

Ćw.4. Światłowodowy czujnik odbiciowy

3.1. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z właściwościami czujnika odbiciowego wykorzystującego promieniowanie lasera półprzewodnikowego.

Wstęp

Ćwiczenie przedstawia metodę pomiaru przemieszczenia przy użyciu czujnika światłowodowego. Czujnik tego typu charakteryzuje się większym zakresem pomiarowym w porównaniu do światłowodowego czujnika drgań i może być wykorzystany np. do monitorowania ruchów oddechowych u nieprzytomnej osoby. Czujnik światłowodowy może wykryć odkształcenia w konstrukcji mostów, kontrolować ruchy robota albo monitorować, czy pokonujący długie odległości kierowca nie zasypia.

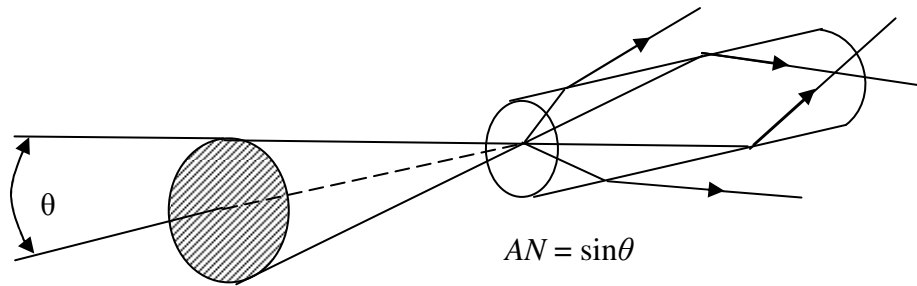
zagadnienia do samodzielnego opracowania: budowa światłowodu; transmisja światła w światłowodzie; sprzężenie źródła światła ze światłowodem; apertura numeryczna; klasyfikacja czujników światłowodowych; odbicie światła

3.2. Czujnik światłowodowy

Transmisja fali świetlnej w falowodzie optycznym polega na utrzymaniu strumienia światła w rdzeniu falowodu. Rdzeń falowodu stanowi ośrodek optycznie przezroczysty o większym współczynniku załamania niż otoczenie rdzenia zwane płaszczem. Całkowite odbicie światła padającego pod kątem mniejszym od granicznego na powierzchnię rozdziału rdzenia i płaszcz, stanowi podstawowe prawo fizyczne optycznej transmisji falowej.

W konstrukcji czujników światłowodowych używa się falowodów o przekroju kołowym rdzenia. Podstawowym materiałem światłowodów jest szkło, które mięknie ze wzrostem temperatury, utrzymując własności raczej ciała stałego niż cieczy. Lepkość szkła jest główną własnością umożliwiającą formowanie światłowodów. Czyste szkło kwarcowe otrzymuje się przez utlenienie czterochlorku krzemu w reakcji.

Tor promienia światła w rdzeniu włókna zależy od współczynnika załamania w płaszczyźnie przekroju poprzecznego włókna i kąta padania promienia względem powierzchni styku rdzeń-płaszcz. W światłowodzie mogą biec tylko te promienie, które padają pod określonym kątem do osi światłowodu. Krytycznej wartości kąta θ_{kr} odpowiada kąt akceptacji światłowodu. Wartość funkcji sinus tego kąta określa apertura numeryczna AN światłowodu skokowego.



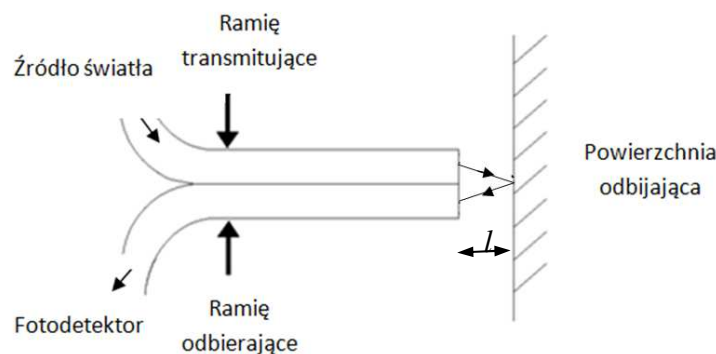
Rys.3.1. Akceptacja przez światłowód promieni światła wchodzących w stożek o kącie wierzchołkowym równym połowie kąta θ_{kr}

Wartości apertury numerycznej światłowodu warunkuje efektywność sprzężenia światłowodu ze źródłem światła, a zwłaszcza diodą elektroluminescencyjną (DEL) i laserem półprzewodnikowym. Dioda elektroluminescencyjna promieniuje praktycznie w przedziale kąta półpełnego. Aczkolwiek maksimum promieniowania przypada w sąsiedztwie normalnej do powierzchni, to jednak około połowy mocy zawiera się w stożku $\pm 30^\circ$ (kąt rozwarcia $\sim 60^\circ$). Wynika stąd nieuchronność strat sprzężenia, spowodowana różnicą wartości stożka akceptacji światłowodu i kąta rozwarcia promieniowania diody.

