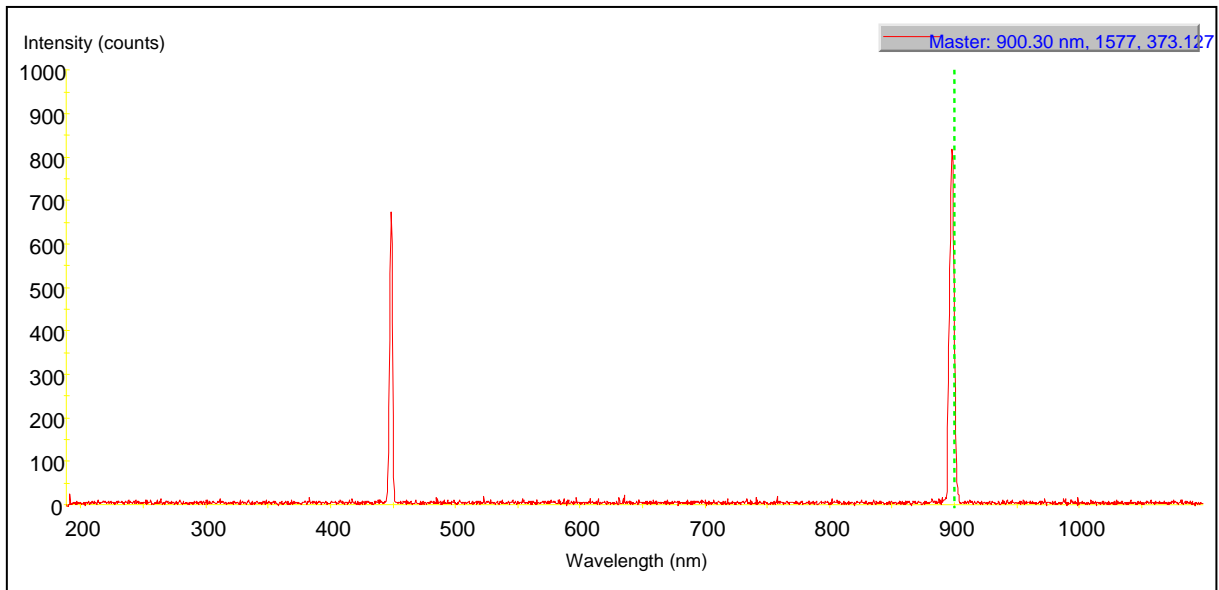


Rys.2.6 Sygnał odczytany przy długości fali 550,09nm



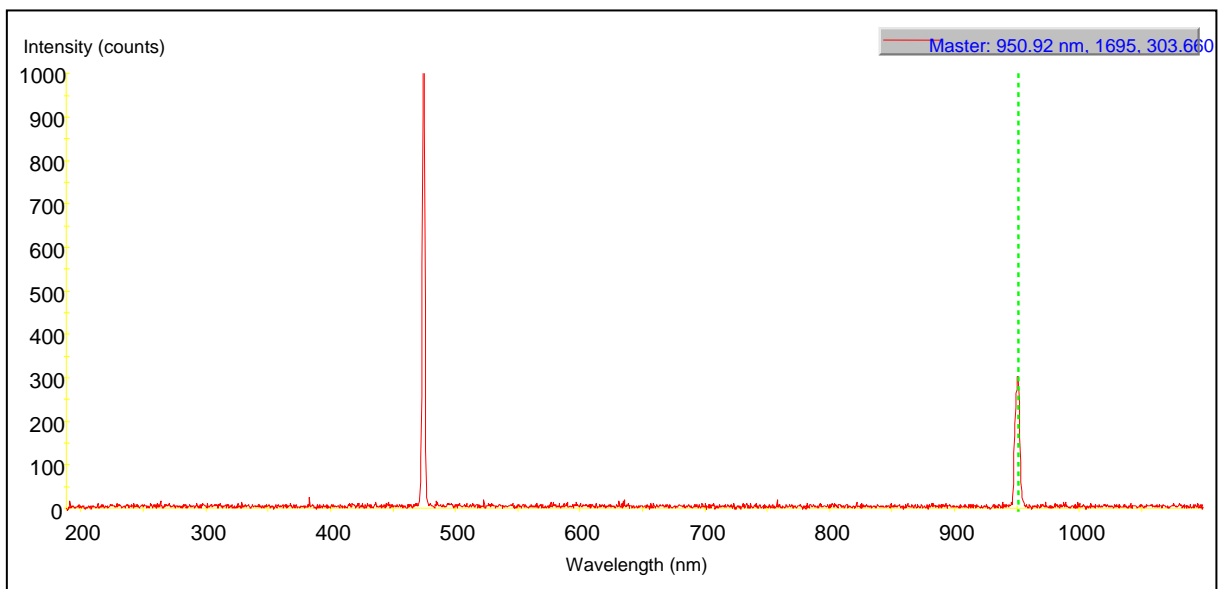
Rys.2.7 Sygnał odczytany przy długości fali 800,05nm

