

Podstawy wiedzy o technice światłowodowej

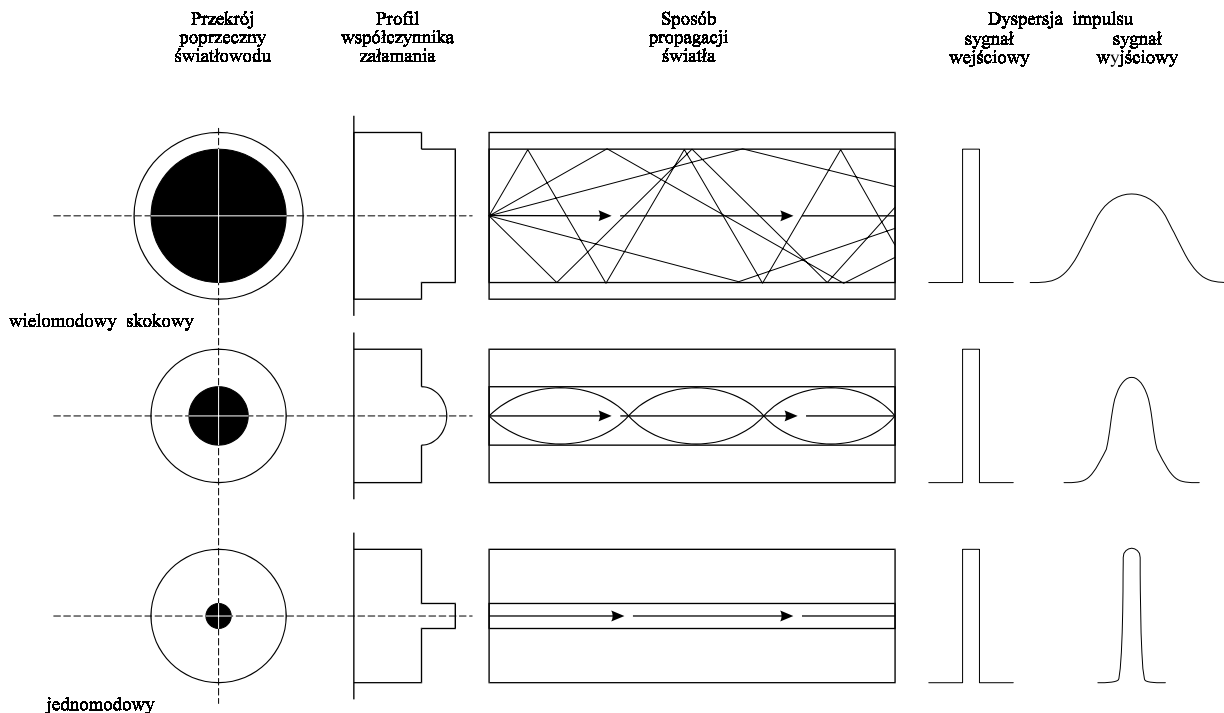
Spis treści

1. Wprowadzenie do techniki światłowodowej
 - 1.1. Czym jest światłowód ?
 - 1.2. Parametry światłowodów
 - 1.3. Zalety światłowodu jako medium transmisyjnego
 - 1.4. Kable światłowodowe
 - 1.5. Złącza światłowodowe
2. Podstawowe problemy pomiarów i projektowania w liniach światłowodowych
 - 2.1. Pomiar mocy nadajnika
 - 2.2. Pomiar czułości odbiornika
 - 2.3. Pomiar tłumienności torów światłowodowych
 - 2.4. Pomiar tłumienności złączy
 - 2.5. Pomiar mocy na wyjściu toru
 - 2.6. Projektowanie i kontrola linii światłowodowych

1.1 Czym jest światłowód ?

Światłowód jest ośrodkiem dielektrycznym, w którym nośnikiem informacji jest fala elektromagnetyczna o bardzo małej długości, z zakresu 0,8 do 1,6 μm , czyli fala świetlna (tzw. zakres bliskiej podczerwieni).

Materiałem tworzącym światłowód jest najczęściej kwarc o bardzo wysokiej czystości. Dzięki odpowiedniemu domieszkowaniu zmieniającemu się wzdłuż promienia, uzyskuje się struktury światłowodów pokazane na rys.1.



Rys.1 Typowe profile światłowodów

W przekroju światłowodu można wyróżnić rdzeń i płaszcz.. Rdzeń ma większy współczynnik załamania niż płaszcz, w wyniku czego na granicy pomiędzy nimi następuje całkowite wewnętrzne odbicie. Zapobiega to wydostawaniu się światła na zewnątrz i powoduje jego propagację wzdłuż rdzenia światłowodu..

Na rys. 1 pokazane są trzy typy światłowodów:

- światłowód skokowy wielomodowy,
- światłowód jednomodowy,
- światłowód gradientowy.

Światłowód skokowy wielomodowy posiada rdzeń o średnicy 50 do 1000 μm (praktycznie 50 do 200 μm). W światłowodzie tym propaguje wiele rodzajów fal (modów) pod różnymi kątami, co oznacza, że różne porcje energii mają do przebycia różne drogi i - w konsekwencji - pokonują one światłowód w różnym czasie. W wyniku tego krótki impuls optyczny wprowadzony do światłowodu po przebyciu go ulega rozszerzeniu. Efekt ten określany jest mianem dyspersji modowej i ogranicza pasmo przepustowe światłowodu.

Światłowód jednomodowy jest także światłowodem skokowym, ale dzięki małej średnicy rdzenia - poniżej 10 μm - propaguje w nim tylko jeden mod. Nie ma zatem różnicowania dróg i czasów propagacji. Dzięki temu nie występuje w tym typie światłowodu dyspersja modowa. Ograniczenie pasma przepustowego wynika natomiast ze zróżnicowania szybkości propagacji światła w zależności od długości fali. Efekt ten nosi nazwę dyspersji chromatycznej.

