

OPTOELEKTRONIKA I FOTONIKA

**Laboratorium
dla studentów II roku EiT**

4. Pomiar tłumienia w światłowodach

Laboratorium – 523, C-2, V piętro

Ćwiczenie ma na celu zapoznanie studentów z jedną z metod diagnozowania parametrów światłowodów. Dla efektywnej pracy światłowodów szczególnie istotny jest współczynnik tłumienia.

Na zaliczenie wymagane będzie pisemne **sprawozdanie** z wykonanych pomiarów. Sprawozdanie należy dostarczyć **w terminie do 10 dni** po odbyciu ćwiczenia. Plik w formacie pdf należy wysłać na adres mailowy prowadzącego daną grupę laboratoryjną. Opóźnienie w dostarczeniu sprawozdania będzie miało odzwierciedlenie **w obniżeniu oceny**.

W ramach realizacji tego ćwiczenia obowiązuje znajomość następujących zagadnień:

- co to jest światłowod i jak jest zbudowany,
- jakie zjawisko jest podstawą działania światłowodu,
- w jakiej relacji muszą pozostawać współczynniki załamania światła rdzenia i płaszczka, aby światłowod działał,
- jakie materiały są stosowane do produkcji światłowodów,
- podział światłowodów,
- czynniki mające wpływ na transmisję danych w światłowodzie,
- czym są okna transmisyjne światłowodów,
- pomiary światłowodów.

Podstawy teoretyczne ćwiczenia

Tłumienność jest jednym z parametrów opisujących właściwości optyczne światłowodów. W wyniku zjawiska tłumienia, energia fali elektromagnetycznej niesionej w światłowodzie maleje eksponencjalnie w funkcji jego długości. Oznacza to, że jeżeli na wejście światłowodu o długości L zostanie wprowadzony sygnał optyczny o mocy P_0 , to moc na jego wyjściu będzie dana zależnością:

$$P(L) = P_0 \exp(-\alpha' L) \quad (1)$$

gdzie: α' – współczynnik tłumienia [$1/\text{km}$].

Straty w jednorodnym światłowodzie podaje się na jednostkę długości, za pomocą wielkości zwanej tłumiennością jednostkową, definiowaną jako:

$$\alpha \left[\frac{\text{dB}}{\text{km}} \right] = \frac{10}{L} \log \frac{P(L)}{P_0} = 4.343 \alpha' [1/\text{km}] \quad (2)$$

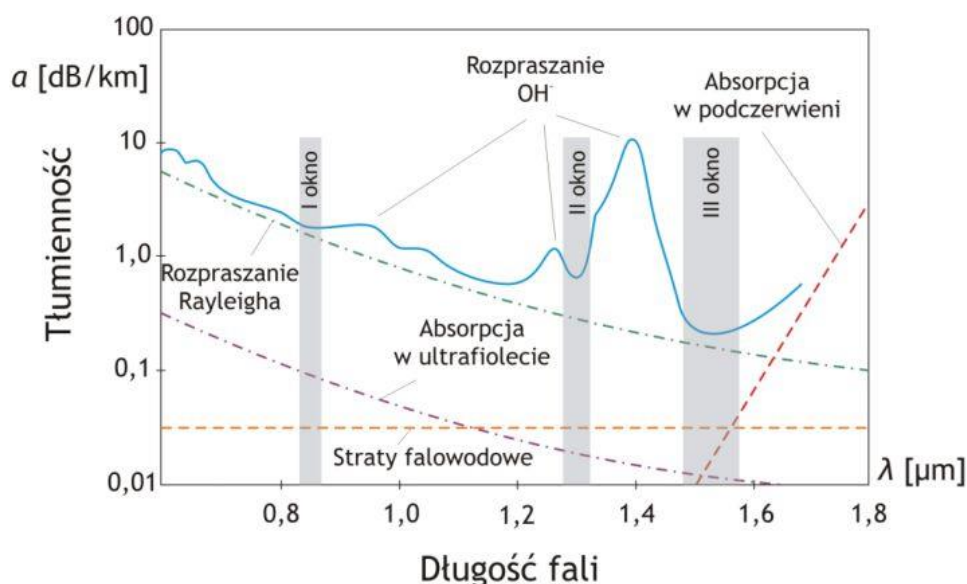
Tłumienność α wyrażaną w [dB/km] podaje się zazwyczaj dla jedno- lub wielomodowych światłowodów włókniстых, natomiast dla światłowodów planarnych w [dB/cm]. Dla światłowodów o niewielkiej długości (rzędu metra) i o większej średnicy (rzędu milimetra) straty optyczne podaje się w procentach. Przykładowo, tłumienność równa $10 \text{ dB}/\text{km}$ oznacza, że na wyjściu odcinka światłowodu o długości 1 km odbierzemy 10% wartości mocy sygnału wejściowego.

