

Lublin 06.07.2007 r.

SPECYFIKACJA ZASIĘGU POŁĄCZEŃ OPTYCZNYCH URZĄDZEŃ BITSTREAM

SPIS TREŚCI

1.	Wstęp.....
2.	Moc nadajnika optycznego.....
3.	Długość fali optycznej.....
4.	Czułość odbiornika.....
5.	Tłumienie linii.....
6.	Dyspersja.....
7.	Kalkulacja zasięgów.....
8.	Podsumowanie.....

1. Wstęp

Zasięg połączenia optycznego możliwego do zrealizowania przy danym zestawie urządzeń można oszacować znając następujące parametry:

- Moc nadajnika optycznego - P_t
- Długość fali optycznej systemu transmisyjnego - λ
- Czulość odbiornika optycznego dla zadanej stopy błędów - S_R
- Zmierzone lub obliczone na podstawie danych tłumienie linii kablowej wraz ze złączami rozłączalnymi i spawanymi - IL
- Ograniczenia związane z poszerzeniem impulsu propagowanego w światłowodzie na skutek zjawisk dyspersyjnych.

2. Moc nadajnika optycznego

Moc nadajnika optycznego jest mocą mierzoną na wyjściu optycznym dla danej długości fali λ , przy założeniu, że nadajnik jest pobudzany sygnałem ciągłym o średnim wypełnieniu symbolami „0” i „1” równym 1/2. Jeżeli jako nadajnik została użyta dioda LED cała moc optyczna na wyjściu nadajnika jest mocą użyteczną biorącą udział w transmisji. W przypadku źródeł laserowych moc nadawcza jest sumą mocy wynikającej z prądu polaryzacji i prądu sygnału modulującego. O zasięgu w takim przypadku decydować będzie poziom mocy modulowanego sygnału optycznego.

W Tabeli 1 zostały przedstawione wartości mocy nadawanej dla oferowanych typów urządzeń, przy założeniu, że jest ona sprzęgana do światłowodu jednodomowego o średnicy rdzenia $9\mu\text{m}$.

Tabela 1. Zestawienie mocy nadajnika dla poszczególnych wersji urządzeń

Typ urządzenia	Długość fali optycznej [nm]	Moc nadajnika optycznego P_T [dBm]
S	1310	-15
M	1310	-5
L	1550	0
WS	1310/1550	-14
WM	1310/1550	-8

3. Długość fali optycznej

Długość fali optycznej nadajnika jest istotnym parametrem decydującym o zasięgu łącza optycznego. Związane jest to z faktem, iż tłumienie światłowodu jest ściśle zależne od długości fali optycznej. Dla światłowodów kwarcowych powszechnie używanych w telekomunikacji możemy wyróżnić trzy „okna” wykorzystywane w systemach transmisyjnych tj. 850nm, 1310nm i 1550nm. Z praktycznego punktu widzenia największe znaczenie mają „okna” 1310nm oraz 1550nm.

Kolejnym czynnikiem zależnym od długości fali optycznej jest poszerzenie impulsu wprowadzane przez tor optyczny. Wynika ono ze zmian prędkości propagacji wraz ze zmianą długości fali i jest również zależne od centralnej długości fali systemu. Źródło światła stosowane w nadajnikach jest niepunktowe i posiada pewną charakterystykę widmową. Stąd, energia niesiona przez światło w różnym czasie dociera do odbiornika.

Tabela 2 specyfikuje typowe wartości tłumienia i dyspersji chromatycznej dla światłowodu jednodomowego zgodnego z zaleceniem ITU-T G.652

Tabela 2 . Typowe wartości tłumienia i dyspersji chromatycznej dla jednodomowego włókna optycznego

Długość fali optycznej [nm]	Tłumienność jednostkowa [dB/km]	Dyspersja chromatyczna [ps/nm*km]
1310	0,5	~0
1550	0,275	16.5

4. Czulość odbiornika

Czulość odbiornika mówi o minimalnym poziomie mocy optycznej na jego wejściu gwarantującym bitową stopę błędów nie gorszą niż założoną przez producenta. Dla optycznych systemów telekomunikacyjnych wyznacznikiem jest stopa błędów nie gorsza niż 1×10^{-12} (przekłamaný jeden bit na 1×10^{12} odebranych). Tabela 3 specyfikuje minimalne wartości mocy odebranej dla poszczególnych typów urządzeń przy założonej stopie błędów nie gorszej niż 1×10^{-12} .

