

Pomiary światłowodowe

Pomiary tłumienności światłowodu

Pomiary włókna światłowodowego wykonuje się podczas procesu wytwarzania, przy odbiorze od dostawcy, podczas prac instalacyjnych i przed odbiorem zmontowanego systemu okablowania światłowodowego. Pomiary odgrywają również istotną rolę w usuwaniu problemów występujących podczas eksploatacji systemów okablowania światłowodowego, pozwalając na wykrycie i precyzyjną lokalizację uszkodzeń.

Pomiar tłumienności światłowodu jest podstawową czynnością podczas badania włókna światłowodowego i toru światłowodowego. Istnieją dwie metody pomiaru tłumienności światłowodu: transmisyjna i reflektometryczna. Pierwsza z nich to podstawowy pomiar stosowany do sprawdzania światłowodów, a dokładniej – ich tłumienności. Druga, wykorzystując pomiar wstecznego rozproszenia mocy transmitowanej przez światłowód, pozwala na określenie tłumienności odcinków i całości łącza światłowodowego oraz lokalizację uszkodzeń i niejednorodności włókna.

Do pomiaru strat w światłowodach i urządzeniach światłowodowych używa się mierników mocy optycznej i źródeł światła. Światło jest wprowadzane do jednego końca światłowodu, miernik mocy jest podłączony do drugiego, aby mierzyć odbieraną moc optyczną. Źródłem światła może być laser albo dioda LED o odpowiednich parametrach, jednak najczęściej jest nim nadajnik wchodzący w skład zestawu testującego. Niekiedy używa się alternatywnie źródła światła wykorzystywanego w sprzęcie telekomunikacyjnym.

Ponieważ straty w światłowodzie zależą od długości fali, do pomiarów wykonywanych za pomocą mierników mocy powinno używać się fal świetlnych o długościach używanych w sprzęcie telekomunikacyjnym. Są to długości fal 1310 nm lub 1550 nm. Przy testowaniu sieci WDM powinno się wziąć pod uwagę dodatkowe okoliczności (patrz *Pomiar strat WDM*).

Jednostki pomiarowe tłumienności światłowodu

Do pomiaru strat mocy światła w światłowodzie, niezbędnego do wyznaczenia tłumienności światłowodu, używa się mierników mocy światła. Jednostką pomiarową mocy światła jest miliwat (mW). Jednak bardziej czytelna jest prezentacja wyników pomiarów tłumienności w decybelach (dB). Sposób ten jest powszechnie stosowany w elektronice, wszędzie tam, gdzie chodzi o określenie wielkości wzmocnienia lub strat w układzie lub systemie. Wynik pomiaru w decybelach jest stosunkiem mocy, napięcia lub innego parametru mierzonych w dwu punktach, jednym zlokalizowanym na wejściu systemu i drugim na wyjściu. Wzór na wzmocnienie wyrażone w decybelach ma postać:

$$G \text{ (dB)} = 10 \log (P_{wy} / P_{we})$$

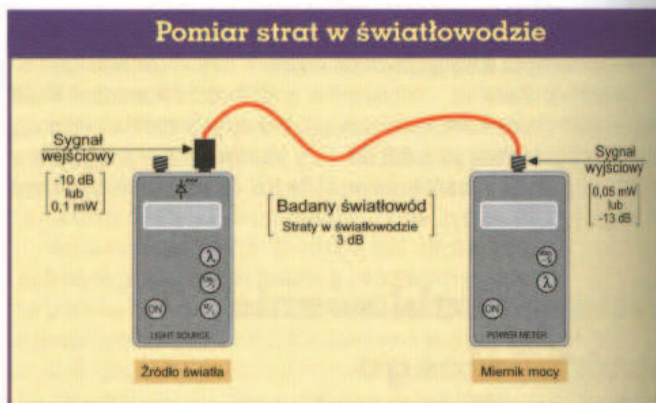
Jeśli moc wyjściowa jest mniejsza od mocy wejściowej, to $G \text{ (dB)}$ zawsze będzie przyjmowało wartość ujemną. W większości zastosowań techniki światłowodowej moc na wejściu światłowodu będzie większa od mocy na wyjściu i dlatego zdefiniowano parametr straty światła $L \text{ (dB)}$:

$$L \text{ (dB)} = -G \text{ (dB)}, \text{ gdzie } L \text{ (dB)} = 10 \log (P_{we} / P_{wy})$$

Strata $L \text{ (dB)}$ jest powszechnie używanym parametrem określającym tłumienność światłowodu. W celu wyznaczenia tego parametru źródło światła dołącza się do jednego końca światłowodu (patrz rys. 408). Jeśli wiemy, że moc źródła światła na wejściu światłowodu wynosi 0,1 mW, a miernik mocy na wyjściu kabla wskaże 0,05 mW, to zgodnie z formułą określającą parametr $L \text{ (dB)}$ otrzymamy:

$$L \text{ (dB)} = 10 \log (0,1 \text{ mW} / 0,05 \text{ mW}) = 3 \text{ dB}$$

Strata mocy światła wynosi w tym światłowodzie 3 dB.



Rys. 408

Wartość tłumienności wyrażana w decybelach nie jest wartością absolutną – bezwymiarową. Pomiar absolutny można wyrazić w formie dBm. Jednostka dBm jest logarytmem stosunku mierzonej mocy do 1 mW mocy odniesienia.

Wzór przyjmuje następującą postać:

$$P \text{ (dBm)} = 10 \log (P_{we} / 1 \text{ mW})$$

Oczywiście używając jednostek dBm uzyskuje się wyniki takie same jak w poprzednim przykładzie, gdzie moc wejściowa światła w światłowodzie wynosi 0,1 mW, co daje -10 dBm :

$$P_{we} \text{ (dBm)} = 10 \log (0,1 \text{ mW} / 1 \text{ mW}) = -10 \text{ dBm}$$

Moc światła odbierana przez miernik na wyjściu światłowodu wynosi 0,05 mW, co daje -13 dBm :

$$P_{wy} \text{ (dBm)} = 10 \log (0,05 \text{ mW} / 1 \text{ mW}) = -13 \text{ dBm}$$

Strata mocy światła w światłowodzie jest równa różnicy pomiędzy mocą źródła światła $P_{we} \text{ (dBm)}$ a mocą światła odbieranego przez miernik $P_{wy} \text{ (dBm)}$:

$$L \text{ (dB)} = P_{we} \text{ (dBm)} - P_{wy} \text{ (dBm)} = -10 \text{ dBm} - (-13 \text{ dBm}) = 3 \text{ dB}$$

Stąd straty mocy w światłowodzie wynoszą 3 dB.

Wszystkie pomiary należy przedstawiać albo w decybelach, albo w mW, nigdy jednocześnie w obu. Zazwyczaj wszystkie pomiary wykonuje się w ska-

Zestaw urządzeń do pomiaru tłumienności światłowodu

Moc w dBm	Moc w mW
+20	100
+10	10
+3	2
0	1
-3	0,5
-10	0,1
-20	0,01
-30	0,001
-40	0,0001
-50	0,00001

Miernik mocy optycznej	Źródło światła	Testowe patchcordy	Adaptory
<ul style="list-style-type: none"> z właściwą długością fali z odpowiednimi złączami przeznaczony do światłowodów jedno- lub wielomodowych skalowany dBm, najlepiej dodatkowo ze skalą dB z dokładn. co najmniej 0,1 dB 	<ul style="list-style-type: none"> ze stabilnym źródłem światła z odpowiednią długością fali świetlnej z odpowiednimi złączami z możliwością współpracy ze światłowodem jedno- lub wielomodowym z laserem lub diodą LED 	<ul style="list-style-type: none"> co najmniej dwa o długości 1–5 m o znanych parametrach i wysokiej jakości (z atestem producenta) o średnicy równej średnicy badanego światłowodu 	<ul style="list-style-type: none"> co najmniej dwa wysoka jakość z ceramiczną obudową odpowiednie mocowanie złącza

Przed przystąpieniem do pomiarów należy dokładnie przeczyścić wszystkie złącza. Do czyszczenia styków w złączach potrzebna jest butla sprężonego powietrza i płyn czyszczący – 90-proc. alkoholu etylowego lub izopropylowego.

li decybelowej. Większość przyrządów jest wyskalowana w decybelach i dlatego nie jest konieczne przekształcanie pomiędzy mW a dBm. W zestawieniu powyżej pokazano odpowiedniki dBm dla mocy światła wyrażanej w mW.

