

Zintegrowane optoelektroniczne układy logiczne projekt

Dr inż. Agnieszka Mossakowska-Wyszyńska

06.10.2020

Dane kontaktowe:

Agnieszka Mossakowska-Wyszyńska

Zakład Optoelektroniki IMiO

pokój 119 GR, tel. 22 234 7246

konsultacje: po wykładzie z ZOUL na MS TEAMS

A.Mossakowska@elka.pw.edu.pl

agnieszka.wyszynska@pw.edu.pl

Warunki zaliczania projektów

- Projekty zostaną rozesłane drogą elektroniczną w dniu 9 października.
- Maksymalna liczba punktów za projekt: 40.
- Aby zaliczyć projekt należy otrzymać minimum 20 punktów.
- Należy przesłać raport w postaci pliku PDF e-mailem na adres: agnieszka.wyszynska@pw.edu.pl
- Termin oddania – 15 grudnia 2020r. wtorek do godz. 23.59.
- Za każdy tydzień kalendarzowy zwłoki w oddaniu raportu **utrata 5 punktów** (punkty odejmowane są począwszy od każdej środy). Pierwszy dzień utraty punktów to 16 grudnia 2019 środa.

Tematy projektów

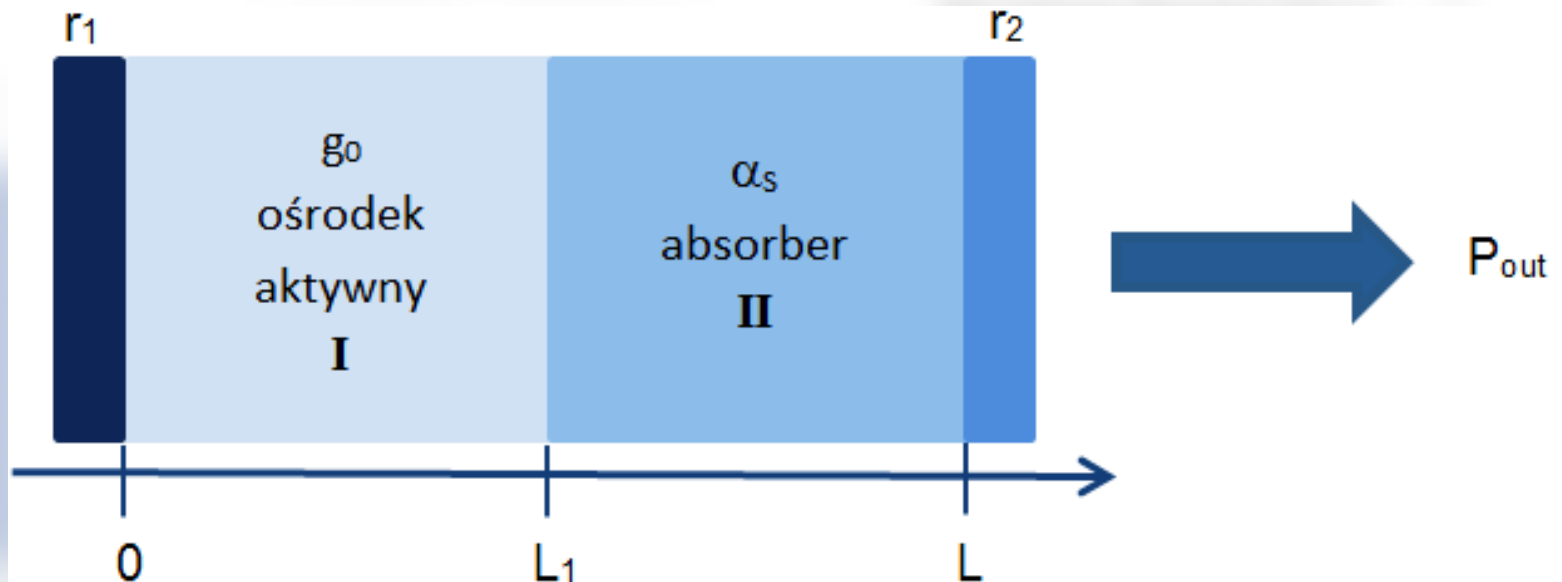
- 1. Analiza pracy bistabilnej lasera z nieliniowym absorberem**
- 2. Analiza sygnału na wyjściu optycznego połączenia**
- 3. Analiza sprawności sprzężenia pomiędzy laserem a światłowodem włóknistym**

1. Analiza pracy bistabilnej lasera z nieliniowym absorberem

- W projekcie tym należy obliczyć zależność znormalizowanej mocy wyjściowej lasera P_{out}/P_{sg} w funkcji znormalizowanego współczynnika małosygnałowego wzmocnienia g_0L dla wskazanych parametrów struktury laserowej.
- Uzyskane wyniki należy przedstawić w formie raportu.
(znormalizowany = bezwymiarowy)

Projekt 1

Struktura lasera ze zwierciadłami Fabry-Perot na końcach.



