



### Wydział

**Elektryczny**

**Mechaniczny**

**Elektroniki Mikrosystemów i Fotoniki**

### LABORATORIUM ZASTOSOWAŃ OPTOELEKTRONIKI

#### LABORATORIUM

Badanie wpływu niedopasowania złączy w torach optycznych o różnych oknach transmisyjnych

Opracował: Grzegorz Wiśniewski

#### Zagadnienia do przygotowania

- Opisz budowę złączy światłowodowych.
- Opisz budowę złączy światłowodowych.
- Wymieni i opisz stosowane okna transmisyjne.
- Wymieni i opisz rodzaje styków złączy.

#### Literatura

- [1]. Sano A. and team: 69.1-Tb/s (432 × 171-Gb/s) C- and extended L-band transmission over 240 km Using PDM-16-QAM modulation and digital coherent detection, Optical Fiber Communication Conference (OFC), San Diego 2010, paper PDPB7
- [2] <http://www.photonics.byu.edu/FiberOpticConnectors.phtml>
- [3] [http://www.abblg.com/products\\_open.asp?id=87&cataid=27](http://www.abblg.com/products_open.asp?id=87&cataid=27)
- [4] Norma zakładowa TPSA ZN-96
- [5]. Materiały firmy FCA Sp. z o.o. ([www.fca.com.pl](http://www.fca.com.pl))

## 1) Wprowadzenie

Wykorzystanie światła w światłowodach jako nośnika informacji w miejsce sygnałów elektrycznych znacznie zmienia właściwości i jakość transmisji sygnałów. Oprócz zalet wynikających z zastosowania transmisji optycznej takich jak znaczne zwiększenie odstępów między wzmacniaczami, oraz znacznie większego poziomu bezpieczeństwa. Cały system teletransmisyjny jest tak doskonały jak jego najsłabsze elementy. W przypadku zastosowania torów optycznych będą to połączenia (złącza trwałe, złącza rozłączne) oraz elementy elektroniczne w postaci nadajników i odbiorników.

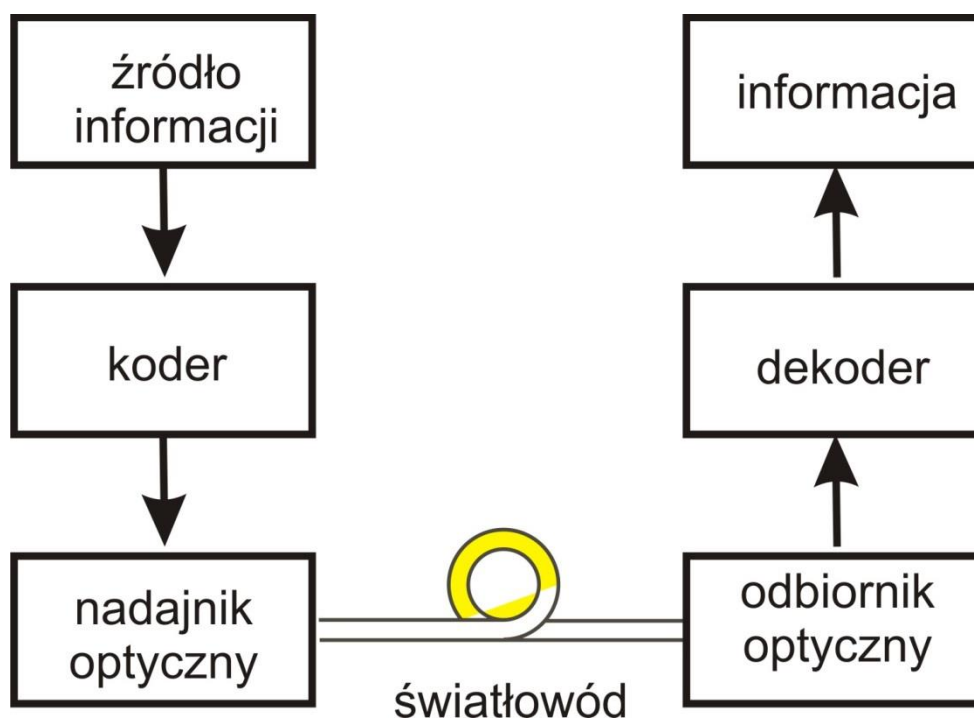
### 1.1 Wstęp teoretyczny.

W łączach światłowodowych występuje mało punktów dostępowych, w których bez przerwania toru światłowodowego można przyłączyć się do sieci. Obecność takich dodatkowych elementów w torze światłowodowym wpływa znacznie na jego parametry. Nierzadko największe straty generowane są na połączeniu źródeł światła ze światłowodami oraz światłowodów z detektorami, aby zapewnić jak najmniejsze straty oraz kompatybilność urządzeń stosuje się wiele rodzajów i typów łączy i złączek. Jednak za jedną z największych wad łączy światłowodowych uważa się niedostępność optycznych przełączników, których stosowanie pozwoliłoby na pełniejsze wykorzystanie zalet światłowodów. Obecnie przełączanie sygnałów odbywa się na drodze elektrycznej, co wymaga wcześniejszej konwersji sygnału ze świetlnego na elektryczny. Proces taki znacznie ogranicza szybkość działania sieci. Zagadnienie to jest jednak w fazie intensywnych badań zmierzających do wytworzenia komercyjnych przełączników optycznych. Pierwsze włókno optyczne o właściwościach pozwalających na wykorzystanie go do transmisji danych zostało wytworzone w 1968 roku w Japonii, a w Polsce pod koniec lat 70 XX wieku. Obecnie trwają prace zmierzające do poprawy jego właściwości transmisyjnych i użytkowych, oraz prace nad aktywnymi (źródła światła, detektory, wzmacniacze) i pasywnymi (złącza, sprzęgacze, cyrkulatory, filtry) czy elementami niezbędnymi do realizacji transmisji światłowodowej. Dzięki temu w 2010 roku osiągnięto transmisję pojedynczym włóknem o przepustowości 69,1 Tb/s na odległości 240km przy wykorzystaniu 432 kanałów WDM [1]. Stosowanie światłowodów jako toru transmisyjnego ma też swoje wady związane np. z właściwościami oraz budową samego włókna. Dlatego też należy pamiętać o występowaniu tak zwanych okien transmisyjnych. Kolejną wadą jest występowanie stosunkowo dużych granicznych promieni gięcia światłowodów i kabli światłowodowych. Powoduje

to trudności w ich układaniu oraz zwiększa straty występujące w linii. Problemy te mogą być częściowo rozwiązane poprzez stosowanie specjalnych konstrukcji włókien.

