

Politechnika Poznańska  
Wydział Informatyki i Telekomunikacji  
Elektronika i telekomunikacja

# **Projekt z przedmiotu Optotelekomunikacja**

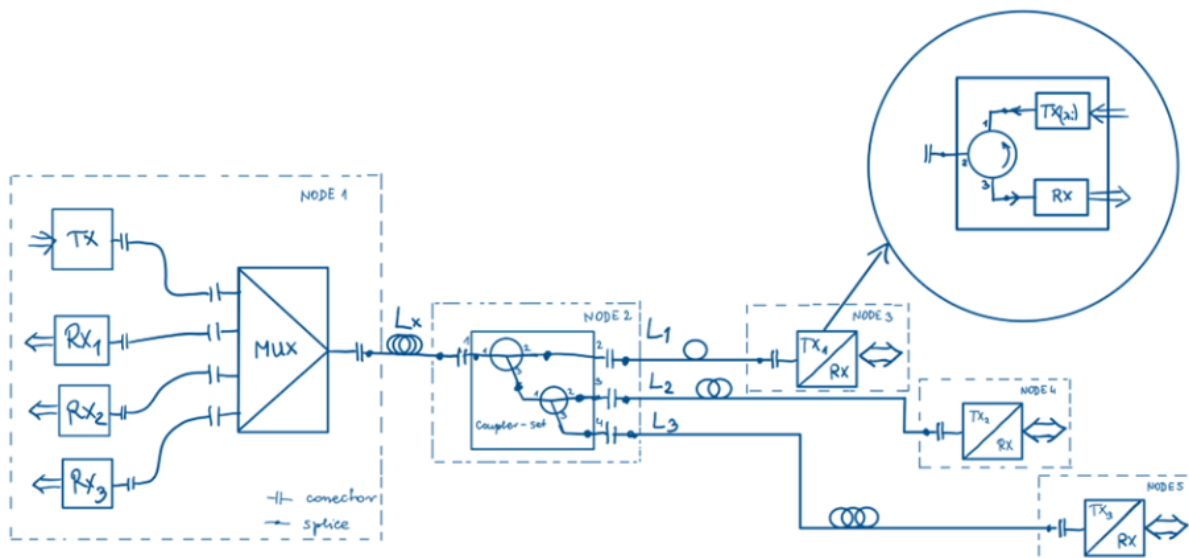
**Maciej Niedźwiecki**

**Nr albumu 147973**

Prowadzący:  
dr inż. Piotr Stępczak

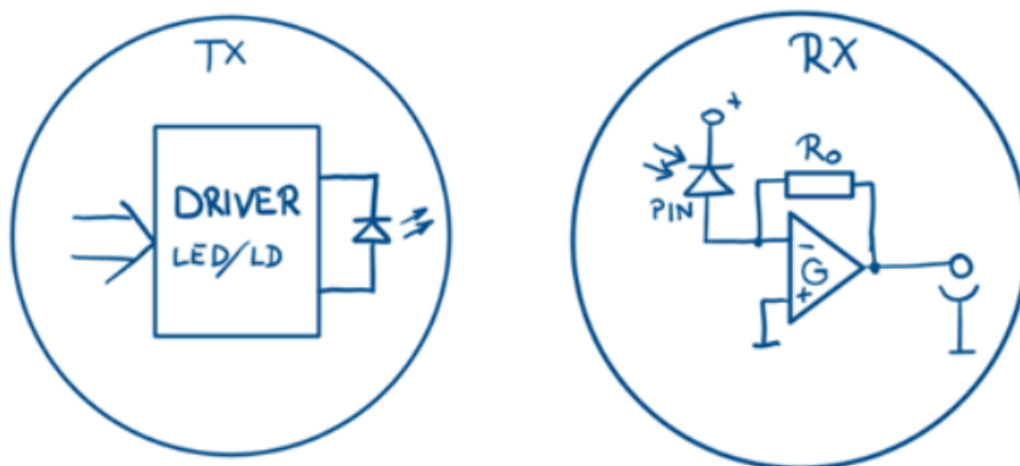
Poznań, 24.01.2023r.