Obecnie produkowane **światłowody jednomodowe charakteryzują się tłumiennością $<0.4 \text{ dB}/\text{km}$ przy długości fali $1.3 \mu\text{m}$ oraz $<0.2 \text{ dB}/\text{km}$ przy długości fali $1.55 \mu\text{m}$. Dla odmiany światłowody wielomodowe mają przy długości fali $0.85 \mu\text{m}$ tłumienność $<3.2 \text{ dB}/\text{km}$, a przy długości fali $1,3 \mu\text{m}$ $<1 \text{ dB}/\text{km}$.**

Tłumienność jednostkowa jest współczynnikiem niezależnym od długości światłowodu. Tłumienie na odcinku światłowodu o znanej długości L można natomiast wyrazić w postaci:

$$A[\text{dB}] = -10 \log \frac{P(L)}{P_0} = \alpha \cdot L \quad (3)$$

Należy pamiętać, że tak definiowane straty są ujemne, gdy moc maleje, natomiast są dodatnie, gdy w torze światłowodowym zachodzi wzmocnienie sygnału optycznego, np. za pomocą wzmacniacza optycznego.



Rys. 1. Zależność tłumienności jednostkowej od długości fali w jednomodowym światłowodzie kwarcowym

Straty w światłowodzie zależą od długości fali transmitowanego światła λ . Na powyższym rysunku przedstawiono przykładową zależność tłumienności jednostkowej w funkcji długości fali, dla (jednomodowego) światłowodu kwarcowego. Na wykresie można zauważyć trzy charakterystyczne minima dla fal świetlnych o długościach 850 nm, 1300 nm i 1550 nm, które noszą nazwę **pierwszego, drugiego i trzeciego okna transmisyjnego** (okna telekomunikacyjne). Obecnie w telekomunikacji światłowodowej wykorzystuje się drugie i trzecie okno transmisyjne, pierwsze okno było jedynie używane w początkowym okresie jej rozwoju.

- **I okno transmisyjne** – obejmuje fale w okolicy 850 nm, dość wysokie tłumienie powyżej 1 dB/km. O atrakcyjności tego okna stanowi dostępność tanich źródeł światła, jednak zakres jego zastosowań sprowadza się tylko do małych odległości transmisyjnych rzędu kilkunastu kilometrów.
- **II okno transmisyjne** – dla fali 1300 nm, tłumienie około 0.4 dB/km, zasięg transmisji od 75 do 100 km.
- **III okno transmisyjne** – dla fali 1550 nm, tłumienie mniejsze niż 0.2 dB/km, zasięg transmisji od 150 do 200 km.

Całkowite tłumienie występujące w światłowodach pochodzi z dwóch źródeł, jednym z nich jest materiał światłowodu, a drugim jego struktura (konstrukcja). Do strat materiałowych zalicza się przede wszystkim absorpcję i rozpraszanie, natomiast do strukturalnych należą m.in. wyciekanie i sprzęganie modów, makrozgięcia światłowodu (duży promień krzywizny), mikrozgięcia (mały promień krzywizny), czy promieniowanie.

Ciekawostka:

Tłumienność szkła technicznego wynosi około 1000 dB/km, a szkła czyszczonego ok. 300 dB/km. Do 1967 r. tłumienność szkła czyszczonego wynosiła ok. 1000 dB/km.

Metoda transmisyjna – OLTS (Optical Loss Set Test, czyli źródło światła i miernik mocy)

Tradycyjne źródło światła i miernik mocy mogą być używane do oszacowania strat na spawie dla relatywnie krótkich linii zawierających jeden spaw. Jest to w dalszym ciągu wartość szacowana, ponieważ pomiary tłumienności metodą OLTS zawierają tłumienność całego włókna, jak i spawu. W relatywnie krótkich liniach tłumienność samego włókna powinna być bardzo mała, więc miernik mocy odczyta straty, które będzie można przypisać dla samego złącza spawanego. Jeśli zaś tłumienność światłowodu jest znana, może zostać odjęta od odczytanej mocy na mierniku, co będzie wskazywało na tłumienność generowaną przez sam spaw.

