



Laboratorium techniki światłowodowej

Ćwiczenie 1. Połączenia między światłowodami – złącza światłowodowe



Katedra Optoelektroniki
i Systemów
Elektronicznych, WETI,
Politechnika Gdańska
Gdańsk 2006

1. Wprowadzenie

Podczas produkcji światłowody wyciąga się w odcinkach o skończonej długości. Również ikable światłowodowe są wykonane w odcinkach, o długościach od kilkuset metrów do kilkunastu kilometrów. Wynika stąd konieczność łączenia ze sobą wielu odcinków, światłowodów, jak również i kabli, aby uzyskać odcinki o większych długościach (odległości między wzmacniaczami lub między nadajnikiem a odbiornikiem promieniowania mogą wynosić kilkadziesiąt kilometrów). Do tego służą złącza światłowodowe stałe i rozłączne.

2. Optyczne straty złącz światłowodowych

Moc sygnału optycznego przechodzącego przez złącze ulega pewnemu zmniejszeniu (straty). Dlatego też wprowadza się współczynnik transmisji T:

$$T = \frac{P_2}{P_1} \quad (1)$$

gdzie: P_1 – moc sygnału optycznego przed złączem, P_2 – moc sygnału optycznego za złączem.

Przyczyny strat mogą być różne. Dzielimy je na tzw. straty zewnętrzne (extrinsic loss) i straty wewnętrzne (intrinsic loss). Te pierwsze spowodowane są głównie przez mechaniczne tolerancje jak przesunięcie poosiowe, przesunięcie między osiowe, przesunięcie kątowe, kąt niedopasowania, jakość powierzchni czołowych włókien oraz straty Fresnela występujące przy przechodzeniu fali przez granicę ośrodków optycznych. Przy założeniu, że te uchyby mechaniczne są małe, poszczególne ich składowe składają się na sprawność złącza, którą można określić za pomocą następujących przybliżonych zależności:

$$T_s = 1 - \frac{1}{\pi} \cdot \frac{s \cdot NA}{R \cdot n_0} \cdot \frac{g + 2}{g + 1} \quad (2)$$

$$T_\varepsilon = 1 - \frac{2}{\pi} \cdot \frac{\varepsilon}{R} \cdot \frac{g + 2}{g - 1} \quad (3)$$

$$T_\phi = 1 - \frac{2\phi}{\arcsin NA} \quad (4)$$

$$T_\gamma = 1 - \frac{2}{\pi} \cdot \left(\frac{\frac{n_r}{n_0} - 1}{\arccos NA} \right) \cdot \gamma \quad (5)$$

$$T_{r_{ch}} = 1 - \frac{1}{4\pi} \cdot \frac{n_r - n_0}{n_r + n_0} \cdot \frac{r_{ch}}{2} \quad (6)$$

gdzie: s – przesunięcie poosiowe, ε – przesunięcie międzyosiowe, ϕ – przesunięcie kątowe, γ – skośność powierzchni czołowych, R – promień rdzenia włókna, NA – apertura numeryczna, n_r – współczynnik załamania rdzenia, n_0 – współczynnik załamania otaczającego ośrodka, g – współczynnik profilu współczynnika załamania włókna, r_{ch} – głębokość chropowatości w μm , λ – długość fali w μm .

Straty wewnętrzne zależą od transmisji fali przez złącze i spowodowane są przypadkowymi zmianami parametrów mechanicznych łączonych włókien. Uwzględniają one różne średnice ich rdzeni d , różne wartości apertur numerycznych NA łączonych włókien i niedopasowania ich współczynników profilów załamania g . Sprawność połączenia dwóch światłowodów A i B w funkcji d , NA i g określają następujące zależności:

$$T_d = \begin{cases} \left(\frac{d_B}{d_A}\right)^2 \cong 1 - \frac{2(d_A - d_B)}{d_A} & ; d_B < d_A \\ 1 & ; d_B \geq d_A \end{cases} \quad (7)$$

$$T_d = \begin{cases} \left(\frac{NA_B}{NA_A}\right)^2 \cong 1 - \frac{2(NA_A - NA_B)}{NA_A} & ; NA_B < NA_A \\ 1 & ; NA_B \geq NA_A \end{cases} \quad (8)$$

$$T_d = \begin{cases} \frac{g_B g_A + 2}{g_A g_B + 2} \cong 1 - \frac{2(g_A - g_B)}{g_A g_B + 2g_A} & ; g_B < g_A \\ 1 & ; g_B \geq g_A \end{cases} \quad (9)$$

