

ĆWICZENIE 3

POMIARY CHARAKTERYSTYK SPEKTRALNYCH ŚWIATŁOWODÓW WŁÓKNISTYCH

PLAN ĆWICZENIA:

1. Ocena efektywności sprzężenia promieniowania optycznego do światłowodów szklanych.
2. Pomiar charakterystyki spektralnej dla wielomodowego światłowodu telekomunikacyjnego.
3. Polerowanie powierzchni czołowych światłowodów plastikowych i ocena jakości uzyskanych powierzchni.
4. Ocena efektywności sprzężania promieniowania optycznego do światłowodów plastikowych.
5. Pomiar charakterystyki spektralnej światłowodu plastikowego.

ZAGADNIENIA DO PRZYGOTOWANIA:

1. Charakterystyki spektralne światłowodów szklanych i plastikowych
2. Czynniki wpływające na tłumienie światłowodów
3. Metody pomiaru tłumienia we włóknach światłowodowych (metoda odcięcia, metoda wtrąceniowa)

Literatura:

1. Wykład
2. Midwinter Światłowodowy telekomunikacyjne
3. Palais Zarys telekomunikacji światłowodowej
4. Szustakowski Elementy techniki światłowodowej

Zajęcia odbywają się w p.410

POMIAR CHARAKTERYSTYK SPEKTRALNYCH ŚWIATŁOWODÓW WŁÓKNISTYCH

1. Wstęp

Tłumienie sygnału optycznego przenoszonego światłowodem jest jednym z podstawowych parametrów wykorzystywanym przy projektowaniu światłowodowego systemu telekomunikacyjnego. Istotnym parametrem użytkowym łącza transmisyjnego jest poziom mocy optycznej docierającej do detektora [1], stąd konieczna jest znajomość przebiegu tzw. charakterystyki spektralnej światłowodu, czyli zależności tłumienności światłowodu α [dB/km] w funkcji długości fali świetlnej λ [μm]. Pojawiające się na omawianej charakterystyce minima tłumienności - tzw. okna transmisji - określają, które długości fal świetlnych powinny być stosowane w łączach światłowodowych.

Istnieje kilka metod pomiaru tłumienia światłowodów włóknistych m.in. metoda odcięcia, metoda rozpraszania wstecznego oraz metoda wtrąceniowa [2]. W ramach ćwiczenia zaprezentowana zostanie metoda wtrąceniowa, która zaliczana jest do tzw. metod nieniszczących, gdyż nie wymaga odcinania przy każdorazowym pomiarze odcinka włókna światłowodu.

2. Metoda wtrąceniowa pomiaru charakterystyki spektralnej światłowodu włóknistego

Metoda wtrąceniowa polega na pomiarze mocy optycznej na wyjściu badanego odcinka światłowodu, przy założeniu, że znamy moc optyczną wiązki optycznej wprowadzonej do światłowodu (rys. 1). Jako moc wejściową przyjmuje się moc zmierzoną na wyjściu krótkiego odcinka światłowodu traktowanego jako światłowód odniesienia. Następnie tłumienność jednostkowa światłowodu o długości l jest wyznaczana ze wzoru:

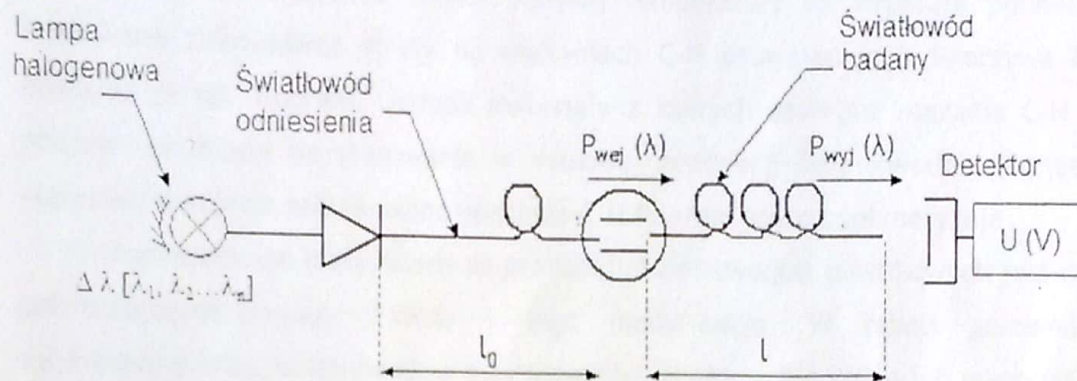
$$\alpha(\lambda) = \frac{10}{l} \log_{10} \left(\frac{P_{\text{wyj}}(\lambda)}{P_{\text{wej}}(\lambda)} \right) \quad [\text{dB/km}] \quad (1)$$

gdzie:

l - długość mierzonego światłowodu, podawana w [km] dla światłowodów szklanych lub w [m] dla światłowodów polimerowych

$P_{wyj}(\lambda)$ - moc optyczna na wyjściu badanego odcinka światłowodu o długości l w funkcji długości fali λ

$P_{wej}(\lambda)$ - moc optyczna na wyjściu badanego krótkiego-referencyjnego odcinka światłowodu o długości l_0 w funkcji długości fali λ (traktowana jako moc wejściowa dla badanego odcinka światłowodu o długości l).



