

Światłowód – przezroczysta zamknięta struktura z włókna szklanego wykorzystywana do propagacji światła jako nośnika informacji. Światłowody są także używane w celach medycznych, np. w technice endoskopowej i w zastosowaniach dekoracyjnych. Światłowody są wykorzystywane w telekomunikacji, telewizji kablowej, technice laserowej. Światłowody znajdują zastosowanie jako elementy urządzeń optoelektronicznych i jako składniki optycznych układów zintegrowanych. Medium transmisyjnym jest włókno światłowodowe o średnicy nieco większej od średnicy ludzkiego włosa. Wykorzystywane zalety światłowodu to zasięg i pasmo transmisji większe niż dla innych mediów transmisji.

Struktura modowa

Światłowody telekomunikacyjne dzielą się na jedno- i wielomodowe. Pod względem budowy różnią się one przede wszystkim grubością szklanego rdzenia (grubość pozostałych warstw jest taka sama), co wpływa na sposób przesyłania informacji.

Światłowód jednomodowy

Przeływ strumienia świetlnego w światłowodzie jednomodowym

Światłowody jednomodowe (ang. *Single Mode Fiber, SMF*) charakteryzują się średnicą rdzenia od 8 do 10 mikrometrów, a także skokową zmianą współczynnika załamania światła. W światłowodach jednomodowych sygnał – wytworzony przez laser półprzewodnikowy – ulega tylko niewielkim zniekształceniom (brak dyspersji międzymodowej). Fala świetlna rozchodzi się prawie równolegle do osi światłowodu i dociera do końca włókna w jednym modzie – tzw. modzie podstawowym. Ten rodzaj światłowodów nadaje się do dalekosiężnej telekomunikacji światłowodowej, gdyż sygnał może być transmitowany bez regeneracji na odległość do 100 km, zaś ich żywotność wynosi 25 lat. Umożliwiają one stosowanie wielu protokołów jednocześnie, co zapewnia bardzo efektywny transfer danych.

Światłowód wielomodowy

Zakończenie złącza światłowodu wielomodowego

Światłowody wielomodowe (ang. *Multi Mode Fiber, MMF*) charakteryzują się zwykle średnicą rdzenia 50 lub 62,5 mikrometra. W światłowodzie wielomodowym fala o takiej samej długości fali może rozchodzić się wieloma drogami zwanych modami. Prędkość ruchu modów wzdłuż falowodu może być różna, powodując zniekształcenie (rozmycie) impulsu, a co za tym idzie, ograniczenie prędkości transmisji lub odległości transmisji.

Materiał

Ze względu na materiały światłowody możemy dzielić na następujące grupy: szklane, plastikowe i półprzewodnikowe.

Światłowód plastikowy

Światłowody plastikowe wykorzystywane są jedynie do lokalnego przesyłania danych między urządzeniami na małe odległości i z małymi prędkościami (w porównaniu ze światłowodami szklanymi). W przezroczystym włóknie rdzenia stanowi tworzywo organiczne. Światłowody plastikowe charakteryzują się trzema podstawowymi wymiarami: średnicą rdzenia, średnicą płaszczka oraz średnicą pokrycia zewnętrznego. Do grupy światłowodów plastikowych zalicza się HCS/PCS (Hard Clad Silica, Plastic Clad Silica), w których płaszcz jest plastikowy, ale rdzeń szklany. Typowe zastosowania światłowodów plastikowych to automatyka przemysłowa, motoryzacja, sprzęt domowy (np. Toslink) i rozwiązania typu Fiber To The Desktop.

Tłumienie

Jedną z podstawowych cech światłowodu jest tłumienie sygnału optycznego. Spowodowane jest przez straty mocy optycznej wynikające z niedoskonałości falowodu. W rzeczywistym światłowodzie występuje absorpcja (pochłanianie energii przez materiał światłowodu), rozpraszanie energii spowodowane przez fluktuacje gęstości i współczynnika załamania szkła (tzw. rozpraszanie Rayleigha). W czasie instalacji i użytkowania światłowodów mogą pojawić się dodatkowe składniki tłumienia takie jak zgięcia lub mikropęknięcia.

