



## Stanowisko laboratoryjne do reflektometrycznych pomiarów światłowodów

WALDEMAR GRABIEC, KRZYSZTOF PAROBCZAK\*

Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Elektroniki, Instytut Telekomunikacji,

\* Student V roku,

00-908 Warszawa, ul. Kaliskiego 2

**Streszczenie.** W artykule opisano stanowisko pomiarowe znajdujące się w Laboratorium Techniki Światłowodowej Instytutu Telekomunikacji Wydziału Elektroniki WAT, przeznaczone do reflektometrycznych pomiarów włókien optycznych. Podano przyczyny powstawania strat w torze optycznym oraz metodę ich pomiaru za pomocą reflektometru. Przedstawiono budowę, zasadę pracy oraz najistotniejsze parametry eksploatacyjno-techniczne reflektometru, będącego na wyposażeniu laboratorium. Zwrócono uwagę na wybrane problemy występujące przy pomiarach tłumienności światłowodów metodą reflektometryczną.

**Słowa kluczowe:** reflektometr, OTDR, tłumienie, tłumienność, straty mocy optycznej

**Symbole UKD:** 621.38: :535.8

### 1. Wstęp

Zastosowanie światłowodów w telekomunikacji jest bardzo istotnym znacznikiem postępu, jaki został osiągnięty w dziedzinie technik transmisyjnych. Światłowody reprezentują bowiem medium transmisyjne, które swoimi parametrami zdecydowanie przewyższa możliwości rozwiązań klasycznych czyli kabli miedzianych. Telekomunikacyjne systemy optyczne umożliwiają transmisję sygnałów z bardzo dużą przepływnością. W szczególności systemy zwielokrotnienia falowego DWDM (ang. *Dense Wavelength Division Multiplexing*) stanowią spektakularny przykład rozwoju techniki optycznej w kierunku zwiększenia pojemności transmisyjnej. Oferowane obecnie transmisyjne systemy DWDM umożliwiają uzyskanie sumarycznej przepływności przekraczającej 5 Tbit/s. Równoległe z rozwojem technik optotelekomunikacyjnych powstaje szereg

nowych metod pomiarowych niezbędnych do utrzymania, diagnozowania i właściwej eksploatacji nowowprowadzanych systemów. Jedną z nich jest reflektometryczna metoda pomiaru tłumienia i strat mocy optycznej w torach światłowodowych.

Celem artykułu jest zaprezentowanie stanowiska pomiarowego wykorzystywanego w Laboratorium Techniki Światłowodowej Instytutu Telekomunikacji Wydziału Elektroniki WAT. W oparciu o prezentowane stanowisko studenci kierunków: telekomunikacji oraz teleinformatyki zapoznają się z możliwościami pomiarowymi reflektometru, metodyką pomiarów reflektometrycznych oraz opracowywaniem i interpretacją wyników pomiarowych.

## 2. Straty mocy optycznej w torze światłowodowym oraz metody ich pomiaru

Wielkość strat mocy optycznej w torze światłowodowym ma bezpośredni wpływ na zasięg transmisji i pośrednio wpływa na liczbę niezbędnych wzmacniaczy i regeneratorów transmitowanego sygnału.

Ze względu na miejsce występowania straty te można podzielić na:

- *straty sprzężeniowe* — występują na złączach: źródło światła — wejście światłowodu oraz wyjście światłowodu — odbiornik optyczny (fotodetektor);
- *straty na złączach* — spowodowane istnieniem złączy (głównie spawów) na całej długości toru światłowodowego;
- *straty transmisyjne* — spowodowane właściwościami stratnymi włókna światłowodowego (rozproszenie, absorpcja) oraz niekorzystnym oddziaływaniem mechanicznym na włókno (mikrozgięcia, mikropełknięcia, zarysowania itp.).

Straty energii określane są ilościowo przez wielkość zwaną tłumieniem. Właściwe określenie tego parametru pozwala na właściwe utrzymanie i eksploatację transmisyjnego systemu światłowodowego. Tłumienie podawane jest w decybelach.