Projekt 1

Aby uzyskać charakterystykę mocy wyjściowej lasera w funkcji współczynnika mało-sygnałowego wzmocnienia $g_0 L$:

1. oblicza się współczynnik mało-sygnałowego wzmocnienia g_0 dla zadanych wartości znormalizowanej mocy P_{out}/P_{sg} .

$$g_0 = \frac{N_1 + 2 \int_0^{L_1} \alpha_{l1} \left(|f_{R1}(z)|^2 + |f_{S1}(z)|^2 \right) dz + 2 \int_{L_1}^L \alpha_{l2} \left(|f_{R2}|^2 + |f_{S2}|^2 \right) dz + C}{2 \int_0^{L_1} \frac{\left(|f_{R1}(z)|^2 + |f_{S1}(z)|^2 \right) dz}{1 + \frac{P_{out}}{P_{sg}} N_2 \left(|f_{R1}(z)|^2 + |f_{S1}(z)|^2 \right)}}$$

2. a następnie otrzymane wartości wzmocnienia g_0 mnoży się przez L i wykorzystuje się do wykreślenia charakterystyki $P_{out}/P_{sg} (g_0 L)$.

Projekt 1

$$C = \int_{L_1}^L \frac{\alpha_{s0} \left(|f_{R2}(z)|^2 + |f_{S2}(z)|^2 \right) dz}{1 + \frac{P_{out}}{P_{sg}} N_2 \beta \left(|f_{R2}(z)|^2 + |f_{S2}(z)|^2 \right)}$$

$$N_1 = \frac{1}{r_2} \left(\frac{1 - r_1^2}{r_1} + \frac{1 - r_2^2}{r_2} \right)$$

$$N_2 = \frac{r_1}{\frac{1 - r_1^2}{r_1} + \frac{1 - r_2^2}{r_2}}$$

$$f_{R1}(z) = \exp(\gamma_1 z)$$

$$f_{R2}(z) = \exp[(\gamma_1 - \gamma_2)L_1] \exp(\gamma_2 z)$$

$$f_{S1}(z) = \frac{1}{r_2} \exp(-\gamma_1 z)$$

$$f_{S2}(z) = \frac{1}{r_2} \exp[(\gamma_1 - \gamma_2)L_1] \exp(\gamma_2 z)$$

Projekt 1

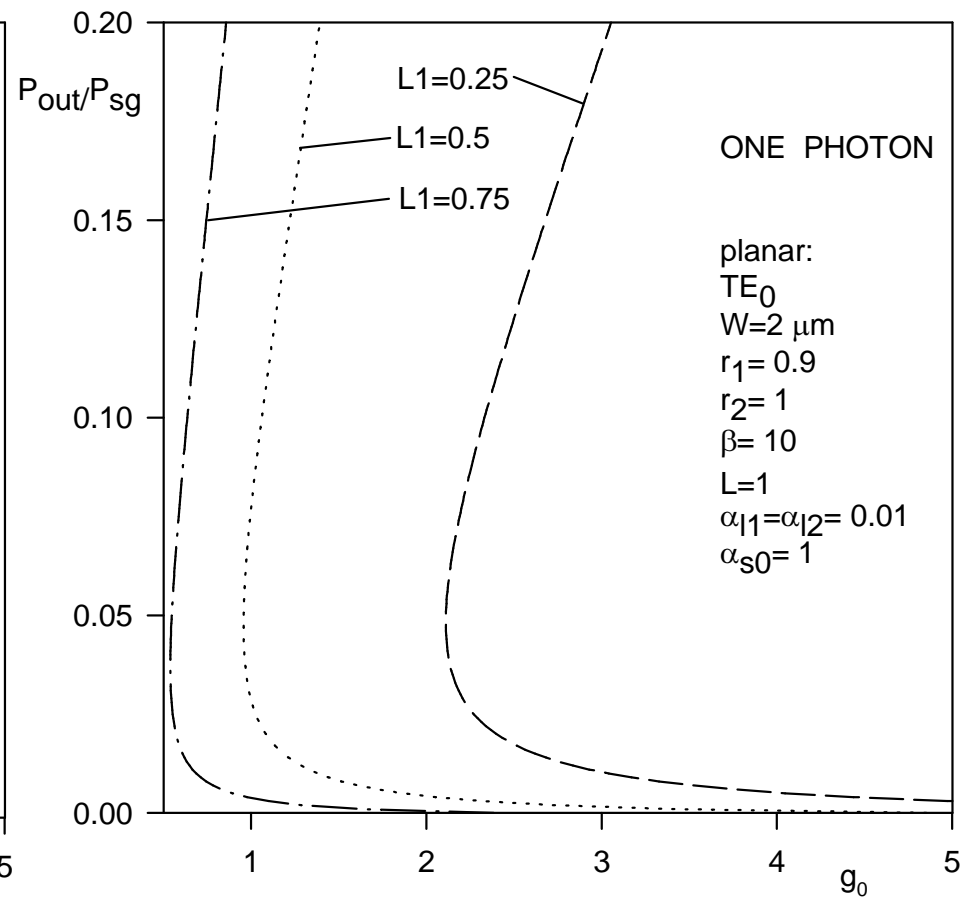
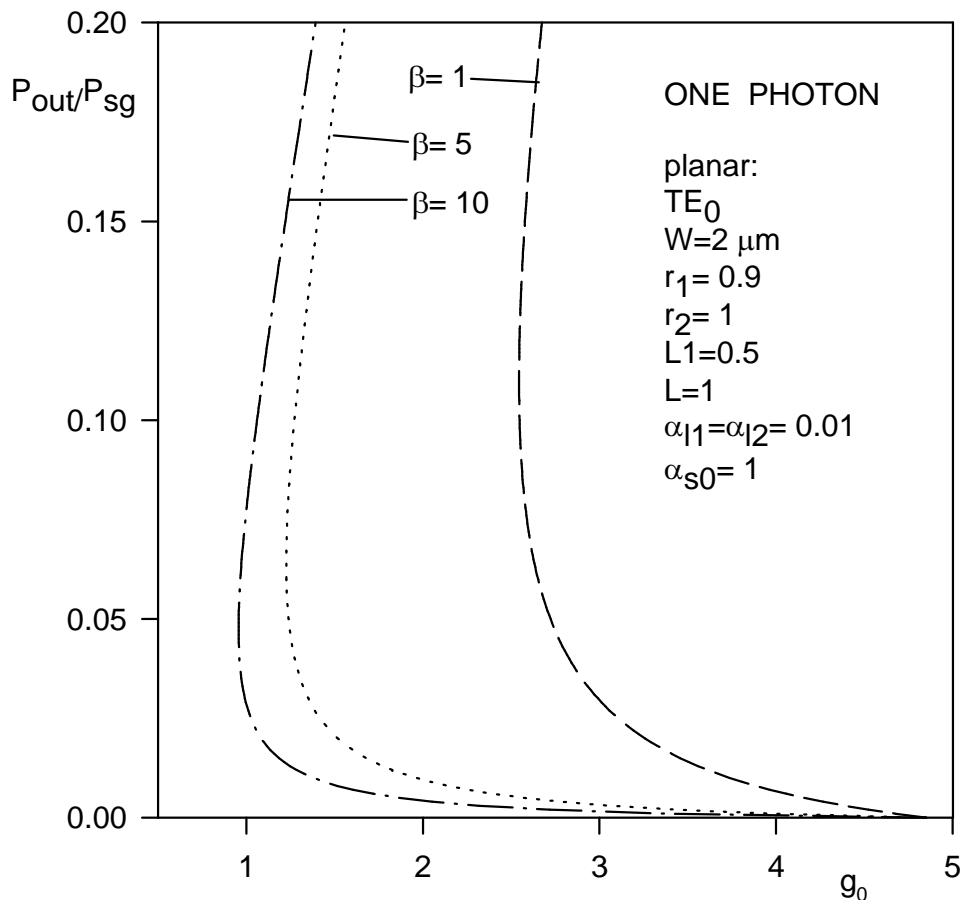
- **Przykładowe parametry:**
- Długość $L=7\text{cm}$
- P_{out}/P_{sg} wartości z zakresu $(0;1>$
- $\alpha_s=0,001/L_2; 0,01/L_2; 0,1/L_2; 1/L_2$.
- $\alpha_{l1}=0,05/L_1; 0,1/L_1; 0,5/L_1; 1/L_1$
- $\alpha_{l2}=0,001/L_2; 0,01/L_2; 0,1/L_2; 1/L_2$.
- $\beta=P_{sg}/P_{sl}$. $\beta=1; 3; 5; 7; 9$.
- Współczynniki odbicia zwierciadeł rezonatora F-P
 $r_1=1, r_2=0,9; 0,8; 0,7; 0,6$.