Natomiast kąty rozwarcia promieniowania laserów półprzewodnikowych są znacznie mniejsze i wynoszą od kilku do kilkudziesięciu stopni. Dlatego skuteczność sprzężenia laserów z włóknem optycznym jest znacznie lepsza.

3.3.Przebieg ćwiczenia

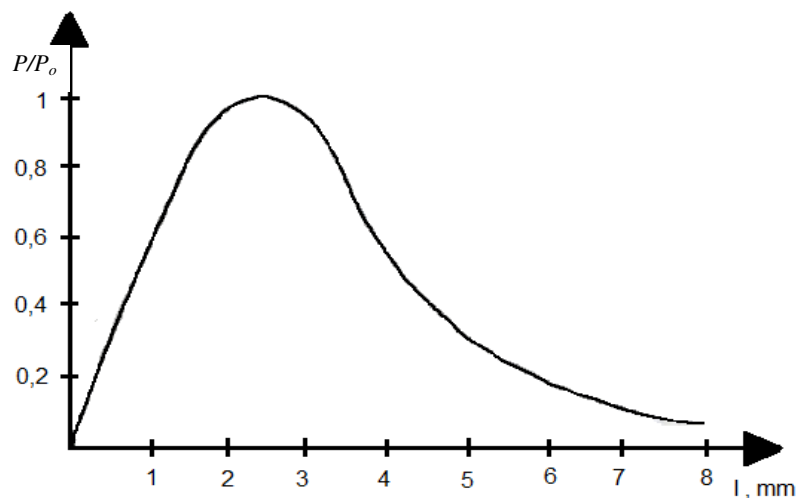
Wiązka laserowa z lasera półprzewodnikowego wprowadzona jest do światłowodu poprzez soczewkę, a po wyjściu z tego światłowodu pada na powierzchnię lustrzaną. Światło laserowe odbite od tej powierzchni pada na drugi światłowód, którym wędruje do fotodetektora



Rys.3.2. Czujnik odbiciowy

Położenie lustra l zmieniamy począwszy od wartości zerowej, czyli światłowody w punkcie startowym dotykają lustra. Całkowitą moc promieniowania opuszczającego pierwszy światłowód oznaczamy przez P_0 , natomiast moc promieniowania wchodzącego do drugiego światłowodu – przez P . To, że moc P_0 jest mniejsza od mocy P , wynika z dwóch czynników. Po pierwsze czoło drugiego światłowodu, znajdujące się w pewnej odległości od pierwszego światłowodu, ma rozmiar mniejszy od szerokości wiązki światła w danym

miejscu. Ponieważ szerokość wiązki o kącie rozwartości 2θ jest coraz większa z odległością, to coraz mniejszy procent światła emitowanego przez pierwszy światłowód pada na drugi światłowód. Czynnikiem ten stanowi powszechną przyczynę zmniejszania się natężenia oświetlenia wraz z odległością od źródła światła. Po drugie, osie obu równoległych światłowodów znajdują się w pewnej odległości d od siebie. Oczywiście d jest większa od sumy promieni rdzeni obu światłowodów. Dlatego, dla bliskich odległości l , nie całe czoło rdzenia drugiego światłowodu jest oświetlone przez wiązkę światła wychodzącą z rdzenia pierwszego światłowodu.



Rys.3.3. Charakterystyka przetwarzania

Występują tutaj dwa przeciwstawne mechanizmy: pierwsza część charakterystyki – przeważa w niej powiększanie się oświetlonej części powierzchni czołowej ramienia odbiorczego wraz z odległością l , druga część charakterystyki – występuje zmniejszanie się natężenia oświetlenia wraz z odległością.