Dla długich linii większa część bądź całkowite straty są przypisane dla samego włókna, utrudniając oszacowanie strat na spawie. Co więcej, jeśli na linii pojawi się więcej niż jedno złącze spawane, OLTS odczyta jedynie straty generowane przez wszystkie spawy łącznie. Nie można więc odróżnić strat indywidualnie dla każdego złącza.

OLTS jest ekonomicznym i użytecznym sposobem, aby upewnić się, że cała linia mieści się w określonym „budżecie mocy”, co oczywiście jest najważniejszym kryterium. Nawet jeśli na linii są spawy, które uznano za zbyt wysokie, nie ma to dużego znaczenia, jeśli końcowe starty mocy na całej linii mieszczą się w normie.

Zastosowane elementy pomiarowe

Stabilizowane źródło lasera 816A

Źródło lasera to podręczne źródło fali o określonej długości do prac w terenie. Wykorzystywany jest w pomiarach połączeń światłowodowych (w połączeniu z miernikiem mocy).

Ten model cechuje się wysoką stabilnością w czasie, co gwarantuje dużą dokładność pomiarową dla dwóch długości fal jednomodowych: 1310 oraz 1550 nm.

Cechy:

- 2 skalibrowane długości fal,
- Wyświetlacz LCD z podświetleniem LED,
- Zasilanie: 2x bateria AAA,
- Automatyczne wyłączenie urządzenia,
- Różne tryby pracy: CW i modulacja Hz,
- Wymienne złącza,
- Prosty w obsłudze interfejs,
- Rozmiar kieszonkowy,
- Wytrzymała konstrukcja,
- Gumowa ochrona urządzenia.

Specyfikacja produktu

Parametry techniczne	
Model	INT-SLS-816A
Długość fali [nm]	1310/1550
Moc wyjściowa [dB]	-5
Tryby pracy	CW, 270Hz, 1kHz, 2kHz
Stabilność w czasie	$\pm 0.05\text{dB}/15\text{min}$ $\pm 0.1\text{dB}/8\text{godz}$
Typ złącza	Uniwersalne SC 2.5mm (1.25mm LC opcjonalnie)
Parametry ogólne	
Wymiary [mm]	130 x 65 x 35
Masa [g]	180
Zasilanie	2x bateria AAA 1,5V (alkaliczna)
Czas pracy na baterii [h]	45
Warunki pracy	Temperatura otoczenia: od -10 do 60 [°C]
Warunki przechowywania	Temperatura otoczenia: od -70 do 60 [°C]

Miernik mocy optycznej INT-TC-36E

Miernik mocy optycznej INT-TC-36E jest urządzeniem testowym, który dzięki swoim możliwościom oraz atrakcyjnej cenie, może być szeroko stosowany w instalacji, eksploatacji i konserwacji sieci światłowodowych.

Urządzenie może przeprowadzać pomiary mocy optycznej w zakresie 800 – 1700 nm. Pracuje na sześciu skalibrowanych długościach fali: 850 nm, 1300 nm, 1310 nm, 1490 nm, 1550 nm, 1625 nm.

Opis konstrukcji:

1. Długość fali.
2. Wartość mocy.
3. Jednostka.
4. Wskaźnik baterii.
5. Auto-off (automatyczne wyłączenie urządzenia).
6. Przycisk ON/OFF (załącz/wyłącz).
7. Przycisk wyboru długości fali.
8. Tryb względny.
9. Tryb bezwzględny.
10. Detektor.



Parametry techniczne	
Model	INT-TC-36E
Zakres długości fali [nm]	800 - 1650
Skalibrowane długości fali [nm]	850, 1300, 1310, 1490, 1550, 1625
Zakres pomiarowy [dBm]	-70 do +10
Typ detektora	InGaAs
Dokładność	< ±3% (-10dBm, 22°C)
Rozdzielczość	Liniowa: 0.1% Nieliniowa: 0.01dBm
Złącze	FC/SC/ST
Parametry ogólne	
Wymiary [mm]	130 x 63 x 29
Masa [g]	160
Zasilanie	3x bateria AAA
Czas pracy [h]	> 120 (bez podświetlenia)
Warunki pracy	Temperatura otoczenia: -10 do 50 [°C] Wilgotność względna: 0 - 90%
Warunki przechowywania	Temperatura otoczenia: -20 do 70 [°C] Wilgotność względna: 0 - 90%