Dla układu o poniższym schemacie projektuję układ odbiorczy oraz nadawczy dobierając odpowiednie elementy aktywne i pasywne ze zdefiniowanej grupy komponentów.



Z założenia moc optyczna docierająca do odbiorników (RX) we wszystkich węzłach musi być taka sama.

Układy nadawcze / odbiorcze zrealizowane w konfiguracji:



System ma zapewnić na każdym łączu optycznym transmisję o:

- paśmie  $B_s = 300$  [MHz]
- $SNR = 24$  [dB]
- $ORL \geq 30$  [dB]

Długość poszczególnych odcinków światłowodowych jest równa odpowiednio:

- $L1 = 1$  [km]
- $L2 = 12$  [km]
- $L3 = 12$  [km]

Do realizacji połączeń światłowodowych zastosowano kable o długość fabrykacyjnej  $L_F = 1$  [km].

$$B_s = 300 \text{ MHz}$$

$$B_{TX} = B_{RX} \geq 1,9 * B_s$$

$$B_{RX} = B_{TX} = 1,9 * B_s = 570 \text{ MHz} = 0,57 \text{ GHz}$$

Wybrane komponenty:

1. Wzmacniacz operacyjny:

- Wzmacniacz operacyjny **OPA3S2859IRTWR**
- Link do wybranego komponentu: [mouser.pl](https://www.mouser.pl)
- Link do noty katalogowej komponentu: [Texas Instruments](https://www.ti.com/lit/gsp/opa3s2859)
- Najważniejsze parametry:
  - Gain bandwidth product: 900 MHz
  - Internal switches for programmable gain
  - Input voltage noise: 2.2 nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$
  - Slew rate: 350 V/ $\mu\text{s}$
  - Supply voltage range: 3.3 V to 5.25 V
  - Quiescent current: 22 mA/channel
  - Power down mode  $I_Q$ : 75  $\mu\text{A}$
  - Temperature range: -40 °C to 125 °C

$$G = 7 \text{ [V/V]}$$

$$C = 0,7 \text{ [pF]}$$

## 2. Fotodioda:

- Wzmacniacz operacyjny **1.5GHz InGaAs PIN Module**
- Link do wybranego komponentu: [appointech.com](http://appointech.com)
- Link do noty katalogowej komponentu:  
*InGaAs PIN Photodiode Module*
- Najważniejsze parametry:
  - High Responsivity
  - High speed, typical 2 GHz
  - Low dark current, < 1nA
  - Low capacitance, typical 1.3pF
  - Operating temperature range -40C to 85C
  - Hermetically sealed TO-18 package in pigtailed or receptacle housing with FC, ST, SC, LC, MU or SMA connector

### Specifications (T=25°C, -5V)

Parameter	Symbol	Test Condition	Min.	Typ.	Max.	Unit
Responsivity	R					
9/125 um fiber	-1 -2	Laser source of 10 uW( $\lambda=1310\text{nm}$ )	0.7 0.8	0.8 0.9	- -	A/W
50/125 um fiber	-1 -2	LED source of 10 uW( $\lambda=1310\text{nm}$ )	0.65 0.75	0.75 0.85	- -	A/W
62.5/125 um fiber	-1 -2	LED source of 10 uW( $\lambda=1310\text{nm}$ )	0.6 0.7	0.7 0.8	- -	A/W
Spectral Range		-	1250	-	1650	nm
Dark Current	$I_d$	$V_R=2V$ , 0 to 1MHz	-	-	1	nA
Capacitance	Ct	$V_R=2V$ , 1MHz	-	1.1	1.3	pF
Rise/fall Time	tr/tf	$V_R=2V$ , 20% to 80%	-	145	170	ps
Bandwidth	B		1.85	2	-	GHz
Return Loss (9/125 um fiber only)						
-1			14	-	-	dB
-4			40	-	-	dB
-5			50	-	-	dB