Światłowód gradientowy posiada płynnie zmieniający się wzdłuż promienia współczynnik załamania. Nie ma w tym światłowodzie wyraźnej granicy pomiędzy rdzeniem, a płaszczem. Promień świetlny nie odbija się zatem, a ugina przechodząc przez warstwy o różnym współczynniku załamania. Oznacza to, że szybkość propagacji także się zmienia, przy czym im dalej od osi światłowodu, tym jest ona większa. Przy odpowiednim ukształtowaniu profilu współczynnika załamania uzyskuje się efekt wzajemnej kompensacji wydłużenia drogi i wzrostu prędkości. W idealizowanym przypadku dyspersja modowa zanika. Praktycznie - uzyskuje się znaczne poszerzenie pasma przepustowego w stosunku do światłowodu skokowego - przekraczające nawet rząd wielkości.

W większości konstrukcji światłowodów poszczególne warstwy tworzone są w procesie technologicznym przez odpowiednie domieszkowanie kwarcu. Dodatkowe pokrycie z tworzyw sztucznych ma jedynie za zadanie ochronę włókna światłowodowego przed czynnikami zewnętrznymi. Wyjątek stanowią światłowody kwarcowo - polimerowe (PCS - plastic claded silica), które posiadają jednolity rdzeń kwarcowy i nałożony na niego płaszcz z tworzyw sztucznych. Płaszcz ten, niezależnie od swoich funkcji ochronnych, jest ośrodkiem odbijającym promieniowanie do wnętrza światłowodu.

Istnieją także światłowody całkowicie wykonane z tworzyw sztucznych, ale ich zastosowanie ograniczone jest do przesyłania sygnałów na małe odległości (rzędu kilku m).

W sieciach lokalnych znajdują zastosowanie przede wszystkim światłowody gradientowe. Światłowody jednomodowe nie są - na ogół - stosowane. Składają się na to dwa powody. Po pierwsze - mniejsze wymiary rdzenia powodują większe wymagania odnośnie precyzji wykonania złączy, co powoduje wzrost ich kosztu. Po drugie - światłowody jednomodowe wymagają specjalnych źródeł promieniowania, których cena jest znacznie wyższa od stosowanych dla światłowodów gradientowych.

Należy przewidywać znaczny wzrost roli światłowodów jednomodowych z chwilą większego rozpowszechnienia sieci FDDI - ze względu na dużą szybkość transmisji w tym systemie, równą 100 Mbit/s.

Uzasadnione jest użycie światłowodów jednomodowych do realizacji sieci lokalnej wówczas, gdy istnieją już kable ułożone do innych celów (np. telekomunikacyjne łącza międzycentralowe) i są w nich wolne włókna jednomodowe. Oplaci się wówczas zastosowanie znacznie droższego sprzętu. Z myślą o takich zastosowaniach firma LANEX produkuje wersje wszystkich swoich urządzeń przystosowane do współpracy ze światłowodami jednomodowymi.

1.2 Parametry światłowodów

Z punktu widzenia użytkownika istotne znaczenie mają dwa parametry geometryczne światłowodu:

- apertura numeryczna,
 - średnica rdzenia i płaszcz
- oraz dwa transmisyjne:
- tłumienność jednostkowa,
 - pasmo przepustowe.

Apertura numeryczna (NA) określa kąt, pod jakim światłowód akceptuje wprowadzane światło i emituje je na wyjściu. Liczbowo wyraża ją sinus połowy kąta akceptacji. Parametr ten jest szczególnie istotny z punktu widzenia sprzęgania światłowodu ze źródłem promieniowania.

Znaczenie pozostałych parametrów jest intuicyjnie zrozumiałe. Warto jedynie podać następujące uwagi:

- średnice płaszczu i rdzenia są bardzo istotne przy łączeniu odcinków światłowodów; dla uzyskania mało stratnego połączenia powinny one być jednakowe - to samo dotyczy apertury numerycznej,

- tłumienność odcinka światłowodu (wyrażona w dB) jest iloczynem jego długości i tłumienności jednostkowej (wyrażonej w dB/km). Tłumienność jednostkowa zależy od długości fali,
- szerokość pasma przepustowego określona jest dla jednostkowego odcinka światłowodu (wyrażona jest w MHz * km). Maleje ona wraz z długością odcinka - na ogół wolniej niż odwrotnie proporcjonalnie.

Typowe wartości parametrów światłowodów

typ światłowodu	średnica		NA	szerokość pasma	tłumienność jednostkowa
	rdzenia	płatka			
-----	μm		-----	MHz	dB/km
gradientowy	50	125	0,2	400	3 (850 nm)
gradientowy	62,5	125	0,27	250	4 (850 nm)
jednomodowy	8	125	-----	> 1 GHz	0,5 (1300 nm)
PCS	200	350	0,3	20	20 (820 nm)

1.3 Zalety światłowodu jako medium transmisyjnego

Z faktu, że światłowod jest ośrodkiem dielektrycznym, wynikają w sposób oczywisty jego zalety - istotne w sieciach lokalnych. Nie istnieją dla światłowodu problemy związane z zakłóceniami elektromagnetycznymi, prądami błądzącymi, czy różnicami potencjałów zerowych sieci zasilających.

Ten ostatni problem jest szczególnie uciążliwy przy realizacji sieci konwencjonalnych. Jego rozwiązanie wymaga często budowy specjalnych sieci do zasilania stacji roboczych. Wiąże się to z poważnymi kosztami, a może także stać się źródłem nowych problemów, jak np. zakłócanie kabla transmisyjnego przez linię zasilającą.

W pewnych warunkach, np. na terenie elektrowni, stosowanie kabli miedzianych jest wręcz niemożliwe i zastosowanie światłowodów jest jedynym środkiem pozwalającym na zrealizowanie sieci.