Do ilościowego wyrażenia strat mocy optycznej w światłowodzie zwykle podaje się wielkość zwaną *tłumiennością* ( $\alpha$ ), która określona jest następującą zależnością [1]:

$$\alpha = \frac{10}{L} \log \left[ \frac{P(l_1)}{P(l_2)} \right] \quad [\text{dB/km}], \quad (1)$$

gdzie:  $P(l_1)$  — moc optyczna określona w punkcie  $l_1$  światłowodu (np. na początku linii);

$P(l_2)$  — moc optyczna określona w punkcie  $l_2$  światłowodu (np. na końcu linii);

$L$  — odległość pomiędzy punktami  $l_1$  i  $l_2$ .

Przykładowo, tłumienność równa 3 dB/km oznacza, że strumień optyczny przy przejściu przez światłowod o długości 1 km ma 50% mocy początkowej (wprowadzonej), natomiast przy tłumienności 10 dB/km — tylko 10%. W pierwszym przypadku straty mocy optycznej wynoszą 50%, w drugim natomiast aż 90%.

W celu określenia tłumienności światłowodu najczęściej stosuje się następujące metody pomiarowe:

- metody dwupunktowe:
  - metoda odcięcia,
  - metoda transmisyjna;
- metoda reflektometryczna.

Metody dwupunktowe charakteryzują się tym, że określenie strat optycznych polega na wyznaczeniu poziomu mocy optycznej w dwóch ściśle określonych punktach toru światłowodowego, odległych od siebie o znaną wartość ( $l_1$  i  $l_2$  w powyższej zależności). W praktyce jednym z ww. punktów pomiarowych jest początek, a drugim koniec badanego toru. Pomiar przeprowadzany jest w dwóch krokach. W pierwszym wyznaczana jest moc optyczna na wyjściu światłowodu, w drugim określana jest moc do niego wprowadzona (moc na wejściu światłowodu). Różnica między metodami odcięcia i transmisyjną polega głównie na sposobie określenia mocy optycznej wprowadzonej do światłowodu. W metodzie odcięcia określana jest ona po odcięciu światłowodu w punkcie leżącym blisko jego początku. Ze względu na potrzebę fizycznego przecięcia włókna metoda ta wykorzystywana jest głównie w laboratoriach, gdzie istnieje możliwość skorzystania z odpowiedniego oprzyrządowania (obcinarka do światłowodów, zestaw złączy itp.). W metodzie transmisyjnej natomiast moc wprowadzoną określa się przez połączenie źródła sygnału optycznego z miernikiem mocy optycznej krótkim odcinkiem światłowodu (ang. *patchcord*). Metoda ta jest mniej dokładna w porównaniu z metodą odcięcia, gdyż jej dokładność zależy głównie od zgodności własności optycznych badanego światłowodu i zastosowanych *patchcord*-ów oraz jakości zastosowanych złączy. Jednakże ze względu na prostotę (nie występuje potrzeba fizycznego przecięcia światłowodu) metoda ta często wykorzystywana jest podczas pomiarów eksploatacyjnych w terenie. W tym celu szereg firm oferuje specjalne zestawy pomiarowe, w skład których wchodzi źródło i miernik mocy optycznej, odcinek (lub odcinki) światłowodów testowych oraz zestaw adapterów, umożliwiających stosowanie złączy różnego typu. Przy pomiarach metodą transmisyjną wymagane jest jednak zapewnienie łączności pomiędzy osobami dokonującymi pomiaru na obu końcach linii. Do tego celu często wykorzystuje się tzw. telefony światłowodowe, wchodzące w skład zestawów pomiarowych, wykorzystujące do transmisji sygnału mowy badany tor. Dodatkowo, istnieje możliwość rejestracji wyników w wewnętrznej pamięci przyrządu.

### 3. Reflektometryczna metoda pomiaru strat mocy optycznej

W chwili obecnej podstawowymi przyrządami służącymi do określania jakości torów światłowodowych są reflektometry światłowodowe (optyczne) OTDR (ang. *Optical Time Domain Reflectometer*). Reflektometry wykorzystywane są przez producentów włókien optycznych (często równoległe z metodą odcięcia), są nieodzownym przyrządem pomiarowym w fabrykach kabli optotelekomunikacyjnych (kontrola jakości), za ich pomocą wreszcie przeprowadza się okresowe pomiary transmisyjnych torów światłowodowych. Pomiary te realizowane są zarówno podczas wprowadzania torów światłowodowych do eksploatacji, jak również podczas badań okresowych wybranych odcinków będących już w eksploatacji. Pomiary reflektometryczne, w przeciwieństwie do metody odcięcia, nie wymagają odcinania badanego światłowodu (nie mają charakteru niszczącego). Jednocześnie reflektometry wymagają podczas pomiaru dostępu do jednego tylko końca badanego światłowodu, co przy badanych torach światłowodowych o znacznej długości jest zaletą nie do przecenienia.