Tabela 3. Minimalne wartości mocy odebranej dla poszczególnych typów urządzeń.

Typ urządzenia	Długość fali optycznej [nm]	Czulość odbiornika optycznego S_R [dBm]
S	1310	-32
M	1310	-35
L	1550	-36
WS	1310/1550	-32
WM	1310/1550	-34

5. Tłumienie linii

Całkowite tłumienie linii optotelekomunikacyjnej jest sumą tłumienia poszczególnych jej odcinków oraz strat wnoszonych przez połączenia pomiędzy kolejnymi odcinkami. Połączenia te mogą być rozłączalne lub spawane i w zależności od rodzaju połączenia strata wnoszona przez pojedyncze połączenie może się wahać od 0.05dB do 0.6dB przy założeniu czystości i prawidłowości jego wykonania. W Tabeli 4 zostały zebrane typowe wartości tłumienia wnoszone przez połączenia spawane i rozłączalne zgodnie ze zaleceniem ITU-T G.671.

Tabela 4. Wartości tłumienia dla poszczególnych typów połączeń.

Typ połączenia	Tłumienie [dB]
Spawane	0,08
Rozłączalne	0,5

Poniższy wzór (1) opisuje całkowitą tłumienność IL linii optotelekomunikacyjnej wyliczoną teoretycznie.

$$IL = \sum \alpha_{\lambda} \cdot l + \sum IL_s + \sum IL_r \quad (1)$$

gdzie:

- α_{λ} - tłumienie jednostkowe dla danej długości fali (zgodnie z tabelą 2).
- l - długość pojedynczego odcinka kablowego
- IL_s - tłumienie połączeń spawanych (zgodnie z tabelą 4)
- IL_r - tłumienie połączeń rozłączalnych (zgodnie z tabelą 4)

Należy stwierdzić, że wymogiem i dobrą praktyką jest zmierzenie parametrów wykonanej linii w trakcie prac odbiorczych. W przypadku pomiaru tłumienia linii, metodą referencyjną jest metoda pomiaru z użyciem źródła i miernika mocy (metoda transmisyjna). Stosowana jest również metoda reflektometryczna jako metoda alternatywna.

6. Dyspersja

Rozmycie impulsu występujące w trakcie jego propagacji przez światłowód wynika z następujących czynników:

- różnej drogi propagacji modów przez włókno optyczne (dla światłowodów wielodomowych),
- różnej szybkości propagacji dla różnych długości fali optycznej
- różnej szybkości propagacji ortogonalnie spolaryzowanych modów wzdłuż poprzecznej i podłużnej osi światłowodu,

Pierwsze zjawisko (zwane dyspersją modową), charakterystyczne dla światłowodów wielodomowych jest głównym czynnikiem ograniczającym dla szybkich transmisji danych >100Mbit/s. Zakładając że dla długości fali świetlnej 1310nm tłumienie typowego światłowodu wielodomowego gradientowego 62,5/125um wyniesie 1dB/km, to w przypadku budżetu mocy 20dB zasięg mógłby wynieść 20km. Jednakże, efektywne pasmo takiego światłowodu (wynikające z poszerzenia impulsu) waha się w przedziale od 400 do 600 MHz/km co dla szybkości 125Mbit/s ograniczy nam zasięg do 6km.

Dla światłowodów jednomodowych zjawisko dyspersji modowej nie występuje. Dlatego też, dominującym stają się dwa pozostałe czynniki, tj. dyspersja chromatyczna i polaryzacyjna. Dla długości fali 1310nm dyspersja chromatyczna jest bliska zeru. Znaczące wartości pojawiają się dla długości fali optycznej 1550nm, lecz także mają znaczenie dopiero przy połączeniach o długości przekraczającej kilkaset kilometrów dla szybkości transmisji powyżej 155Mbit/s ze względu na zastosowanie laserów o wąskiej charakterystyce spektralnej (DFB). Zatem z praktycznego punktu widzenia należy uwzględnić jej wpływ na zasięg, dla połączeń o szybkościach powyżej 1Gbit/s.

7. Kalkulacja zasięgów

W rozdziale została przeprowadzona kalkulacja zasięgów połączeń optycznych z wykorzystaniem urządzeń BitStream, typu ANYMUX-FOX, ANYMUX-FX dla trzech typów interfejsów optycznych S, M, L, WS, WM. Podana kalkulacja ma charakter przybliżony ze względu na szacunkowe obliczenie tłumienności toru. Do kalkulacji należy brać wartość rzeczywistą zmierzoną.