Rys. 1. Schemat ilustrujący zasadę pomiaru tłumienia metodą wtrąceniową

Ponieważ sygnał napięciowy na wyjściu detektora jest wprost proporcjonalny do poziomu mocy optycznej $U-P_{opt}$, ostatecznie tłumienność określamy z zależności:

$$\alpha(\lambda) = \frac{10}{l} \log_{10} \left(\frac{U_{wyj}(\lambda)}{U_{wej}(\lambda)} \right) \quad [dB/km] \quad (2)$$

gdzie:

$U_{wyj}(\lambda)$ - sygnał napięciowy pojawiający się na wyjściu detektora umieszczonego na końcu badanego odcinka światłowodu o długości l (w funkcji długości promieniowania) dla długości fal od λ_1 do λ_n

$U_{wej}(\lambda)$ - sygnał napięciowy pojawiający się na wyjściu detektora umieszczonego na końcu badanego światłowodu odniesienia (krótkiego; o długości np. do 1 m) traktowany jako sygnał wejściowy badanego światłowodu o długości l w funkcji długości promieniowania

3. Właściwości światłowodów polimerowych

Przedmiotem badań w omawianym ćwiczeniu będzie światłowód polimerowy, tak więc poniżej omówiono jego właściwości spektralne.

Źródła tłumienia światłowodu plastikowego można podzielić na zewnętrzne i wewnętrzne [3]. Czynniki zewnętrzne to zanieczyszczenia, mikropęknięcia i pęcherze powietrza. Eliminowanie ich jest możliwe poprzez utrzymanie odpowiedniej czystości procesu technologicznego. Najważniejsze czynniki wewnętrzne to: straty na przejściach elektronowych, straty na oscylacjach wiązań C-H, straty powstające na skutek wpływu temperatury na strukturę polimeru. Próbowano zlikwidować straty na wiązaniach C-H usuwając je z tworzywa lub blokując je np. fluorem. Jednak materiały z których usunięto wiązania C-H są obecnie za drogie do stosowania w masowej produkcji światłowodów. Ponadto materiał, w którym zablokowano wiązania C-H fluorem trudno polimeryzuje.

Podstawowym materiałem do produkcji światłowodów plastikowych jest dziś poli-metylo-metakrylan (PMMA) i jego modyfikacje. W tabeli porównano tłumienności kilku światłowodów plastikowych wykonanych z PMMA lub materiałów pokrewnych.

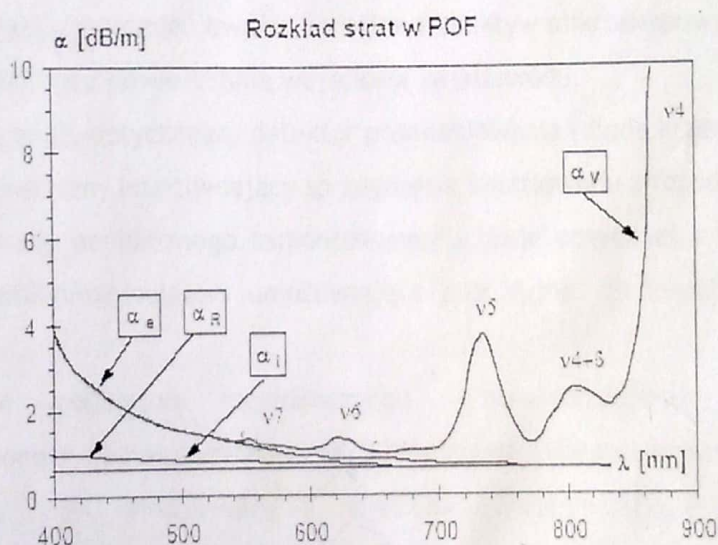
Tab.1. Właściwości optyczne światłowodów polimerowych opartych na PMMA

Lp.	Typ włókna	Tłumienność przy danej długości fali (dB/km)			Minimalna tłumienność (dB/km)
		570 nm	650 nm	780 nm	
1.	MMA-BB	90	113	840.5	90 (572 nm)
2.	MMA-BBP	167	132	780	132 (652 nm)
3.	MMA-BEN	108	131	780	129 (573 nm)
4.	PMMA-d	128	65.7	94	56 (688 nm)