Druga fundamentalna zaleta światłowodu, to jego mała tłumienność. Dzięki niej możliwe jest zrealizowanie transmisji pomiędzy punktami odległymi o kilka kilometrów, co nie wykorzystuje jeszcze w pełni możliwości tego medium. W porównaniu z kablem koncentrycznym zysk jest wielokrotny.

Analizując możliwości budowy sieci światłowodowych warto wspomnieć o szerokiej gamie konstrukcji kabli światłowodowych, przeznaczonych do pracy w najtrudniejszych warunkach i odpornych na różnorodne narażenia środowiskowe. Kable te są łatwo dostępne w Kraju. Ich trwałość jest obliczona na co najmniej 25 lat.

Olbrzymia pojemność informacyjna światłowodu znacznie przekracza obecne potrzeby sieci lokalnych. Dlatego też dzisiejsza inwestycja w ułożenie kabli światłowodowych jest inwestycją wybiegającą naprzeciw przyszłych potrzeb. Mogą one być np. wykorzystane do budowy sieci FDDI, w których transmisja odbywa się z szybkością 100 MBit/s.

Wymienione czynniki warto wziąć pod uwagę przy projektowaniu nowej sieci. Kompleksowe spojrzenie pozwoli często stwierdzić, że koszt budowy w oparciu o światłowody nie jest rażąco wyższy niż w technice konwencjonalnej, a czasem może być nawet niższy. Pozostałe względy przemawiają zdecydowanie na korzyść światłowodów.

1.4 Kable światłowodowe

Z uwagi na minimalną średnicę i ograniczoną odporność na narażenia zewnętrzne, światłowód wymaga dodatkowej ochrony, którą zapewnia powłoka kablowa.

Produkowane są kable o różnych konstrukcjach i przeznaczeniu. Z punktu widzenia zastosowań można je podzielić na stacyjne (wewnętrzne) i międzyobjektowe (zewnętrzne).

Kable stacyjne zawierają jedno lub dwa włókna światłowodowe. Ich średnica zawiera się w granicach od 2,5 do 4 mm, a promień gięcia od 30 do 60 mm. Ceny stacyjnych kabli światłowodowych są porównywalne z cenami kabli koncentrycznych.

Budowa sieci lokalnej obejmującej oddzielne budynki wymaga układania kabli w kanalizacji telefonicznej, podwieszania ich na słupach lub na murze. Do tych celów produkowane są kable międzyobjektowe (kanałowe lub samo wiszące) o różnorodnych konstrukcjach, różnym zabezpieczeniu przed czynnikami zewnętrznymi, różnej ilości włókien optycznych i różnych cenach.

Warto przy tym zwrócić uwagę, że powszechnie stosowane w sieciach lokalnych kable koncentryczne RG-58 i RG-62/U są w zasadzie kablami stacyjnymi.

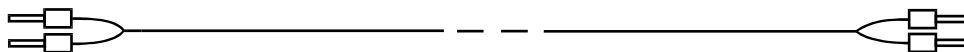
Wybór typu kabla światłowodowego powinien być poprzedzony analizą warunków i przyszłych planów związanych z budowaną siecią. Na ogół w jednej instalacji potrzebne są dwa typy kabli: stacyjny - do połączeń wewnątrz budynków i kanałowy lub podwieszany - do połączeń zewnętrznych.

1.5 Złącza światłowodowe

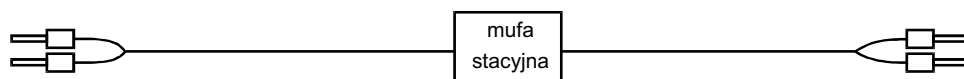
Kable światłowodowe produkowane są w odcinkach fabrykacyjnych o ograniczonej długości. Stąd, a także z faktu, że w praktyce bywa konieczne stosowanie różnych typów kabli, wynika konieczność wykonywania połączeń zarówno kabli, jak i samych światłowodów.

Najprostsze konfiguracje połączeń światłowodowych pokazane są na rys. 2.

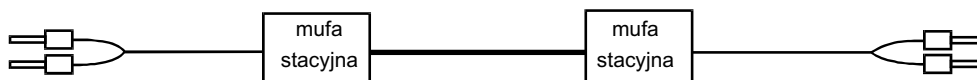
a) połączenie bezpośrednie wewnątrzobjektowe



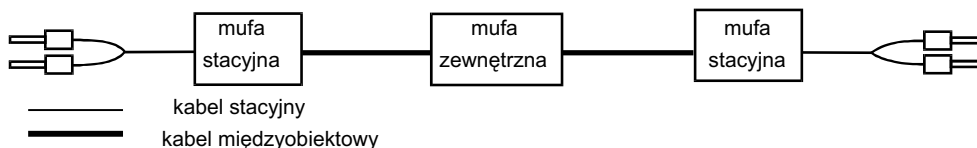
b) połączenie dzielone wewnątrzobjektowe



c) połączenie międzyobjektowe



d) połączenie międzyobjektowe z łączeniem odcinków fabrykacyjnych na zewnątrz budynków