### Absolute Maximum Rating

	Symbol	Min.	Max.	Unit
Operating Temperature	$T_o$	-40	+85	°C
Storage Temperature	$T_{stg}$	-40	+125	°C
Forward Current	$I_F$	-	10	mA
Reverse Voltage	$V_R$	-	20	V
Lead Soldering Temperature (10 sec)	$T_L$	-	260	°C

$$G = 7 \text{ [V/V]}$$

$$C_d = 0,9 \text{ [pF]}$$

$$C_a = 0,7 \text{ [pF]}$$

$$B_{RX} = 0,57 \text{ [MHz]}$$

- **Dobór pojemności i rezystancji:**

Parametry do obliczeń:

$$B_{RX} = 0,57 \text{ GHz}$$

$$G = 7 \text{ V/V}$$

$$C_a = 0,7 \text{ pF}$$

$$C_d = 0,9 \text{ pF}$$

$$B_R = \frac{G+1}{2 \cdot \pi \cdot R_0 \cdot (C_d + C_a)}$$

$$570 \text{ MHz} = \frac{7+1}{2 \cdot 3,14 \cdot R_0 \cdot (1,6) \text{ pF}}$$

$$R_0 = 1396,8 \text{ } [\Omega]$$

Wybrany rezystor z szeregu E96:

$$R_0 = 1400 \text{ } [\Omega]$$

- **Wyznaczenie współczynnika szumowego:**

Parametry do obliczeń:

$$R_0 = 1400 \text{ } [\Omega]$$

$$E_n = 2,2 \left[ \frac{\text{nV}}{\sqrt{\text{Hz}}} \right]$$

$$I_N = 1,9 \left[ \frac{\text{pA}}{\sqrt{\text{Hz}}} \right]$$

$$K_B = 1,39 \cdot 10^{-23} \left[ \frac{\text{J}}{\text{K}} \right]$$

$$T = 25 \cdot C = 298,15 \text{ K}$$

$$F = 1 + \frac{E_n^2 + I_N^2 \cdot R_0^2}{4 \cdot K_B \cdot T \cdot R_0} = 1 + \frac{(2,2 \cdot 10^{-9})^2 + (1,9 \cdot 10^{-12})^2 \cdot 1400^2}{4 \cdot 1,39 \cdot 10^{-23} \cdot 298,15 \cdot 1400} = 1,51 \text{ dBW}$$

F w skali liniowej:

$$F = 1,51 \text{ dBW} = 1,4 \text{ W}$$

- **Wyznaczenie mocy minimalnej odbiornika:**  
(transmisja realizowana w III oknie transmisyjnym)

Wyznaczanie czułości diody dla 1550 nm:

Parametry do obliczeń:

$$e = 1.6 * 10^{-19} C$$

$$h = 6.63 * 10^{-34} Js$$

$$c = 3 * 10^8 [m/s]$$

$$S_d(1310nm) = 0.8 [A/W]$$

$$\eta = \frac{S_d(\lambda_i)hc}{e\lambda_i}$$

$$S_d(\lambda_i) = \frac{\eta e \lambda_i}{hc}$$

$$\eta = \frac{0.8 * 6.63 * 10^{-34} * 3 * 10^8}{1.6 * 10^{-19} * 1310 * 10^{-9}} = 0.76$$

$$S_d(1550 nm) = \frac{0.76 * 1.6 * 10^{-19} * 1550 * 10^{-9}}{6.63 * 10^{-34} * 3 * 10^8} = 0.947 [A/W]$$

Wyznaczenie mocy  $P_{RX}$ :