Projekt 1

- Charakterystyki P_{out}/P_{sg} (należy zawęzić zakres wartości uwypuklając obszar pracy bistabilnej) w funkcji g_0L :
- **Wykres 1** – zmiana parametru $\beta=1; 3; 5; 7; 9$ przy $\alpha_s=1/L_2$; $\alpha_{l1}=0,1/L_1$; $\alpha_{l2}=0,1/L_2$; $r_2=0,9$; $L_1=7$ cm.
- **Wykres 2** – zmiana parametru $\alpha_s=0,05/L_2$; $0,1/L_2$; $0,5/L_2$; $1/L_2$ przy $\beta=5$; $\alpha_{l1}=0,1/L_1$; $\alpha_{l2}=0,1/L_2$; $r_2=0,9$; $L_1=7$ cm.
- **Wykres 3** – zmiana parametru $\alpha_{l1}=0,001/L_1$; $0,01/L_1$; $0,1/L_1$; $1/L_1$ przy $\beta=5$; $\alpha_s=1/L_2$; $\alpha_{l2}=0,1/L_2$; $r_2=0,9$; $L_1=7$ cm.
- **Wykres 4** – zmiana parametru $L_1=2$ cm; 3 cm; 5 cm; 7 cm przy $\beta=5$; $\alpha_s=1/L_2$; $\alpha_{l1}=0,1/L_1$; $\alpha_{l2}=0,1/L_2$; $r_2=0,9$.
- **Wykres 5** – zmiana parametru $r_2=0,9$; $0,8$; $0,7$; $0,6$ przy $\beta=5$; $\alpha_s=1/L_2$; $\alpha_{l1}=0,1/L_1$; $\alpha_{l2}=0,1/L_2$; $L_1=7$ cm.

