

ĆWICZENIE 7

BADANIE WPŁYWU DŁUGOŚCI WŁÓKNA NA WŁAŚCIWOŚCI TRANSMISYJNE LINII ŚWIATŁOWODOWEJ

PLAN ĆWICZENIA:

1. Wyznaczenie optymalnej długości światłowodu (z równania bilansu mocy optycznej) dla zadanych parametrów elementów systemu światłowodowego.
2. Zapoznanie się z elementami wizualizującymi w programie OptiPerformer.
3. Przeprowadzenie symulacji w programie OptiPerformer.
4. Zarejestrowanie wyników symulacji oraz ich analiza.

ZAGADNIENIA DO PRZYGOTOWANIA:

1. Zależność tłumienia włókna od długości linii światłowodowej.
2. Równanie bilansu mocy optycznej.
3. Metody szacowania jakości transmisji danych (BER, parametr Q, diagram oka).
4. Przepustowość systemu.

1. Równanie bilansu mocy optycznej

Równanie bilansu mocy optycznej zakłada iż, w systemach transmisyjnych, różnica pomiędzy wyjściową mocą nadajnika i czułością odbiornika musi być równa sumie wszystkich strat powiększonych o margines mocy. Bilans mocy wyrażany jest w dB. Równanie bilansu mocy optycznej ma postać:

$$P_T - S_R = AL_F + L_C + L_A + M$$

gdzie:

P_T – wyjściowa moc nadajnika dBm ,

S_R – czułość odbiornika dBm ,

A – tłumienność jednostkowa $\frac{dBm}{km}$,

L_F – długość włókna km ,

L_C – straty związane ze sprzężaniem dB , (źródło światła – światłowód, światłowód – detektor),

L_A – dodatkowe, znane straty dB , (tłumienie połączeń światłowodowych, np. spawy, złącza),

M – margines mocy dB , (przewidziany na wzrost tłumienia na połączeniach i tłumienności włókna).

W ćwiczeniu, dane są wszystkie parametry z powyższego równania, oprócz długości światłowodu, która musi zostać wyznaczona.

Czułość odbiornika, w tym przypadku, definiowana jest jako minimalna, wymagana moc optyczna pozwalająca na uzyskanie wartości parametru BER na poziomie 10^{-9} , co odpowiada wartości współczynnika Q równej 6. Czułość odbiornika zależy od przepustowości systemu. Tłumienie światłowodu zależy od zastosowanej długości fali.

2. Metody szacowania jakości transmisji danych

W systemach telekomunikacyjnych podstawowym kryterium oceny jakości transmisji danych jest poprawność odebrania przez odbiornik informacji wysyłanej przez nadajnik.

Do podstawowych metod analizy jakości transmisji sygnałów cyfrowych w systemach telekomunikacyjnych jak i optotelekomunikacyjnych należy zaliczyć:

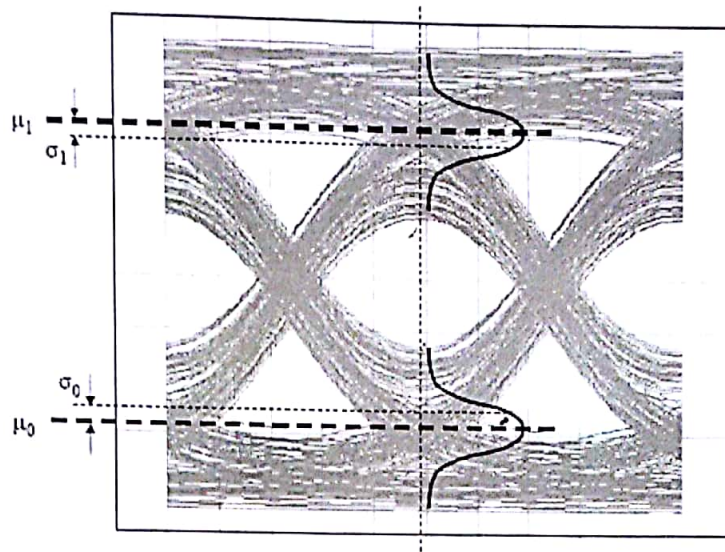
- pomiar elementowej stopy błędów (BER – Bit Error Rate),
- pomiar parametru Q,
- analizę wykresu oczkowego,