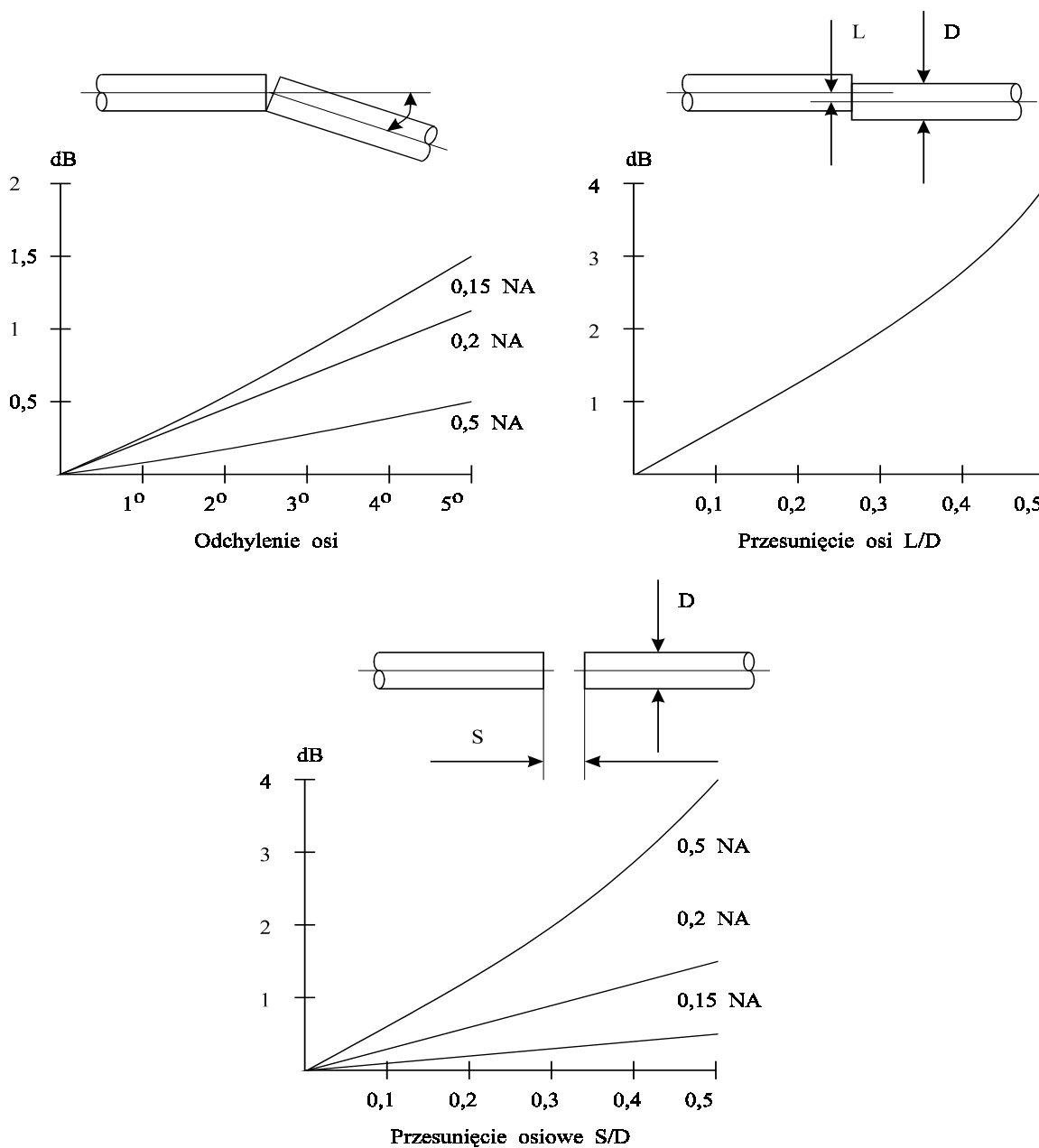
Rys.2 Podstawowe konfiguracje połączeń światłowodowych

Wobec konieczności łączenia ze sobą odcinków światłowodów, jak również i kabli opracowano złącza światłowodowe oraz elementy chroniące połączenia (mufy, przełącznice światłowodowe). Oprócz wykonania samego połączenia optycznego zapewniają one prawidłowe zabezpieczenie światłowodów przed uszkodzeniami mechanicznymi i działaniem wilgoci.

Złącza światłowodowe dzielimy na stałe i rozłączne. Do pierwszej grupy zaliczamy złącza spawane oraz złącza mechaniczne nierozłączne, do drugiej - złącza wtykowe.

Straty mocy w złączach światłowodowych

Istnieje szereg przyczyn wywołujących straty mocy optycznej na złączach. Można je podzielić na zewnętrzne i wewnętrzne. Do przyczyn wewnętrznych zaliczamy wpływ geometrii obu światłowodów w strefie połączenia. Straty zewnętrzne związane są z niedokładnością wykonania złącza. Zależność tłumienności złączy od różnych czynników obrazuje rys.3. Należy zaznaczyć, że czynniki te w jednakowy sposób wpływają na parametry złączy stałych, jak i rozłącznych. Konstrukcja złącza powinna zapewnić minimalizację strat wynikających ze wzajemnego usytuowania światłowodów (przyczyny zewnętrzne).



Rys.3 Wpływ czynników geometrycznych na tłumienność złączy

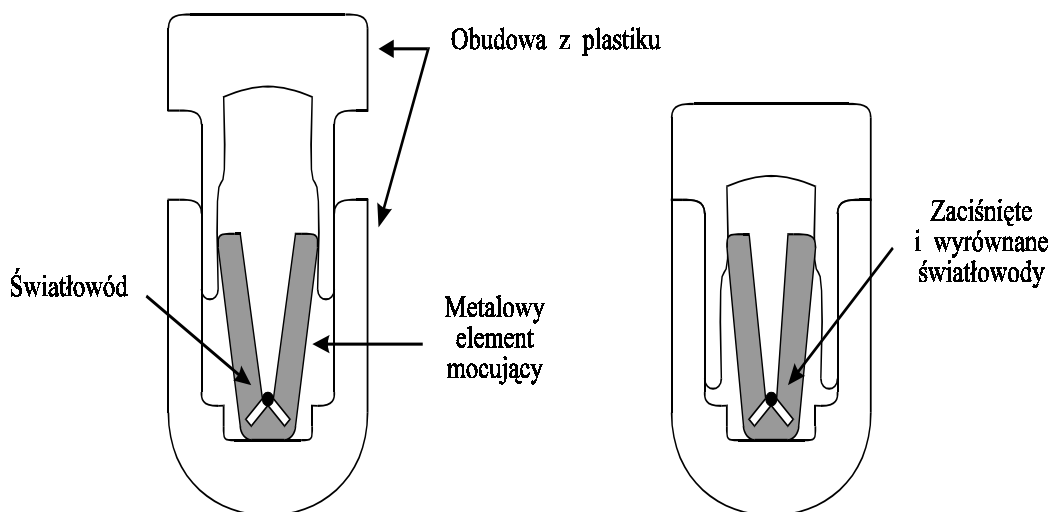
Złącza stałe

Istnieją dwie podstawowe metody tworzenia złączy stałych. Pierwsza polega na stapianiu w łuku elektrycznym odpowiednio przygotowanych końców włókien (zgrzewanie), a druga - na zabezpieczeniu zestawionych czołowo światłowodów przy pomocy mechanicznych elementów centrujących.

