

Pomiary wybranych elementów topologii sieci światłowodowych za pomocą miernika mocy optycznej

Cel ćwiczenia

Zapoznanie z budową, zasadą działania i metodami kalibracji miernika mocy optycznej oraz realizacja wybranych pomiarów.

Zagadnienia do przygotowania

1. Budowa i zasada działania oraz przeznaczenie miernika mocy optycznej.
2. Podstawowe parametry źródeł światła (diod i laserów) oraz detektorów światła wykorzystywanych w technice światłowodowej.
3. Obszary zastosowań miernika mocy optycznej oraz wybrane metody pomiarowe (metoda wtrąceniowa – transmisyjna, metoda odcięcia – dwupunktowa).
4. Wartości normatywne tłumienia złączy światłowodowych.

Literatura

Perliczki K.: *Pomiary w optycznych systemach telekomunikacyjnych*. WKŁ, Warszawa 2003

Praca zbiorowa: *Vademecum teleinformatyka II*. IDG, Warszawa 2002

Siuzdak J.: *Wstęp do współczesnej telekomunikacji światłowodowej*. WKŁ, Warszawa 1999

Wiadomości wstępne



Rys. 1 Miernik mocy optycznej EXFO model FPM 600

Miernik mocy optycznej to urządzenie wykorzystywane do pomiaru mocy optycznej. Zbudowany jest z następujących elementów:

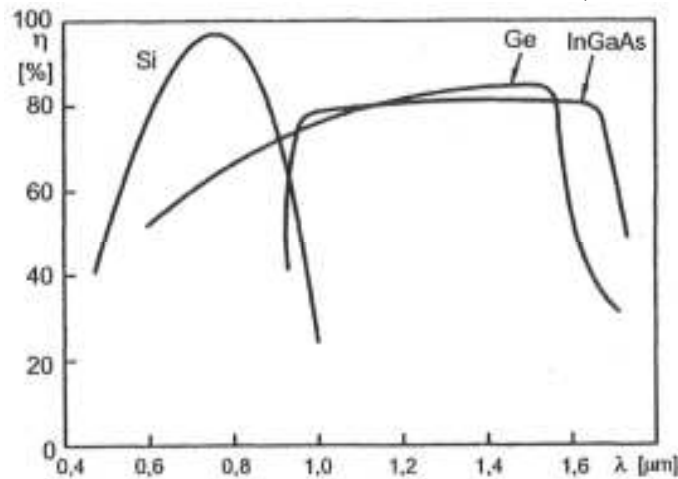
- fotodiody, na której wyjściu w wyniku zjawiska fotoelektrycznego wewnętrznego pojawia się fotoprąd proporcjonalny do poziomu odbieranej mocy;
- wzmacniacza logarytmującego, który wzmacnia fotoprąd będący na wyjściu fotodiody;
- przetwornika A/C;
- wyświetlacza;
- układu kompensacji prądu ciemnego.

Między wyjściem wzmacniacza a wyświetlaczem znajduje się układ korekcyjny, który zmienia wskazania miernika w zależności od wybranego okna pomiarowego (nastawionej długości fali – λ).

Wynik pomiaru najczęściej jest przedstawiony w jednostkach względnych – dB (decybelach) lub dBm (decybelach mocy). Możemy też spotkać mierniki mocy optycznej, które przedstawiają wyniki pomiaru w jednostkach bezwzględnych – W (watach).

Podstawowe parametry miernika mocy optycznej:

- **zakres długości fali:** obejmuje zwykle długości fali z przedziału od 800 nm do 1700 nm dla fotodiody wykonanej z InGaAs [2], zatem możemy dokonywać pomiarów w poszerzonym zakresie długości fali ($\lambda = 850$ nm, $\lambda = 1310$ nm, $\lambda = 1410$ nm albo $\lambda = 1450$ nm, $\lambda = 1550$ nm, $\lambda = 1625$ nm);