Przesyłanie informacji w światłowodzie odbywa się drogą optyczną i wymaga to skonstruowania systemów telekomunikacji optycznej. Taki system najczęściej składa się z (Rys. 1.1):

- źródła informacji,
- kodera,
- nadajnika optycznego,
- linii światłowodowej,
- detektora optycznego,
- dekodera,
- odbiornika informacji



**Rys. 1.1** Schemat ideowy światłowodowego toru transmisyjnego.

W nadajnik jest źródłem informacji cyfrowej lub analogowej przetwarzanej w koderze na sygnał w postaci strumienia bitów. Po stronie odbiornika sygnał odtwarzany jest za pomocą dekodera i dostarczany użytkownikowi. Urządzenia związane z kodowaniem i dekodowaniem są to urządzenia elek-

tryczne (elektroniczne). Natomiast elementy optyczne to źródła optyczne w nadajniku, linia światłowodowa (jako medium transmisyjne) przekazująca informacje do detektora czyli optycznego urządzenia odbiorczego.

Norma zakładowa TPSA [4] podaje m.in. następujące definicje:

- Złącze światłowodowe - miejsce połączeń światłowodów.
- Złączka światłowodowa - element osprzętu służący do rozłączalnego połączenia światłowodów, składający się zazwyczaj z dwóch wtyków (półzłączek) i tulejki złączowej centrującej (coupler).
- Półzłączka - część wtykowa złączki światłowodowej stanowiąca zakończenie kabla stacyjnego (pigtaila, patchcordu).
- Tulejka centrująca (coupler) - część środkowa złączki światłowodowej służąca do centrycznego połączenia dwóch półzłączek, mocowana na polu przełącznicy.

## 1.2 Łączenie światłowodów

Światłowody można łączyć na dwa sposoby. Pierwszy z nich to wykorzystanie złączki mechanicznej, a drugi to zastosowanie spawania za pomocą spawarki fuzyjnej. Wybór sposobu łączenia zależy od przewidywanego efektu końcowego. Najbardziej „widoczne” i dostępne z punktu widzenia użytkownika to połączenia lokalne. W przypadku lokalnego komputera nie wymaga się dużej dokładności połączenia decydując się jednocześnie na duże straty przesyłu sygnału i wtedy można zastosować połączenie poprzez złączki. Natomiast dla wszelkiego rodzaju usług telekomunikacyjnych w których sieć jest rozłożona na dłuższych obszarach wymaga się jak najwyższej dokładności (najmniejszych strat przesyłowych) więc w takim wypadku światłowody łączymy za pomocą spawarek.

### 1.2.1 Złącza światłowodowe

Złącza światłowodowe łączą dwa włókna tak, aby światło przechodziło z jednego do drugiego włókna z jak najmniejszymi stratami i jest to jeden z najważniejszych elementów rozłączalnego toru światłowodowego.

Złączom światłowodowym stawiamy dwa podstawowe wymagania:

- minimalizacja strat i odbić,

- realizacja połączenia stabilnego mechanicznie i optycznie .

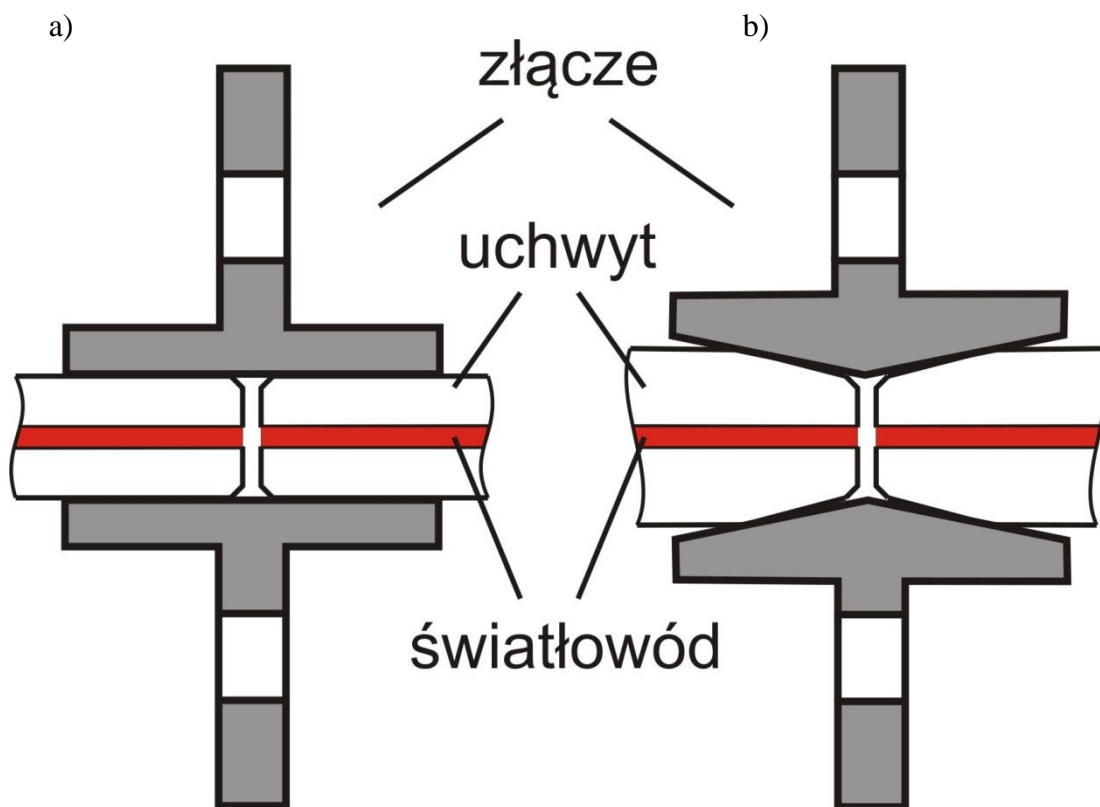
Straty typowych złączy zawierają się w granicach od 0,25 do 1.5 dB.

Złącza światłowodowe dzielimy na rozłączne i stałe:

- złącza rozłączne, powstałe przez zbliżenie końcówek światłowodu i odpowiednie ich pozycjonowanie za pomocą układu mechanicznego (obudowy)
- złącza stałe, powstałe przez spawanie lub klejenie końcówek światłowodu; światłowodu w takich złączach nie da się rozłączyć bez uszkodzenia złącza.

### **1.2.2. Złącza rozłączalne**



Złącza rozłączalne najczęściej używane to tulejowe i stożkowe (Rys. 1.2). W tych pierwszych pozycja światłowodu jest określona przez umieszczenie falowodu składającego się z dwóch złączy w precyzyjnej tulei. W złączkach stożkowych tuleje zastąpiono stożkami, zastosowanie stożka zapewnia dodatkowo odpowiednie dopasowanie powierzchni czołowych. W obydwu rodzajach złączy bardzo ważna jest dokładność wykonania detali i konstrukcji centrującej czoło światłowodu. Pamiętać należy, że wymagana dokładność jest znacznie większa w przypadku złączy światłowodów jednomodowych, gdzie tolerancja wykonania sięga  $1\mu\text{m}$ . Obecnie najczęściej stosowana jest technologia złączy tulejowych ze względu na koszt złącza oraz ze względu na precyzję wykonania.






**Rys. 1.2** Tulejka centrująca (coupler) w złączu światłowodowym a) tulejowym, b) stożkowym

W złączach najczęściej stosowanych tuleja wykonana jest z ceramiki (alundowej lub cyrkonowej) i ma średnicę 2,5mm. Najpopularniejsze typy złączy przedstawiono w tabeli (Tabela 1). W Polsce stosowane są najczęściej standardy typu FC, ST i LC.