Obecnie na rynku występuje cała gama reflektometrów światłowodowych. Są one pogrupowane jako [1]:

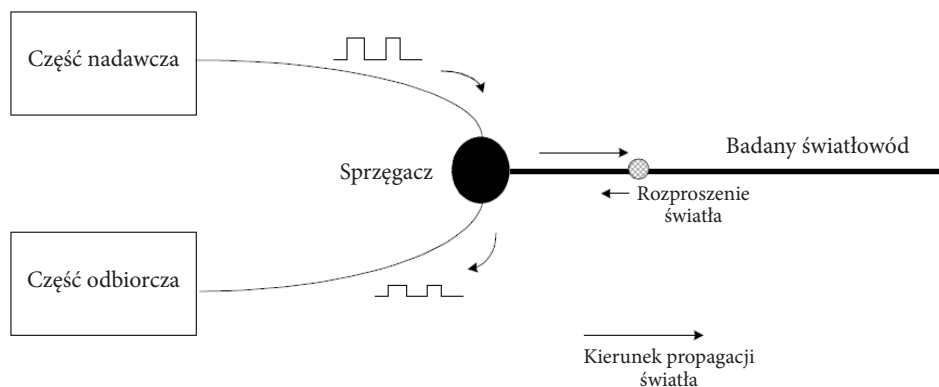
- reflektometry stacjonarne (laboratoria, fabryki włókien światłowodowych i okablowania optotelekomunikacyjnego);
- reflektometry przenośne — ang. *hand-held* (pomiary eksploatacyjne w terenie);
- reflektometry w postaci kart rozszerzeń do komputerów, stanowiące rozwiązanie stacjonarne.

Metoda pomiaru linii światłowodowych z wykorzystaniem reflektometru opiera się na wykorzystaniu zjawiska *rozproszenia Rayleigha*. Zjawisko to występuje na niejednorodnościach materiału rdzenia, których wymiary są dużo mniejsze w porównaniu z długością transmitowanej fali optycznej. Rozproszenie Rayleigha dominuje w zakresie fal krótkich (bliska podczerwień) i wynika z fluktuacji współczynnika załamania, spowodowanych zmianami gęstości i składu materiału włókna optycznego.

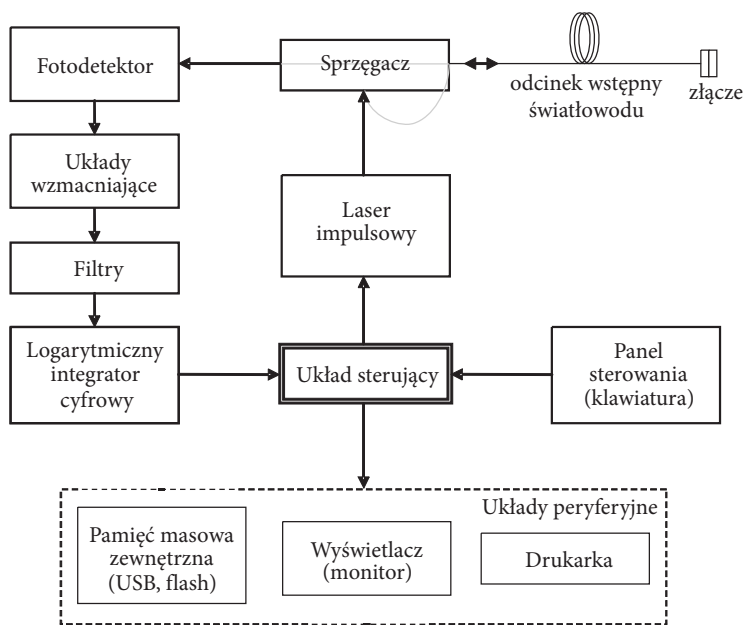
Zasadę pracy reflektometru światłowodowego przedstawiono na rysunku 1 [1], natomiast jego budowę na rysunku 2.