Założenia:

1. W torze występują dwa połączenia rozłączalne na przełącznicach po obu końcach torów.
2. Pozostałe połączenia pomiędzy odcinkami kablowymi są spawane
3. Obliczenia uwzględniają margines systemowy

- Wersja „short haul” – S

Zgodnie z danymi z tabel 1 i 3 budżet mocy dla wersji **S** wynosi $P = P_T - S_R = -15 - (-32) = 17\text{dB}$. Uwzględniając 2dB marginesu dla kabla i 1dB marginesu dla systemu maksymalna wartość tłumienia IL wnoszona przez światłowód nie powinna przekroczyć 14dB.

Przyjmując założenia co złączy wzór (1) przyjmie postać (2):

$$IL = \alpha_L \cdot L + n \cdot IL_s + 2 \cdot IL_r \quad \text{gdzie } n \text{ liczba połączeń spawanych}$$

(2)

Po przekształceniu wyliczamy L zakładając $n = 8$ i biorąc dane z tabeli 2 i 4

$$L = \frac{IL - n \cdot IL_s - 2 \cdot IL_r}{\alpha_L} \quad (3)$$

$$L = \frac{14 - 8 \cdot 0,08 - 2 \cdot 0,5}{0,5} \approx 24km$$

- **Wersja „medium haul” – M**

Odpowiednio dla wersji **M** mamy $P_T = -5 - (-35) = 30dB$. Uwzględniając 2dB marginesu dla kabla i 1dB marginesu dla systemu maksymalna wartość tłumienia IL wnoszona przez światłowód nie powinna przekroczyć 27dB. Przyjmując $n = 20$ i wykorzystując wzór

$$L = \frac{27 - 20 \cdot 0,08 - 2 \cdot 0,5}{0,5} \approx 50km$$

- **Wersja „long haul” – L**

Dla wersji „long haul” „L” dla długości fali optycznej 1550nm mamy $P_T = 0 - (-36) = 36dB$. Uwzględniając 3dB marginesu dla kabla i 1dB marginesu dla systemu maksymalna wartość tłumienia IL wnoszona przez światłowód nie powinna przekroczyć 32dB. Przyjmując $n = 30$ i wykorzystując wzór

$$L = \frac{32 - 30 \cdot 0,08 - 2 \cdot 0,5}{0,275} \approx 104km$$

- **Wersja WDM „short haul” – WS**

Transmisja odbywa się dla dwu długości fali optycznej. Kalkulacje przeprowadzamy dla długości fali 1310nm, gdzie tłumienie większe będzie decydowało o zasięgu. Zgodnie z danymi z tabel 1 i 3 budżet mocy dla wersji **WS** wynosi $P = P_T - S_R = -14$

– (-32) = **18dB**. Uwzględniając 2dB marginesu dla kabla i 1dB marginesu dla systemu maksymalna wartość tłumienia IL wnoszona przez światłowód nie powinna przekroczyć 15dB. Stąd, przybliżony zasięg wyniesie:

$$L = \frac{15 - 8 \cdot 0,08 - 2 \cdot 0,5}{0,5} \approx 26km$$

- **Wersja WDM „medium haul” – WM**

Zgodnie z danymi z tabel 1 i 3 budżet mocy dla wersji **WM** wynosi $P = P_T - S_R = -8 - (-34) = \mathbf{26dB}$. Uwzględniając 2dB marginesu dla kabla i 1dB marginesu dla systemu maksymalna wartość tłumienia IL wnoszona przez światłowód nie powinna przekroczyć 23dB. Stąd, przybliżony zasięg wyniesie:

$$L = \frac{23 - 20 \cdot 0,08 - 2 \cdot 0,5}{0,5} \approx 40km$$

8. Podsumowanie

Należy stwierdzić, że przeprowadzone kalkulacje uwzględniają graniczne wartości parametru tłumienności jednostkowej. W rzeczywistych warunkach przy prawidłowo wykonanej linii należy się spodziewać wartości lepszych niż 0,5 dB/km@1310nm czy też 0,275dB/km@1550nm. Stąd i wyliczone zasięgi są jedynie estymacją najgorszego przypadku. Decydującymi do kalkulacji zasięgu są wartości tłumienia linii zmierzone jedną z ww. metod.