**Tabela 1** Zestawienie najpopularniejszych standardów złączy światłowodowych [2]

Typ złącza	Nazwa	Maksymalne straty	Uwagi
	ST Straight Tip	0,3 dB (SM) 0,3 dB (MM)	mocowanie bagnetowe, szybki montaż
	S.C. Subscriber Connector	0,15 dB (SM) 0,3 dB (MM)	lekkie, mechanizm zatrzaśkowy

	FC Fibre (Fer- rule) Con- nector	0,15 dB (SM) 0,3 dB (MM)	mocowanie gwintowane, zabezpieczenie przed obrotem ferruli
	LC Little (Local, Lucent) Connector	0,15 dB (SM) 0,3 dB (MM)	małe wymiary, mechanizm zatraskowy, ferrula 1,25mm
	E2000	0,3 dB (SM) 0,3 dB (MM)	montaż z za- traskiem, osłona czoła włókna

### 1.2.2.1. Wybór złączki światłowodowej

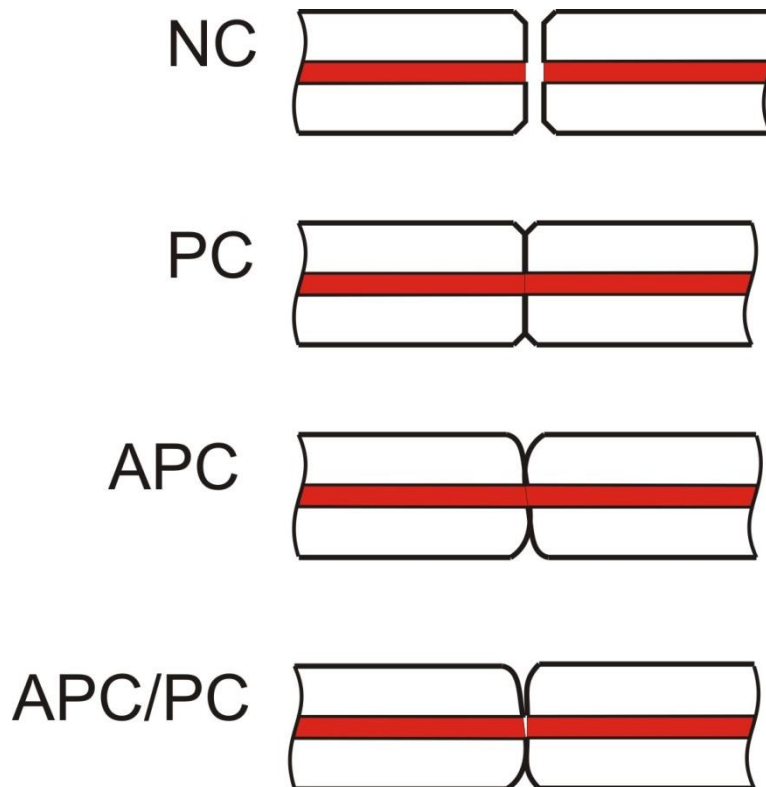
W trakcie wybierania złączki rozłącznej powinno się określić i uwzględnić wymagane warunki środowiskowe pracy złączki oraz sposób jej instalacji i koszty utrzymania systemu. Należy również założyć, że system w przyszłości będzie rozbudowywany i wtedy trzeba wziąć pod uwagę możliwości kompatybilności wstecznej.

Procedura wyboru złączki powinna zakładać:

#### I. Typ styku złączki - NC, PC, SPC, APC

Czoła włókien światłowodowych mogą być polerowane na dwa sposoby: PC oraz APC (Rys. 1.3). W przypadku łączenia włókien światłowodu metodą PC (Physical Contact) wypolerowane pod kątem prostym powierzchnie są umieszczane naprzeciwko siebie w jak najmniejszej odległości, aby zminimalizować tłumienność złącza. W złączkach kątowych oznaczonych symbolem APC czoło światłowodu jest polerowane pod kątem 7-8°, co sprawia, że tłumienność odbiciowa takiego połączenia jest

mniejsza niż dla złącz typu PC, bo sygnał ze źródła trafiając na koniec światłowodu nie wraca, a odbija się kierując się w stronę płaszczka i pokrycia. W zastosowaniach praktycznych można spotkać również złączki typu Super PC oraz Ultra PC. Są to odmiany połączenia PC, poprawiające tłumienność odbiciową. Dość często stosuje się również odpowiedni kolor przy zaznaczaniu złączy (zielony - typ APC, niebieski - typ PC (Rys. 1.4)).



**Rys. 1.3** Realizacja połączenia złączek PC, APC i ich wzajemnego styku powierzchni.

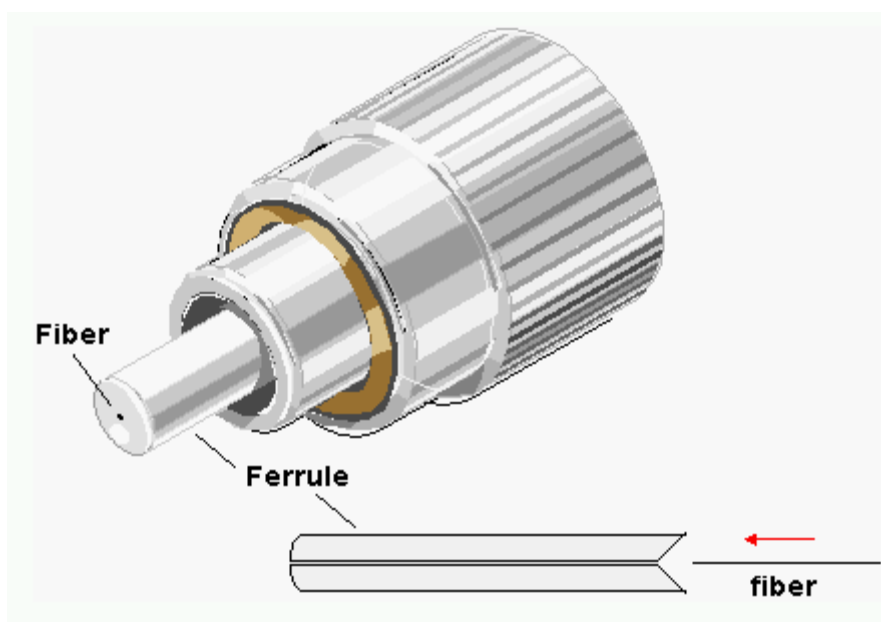


**Rys. 1.4** Przykład ilustrujący różnice między złączkami typu APC i PC [3]



## II. Rodzaj złączki – np. ST, FC, SC, itd.

Najważniejszym elementem każdej z złączek jest ferrula (Rys. 1.5). Jest to ceramiczna (plastikowa w przypadku złączki MT-RJ) tulejka służąca do zamontowania w jej wnętrzu włókna światłowodowego. Większość złączek ma ferrulę o średnicy 2,5 mm, wyjątkiem jest tu złączka typu SFF ma ona średnicę 1,25 mm. Ferrula ma za zadanie chronić włókno światłowodowe przed mechanicznymi uszkodzeniami oraz pomóc w jak najdokładniejszym ułożeniu względem siebie powierzchni czołowych łączonych włókien.



