



**AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA
IM. STANISŁAWA STASZICA W KRAKOWIE**

Przekaz optyczny

Mikołaj Leszczuk

**Wydział Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i
Elektroniki
Katedra Telekomunikacji**

2010-10-24



Falwód służący do przesyłania promieniowania świetlnego

ŚWIATŁOWÓD

Ewolucja światłowodów

- Pierwotnie...
 - Postać metalowych rurek o wypolerowanych ściankach
 - Służących do przesyłania **infra-red**
- Obecnie...
 - W formie włókien **dielektrycznych**
 - Najczęściej szklanych
 - Z otuliną z tworzywa sztucznego
 - Mniejszym współczynnikiem załamania światła otuliny niż szkła

Zalety światłowodu jako optycznego medium transmisyjnego

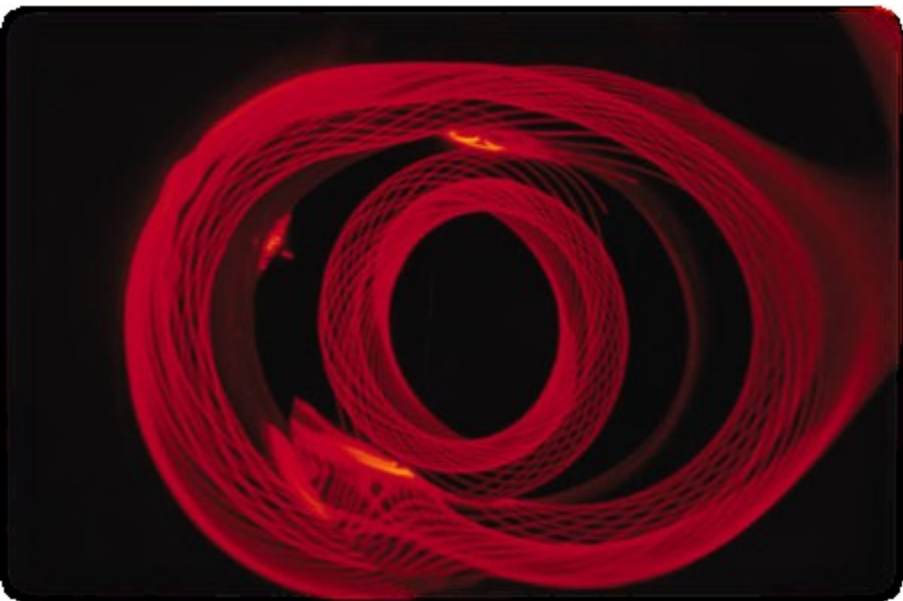
• Użycie prądu elektrycznego

- Zniekształcenia sygnału
- Wytwarzanie własnego pola magnetycznego:
 - Brak zabezpieczenia przed niepowołanym dostępem
 - Możliwość podsłuchania transmisji

Użycie modulowanej wiązki światła

- Brak zniekształceń
- Nie wytwarza własnego pola magnetycznego:
 - Zabezpieczenie przed dostępem
 - Brak możliwości podsłuchu
- Transmisja do 3 Tbit/s
- Źródło wiązki:
 - Laser
 - Dioda LED

Laser jako źródło modulowanej wiązki światła



Odporność na błędy w światłowodzie

- Duża odporność na **zakłócenia** elektromagnetyczne zewnętrzne
- **Stopa błędów** mniejsza niż 10^{-10} przy najwyższych szybkościach transmisji
- Mała **tłumienność** jednostkowa (zwykle około 0,20db/km)

Inne zalety światłowodu

- **Odległości** na jakie może być transmitowany sygnał bez potrzeby dodatkowego wzmacniania – 80-100 km
- **Żywotność** – 25 lat
- Możliwość równoczesnego stosowania wielu **protokołów** (efektywny transfer)



Podział światłowodów według liczby przesyłanych długości fali

- **Wielomodowe** – MMF (ang. *multi mode fiber*) – 50 i 62,5 mikrona
 - Gradientowe
 - Skokowe
- **Jednomodowe** – SMF (ang. *single mode fiber*) – 5 do 10 mikrona