Rys. 2 Zależność czułości fotodiody od długości fali

- **zakres mierzonej mocy:** powinien zawierać się w przedziale od +5 dBm do -90 dBm;
- **nieliniowość:** jest wynikiem występowania nieliniowości fotodetektora oraz nieliniowości wprowadzanej przez część elektroniczną urządzenia np. nieliniowość wzmacniacza, można ją określić na podstawie zależności zachodzącej między wskazaniem miernika a mocą optyczną wprowadzaną do niego:

$$N = \frac{r - r_{odn}}{r_{odn}} \quad (1)$$

gdzie: r – stosunek wskazania miernika do mocy optycznej wprowadzanej do niego dla dowolnego poziomu mocy, r_{odn} – stosunek wskazania miernika do mocy optycznej wprowadzonej do niego dla poziomu mocy przyjętej za odniesienie. Nieliniowość miernika mocy optycznej jest zwykle podawana w dB albo W, jej typowe wartości mieszczą się w przedziale od $\pm 0,015$ dB do $\pm 0,05$ dB (od ± 30 pW do ± 50 pW).

Przed rozpoczęciem pomiarów mocy optycznej należy omawiany miernik skalibrować, tzn. dokonać ustalenia związków pomiędzy wartościami, które w określonych warunkach będą wskazywane przez miernik, a odpowiadającymi im znanymi wartościami wielkości mierzonej. Wynik kalibracji daje możliwość przypisania do wartości mierzonej odpowiednich wielkości oraz naniesienie poprawek na otrzymane wskazania. Kalibracji dokonujemy przy ustawionych tych samych długościach fali odbiornika i nadajnika.

Należy dodać, że najczęściej zestaw do pomiaru mocy optycznej to jedno urządzenie, w którym znajduje się detektor i nadajnik światła. Zatem przy dokonywaniu pomiarów konieczne jest dokonywanie fizycznych pętli na trasie.

Charakterystyka przyrządów stosowanych w ćwiczeniu

- miernik mocy optycznej:



Optical Specifications		OPM 1-3C	OPM 1-3C
Calibration wavelengths		850, 1300, 1310, 1550 nm	850, 1300, 1310, 1550, 1625 nm
Detector type		Germanium (Ge)	InGaAs
Measurement range		+6 to -60 dBm	+6 to -70 dBm
Accuracy (@25° C, -10.0 dBm)		±0.25 dB	
Measurement units		dBm	
General Specifications			
Power		Typical 60 hours with 9V battery	
Adapter caps		order separately (ST, SC, FC, and others available)	
Operating temperature		-10 to 50°C	
Relative humidity		0 to 90% (non-condensing)	
Storage temperature		-30 to 60°C	
Size (H x W x D)		5.5 x 3.2 x 1.5 in (14.0 x 8.1 x 3.8 cm)	
Weight		0.58 lb (0.26 kg)	

All specifications at 25°C

All specifications at 25°C

- źródło światła:



Optical	OLS 2-Dual (single port)	OLS 2-CL (single port)
Output wavelength (nm)	1310 ±20 1550 ±20	1550 ±20 1625 ±25
Output power	0 dBm*	
Laser classification	Class 1 (FDA 21 CFR 1040.10 and 1040.11, and IEC 60825-1)	
Output connector	SC (FC & ST available)	
Spectral width (FWHM)	5 nm (max)	5 nm (max), 1625 nm: 5 nm (typ)
Stability	± 0.1 dB over 1 hour (after 20 min. warm-up) ± 0.15 dB over 8 hours (after 20 min. warm-up)	
General		
Power	2 x AA batteries, optional NiMH or AC adapter	
Battery life (2 x AA)	Typical 120 hours, Minimum 75 hours	
Operating temperature	-10 to 50°C, 90% RH (non-condensing)	
Storage temperature	-30 to 60°C, 90% RH (non-condensing)	
Size (H x W x D)	5.5 x 3.2 x 1.5 in (14.0 x 8.1 x 3.8 cm)	
Weight	0.65 lb (.29 kg)	

* Adjustable 2 dB.

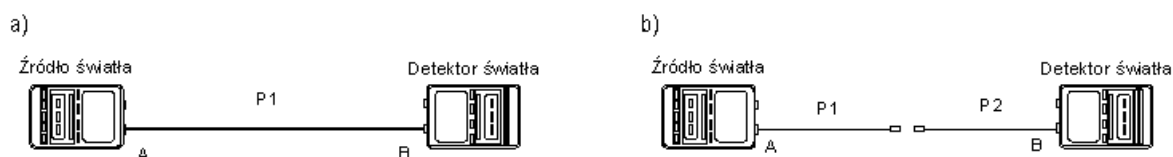
All specifications at 25°C.