**Rys. 1.5** Światłowodowe złącze rozłączne. [2]

Typowe złączki światłowodowe przedstawiono w tabeli (Tabela 1). Różnorodność tych złączy zależy od wielu czynników, a wybór konkretnego rozwiązania zależy najczęściej od miejsca w którym dana złączka będzie wykorzystywana. Opis niektórych rodzajów złączy światłowodowych oraz ich charakterystyczne cechy przedstawiono poniżej:

### ***Złącze o standardzie ST***

Do niedawna było to jedno z najczęściej stosowanych złączy w instalacjach komercyjnych. Zostało ono zaprojektowane przez firmę AT&T i obecnie jest produkowane przez bardzo wielu producentów. Zewnętrzna osłona złącza jest podobna do złącza koncentrycznego BNC (podobny sposób montowania wtyczki w gnieździe). Połączenie dwóch włókien światłowodowych wykonane przy użyciu złącza ST jest niewystarczająco stabilne, aby móc je wykorzystywać do kabli jednodomowych, dlatego złącza te wykorzystuje się przeważnie do łączenia falowodów wielodomowych. Dodatkowo do założenia złącza na adapter potrzebna jest pewna swoboda ruchów, co powoduje, że złącza te nie mogą być umieszczone zbyt blisko siebie na urządzeniach aktywnych.

Najważniejsze cechy złącza:

- Prosty i szybki sposób montowania złącza światłowodowego
- Tylko transmisja Simplex
- Wysokiej jakości polerowana ceramiczna ferrula
- Niezbyt stabilne
- Dostępne w wersji jednodomowej i wielodomowej
- Łączenie dwóch złączy za pomocą adapterów

### ***Złącze w standardzie SC***

Złącze to cechują małe wymiary i łatwy sposób łączenia z adapterem możliwe jest więc w urządzeniach aktywnych umieszczenie ich blisko siebie. Złącze SC w wykonaniu dupleksowym gwarantuje wymaganą polaryzację i pewne, stałe połączenie. Zamiana kanału nadawczego z odbiorczym jest niemożliwa ponadto zapewnia wygodę i pewność połączenia dzięki zastosowaniu mechanizmu zatrzaśkowego.

Najważniejsze cechy złącza:

- Adaptery światłowodowe montowane w panelach na dwóch śrubach lub na zatrzask
- Złącze w wersjach simplex i duplex
- Wymiary otworów w panelu identyczne jak dla standardu E2000
- Łączenie dwóch złączy za pomocą adapterów
- Dostępne w wersji jednomodowej i wielomodowej

### ***Złącze o standardzie FC***

Złącze typu FC jest złączem wkręcany (gwintowany), weszło do użytku we wczesnych latach 80-tych i powszechnie stosuje się je w USA, Japonii i Europie. To złącze daje bardzo stabilne połączenie, które nawet podczas dotykania lub przenoszenia, nie traci swoich parametrów. Dzięki temu do niedawna było ono najczęściej stosowanym złączem do łączenia włókien światłowodów jednomodowych.

Najważniejsze cechy złącza:

- Gwintowany sposób mocowania, który odpowiada za bezpieczeństwo połączenia
- Łączenie dwóch złączy za pomocą adapterów
- Zastosowanie klucza przeciwdziałającego niepożądanym obrotom ferruli wewnątrz wtyku
- Wysokiej jakości ceramiczna profilowana ferrula
- Dostępne w wersji jednomodowej i wielomodowej

### ***Złącze o standardzie LC***

Bardzo małe złącze z ferrulą o średnicy 1,25 mm. Stosowany przede wszystkim w sytuacji, gdy istnieje potrzeba bardzo gęstego upakowania złączy. Bardzo stabilne połączenie dzięki mechanizmowi zatrzaskowemu

Najważniejsze cechy złącza:

- Złącza w wersjach simplex i duplex
- Wygoda i pewność połączenia złączy światłowodowych dzięki zastosowaniu mechanizmu zatrzaskowego,
- Koncepcja oparta na ferruli 1,25mm
- Małe wymiary złącza światłowodowego pozwalające na uzyskanie dużej gęstości upakowania

- Dostępne w wersji jednomodowej i wielomodowej

### **Złącze w standardzie E2000**

Złącze E2000 charakteryzuje się sposobem łączenia push & pull, dodatkowo ma tzw. "klapkę" zabezpieczającą ferrulę przed zabrudzeniem i redukującą poziom emitowanej mocy w przypadku rozłączenia złącza (np.: dla zabezpieczenia oczu instalatora).

Najważniejsze cechy złącza:

- Łatwa instalacja złącza światłowodowego w panelu typu "push & pull" dająca gwarancje symetryczności połączenia
- Automatyczne zamknięcie czola złącza światłowodowego chroniące wzrok oraz zapobiegające zabrudzeniu ferruli
- Możliwość kodowania złączy światłowodowych kolorem
- Adaptery światłowodowe montowane w panelach na dwóch śrubach lub na zatrzask
- Długie prowadnice złącza światłowodowego w adapterze
- Łączenie dwóch złączy za pomocą adapterów
- Dostępne w wersji jednomodowej i wielomodowej

**III. Technologię wykonania** – np. żywica termoutwardzalna/polerowana, techniki bezolejowe, itd.

**IV. Rodzaj materiału** – materiał ferruli i obudowy

#### **1.2.3 Złącza stałe**

Złącza stałe wykonywane są z zastosowaniem odpowiedniej technologii mającej za zadanie usztywnić i połączyć na stałe dwa włókna. W rozwiązaniach tanich do bardzo szybkiego połączenia dwóch światłowodów stosuje się rozwiązania bazujące na odpowiednio wzmocnionej tulejce wypełnionej odpowiednim żelem „optycznym”. Tulejki takie po wprowadzeniu światłowodu zaciska się lub w zależności od wykonania utwardza w wysokiej temperaturze. Takie połączenie cechuje się dużą

prostotą i łatwością wykonania ma jednak ono zasadniczą wadę wprowadza bardzo duże straty. Idealnym rozwiązaniem ale bardzo drogim jest natomiast zespawanie dwóch światłowodów. Współczesne spawarki światłowodowe, wykonujące połączenia stałe, przed wykonaniem połączenia bardzo precyzyjnie ustawiają włókna między sobą, aby uniknąć wymienionych niedoskonałości połączeń. Zaletą połączeń spawanych nad połączeniami rozłącznymi są znacznie mniejsze straty.