Projekt 1

Przykładowe charakterystyki



Projekt 1

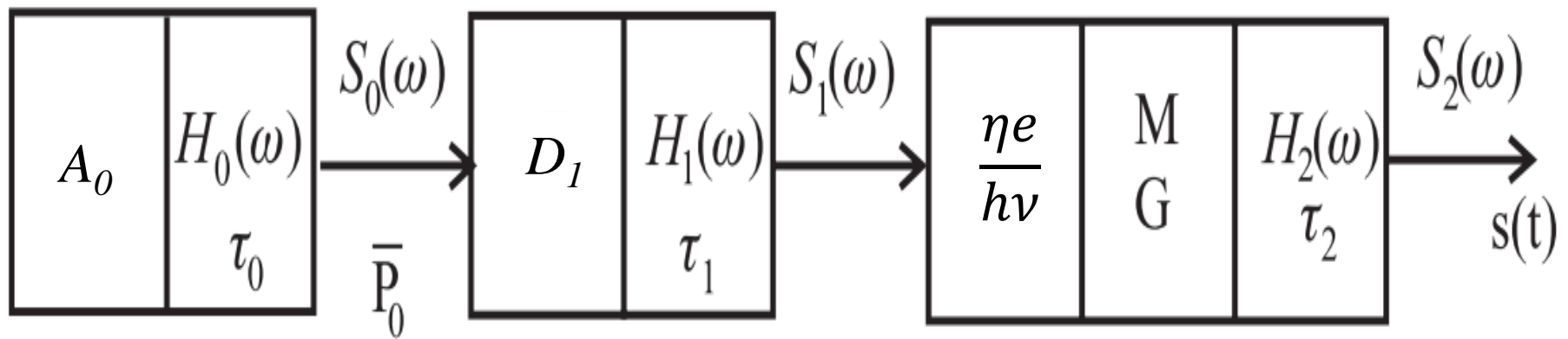
- **Raport.** W raporcie należy przedstawić:
 - problem projektowy (cel projektu, dla jakiej struktury wykonano obliczenia),
 - wykorzystane narzędzia obliczeniowe (jaki program lub środowisko programistyczne),
 - odpowiednio oznaczone i podpisane uzyskane charakterystyki laserowe (tytuł wykresu, zmienne na osiach, wykaz parametrów dla jakich wykonano wykres, oznaczenie wykreślonych krzywych ze wskazaniem jakim parametrem się różnią),
 - krótkie wnioski do każdego wykresu sformułowane na podstawie otrzymanych charakterystyk.
- Ocenie projektu podlegają wyżej wymienione punkty, przejrzystość rysunków, poprawność obliczeń oraz poprawność językowa.

2. Analiza sygnału na wyjściu optycznego połączenia

- W projekcie tym należy wyznaczyć widmo sygnału optycznego na wyjściu odbiornika będącego ostatnim elementem optycznego połączenia oraz transformatę odwrotną Fouriera tego widma dla wskazanych parametrów układu.
- Uzyskane wyniki należy przedstawić w formie raportu.

Projekt 2

Struktura układu optycznego połączenia złożonego z trzech głównych elementów: nadajnika, światłowodu i odbiornika. Każdy z nich opisany jest bezwymiarową znormalizowaną funkcją transmisji zależną od częstości $H_{0,1,2}(\omega)$ oraz parametru czasu $T_{0,1,2}$.



Nadajnik

Światłowód-Włókno

Odbiornik

Projekt 2

Sygnał wyjściowy układu $S_2(\omega)$ jest wynikiem transmisji impulsu optycznego przez cały układ.

$$S_2(\omega) = H_0(\omega) \cdot H_1(\omega) \cdot H_2(\omega)$$

Zależy on od poszczególnych elementów układu:

- Od nadajnika, czyli lasera który emituje promieniowanie koherentne w postaci impulsów.
- Od włókna o określonych stratach w dB/km .
- Od odbiornika, czyli fotodiody charakteryzującej się pewną opornością, wzmocnieniem i współczynnikiem zwielokrotnienia.

Projekt 2

Przykładowe parametry układu. Na sygnał wyjściowy mają wpływ parametry poszczególnych elementów tworzących optyczne połączenie:

Nadajnik		
Parametr	Symbol	Wartość
szybkość transmisji bitów	R_0	10, 50, 100, 200 M bit / s
znormalizowana szerokość impulsu	T_0	0,7
Włókno		
Parametr	Symbol	Wartość
długość włókna	L_1	10, 15, 20, 25 km
długość drogi sprzężenia modów	L_c	10 km
długość szerokości pasma	B_L	100, 500, 1000 M Hz km
Odbiornik		
Parametr	Symbol	Wartość
parametr odbiornika	T_2	0,7

Projekt 2

- **Transformata odwrotna Fouriera sygnału wyjściowego w funkcji czasu.** Aby zobaczyć kształt sygnału wyjściowego w funkcji czasu należy policzyć jego transformatę odwrotną Fouriera.

$$s_2(t) = \int_0^{\frac{2\pi}{T_2}} |S_2(\omega)| \cdot \cos(\omega t) d\omega$$