Na rys. 2 przedstawiono charakterystykę spektralną światłowodu polimerowego wraz z zaznaczonymi na niej oknami transmisji. Interesujące dla zastosowań transmisyjnych POF (Plastic Optic Fiber) są dwa okna optyczne: $\lambda = 560$ nm i $\lambda = 650$ nm (rys. 2). Zakres bliskiej podczerwieni (ok. 750 nm ÷ 850 nm) jest wykorzystywany głównie dla zbudowanych ze światłowodów polimerowych przyrządów optoelektronicznych, takich jak: czujniki światłowodowe, sieci wykorzystywane do transmisji danych [4] itd., mających współpracować ze światłowodem klasycznym ($\lambda = 855$ nm). Szybkość transmisji dla obecnie otrzymywanych światłowodów dochodzi do 10 Mb/s dla włókien ze skokowym rozkładem współczynnika załamania oraz 2.5÷3 Gb/s dla włókien gradientowych [1].

Przez długi czas głównym ograniczeniem szybkości transmisji były jednak nie parametry włókna polimerowego, lecz brak odpowiednio szybkich nadajników i detektorów dla długości fal λ z zakresu 560 nm ÷ 650 nm. W 1995r. pojawiły się pierwsze doniesienia o transmisji z użyciem szybkiej diody ($\lambda = 647$ nm). W tym też oknie optycznym należy się spodziewać rozwoju głównych badań, o ile technologia nowych materiałów półprzewodnikowych nie dostarczy nam nadajników i detektorów dla długości fali 560 nm.

Dla materiałów takich jak PMMA lub PS głównym składnikiem tłumienia w zakresie widzialnym i bliskiej podczerwieni, są straty wewnętrzne indukowane przez drgania wiązań węglowo-wodorowych C-H ($\alpha \nu$) [3]. Mimo iż rezonans podstawowy tego wiązania występuje w zakresie podczerwieni nie wykorzystywanym do transmisji ($\lambda = 3390$ nm), to drgania harmoniczne - (νn) oraz kombinacje tych drgań i częstotliwości normalnych wiązań ($\nu n + \delta$), występują w obszarze obu okien transmisyjnych i poważnie wpływają na tłumienie światła w polimerze (Rys. 2).



Rys. 2. Charakterystyka spektralna tłumienia światłowodów polimerowych wykonanych z PMMA. Obszar przydatny dla telekomunikacji światłowodowej znajduje się w zakresie 550 nm - 700 nm [3]

Głównym kierunkiem badań prowadzącym do zmniejszenia strat wewnętrznych było opracowywanie polimerów z mniejszą ilością wiązań C-H. Z reguły czyni się to poprzez podstawienie wodoru przez cięższe pierwiastki takie

jak: deuter D, chlor Cl, fluor F, grupę C=O lub OH. Uzyskuje się w ten sposób przesunięcie częstotliwości harmoniczych w kierunku dłuższych fal. Deuteryzowanie polimerów daje bardzo dobre wyniki - uzyskuje się materiały o stratach rzędu 20 dB/km w zakresie czerwieni, włókna te są jednak bardzo drogie. W chwili obecnej główne poszukiwania materiałowe idą w kierunku fluoropolimerów (podstawnikiem jest chlor lub fluor). Niestety takie modyfikacje monomerów powodują czasami, iż ich polimeryzacja jest utrudniona lub w ogóle nie zachodzi.

4. Stanowisko pomiarowe

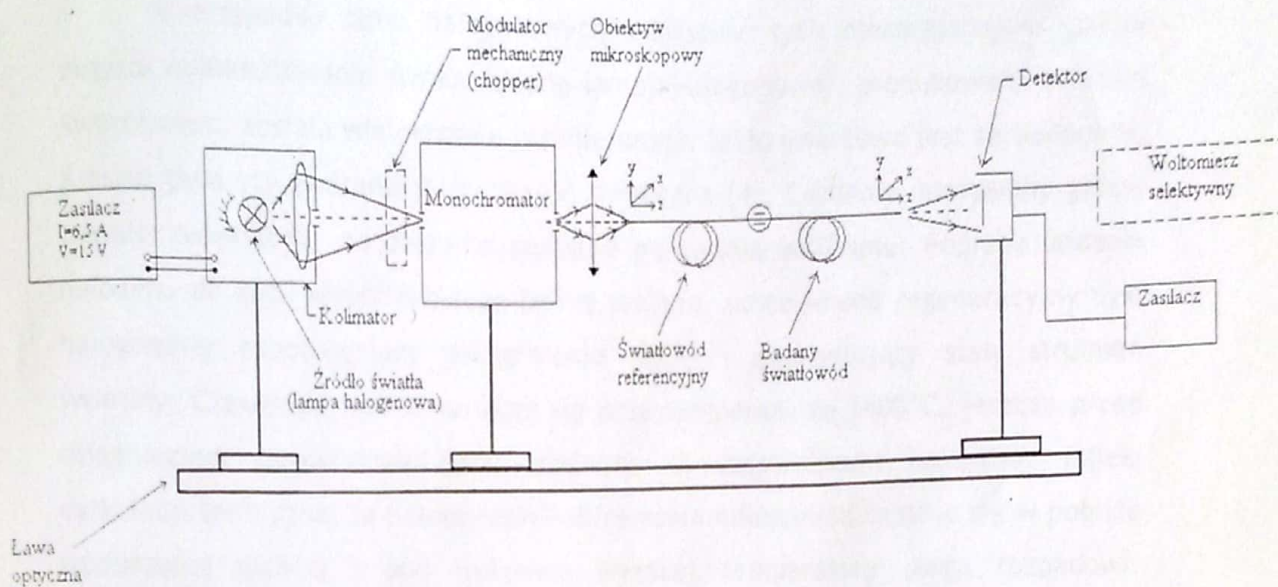
Schemat stanowiska do pomiaru charakterystyk spektralnych światłowodów włóknistych przedstawiono na rys. 3.