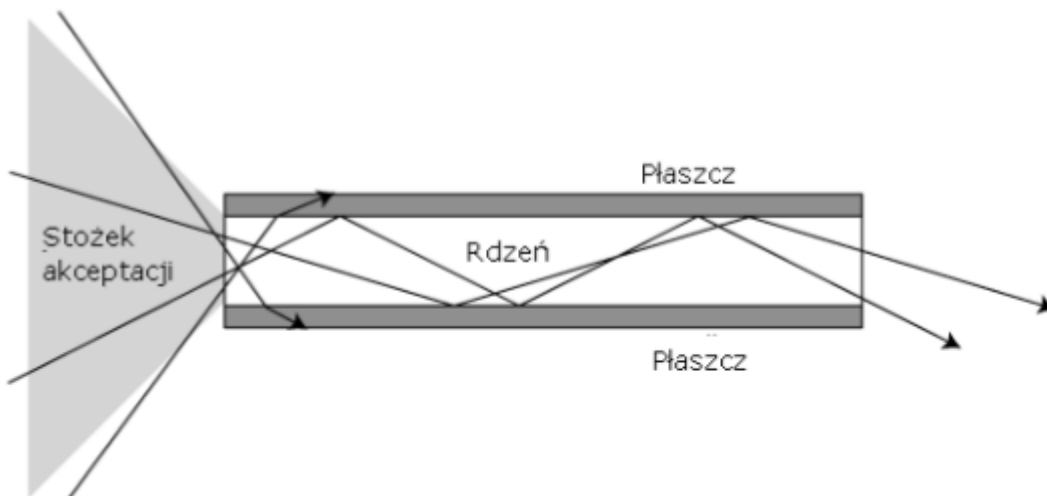


ŚWIATŁOWODY WIELOMODOWE



AGH Schemat światłowodu wielomodowego

• Źródło: Wikipedia



- Budowa warstwowa
- Każda warstwa inaczej domieszkowana
- Wynik – współczynnik załamania światła zmienia się w sposób ciągły
 - Wartość maksymalna na osi rdzenia
 - Wartość minimalna na granicy z płaszczem



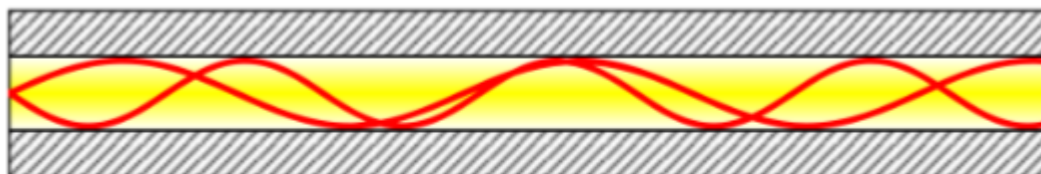
Wielomodowe światłowody gradientowe – kontynuacja...

- Zapewnienie – dla różnych modów (poruszających się po łukach) – tej samej prędkości rozchodzenia wzdłuż kabla
- Fale rozchodzące się w większej odległości od środka poruszają się w warstwach o mniejszym współczynniku załamania
- Wynik – większa prędkość liniowa



Przepływ strumieni świetlnych w światłowodzie wielomodowym gradientowym

Źródło: Wikipedia



- medium
- włókno szklane
- ▨ powłoka zewnętrzna



Wielo-modowe światłowody skokowe

- Poruszanie się poszczególnych modów skokowo
- Odbijanie się na granicy rdzeń-płaszcz
- Mody wprowadzane do rdzenia pod różnymi kątami
- Różna droga do przebycia
- Stała prędkość rozchodzenia światła – w szkle
200.000 km/s
- Różny czas przejścia promienia przez światłowód



Wielo-modowe światłowody skokowe – kontynuacja...

- Powstawanie tzw. dyspersji między-modowej
- Efekt – poszerzenie impulsu docierającego na koniec światłowodu
- Konsekwencje – ograniczenie przepustowości i odległości, na jaką mogą być przesyłane sygnały



Przeptyw strumieni świetlnych w światłowodzie wielomodowym skokowym

Źródło: Wikipedia



- medium
- włókno szklane
- powłoka zewnętrzna



ŚWIATŁOWODY JEDNOMODOWE



Światłowody jednomodowe AGH (1/2)

- Sygnał – wytwarzany przez laser
- Prawie całkowity brak rozpraszania (brak dyspersji **międzymodowej**)
- Strumień danych przesyłany równolegle do osi
- Odbiór danych na końcu włókna w jednym modzie (tzw. modzie podstawowym)
- Nie ma odbić



Światłowody jednomodowe AGH (2/2)

- **Konsekwencje:**
 - **Mała średnica włókna (zwykle od 5 do 10 mikronów)**
 - **Skokowy współczynnik załamania światła**
- **Zastosowanie w dalekosiężnej telekomunikacji światłowodowej**
- **Sygnal transmitowany bez wzmacniania na odległość do 100 km**
- **Droga technologia wytwarzania światłowodu jednomodowego**



STRATY W ŚWIATŁOWODZIE

7/25/2009

Straty w światłowodzie

- **Wszystkie światłowody, nawet jedno-
modowe – nieidealne medium transmisyjne**
- **Straty w światłowodzie**
 - Tłumienie
 - Dyspersja