**Część nadawcza** reflektometru (półprzewodnikowy laser impulsowy, układ sterowania-generator impulsowy, układ zasilania i chłodzenia lasera) wysyła do badanego światłowodu krótkie impulsy o ściśle określonym (regulowanym) czasie trwania, które rozchodząc się ulegają zjawisku rozproszenia. Rozpraszanie odbywa się we wszystkich kierunkach, również wstecz i tę część rozproszonego światła (wysyłąną z powrotem w kierunku reflektometru) wykorzystuje się do pomiaru. Odbita część rozproszonego impulsu światła (tzw. echo optyczne) przez sprzęgacz światłowodowy trafia do części odbiorczej reflektometru.

**Część odbiorcza** (fotodetektor, wzmacniacze, przetwornik analogowo-cyfrowy, logarytmiczny integrator cyfrowy) dokonuje przetworzenia sygnału optycznego na sygnał elektryczny. Sygnał ten po wzmacnieniu i przetworzeniu na postać cyfrową podawany jest do układu integratora cyfrowego, który uśrednia wyniki pomiarów wykonywanych wielokrotnie dla tego samego punktu światłowodu. Układ integratora poprawia stosunek sygnału do szumu, co jest niezwykle istotne, gdyż wsteczny sygnał optyczny charakteryzuje się bardzo małym poziomem, często poniżej poziomu szumów.

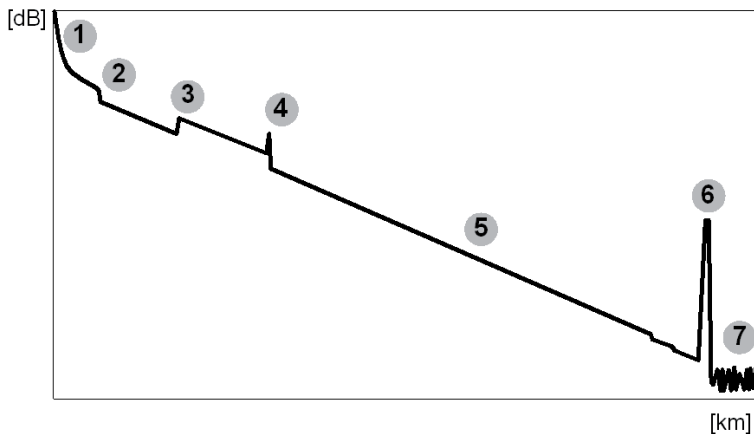


Rys. 1. Zasada działania reflektometru światłowodowego OTDR [1]



Rys. 2. Schemat blokowy reflektometru światłowodowego OTDR

Wartość sygnału elektrycznego, otrzymywanego w bloku odbiorczym reflektometru, zależy od tłumienia wnoszonego przez mierzony światłowód i jest odwrotnie proporcjonalna do strat mocy optycznej. Biorąc pod uwagę fakt, iż zmiana (spadek) poziomu mocy w światłowodzie ma charakter wykładniczy, wykres zmian tłumienności w funkcji długości przedstawia się w skali logarytmicznej. W rezultacie na ekranie reflektometru uzyskujemy obraz (tzw. echogram, reflektogram), przedstawiający wykres mocy optycznej rozproszonej wstecznie w funkcji długości badanego światłowodu. Niekwestionowaną zaletą pomiarów reflektometrem światłowodowym jest rejestracja i pomiar tzw. *zdarzeń*, występujących wzdłuż badanego toru światłowodowego. Na rysunku 3 przedstawiono wygląd typowego reflektogramu, zawierającego występujące najczęściej w praktyce zdarzenia.



Rys. 3. Wygląd typowego reflektogramu z uwzględnieniem możliwych zdarzeń

Interpretacja typowych zdarzeń przedstawionych na powyższym rysunku:

1 — tzw. strefa martwa reflektometru, spowodowana przesterowaniem („oślepieniem”) fotodetektora impulsem optycznym odbitym od fragmentu początkowego złącza; wszystkie zdarzenia występujące w tym rejonie nie są uwidocznione na reflektogramie. W celu wyeliminowania strefy martwej stosuje się tzw. kable rozbiegowe włączane między reflektometrem a początkiem badanej linii światłowodowej. Kabel rozbiegowy stanowi odcinek włókna światłowodowego o długości zależnej od wielkości strefy martwej reflektometru. Jego zadaniem jest przesunięcie zakresu pomiaru tak, aby wyeliminować problemy związane z istnieniem strefy martwej. W wielu przypadkach kabel rozbiegowy umieszczony jest wewnątrz obudowy reflektometru (typowa długość: 200÷500 m);

2 — połączenie spawane (spaw);