W skład układu pomiarowego wchodzi:

- źródło światła; którym jest lampa halogenowa, monochromator i mechaniczny układ do modulacji sygnału optycznego z zadaną częstotliwością,
- układ sprzęgający promieniowanie świetlne (obiektyw mikroskopowy) wychodzące z monochromatora z powierzchnią wejściową światłowodu,
- odbiornik sygnału optycznego, detektor promieniowania (dioda krzemowa),
- moduł mechaniczny umożliwiający sprzęgnięcie światłowodu z fotodetektorem.

Elementy układu pomiarowego zamontowano na ławie optycznej i wyposażono w precyzyjne mikromanipulatory umożliwiające precyzyjne justowanie elementów układu.

Zastosowanie modulatora mechanicznego i nanowoltomierza selektywnego umożliwia pomiar sygnału użytecznego, który niesie informacje o właściwościach światłowodu i jest modulowany z określoną częstotliwością f (częstotliwość choppera). Wówczas, nanowoltomierz mierzy tylko składową napięcia na detektorze dla danej częstotliwości choppera.



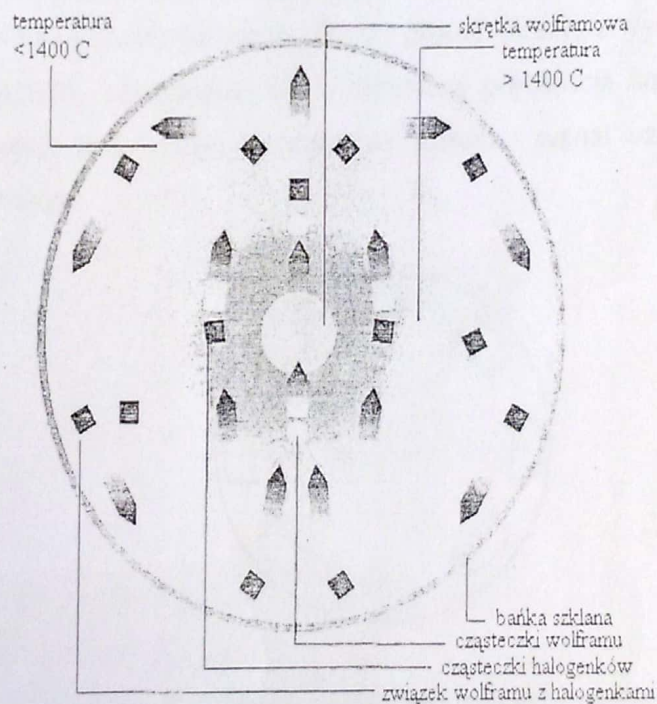
Rys. 3. Schemat układu do pomiarów charakterystyk spektralnych światłowodów włóknistych

Źródło światła

Lampa halogenowa; to źródło o szerokiej charakterystyce spektralnej, obejmującej zakres promieniowania od ultrafioletu (100 nm do 400 nm), poprzez promieniowanie widzialne (400 nm do 700 nm) do bliskiej podczerwieni (700 nm do 2 μm) (załącznik nr 1 do instrukcji).

Lampy halogenowe, podobnie jak żarówki, są promiennikami ciepła. Skrętka wykonana z żaroodpornego wolframu znajduje się w szklanej bańce wypełnionej gazem obojętnym z dodatkiem halogenu, którym zazwyczaj jest jod (rys. 4). Dzięki przepływowi prądu elektrycznego przez drut wolframowy, rozżarza się on, wytwarzając energię cieplną i świetlną. Żarzenie skrętki powoduje parowanie cząsteczek wolframu, które osadzają się jako czarny osad wewnątrz bańki szklanej. Wraz ze wzrostem ciśnienia mieszaniny gazów wypełniających bańkę powyżej ciśnienia atmosferycznego proces ten zostaje zahamowany. Wymaga to zapewnienia wystarczającej wytrzymałości mechanicznej bańki żarówki. Realizuje się to przez zdecydowane zmniejszenie jej wymiarów i użycie szkła (np. kwarcowego) o wysokiej temperaturze mięknięcia i dużej odporności na szoki termiczne. Pomimo obniżenia parowania wolframu w zminiaturyzowanych bańkach żarówek halogenowych następuje ich szybkie ciemnienie. Zapobiega się temu niekorzystnemu zjawisku przez wprowadzenie, do gazu wypełniającego bańkę