Tłumienie sygnału

- **Tłumienie sygnału – jedna z podstawowych wad mediów transmisyjnych**
- **W światłowodzie – spowodowane przez straty falowe wynikające z niedoskonałości falowodu**
- **Ponadto w rzeczywistym światłowodzie występuje:**
 - **Absorpcja (pochłanianie energii przez cząstki światłowodu)**
 - **Rozpraszanie energii spowodowane przez:**
 - **Fluktuacje gęstości materiału rdzenia,**
 - **Fluktuacje współczynnika załamania, oraz**
 - **Wady produkcyjne:**
 - **Zgięcia,**
 - **Mikropęknięcia**

Tłumienie sygnału – – kontynuacja...

- Jedno z głównych źródeł tłumienia sygnału – straty materiałowe
- Większość światłowodów wykonana ze szkła kwarcowego SiO_2
- Światło rozpraszane z powodu fluktuacji gęstości materiału rdzenia, a ta spowodowana niedoskonałością struktury szkła

Straty falowodowe

- **Wynik niejednorodności światłowodu**
- **Powody niejednorodności**
 - Fluktuacje średnicy rdzenia
 - Zgięcia włókna
 - Nierównomierności rozkładu współczynnika załamania w rdzeniu i płaszczu
 - Wszelkie inne odstępstwa od geometrii idealnego światłowodu cylindrycznego
- **Deformacje włókna mające duży wpływ na tłumienie światłowodu**
 - Mikro-zgięcia
 - Makro-zgięcia

Mikro-zgięcia

- **Nieregularności kształtu rdzenia i płaszczka rozłożone wzdłuż włókna**
 - Losowo
 - Okresowo
- **Źródło powstawania – proces wytwarzania włókien**
- **Efekty w światłowodzie **wielo-modowym****
 - Mieszanie się **modów**
 - Konwersja w **mody** wyciekające do płaszczka
- **Efekty w światłowodzie **jedno-modowym****
 - Rozmycie **modu**

Makro-zgięcia

- **Fizyczne zakrzywienie włókna światłowodowego**
- **Tłumienie dla promieni zakrzywień większych od kilku centymetrów**
 - Pomijalnie małe
- **Tłumienie dla promieni zakrzywień mniejszych od kilku centymetrów**
 - Zmiana współczynnika załamania w obszarze zgięcia
 - Tworzenie się **modów** wyciekających
 - Efekt świecenia włókna na powierzchni

Inne przyczyny straty mocy sygnału

- Przesunięcie światłowodów
- Rozsuniecie światłowodów
- Wzajemny obrót światłowodów
- Koncentracja zanieczyszczeń metali

Koncentracja zanieczyszczeń metali

- **Niewielka absorpcja w zakresie pasma**
0,8 – 1,5 μm
- **Większa przy zanieczyszczeniach metalami**
 - Fe
 - Cu
 - Cr
 - Jonów OH (zwłaszcza)
- **Proces nieodwracalny**
- **Wynikowa tłumienność zależna od**
 - Rodzaju domieszek
 - Sposobu ich koncentracji
- **Rozwiązanie – wybór okien transmisyjnych celem pominięcia pasm absorpcyjnych**

Tłumienie sygnału dla czystego szkła kwarcowego

- Stała materiałowa $k=0,8$
- Tłumienność spowodowana rozproszeniem **Rayleigha** dla długości fali w światłowodzie:
 - $\lambda=850 \text{ nm}$ - 1,53 db/km
 - $\lambda=1300 \text{ nm}$ - 0,28 db/km
 - $\lambda=1550 \text{ nm}$ - 0,138 db/km
- Oprócz rozpraszania Rayleigha – silna absorpcja związana bezpośrednio z samymi właściwościami szkła krzemowego SiO_2 :
 - W podczerwieni
 - W nadfiolecie
- Brak możliwości użycia jeszcze dłuższych fal do transmisji

Dyspersja

- **Dyspersja – zjawisko poszerzenia (rozmycia) impulsu w światłowodzie**
- **Przyczyna – niezerowa szerokość widma przy określonej długości fali**
- **Szersze widmo to więcej promieni przemieszczających się w rdzeniu**
- **Różna droga do przebycia przez promienie**
- **W konsekwencji – różny czas przebycia promienia przez włókno**
- **Pojawienie się na wyjściu szerszego impulsu, rosnącego wraz ze wzrostem długości światłowodu**

Dyspersja – kontynuacja...