Na rysunku (Rys.2.7) widać, że oprócz sygnału głównego pojawił się drugi sygnał o długości fali równej połowie sygnału głównego, lecz o znacznie zmniejszonej intensywności. W praktyce oznacza to, że układ zwierciadeł obrócił się i efektywny pomiar charakterystyki będzie obarczony dużym błędem.



Rys.2.8 Sygnał odczytany przy długości fali 900,30nm

Na rysunku (Rys.2.8) widać, że intensywność drugiego sygnału jest niemalże zbliżona do intensywności sygnału głównego. Na oscyloskopie zauważalny w tym momencie będzie nagły wzrost amplitudy i zniekształcenie sygnału, oznacza to, że jest to graniczny punkt charakterystyki i bez zastosowania odpowiednich filtrów pomiary tym sposobem nie będą wiarygodne.



Rys.2.9 Sygnał odczytany przy długości fali 950,92nm

Na rysunku (Rys.2.9) widać, że intensywność drugiego sygnału znacznie przewyższa intensywność sygnału głównego. Największa intensywność tego sygnału występuje w przedziale 500-700nm. Istotnym jest więc zwrócenie uwagi na zakres spektralny wykonywanej charakterystyki.

Kalibracja pośrednia.

Uproszczony sposób kalibracji monochromatora związany jest ze znajomością długości fali odpowiednich barw. Tak wyliczony współczynnik jest obarczony dużym błędem, ponieważ związany jest z subiektywnym odbieraniem barw przez eksperymentatora. Wynik uzyskany tą metodą da jednak w miarę dokładny przebieg charakterystyki. Metoda uproszczona przebiega następująco:

- w pierwszej kolejności należy ustawić monochromator tak, aby na jego wyjściu pojawiła się barwa czerwona (630nm),
- błędy związane z subiektywnym pomiarem można zmniejszyć wykonując więcej pomiarów kolejnych barw dla znanych długości fali i uśredniając kolejno pomiary. Przykładowo w podobny sposób, nastawiając tym razem monochromator tak aby widoczna była barwa zielona (550nm).
- uzyskana w ten sposób poprawka powinna być uwzględniona we wszystkich wykonywanych pomiarach.
- zmniejszenie błędu związanego z pojawieniem się drugiej charakterystyki (Rys.2.9) polega na obserwowaniu wskazań oscyloskopu i barwy ferulli oświetlanej przez monochromator.
- kolejne powtórzenie się barw z zakresu widma widzialnego oznacza pojawienie się drugiej charakterystyki, dlatego do wykonania właściwej charakterystyki widmowej przyjmujemy zakres od momentu pojawienia się widma światła białego plus 10 jednostek (przykładowa wartość licznika 0,0) do „blokady mechanicznej” monochromatora (zapalenie się kontrolki i sygnał dźwiękowy (przykładowa wartość licznika 810,0)).
- należy odczytać wskazanie licznika i obliczyć błąd wskazania,
- obliczony mnożnik należy zastosować do korekty wszystkich wykonywanych pomiarów,
- po wykonaniu ćwiczenia ze względu na sposób działania monochromatora należy odpowiednio wyskalować pomiary (zwiększające się wartości licznika mogą zarówno zwiększać jak i zmniejszać długość fali).
- monochromator posiada blokadę mechaniczną układu optycznego, natomiast układ licznika takiej blokady nie posiada, więc możliwe jest „przekręcenie licznika” co może zmieniać jego stan początkowy.