Jeśli mierzymy tłumienność poszczególnych odcinków łącza światłowodowego w dB, to tłumienność całego łącza jest równa sumie tłumienności poszczególnych odcinków.

Pomiar tłumienności metodą transmisyjną

Pomiar tłumienności włókna światłowodowego należy do podstawowych pomiarów stosowanych do sprawdzania światłowodów. Zestaw pomiarowy składa się z dwu zasadniczych elementów: źródła światła (nadajnika) i miernika mocy optycznej, oraz dwu patchcordów wzorcowych, niekiedy nazywanych testowymi. Źródłem światła może być dioda luminescencyjna (LED), stosowana do badania światłowodów o długości nie przekraczającej 1 km, albo laser, stosowany do badania światłowodów o długości ponad 100 km. Pomiar można uznać za wiarygodny, jeśli moc wyjściowa źródła światła jest

stabilna. Przyjmuje się, że zmiany mocy źródła nie mogą przekroczyć 0,1 dB/godz. Nadajnik ma postać urządzenia kieszonkowego. Wytwarza światło o długości fali 1310 lub 1550 nm.

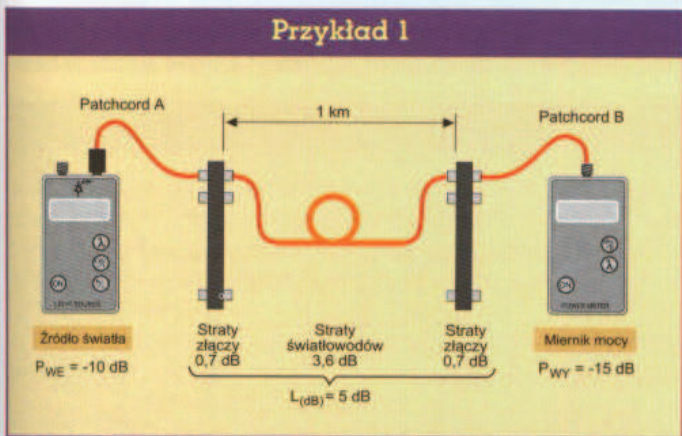
Wygląd zewnętrzny miernika mocy optycznej jest podobny do źródła światła. Najczęściej oba urządzenia są sprzedawane jako jeden zestaw pomiarowy, stanowiący komplet, który pochodzi od jednego producenta. Wyniki pomiarów są przedstawiane w postaci cyfrowej, w mW lub dB. Zazwyczaj mierniki są wyposażone w pamięć, służącą do przechowywania wyników pomiarów, i w drukarkę termiczną do tworzenia trwałych kopii przeprowadzonych pomiarów.

Pomiar strat w patchcordach

Przed przystąpieniem do wykonywania pomiarów tłumienności światłowodów należy zaopatrzyć się w dwa wysokiej jakości patchcordy testowe i w dwa wysokiej jakości adaptory z ceramicznymi obudowami. Patchcordy powinny mieć podane przez producenta wartości tłumienności i odbić. Wymienione elementy wyposażenia należy przechowywać z zestawem testowym i używać tylko do przeprowadzania pomiarów. Szybkie sprawdzenie tłumienności testowego patchcorda i centrowania złącza można wykonać w sposób opisany poniżej.

W celu zmierzenia tłumienności patchcorda wykonaj następujące czynności:

1. Starannie przeczyść wszystkie złącza.
2. Włącz miernik mocy i źródło światła zestawu testowego, odczekaj, aż osiągną ustabilizowaną temperaturę. Laserowe źródło światła można włączyć po upewnieniu się, że wszystkie włókna światłowodowe zostały odpowiednio podłączone.
3. Połącz testowy patchcord A (zgodnie z rysunkiem 410 – pkt a), następnie przełącz miernik mocy na zakres dBm, by otrzymać odczyt miernika mocy w dBm [P_{odn} (dBm)]. Wartość ta powinna mieścić się w zakresie mocy wyjściowej źródła światła wg danych katalogowych przyrządu. Jeśli tak nie jest, to oznacza, że albo patchcord, albo miernik, albo źródło światła są wadliwe. Następnie przełącz miernik mocy na zakres dB i ustaw (postępując się instrukcją miernika) jego wskazania na 0,0 dB. Po wykonaniu tych czynności nie wolno wyłączać ani regulować miernika. Jeśli miernik mocy nie ma skali dB i wskazuje tylko absolutny poziom mocy w dBm, należy zapisać odczyt wskazany przez miernik jako P_{odn} (dBm). Wartość ta będzie wykorzystana do obliczeń w kroku 5.
4. Połącz testowy patchcord B (jak to pokazano na rysunku w pkt. b) pomiędzy źródło światła a testowy patchcord A. Do wykonania połączenia użyj adaptera.
5. Zapisz odczytaną na mierniku stratę światła w dB [L_{mier} (dB)]. W niektórych miernikach mocy odczyt straty światła może być liczbą ujemną. Oznacza to, że miernik mocy używa formuły mocy zamiast formuły decybelowej straty światła dla wzmocnienia wyrażanego w decybelach. Jeśli odczyt jest ujemny, zlekceważ znak minus i do obliczeń użyj wartości dodatniej. Jeśli miernik nie ma skali dB, to zapisz odczyt dBm jako P_{mier} (dBm). Do określenia strat w patchcordzie należy wykonać proste obliczenia (patrz krok 7).



Rys. 409

łącze światłowodowe o długości 1 km ma straty 3,6 dB. Straty na połączeniach w patchpanelu wynoszą po 0,7 dB z każdej strony. Jeśli do jednego końca światłowodu przyłączymy źródło światła o mocy 10 dBm, to jaką wartość mocy światła uzyskamy na drugim końcu?

Całkowita strata w łączy z uwzględnieniem połączeń na krosownicy wyniesie: $3,6 \text{ dB} + 0,7 \text{ dB} + 0,7 \text{ dB} = 5 \text{ dB}$

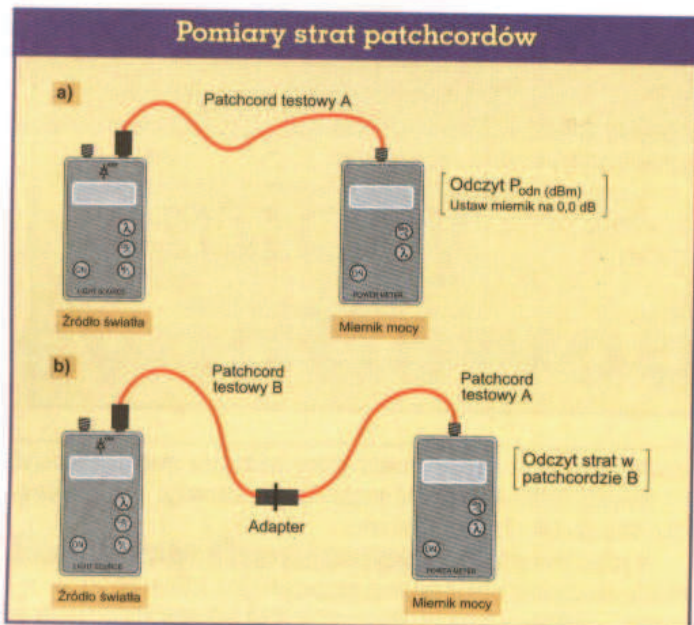
Strata mocy w światłowodzie wyraża się wzorem:

$$L \text{ (dB)} = P_{we} \text{ (dBm)} - P_{wy} \text{ (dBm)}$$

stąd

$$P_{wy} \text{ (dBm)} = P_{we} \text{ (dBm)} - L \text{ (dB)} = -10 \text{ dBm} - 5 \text{ dB} = -15 \text{ dBm}$$

Moc światła mierzona miernikiem mocy optycznej na końcu łącza światłowodowego wyniesie -15 dBm.