Jeżeli rdzeń światłowodu ma średnicę dużo większą od długości fali (światłowód wielomodowy), to rozkład natężenia w zależności od odległości r od osi wiązki dla światła opuszczającego światłowód jest w przybliżeniu stały dla $r < w_{(z)}$ i równy zero dla $r > w_{(z)}$. Natężenie oświetlenia dla $r < w_{(z)}$ w dowolnym punkcie wiązki światła emitowanego przez pierwszy światłowód określamy z zależności:

$$I_{(z)} = \frac{P_e}{\pi w_{(z)}^2}$$

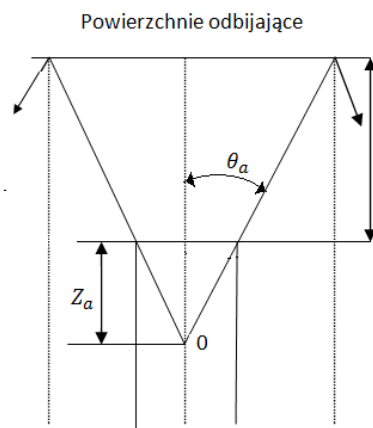
gdzie: P_e – moc promieniowania, $w_{(z)}$ – promień podstawy stożka świetlnego określony z zależności:

$$w_{(z)} = w_a + 2l \operatorname{tg} \theta_a$$

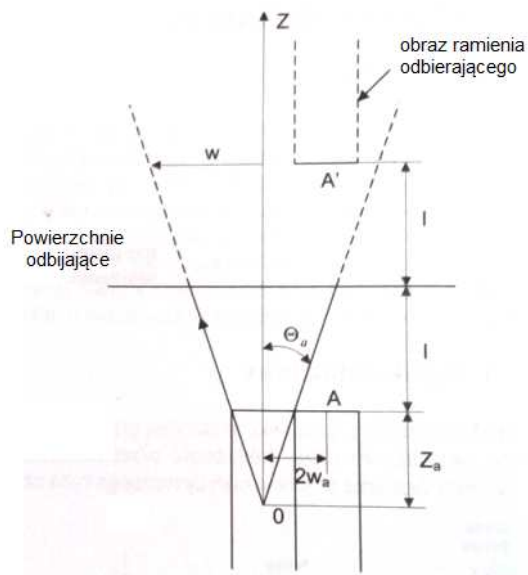
Kąt akceptacji θ_a oraz $w_{(z)}$ obliczamy mając dane: współczynnik załamania rdzenia $n_1=1,458$ mm, średnica rdzenia $2w_a=0,85$ mm, współczynnik załamania płaszczka $n_2=1,430$

$$NA = \sin \theta_a = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} = 0,284$$

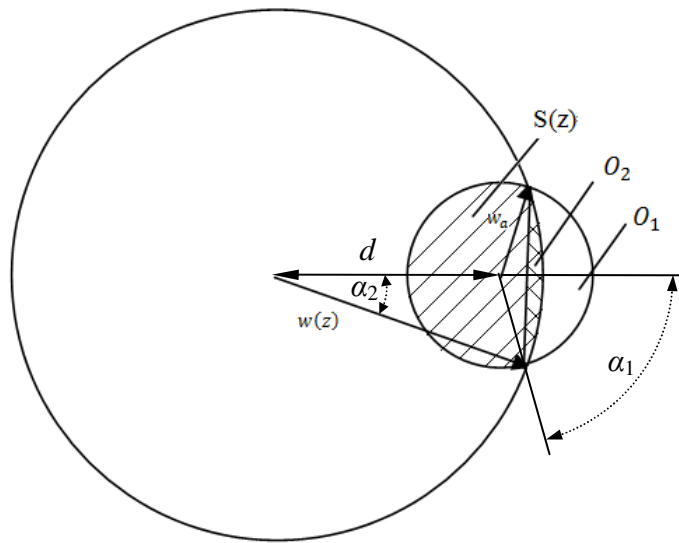
$$\theta_a = 16,5^\circ$$



Rys.3.4. Stożek świetlny wytworzony przez ramię transmitujące



Rys.3.5. Położenie ramienia odbierającego w stożku świetlnym
(tutaj kolizja oznaczeń: zamiast $2w_a$ odległość pomiędzy światłowodami wynosi $d=1,4\text{mm}$)



Rys.3.6. Stożek świetlny o promieniu $w_{(z)}$ nie w pełni oświetla ramię odbierające w_a