Przykład obliczania poprawki wskazania:

$$\lambda = \lambda_r - \frac{(c_r - c) \cdot (\lambda_r - \lambda_g)}{(c_r - c_g)} = 630 - \frac{(376,0 - 265,0) \cdot (630 - 550)}{(376,0 - 329,0)} \approx 442 \quad (1)$$

gdzie:

c_g - wskazanie licznika dla barwy zielonej (329,0)

c_r - wskazanie licznika dla barwy czerwonej (376,0)

c - wartość licznika

λ_g - barwa zielona (550 nm)

λ_r - barwa czerwona (630 nm)

λ - szukana długość fali

Obliczanie wartości względnej odniesionej do odczytanej wartości maksymalnej zanotowanego napięcia

$$U_{MAX} = 252mV$$

$$U_i = 20mV$$

$$U[p.u.] = \frac{U_i [mV]}{U_{MAX} [mV]} = \frac{20[mV]}{252[mV]} = 0,0794[p.u] \quad (2)$$

Charakterystyka źródła światła:

$$\alpha = U_F(\lambda) + 1 - U_D(\lambda) \quad (3)$$

gdzie:

($U_{D[p.u.]}$ – wartość napięcia na detektorze, $U_{F[p.u.]}$ – wartość napięcia przeliczona dla tej samej długości fali co wartość napięcie na detektorze)

3) Przebieg ćwiczenia

3.1 Pomiar charakterystyki prądowej lampy i częstotliwościowej detektora.

Do wyznaczenia charakterystyki źródła światła należy użyć detektora światła podłączonego do oscyloskopu.

Przebieg pomiarów:

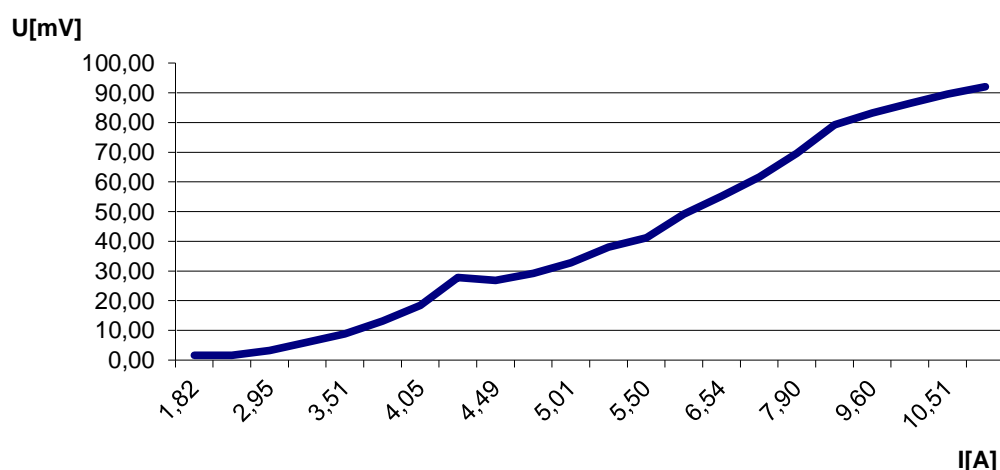
- uruchomić lampę światła białego, chopper mechaniczny i oscyloskop,
- ustawić licznik monochromatora tak, aby ma wyjściu widoczne było światło czerwone,
- ustawić przy wyjściu monochromatora detektor i podłączyć go do oscyloskopu,
- ustawić żadaną częstotliwość pracy choppera mechanicznego (np. 100 Hz),
- z oscyloskopu odczytywać wartość napięcia na detektorze (peak to peak) zmieniając prąd lampy,

Tabela 2 Przykład pomiarów charakterystyki prądowej dla $f = \text{const.} = 100\text{Hz}$

Lp.	I[A]	U[mV]
1	1,82	1,60
...
...	10,74	92,00

- po wykonanych pomiarach należy odręcznie sporządzić charakterystykę prądową i na jej podstawie określić optymalną wartość prądu (Rys. 3.1). Swój wybór należy uzasadnić.

UWAGA !!! Do dalszych pomiarów nastawić wartość prądu $\leq 10\text{A}$.



Rys. 3.1 Przykładowa charakterystyka prądowa lampy

- g) zmieniając częstotliwość pracy choppera należy wykonać charakterystykę częstotliwościową detektora (przykładowa tabela pomiarowa (Tabela 3)), podobnie jak w poprzednim punkcie należy odrębnie narysować charakterystykę, ustawić wybraną częstotliwość uzasadniając swój wybór,

Tabela 3 Pomiary charakterystyki częstotliwościowej przy $I = \text{const.} = 10,74\text{A}$

Lp.	f[Hz]	U[mV]
1	50	92,0

	400	87,2

- h) po wykonaniu ćwiczenia w sprawozdaniu należy przeliczyć napięcie na wartości względne [p.u.] obliczenia umieścić w tabeli i sporządzić wykres.