Elementowa stopa błędów – BER to podstawowy parametr określający prawdopodobieństwo wystąpienia przekłamania bitu informacji. Jest to parametr statystyczny, zależny od czasu trwania pomiaru. W optyce nie powinien być większy niż 10^{-12} . Parametr ten można więc zapisać w następujący sposób (1):

$$BER = \frac{\text{liczba błędnie odebranych bitów}}{\text{liczba wszystkich odebranych bitów}} \quad 1$$

Parametr Q – współczynnik jakości, jest elektrycznym stosunkiem sygnału do szumu. Czym wyższa wartość parametru Q tym lepsza jakość transmisji.

Zarówno elementowa stopa błędów BER jak i parametr Q mogą zostać wyznaczone z diagramu oka (ang. eye diagram) (Rys. 1), który uzyskuje się poprzez doprowadzenie do wejścia odchyłania pionowego oscyloskopu analizowanego sygnału, a podstawa czasu oscyloskopu wyzwalana jest sygnałem zegarowym zsynchronizowanym z badanym sygnałem. Na ekranie oscyloskopu następuje nałożenie na siebie wszystkich możliwych kombinacji danych bitowych tworząc w efekcie przebieg w kształcie oka.



Rys. 1 Diagram oka

Zakładając, iż:

- μ_1 – średnia wartość sygnału dla jedynki logicznej,
- μ_0 – średnia wartość sygnału dla zera logicznego,
- σ_1 – odchylenie standardowe sygnału dla jedynki logicznej,
- σ_0 – odchylenie standardowe sygnału dla zera logicznego.

Parametr Q – współczynnik jakości można wyznaczyć z poniższego równania (2):

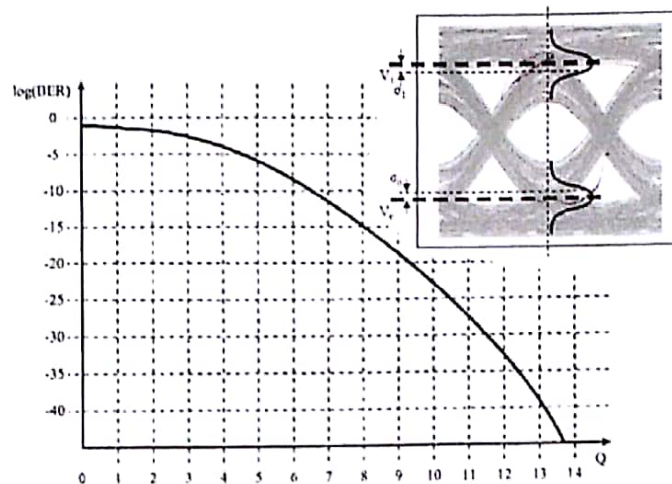
$$Q = \frac{\mu_1 - \mu_0}{\sigma_1 + \sigma_0} \quad 2$$

Z kolei, znając wartość parametru Q, można wyznaczyć elementową stopę błędów BER z wzoru zaprezentowanego poniżej (3):

$$BER = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \frac{Q}{\sqrt{2}} \quad 3$$

gdzie: *erfc* – funkcja błędów.

Zależność pomiędzy elementową stopą błędów, a współczynnikiem jakości, przedstawiona jest na rysunku 2 (Rys. 2).



Rys. 2 Zależność pomiędzy elementową stopą błędów, a współczynnikiem jakości

Ogólne prawidłowości wynikające z analizy diagramu oka:

- większe rozwarście oka w centralnej części wykresu to lepsze działanie systemu telekomunikacyjnego,
- większe rozwarście oka w pionie wykresu to większa odporność systemu telekomunikacyjnego na zakłócenia,
- większe rozwarście oka w poziomie wykresu to większa odporność systemu telekomunikacyjnego na fluktuacje fazy.