- W projekcie należy zastosować do obliczeń znormalizowane wartości częstotści ω i przyjąć wartości z zakresu:

$$\omega \rightarrow \left\langle 0, \frac{2\pi}{T_2} \right\rangle$$

- W przypadku wykreślania zależności na transformatę Fouriera, należy przyjąć znormalizowane wartości czasu t z przedziału:

$$t \rightarrow \langle 0, 5 \rangle$$

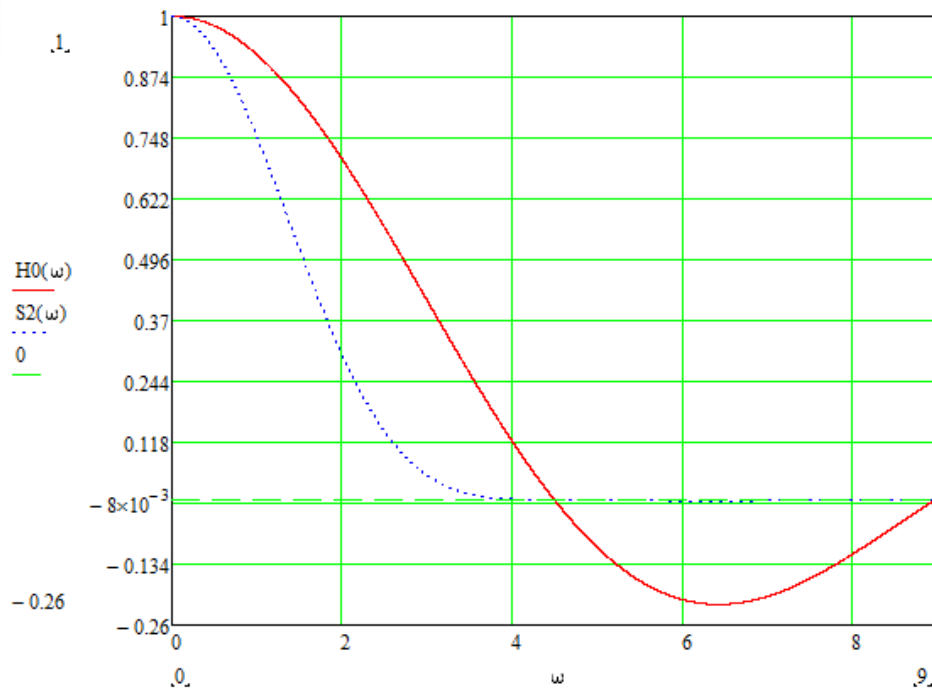
Projekt 2

- **Charakterystyki:**

- **Wykres 1** – porównanie syg. wej. $H_o(\omega)$ z syg. wyj. $S_2(\omega)$ przy $L_1=15$ km; $R_o=50$ Mbit/s; $B_L=500$ MHzkm.
- **Wykres 2** – sygnał wyjściowy $S_2(\omega)$ dla różnych $R_o=10, 50, 100, 200$ Mbit/s; przy $L_1=15$ km; $B_L=500$ MHzkm.
- **Wykres 3** – transformata odwrotna Fouriera $s_2(t)$ dla $R_o=10, 50, 100, 200$ Mbit/s; przy $L_1=15$ km; $B_L=500$ MHzkm.
- **Wykres 4** – sygnał wyjściowy $S_2(\omega)$ dla $L_1=10, 15, 20, 25$ km przy $R_o=50$ Mbit/s; $B_L=500$ MHzkm.
- **Wykres 5** – transformata odwrotna Fouriera $s_2(t)$ dla $L_1=10, 15, 20, 25$ km przy $R_o=50$ Mbit/s; $B_L=500$ MHzkm.
- **Wykres 6** – sygnał wyjściowy $S_2(\omega)$ dla $B_L=100, 500, 1000$ MHzkm przy $L_1=15$ km; $R_o=50$ Mbit/s.
- **Wykres 7** – transformata odwrotna Fouriera $s_2(t)$ dla $B_L=100, 500, 1000$ MHzkm przy $L_1=15$ km; $R_o=50$ Mbit/s.