Kalibracja i pomiary za pomocą miernika mocy optycznej

Skalibrować miernik oznacza dokonać ustalenia związków pomiędzy wartościami, które w określonych warunkach będą wskazywane, a odpowiadającymi im znanymi wartościami wielkości mierzonej. Wynik kalibracji daje możliwość przypisania do wartości mierzonej odpowiednich wielkości oraz naniesienie poprawek na otrzymane wskazania.

W zależności od typu miernika mocy optycznej kalibracja jest realizowana w różny sposób. Jeżeli miernik podaje wynik w dB, to jest ona realizowana w sposób automatyczny, natomiast jeżeli wynik jest podawany w dBm, to w celu kalibracji należy wykonać pomiary odniesienia, aby zbadać moc nadajnika światła. Kalibrację i pomiar odniesienia realizuje się w trzech różnych układach, w zależności od typu pomiaru jaki ma być wykonany:

- **kalibracja miernika mocy optycznej do pomiaru tłumienia pojedynczej złączki:**



**Rys. 3 a) Kalibracja miernika mocy optycznej
b) Pomiar tłumienia złączki**

Kalibracja i pomiar odniesienia (Rys. 3a) polega na połączeniu miernika mocy optycznej (detektora światła) z nadajnikiem (źródłem światła) za pomocą jednolitego światłowodu – patchcordu (mającego zwykle długość od 5 do 10 metrów) i dokonaniu kalibracji (zerowania) miernika, a także względnego pomiaru mocy źródła światła dla wybranych okien transmisyjnych. Taki układ odniesienia daje gwarancję, że w trakcie pomiaru tłumienia pojedynczej złączki światłowodowej (Rys. 3b) patchcord (jednolity światłowód) nie będzie w nim brał udziału. Otrzymane wyniki należy zapisać w tabeli.

Okno transmisyjne λ [nm]	P_{zr} [dBm]	P_{zr} [mW]
II okno - 1310		
III okno - 1550		

Moc źródła - P_{zr} w mW oblicza się korzystając z mocy źródła otrzymanej z pomiarów w następujący sposób:

$$P_{\text{zr}} [\text{dBm}] = 10 \cdot \log \frac{P_{\text{zr}} [\text{mW}]}{1 \text{ mW}} \quad (2)$$

$$P_{\text{zr}} [\text{mW}] = 1 \text{ mW} \cdot 10^{\frac{P_{\text{zr}} [\text{dBm}]}{10}}$$

Znając moc źródła w mW można przystąpić do pomiaru tłumienia pojedynczej złączki światłowodowej zgodnie ze schematem układu pomiarowego przedstawionym na Rys. 3b. Pomiary należy wykonać w dwóch kierunkach i dla dwóch długości fali. Uzyskane wyniki należy zanotować w poniższej tabeli.

Typ złącza	Tłumienie badanego złącza światłowodowego – A							
	II okno – 1310 nm				III okno – 1550 nm			
	K1		K2		K1		K2	
	[dBm]	[mW]	[dBm]	[mW]	[dBm]	[mW]	[dBm]	[mW]

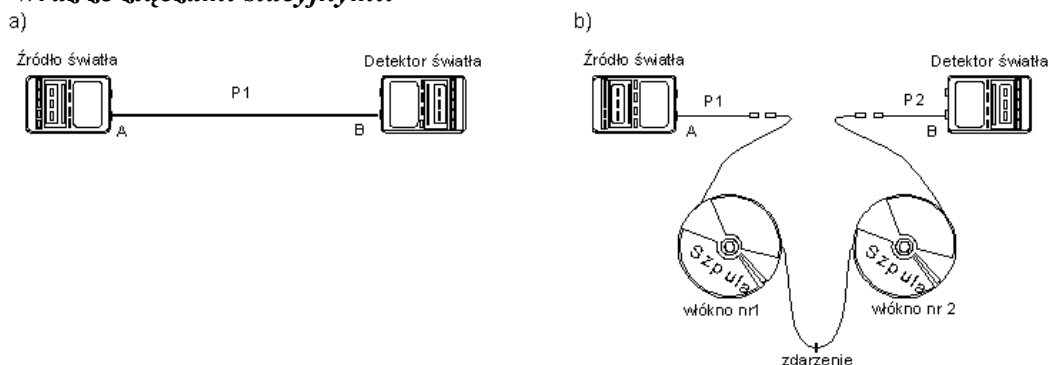
Wartość tłumienia – A w mW należy wyznaczyć zgodnie ze wzorem (2). W oparciu o otrzymane wyniki oraz pomiar mocy w układzie kalibracji, a następnie wykonać obliczenia i uzupełnić poniższą tabelę.