W przypadku lamp halogenowych większość tych niekorzystnych zjawisk została wyeliminowana. Bańka szklana lampy halogenowej, produkowana ze szkła kwarcowego, została wielokrotnie pomniejszona. Szkło kwarcowe jest żaroodporne, a małe gabaryty gwarantują stabilność termiczną [4]. Ciśnienie mieszaniny gazów zostało zwiększone, co zwolniło szybkość parowania wolframu. Poprzez dodanie halogenu do gazu wypełniającego bańkę szklaną, umożliwiono regeneracyjny cykl halogenowy zapobiegający zaczernieniu bańki i gwarantujący stały strumień świetlny. Cząsteczki wolframu łączą się przy temperaturze 1400°C , jeszcze przed osiągnięciem powierzchni bańki szklanej, z cząsteczkami halogenu. Dzięki cyrkulacji termicznej ta halogenowo-wolframowa mieszanina dostaje się w pobliże rozżarzonej skrętki i pod wpływem wyższej temperatury ulega rozpadowi. Cząsteczki wolframu osadzają się ponownie na skrętce, a cząsteczki halogenu powracają do obiegu.



Rys. 4. Efekt halogenowy zachodzący w lampie [5]

Zastosowanie efektu halogenowego ma więc dużo zalet:

- więcej światła, przy tej samej mocy lampy, dzięki wyższej temperaturze skrętki,
- dłuższa trwałość dzięki stałemu odnawianiu się skrętki,

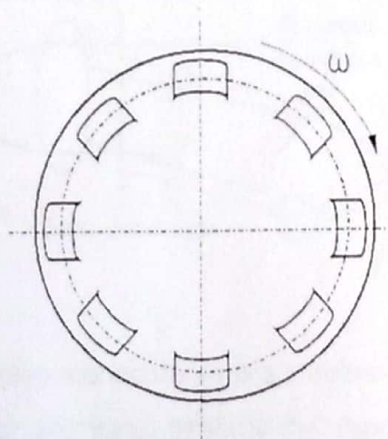
Cząsteczki wolframu osadzają się ponownie na skrętce, a cząsteczki halogenu powracają do obiegu.

Zastosowanie efektu halogenowego ma więc dużo zalet:

- więcej światła, przy tej samej mocy lampy, dzięki wyższej temperaturze skrętki,
- dłuższa trwałość dzięki stałemu odnawianiu się skrętki,
- stały strumień świetlny w ciągu całego okresu eksploatacji w rezultacie nie zaczernienia bańki szklanej.

Modulator mechaniczny - Chopper

Chopper przeznaczony do modulacji (z daną częstotliwością) wiązki światła sprzężonej do światłowodu w celu przeprowadzenia pomiaru nie obciążonego zakłóceniami zewnętrznymi (minimalny wpływ sygnałów zakłócających na wyniki pomiarów), jakimi są szumy optyczne. Ma on postać tarczy, z wykonanymi na jej obwodzie wycięciami, obracającej się z określoną prędkością kątową ω (rys.5). Chopper stosowany jest w celu zwiększenia stosunku sygnał użyteczny-szum w układzie pomiarowym.



Rys. 5. Budowa modulatora mechanicznego

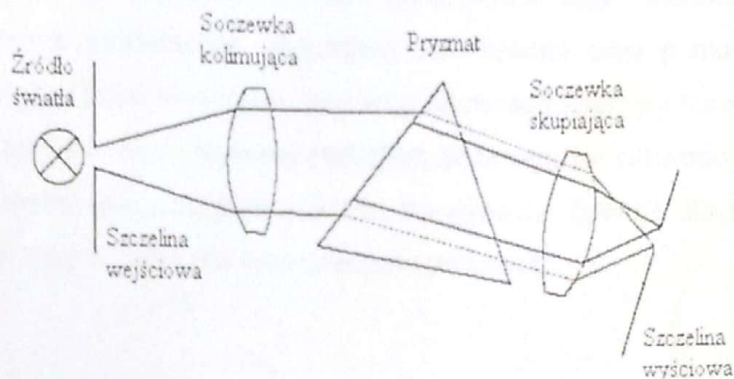
Monochromator

Monochromator jest przyrządem, który ze światła szerokopasmowego emitowanego przez źródło (lampę halogenową), wydziela z całego widma promieniowania padającego na szczelinę wejściową długość fali wprowadzaną do światłowodu. Najprościej mówiąc monochromator składa się z dwóch szczelin