Rys. 410

6. Rozłącz testowy patchcord B i ponownie połącz, zamieniając końcówki – tę, która była połączona z adapterem, teraz należy połączyć ze źródłem światła. Sprawdź, czy miernik mocy wskazuje taką samą wartość jak poprzednio. Jeśli nie, oznacza to, że złącza patchcorda B są wadliwe. Tak samo zweryfikuj patchcord A.

7. Jeśli odczyt miernika jest w dB, to wartość odczytu użyj jako stratę patchcorda B [L (dB)]. Jeśli odczyt jest w dBm, to odejmij odczytaną wartość odniesienia (krok 3), by określić stratę w patchcordzie B [L (dB)]:

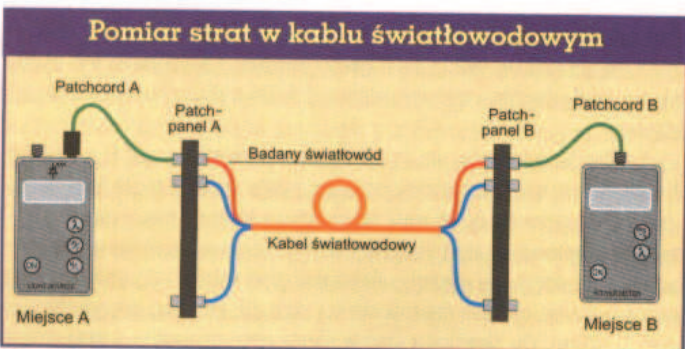
$$L \text{ (dB)} = P_{\text{odn}} \text{ (dBm)} - P_{\text{mier}} \text{ (dBm)}$$

8. Dobry patchcord powinien wykazywać straty nie większe niż 0,7 dB. Najczęściej przyjmują one wartość zbliżoną do 0,5 dB. Oczywiście, im strata jest mniejsza, tym lepiej.

9. Strata w patchcordzie jest optyczną stratą we włóknie i obu złączach. Zwróć uwagę, że strata dwu złączy dodaje się do straty w połączeniu.

Pomiar strat w kablu światłowodowym

Pomiar strat mocy należy wykonać dla wszystkich światłowodów w kablu światłowodowym. Mierzone wielkości wykorzystuje się do określenia zgodności parametrów kabla ze specyfikacją wyposażenia lub założeniami projektowymi. Do przeprowadzenia pomiarów są potrzebne dwie osoby, po jednej z każdego końca kabla; do koordynacji działań należy zapewnić łączność radiową lub telefoniczną (niektóre zestawy pomiarowe zapewniają łączność telefoniczną za pośrednictwem badanego włókna). Przedmiotem badań są straty w kablu oraz straty na złączach na obu końcach kabla. Ponadto, aby określić całkowite straty w łączy, uwzględnia się straty w patchcordach łączących sprzęt z patchpanelami.



Rys. 411

W celu zmierzenia tłumienności łącza światłowodowego wykonaj następujące czynności:

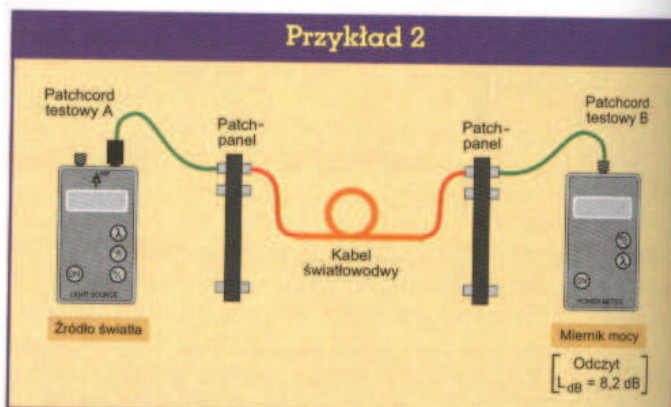
1. Oczyszczyć starannie wszystkie złącza.
2. Włączyć miernik mocy i źródło światła zestawu testowego, odczekać, aż osiągną ustabilizowaną temperaturę. Laserowe źródło światła można włączyć po upewnieniu się, że wszystkie włókna światłowodowe zostały odpowiednio podłączone.
3. Do testowania wybierz jedno włókno światłowodowe. W przypadku systemu komunikacyjnego, który jest zainstalowany i działa, wyłącz wszystkie podłączone urządzenia komunikacyjne i upewnij się, czy wszystkie źródła światła zostały całkowicie odłączone od badanych światłowodów.
4. Przed przystąpieniem do pomiaru strat w łączy światłowodowym zapisz odczyt odniesienia i ustaw wskaźnik miernika na 0,0 dB, postępując w sposób następujący:

- a) wykorzystując dwa patchcords A i B, podłącz źródło światła do miernika mocy (patrz rysunek 410);
- b) ustaw miernik na skalę dBm. Upewnij się, czy włączono źródło światła, odczytaj odebraną moc przez miernik (w dBm). Jest to odczyt odniesienia P_{odn} (dBm);
- c) przełącz miernik na skalę dB i ustaw wskaźnik na 0,0 dB;
- d) wyłącz laserowe źródło światła i rozłącz wykonane połączenia, natomiast nie wyłączaj ani nie reguluj miernika mocy;
- e) jeśli miernik nie ma ustawienia 0,0 dB i wyświetla tylko absolutne poziomy mocy w dBm, to na potrzeby późniejszych obliczeń zapisz odczyt P_{odn} (dBm).

5. Odłącz wszystkie patchcords urządzeń od patchpanela, łączące przez patchpanel włókna światłowodów, które będą mierzone. Połącz testowe patchcords, źródło światła i miernik mocy do wybranego światłowodu testowanego kabla światłowodowego tak, jak to pokazano na rysunku 411. Nie zmieniaj dokonanych w poprzednim kroku ustawienia miernika. Pamiętaj o konieczności zapewnienia komunikacji telefonicznej lub radiowej pomiędzy osobami przeprowadzającymi pomiary.

6. Sprawdź, czy konfiguracja została zestawiona starannie, i włącz źródło światła. Przeczytaj wskazanie miernika mocy optycznej i zapisz poziom mocy. Zapisz straty w dB jako L_{mier} (dB). Jeśli skala dB jest nie używana lub niedostępna, zapisz poziom mocy w dBm jako P_{mier} (dBm).