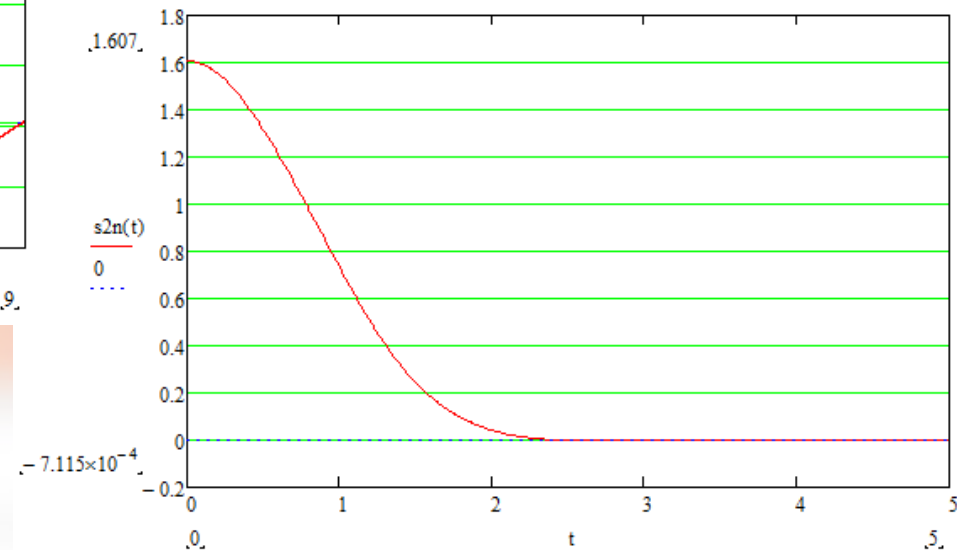
Projekt 2

- Przykładowe charakterystyki



Sygnaly: wejściowy i wyjściowy

Odwrotna Transformata Fouriera
sygnału wyjściowego



Projekt 2

- **Raport.** W raporcie należy przedstawić:
 - problem projektowy (cel projektu, dla jakiego układu wykonano obliczenia),
 - wykorzystane narzędzia obliczeniowe (proszę wskazać program, w którym były wykonywane obliczenia),
 - odpowiednio oznaczone i podpisane uzyskane charakterystyki (tytuł wykresu, zmienne na osiach, wykaz parametrów dla jakich wykonano wykres, oznaczenie wykreślonych krzywych ze wskazaniem jakim parametrem się różnią),
 - krótkie wnioski do każdego wykresu sformułowane na podstawie otrzymanych charakterystyk.
- Ocenie projektu podlegają wyżej wymienione punkty, przejrzystość rysunków, poprawność obliczeń oraz poprawność językowa.

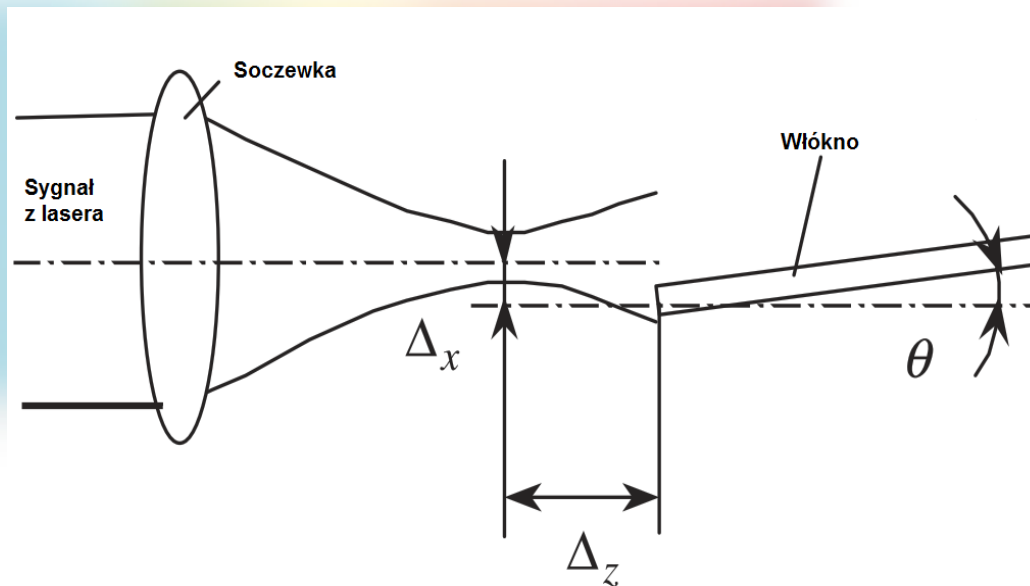
3. Analiza sprawności sprzężenia pomiędzy laserem a światło- wodem włóknistym

- W projekcie tym należy wyznaczyć współczynnik sprawności sprzężenia pomiędzy laserem, a jedno-modowym włóknem oraz straty na wprowadzanie światła z lasera do włókna dla wskazanych parametrów układu i dokonać analizy przedstawiając odpowiednie wykresy.
- Uzyskane wyniki należy przedstawić w formie raportu.

Projekt 3

Wiązka światła emitowanego przez laser po przejściu przez soczewkę jest ogniskowana na płaszczyźnie czołowej włókna.

*Błędy wprowadzania: Δ_x – przesunięcie osi;
 Δ_z – rozsunięcie osi; Δ_θ – odchylenie od osi.*



Projekt 3

Współczynnik sprawności sprzężenia jest wyliczony z całki przekrywania pomiędzy amplitudą fali padającej z lasera $\psi_b(x,y)$ i modu sprzęgniętego do włókna $\psi_F(x,y)$ na powierzchni poprzecznej włókna:

$$\eta = \frac{\left| \int_{-\omega_F}^{\omega_F} \int_{-\omega_F}^{\omega_F} \psi_b(x,y) \cdot \psi_F^*(x,y) dx dy \right|^2}{\int_{-\omega_F}^{\omega_F} \int_{-\omega_F}^{\omega_F} |\psi_b(x,y)|^2 dx dy \int_{-\omega_F}^{\omega_F} \int_{-\omega_F}^{\omega_F} |\psi_F(x,y)|^2 dx dy}$$

$$\psi_b(x,y) = \sqrt{\frac{2}{\pi \omega_x \omega_y}} \exp\left(-\frac{x^2}{\omega_x^2}\right) \exp\left(-\frac{y^2}{\omega_y^2}\right)$$

$$\psi_F(x,y) = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \frac{1}{\omega_F} \exp\left(-\frac{x^2 + y^2}{\omega_F^2}\right)$$

Projekt 3

Współczynnik sprawności sprzężenia uwzględniający błędy wprowadzania dla wiązki eliptycznej.