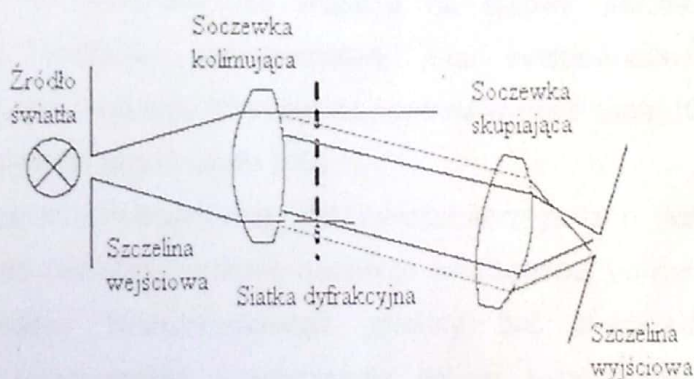
(wejściowej i wyjściowej) oraz elementu dyspersyjnego, który ma przestrzennie rozseparować długości fal $\lambda_1 \dots \lambda_n$.

Przestrzajanie zakresu długości fali przeprowadza się za pomocą pokrętła mikrometrycznego. Elementem dyspersyjnym może być pryzmat (rys. 6a) lub siatka dyfrakcyjna (rys. 6b). W obydwu tych elementach wykorzystujemy fakt, że kąt ugięcia wiązki światła zależy od jej długości.

a)



b)



Rys. 6. Schemat najprostszego monochromatora z elementem dyspersyjnym w postaci: a) pryzmatu, b) siatki dyfrakcyjnej

Pierwotnie stosowano monochromatory zbudowane z zastosowaniem pryzmatu, następnie z siatki dyfrakcyjnej. Zasada działania monochromatora, w którym element dyspersyjny stanowi pryzmat jest następująca: źródło światła oświetla szczelinę wejściową ustawioną w ognisku przedmiotowym soczewki kolimującej, dzięki czemu promienie są względem siebie wzajemnie równoległe. Wiązka promieni równoległych padając na pryzmat zostaje

rozszczepiona w ten sposób, że wiązki o różnych barwach propagują się pod różnymi kątami w zależności od ich długości fali. Soczewka skupiająca wytwarza obrazy szczeliny na ekranie szczeliny wyjściowej dla każdej długości fali, jaka występowała w źródle. Schemat na rysunku 6b przedstawia monochromator wykorzystujący jako element dyspersyjny transmisyjną siatkę dyfrakcyjną.

Układ sprzęgania światła do światłowodu

Światło emitowane przez źródło i po przejściu przez monochromator jest zogniskowane na powierzchni wejściowej światłowodu przy pomocy obiektywu mikroskopowego. Dobór obiektywu (pod względem jego apertury numerycznej (NA) i powiększenia) jest uwarunkowany rodzajem badanego światłowodu (o określonej aperturze numerycznej). Typowe wartości NA wynoszą: $0,4 \div 0,5$ dla światłowodów polimerowych oraz $0,1 \div 0,3$ dla światłowodów szklanych.

Światłowód

Długość odcinka badanego światłowodu zależy od rodzaju materiału, z którego jest on wykonany (ze względu na typowe wartości tłumienności wymienionych rodzajów światłowodów). Dla światłowodów polimerowych minimalna długość badanego światłowodu powinna wynosić około 100 m, natomiast dla światłowodów szklanych około 1000 m.

Dla uzyskania maksymalnej efektywności sprzęgania (i odprzęgania mocy optycznej) z powierzchnią czołową badanego światłowodu, powierzchnie czołowe badanego włókna światłowodowego powinny być zwierciadłanie gładkie, pozbawione zanieczyszczeń i prostopadłe do osi światłowodu. Dobrą jakość powierzchni czołowych, dla światłowodów szklanych i polimerowych, uzyskamy poprzez stosowanie narzędzi do obróbki światłowodów do których należą obcinarki włókien światłowodowych oraz zestawu do czyszczenia i polerowania światłowodów, tj. acetonu, wacików higienicznych i papieru ściernego o różnych stopniach gradacji.

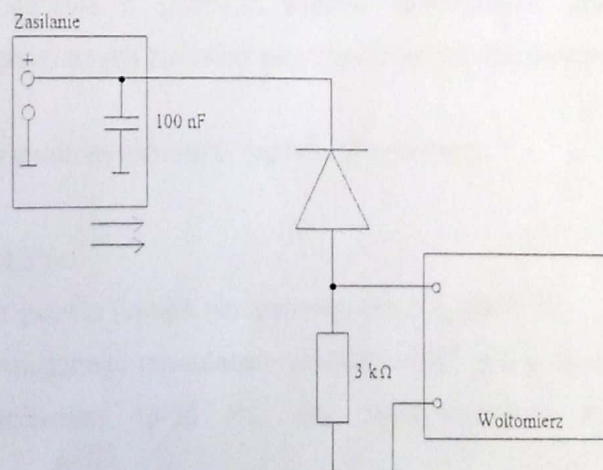
Detektor

Detektor zamienia sygnał optyczny na sygnał napięciowy. Powinien on charakteryzować się dużą czułością w mierzonym zakresie spektralnym. Dla włókien

plastikowych może to być fotodioda krzemowa, przy pomiarach włókien szklanych należy stosować fotodiody germanowe lub InGaAs.