7. Straty w łączy światłowodowym (w dB) można odczytać bezpośrednio z miernika i powinno się je zapisać. Jeśli odczyt jest tylko w dBm, to całko-

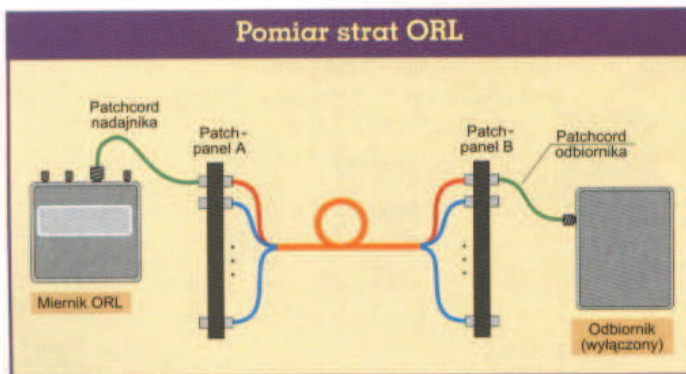


Rys. 412

Mierzmy całkowite straty w łączy. Przed przystąpieniem do pomiaru, używając źródła światła i testowych patchcordów, ustawiono miernik na 0,0 dB. Miernik i źródło światła połączono tak jak na rysunku. Wskaźnik miernika pokazuje wartość 8,2 dB. Należy pamiętać, że niektóre mierniki mogą pokazywać wartości strat w dB jako ujemne (-8,2 dB). Miernik określa tę wartość ze wzoru na wzmocnienie. Do wszystkich obliczeń powinno się wartość tę przekształcić na dodatnią (8,2 dB).

Pytanie: jakie są straty w łączy światłowodowym?

Ponieważ miernik mocy był wstępnie ustawiony na 0,0 dB, to strata w łączy światłowodowym wynosi 8,2 dB.



Rys. 415

$$L_{ORL} = 10 \log (P_{odt} / P_{zrod})$$

Przyczyn pojawienia się odbicia jest wiele, między innymi są nimi złącza, zakończenia światłowodu, WDM i materiał światłowodu powodujący powstanie fal rozproszonych. Sygnał pochodzący ze źródła światła jest odbijany zwrótnie, wpływając na źródło, a szczególnie niekorzystnie na laser. Aby upewnić się, czy dany światłowód może być stosowany, należy wykonać pomiar ORL i porównać wynik z wymaganiami narzucanymi przez źródło laserowe. Na wysokim poziomie odbić mogą wpłynąć różne czynniki, które należy rozpoznać i usunąć.

Straty ORL można mierzyć za pomocą reflektometrów OTDR (*optical time domain reflectometer*) lub miernika ORL. Reflektometry zapewniają dokładne pomiary odbić wywołanych przez pojedyncze czynniki w łączy światłowodowym. Jednak z powodu wprowadzania przez reflektometr martwej strefy odbicia wywołane przez złącza lub inne czynniki występujące blisko miernika mogą być pominięte lub nie oszacowane, chociaż wpływają znacząco na ORL. Dlatego zestawy pomiarowe ORL w wielu przypadkach lepiej nadają się do przeprowadzenia testów tłumienności zwrotnej.

Miernik ORL do pomiaru tłumienności zwrotnej używa metody pomiaru reflektometrycznego z ciągłą falą optyczną OCWR (*optical continuous wave reflectometer*). Ciągła moc optyczna jest wysyłana poprzez sprzęgający element kierunkowy do testowanego światłowodu. Element sprzęgający skierowuje odbite światło do miernika mocy, który prezentuje je jako tłumienie zwrotne.

W celu zmierzenia strat ORL należy podłączyć miernik ORL do światłowodu w badanym łączy, w miejsce urządzenia wysyłającego sygnały świetlne za pomocą patchcordów wchodzących w skład wyposażenia badanego systemu, a nie miernika. Następnie należy dostroić miernik do odpowiednich ustawień i zapisać wartość ORL.

W celu zmierzenia tłumienności zwrotnej ORL kanału łączy WDM wykonaj następujące czynności:

1. Oczyszczyć starannie wszystkie złącza.
2. Włączyć źródło ORL i odczekać, aż się nagrzeje, a jego parametry się ustabilizują.
3. Postępując się podręcznikiem obsługi, wykonaj procedurę kalibracji przyrządu.
4. Wybierz z kabla światłowodowego włókno, które wymaga przeprowadzenia badania. Odtłącz patchcord po stronie nadawczej od urządzenia nadawczego – nie od patchpanela.
5. Jeśli mierzymy tłumienność wywołaną odbiciem, to pomiar dotyczy nie tylko badanego włókna, ale również patchcordu i urządzenia podłączonego na drugim końcu łączy światłowodowego: pamiętaj, że urządzeniem tym może być tylko odbiornik, w żadnym wypadku źródło światła.
6. Podłącz miernik ORL do odłączonego patchcordu lub jeśli nie jest to patchcord, użyj testowego patchcordu, by podłączyć się do patchpanela.
7. Odczytaj optyczną tłumienność zwrotną w dB.

Jeśli optyczna tłumienność zwrotna jest większa niż wymieniona w specyfikacji urządzenia transmisyjnego, to spróbuj użyć patchcordów i złączy o lepszej jakości. Złącza z oznaczeniem styków SPC (*super physical contact*) i UPC (*ultra physical contact*) mają dobry parametr strat zwrotnych. Złącza typu APC (*angle physical contact*) mają korzystniejsze parametry strat zwrotnych lecz wyższe straty wprowadzone.

Pomiar tłumienności metodą reflektometryczną

Zasada działania reflektometru

Bardzo ważnymi i użytecznymi przyrządami do badania światłowodów są reflektometry, często nazywane miernikami OTDR (*optical time domain reflectometer*). Przyrządy te, wykorzystując metodę radiolokacyjną, pozwalają na lokalizację uszkodzeń i niejednorodności włókna światłowodowego w kablu światłowodowym oraz pomiar tłumienia odcinkowego i całkowitego światłowodu.

Zasada pomiaru polega na pomiarze wstecznego rozproszenia mocy transmitowanej przez światłowód. Do światłowodu, poprzez sprzęgacz, wprowadza się sygnał optyczny w postaci wąskiego impulsu. Sygnał odbierany, wywołany wstecznym rozproszeniem, pochodzącym z niejednorodności rozłożonych wzdłuż łączy światłowodowego, jest kierowany poprzez sprzęgacz na fotodetektor.

W tej metodzie pomiaru jako nadajników używa się laserów impulsowych, generujących impulsy o długości od kilku μs do kilku ns, a nawet ps.

Schemat blokowy reflektometru przedstawiono na rysunku 416. Istotnym elementem reflektometru jest integrator (procesor sygnałów), który uśrednia wyniki pomiarów pochodzące z większej liczby odbieranych impulsów.

Wynik pomiaru jest wyświetlany na ekranie reflektometru w postaci graficznej, gdzie oś X reprezentuje odległość, a oś Y – tłumienie. Przebieg na ekranie ma postać linii prostej o nachyleniu $-\alpha_n$, gdzie α_n jest tłumieniem światłowodu na jednostkę długości.

Analizując „zdetektowaną” charakterystykę można określić wielkość tłumienia światłowodu, straty na spawach i złączach, odbicia ORL oraz miejsce wystąpienia anomalii. Nie można natomiast określić charakterystyk ograniczających pasmo, takich jak dyspersji chromatycznej lub dyspersji polaryzacyjnej PMD (*polarization mode dispersion*). Reflektometr służy tylko do mierzenia i wyświetlania charakterystyk tłumienności światłowodu.