Wyznaczenie charakterystyk źródła światła ma na celu dobranie optymalnych parametrów do dalszych pomiarów.

3.2 Pomiar zależności długości fali od napięcia na wyjściu detektora - charakterystyka detektora.

Pomiary wykonujemy dla wartości prądu lampy i częstotliwości Choppera wyznaczonych z charakterystyk źródła światła (prąd lampy nie powinien przekroczyć wartości znamionowych równych 10A). Na wzmacniaczu lampy ustawiamy wartość optymalną prądu, a na chopperze wybraną wartość częstotliwości. Na wyjściu monochromatora M250 instalujemy detektor światła, tak, aby promień świetlny wpadał centralnie do detektora.

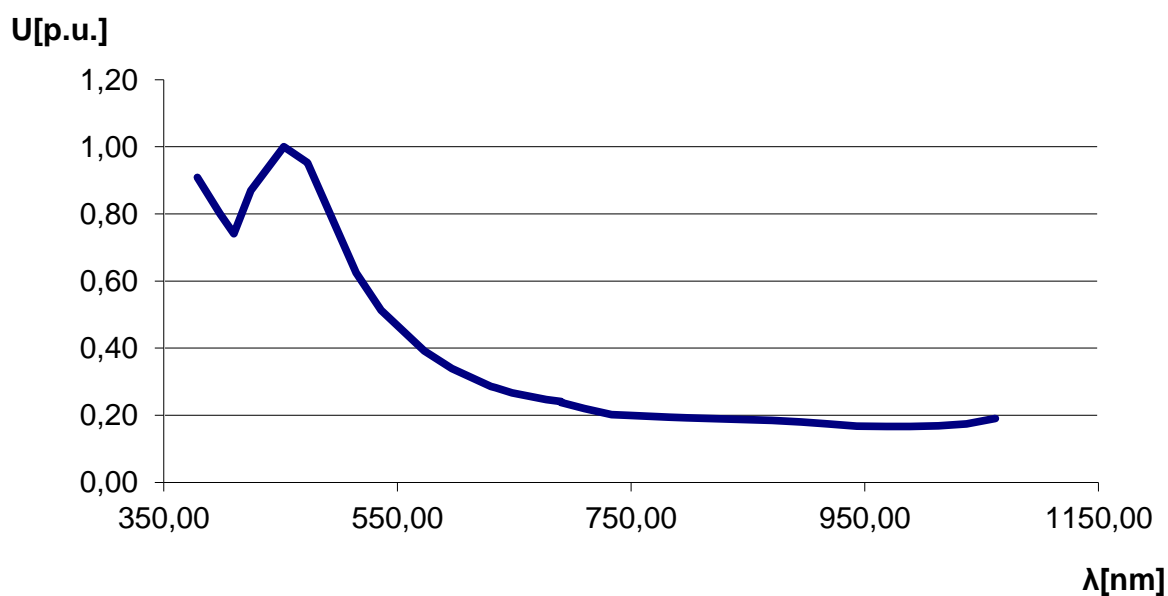
Przebieg pomiarów:

- ustawić odpowiednio dobrane parametry lampy światła czerwonego oraz choppera mechanicznego i oscyloskopu (wartości z poprzedniego pomiaru),
- dokonać kalibracji monochromatora (opis na końcu instrukcji do ćwiczenia),
- ustawić licznik w pozycji początkowej,
- zmieniając długość fali przy pomocy pokrętki monochromatora z krokiem zadany przez prowadzącego (min 20 jednostek) odczytywać zmianę napięcia na wyjściu detektora (oscyloskop wartość napięcia peak-peak),

- e) zapisać pomiary we wcześniej sporządzonej tabeli (Tabela 4).
- f) w celu ułatwienia interpretacji wyników, wartość napięcia przeliczyć na jednostki względne oraz narysować charakterystykę detektora (**Rys.3.2**).