Symulacje komputerowe zostaną przeprowadzone w programie OptiPerformer dla układu z przepływnością 2,5 Gb/s, która określa ile bitów w jednostce czasu może zostać przesłane przez kanał transmisyjny. Skupiając się na zależnościach transmisyjnych, można powiedzieć, że przepływność zależy od zastosowanych urządzeń nadających oraz od kodu transmisyjnego i ogólnie wyraża się wzorem (4):

$$K \frac{\text{bit}}{\text{s}} = V \log_2 n \quad 4$$

gdzie: n – liczba wartości generowanego sygnału,

V – szybkość generowania sygnału, podawana jest w bodach, oznacza maksymalną szybkość z jaką mogą zmieniać się wartości sygnału nadawanego w kanale, w jednostce czasu.

1 [bod] = jedna zmiana wartości sygnału w czasie jednej sekundy.

3. Obliczenia

Wykorzystując równanie bilansu mocy optycznej oraz parametry podane w poniższej tabeli (Tab. 1) należy wyznaczyć optymalną długość światłowodu.

Moc wyjściowa nadajnika	0 dB
Zastosowana długość fali	1550 nm
Przepustowość systemu	2.5 Gb/s
Czułość odbiornika	-30 dB
Tłumienność światłowodu	0.19 dB/km
Liczba złącz	2
Straty wynikające z pojedynczego połączenia	0.5 dB
Dodatkowe, znane straty	0 dB
Margines mocy	6 dB

Tab. 1 Wartości parametrów, które powinny zostać zastosowane w przeprowadzanych symulacjach

4. Przebieg ćwiczenia

Zaprezentowany układ został stworzony w programie OptiSystem, a następnie wyeksportowany do programu OptiPerformer. Istnieją dwie wersje, pierwsza dla przepustowości system 2.5 Gb/s, druga dla 10 Gb/s. Rozpoczynamy pracę z systemem 2.5 Gb/s. Tłumik optyczny reprezentuje straty połączeniowe oraz margines mocy. Po otwarciu pliku OptiPerformer, który zawiera badany układ, w prawym, dolnym rogu pojawi się lista parametrów, które można zmieniać. Ustaw wartości tych parametrów zgodnie z powyższą tabelą (Tab. 1). Dodatkowo należy wspomnieć, iż w badanym układzie nie uwzględniono dyspersji oraz efektów nieliniowych.

Aby czułość odbiornika była na poziomie -30 dBm dla 2.5 Gb/s systemu, należy się upewnić, iż wartość szumu termicznego w odbiorniku jest ustawiona na $8.97e-24$ W/Hz.

W układzie dostępnych jest kilka urządzeń wizualizujących. Wizualizator „Optical Power Meter Visualizer” pozwala użytkownikowi na rejestrację mocy sygnału. Jeden znajduje się na wyjściu nadajnika, drugi na końcu światłowodu transmisyjnego, a trzeci na wejściu odbiornika (za tłumikiem optycznym). Analizator BER (ang. BER analyzer) dostarcza informacji na temat współczynnika Q, BER oraz pokazuje wygląd diagramu oka.

5. Symulacje

1. Uruchom symulację i zarejestruj następujące dane:
 - poziom mocy optycznej (dBm)
 - na obu końcach światłowodu,
 - na wejściu odbiornika.
 - analiza BER
 - BER,
 - współczynnik Q,
 - diagram oka.
2. Wybierz 5 wartości długości światłowodu z zakresu $\pm 25\%$ optymalnej wartości, a następnie powtórz symulacje oraz zapisz wyniki,
3. Zmień wartość wyjściowej mocy nadajnika zgodnie z poleceniem prowadzącego, a następnie powtórz krok 1 i 2,
4. Zmień przepustowość układu na 10 Gb/s, powtórz poprzednie kroki.

6. Sprawozdanie

1. Informacje na temat:
 - optymalnej długości światłowodu,
 - wybranych, dodatkowych wartości długości światłowodu,
 - prezentacja **wybranych** diagramów oka.
2. Wykresy (w funkcji długości światłowodu):
 - mocy optycznej na wejściu odbiornika,
 - współczynnika Q,
 - parametru BER,
 - szerokości rozwartości diagramu oka,
 - wysokości rozwartości diagramu oka.

Powyższe wyniki powinny być zaprezentowane dla przepustowości systemu 2.5 Gb/s oraz 10 Gb/s.

3. Podsumowanie oraz wnioski (między innymi porównanie ze sobą otrzymanych wyników dla dwóch różnych wartości przepustowości układu).