Testowanie reflektometrem OTDR jest jedyną dostępną metodą pozwalającą zlokalizować przerwę w światłowodzie, który jest umieszczony w kablu światłowodowym i którego ostona nie ma widocznych uszkodzeń; zapewnia najlepszy sposób określania strat wynikających z poszczególnych spawów, złączy lub innych przyczyn anomalii występujących w systemie; pozwala personelowi technicznemu określić, czy straty w spawie mieszczą się w normie

Zestaw urządzeń do pomiaru tłumienności światłowodu

Reflektometr (OTDR)	Testowe patchcordy	Inne
<ul style="list-style-type: none"> • z właściwą długością fali • z odpowiednimi złączami • przeznaczony do światłowodów jedno- lub wielomodowych • wystarczający zakres pomiaru długości światłowodu • oprogramowanie pozwalające zachować wyniki pomiarów na dyskietce 	<ul style="list-style-type: none"> • jeden lub dwa o wymaganej długości • odpowiednie złącza • odpowiedni typ światłowodu 	<ul style="list-style-type: none"> • adapter światłowodowy • żel do adaptera • obcinacz • narzędzia do zdejmowania ostony ze światłowodu i kabla • odcinek światłowodu do zredukowania wpływu martwej strefy (jeśli wymaga tego reflektometr)

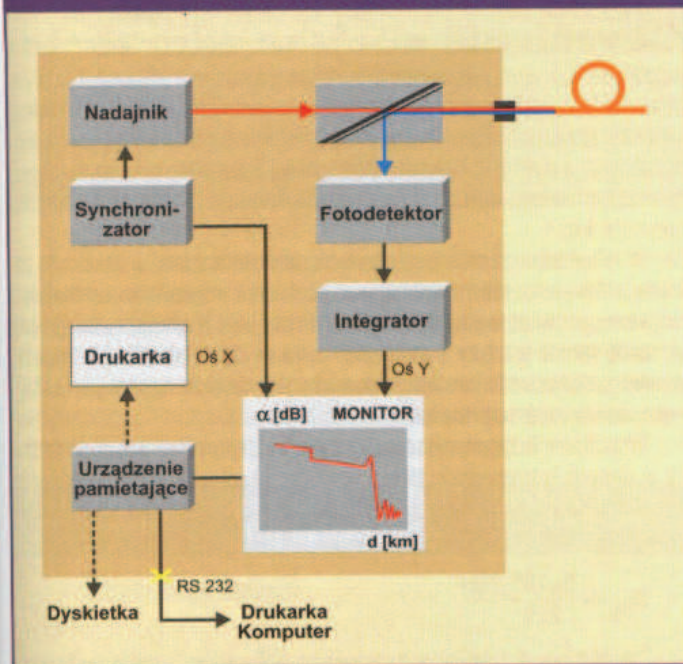
Przed przystąpieniem do pomiarów należy:

- sprawdzić, czy reflektometr obejmuje swoim zakresem pełną długość mierzonego światłowodu;
- dokładnie przeczyścić wszystkie złącza. Do czyszczenia styków w złączach jest potrzebna bułeczka sprężonego powietrza i płyn czyszczący – 90-proc. alkoholu etylowego lub izopropylowego.

Martwa strefa reflektometru

Martwa strefa (*dead zone*) jest zawsze związana z obecnością odbić o dużej amplitudzie. Pojawia się, gdy sygnał zwrotny ze światłowodu nasycza wzmacniacz reflektometru. Po przesterowaniu wzmacniacz powoli odzyskuje swoją czułość, a do momentu jej osiągnięcia sygnał wyjściowy wzmacniacza niesie informację przekłamaną. Martwa strefa pojawia się w miejscu wprowadzenia sygnału na początku światłowodu i w miejscach wystąpienia zdarzeń, takich jak złącza lub spawy. Jednostką liniową miary martwej strefy są metry. Problem martwej strefy na początku światłowodu można przewyczyć wprowadzając pomiędzy reflektometr a badany światłowód patchcord lub odcinek kabla o długości nieco większej niż spodziewana martwa strefa.

Budowa reflektometru



Rys. 416

Funkcje poszczególnych bloków są następujące:

Synchronizator – wytwarza impuls wyzwalający podstawę czasu monitora, równocześnie uaktywniając nadajnik impulsu laserowego. Niekiedy synchronizator zapewnia regulację momentu uaktywnienia nadajnika.

Nadajnik – układ formujący krótki impuls światła laserowego. Czas trwania impulsu jest regulowany, zazwyczaj w granicach od 1 ns do 10 μs. Długość fali promienia laserowego może być przełączana, aby można było ją dostosować do badanego systemu.

Sprzęgacz – element rozdzielający, który pozwala przejść promieniowi laserowemu do badanego światłowodu, natomiast kierując promień odbity – do fotodetektora.

Fotodetektor – układ zamieniający sygnał optyczny na elektryczny.

Integrator – układ wzmacniająco-uśredniający. Wzmocnienia wymaga słaby sygnał z fotodetektora. Układ uśredniający eliminuje zakłócenia; jego działanie polega na zapamiętywaniu kolejnych odbitych sygnałów i ich uśrednieniu przed wyświetleniem na monitorze.

Monitor – jest to lampa CRT lub wyświetlacz LC. Wyświetla zwrotny sygnał w formie wykresu, oś Y jest wyskalowana w dB, oś X w km.

Pamięć – pamięć wewnętrzna lub stacja dyskietek, służące do zapamiętywania danych w celu ich późniejszego przetworzenia. Dodatkowo reflektometr jest wyposażony w interfejs R 232, służący do przenoszenia zapamiętanych danych do komputera. Niektóre reflektometry mają drukarkę do tworzenia na papierze kopii informacji z ekranu.

albo czy wymagane są przeróbki; zapewnia również najbardziej czytelne przedstawienie integralności łącza światłowodowego.

Znając optyczny współczynnik załamania (n) materiału, z którego jest wykonany światłowód, i czas powrotu odbitego impulsu (T), reflektometr wylicza odległość do zdarzenia w sposób następujący:

$$D_{zd} = \frac{3 \times 10^8 \times T(s)}{2 \times n}$$

Reflektometr również mierzy odebraną moc optyczną odbitych impulsów światła i wyświetla charakterystykę tłumienności optycznej światłowodu w funkcji odległości.

Sposób określenia zakresu pomiarowego reflektometru:

1. Dysponujemy reflektometrem, który ma w specyfikacji podaną wartość zakresu dynamicznego Z_{dyn} (dB) = 25dB dla fali 1550nm.
2. Światłowód ma tłumienność $\alpha_n = 0,25$ dB/km dla fali 1550 nm.
3. Przybliżony zakres reflektometru wyniesie:

$$Z_{ref} (km) = \frac{Z_{dyn} (db)}{\alpha_n (db/km)} = \frac{25 db}{0,25 db/km} = 100 km$$

Powyższe wyliczenie należy wykonać dla wszystkich wymaganych długości fal.

Pomiar tłumienności reflektometrem

W celu zmierzenia reflektometrem tłumienności światłowodu wykonaj następujące czynności:

1. Jeśli testowany światłowód nie jest zakończony złączem, to wyodrębnij na przestrzeni 2 m włókno, oczyść je i odetnij.

2. Podłącz, poprzez patchcord lub pigtail i adapter, badany światłowód do reflektometru. Dodaj, jeśli jest to potrzebne, odcinek światłowodu redukujący wpływ martwej strefy reflektometru, oddalając badany światłowód poza jego martwą strefę. Długość odcinka dodanego zależy od parametrów reflektometru. Jeżeli bowiem zdarzenie pojawi się w martwej strefie reflektometru, to nie będzie zauważone na zdjętej charakterystyce tłumienności. Zwróć uwagę, że niektóre reflektometry nie mają martwej strefy; dokładnie zapoznaj się z instrukcją obsługi przyrządu.

3. Upewnij się, czy do drugiego końca badanego światłowodu nie jest podłączone źródło światła.

4. Włącz reflektometr i odczekaj, aż osiągnie stabilną temperaturę.

5. Korzystając z instrukcji obsługi reflektometru ustal odpowiednie parametry pracy przyrządu, w tym długość fali, współczynnik załamania badanego światłowodu i długość impulsu.

