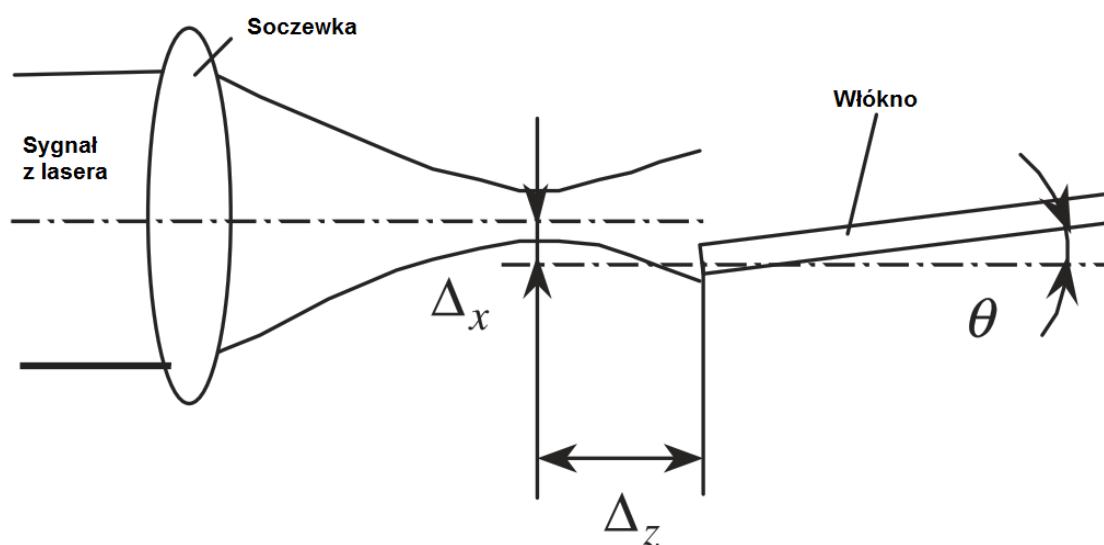


Analiza sprawności sprzężenia pomiędzy laserem a światłowodem włóknistym

W projekcie należy wyznaczyć współczynnik sprawności sprzężenia pomiędzy laserem, a jednomodowym światłowodem włóknistym – 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.

Analizowany układ.



Rys. 1 Wprowadzanie wiązki światła laserowego do włókna.

Błędy wprowadzania: Δx – przesunięcie osi; Δz – rozsunięcie osi; $\Delta \theta$ – odchylenie od osi.

Schemat z rys. 1 przedstawia wiązkę światła emitowanego przez laser, która po przejściu przez soczewkę jest ogniskowana na płaszczyźnie czołowej włókna. Sprawność wprowadzania światła laserowego do włókna silnie zależy położenia włókna względem ogniskowej soczewki. W idealnym przypadku czoło włókna powinno znajdować się dokładnie w ogniskowej, oś włókna powinna pokrywać się z osią soczewki. W rzeczywistości trudno jest tak dokładnie umiejscowić włókno. Może ono być odsunięte od ogniskowej (Δz), oś włókna może być odchylona pod pewnym kątem względem osi soczewki ($\Delta \theta$) i przesunięta (Δx).

Współczynnik sprawności sprzężenia. Współczynnik ten 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 w układzie kartezjańskim (x,y) :

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

gdzie mod podstawowy włókna jest przybliżony przez kołową funkcję gaussowską $\psi_F(x,y)$:

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

a promień modu włókna jest równy ω_F . Zakłada się, że dioda laserowa emituje promieniowanie o eliptycznym rozkładzie gaussowskim. Dlatego też, na czoło włókna pada skupiona wiązka - plamka, którą można opisać wzorem $\psi_b(x, y)$:

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

w którym wymiary poprzeczne plamki to $2\omega_x$ i $2\omega_y$.

Współczynnik sprawności sprzężenia uwzględniający błędy wprowadzania dla wiązki eliptycznej. Jeżeli w analizie sprawności sprzęgania światła zostaną uwzględnione błędy wynikające z odsunięcia włókna od ogniskowej soczewki wzdłuż osi optycznej (Δ_z) i w poprzek tej osi (Δ_x i Δ_y) oraz błędy związane z odchyleniem osi włókna pod pewnym kątem względem osi soczewki (Δ_θ), to współczynnik sprawności przyjmie postać:

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

gdzie:

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

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

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

λ to długość fali generowanej przez laser w powietrzu.