Parametry do obliczeń:

$$S_d(1550 nm) = 0.947 [A/W]$$

$$SNR = 24 dB$$

$$M = 1$$

$$e = 1.6 * 10^{-19} C$$

$$T = 25^\circ C = 298.15 K$$

$$R_0 = 1400 \Omega$$

$$F = 1.51 dBW$$

$$B_{RX} = 0.57 * 10^9 Hz$$

$$K_B = 1.39 * 10^{-23} \frac{J}{K}$$

$$SNR = \frac{(MP_{RX} * S_d(\lambda))^2}{2eB_{RX} * S_d(\lambda) * M^{2.5} * P_{RX} + \frac{4kTB_{RX}}{R_0} (1 + F)}$$

$$24 = \frac{(P_{RX} * 0.947)^2}{2 * 1.6 * 10^{-19} * 0.57 * 10^9 * 0.947 * P_{RX} + \frac{4 * 1.39 * 10^{-23} * 298.15 * 0.57 * 10^9}{1400} (1 + 1.51)}$$

$$P_{RX} = 0.000000675634 W$$

$$P_{RX} = -31.70 dBm$$

- **Dobieranie diody laserowej**

3. Dioda laserowa:

- Wzmacniacz operacyjny **1.25Gbps 1310nm DFB LD Module**
- Link do wybranego komponentu: [appointech.com](http://appointech.com)
- Link do noty katalogowej komponentu:  
[\*1.25Gbps 1310nm DFB Laser Diode Module\*](#)
- Najważniejsze parametry:
  - Center wavelength 1310nm
  - Low threshold current
  - High speed tr/ta < 0.4ns
  - Built-in InGaAs monitor detector
  - Four-lead package, no TEC
  - Wide operating temperature -20oC to 85oC
  - Hermetically sealed TO-18 package in pigtailed or receptacle housing with FC, ST or SC connector

**Optical And Electrical Characteristics (T=25+/-3 °C unless specified otherwise)**

Parameter	Symbol	Test Conditions	Min	Typical	Max	Units
Peak Wavelength	$\lambda_c$	Po, To=-20~85°C	1290	1310	1330	nm
Spectral Width (-20dB)		Po	-	0.1	1	nm
Threshold Current	$I_{th}$	25°C 85°C	- -	7 30	12 40	mA
Operating Voltage	$V_{op}$	Po	-	1.1	1.6	V
Optical Output Power	$P_o$	$I_{th}+20mA,$				
-1			0.1	-	-	mW
-2			0.4	-	-	mW
-3			0.7	-	-	mW
-4			1.2	-	-	mW
Side Mode Suppression Ratio	SMSR	Po, To=-20~+85 °C	35	40		dB
Rise/Fall Time	tr/ta	2.5Gbps, 10~90pst	-	100	120	ps
Tracking Error	TE	Po, To=-20~+85 °C	-1.0	-	1.0	dB
Monitor Current (PD)	$I_m$	$V_{RD}=1V, R_L=10\Omega$	0.1	0.3	-	mA
Dark Current (PD)	$I_d$	$V_{RD}=5V$	-	-	1.0	$\mu A$
Capacitance (PD)	Ct	$V_{RD}=5V, f=1MHz$	-	10	20	pF

**Absolute Maximum Ratings**

Parameter	Symbol	Min.	Max.	Unit
Optical Output Power	Po		10	mW
Operating Current (LD)	$I_{op}$	-	150	mA
Reverse Voltage (LD)	$V_{RL}$	-	2	V
Reverse Voltage (PD)	$V_{RD}$	-	20	V
Forward Current (PD)	$I_{FD}$	-	2	mA
Case Temperature	$T_o$	-20	+85	°C
Storage Temperature	$T_{stg}$	-40	+100	°C
Lead Soldering Temperature (10sec)	$T_L$	-	260	°C

$$P_{TX} = 1.2 \text{ mW} = -29 \text{ dBW} = 0.8 \text{ dBm}$$

- **Wyznaczanie długości optycznej poszczególnych torów:**

$$L_1 = 1 [km]$$

$$L_2 = 12 [km]$$

$$L_3 = 12 [km]$$

$$L_F = 1 [km] - \text{kable o długości fabrykacyjnej}$$

Długość zapasu kabla przyjmuję jako 5%

$$L_T = 1.05 * L_K$$

$$L_1 = 1.05 * 1 [km] = 1.05 [km]$$

$$L_2 = L_3 = 1.05 * 12 [km] = 12.6 [km]$$

$$L_F = 1.05 * 1 [km] = 1.05 [km]$$

$$L = 1.05 * 0.01 = 0.0105 [km]$$

- **Wyznaczanie tłumienności toru:**

$$\alpha_T = L_T * \alpha_F + n_Z * \alpha_Z + n_S * \alpha_S$$

, gdzie:

$\alpha_T$  - tłumienność toru

$L_T$  - długość toru

$\alpha_F (1550 nm) = 0.2 [\frac{dB}{km}]$  - Tłumienność jednostkowa

$n_Z$  - liczba złączy

$\alpha_Z = 0.3 dB$  - Tłumienność złącza

$n_S$  - liczba spawów

$\alpha_S = 0.1 dB$  - Tłumienność spawu

Rezerwy:

$$\alpha_\Gamma = 0.05 * \alpha_T$$



$$\alpha_{T1} = 1.05 * 0.2 + 2 * 0.3 + 3 * 0.1 = 1.11 [dB]$$

$$\alpha_{T2} = 12.6 * 0.2 + 2 * 0.3 + 3 * 0.1 = 3.42 [dB]$$

$$\alpha_{T3} = 12.6 * 0.2 + 2 * 0.3 + 4 * 0.1 = 3.52 [dB]$$

$$\alpha_{TL} = 0.0105 * 0.2 + 2 * 0.3 + 2 * 0.1 = 0.9021 [dB]$$

$$\alpha_{TX} = 1.05 * L_X * 0.2 + 2 * 0.3 + 2 * 0.1 = 0.21 * L_X + 0.8$$

## • PODZIAŁ SPRZĘGACZY

Przyjmuję tłumienność wtrąceniową cyrkulatora 0,8 dB zgodnie z notą katalogową:

Sprzęgacz FBT 1x2 asymetryczny		
stopień podziału	maks. straty wtrąceniowe [dB]	PDL
1/99	23,0/0,25	0,20/0,05
2/98	19,0/0,30	0,20/0,05
5/95	15,0/0,45	0,20/0,10
10/90	11,3/0,65	0,15/0,10
20/80	7,85/1,25	0,15/0,15
30/70	6,00/2,00	0,15/0,15
40/60	4,70/2,70	0,15/0,15

### ○ Sprzęgacz I

$$T_{L1} = \frac{a_{T1}}{a_{T1} + a_{T2} + a_{T3}} = \frac{1.11}{1.11 + 3.42 + 3.52} = 0.14$$

$$T_{L2+L3} = \frac{a_{T2} + a_{T3}}{a_{T1} + a_{T2} + a_{T3}} = \frac{3.42 + 3.52}{1.11 + 3.42 + 3.52} = 0.86$$

Stosunek wynosi 0.14/0.86. Wybieram dla niego stopień podziału sprzęgacza FBT, którego straty wtrąceniowe wynoszą 11.3/0.65 dB.

### ○ Sprzęgacz II

$$T_{L2} = \frac{a_{T2}}{a_{T2} + a_{T3}} = \frac{3.42}{3.42 + 3.52} = 0.5$$

$$T_{L3} = \frac{a_{T3}}{a_{T2} + a_{T3}} = \frac{3.52}{3.42 + 3.52} = 0.5$$

Stosunek wynosi ok. 50/50. Wybieram dla niego stopień podziału sprzęgacza FBT, którego straty wtrąceniowe wynoszą 4.7/2.7 dB.