6. Uruchom testowanie przez reflektometr i odczekaj do zakończenia pomiaru.

7. Wyreguluj przyrząd tak, by uzyskać kompletny obraz na ekranie. Staraj się utrzymać możliwie wąski impuls pobudzający.

8. Mierz straty dla wszystkich anomalii, spawów, złączy i całego światłowodu.

9. Zmierz sumę strat w całym światłowodzie (w dB) i jego tłumienność (w dB/km).

10. Zapamiętaj wyniki badań na dyskietce lub zachowaj uzyskane wydruki.

11. Powtórz wszystkie kroki (od 1 do 10) dla wszystkich wymaganych długości fal.

Po zakończeniu serii pomiarów przełącz reflektometr na drugi koniec światłowodu, powtórz wszystkie pomiary i następnie uśrednij pary wyników dla wszystkich zdarzeń. Dzięki temu otrzymasz dokładniejszy pomiar i ujawnisz wszystkie zdarzenia blisko początku światłowodu, które mogłyby być niewidoczne z powodu ukrycia w martwej strefie reflektometru. Metoda ba-

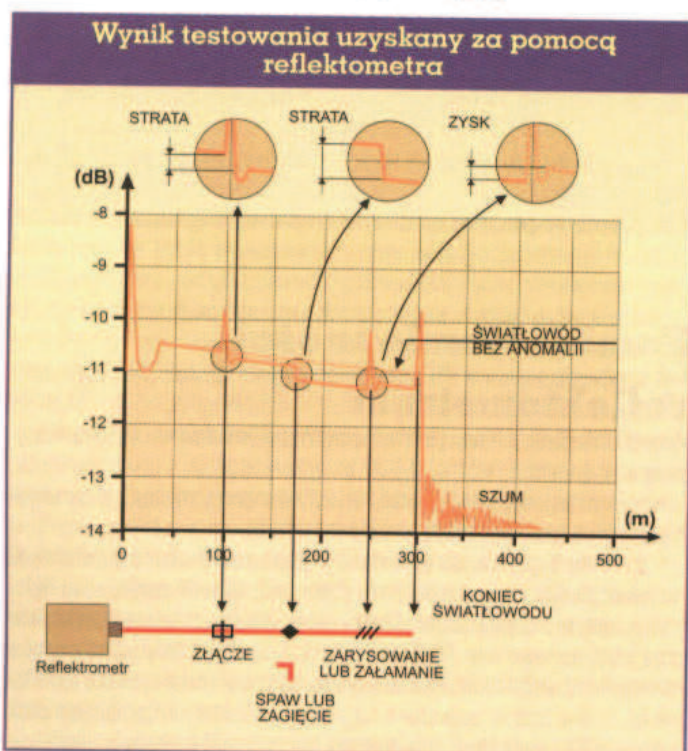
dania z obu końców światłowodu będzie również ujawniać zdarzenia, takie jak spawy, które są blisko złączy, ukryte przez martwą strefę Fresnela. Tak zmierzone straty i tego zdarzenia oblicza się w sposób następujący:

$$L_i = \frac{L_{iA} + L_{iB}}{2}$$

Gdzie: L_{iA} – strata i-tego zdarzenia mierzona z kierunku A,
 L_{iB} – strata i-tego zdarzenia mierzona z kierunku B.

Interpretacja wyników badań

Na rysunku 417 przedstawiono przykładowy wynik testowania uzyskany z reflektometru. Oś Y jest wyskalowana w dB, odczytać z niej można straty w światłowodzie i straty związane ze zdarzeniami. Oś X jest wyskalowana w metrach i wskazuje długość światłowodu i odległość wystąpienia zdarzenia. Ukośna linia przedstawia światłowód, nachylenie jej wskazuje jego tłumienność.



Rys. 417

Na początku linia ma wybrzuszenie. Ta część krzywej odpowiada martwej strefie reflektometru, wszystkie zdarzenia występujące w tym rejonie są niewidoczne. Aby zobaczyć, co się dzieje w martwej strefie, należy albo przetrząść reflektometr do drugiego końca światłowodu, albo użyć dodatkowego kabla o długości co najmniej równej martwej strefie przyrządu.

W części liniowej można odczytać miejsce i wielkość strat w światłowodzie. Spaw w światłowodzie manifestuje się małym, ostrym uskokiem. Wielkość uskoku wyrażona w decybelach jest stratą na spawie.

Niekiedy zdarzenie związane ze spawem może się manifestować wzrostem zamiast spadkiem. Zjawisko takie nazywamy zyskiem na spawie, co może być mylnie interpretowane jako wzmocnienie strumienia światła, którym w istocie nie jest. Zysk na spawie może pojawić się w reflektometrze, gdy łączymy dwa światłowody, które nie są z tej samej serii produkcyjnej lub pochodzą od różnych producentów. Występuje w przypadku, gdy połączone światłowody mają różne poziomy wsteczny rozproszony promień światła. Aby uniknąć błędów wynikających ze „wzmocnienia” na spawie, należy przeprowadzić pomiary umieszczając reflektometr kolejno na obu końcach światłowodu i oszacować straty danego zdarzenia, posługując się wzorem:

$$\text{Strata}_{(\text{Zdarzenie})} = \frac{\text{Strata}_{\text{Kierunek A}} + \text{Strata}_{\text{Kierunek B}}}{2}$$

Na spawie może pojawić się wynik 0,0 dB z tych samych przyczyn jak zysk: jest tak, jeśli wzrost rozproszonego promienia zwrotnego całkowicie kompensuje straty na spawie. W takim przypadku reflektometr nie wykryje zdarzenia i spaw nie zostanie zlokalizowany. Testowanie światłowodu z drugiego końca ujawni spaw i jego straty.

Podobnie do spawu manifestuje się złącze. Wyjątek stanowi ostry impuls pojawiający się tuż przed spadkiem. Impuls ten jest wywołany odbiciem Fresnela na szczelinie powietrza pomiędzy łączonymi światłowodami. Miarą straty złącza jest wielkość spadku mierzona w dB na osi Y tuż przed impulsem i na końcu spadku.

Zdjętą charakterystykę kończy ostry impuls wywołany odbiciem Fresnela, spowodowany przejściem pomiędzy światłowodem a powietrzem. Długość światłowodu mierzymy od początku wykresu do miejsca, gdzie zaczyna się ten impuls. Jeśli na końcu światłowodu brak odbicia Fresnela, oznacza to, że światłowód albo nie został prawidłowo ucięty, albo jest uszkodzony.

Określenie miejsca zdarzenia

Reflektometru można również użyć do zlokalizowania zdarzenia w kablu światłowodowym. Dokładność badania zależy od wielu czynników: prawidłowej kalibracji przyrządu, ustawienia odpowiedniej szerokości impulsu, dokładności podanego przez producenta współczynnika załamania rdzenia światłowodu oraz dokładnego wyliczenia nadmiaru światłowodu w kablu, tzw. długości optycznej kabla.

W reflektometrze można regulować szerokość impulsu w znacznym zakresie, dzięki temu można dobrać jego szerokość w zależności od długości testowanego światłowodu. Szerszy impuls ma więcej energii i dlatego jest w stanie badać dłuższy światłowód. Jednak użycie dłuższego impulsu zmniejsza dokładność lokalizacji zdarzenia. Aby uzyskać największą dokładność, należy użyć możliwie najkrótszego impulsu.

Współczynnik załamania rdzenia światłowodu powinien być zamieszczony w danych katalogowych światłowodu, przekazanych przez producenta. Współczynnik ten, wprowadzony do reflektometru, służy do wyliczenia odległości zdarzenia.

$$D_{(m)} = \frac{3 \times 10^8 \times T(s)}{2 \times n}$$

Współczynnik załamania (n) powinien być podany z dokładnością nie mniejszą niż cztery miejsca po przecinku. Długość włókien światłowodowych w kablu jest większa od długości kabla. Bierze się to stąd, że włókna w tubie są ułożone luźno i spiralnie owinięte wokół dielektrycznego ośrodka wytrzymałościowego. Zwiększenie długości włókien światłowodowych w stosunku do długości kabla producenci podają w danych katalogowych jako procent długości kabla. Zwiększenie długości włókna w kablu należy zawsze brać pod uwagę przy określaniu długości kabla reflektometrem.