Nie uwzględnia się tutaj innych strat, jak straty modowe oraz straty spowodowane zanieczyszczeniem powierzchni czołowych.

3. Rodzaje złącz światłowodowych

Złącza stałe można tworzyć metodą spawania bądź klejenia. Mając na uwadze źródła strat, a zwłaszcza strat zewnętrznych, omówione poprzednio o powierzchni czołowe łączonych włókien powinny być odpowiednio przygotowane tzn. powinny być optycznie płaskie, wzajemnie równoległe i prostopadłe do osi włókna. Bardzo użyteczną jest tutaj prosta technika cięcia włókien szklanych polegająca na zarysowaniu a następnie rozerwaniu włókien. Trwale nierozłączalne połączenia wykonuje się najczęściej przez zespawanie końcówek włókien. Wcześniej jednak łączone końcówki muszą być ustawione dokładnie naprzeciw siebie, co warunkuje osiągnięcie dużej sprawności pobudzenia włókna. Ze względu na rozszerzalność cieplną łączone końcówki ustawia się w odległości kilku m od siebie. Obecnie przeważnie używa się wyładowania jarzeniowego przy ciśnieniu atmosferycznym i napięciu zmiennym 400 - 600V dla odległości między elektrodami wolframowymi ok. 1-2 mm. Moc jego (6-10W) wystarcza do zespawania dwóch włókien kwarcowych w temperaturze 1800°C do 2000°C. Plazmę wyładowania jarzeniowego można łatwo kontrolować i uzyskać symetryczną bardzo wąską strefę topienia. W cienkich włóknach miejsce łączone zabezpiecza się np. żywicą epoksydową lub tulejką metalową. Tłumienności złączy spawanych wynoszą 0,02 - 0,05dB dla typowych światłowodów telekomunikacyjnych.

W przypadku połączeń zgrzewanych tłumienności tak wykonanych złączy wynoszą dla włókien wielomodowych średnio ok. 0,1dB a dla włókien jednomodowych średnie tłumienności wynoszą 0,4dB dla średnicy rdzenia 5,2μm i 0,1dB dla średnicy 10μm. Poza tym można stosować połączenie klejone. Tutaj justowanie obu końców włókien odbywa się między dwiema ściankami rurki o przekroju kwadratowym lub w precyzyjnym rowku o kształcie litery V wytrawionym w podłożu nośnym z krzemu. Tłumienności takich klejonych złączy wynoszą dla włókien wielomodowych 0,1 do 0,35dB. Dla włókien jednomodowych są większe.

Duża grupa złączy stałych bazuje na płaskim elemencie konstrukcyjnym z wyciętym lub wytrawionym rowkiem w kształcie litery V. Nadaje się ono do szybkiego i o małych stratach łączenia

niezabezpieczonych włókien również w technice kablowej gdzie stosuje się wtedy element konstrukcyjny z wieloma rowkami V. Włókno optyczne dociskane jest do rowka V przez odpowiednią pokrywkę płaską lub kształtowaną. Materiał na kształtki musi być stabilny termicznie.

Do wielokrotnego powtarzalnego łączenia światłowodów służą połączenia rozłączalne. Powinny one spełniać następujące wymagania, które zapewniłyby:

- dokładne optyczne sprzężenie z minimalnymi stratami również przy wielokrotnym używaniu,
- wysoka żywotność i niezawodność czynnych elementów mechanicznych,
- prostą obsługę we wszystkich warunkach eksploatacyjnych,
- niskie koszty (porównywalne z kosztami złączy elektrycznych).