Technika zgrzewania zapewnia najlepsze parametry połączeń. Uzyskuje się średnie wartości tłumienności rzędu 0,05 dB. Jej stosowanie wymaga jednak posiadania drogiej aparatury (koszt zgrzewarki). Koszt samego połączenia jest za to minimalny.

Złącza mechaniczne dają rozsądny kompromis pomiędzy kosztem inwestycyjnym, a kosztem samego elementu łączącego. Są one dobrym rozwiązaniem wtedy, gdy ilości wykonywanych połączeń nie są duże, choć niektóre konstrukcje nadają się do stosowania masowego. Do takich należą m.in. złącza FIBRLOK firmy 3M.

Złącze FIBRLOK jest złączem mechanicznym jednorazowego użytku, w którym element centrujący światłowody jest w trakcie łączenia trwale odkształcany (rys.4). Miejsce styku czoł światłowodów jest wypełnione płynem imersyjnym, eliminującym straty z tytułu odbicia. Materiały, geometria złącza i precyzja wykonania zapewniają uzyskanie tłumienności rzędu 0,1 dB - oczywiście pod warunkiem zachowania odpowiedniej tolerancji geometrycznych łączonych światłowodów, staranności wykonania ucięcia (prostopadła do osi, lustrzana powierzchnia czoła) i utrzymania czystości. Złącze to charakteryzuje się wysoką odpornością na wibracje i wilgoć, a trwałość gwarantowana przez producenta wynosi 30 lat. Złącza FIBRLOK produkowane są w trzech wersjach - dla światłowodów o różnych średnicach pokryć: 250-250 μm ; 900-900 μm i 250-900 μm .



Rys.3 Złącze mechaniczne FIBRELOK

Firma 3M dostarcza również zestawy narzędzi niezbędnych do przygotowania zakończeń światłowodów i wykonania połączenia.

Złącza rozłączne.

Złącza rozłączne służą przede wszystkim do podłączenia kabla światłowodowego do urządzeń nadawczo - odbiorczych. Stosuje się je także do wykonywania połączeń pomiędzy odcinkami kabla, wówczas gdy wymagana jest możliwość zmian konfiguracji sieci. Ponadto dają one możliwość łatwego dostępu do torów światłowodowych w celu wykonania pomiarów eksploatacyjnych.

Stosowane współcześnie światłowodowe złącza rozłączne składa się z dwóch wtyków, które zabezpieczają i precyzyjnie lokują w przestrzeni czoła światłowodów oraz adaptera przelotowego, który zapewnia centryczne połączenie wtyków. W drugim wariantcie jeden z wtyków zostaje zastąpiony przez zamontowany na stałe w adapterze element aktywny (diode elektroluminescencyjną lub fotodiode). Poszczególne elementy złącza wykonane są z dokładnością rzędu 0,1 μm .

Obecnie stosowane jest kilka standardów złączy rozłącznych. Najbardziej rozpowszechnione, to ST - popularne w sieciach lokalnych i instalacjach przemysłowych oraz FC - powszechnie stosowane w telekomunikacji.

Typowe tłumienności złączy rozłącznych zawierają się w granicach 0,2 do 0.7 dB, a stałość tej wartości jest gwarantowana przez co najmniej 500 rozłączeń.

2. Podstawowe problemy pomiarów i projektowania w liniach światłowodowych

Instalacja i eksploatacja sieci światłowodowej stawia przed jej wykonawcą i użytkownikiem całkiem nowe zadania, różne od tych, jakie istnieją w sieciach konwencjonalnych. O ile w sieci przewodowej można przyjąć, że zestawienie jej elementów zgodnie z normami lub warunkami technicznymi producenta gwarantuje poprawną pracę sieci (jeśli pominąć wpływ takich czynników, jak zakłócenia i warunki zasilania), o tyle w sieci światłowodowej w każdym przypadku konieczne są pomiary optyczne, sprawdzające zgodność uzyskanych wyników z założeniami i wymaganiami producenta urządzeń. Jest to spowodowane przez cztery czynniki:

1. Szeroki zakres poziomów sygnałów (duża dynamika);
2. Duży rozrzut parametrów urządzeń;
3. Duży rozrzut parametrów transmisyjnych światłowodów;
4. Znaczny wpływ wielu trudnych do kontrolowania czynników na jakość złączy.

Szczególnie ostatni czynnik ma istotne znaczenie. Z uwagi na minimalną średnicę światłowodów, wymagana jest bardzo wysoka precyzja wykonania złączy i zachowanie absolutnej czystości. Kontrola jakości złącza w drodze oględzin jest praktycznie niemożliwa. Możliwa jest natomiast ocena skutków w postaci wzrostu strat, a co za tym idzie spadku mocy transmitowanego promieniowania.

Pomiary mocy optycznej w światłowodzie pozwalają w syntetyczny sposób ocenić, czy spełnione są warunki prawidłowej pracy urządzeń.

Pomiary te można podzielić na trzy grupy:

- pomiary parametrów urządzeń,
- pomiary parametrów torów światłowodowych i ich elementów,
- pomiary wynikowe linii światłowodowych współpracujących z urządzeniami.

Do grupy pierwszej należy moc nadajnika i czułość odbiornika, do drugiej - tłumienność odcinków torów światłowodowych, tłumienność złączy i tłumienność zmontowanej linii światłowodowej a do trzeciej - moc na wyjściu toru.