3 — połączenie spawane z pozornym wzmocnieniem sygnału optycznego (tzw. *zysk na spawie*) — występuje na złączu włókien o różnych poziomach wstecznego

rozproszenia sygnału (włókna nie z tej samej serii lub pochodzące od różnych producentów). Weryfikacja pozornego zysku polega na pomiarze refraktometrycznym, wykonanym z obu końców badanego toru;

4 — mechaniczne połączenie rozłączalne, ostry impuls dodatni spowodowany jest tzw. odbiciem Fresnela, występującym na szczelinie powietrznej pomiędzy łączywanymi włóknami;

5 — odcinek refraktogramu bez widocznych zdarzeń, nachylenie jest proporcjonalne do tłumienia badanego łącza światłowodowego;

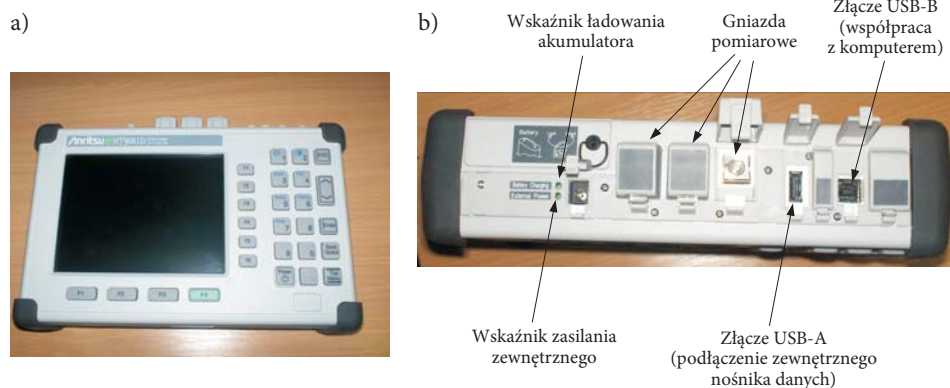
6 — odbicie sygnału (odbicie Fresnela) na końcu badanego światłowodu, występujące na granicy ośrodków: światłowod-powietrze;

7 — szумы przyrządu.

#### 4. Charakterystyka przykładowego refraktometru światłowodowego

Na wyposażeniu Laboratorium Techniki Światłowodowej znajduje się refraktometr typu MT9081D produkcji japońskiej firmy Anritsu. Należy on do rodziny refraktometrów ACCES Master™ i jest przedstawicielem przyrządów przenośnych zaliczanych do wyższej klasy [2].

Ogólny widok przyrządu z uwzględnieniem najistotniejszych elementów manipulacyjnych przedstawiono na rysunku 4.



Rys. 4. Widok ogólny refraktometru MT9081D (a), pulpitu z gniazdami pomiarowymi i wskaźnikami (b)

Do funkcji pomiarowych refraktometru MT9081D należą:

- OTDR — funkcja refraktometru (lokalizacja uszkodzeń, planowanie pomiarów, analiza);
- OPM — funkcja miernika mocy optycznej;
- OLS — funkcja źródła światła (laser).



Rys. 5. Ekran przyrządu — Menu główne (wybór funkcji)

Rysunek 5 przedstawia widok ekranu przyrządu z wyświetlonym zestawem funkcji możliwych do wyboru przez użytkownika.

Najważniejsze parametry eksploatacyjno-techniczne reflektometru MT9081D zawarto w poniższej tabeli [2].

TABELA 1

Parametry reflektometru Anritsu MT9081D

Parametr	J.m.	Wartość
1.	2.	3.
Dynamika	[dB]	38/36,5 (dla długości fali 1,31/1,55 [nm])
Liniowość	[dB/dB]	0,05 [dB/dB] lub 0,1 [dB] — zawsze większa z wartości
Szerokość impulsu	[ns]	3/10/20/50/100/200/500/1000/2000/4000/10000/20000
Dokładność	[%]	b.d./±35/±35/±23/±16/±10/±10/±10/±10/±10/±10
Zakresy odległości	[km]	0,5/1/2,5/5/10/25/50/100/200
Rozdzielczość	[pkt.]	5001/20001/25001* (*wartość dostępna tylko w niektórych zakresach)
Rozróżnialność odległości	[m]	0,05÷40
Dokładność	[m]	$\pm 1 \pm 3 \cdot \text{dystans} \cdot 10^{-5} \pm \text{rozdzielczość markera}$ (0,05÷400 [m])
Zobrazowanie osi tłumienności	[dB/działkę]	0,05/0,125/0,25/0,5/1,25/2,5/5/6,5
Strefa martwa	[m]	Co najwyżej 7/8 (dla długości fali 1,31/1,55 [nm]) dla zdarzeń Fresnelowskich poniżej 1 [m]
Grupowy współczynnik załamania światła	[-]	1,000000÷1,999999 (ustawianie z krokiem 0,000001)
Długość fali	[nm]	1310/1550
Dokładność	[nm]	$\pm 30$ określana w temperaturze 25°C, długości impulsu 1 [μs]