Typ złącza	Tłumienie badanego złącza światłowodowego – A					
	II okno – 1310 nm			III okno – 1550 nm		
	K1	K2	Średnia	K1	K2	Średnia
	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]

Obliczenia należy wykonywać zgodnie z poniższymi wzorami:

$$A = 10 \cdot \log \frac{P_z [mW]}{A [mW]} \quad (3)$$

- **kalibracja miernika mocy optycznej do pomiaru tłumienia trasy światłowodowej wraz ze złączami stacijnymi:**



Rys. 4 a) Kalibracja miernika mocy optycznej
b) Pomiar tłumienia trasy światłowodowej

Kalibracja i pomiar odniesienia w tym układzie (Rys. 4a) dokonywane są w identyczny sposób jak w poprzednim punkcie, zatem bazujemy na otrzymanych wynikach pomiaru odniesienia. Wystarczy dokonać pomiaru tłumienia wskazanych włókien światłowodowych i zmontowanej trasy światłowodowej. Otrzymane wyniki zanotować w poniższej tabeli.

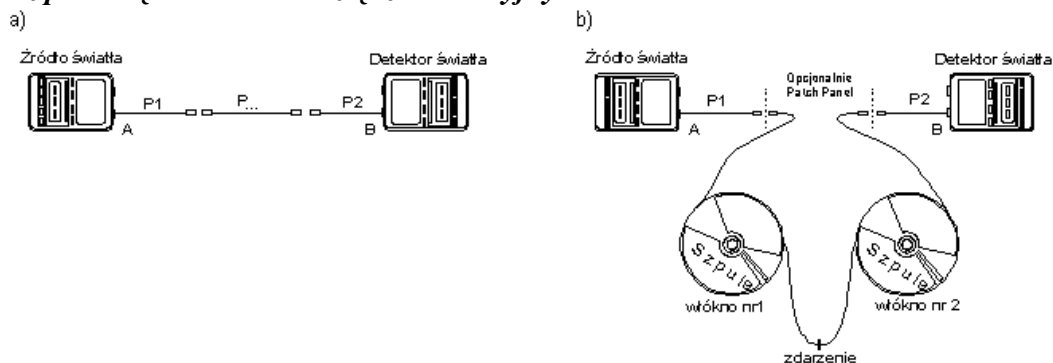
Badane fragmenty traktu światłowodowego	Tłumienie badanego złącza światłowodowego – A							
	II okno – 1310 nm				III okno – 1550 nm			
	K1		K2		K1		K2	
	[dBm]	[mW]	[dBm]	[mW]	[dBm]	[mW]	[dBm]	[mW]
Światłowód wielodomowy MM 50/125 150 m								
Światłowód jednodomowy SMF28 9/125 150 m								
Światłowód jednodomowy SMF28 9/125 1000 m								
Trasa światłowodowa zgodnie z zaleceniem podanym przez prowadzącego								

Wartość tłumienia – A w mW należy wyznaczyć zgodnie ze wzorem (2). W oparciu o otrzymane wyniki oraz pomiar mocy w układzie kalibracji, a następnie wykonać obliczenia i uzupełnić poniższą tabelę. Wartości w dB obliczać zgodnie ze wzorem (3).