Dyspersja

Impuls biegnący w falowodzie ulega wydłużeniu (rozmyciu), co ogranicza maksymalną częstotliwość sygnału przesyłanego przez falowód. Zjawisko to jest wynikiem dyspersji, fale świetlne biegnące w falowodzie nie mają dokładnie jednakowej długości fali, ale różnią się nieznacznie. W wyniku różnic w prędkości poruszania się fal o różnych długościach fale wysłane jednocześnie nie docierają do odbiornika w tym samym czasie. W rezultacie na wyjściu pojawia się szerszy impuls, którego długość rośnie wraz ze wzrostem długości światłowodu. Przepływność transmisyjna włókna jest więc określona przez to, jak blisko siebie można transmitować kolejne impulsy bez ich wzajemnego nakładania się na siebie (przy zbyt bliskich impulsach zleją się one w światłowodzie w jedną ciągłą falę). Dyspersja ogranicza długość światłowodu, przez który może być transmitowany sygnał. Rozróżnia się dwa typy dyspersji – dyspersję międzymodową występującą w światłowodach wielomodowych oraz dyspersję chromatyczną występującą we włóknach jednomodowych. Wykorzystanie w systemach światłowodowych długości fali ok. 1300 nm przynosi korzyści, jeśli chodzi o dyspersję, gdyż dyspersja materiałowa w tym obszarze długości fali jest praktycznie równa zero.

Wtyczki złącza światłowodowego standardu ST

Spawanie mechaniczne (za pomocą szybkozłączek) polega na dosunięciu w kapilarze szybkozłączki odpowiednio wcześniej przygotowanych włókien tak, aby w przestrzeni kapilary szybkozłączki zaniknęła przerwa pomiędzy włóknami (metoda ta nadaje się do krótkich połączeń światłowodowych). Spawanie światłowodów łukiem elektrycznym to metoda trwałego łączenia światłowodów. Do spawania światłowodów służą spawarki światłowodowe, które spajają ze sobą włókna za pomocą łuku elektrycznego. Jakość spawów określają: tłumienność własna i wytrzymałość mechaniczna na rozciąganie. Adaptery światłowodowe to elementy toru światłowodowego łączące ze sobą dwa złącza światłowodowe. Adaptery dzieli się na wielomodowe i jednomodowe, które z kolei dzielą się na simplexowe, duplexowe i inne. Adaptery mogą łączyć ze sobą te same typy złącz (np. SC z SC lub FC z FC) i są to adaptery standardowe oraz różnego typu (np. SC z FC lub SC z ST) i są to adaptery hybrydowe.

Do zakańczania światłowodów używa się tzw. pigtaili. Pigtail jest to krótki odcinek jednowłóknowego światłowodu zakończony z jednej strony wtykiem (półzłączką). Wtyczki mogą być zakańczane w kilku standardach, przykładowo FC, SC, ST, E2000, F3000, LC, LX.5, MU. Końcówki różnią się standardem polerowania, a także tłumiennością wtrąceniową i odbiciową, związaną odpowiednio z możliwością niecentrycznego połączenia włókien (część światła przechodzi wówczas do płaszcza dołączonego światłowodu zamiast do jego rdzenia) oraz odbiciem od płaszczyzn złącza w sytuacji, gdy nie są one ściśle dopasowane.

Złącza światłowodowe rozłączne – złączki do wielokrotnego łączenia światłowodów. Typowa złączka łączy jedno lub dwa włókna światłowodowe. Podstawową cechą złączki jest możliwość wielokrotnego łączenia i rozłączania światłowodów za pomocą gniazd i wtyków (w odróżnieniu od połączeń spawanych).

Złącza światłowodowe można podzielić ogólnie na:

- **Złącza stałe** – powstałe przez spawanie lub klejenie końcówek światłowodu. Połączone w takich złączach światłowody nie można rozdzielić bez zniszczenia struktury złącza.
- **Złącza rozłączalne** – powstałe przez zbliżenie końcówek światłowodu i odpowiednie ich pozycjonowanie za pomocą układu mechanicznego (obudowy)

Najpopularniejsze złącza to (w kolejności historycznej):

- **ST** (z kołnierzem bagnetowym),
- **FC** (z korpusem gwintowanym, ang. *Ferrule Connector*),
- **SC** (o przekroju prostokątnym, ang. *Standard Connector*),
- **LC** (*Little Connector*).

Złącze SC stosowane jest w wielu urządzeniach aktywnych, takich jak media czy wideo konwertery, gwarantując szybką i łatwą realizację przyłączenia. Złącza FC posiadają gwintowany korpus zapewni niewielki w porównaniu z innymi rozmiar. Główną zaletą złączy LC są małe wymiary złączy dzięki czemu mogą być wykorzystywane w miejscach o dużym zagęszczeniu pól przełączeniowych. Dodatkowo posiadają system blokady zatrzaskowej zabezpieczający przed przypadkowym wyciągnięciem złącza.