$$\eta_e = \eta_x \cdot \eta_y \cdot \eta_\theta$$

$$\eta_x = \frac{2}{\sqrt{\left(\frac{\omega_F}{\omega_x} + \frac{\omega_x}{\omega_F}\right)^2 + \frac{\lambda^2 \Delta_z^2}{\pi^2 \omega_x^2 \omega_F^2}}} \exp\left(-\frac{2\Delta_x^2}{\omega_F^2 + \omega_x^2}\right)$$

$$\eta_\theta = \exp\left(-\frac{2\pi^2}{\lambda^2} \cdot \frac{\Delta_\theta^2 \omega_F^2 \omega_x^2}{\omega_F^2 + \omega_x^2}\right)$$

$$\eta_y = \frac{2}{\sqrt{\left(\frac{\omega_F}{\omega_y} + \frac{\omega_y}{\omega_F}\right)^2 + \frac{\lambda^2 \Delta_z^2}{\pi^2 \omega_y^2 \omega_F^2}}} \exp\left(-\frac{2\Delta_y^2}{\omega_F^2 + \omega_y^2}\right)$$

Projekt 3

Straty sprzęgania Φ_{tot} [dB] uwzględniające błędy wprowadzania dla wiązki kołowej.

$$\Phi_{tot} = -10 \log(\eta_{tot})$$

$$\eta_{tot} = \left(\frac{4D}{B} \right) \exp\left(\frac{-AC}{B} \right)$$

$$A = \frac{(k\omega_x)^2}{2}$$

$$B = G^2 + (D+1)^2$$

$$C = (D+1)F^2 + 2DFG \sin(\Delta_\theta) + D(G^2 + D+1)^2 [\sin(\Delta_\theta)]^2$$

$$D = \left(\frac{\omega_F}{\omega_x} \right)^2$$

$$F = \frac{2\Delta_x}{k\omega_x^2}$$

$$G = \frac{2\Delta_z}{k\omega_x^2}$$

$$k = \frac{2\pi \cdot n_0}{\lambda}$$

Projekt 3

Przykładowe parametry układu. Laser emituje $\lambda = 1.3 \mu\text{m}$.

-dla współczynnika sprawności sprzężenia η :

$$2\omega_x = 4.5 \mu\text{m}; 2\omega_y = 3.5 \mu\text{m}; 2\omega_F = 2.5 \mu\text{m};$$

-dla współczynnika sprawności sprzężenia uwzględniającego błędy wprowadzania dla wiązki eliptycznej η_e :

$$2\omega_x = 4.5 \mu\text{m}; 2\omega_y = 2.5 \mu\text{m}; 2\omega_F = 2.5 \mu\text{m};$$

$$\Delta_x = 0.5 \mu\text{m}; \Delta_y = 0.25 \mu\text{m}; \Delta_z = 1 \mu\text{m}; \Delta_\theta = 0.5 \text{ stopnia}$$

-dla strat sprzęgania uwzględniających błędy wprowadzania dla wiązki kołowej Φ_{tot} :

$$2\omega_x = 4.5 \mu\text{m}; 2\omega_F = 2.5 \mu\text{m}; \Delta_x = 0.5 \mu\text{m}; \Delta_z = 1 \mu\text{m};$$

$$\Delta_\theta = 0.5 \text{ stopnia}$$

Projekt 3

Przykładowe parametry układu.

-dla strat sprzęgania uwzględniających błędy wprowadzania dla wiązki kołowej Φ_{tot} :

dla charakterystyk strat w funkcji średnicy modu włókna zmieniającej się w zakresie $2\omega_F < 2.5 \mu\text{m} ; 10 \mu\text{m}$ dla różnych parametrów układu:

-zmiana średnicy wiązki lasera:

$2\omega_x = 2.5 \mu\text{m}; 2\omega_x = 4.5 \mu\text{m}; 2\omega_x = 6.5 \mu\text{m}; \Delta_x = 0; \Delta_z = 0; \Delta_\theta = 0;$

-odsunięcie włókna od ogniskowej soczewki:

$\Delta_z = 1 \mu\text{m}; \Delta_z = 10 \mu\text{m}; \Delta_z = 100 \mu\text{m}; \Delta_x = 0; \Delta_\theta = 0; 2\omega_x = 2.5 \mu\text{m};$

-rozsuniecie osi soczewki i włókna:

$\Delta_x = 1 \mu\text{m}; \Delta_x = 2 \mu\text{m}; \Delta_x = 3 \mu\text{m}; \Delta_z = 0; \Delta_\theta = 0; 2\omega_x = 2.5 \mu\text{m};$

-odchylenie osi włókna od soczewki o pewien kąt:

$\Delta_\theta = 0 \text{ stopnia}; \Delta_\theta = 0.5 \text{ stopnia}; \Delta_\theta = 3 \text{ stopnia};$

$\Delta_x = 0; \Delta_z = 0; 2\omega_x = 2.5 \mu\text{m}.$

Projekt 3

W projekcie, należy wykonać **obliczenia** wartości:

- współczynnika sprawności sprzężenia;
- współczynnika sprawności sprzężenia uwzględniającego błędy wprowadzania dla wiązki eliptycznej;
- współczynnika sprawności sprzężenia uwzględniającego błędy wprowadzania dla wiązki kołowej;
- strat sprzęgania uwzględniające błędy wprowadzania dla wiązki kołowej.