Tabela 4 Przykładowe pomiary wartości napięcia na wyjściu detektora

Lp.	Wskazanie licznika	λ	Detektor	Światłowod1	Światłowod2	Światłowod3	Uwagi
			U	U	U	U	
		[nm]	[mV]	[mV]	[mV]	[mV]	
1			17,60	0,18	0,06		
2							
3							
		550					kolor zielony
		630					kolor czerwony



Rys.3.2 Przykładowa charakterystyka detektora w funkcji długości fali

3.3 Pomiar zależności długości fali od napięcia na wyjściu detektora - charakterystyka tłumienia światłowodu.

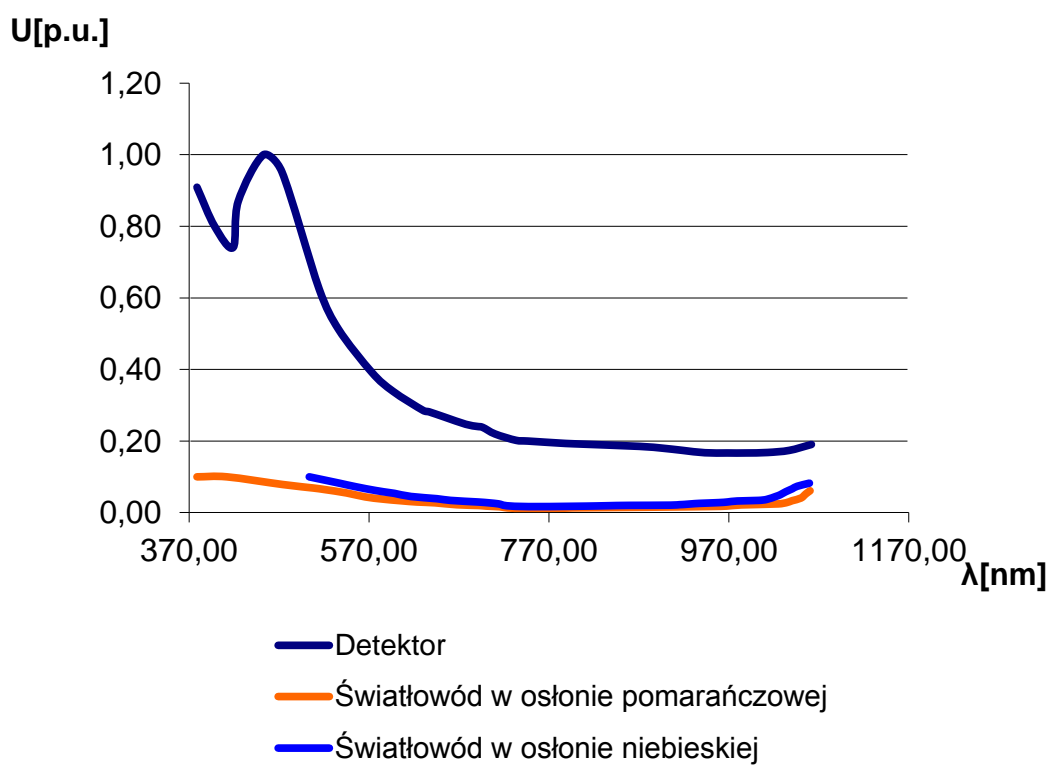
Pomiary napięcia na wyjściu detektora z światłowodem wykonuje się analogicznie do pomiarów napięcia na wyjściu detektora (bez światłowodu). Zamiast detektora na wyjściu monochromatora instalujemy specjalny uchwyt zakończony złączem typu ST, do którego przyłączamy światłowód oraz detektor.

Przebieg pomiarów:

- a) ustawić odpowiednio dobrane parametry lampy światła czerwonego oraz choppera mechanicznego i oscyloskopu (wartości z poprzedniego pomiaru),
- b) zjustować – wykorzystując manipulatory X-Y - położenie światłowodu tak, aby uzyskać maksymalny sygnał na oscyloskopie. W przypadku bardzo „słabego” sygnału na wyjściu światłowodu, zjustowanie przeprowadzić dla światła białego (wracając do pozycji wyjściowej licznika),
- c) przeprowadzić pomiary w całym spektrum emisyjnym monochromatora wykonując pomiary dokładnie w punktach w których wykonywany był pomiar dla detektora (Tabela 4) (pomiary zacząć od aktualnej wartości licznika inkrementacja czy dekrementacja nie wpływa na wartości pomiaru),
- d) powtórzyć pomiary dla kolejnego światłowodu zaczynając pomiar od aktualnej wartości licznika,
- e) po zakończeniu pomiarów ustawić monochromator tak aby na wyjściu pojawiło się światło czerwone.
- f) wykonać charakterystyki tłumienia sygnału optycznego w funkcji długości emitowanej fali umieszczając wszystkie wykonane charakterystyki na jednym wykresie z przeliczonymi wartościami napięcia do jednostek względnych (Rys. 3.3),
- g) wyniki pomiarów wraz z wartościami przeliczonymi zgodnie z przykładem (równania 1-3) lub wartościami doczytywanymi z urządzenia umieścić w tabeli (Tabela 5) (o sposób przeliczenia zapytać prowadzącego),
- h) wykonać charakterystyki tłumienia sygnału optycznego w funkcji długości emitowanej fali umieszczając wszystkie wykonane charakterystyki na jednym wykresie z przeliczonymi wartościami napięcia z uwzględnieniem korekty liniowości z wzoru 3,
- i) na podstawie wykonanych charakterystyk sformułować wnioski.