Dla $d - w_a < w_{(z)} < d + w_a$ oświetlaną powierzchnię $S_{(z)}$ obliczamy z zależności:

$$S_{(z)} = \pi w_a^2 - O_1 + O_2$$

Celem obliczenia pól odcinków kół O_1 i O_2 obliczamy najpierw kąty α_1 i α_2 :

$$\cos \alpha_1 = \frac{w_{(z)}^2 - d^2 - w_a^2}{2 d w_a}$$

$$\cos \alpha_2 = \frac{w_{(z)}^2 + d^2 - w_a^2}{2 d w_{(z)}}$$

Pole odcinka O_1 na kole o promieniu w_a obliczamy z zależności:

$$O_1 = \frac{\pi w_a^2 2\alpha_1}{360} - \frac{w_a^2 \sin 2\alpha_1}{2}$$

Pole odcinka O_2 na kole o promieniu $w_{(z)}$ obliczamy z zależności:

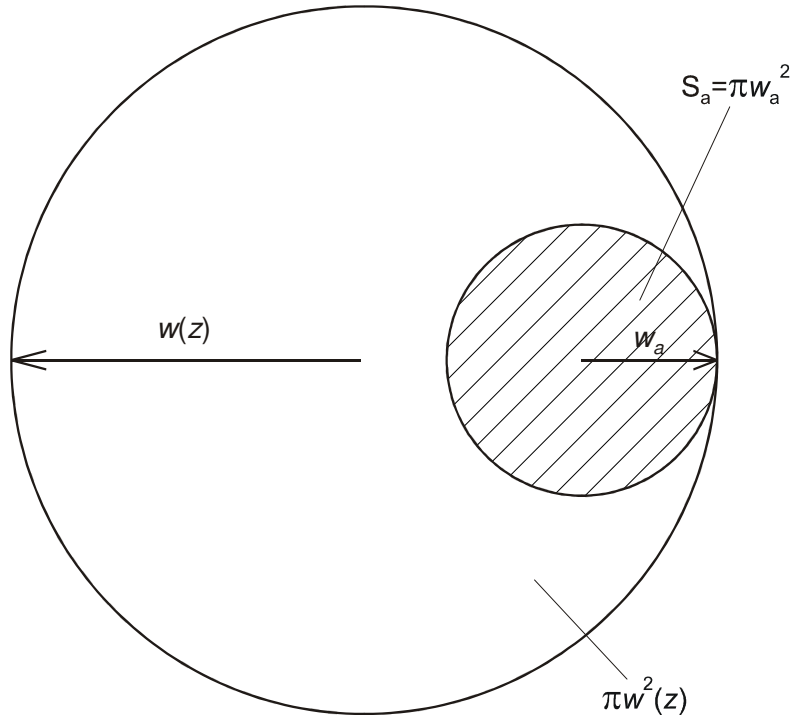
$$O_2 = \frac{\pi w_{(z)}^2 2\alpha_2}{360} - \frac{w_{(z)}^2 \sin 2\alpha_2}{2}$$

Odbierany sygnał optyczny określamy z zależności:

$$P_{(z)} = P_e \frac{S_{(z)}}{\pi w_{(z)}^2}$$

Dla $w_{(z)} > d+w_a$ (duże l) odbierany sygnał optyczny określamy z następujących zależności:

$$S_{(z)} = S_a = \pi w_a^2 \quad P_{(z)} = P_e \frac{\pi w_a^2}{\pi w_{(z)}^2}$$



Rys.3.7. Stożek świetlny w pełni oświetla ramię odbierające

Dla $w_{(z)} < d-w_a$ (małe l) odbierany sygnał optyczny określamy z następujących zależności:

$$S_{(z)} = 0 \quad P_{(z)} = 0$$

3.4. Wykonanie ćwiczenia

Najpierw sprawdzamy działanie układu pomiarowego doprowadzając do uzyskania odpowiedniego napięcia na detektorze. Następnie zmieniamy odległość rozpoczynając od minimalnej z krokiem dobranym przez prowadzącego. Odczytujemy wskazania detektora, wyniki pomiarów zapisujemy w tabelce.

Przy opracowaniu sprawozdania wykonujemy wykres napięcia na detektorze w funkcji odległości. Następnie wybieramy punkty leżące w zakresie liniowości i dopasowujemy prostą, kryterium dopasowania jest uzyskanie współczynnika korelacji większego od 0,998 ale leżącego najbliżej tej wartości. Na podstawie wyników dopasowania określamy czułość i zakres pomiarowy badanego czujnika. W następnym etapie wyliczamy teoretycznie charakterystykę tego czujnika, do dopasowania parametrów obliczeń teoretycznych używamy punktów pomiarowych leżących w okolicy środka zakresu liniowości. Wykonujemy wykres teoretycznej charakterystyki czujnika. Wyniki porównania obu charakterystyk, własne spostrzeżenia i uwagi zapisujemy we wnioskach.