- **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 nie ma sposobu ich rozpoznania**
- **Dyspersja ogranicza długość światłowodu przez który może być transmitowany sygnał**

Dwa rozróżniane typy dyspersji

- **Dyspersja między-modowa**

- **Występująca w światłowodach wielo-modowych**

- **Dyspersja chromatyczna**

- **Występująca w włóknach jedno-modowych**

Dyspersja między-modowa

- Impuls światła wiedziony przez światłowód to superpozycja wielu modów
- Różne kąty odbicia od granicy rdzenia
- Prawie dla każdego modów inna długość drogi między odbiornikiem a nadajnikiem
- Dyspersja modowa światłowodów skokowych >> wszystkie pozostałe dyspersje

Dyspersja między-modowa – kontynuacja...

- **Dodatkowo – duże tłumienie jednostkowe tych włókien**
- **Wyraźnie inny kształt i mniejsza amplituda docierającego sygnału**
- **Zniekształcenie rosnące wraz z długością światłowodu**
- **Rozwiązanie – wprowadzenie włókien gradientowych**
 - Ograniczenie dyspersji modowej
 - Zwiększenie pasma światłowodów wielomodowych

Dyspersja chromatyczna

- **Dyspersja chromatyczna – nie występuje tutaj zjawisko dyspersji międzymodowej**
- **Bo światłowody jednomodowe propagują tylko jeden mód**
- **Uwidacznia się natomiast inny, dotychczas niewidoczny rodzaj dyspersji, dyspersja chromatyczna.**
- **Składają się na nią dwa zjawiska – dyspersja:**
 - **Materiałowa**
 - **Falowodowa**



AGH Dyspersja

- Dyspersja materiałowa powodowana jest zmianą współczynnika załamania szkła kwarcowego w funkcji długości fali
- Ponieważ nie istnieje źródło światła ściśle monochromatyczne, gdyż każdy impuls światła składa się z grupy rozproszonych częstotliwości optycznych rozchodzących się z różną prędkością, docierający po przebyciu fragmentu włókna mód charakteryzuje się rozmyciem w czasowym

Dyspersja

- **Dyspersja falowa częściowo powodowana jest wędrowaniem wiązki przez płaszcz światłowodu**
- **Szybkość rozchodzenia się zależy od właściwości materiałowych płaszczka**

Dyspersja

- **Wykorzystanie w systemach światłowodowych większych długości fali przede wszystkim ok. 1300 nm, zamiast 830÷900 nm wykorzystywanych w pierwszych systemach przynosi poważne korzyści jeśli chodzi o dyspersję, gdyż dyspersja materiałowa w tym obszarze długości fali jest praktycznie równa zero.**
- **Co więcej, w miarę doskonalenia procesu produkcji włókna, zaczęło się okazywać, że dla bardzo suchych (o małej zawartości jonów OH) rodzajów szkła, można uzyskać dla fali 1300 nm wartości tłumienności znacznie poniżej 3÷5 db/km, jakie uzyskiwano dla 850 nm i z wielu źródeł pojawiły się doniesienia o uzyskaniu dla fali 1300 nm wartości tłumienności rzędu od 1 do 0,5 db/km.**
- **Później uzyskano dla fali 1550 nm tłumienność rzędu 0,2 db/km.**

Dyspersja chromatyczna

- **Spowodowana zależnością prędkości grupowej (współczynnika załamania) od długości fali propagującej się we włóknie**
- **Rezultat – różne składowe spektralne emitowane przez źródło, propagowane ze zróżnicowanymi opóźnieniami**
- **Efekt – poszerzenie obwiedni transmitowanych impulsów**

Dyspersja chromatyczna – kontynuacja...

- **Źródło strat**
- **Występowanie dyspersji chromatycznej:**
 - Światłowody wielo-modowe
 - Światłowody jedno-modowe
- **Dzięki domieszkowaniu, w pewnych granicach, możliwe zmienianie parametrów światłowodu, celem zmniejszenia jego dyspersji chromatycznej**

- **“T.J.K. – Program Edukacyjny o Sieciach Telekomunikacyjnych – Pomoc”**
- **“Topologie równoległe”**
[<http://icis.pcz.czest.pl/materials/topologie/>]
- **“Interaktywny podręcznik sieci komputerowych”**
[<http://www.man.poznan.pl/~pawelw/dyplom/>]
- **“Topologie sieci”**
[<http://www.republika.pl/legecki/topologie.html>]
- **“Grafy”**
[<http://student.uci.agh.edu.pl/~wasikows/grafy/>]
- **Strona główna – wikipedia**
[http://pl.wikipedia.org/wiki/Strona_g%C5%82%C3%B3wna]

- “Interaktywny podręcznik sieci komputerowych”, <http://www.man.poznan.pl/~pawelw/dyplom/>
- “Słownik techniki cyfrowej”, <http://sloownik.kargul.net/>