Tabela 5 Przykładowa tabela przeliczeniowa.

Lp.	Wskazanie licznika	λ	Detektor/światłowod1/światłowod2/itp.			Uwagi
			U	U	α	
		[nm]	[mV]	[p.u.]	[p.u.]	
1						
...



Rys. 3.3 Zależność długości fali od przeliczonego napięcia dla detektora i światłowodów.

Obsługa sterownika monochromatora.

Obsługa sterownika dokonywana jest przy użyciu panelu wyświetlacza umieszczonego na monochromatorze. Aby móc odczytywać długość fali z wyświetlacza, należy wcześniej przejść przez kilka etapów. Etapy te są odpowiedzialne za kalibrację sterownika. Przemieszczanie się między etapami wykonuje się poprzez przycisk „KALIBRACJA”.

Przycisk „RESET” służy do zresetowania układu w przypadku niepoprawnego działania oraz do powrotu do ekranu startowego. Należy jednak pamiętać, że po każdorazowym zresetowaniu układu, wymagane jest ponowne przeprowadzenie kalibracji.



Rys. 3.4 Wygląd panelu czołowego sterownika.

Procedura kalibracji:

1. Po podłączeniu zasilania na wyświetlaczu pojawi się komunikat o konieczności przeprowadzenia kalibracji.
2. Należy nacisnąć zielony przycisk „KALIBRACJA”.
3. Do wyboru mamy trzy rodzaje kalibracji: dokładna, pośrednia, licznik. Przemieszczanie się między nimi dokonuje się poprzez obrót pokrętła monochromatora. Wybór zatwierdzamy przyciskiem „KALIBRACJA”

Przykład:

KALIBRACJA DOKŁADNA

Po wybraniu kalibracji dokładnej pojawia się komunikat o ustawieniu stanu początkowego. Tym stanem jest blokada mechaniczna monochromatora. Należy obracać w prawo pokrętło monochromatora, aż zapali się dioda ostrzegawcza. Stan tuż przed zapaleniem się diody jest stanem początkowym, niezbędnym do wykonania pomiarów. Przy takim ustawieniu pokrętła należy wcisnąć przycisk „KALIBRACJA” w celu przypisania licznikowi odpowiedniej wartości. Po tej czynności pojawia się komunikat o dokonaniu zmiany wartości licznika. Komunikat zatwierdzić zielonym przyciskiem.

KALIBRACJA POŚREDNIA

Ten rodzaj kalibracji jest mniej dokładny, ponieważ zależy od subiektywnego odbierania barw przez osobę dokonującą kalibracji. Należy ustawić pokrętło monochromatora w takiej pozycji, aby na wyjściu pojawiło się światło barwy czerwonej, a następnie zatwierdzić zielonym przyciskiem. Tą samą czynność należy powtórzyć dla barwy zielonej. Wartości na wyświetlaczu przedstawiają wskazania licznika dla barwy czerwonej „cz:” oraz dla barwy zielonej „z:”.

Po dokonaniu kalibracji, następuje wyświetlenie długości fali obliczonej przez program sterownika. Wartość długości fali zmieniamy za pomocą pokrętła monochromatora.

W sprawozdaniu uwzględnić:

- A. Schematy pomiarowe*
- B. Wyniki pomiarów, przeliczenia, wykresy*
- C. Wnioski i komentarze do otrzymanych wyników*

Pytania kontrolne

- Opisz budowę światłowodu,
- Jakie czynniki wpływają na straty w światłowodach,
- Opisz budowę i zasadę działania monochromatora,
- Co to jest barwa światła,
- Jakie środki ostrożności należy zachować i dlaczego podczas eksploatacji torów światłowodowych.