Każdy typ złącza występuje w dwóch rodzajach: **UPC** (ang. *Ultra Physical Contact*) oraz **APC** (ang. *Angled Physical Contact*). Różnica tych rodzajów złącz polega na spolerowaniu czoła ferruli złącza. W przypadku UPC jest ono płaskie, w APC czoło złącza polerowane jest pod kątem 8 stopni. Dzięki temu, zachodzące przy przejściu światła przez granicę ośrodków zjawisko reflektancji (odbite od granicy ośrodka światło wraca do nadajnika tłumiąc użyteczny sygnał), ma mniejszy wpływ na całkowite tłumienie złącza. Złącza APC i UPC mogą być stosowane zamiennie, o ile specyfikacja techniczna urządzenia nie stanowi inaczej.

Media konwertery z reguły posiadają złącza SC, a moduły SFP, ze względu na swoje rozmiary, złącza LC.

Typy stosowanych złączy ze względu na rodzaj światłowodów

Złącza stosowane dla włókien jednomodowych 9/125 ; SM ; TIA OS1; OS2; (kolor kabla żółty):

- ST/UPC (okrągłe duże kolor niebieski)
- SC/UPC (prostokątne duże kolor niebieski)
- SC/APC (prostokątne duże kolor zielony)
- FC/UPC (okrągłe nakręcane kolor niebieski)
- FC/APC (okrągłe nakręcane kolor zielony)
- LC/UPC (prostokątne małe kolor niebieski)
- LC/APC (prostokątne małe kolor zielony)
- E2000/UPC (prostokątne małe z klipsem kolor niebieski)
- E2000/APC (prostokątne małe z klipsem kolor zielony)
- MU/UPC (prostokątne długie kolor niebieski)
- MU/APC (prostokątne długie kolor zielony)
- DIN/UPC (okrągłe długie kolor niebieski)
- DIN/APC (okrągłe długie kolor zielony)
- MTRJ złącze podwójne z pinami lub bez

Złącza stosowane dla włókien wielomodowych 50/125 ; 62,5/125 ; MM ; TIA OM1 ; OM2 ; OM3 ; OM4 (kolor kabla pomarańczowy, szary, zielony, purpurowy):

- ST/PC (okrągłe duże kolor niebieski)
- SC/PC (prostokątne duże kolor niebieski)
- FC/PC (okrągłe nakręcane kolor niebieski)
- LC/PC (prostokątne małe kolor niebieski)
- E2000/PC (prostokątne małe z klipsem kolor niebieski)
- MTRJ złącze podwójne z pinami lub bez
- MU (prostokątne długie kolor niebieski)
- DIN (okrągłe długie kolor niebieski)

Odległości i przepustowości dla kabli wielomodowych

Kategoria	Minimum przepustowość 850nm /1300nm	Fast Ethernet 100BASE-FX	1 Gb (1000 Mb) Ethernet 1000BASE-SX	1 Gb (1000 Mb) Ethernet 1000BASE-LX	10 Gb Ethernet 10GBASE-SR	40 Gb Ethernet 40GBASE-SR4	100 Gb Ethernet 100GASE-SR10
OM1 (62.5/125)	200/500 MHz·km	2000 m	220 m	550 m	33 m	Nie wspierane	Nie wspierane
OM2 (50/125)	500/- MHz·km	2000 m	550 m	550 m	82 m	Nie wspierane	Nie wspierane
OM3 (50/125) *Laser Optimized*	1500/2000 MHz·km	2000 m	550 m	550 m	300 m	100 m (330 m QSFP+eSR4)	100 m
OM4 (50/125) *Laser Optimized*	3500/4700 MHz·km	2000 m	550 m	550 m	400 m	150 m (550 m QSFP+eSR4)	150 m

Prowadzenie kabli światłowodowych w instalacjach wewnętrznych

Promień zagięcia kabla w instalacjach wewnętrznych nie powinien być mniejszy niż dziesięciokrotność jego średnicy, ciągnięcie kabla powinno odbywać się z określoną i nie większą siłą niż jest to w specyfikacji kabla, należy zwrócić szczególną uwagę na nie uszkodzenie fizyczne włókna.

Przydatne Linki

[Patchcordy światłowodowe](#)

[Kable światłowodowe](#)

[Adaptory złącz światłowodowych](#)

meditronik[®] od 1988