- **Dobieranie multiplexera CWDM:**

4. Multiplexer:

- Multiplexer CWDM - nota katalogowa
- Straty wtrąceniowe: 0.8 dB

- **Obliczanie tłumienności całej trasy:**

Tłumienność wtrąceniowa cyrkulatora: 0.8 dB

Tłumienność wtrąceniowa MUX: 1 dB

Straty wtrąceniowe sprzęgacza I: 11.3/0.63 dB

Straty wtrąceniowe sprzęgacza II: 4.7/2.7 dB

**Tx → MUX → Lx → Sprzęgacz I → L1 → cyrkulator → Rx**

$$0.8 + 1 + 0.21 * L_X + 0.8 + 11.3 + 1.05 + 0.8 = 0.21 * L_X + 15.75 [dB]$$

**Tx → MUX → Lx → Sprzęgacz I → Sprzęgacz II → L2 → cyrkulator → RX**

$$0.8 + 1 + 0.21 * L_X + 0.8 + 0.63 + 4.7 + 12.6 + 0.8 = 0.21 * L_X + 21.33 [dB]$$

**Tx → MUX → Lx → Sprzęgacz I → Sprzęgacz II → L3 → cyrkulator → RX**

$$0.8 + 1 + 0.21 * L_X + 0.8 + 0.63 + 2.7 + 12.6 + 0.8 = 0.21 * L_X + 19.33 [dB]$$

- **Wyznaczanie budżetu mocy:**

$$P_{TX} - P_{RX} - M = \alpha_T + \alpha_\Gamma$$

$$\alpha_T + \alpha_\Gamma = \alpha_T + 0.05 = 1.05\alpha_T$$

$$P_{TX} - P_{RX} - M = 1.05\alpha_T$$

$$P_{RX} = -31.7 \text{ dBm}$$

$$P_{TX} = 0.8 \text{ dBm}$$

$$M = 1 \text{ dB}$$

$$1. \quad 0.8 - (-31.7) - 1 > 1.05 * (0.21 * L_X + 15.75 [dB])$$

$$L_X \leq 67.85 \text{ km}$$

$$2. \quad 0.8 - (-31.7) - 1 > 1.05 * (0.21 * L_X + 21.33 [dB])$$

$$L_X \leq 41.28 \text{ km}$$

$$3. \quad 0.8 - (-31.7) - 1 > 1.05 * (0.21 * L_X + 19.33 [dB])$$

$$L_X \leq 50.8 \text{ km}$$

• **Budżet pasma:**

$$B_{TX} = B_{RX} = 0.57 \text{ GHz}$$

$$B_S = 300 \text{ MHz}$$

$$\Delta\tau_s = \sqrt{\Delta\tau_{TX}^2 + \Delta\tau_F^2 + \Delta\tau_{RX}^2}$$

$$B_{SYST} = \frac{0.35}{\Delta\tau_{SYST}[s]}$$

$$B_{SYST} = 1.2 * B_{RZ} = \frac{0.35}{\Delta\tau_{SYST}[s]}$$

$$\Delta\tau_{TX} = \Delta\tau_{RX} = \frac{0.35}{B_{RX}} = \frac{0.35}{0.57 * 10^9} = 614 \text{ ps}$$

$$\Delta\tau_s = \frac{0.35}{B_s} = \frac{0.35}{0.3 * 10^9} = 1166 \text{ ps}$$

**Jednomodowe włókno światłowodowe niweluje dyspersję modową**

$$\Delta\tau_F^2 = \Delta\tau_{ch}^2 + \Delta\tau_p^2$$

$$\Delta\tau_{ch} = D_c * \Delta\lambda * L$$

$$\Delta\tau_p = PMD * \sqrt{L}$$

$$\Delta\lambda = 1 \text{ nm}$$

$L$  – długość optyczna toru

zastosowane włókno

PMD - dyspersja polaryzacyjna dla zastosowanego włókna G652 D wynosi 0.04

$D_c$  - dyspersja chromatyczna dla zastosowanego włókna G652 D wynosi 17

• **TOR1**

$$L = 12.6 \text{ km} + 1.05 \text{ km} + 12.6 \text{ km} = 26.25 \text{ km}$$

$$\Delta\tau_{ch} = D_c * \Delta\lambda * L = 17 * 1 * 26.25 = 446.25$$

$$\Delta\tau_p = PMD * \sqrt{L} = 0.04 * \sqrt{26.25} = 1.05$$

$$\Delta\tau_F^2 = \Delta\tau_{CH}^2 + \Delta\tau_P^2 \Rightarrow \Delta\tau_F = \sqrt{446.25^2 + 1.05^2} = 446.25 \text{ ps}$$

$$\Delta\tau_s = \sqrt{\Delta\tau_{TX}^2 + \Delta\tau_F^2 + \Delta\tau_{RX}^2} = \sqrt{614^2 + 446.25^2 + 614^2} = 976.28 \text{ ps} < 1166 \text{ ps}$$