## Podsumowanie

Na stosowanie danego typu złącza wpływ ma wiele czynników, począwszy od wymaganych parametrów połączenia (straty, odbicia wsteczne), ilości i częstotliwości wykonywania połączeń, warunków w których pracować będzie złącze (zakres temperatur, obecność drgań, itp.), poprzez możliwości dostępu do niego osób trzecich, aż po zasady przyjęte w firmie (rodzaj posiadanych urządzeń, dostawca sprzętu, itp.). Ważnym zagadnieniem jest również poziom mocy optycznej jaka przepływa przez łączone światłowody, gdyż jak wykazuje praktyka, duża gęstość mocy może powodować uszkodzenia powierzchni czołowych półzłączy. Przy przesyłaniu wysokich mocy półzłącza muszą spełniać dodatkowe warunki [5]: być wyposażone w mechanizm zabezpieczający przed uszkodzeniem wzroku, elementy optyczne muszą być chronione przez bezpośrednim dostępem zanieczyszczeń i przed dotknięciem, w całej konstrukcji muszą być stosowane tylko materiały przezroczyste optycznie, złącze musi być zabezpieczone przed nieplanowanym rozłączeniem.

## 2) Przebieg ćwiczenia

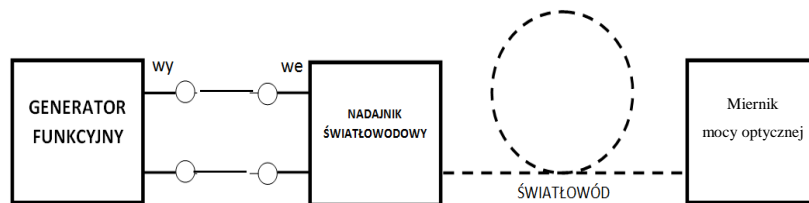
Na parametry połączenia (straty wtarceniowe) wpływ ma kilka czynników. Jednym z ważniejszych jest stan powierzchni czołowych obu łączonych włókien. Chodzi tu zarówno o stan powierzchni (jej chropowatość, występowanie rys, itp.), jej położenie względem osi włókna, jak i czystość powierzchni czołowej. Kluczowym zagadnieniem jest również prawidłowe ułożenie łączonych włókien względem siebie. Tłumienie połączenia rośnie w przypadku rozsunięcia powierzchni czołowych wzdłuż czy poprzek osi włókna lub ustawienia światłowodów w taki sposób, że ich osie tworzą niezerowy kąt. Podczas budowy torów światłowodowych należy również pamiętać o urządzeniach współpracujących z układem optycznym. O jakości przesyłanego sygnału decyduje bowiem jakość wykonania elementów aktywnych podatnych na zakłócenia elektryczne. Ćwiczenie ma na celu zademonstrowanie wpływu dopasowania rozłącznych elementów łączeniowych na poziom sygnału torze światłowodowym oraz

demonstrację zmiany jakości sygnału wyjściowego pod wpływem zmiany częstotliwości sygnału nadawanego w różnych oknach transmisyjnych.

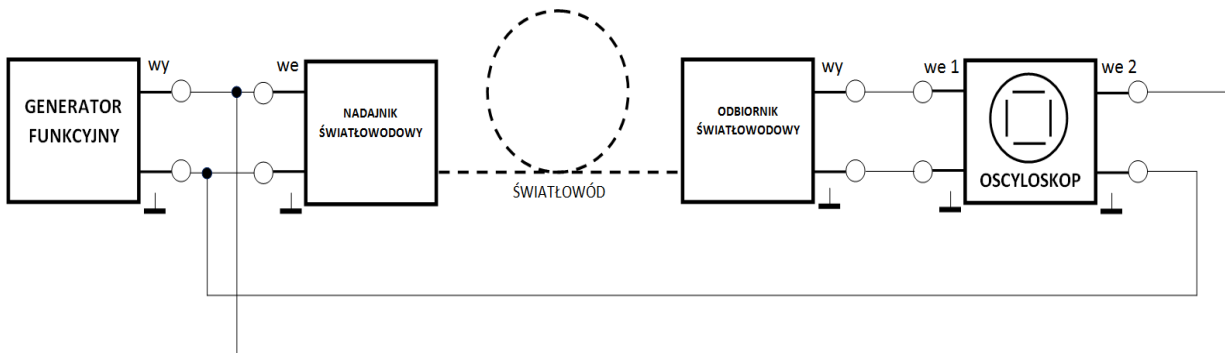
## I. Zapoznanie się ze stanowiskiem pomiarowym i dostępnym oprzyrządowaniem.

Należy w pierwszej kolejności połączyć część elektryczną układu pomiarowego (Rys. 2.1), a następnie zmieniać kolejno konfigurację części optycznej stanowiska laboratoryjnego.

a)



b)

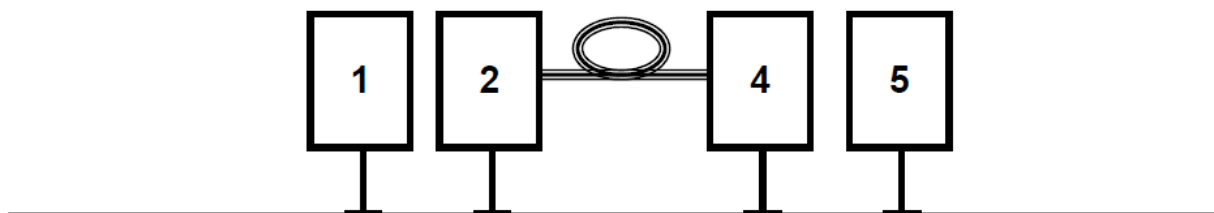


**Rys. 2.1 Schemat układu pomiarowego dedykowanego do przeprowadzania badań laboratoryjnych a) pomiar z zastosowaniem miernika mocy, b) pomiar z zastosowaniem oscyloskopu**

## II. Pomiar wpływu niedopasowania wzdłużnego rozłącznego złącza światłowodowego.

II.a) Metoda z zastosowaniem miernika mocy optycznej

Należy ustawić odpowiednią częstotliwość na generatorze (270Hz, 1kHz, 2kHz) i wykonać pomiary strat sygnału wyjściowego miernikiem mocy optycznej. Schemat pomiarowy układu pokazano na rysunku 2.2.



**Rys. 2.2 Schemat montażowy układu pomiarowego.**

Elementy toru optycznego:

1. Źródło światła, generator impulsów (270Hz, 1kHz lub 2kHz).
- 2-4. Stojak/trzymak na światłowód w standardzie ST i szczelinomierz lub stolik rotacyjny z pomiarem kątowym.
5. Miernik mocy optycznej

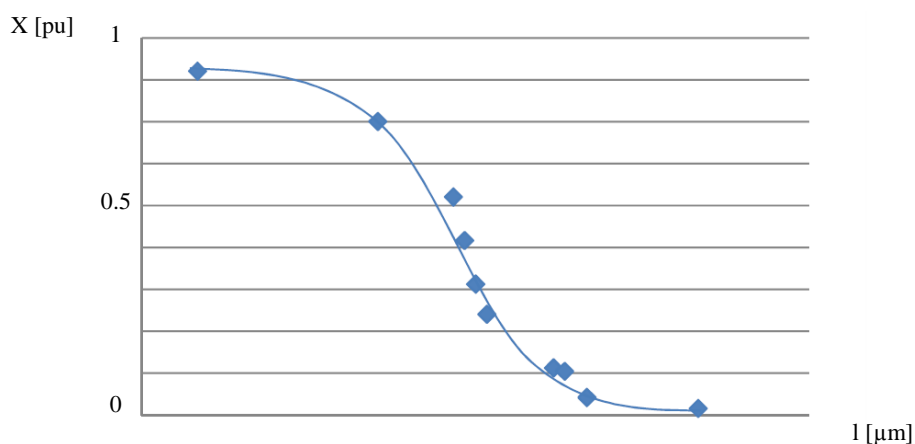
Procedura pomiarowa:

- a) uruchomić tor optyczny 850 nm.
- b) ustawić dowolną z wymienionych częstotliwości (np.:  $f=1\text{kHz}=\text{const}$ ).
- c) podłączyć bezpośrednio źródło światła (1) z miernikiem mocy optycznej (5) i odczytać kolejno wartości wskazań miernika. Wartości te ( $X_{\text{max}}$ ) przyjmujemy do obliczeń, jako wartości referencyjne.
- d) podłączyć źródło światła z miernikiem poprzez badany układ, ustawić minimalną szczelinę w złączu toru światłowodowego oraz zmierzyć wartości otrzymywanego sygnału
- d) ustawić maksymalną szczelinę w złączu toru światłowodowego (lub do momentu zaniku sygnału na wyjściu toru) oraz zmierzyć wartości otrzymywanego sygnału.
- e) wykonać pomiary (Tabela 2) oraz charakterystyki wpływu zmieniany szczeliny na poziom sygnału wyjściowego (rys. 2.3).
- f) pomiary powtórzyć dla toru optycznego 1300nm.



**Tabela 2. Pomiar charakterystyki wpływu zmieniany szczeliny złącza na poziom sygnału wyjściowego**

Okno transmisyjne = .....nm							
f=.....[Hz]							
$X_{max}$		[nW]		[dBm]		[dB]	Ref. [dBm]
Lp.	l	X	X	X	X	X	X
[-]	[ $\mu\text{m}$ ]	[nW]	[p.u.]	[dBm]	[p.u.]	[dB]	[p.u.]
1.							
2.							
...							



**Rys. 2.3 Przykładowa charakterystyka wpływu zmieniany szczeliny złącza na poziom sygnału wyjściowego**

**II.b) Metoda z zastosowaniem oscyloskopu**

Należy z zastosowaniem zaawansowanych ustawień oscyloskopu cyfrowego wykonać pomiary napięcia sygnału wejściowego i sygnału wyjściowego. Schemat pomiarowy układu pokazano na rysunku 2.2.

Elementy toru optycznego:

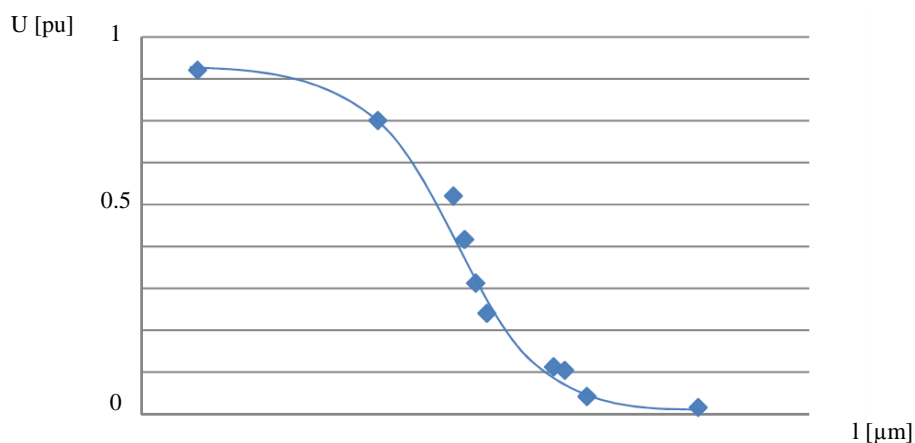
1. Źródło światła, generator impulsów.
- 2-4 Stojak/trzymak na światłowód w standardzie ST, szczelinomierz lub stolik rotacyjny z podziałką kątową, stojak/trzymak na światłowód w standardzie ST.
5. Detektor. Mikro / miliwoltomierz, oscyloskop cyfrowy

Procedura pomiarowa:

- a) uruchomić tor optyczny 850 nm.
- b) ustawić dowolną częstotliwość sygnału (np.:  $f=5\text{kHz}=\text{const}$ ).
- c) podłączyć bezpośrednio odbiornik z nadajnikiem i na oscyloskopie odczytać wartość maksymalną napięcia  $U_{\text{max}}$
- d) podłączyć odbiornik z nadajnikiem poprzez badany obiekt ustawić minimalną szczelinę w złączu toru światłowodowego oraz zmierzyć wartości otrzymywanego sygnału
- d) ustawić maksymalną (do zaniku sygnału na wyjściu toru) szczelinę w złączu toru światłowodowego oraz zmierzyć wartości otrzymywanego sygnału.
- e) wykonać pomiary (Tabela 3) oraz charakterystyki wpływu zmieniany szczeliny na poziom sygnału wyjściowego (rys. 2.4).
- f) pomiary powtórzyć dla toru optycznego 1300nm.

**Tabela 3. Pomiar charakterystyki wpływu zmieniany szczeliny złącza na poziom sygnału wyjściowego**

Okno transmisyjne = .....nm			
$U_{\text{max}} = \dots\dots\dots V$			
Lp.	l	U	U
[-]	[ $\mu\text{m}$ ]	[V]	[p.u.]
1.			
2.			



**Rys. 2.4** Przykładowa charakterystyka wpływu zmieniany szczeliny złącza na poziom sygnału wyjściowego

### III. Pomiar wpływu niedopasowania kąтового rozłącznego złącza światłowodowego.

Należy powtórzyć procedury pomiaru z poprzedniego cyklu w części II a) wykonać pomiary z zastosowaniem miernika mocy optycznej, w części II b) z zastosowaniem zaawansowanych ustawień oscyloskopu cyfrowego wykonać pomiary napięcia sygnału wejściowego i sygnału wyjściowego. Schemat pomiarowy układu pokazano na rysunku 2.2