Aby spełnić te wymagania opracowano szereg różnych typów złączy, których konstrukcje są stale doskonalone. Często stosowane np. jest złącze dwustożkowe. Osiąga się tutaj tłumienie 0,1 do 0,2dB. Inna metoda zmniejszająca wymagania na tolerancje mechaniczne elementów złącza polega na jego mimośrodowej konstrukcji. Obracając dwie części takiego złącza względem siebie otrzymuje się dwa punkty idealnego dopasowania rdzenia włókien. Druga rodzina złączy wykorzystuje optyczne metody justowania włókien uzyskując obniżenie wrażliwości parametrów transmisyjnych złącza od tolerancji mechanicznych jego wykonania. W złączach takich stosuje się stożki światłowodowe, klasyczne soczewki kulkowe, mikrosoczewki i soczewki typu selfoc. Ich zaletą jest również znaczne obniżenie wrażliwości na wpływy środowiskowe, zanieczyszczenia, całkowite wyeliminowanie strat reparacyjnych, dobra powtarzalność wykonania i wielokrotność rozłączeń bez zmiany parametrów.

4. Zadania pomiarowe

1. Zapoznać się z układem pomiarowym.
2. Ustawić przesunięcie kątowe na 0° , przesunięcie międzyosiowe na 0 (poprzez takie ustawienie stolika regulującego przesunięcie międzyosiowe, aby woltomierz pokazywał wartość maksymalną). Zdjąć charakterystykę $P_2(s)$ dla przesunięcia przyosiowego s .
3. Ustawić przesunięcie poosiowe na małą wartość, tak aby końce światłowodów nie zahaczały o siebie. Zdjąć charakterystykę $P_2(\epsilon)$ dla przesunięcia międzyosiowego ϵ .
4. Zdjąć charakterystykę $P_2(\varphi)$ dla przesunięcia kątowego.

Uwaga 1:

Ponieważ oś obrotu stolika nie musi pokrywać się z końcem światłowodu, po każdej zmianie kąta należy dokonać takiej korekcji przesunięcia poosiowego i międzyosiowego, aby woltomierz pokazywał wartość maksymalną.

Uwaga 2:

We wszystkich przypadkach przyjąć ustawioną wartość maksymalną jako punkt początkowy (zerowe przesunięcie). Zakładamy, że w tym punkcie transmisja $T = 1$, a zatem $P_1 = P_2$. Pomiary wykonać aż do 10-krotnego spadku wskazań względem przyjętego maksimum.

5. Opracowanie

1. Przedstawić na wspólnym wykresie charakterystykę T_s pomierzoną i obliczoną teoretycznie według wzorów podanych we wstępie.
2. Przedstawić na wspólnym wykresie charakterystykę T_ε pomierzoną i obliczoną teoretycznie według wzorów podanych we wstępie.
3. Przedstawić na wspólnym wykresie charakterystykę T_φ pomierzoną i obliczoną teoretycznie według wzorów podanych we wstępie.
4. Na podstawie pomiarów określić maksymalne dopuszczalne tolerancje przesunięć poosiowego s , międzyosiowego ε oraz kąta φ tak, aby poszczególne przesunięcia nie powodowały wzrostu tłumienia złącza światłowodowego większego niż 10%.

Uwaga:

Jeżeli nie zostało podane inaczej przez prowadzącego laboratorium, przyjąć następujące parametry światłowodów:

średnica rdzenia	$d_r = 0,75\text{mm}$
średnica płaszczka	$d_p \approx 0,75\text{mm}$
apertura metryczna	$NA = 0,48$
współczynnik załamania rdzenia	$n_r = 1,45$

6. Literatura

1. J. Siudak: „Wstęp do współczesnej telekomunikacji światłowodowej”, WKŁ, Warszawa 1997
2. B. Crosignani, G. de Marchis: „Światłowody w telekomunikacji”, WKŁ, Warszawa 1987
3. K. Perlicki: „Pomiary w optycznych systemach telekomunikacyjnych”, WKŁ, Warszawa 2002