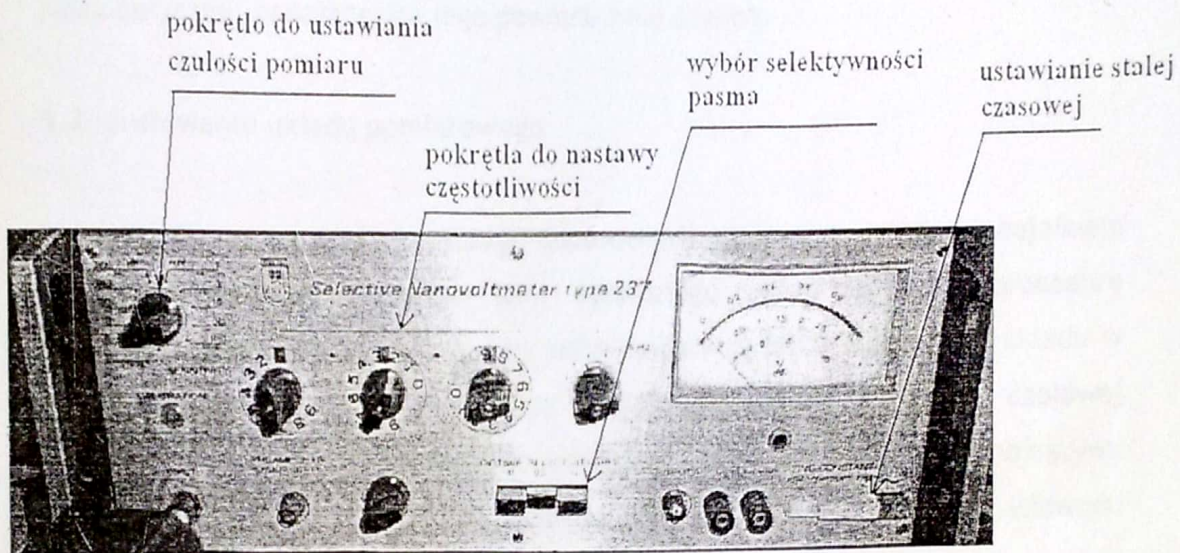
Woltomierz selektywny

Działanie woltomierza selektywnego (rys. 7) polega na tym, iż napięciowy sygnał wejściowy po przejściu przez wzmacniacz wstępny o dobieranym wzmacnieniu (określającym czułość przyrządu) trafia do aktywnego filtra o regulowanej częstotliwości rezonansowej i dobroci. Za pomocą tego filtra wybierana jest częstotliwość, dla której dokonany zostanie pomiar. Kształt przebiegu po wzmacnieniu i filtracji może być obserwowany na wyjściu zmiennoprądowym (AC). W dalszej kolejności zachodzi detekcja sygnału w prostowniku liniowym współpracującym z filtrem dolnoprzepustowym o wysokiej stałej czasowej. Uzyskane w wyniku detekcji napięcie stałe reprezentujące amplitudę wybranej harmonicznej jest doprowadzane do wyjścia stałoprądowego (DC); wartość jego można także odczytać na skali miernika. Poprawę stosunku sygnału do szumu w woltomierzu selektywnym uzyskuje się w wyniku zmniejszenia szerokości pasma pomiarowego przez filtr rezonansowy oraz przez wyjściowy układ całkujący. Szerokość pasma wyjściowego jest zazwyczaj mniejsza od 1 Hz. Częstotliwości pracy typowych woltomierzy selektywnych sięgają od 1 Hz do 200 kHz. W przypadku badania szybszych sygnałów dokonuje się przesunięcia pasma tych przyrządów za pomocą techniki przemiany częstotliwości.



Rys. 7. Układ woltomierza selektywnego. W wypadku fotodiody krzemowej napięcie polaryzujące $U_e=20\text{ V} \div 30\text{ V}$, natomiast dla fotodiody germanowej $U_e=5\text{ V}$ (optymalnie $2\text{ V} \div 3\text{ V}$)

Na rysunku 8 przedstawiono zdjęcie płyty czołowej woltomierza selektywnego, na której zaznaczono podstawowe funkcje pokręteł (wybór czułości pomiaru, częstotliwości, selektywności pasma oraz stałej czasowej).