Badane fragmenty traktu światłowodowego	Tłumienie badanego złącza światłowodowego – A					
	II okno – 1310 nm			III okno – 1550 nm		
	K1	K2	Średnia	K1	K2	Średnia
	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]
Światłowód wielodomowy MM 50/125 150 m						
Światłowód jednodomowy SMF28 9/125 150 m						
Światłowód jednodomowy SMF28 9/125 1000 m						
Trasa światłowodowa zgodnie z zaleceniem podanym przez prowadzącego						

Należy zaznaczyć, że dokonany pomiar (Rys. 4b) uwzględnia tłumienie wnoszone przez złącza stacyjne, tzn. te, przy pomocy których badany tor światłowodowy jest podłączany do detektora światła i źródła światła. Można tego uniknąć stosując układ odniesienia z trzema patchcordami.

- **kalibracja miernika mocy optycznej do pomiaru tłumienia trasy światłowodowej z pominięciem strat na złączach stacyjnych:**



Rys. 5 a) Kalibracja miernika mocy optycznej
b) Pomiar tłumienia trasy światłowodowej

Kalibracja w układzie trzech patchcordów (Rys. 5a) polega na połączeniu miernika mocy optycznej (detektora światła) z nadajnikiem (źródłem światła) za pomocą trzech światłowodów (patchcordów) z wykorzystaniem dwóch złączy światłowodowych. Zapewnia to, że przy pomiarze mocy optycznej trasy światłowodowej (Rys. 5b) nie będzie brane pod uwagę tłumienie wnoszone przez złącza stacyjne, przy pomocy których podłączony jest badany tor do zestawu pomiarowego. Otrzymane wyniki należy zapisać w tabeli.

Okno transmisyjne λ [nm]	$P_{\text{źr}}$ [dBm]	$P_{\text{źr}}$ [mW]
II okno - 1310		
III okno - 1550		

Moc źródła - $P_{\text{źr}}$ w mW oblicza się korzystając z mocy źródła otrzymanej z pomiarów w oparciu o równość (2).

Badane fragmenty traktu światłowodowego	Tłumienie badanego złącza światłowodowego – A							
	II okno – 1310 nm				III okno – 1550 nm			
	K1		K2		K1		K2	
	[dBm]	[mW]	[dBm]	[mW]	[dBm]	[mW]	[dBm]	[mW]
Światłowód wielodomowy MM 50/125 150 m								
Światłowód jednodomowy SMF28 9/125 150 m								
Światłowód jednodomowy SMF28 9/125 1000 m								
Trasa światłowodowa zgodnie z zaleceniem podanym przez prowadzącego								

Wartość tłumienia – A w mW należy wyznaczyć zgodnie ze wzorem (2). W oparciu o otrzymane wyniki oraz pomiar mocy w układzie kalibracji, a następnie wykonać obliczenia i uzupełnić poniższą tabelę. Wartości w dB obliczać zgodnie ze wzorem (3).

Badane fragmenty traktu światłowodowego	Tłumienie badanego złącza światłowodowego – A					
	II okno – 1310 nm			III okno – 1550 nm		
	K1	K2	Średnia	K1	K2	Średnia
	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]
Światłowod wielodomowy MM 50/125 150 m						
Światłowod jednodomowy SMF28 9/125 150 m						
Światłowod jednodomowy SMF28 9/125 1000 m						
Trasa światłowodowa zgodnie z zaleceniem podanym przez prowadzącego						

Należy zaznaczyć, że dokonany pomiar (Rys. 5b) nie uwzględnia tłumienia wnoszonego przez złącza stacyjne, tzn. te, przy pomocy których badany tor światłowodowy jest podłączany do detektora światła i źródła światła.

Uwaga

- pomiary należy wykonywać przy wybranej opcji źródła światła CW (fala ciągła bez modulacji) na źródle światła dla obydwu okien transmisyjnych – II i III;
- nie należy włączać źródła światła przed podłączeniem końca światłowodu do miernika mocy optycznej, ponieważ światło laserowe jest niewidzialne i może szkodliwie wpływać na organizm ludzki;
- dokumentacja powinna zawierać:
 - krótką charakterystykę stanowiska pomiarowego zawierającą spis i opis stosowanych przyrządów oraz charakterystykę metod pomiarowych stosowanych w czasie pomiarów;
 - tabele z wynikami pomiarów;
 - charakterystykę badanych odcinków światłowodu oraz złączy rozłączalnych;
 - dyskusję wyników pomiarów zawartych w tabelach;
 - wnioski końcowe i zalecenia eksploatacyjne dla użytkownika sieci sporządzone w oparciu o zalecenia;