Pierwszą czynnością przy przeprowadzaniu badań reflektometrem jest wprowadzenie do niego współczynnika załamania i wybranie możliwie małej szerokości impulsu. Pozostałe parametry miernika należy ustawić zgodnie z instrukcją użytkownika. Po podłączeniu do badanego światłowodu reflektometr zdejmuje charakterystykę tłumienności i mierzy odległości zdarzeń w światłowodzie. Aby ustalić dokładne umiejscowienie zdarzenia w kablu (w odniesieniu do osłony, a nie światłowodu) reflektometr musi posłużyć się następującym wzorem:

$$D_{\text{zdk}} = D_{\text{refl}} / (1 + \alpha / 100)$$

Gdzie: D_{zdk} – odległość zdarzenia w kablu,
 D_{refl} – mierzona przez reflektometr odległość zdarzenia w światłowodzie,
 α – podana przez producenta wielkość będąca stosunkiem długości światłowodu do długości kabla (wyrażona w proc.).

Jeśli nie jest znana wartość współczynnika załamania lub nadmiaru długości światłowodu w kablu (wyrażona w proc.), to można zastosować metodę porównawczą. Polega ona na wykonaniu następujących czterech kroków:

1. Używając reflektometru zmierz odległość do znanego punktu odniesienia w kablu. Takim punktem może być spaw lub koniec kabla. Zapisz odczytaną odległość jako $L_{odnRefI}$.

2. Ustal długość kabla do punktu odniesienia, posługując się naniesionymi na osłonę znakami, zazwyczaj co 1 m. Zapisz ustaloną odległość jako $L_{odnKabl}$.

3. Używając reflektometru zmierz odległość do miejsca wystąpienia zdarzenia. Zapisz odczytaną odległość jako L_{zdRefI} .

4. Oblicz długość kabla do miejsca uszkodzenia światłowodu:

$$L_{zdKabl} = \frac{L_{zdRefI} \times L_{odnKabl}}{L_{odnRefI}}$$

Odległość do zdarzenia nie jest odległością trasy, lecz długością ostony kabla do miejsca zdarzenia w światłowodzie.

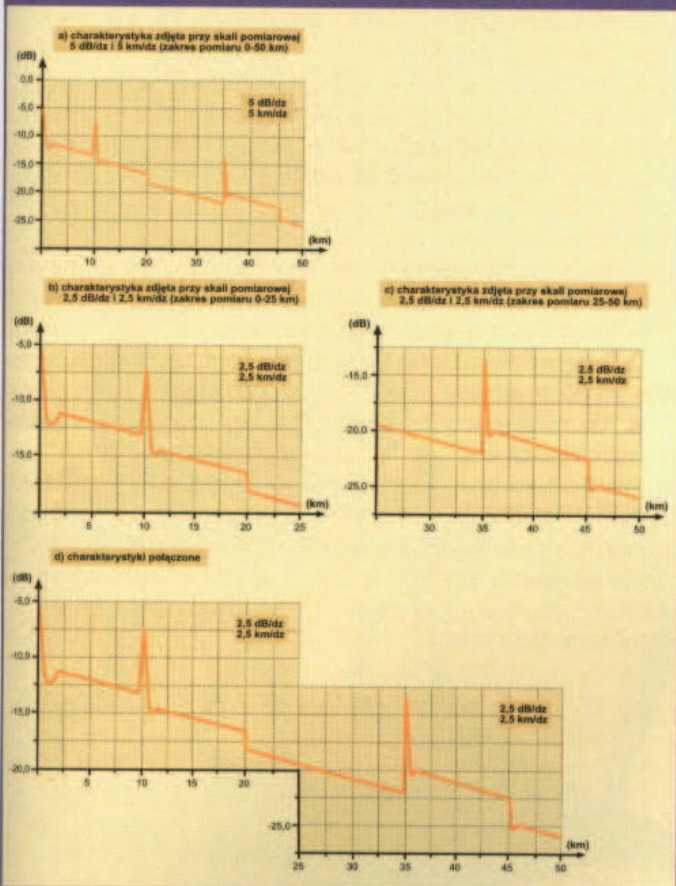
Reflektometr wskazuje, że odległość uszkodzenia światłowodu wynosi 33,27 km. Producent kabla podaje w danych katalogowych, że długość światłowodu w kablu jest większa od długości kabla o 7 proc.

W jakiej odległości od reflektometru znajduje się uszkodzenie kabla?

$$L_{zdk} = L_{refI} / (1 + \alpha/100) = 33,27 / (1 + 7\%/100) = 31,09 \text{ km}$$

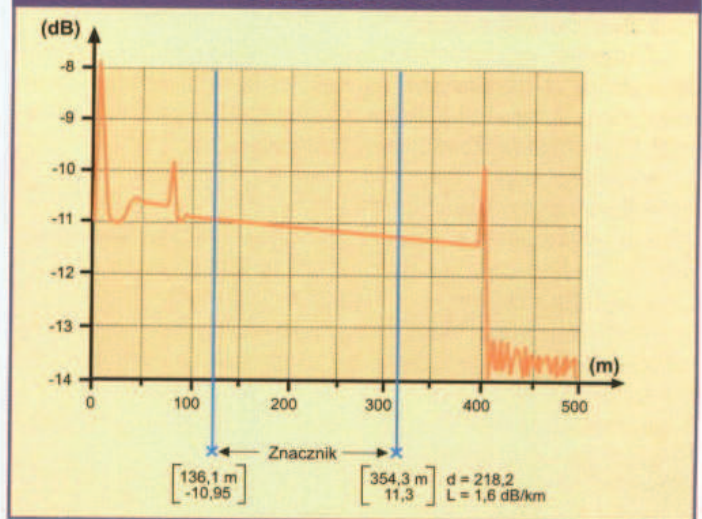
W celu zdjęcia charakterystyki, umożliwiającej dokładną lokalizację zdarzeń w łańcuchu światłowodowym, w niektórych przypadkach należy podzielić zdejmowaną charakterystykę na kilka odcinków. Chodzi o to, by odpowiednia skala pomiarowa na wykresie mogła wynosić na przykład 1 km na jednostkę długości i 0,5 dB na jednostkę tłumienności. Taka prezentacja wyników zwiększa dokładność pomiarów. Dla uzyskania obrazu całej linii wydruki charakterystyk poszczególnych odcinków należy łączyć, tak jak to pokazano na rysunku 418.

Łączenie charakterystyk uzyskanych za pomocą reflektometrów



Rys. 418

Użycie znaczników do pomiaru tłumienności światłowodu



Rys. 419

Odczyt tłumienności wnoszonych przez światłowód bezpośrednio z wykresu jest niedokładny. Aby temu zaradzić, większość reflektometrów jest wyposażonych w system generujący dwa znaczniki (markery). Można je ustawić na odcinku światłowodu, na którym nie ma żadnych zdarzeń. Reflektometr odczytuje wielkość tłumienności na odcinku pomiędzy nimi, przelicza i wyświetla straty w światłowodzie (w dB/km); patrz rysunek 419.

Współczesne reflektometry

Obecnie oferowane reflektometry charakteryzują się prostotą obsługi i konstrukcją modułową. Podstawowym elementem przyrządu jest jednostka bazowa, w której instaluje się wymienne moduły. Jednostka bazowa zawiera ciekłokrystaliczny ekran LC, różnego typu pamięci do przechowywania wyników pomiarów, zasilacz i opcjonalnie – szybka drukarkę. Formę wymiennych modułów mają mierniki mocy i źródła światła, są przeznaczone do pomiarów światłowodów jedno- i wielomodowych oraz o różnej długości: zasięg krótki, średni i długi.