2.1. Pomiar mocy nadajnika

Parametr ten charakteryzuje urządzenie nadawcze, nie jest jednak dla niego określony jednoznacznie. Nie chodzi bowiem o moc całkowitą, emitowaną przez źródło (diode elektroluminescencyjną), lecz tę jej część, która jest sprzężona do rdzenia światłowodu. Sprawność sprzężenia zależy od średnicy rdzenia oraz apertury numerycznej światłowodu i waha się od ok. 1 % dla światłowodów gradientowych 50/125 μm do kilkudziesięciu % dla światłowodów grubo rdzeniowych

W sieciach lokalnych stosowane są światłowody **50/125 μm , 62,5/125 μm , 85/125 μm i 100/140 μm** . W warunkach krajowych praktyczne znaczenie mają jedynie dwa pierwsze.

Z powyższych danych wynika, że w celu wykonania pomiaru mocy nadajnika należy pomiędzy miernik a nadajnik włączyć odcinek światłowodu o parametrach takich, jakie posiada linia światłowodowa, z którą nadajnik będzie współpracował. Porównując uzyskany wynik pomiaru z parametrem podanym przez producenta urządzenia, należy zwrócić uwagę czy oba pomiary wykonane były przy pomocy takiego samego światłowodu. Różnica poziomów mocy w rdzeniach najczęściej używanych światłowodów **50/125 μm i 62,5/125 μm** wynosi **ok. 4 dB**.

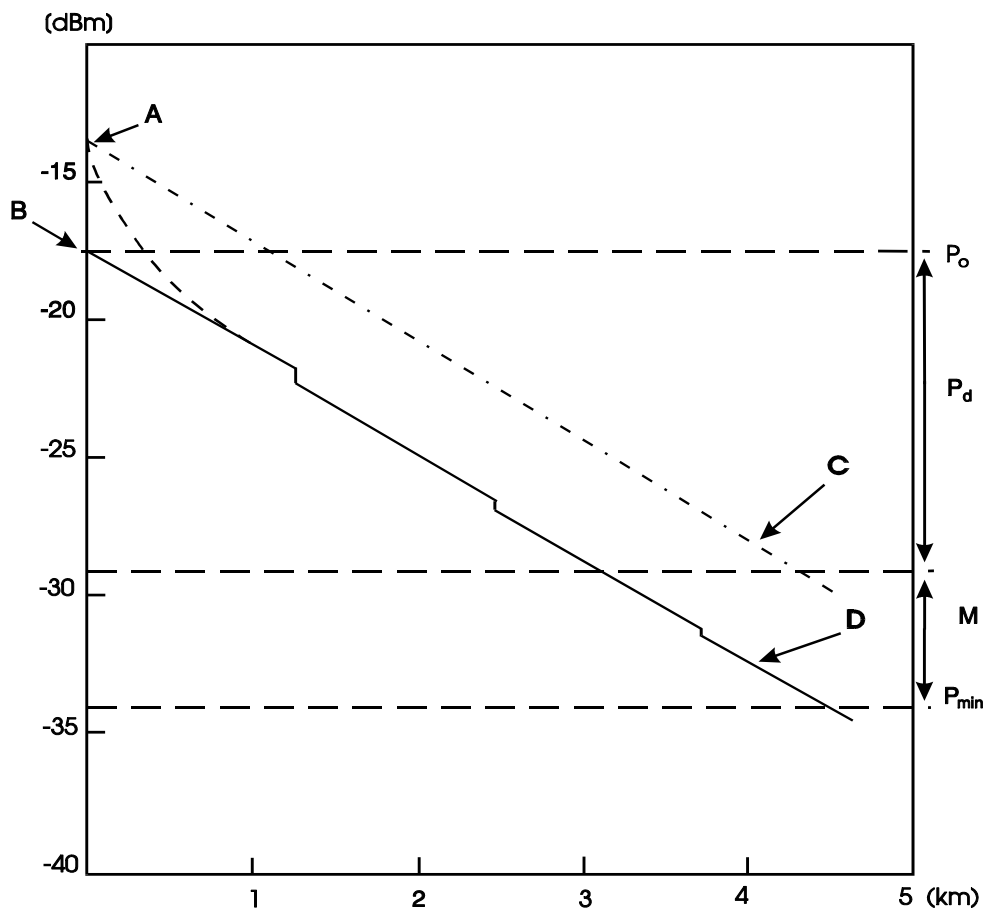
Czynnikiem utrudniającym wykonanie prawidłowego pomiaru mocy nadajnika jest trudność uzyskania właściwego pobudzenia światłowodu. Pomiar byłby prawidłowy, gdyby promieniowanie ze źródła było sprzęgane wyłącznie do rdzenia i to z takim rozkładem mocy w jego przekroju, jaki występuje w stanie ustalonym (po przebyciu długiego odcinka światłowodu). W rzeczywistości promieniowanie wprowadzane jest także do płaszcza i wartość mocy zmierzona przy pomocy krótkiego odcinka światłowodu jest zawyżona. Tzw. "*mody płaszczowe*" są znacznie silniej tłumione niż "*rdzeniowe*" i nie mają praktycznego znaczenia przy kalkulacji zasięgu transmisji.

Omówiony efekt obrazuje rys.6, przedstawiający rozkład mocy wzdłuż światłowodu. Rzeczywistej mocy, zmierzonej przy pomocy krótkiego odcinka światłowodu odpowiada punkt **A**, natomiast prawidłowa jest wartość odpowiadająca punktowi **B**. Taka wartość powinna być podawana przez producenta urządzeń jako parametr nadajnika i taka podawana jest zawsze przez firmę **LANEX**. Błąd związany z omówionym efektem może mieć wartość od ułamka dB do kilku dB.