• **TOR2**

$$L = 12.6 \text{ km} + 1.05 \text{ km} + 12.6 \text{ km} = 26.25 \text{ km}$$

$$\Delta\tau_{ch} = D_c * \Delta\lambda * L = 17 * 1 * 26.25 = 446.25$$

$$\Delta\tau_p = PMD * \sqrt{L} = 0.04 * \sqrt{26.25} = 1.05$$

$$\Delta\tau_F^2 = \Delta\tau_{CH}^2 + \Delta\tau_P^2 \Rightarrow \Delta\tau_F = \sqrt{446.25^2 + 1.05^2} = 446.25 \text{ ps}$$

$$\Delta\tau_s = \sqrt{\Delta\tau_{TX}^2 + \Delta\tau_F^2 + \Delta\tau_{RX}^2} = \sqrt{614^2 + 446.25^2 + 614^2} = 976.28 \text{ ps} < 1166 \text{ ps}$$

• **TOR3**

$$L = 12.6 \text{ km} + 1.05 \text{ km} + 1.05 * Lx = [13.65 + 1.05Lx] \text{ km}$$

$$\Delta\tau_{ch} = D_c * \Delta\lambda * L = 17 * 1 * [13.65 + 1.05 * Lx] = 232.05 + 17.85Lx$$

$$\Delta\tau_p = PMD * \sqrt{L} = 0.04 * \sqrt{232.05 + 17.85Lx}$$

$$\frac{1}{B_s^2} = \frac{1}{B_{TX}^2} + \frac{1}{B_F^2} + \frac{1}{B_{RX}^2}$$

$$\frac{1}{B_F^2} = \frac{1}{B_s^2} - \frac{1}{B_{TX}^2} - \frac{1}{B_{RX}^2}$$

$$\frac{1}{B_F^2} = \frac{1}{(0.3*10^9)^2} - \frac{1}{(0.57*10^9)^2} - \frac{1}{(0.57*10^9)^2}$$

$$\frac{1}{B_F^2} = 49,55 * 10^{-19}$$

$$B_F = 0.44 * 10^9 = 0.44 \text{ GHz}$$

$$\tau_F = \frac{0.441}{B_F} = \frac{0.441}{0.44 * 10^9} \Rightarrow 1002 \text{ ps}$$

$$\Delta\tau_F^2 = \Delta\tau_{CH}^2 + \Delta\tau_P^2$$

$$\tau_F^2 = L^2 * (\tau_{ch}(\lambda_i))^2 + PMD^2 * L$$

$$1002^2 = (232.05 + 17.85Lx)^2 + (0.04 * \sqrt{232.05 + 17.85Lx})^2$$

$$L_x = 43.13 \text{ km}$$

$$L = 12.6 \text{ km} + 1.05 \text{ km} + 45.28 \text{ km} = 58.93 \text{ km}$$

$$\Delta\tau_{ch} = D_c * \Delta\lambda * L = 17 * 1 * [13.65 + 1.05 * Lx] = 1001.9205$$

$$\Delta\tau_p = PMD * \sqrt{L} = 0.04 * \sqrt{232.05 + 17.85Lx} = 1.27$$

$$\Delta\tau_F^2 = \Delta\tau_{CH}^2 + \Delta\tau_P^2 \Rightarrow \Delta\tau_F = \sqrt{1001.9205^2 + 1.27^2} = 1001.92 \text{ ps}$$

$$\Delta\tau_s = \sqrt{\Delta\tau_{TX}^2 + \Delta\tau_F^2 + \Delta\tau_{RX}^2} = \sqrt{167^2 + 1001.92^2 + 167^2} = 1029.38 \text{ ps} > 318 \text{ ps}$$