ciąg dalszy Tabeli 1

Typ światłowodu		ITU-T G.652 — 10/125 [m], jednomodowy
Element emitujący sygnał		FP-LD (Fabry-Perot Laser Diode) moc wyjściowa $> -5$ [dBm] fala ciągła lub modulowana 0,27/1/2 [kHz] $\pm 1,5\%$
Pomiar mocy optycznej		długość fali: 1550 [nm] zakres: $-50 \div -5$ [dBm] (mocy szczytowej) dokładność: $\pm 6,5$ [%]
Wyświetlacz		6,4" TFT-LCD, rozdzielczość 640×480, podświetlany
Interfejsy we/wy		USB 1.1 — 1 port — złącze typu A, 1 port — złącze typu B

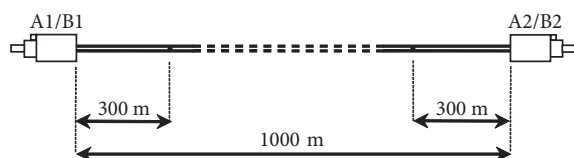
W celu wygodnego przeprowadzenia pomiarów, podczas zajęć laboratoryjnych wykorzystywane jest tzw. włókno testowe. Element ten nie wchodzi w skład ukończenia reflektometru. Włókno testowe stanowią dwa odcinki światłowodu, o długości 1000 m każdy. W celach dydaktycznych na obu odcinkach wykonano dwa spawy rozmieszczone w odległości ok. 300 m od końców (rys. 6b). Zapewniony został dostęp do końców obu odcinków włókna, wobec czego istnieje możliwość połączenia ich w jeden odcinek o całkowitej długości 2000 m. Użyte włókno jednomodowe (prod. Corning) jest przystosowane do pracy na długościach fal: 1310 nm (II okno transmisyjne) i 1550 nm (III okno transmisyjne). Efektywny grupowy współczynnik załamania wynosi odpowiednio: 1,4677 i 1,4688. Włókno testowe zabudowane jest w plastikowym pojemniku, umożliwiającym wygodną eksploatację w warunkach laboratoryjnych (rys. 6a).

a)



Złącze  
typu FC  
Końcówki  
włókien  
Obudowa

b)

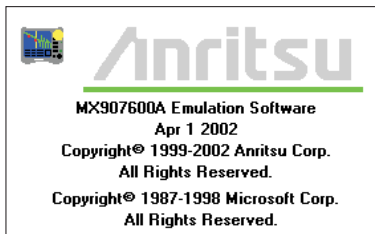


Rys. 6. Widok ogólny włókna testowego (a), schemat pojedynczego odcinka włókna o długości 1000 m (b)

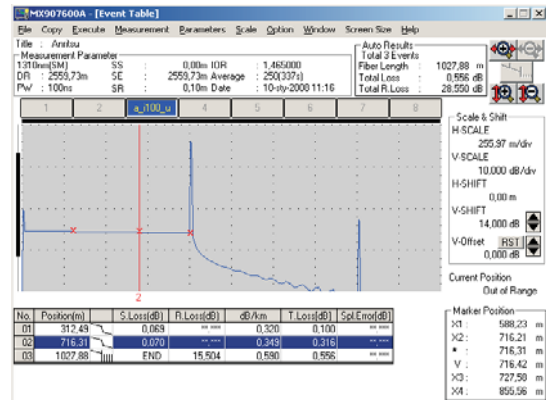
W celu łatwego i wygodnego opracowania wyników pomiarów zdjętych w terenie (analiza wyników, sporządzenie raportów, dokumentacji itp.) firma Anritsu przygotowała programowy emulator o nazwie MX907600A (rys. 7). Program ten akceptuje pliki (firmowy format SR-4731) zapisane w pamięci przenośnej (*pendrive*) w trakcie wykonywania pomiarów.