Charakterystyki strat sprzęgania uwzględniające błędy wprowadzania dla wiązki kołowej w funkcji średnicy modu:

Wykres 1 – zmiana średnicy wiązki lasera;

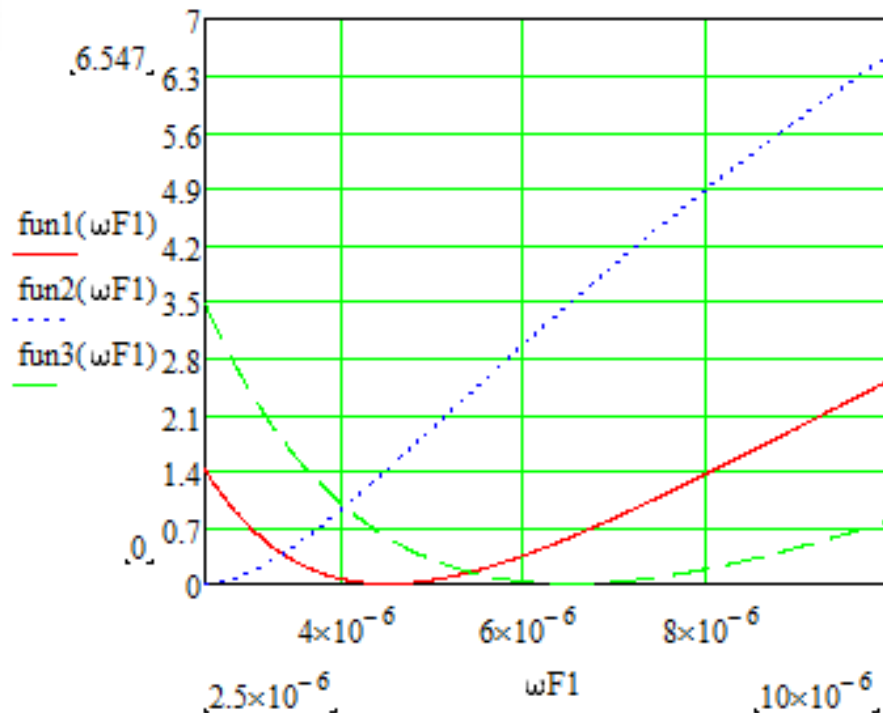
Wykres 2 – odsunięcie włókna od ogniskowej soczewki;

Wykres 3 – rozsuniecie osi soczewki i włókna;

Wykres 4 – odchylenie osi włókna od soczewki o pewien kąt.

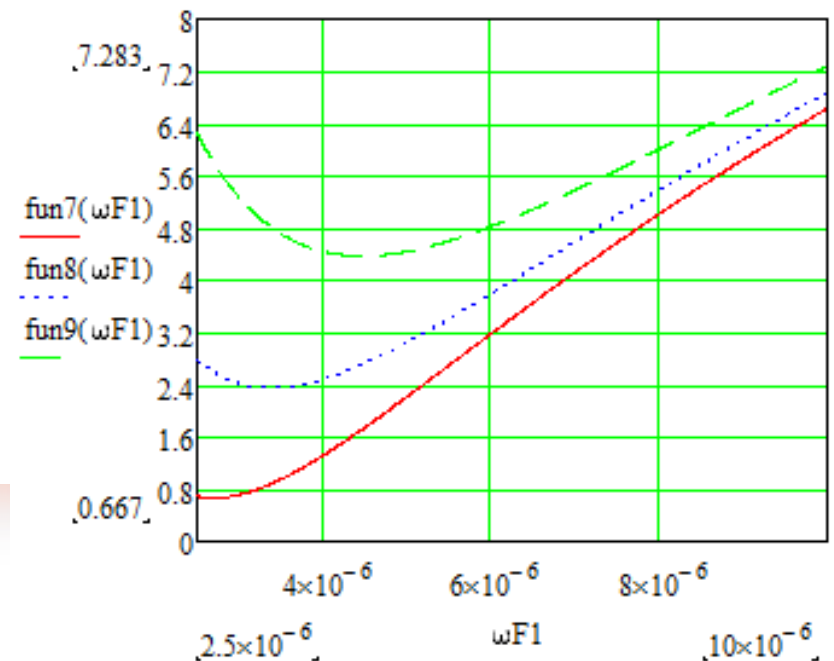
Projekt 3

- Przykładowe charakterystyki



Zmiana średnicy włókna

Przesunięcie osi lasera i włókna



Projekt 3

- **Raport.** W raporcie należy przedstawić:
 - problem projektowy (cel projektu, dla jakiego układu wykonano obliczenia),
 - wykorzystane narzędzia obliczeniowe (proszę wskazać program, w którym były wykonywane obliczenia),
 - obliczone wartości współczynników i start,
 - odpowiednio oznaczone i podpisane uzyskane charakterystyki (tytuł wykresu, zmienne na osiach, jednostki, wykaz parametrów dla jakich wykonano wykres, oznaczenie wykreślonych krzywych ze wskazaniem jakim parametrem się różnią),
 - krótkie wnioski do wszystkich obliczonych wartości współczynników i start oraz do każdego wykresu sformułowane na podstawie otrzymanych charakterystyk.
- Ocenie projektu podlegają wyżej wymienione punkty, przejrzystość rysunków, poprawność obliczeń oraz poprawność językowa.