SPECYFIKACJA



A)



B)

Rys. 2. A) światłowód referencyjny o długości 1 m;
B) Włókno światłowodowe zastosowane w pomiarach: 1JG652D (różowe NBG)

Chcąc wyliczyć tłumienie dla danego toru optycznego należy uwzględnić wartości dla poszczególnych elementów:

- ✓ Włókno -> długość fali
 - 850 nm -> 3 dB/km
 - 1300 nm -> 1 dB/km
 - 1310 nm -> 0.35 dB/km
 - 1550 nm -> 0.25 dB/km
- ✓ spoina termiczna: 0.1 dB (maksymalnie 0.15 dB)
- ✓ złącze rozłączne: 0.25 dB (maksymalnie 0.3 dB)
- ✓ spaw mechaniczny – zgodnie z kartą katalogową, jednak praktyka pokazuje, że rzeczywiste tłumienie zazwyczaj odbiega od deklarowanych wartości minimalnych – dla wyliczeń można przyjąć 0.5-0.8 dB
- ✓ inne elementy pasywne takie, jak splittery (np. splitter 4-wyściowy: 6.7 dB; splitter 2-wyściowy: 3.7 dB) oraz tłumiki – zgodnie z kartą katalogową

Realizacja praktyczna ćwiczenia

- 1) Wykonać pomiar tłumienia dla światłowodu referencyjnego (w dB, dla 0 i 1000 Hz).
- 2) Zestawić tor pomiarowy z pierwszą, a potem z drugą szpulą światłowodu. Następnie zmierzyć poziom tłumienia dla II i III okna transmisyjnego – również w dB, dla 0 i 1000 Hz.
- 3) Zestawić tor pomiarowy, gdzie będą połączone obie szpule i wykonać analogiczne odczyty.
- 4) Wykonać pomiar tłumienia dla światłowodu 1 a potem 2 w sytuacji, gdy wystająca część światłowodu jest delikatnie zgięta.

Kompletne sprawozdanie powinno zawierać:

- a) Krótki wstęp czego dotyczyło ćwiczenie.
- b) Wyliczoną wartość tłumienia Rayleigha, dla stałej materiałowej oraz długości fali, podanej przez prowadzącego na zajęciach.

Rozpraszanie Rayleigha jest efektem silnie zależnym od długości fali i wyznacza fundamentalną granicę praktycznie uzyskiwanej tłumienności. Spowodowane jest niejednorodnościami materiału

(lokalne zmiany gęstości i składu materiału oraz rozkładu domieszek), co jest przyczyną fluktuacji zmian współczynnika załamania. Rozpraszanie tego typu zachodzi na cząsteczkach o rozmiarach mniejszych od długości fali światła propagowanego w światłowodzie. Rozpraszanie Rayleigha szybko maleje ze wzrostem długości fali, a tłumienność wynikającą z tego rozpraszania można oszacować z zależności:

$$\alpha_R = \frac{k}{\lambda^4} \quad (4)$$

przy czym k to stała materiałowa, która zawiera się w zakresie $0.7 \div 0.8$ dB/km, w zależności od składu materiału rdzenia światłowodu.

- c) Komentarz co do weryfikacji zgodności jednostki dB oraz dBm.
- d) Wyliczone niepewności pomiaru współczynnika tłumienia (w oparciu o dokładność miernika) dla światłowodu „1” i „2”.
- e) Wyliczone długości światłowodu „1”, „2” oraz „1+2”, względem obu długości fal, a także wyliczone długości światłowodu „1” i „2”, gdy były skręcone.
- f) Komentarz czy wyniki uzyskane dla obu długości fal są zgodne, a jeśli są rozbieżności, to z czego mogą wynikać?
- g) Odniesienie do technicznych informacji o typie światłowodu (typ odczytać z tabliczki na szpuli światłowodu), z komentarzem czym się cechuje, gdzie ma zastosowanie.

Proszę pamiętać o jednostkach poszczególnych parametrów !!!

Literatura:

- 1. G. Einarsson, "Podstawy telekomunikacji światłowodowej", WKiŁ, Warszawa, 1998
- 2. J. Siuzdak, "Wstęp do współczesnej telekomunikacji światłowodowej", WKiŁ, Warszawa, 1999
- 3. Strona internetowa: https://sklep.delta.poznan.pl/tlumienie-wlokna-swiatlowodowego_l1_aid811.html