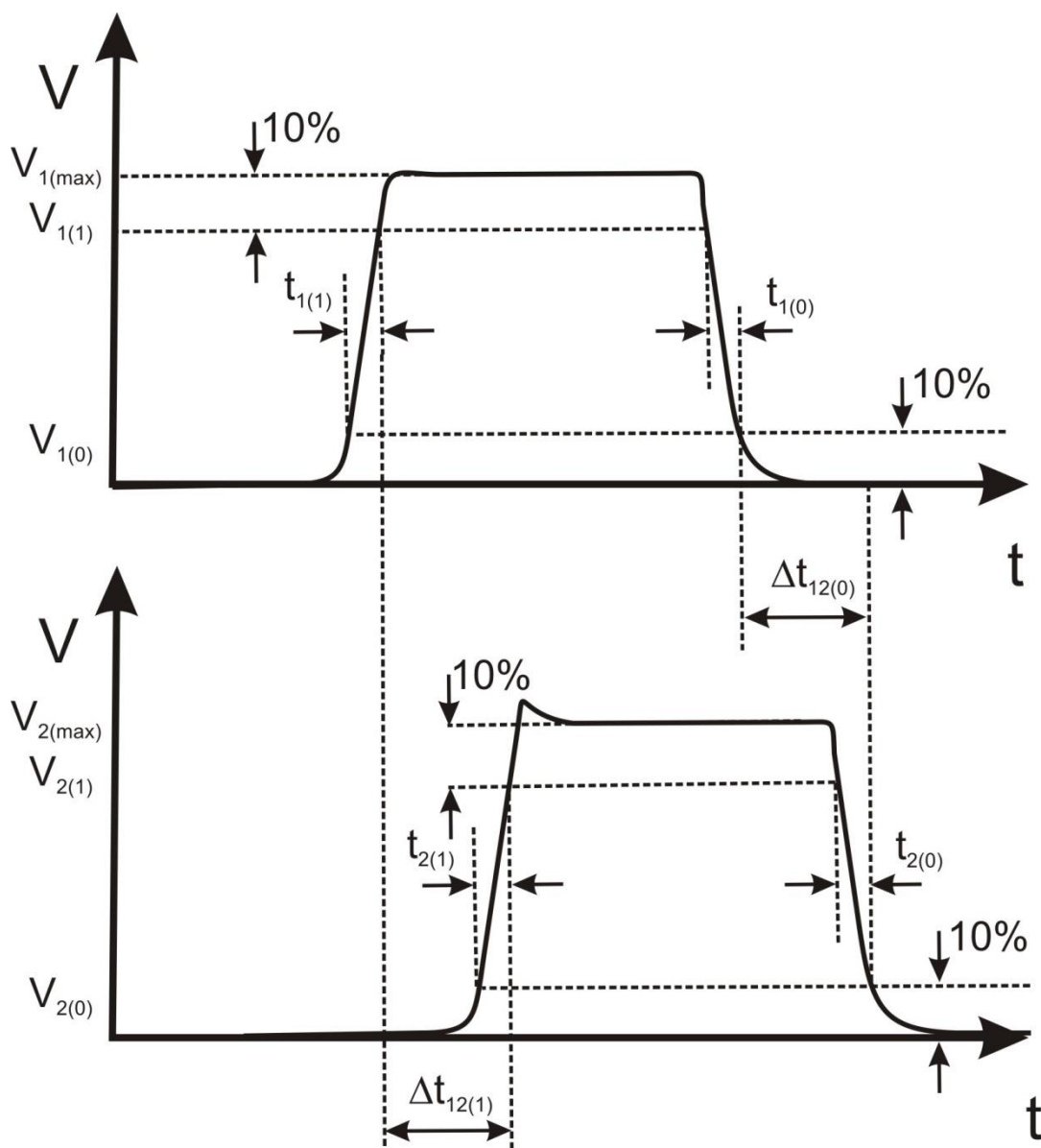
**Tabela 4.** Pomiar charakterystyki wpływu zmieniany kąta złącza na poziom sygnału wyjściowego

Okno transmisyjne = .....nm f=.....[Hz], skok $\vartheta$ = .....[ $^{\circ}$ ] (np. $5^{\circ}$ )							
$X_{\max}$		[nW]		[dBm]		[dB]	Ref. [dBm]
Lp.	$\vartheta$	X	X	X	X	X	X
[-]	[ $^{\circ}$ ]	[nW]	[p.u.]	[dBm]	[p.u.]	[dB]	[p.u.]
1.							
2.							
...							

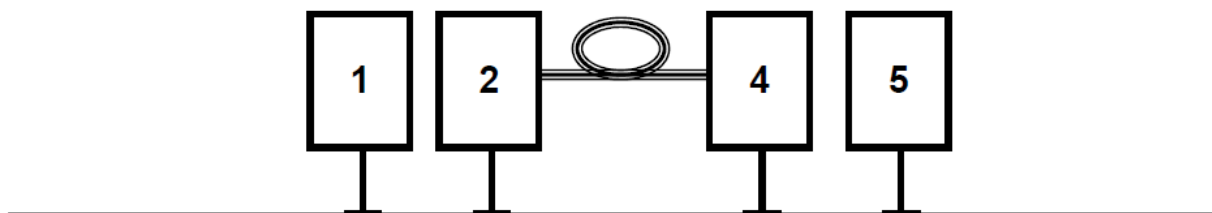
Okno transmisyjne = .....nm $U_{\max} = \dots\dots\dots V$ skok $\vartheta = \dots\dots\dots [^\circ]$ (np. $5^\circ$ )			
Lp.	$\vartheta$	U	U
[-]	[ $^\circ$ ]	[V]	[p.u.]
1.			
2.			
...			

#### IV. Pomiar częstotliwości sygnału wejściowego, na jakość sygnału wyjściowego przenieszonego przez prosty tor optyczny.

Należy z zastosowaniem zaawansowanych ustawień oscyloskopu cyfrowego wykonać pomiary czasu narostu i opadania zbocza sygnału wejściowego i sygnału wyjściowego. Ponadto wykonać pomiary opóźnienia efektywnego uzyskania cyfrowego sygnału 0, 1 dla sygnału wejściowego i sygnału wyjściowego (rys 2.5). Schemat pomiarowy układu pokazano na rysunku (rys 2.6).



Rys. 2.5 Przykładowy opis teoretyczny charakteryzujący sygnał cyfrowy



**Rys. 2.6 Schemat montażowy układu pomiarowego.**

Elementy toru optycznego:

1. Generator impulsów.
2. Źródło światła.
3. Światłowód.
4. Detektor.
5. Mikro / miliwoltomierz, oscyloskop cyfrowy

Procedura pomiarowa:

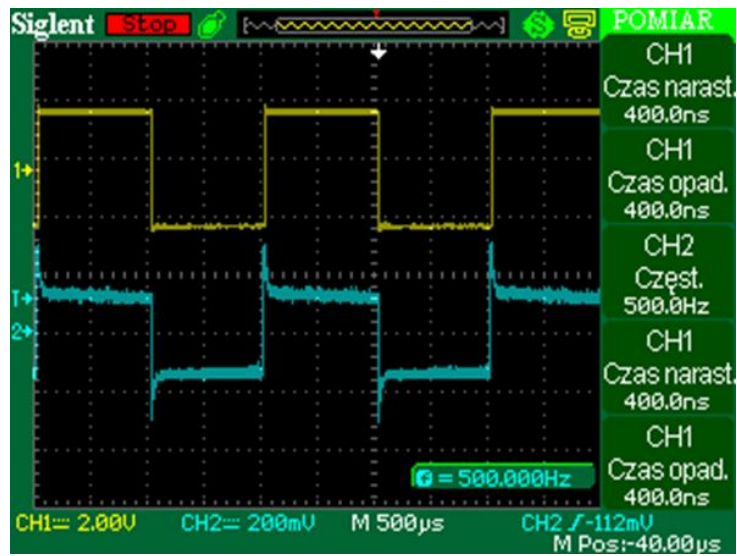
- a) uruchomić tor optyczny 850 nm.
- b) określić wartość napięcia maksymalnego  $U_{\max}$  sygnału na wyjściu toru (Tabela 5)
- c) zbadać wpływ zmiany częstotliwości (zmienianej logarytmicznie) sygnału na zbocze narastające i opadające (używając ustawień automatycznego pomiaru w oscyloskopie (rys. 2.7).
- d) określić opóźnienie między sygnałem nadawanym i odbieranym podczas zmiany częstotliwości (zmienianej logarytmicznie) ustawiając odpowiednie funkcje w oscyloskopie („kursory” rys. 2.7).
- e) dokonać analizy otrzymanych wyników i na jej podstawie przedstawić wnioski.
- f) powtórzyć pomiary dla okna transmisyjnego 1300nm.