Skutki wzięcia do obliczeń mocy nadajnika zmierzonej "z przepelnieniem" obrazuje punkt C na rys.6. Poziom mocy na wyjściu toru obliczony jako różnica poziomu mocy nadajnika i tłumienności toru o długości 4 km byłby wystarczający do zapewnienia prawidłowych warunków pracy odbiornika o czułości 34 dBm. W rzeczywistości straty na początkowym odcinku toru byłyby znacznie większe, i na wyjściu uzyskany byłby poziom odpowiadający punktowi D, a więc za mały.

W celu uzyskania wartości odpowiadającej punktowi **B** pomiar należy wykonać przy pomocy tłumika modów płaszczowych. Rolę tę może z powodzeniem spełnić odcinek światłowodu o długości ok. **1 km** (nawinięty na szpulę) o dokładnie zmierzonej tłumienności. Poziom mocy nadajnika można uzyskać dodając tłumienność światłowodu pomiarowego do poziomu zmierzonego na jego wyjściu.

Większość mierników mocy optycznej reaguje na wartość średnią mocy, należy zatem zwrócić uwagę, jaka jest zależność mocy nadajnika od treści sygnału.



Rys.6 P_o - moc sprzężona do rdzenia światłowodu
 M - margines (zapas) mocy
 P_d - budżet mocy dysponowanej

2.2. Pomiar czułości odbiornika.

Czułość odbiornika jest określona przez najniższy poziom mocy na jego wejściu (czyli na wyjściu toru), przy którym zachowana jest jeszcze wymagana wartość parametru jakościowego, charakteryzującego odbiornik. W przypadku transmisji cyfrowej parametrem tym jest na ogół stopa błędów, a wymagana wartość wynosi przeważnie 10^{-9} lub 10^{-10} .

Większość światłowodowych urządzeń odbiorczych posiada automatyczną sygnalizację spadku poziomu wejściowego poniżej wartości gwarantującej poprawną pracę. Sygnalizacja ta związana jest z zablokowaniem odbiornika. Praktycznie można zatem przyjąć, że czułość równa jest poziomowi mocy, przy którym następuje ponowne odblokowanie odbiornika.

Aby wykonać pomiar czułości potrzebny jest regulowany tłumik optyczny. W uproszczeniu czułość można zmierzyć w sposób następujący:

- połączyć nadajnik z odbiornikiem odcinkiem światłowodu zakończonym złączami (na ogół nie można użyć nadajnika i odbiornika tego samego urządzenia),
- wysunąć wtyk złącza z nadajnika tak, aby włączyła się sygnalizacja zaniku mocy (należy sprawdzić w instrukcji urządzenia, czy stan ten jest sygnalizowany przez zapalenie się czy zgaśnięcie diody),
- ostrożnie wsunąć wtyk złącza tak, aby możliwie dokładnie uchwycić moment wyłączenia się sygnalizacji,
- wyjąć drugi wtyk z gniazda odbiornika i zmierzyć emitowaną z niego moc.

Uzyskany w ostatnim punkcie wynik można uznać jako równy czułości odbiornika zdefiniowanej dla wartości średniej.

Powyższy pomiar jest oczywiście możliwy do wykonania tylko wtedy, gdy nadajnik emituje promieniowanie o stałej mocy średniej, niezależnej od treści sygnału.

Porównując uzyskany wynik z danymi technicznymi urządzenia należy zwrócić uwagę, czy instrukcja podaje czułość zdefiniowaną dla wartości średniej, czy szczytowej.

2.3. Pomiar tłumienności torów światłowodowych

Podstawowym pomiarem, który należy wykonać w trakcie budowy linii światłowodowej, jest pomiar jej tłumienności. Tłumienność ta równa jest różnicy pomiędzy poziomami mocy na wejściu i na wyjściu toru. Z wystarczającą do celów praktycznych dokładnością tłumienność toru można określić mierząc poziom mocy z nadajnika pomiarowego (lub z nadajnika urządzenia przeznaczonego do pracy w sieci) i mocy na wyjściu toru, a następnie odejmując te wartości. W ten sposób uzyskana wartość zawiera w sobie tłumienność złącza pomiędzy nadajnikiem a mierzonym torem światłowodowym.

Na wynik pomiaru zasadniczy wpływ ma stabilność mocy nadajnika, jeśli zatem jako źródło użyty jest nadajnik urządzenia transmisyjnego, dobrze jest zmierzyć ją dwukrotnie - przed i po pomiarze mocy na wyjściu toru.

Drugie źródło błędu wiąże się z efektem omówionym w punkcie 1. Dla prawidłowego pomiaru tłumienności konieczne jest właściwe pobudzenie światłowodu (zgodnie z punktem **B** na rys. 1). W warunkach rzeczywistych światłowód pobudzony jest "z *przepelnieniem*" (co odpowiada punktowi **A**) i obliczona w podany wyżej sposób wartość tłumienności jest zawyżona. Oszacowanie powstałego błędu jest bardzo trudne, gdyż zależy on od własności światłowodu. Warto pamiętać, że błąd ten jest zawsze dodatni. Dla niektórych typów światłowodów jego wartość nie przekracza kilku dziesiątych dB, ale może osiągnąć także kilka dB.

Aby pomiar był w pełni prawidłowy, mierzony tor światłowodowy należy pobudzać za pośrednictwem tłumika modów płaszczowych lub długiego odcinka światłowodu. W ostateczności można użyć krótkiego odcinka światłowodu, o którym wiadomo, że propaguje w nim minimalna ilość modów płaszczowych.

2.4. Pomiar tłumienności złączy.

Tłumienność złącza można określić mierząc moc ze światłowodu przed wykonaniem połączenia, a następnie na wyjściu światłowodu dołączonego. Pomiar ten jest możliwy tylko wtedy, gdy ten drugi światłowód jest na tyle krótki, że jego tłumienność można pominąć (mniej niż **30 m**, co odpowiada ok. **0,1 dB** przy długości fali **850 nm**).