Badanie instalacji światłowodowych

Podczas prac instalacyjnych należy kable światłowodowe poddać trzykrotnemu badaniu:

1. Badanie kabla na szpuli. Należy przeprowadzić badania na obecność wad technologicznych lub uszkodzeń powstałych w czasie transportu. Wszystkie usterki należy niezwłocznie zgłosić producentowi lub dostawcy.

2. Badanie spawów kabla. Niezwłocznie po zespawaniu wszystkich odcinków kabla, gdy jeszcze cały kabel jest dostępny, należy przeprowadzić zarówno badania na uszkodzenia, jak i badanie tłumienności.

3. Badanie w fazie odbioru. Badanie to wykonuje się po zakończeniu prac instalacyjnych. Ma ono na celu przygotowanie danych potrzebnych do przeprowadzenia odbioru przez personel techniczny, jak również do sporządzenia dokumentacji.

Badanie kabla na szpuli

Badanie przeprowadza się reflektometrem natychmiast po otrzymaniu dostawy, gdy kabel znajduje się jeszcze na szpuli. Wyniki pomiarów należy przechowywać na dyskietce lub w postaci wydruków na papierze.

Przebieg pomiaru jest następujący:

1. Odszukaj koniec kabla i odstoń wszystkie włókna światłowodowe.
2. Oczyszcz wszystkie włókna.
3. Używając adaptera połącz reflektometr kolejno z każdym światłowodem i zdejmij ich charakterystyki tłumienności. Pamiętaj o martwej strefie, jeśli trzeba to skompensuj jej wpływ, stosując dodatkowy odcinek światłowodu. Dla każdego światłowodu zapisz następujące dane:
 - całkowite straty;
 - tłumienność przypadającą na 1 km;
 - zdjęte charakterystyki tłumienności wszystkich włókien światłowodowych;
 - wszystkie anomalie;
 - całkowitą długość kabla na szpuli (na podstawie danych umieszczonych na szpuli lub liczby znaczników na płaszczu kabla);
 - całkowitą długość światłowodu wskazaną przez reflektometr;
 - numer identyfikacyjny szpuli, nazwa producenta kabla, typ kabla, liczba włókien światłowodowych w kablu;
 - kierunek pomiaru;
 - datę pomiaru;
 - sprzęt pomiarowy i jego numery identyfikacyjne;
 - nazwiska osób przeprowadzających pomiary.

Stwierdzone anomalie należy natychmiast zgłosić. Wszystkie włókna powinny być wolne od wad, nie mogą również być widoczne miejsca wykonania spawów.

4. Po wykonaniu wszystkich badań odetnij odsonioną końcówkę światłowodu i zabezpiecz koniec kabla przed zabrudzeniem i wilgocią.

Porównaj wszystkie wyniki z danymi katalogowymi, podanymi przez producenta, lub wymaganiami projektantów systemu. Jeśli nie dysponujesz reflektometrem OTDR, użyj miernika strat mocy optycznej. Pomiary należy wykonać na obu końcach kabla.

Badanie spawów kabla

Po połączeniu odcinków kabla spawami należy sprawdzić ich jakość. Badaniom poddaje się wszystkie włókna światłowodowe kabla, przy wszystkich stosowanych w systemie długościach fal i w obu kierunkach.

Badania przeprowadza się w sposób następujący:

1. Dwa zespoły obsługujące reflektometry, będące w kontakcie telefonicznym lub radiowym, przygotowują oba końce badanego kabla.
2. Określa się kolejność badania włókien, a następnie przystępuje do badań. Jeśli reflektometry tego wymagają, należy użyć dodatkowego odcinka światłowodu do skompensowania wpływu martwej strefy.
3. Wszystkie światłowody należy przebadać w obu kierunkach, rejestrując następujące informacje:
 - całkowite straty;
 - tłumienność przypadającą na 1 km;
 - zdjętą reflektometrem charakterystykę całego światłowodu;
 - wszystkie anomalie;
 - straty (wzmocnienie) na spawach i zdjętą charakterystykę spawów;
 - całkowitą długość kabla na podstawie danych umieszczonych na szpuli lub liczby znaczników na jego płaszczu;
 - całkowitą długość światłowodu wskazaną przez reflektometr;
 - numer identyfikacyjny szpuli, nazwę producenta kabla, typ kabla, liczbę włókien światłowodowych w kablu;
 - kierunek pomiaru;

- datę;
 - sprzęt pomiarowy i jego numery identyfikacyjne;
 - nazwiska osób przeprowadzających pomiary.
4. Pomiary strat lub zysków na spawach oraz całkowitych strat w kablu należy wykonać dla wszystkich włókien światłowodowych i przy wszystkich długościach fal stosowanych w systemie, a wyniki zestawzić w tabelach. Pamiętaj, że całkowite straty na spawie określa się uśredniając straty odczytane na obu reflektometrach.
 5. Wszystkie wadliwe spawy należy zidentyfikować i natychmiast poprawić. Anomalie wskazujące na straty większe, niż przewidują wymagania, powinno się niezwłocznie zgłosić.
 6. Światłowody świeżo zainstalowanego kabla nie powinny wykazywać anomalii. Należy jednak upewnić się, czy w światłowodach nie pojawiły się przerwy.
 7. Po przebadaniu wszystkich spawów można przystąpić do instalowania osłon okrywających spawy i kabel.

Badanie światłowodu powinno się powtórzyć po trwałym zamontowaniu osłon spawu.

Badanie w ramach odbioru

Gdy tylko zakończy się prace instalacyjne i światłowód będzie gotowy dołączenia urządzeń systemu, przeprowadza się badania w ramach odbioru. Mają one potwierdzić, że dane łącze spełnia wymagania techniczne. Odbiór powinni przeprowadzać inżynierowie (lub technicy pod nadzorem inżynierów).

W ramach odbioru należy wykonać następujące czynności:

1. Podłączyć reflektometr do jednego końca łącza światłowodowego.
2. Zbadać całe łącze, zapamiętać na dyskietce zdjęte charakterystyki tłumienności lub zachować wydruki. Wszystkie światłowody należy przebadać przy długościach fal, które będą wykorzystywane w systemie, rejestrując następujące informacje:

- całkowite straty;
 - tłumienność przypadającą na 1 km;
 - wszystkie anomalie;
 - straty na spawach;
 - straty na złączach;
 - całkowitą długość kabla na podstawie liczby znaczników na jego płaszczu;
 - całkowitą długość światłowodu wskazaną przez reflektometr;
 - numer identyfikacyjny, nazwę producenta kabla, typ kabla, liczbę włókien światłowodowych w kablu;
 - kierunek pomiaru;
 - datę;
 - sprzęt pomiarowy i jego numery identyfikacyjne;
 - nazwiska osób przeprowadzających pomiary.
3. Podłączyć źródło światła i miernik mocy optycznej. Wykonać pomiary dla wszystkich włókien i przy wszystkich długościach fal.
 4. Włączyć miernik strat zwrotnych, by zmierzyć moc odbitą światłowodu na obu jego końcach.

Ponadto zaleca się wykonanie pomiarów mocy nadajników optycznych zainstalowanych w systemie. Pomiar ten wykonuje się w warunkach, gdy urządzenie nadające wysyła stały ciąg impulsów, na przykład jedynek. Moc mierzymy na wyjściu nadajnika i na wejściu odbiornika. W protokole należy umieścić informacje o zastosowanym ciągu kontrolnym, miejscach wykonania pomiarów oraz wyniki.