Straty sprzęgania uwzględniające błędy wprowadzania dla wiązki kołowej. W literaturze bardzo często sprawność sprzęgania wyrażana jest jako straty wprowadzania światła do włókna. Straty te są wówczas wyrażone w decybelach:

$$\Phi_{tot} = -10 \log(\eta_{tot}) \quad [\text{dB}],$$

W zależności na starty Φ_{tot} występuje współczynnik sprawności sprzężenia η_{tot} uwzględniający błędy wprowadzania dla wiązki kołowej (zakłada się że $\Delta_x = \Delta_y$ oraz $\omega_x = \omega_y$):

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

gdzie:

$$A = \frac{(k\omega_x)^2}{2}, \quad B = G^2 + (D+1)^2,$$

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

$$D = \left(\frac{\omega_F}{\omega_x} \right)^2, \quad F = \frac{2\Delta_x}{k\omega_x^2}, \quad G = \frac{2\Delta_z}{k\omega_x^2}, \quad k = \frac{2\pi \cdot n_0}{\lambda},$$

współczynnik załamania n_0 jest współczynnikiem materiału pomiędzy laserem a włóknem, czyli w większości przypadków jest współczynnikiem załamania powietrza $n_0 = 1$.

Parametry układu. W ogólności zakłada się, że laser emituje promieniowanie o długości fali wypadającej w oknie telekomunikacyjnym $\lambda = 0.85 \mu\text{m}$. Pozostałe parametry są związane z badanymi współczynnikami:

-dla współczynnika sprawności sprzężenia η :

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

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

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

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

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

$$2\omega_y = 3.5 \mu\text{m};$$

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

$$\Delta_x = 0.5 \mu\text{m};$$

$$\Delta_y = 0.25 \mu\text{m};$$

$$\Delta_z = 1 \mu\text{m};$$

$$\Delta_\theta = 0.7 \text{ stopnia (nie radiana)}$$

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

- dla współczynnika sprawności sprzężenia η_{tot} i strat Φ_{tot} :

$$2\omega_x = 3.5 \mu\text{m};$$

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

$$\Delta_x = 0.5 \mu\text{m};$$

$$\Delta_z = 1 \mu\text{m};$$

$$\Delta_\theta = 0.7 \text{ stopnia (nie radiana)}$$

- dla charakterystyk strat Φ_{tot} 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:

$$2\omega_x = 3.5 \mu\text{m}$$

$$2\omega_x = 5.5 \mu\text{m}$$

$$2\omega_x = 7.5 \mu\text{m}$$

$$\Delta_x = 0 \mu\text{m}$$

$$\Delta_z = 0 \mu\text{m}$$

$$\Delta_\theta = 0 \text{ stopnia (nie radiana)}$$

2. odsunięcie włókna od ogniskowej soczewki:

$$\Delta_z = 1 \text{ } \mu\text{m};$$

$$\Delta_z = 10 \text{ } \mu\text{m};$$

$$\Delta_z = 100 \text{ } \mu\text{m};$$

$$\Delta_x = 0 \text{ } \mu\text{m};$$

$$\Delta\theta = 0 \text{ stopnia (nie radiana);}$$

$$2\omega_x = 3.5 \text{ } \mu\text{m};$$

3. rozsuniecie osi soczewki i włókna:

$$\Delta_x = 1 \text{ } \mu\text{m};$$

$$\Delta_x = 2 \text{ } \mu\text{m};$$

$$\Delta_x = 3 \text{ } \mu\text{m};$$

$$\Delta_z = 0 \text{ } \mu\text{m};$$

$$\Delta\theta = 0 \text{ stopnia (nie radiana);}$$

$$2\omega_x = 3.5 \text{ } \mu\text{m};$$

4. odchylenie osi włókna od soczewki o pewien kąt:

$$\Delta\theta = 0 \text{ stopnia (nie radiana);}$$

$$\Delta\theta = 0.7 \text{ stopnia (nie radiana);}$$

$$\Delta\theta = 3 \text{ stopnia (nie radiana);}$$

$$\Delta_x = 0 \text{ } \mu\text{m};$$

$$\Delta_z = 0 \text{ } \mu\text{m};$$

$$2\omega_x = 3.5 \text{ } \mu\text{m};$$

Obliczenia i charakterystyki. W projekcie, dla podanych wyżej parametrów, należy wykonać obliczenia wartości (kąty podane są w stopniach, a nie w radianach):

- współczynnika sprawności sprzężenia η ;
- współczynnika sprawności sprzężenia uwzględniającego błędy wprowadzania dla wiązki eliptycznej η_e ;
- współczynnika sprawności sprzężenia uwzględniającego błędy wprowadzania dla wiązki kołowej η_{tot} ;
- strat sprzęgania uwzględniających błędy wprowadzania dla wiązki kołowej Φ_{tot} .

Należy również wykreślić charakterystyki strat sprzęgania uwzględniających błędy wprowadzania dla wiązki kołowej w funkcji promienia modu włókna ω_F dla parametrów podanych wyżej. Będą to następujące wykresy:

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.

Raport. W raporcie należy przedstawić problem projektowy (co było celem, dla jakiego układu), obliczone wartości współczynników i start, a także odpowiednio oznaczone i podpisane uzyskane charakterystyki. Raport zapisany jako plik PDF wraz ze spakowanym kodem źródłowym swojego programu należy przesłać pocztą elektroniczną.

Raport. W raporcie należy przedstawić:

- problem projektowy (cel projektu, dla jakiego układu wykonano 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.