Ze względu na niewielkie wartości tłumienności złączy (kilka dziesiątych dB), stabilność źródła i miernika mają decydujący wpływ na dokładność pomiaru, nie ma natomiast znaczenia dokładność odczytu wartości bezwzględnej poziomu. Nadajnik urządzenia transmisyjnego jest w tym przypadku praktycznie nieprzydatny, gdyż jego moc wyjściowa może zmienić się w trakcie pomiaru nawet o **1 dB**.

Wiarygodne pomiary tłumienności złączy przelotowych w zmontowanej linii można wykonać jedynie przy pomocy metod reflektometrycznych, które nie będą tutaj omawiane.

2.5. Pomiar mocy na wyjściu toru

Pomiar ten jest najprostszy z omawianych i nie wymaga wyjaśnień. Wartość zmierzona jest obiektywna; nie ma przy tym znaczenia, czy rozkład mocy w przekroju końcowego odcinka światłowodu osiągnął stan ustalony, czy też nie.

Możliwa jest taka sytuacja (dla krótkich linii), że moc na wyjściu toru jest większa niż moc nadajnika określona przez producenta lub zmierzona z tłumikiem modów płaszczowych. Oznacza to, że promieniowanie sprzężone do płaszcza światłowodu nie uległo jeszcze tłumieniu. Przypadek taki jest ważny z tego względu, że może nastąpić przesterowanie odbiornika, powodując wadliwą jego pracę.

Z punktu widzenia poprawności pracy urządzeń moc na wyjściu toru stanowi ostateczną weryfikację, czy zapewnione są właściwe warunki ich pracy. Wartość mocy wyjściowej powinna być o kilka dB wyższa od czułości odbiornika. Nie ma przy tym znaczenia, czy konkretny poziom wynika z dużej długości linii, czy z niskiej jakości światłowodu lub źle wykonanych złączy.

2.6. Projektowanie i kontrola linii światłowodowych

Podstawowym rachunkiem, który należy przeprowadzić w trakcie projektowania linii światłowodowej jest tzw. **bilans mocy**. W bilansie takim zestawione są parametry urządzeń, światłowodów oraz złączy i pozwala on ocenić zasięg transmisji.

Poniżej jest przedstawiony przykładowy bilans mocy.

A. poziom mocy nadajnika ($\lambda = 850$ nm)	- 18 dBm
B. czułość odbiornika	- 33 dBm
C. dynamika urządzeń (A - B)	15 dB
D. zalecany zapas mocy	5 dB
E. moc dysponowana (C - D)	10 dB
F. tłumienność jednostkowa światłowodu (dla $\lambda = 850$ nm)	3 dB/km
G. tłumienność złączy	0,3 dB/km
H. zasięg transmisji [E : (F + G)]	3 km

Spełnienie warunku **D** oznacza, że w chwili zmontowania linii poziom mocy na wyjściu toru powinien być większy o co najmniej **5 dB** od czułości odbiornika. Dzięki temu zapewniona jest jego stabilna praca w przypadku obniżenia się mocy nadajnika (starzenie) lub wzrostu tłumienności linii (np. w przypadku wykonania złączy awaryjnych).

Przyjęta w punkcie **G** tłumienność złączy **0,3 dB/km** oznacza przeciętnie jedno złącze o tłumienności **0,3 dB** co **1 km** światłowodu, co jest wartością typową. Rzeczywiste warunki mogą znacznie odbiegać od założonych w tabeli. Jeśli długość linii jest mniejsza od maksymalnej, można dopuścić użycie światłowodu o większej tłumienności jednostkowej, a także można sobie pozwolić na zastosowanie techniki łączenia światłowodów dającej gorsze wyniki (ale za to tańszej).

Po zgromadzeniu wszystkich elementów budowanej linii światłowodowej, a przed jej zmontowaniem, należy oszacować przewidywane wyniki. Tłumienność wypadkowa linii powinna być sumą tłumienności składających się na nią odcinków (wg pomiarów fabrycznych) i tłumienności złączy (**0,1** do **0,5 dB** każde), a poziom mocy na wyjściu toru - równy różnicy poziomu mocy nadajnika i tłumienności całkowitej linii.

Po zmontowaniu linii należy zmierzyć moc nadajnika, następnie dołączyć do niego linię światłowodową i zmierzyć moc na jej wyjściu. Dla poprawnej pracy odbiornika wystarczające jest aby poziom wyjściowy był większy od jego czułości. Z omówionych względów wymagane jest, aby w chwili instalacji moc na wyjściu toru była większa o ok. **5 dB**.

Należy zwrócić uwagę, czy uzyskane wyniki są zgodne z przewidywaniami. Jeśli są gorsze, należy dokładnie przeanalizować możliwe przyczyny, nawet jeśli zapas mocy jest większy od zalecanego. Przyczyną większych niż przewidywane strat mogą być niestarannie wykonane złącza lub załamania światłowodu, co może spowodować przerwę w linii w niespodziewanym momencie.

Trzeba podkreślić, że stanowczo niewystarczająca jest ocena jakości linii na podstawie sygnalizacji, jaką zapewnia odbiornik urządzenia transmisyjnego. Sygnalizacja ta nie daje odpowiedzi, czy zapewniony jest wystarczający zapas mocy, gwarantujący stabilną pracę przez długi okres czasu.

W przypadku występowania zakłóceń w pracy linii, objawiających się np. błędami transmisji lub blokowaniem się odbiornika, należy przede wszystkim zmierzyć poziom mocy na wyjściu toru. Jeśli jest zbyt niski - należy zmierzyć poziom mocy nadawanej. Na podstawie tych dwóch pomiarów można ocenić stan urządzeń i linii światłowodowej.

Literatura:

1. A.Czernow "Podstawowe problemy pomiarów i projektowania w liniach światłowodowych", instrukcja, Lublin, 1993.
2. "Fiber optics training program", MOLEX, instrukcja.