**Tabela 5. Czas opóźnienia, narastania i opadania zbocza sygnału wejściowego (1) i wyjściowego (2).**

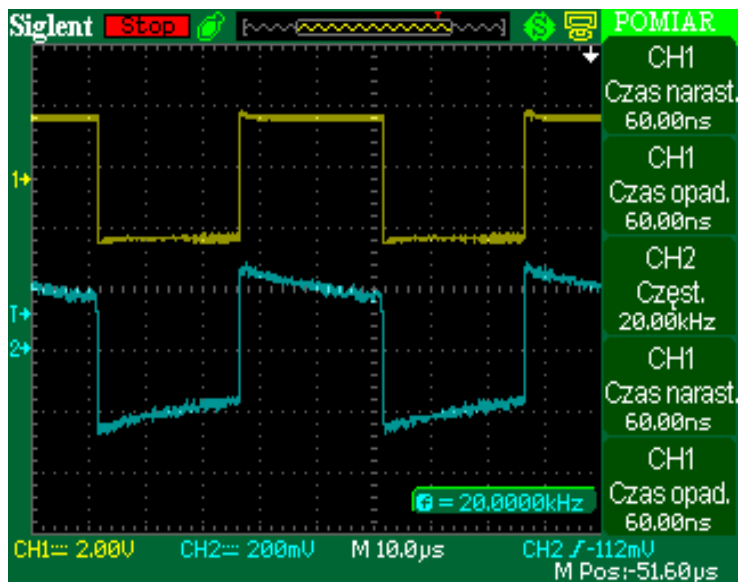
Okno transmisyjne = .....nm							
Lp.:	f	t <sub>1(1)</sub>	t <sub>2(1)</sub>	Δt <sub>12(1)</sub>	t <sub>1(0)</sub>	t <sub>2(0)</sub>	Δt <sub>12(0)</sub>
[-]	[kHz]	[μs]	[μs]	[μs]	[μs]	[μs]	[μs]
1.							
2.							

t<sub>1(1)</sub>-czas narastania zbocza sygnału wejściowego; t<sub>2(1)</sub>- czas narastania zbocza sygnału wyjściowego; t<sub>1(0)</sub>- czas opadania zbocza sygnału wejściowego; t<sub>2(0)</sub>- czas opadania zbocza sygnału wyjściowego, Δt<sub>12(1)</sub> – różnica między uzyskaniem wysokiego stanu logicznego sygnału wejściowego i wyjściowego

a)



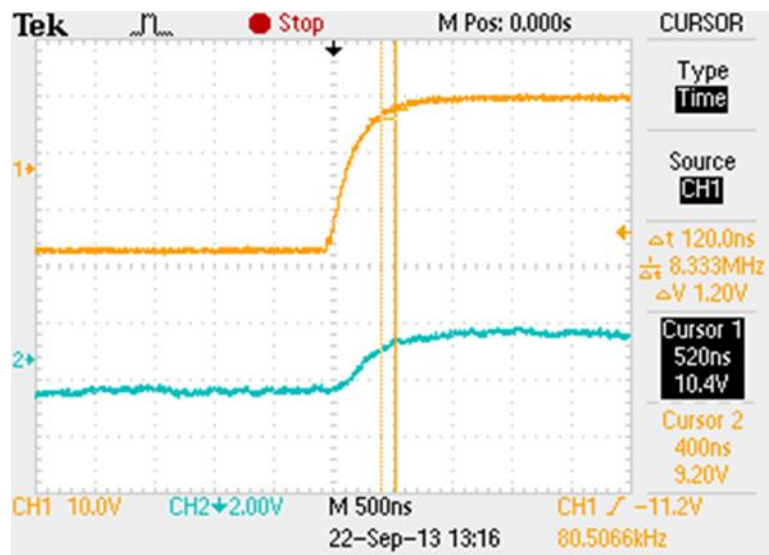
b)



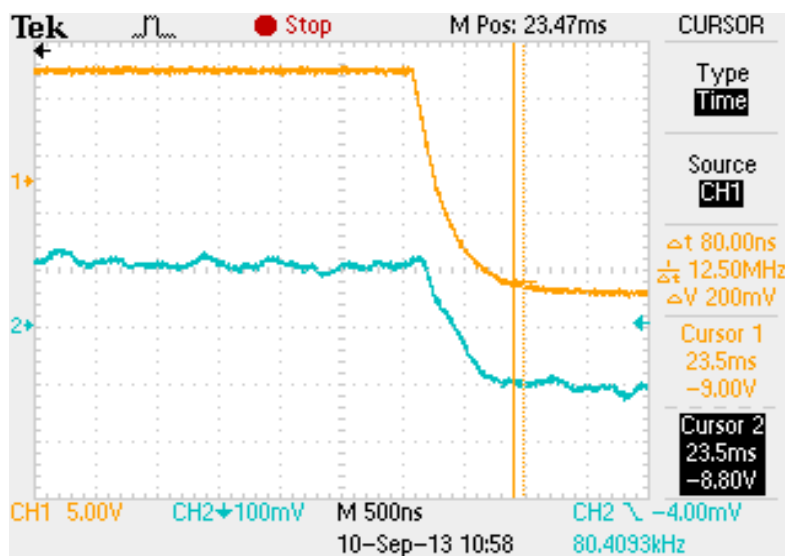
Rys. 2.7 Przykład ilustrujący różnice w odpowiedzi sygnału dla małej (a) i dużej częstotliwości (b).



a)



b)



Rys. 2.8 Oscylogramy obrazujące pomiar opóźnienia  $\Delta t$  wykonane na rzeczywistym modelu laboratoryjnym

a)– pomiar opóźnienia zbocza narastającego, b)– pomiar opóźnienia zbocza opadającego

**3) W sprawozdaniu uwzględnić:**

*A. Wyniki pomiarów, wykresy, charakterystyki porównawcze*

*B. Wnioski i komentarze do otrzymanych wyników*

**4) Pytania kontrolne**

- Opisz budowę złączy światłowodowych.
- Opisz budowę złązek światłowodowych.
- Wymienić i opisać stosowane okna transmisyjne.
- Wymienić i opisać rodzaje styków złązek.