Na ekranie emulatora (rys. 7b) oprócz reflektogramu zobrazowane są praktycznie wszystkie dane, niezbędne do prawidłowej interpretacji i opracowania dokumentacji pomiarowej. Ich opis ze względu na ograniczoną objętość artykułu zostanie pominięty.

a)





b)



Rys. 7. Emulator MX907600A: winieta programu (a), widok okna roboczego (b)

Na uwagę zasługuje jednak tabelka wyświetlona na ekranie pod uzyskanym reflektogramem (rys. 7b), zawierająca informacje na temat wszystkich zdarzeń występujących w badanym torze światłowodowym. Do informacji tych należą:

**Position** — pozycja zdarzenia względem punktu podłączenia do reflektometru.

Typ zdarzenia, prezentowany za pomocą ikony:  oznacza spaw,  oznacza koniec światłowodu.

**S. Loss** (Splice Loss) — tłumienność spawu (dla końca światłowodu jest w tym miejscu wyświetlony napis END).

**R. Loss** (Reflection Loss) — reflektancja zdarzenia.

**dB/km** — tłumienność jednostkowa określona dla fragmentu włókna przed zdarzeniem.

**T. Loss** (Total Loss) — całkowita tłumienność na odcinku pomiędzy OTDR a zdarzeniem.

## 5. Wybrane problemy związane z pomiarami reflektometrycznymi

Mając na uwadze ograniczoną objętość artykułu, w niniejszym punkcie przedstawione zostaną tylko **wybrane**, zdaniem autorów istotne zagadnienia i problemy, z jakimi może zetknąć się użytkownik reflektometru światłowodowego podczas pomiarów.

Niekwestionowaną cechą reflektometru oprócz pomiaru tłumienności spawów lub złączy mechanicznych jest detekcja zdarzeń oraz określenie odległości między nimi. Dokładność określenia miejsca zdarzenia zależy od wielu czynników: prawidłowej kalibracji przyrządu, ustawienia odpowiedniej szerokości pomiarowego impulsu optycznego, dokładności z jaką przyjęto do pomiaru efektywny, grupowy współczynnik załamania, dokładności wyliczenia nadmiaru światłowodu w kablu, czyli tzw. długości optycznej kabla.

Na podstawie grupowego efektywnego współczynnika załamania  $N_g$  i prędkości światła w próżni  $c$  procesor reflektometru oblicza prędkość grupową impulsu w światłowodzie:

$$V_g = \frac{c}{N_g} = \frac{3 \times 10^8}{N_g} \left[ \frac{\text{m}}{\text{s}} \right], \quad (2)$$

Należy pamiętać, iż dokładność obliczeń zależy od dokładności, z jaką wprowadzimy do pamięci przyrządu wartość efektywnego grupowego współczynnika załamania. Parametr ten podaje producent włókna światłowodowego z dokładnością przynajmniej czterech cyfr po przecinku. Opierając się na tym parametrze wyliczana jest odległość zdarzenia  $L_z$ :

$$L_z = \frac{3 \times 10^8 \times t}{2 \times N_g} \quad [\text{m}], \quad (3)$$

gdzie:  $t$  — czas powrotu impulsu odbitego od miejsca zdarzenia.

Drugim czynnikiem, mającym wpływ na dokładność określenia miejsca zdarzenia, jest szerokość (czas trwania) pomiarowego impulsu optycznego wysyłanego do badanego toru. Przy wyborze tego parametru należy mieć na względzie długość mierzonego włókna światłowodowego. Impuls szerszy charakteryzuje się większą energią i jest w stanie badać dłuższy światłowód. Należy pamiętać, iż niewłaściwy dobór szerokości impulsu może uniemożliwić wykrycie zdarzenia, tzn. wybierając impuls zbyt szeroki nie zostaną wykryte zdarzenia leżące blisko siebie. Reflektometr wykryje je jako **jedno zdarzenie**, którego tłumienność będzie sumą tłumienności obu zdarzeń. Aby uniknąć tego typu problemów należy kierować się zasadą:

**im badany tor światłowodowy jest krótszy, tym należy wybrać impuls pomiarowy o krótszym czasie trwania.**

Praktycznie, w każdym reflektometrze światłowodowym istnieje możliwość regulacji (doboru) czasu trwania impulsu pomiarowego w szerokim zakresie (patrz. tab. 1). Istnieje więc możliwość dopasowania odpowiedniej szerokości impulsu pomiarowego stosownie do długości badanej linii światłowodowej. Jest to bardzo istotne, ponieważ większość reflektometrów stosowanych do badania transmisyjnych torów światłowodowych charakteryzuje się maksymalnym zasięgiem pomiaru równym 200 km, co odpowiada długości toru pomiędzy wzmacniaczami optycznymi dla długość fali 1550 nm.