Rys. 8. Panel płyty czołowej woltomierza selektywnego wraz z zaznaczonymi podstawowymi parametrami urządzenia

5. Część praktyczna

Stanowisko pomiarowe ze względu na zastosowane źródło światła, którym jest lampa halogenowa o szerokim widmie spektralnym, pozwala na pomiar charakterystyk spektralnych zarówno światłowodów polimerowych jak i szklanych.

5.1. Ustalenie warunków pomiaru sygnału optycznego

W tym celu włączamy:

- zasilanie źródła światła (lampa halogenowa, $I=6,5$ A, $U=15$ V);
- zasilanie mechanicznego modulatora (częstotliwość pracy ustawiamy w zakresie niskich częstotliwości 15-30 Hz, aby zminimalizować zjawisko dyspersji falowodowej);
- zasilanie fotodetektora - diody krzemowej (12 V, polaryzacja zaporowa, ograniczenie prądowe 5 mA);
- zasilanie nanowoltomierza selektywnego, selektywność 25 dB.

Następnie, dostrajamy częstotliwość pracy choppera do częstotliwości nanowoltomierza selektywnego tak, aby dla wybranej długości promieniowania λ otrzymać maksymalną wartość mierzonego sygnału napięciowego na wyjściu detektora. Należy podkreślić, iż wartość sygnału napięciowego zależy od ilości mocy optycznej padającej na jego powierzchnię czynną.

5.2. Justowanie układu pomiarowego

W celu otrzymania najlepszego dopasowania optycznego między nadajnikiem a odbiornikiem, dla naszego toru optycznego przeprowadzamy procedurę justowania układu pomiarowego, tzn. ustawienia wszystkich elementów układu w osi optycznej. Justowanie dotyczy zoptymalizowania położenia czołowej powierzchni wejściowej światłowodu względem wiązki wychodzącej z obiektywu mikroskopowego oraz położenia czołowej powierzchni wyjściowej światłowodu względem powierzchni czynnej detektora.

Istotne jest przeprowadzenie justowania układu dla długości fali na wyjściu monochromatora, dla której badany światłowód posiada minimum tłumienia (w oknie telekomunikacyjnym).

5.3. Pomiar mocy optycznej na wyjściu badanego odcinka światłowodu (o długości $l \cong 100$ m) $P_{wyj}(\lambda) \cong U_{wyj}(\lambda)$

Zakładając, że charakterystyka widmowa lampy halogenowej w interesującym nas zakresie długości promieniowania jest znana (charakterystyka w załączniku nr 1), wykonujemy pomiar mocy optycznej wyprowadzonej ze światłowodu (P_{wyj}) o długości ok. 100 m.

W tym celu dla wcześniej określonych warunków pomiarowych, z włączonym w układ pomiarowy odcinkiem światłowodu, należy zmierzyć odpowiedź detektora (sygnał mierzony za pomocą nanowoltomierza selektywnego) w funkcji długości promieniowania wybieranej za pomocą monochromatora $U_{wyj}(\lambda)$.

5.4. Pomiar mocy optycznej na wejściu badanego odcinka światłowodów

$$P_{we}(\lambda) \cong U_{we}(\lambda)$$

Po dołączeniu do układu pomiarowego krótkiego odcinka światłowodów o długości l_0 i sprawdzeniu poprawności justowania układu, znając już wartość P_{wy} , przeprowadzamy pomiar zależności sygnału wejściowego detektora w funkcji promieniowania $U_{we}(\lambda)$ (będącego odpowiednikiem mocy wyjściowej ($P_{we}(\lambda)$)).

Zmierzoną w pkt. 5.3 charakterystykę sygnału wyjściowego od długości promieniowania traktujemy jako charakterystykę referencyjną (odniesienia).

Następnie należy obliczyć i wykreślić charakterystykę tłumienności zmierzonego światłowodów plastikowego korzystając z zależności (1) i wyznaczyć długość krótkiego odcinka badanego światłowodów.

LITERATURA

- [1] J. Palais, Zarys telekomunikacji światłowodowej, WKŁ 1991
- [2] Laboratorium podstaw optoelektroniki i miernictwa optoelektronicznego: praca zbiorowa pod red. Jerzego Helsztyńskiego, Warszawa, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, 2003, wydanie 2
- [3] B. Crosignani, A. Tadeusiak, G. de Marchis, Światłowodów w telekomunikacji, WKŁ 1987
- [4] J. Godlewski, Generacja i detekcja promieniowania optycznego. PWN, 1997
- [5] <http://www.swiatlo.tak.pl/oswietlenie/halogeny-efekt-halogenowy.php>
(dane z dnia 21.07.2008)
- [6] http://www.arpol.pl/artykuly/Tamron_IR/halogen.gif
(dane z dnia 21.07.2008)

Charakterystyka spektralna lampy halogenowej