Miejsca występowania zdarzenia określamy w stosunku do długości światłowodu. Jego długość jest jednak zawsze większa od długości kabla, w którym się on znajduje. Wynika to z budowy kabla optotelekomunikacyjnego, gdzie włókna światłowodowe umieszczone w tubach są luźno ułożone i spiralnie owinięte wokół dielektrycznego rdzenia wytrzymałościowego. To zwiększenie długości włókien światłowodowych w kablu w stosunku do jego długości podawane jest przez producentów jako procent długości kabla —  $\gamma$  (wyrażony w procentach stosunek długości włókna światłowodowego do długości kabla). Aby precyzyjnie określić miejsce zdarzenia w kablu (w odniesieniu do jego osłony, a nie długości samego włókna) w obliczeniach należy uwzględnić ww. parametr  $\gamma$ . Procesor reflektometru odległość zdarzenia wylicza według następującej zależności:

$$L_{zk} = \frac{L_z}{\left(1 + \frac{\gamma}{100}\right)} \quad [\text{m}], \quad (4)$$

gdzie:  $L_{zk}$  — odległość zdarzenia określona względem długości kabla;  
 $L_z$  — zmierzona przez reflektometr odległość zdarzenia w stosunku do długości włókna;  
 $\gamma$  — współczynnik nadmiaru włókna (podawany przez producenta w metryczce kabla).

Wyliczona wielkość określa miejsce, w którym należy rozciąć osłonę kabla w celu dostępu do uszkodzonego włókna.

## 6. Podsumowanie

Reflektometry światłowodowe OTDR są nieodzownym przyrządem pomiarowym, wykorzystywanym w telekomunikacji optycznej tak do badania dalekosiężnych linii światłowodowych, jak również w diagnozowaniu i utrzymaniu sieci teleinfor-

matycznych LAN, opartych na medium optycznym. Przyrządy te wykorzystywane są powszechnie zarówno przez producentów włókien optycznych, jak i kabli optotelekomunikacyjnych. Aktualnie ceny reflektometrów światłowodowych umożliwiają wykorzystywanie ich w coraz szerszym zakresie przez firmy telekomunikacyjne, nadzorujące optyczne linie transmisyjne. Coraz częściej trafiają do szkół i uczelni technicznych, dzięki czemu studenci praktycznie zapoznają się z nowoczesnym podejściem do pomiarów optycznych. Taka sytuacja sprawia, iż wykorzystywane dotychczas zestawy do pomiaru strat optycznych metodą dwupunktową powoli tracą na znaczeniu.

*Artykuł wpłynął do redakcji 14.07.2008 r. Zweryfikowaną wersję po recenzji otrzymano w październiku 2008 r.*

#### LITERATURA

- [1] K. PERLICKI, *Pomiary w optycznych systemach telekomunikacyjnych*, WKiŁ, 2002.
- [2] *MT9080 Series. Access Master. Operation manual*, Anritsu Corporation, 11<sup>th</sup> Edition, Japan, 2006.
- [3] *Vademecum teleinformatyka*, cz. II, Wyd. IDG, Poland SA, 2002.

W. GRABIEC, K. PAROBCZAK

#### **Test bed for reflectometric fibre-optic measurements**

**Abstract.** In this paper, the measurement test bed placed in the Fibre-optic Technique Laboratory of Tele-communication Institute Faculty of Electronics MUT is described. This test bed is devoted to reflectometric fibre-optic measurements. The reasons for coming out the losses in the optical channel as well as the method of losses measurement using reflectometer are shown. The structure of the MUT's laboratory reflectometer as well as principles of work and the most important operating-technical parameters were presented. The selected problems occurring in measurements of the fibre optic losses using reflectometric method are described.

**Keywords:** reflectometer, OTDR, attenuation, optical power loss

**Universal Decimal Classification:** 621.38:535.8

