

Ćw. 12

Pomiar poziomu cieczy za pomocą czujnika światłowodowego

Wstęp

Ćwiczenie przedstawia metodę pomiaru poziomu cieczy z zastosowaniem czujnika światłowodowego.

Zagadnienia do samodzielnego opracowania:

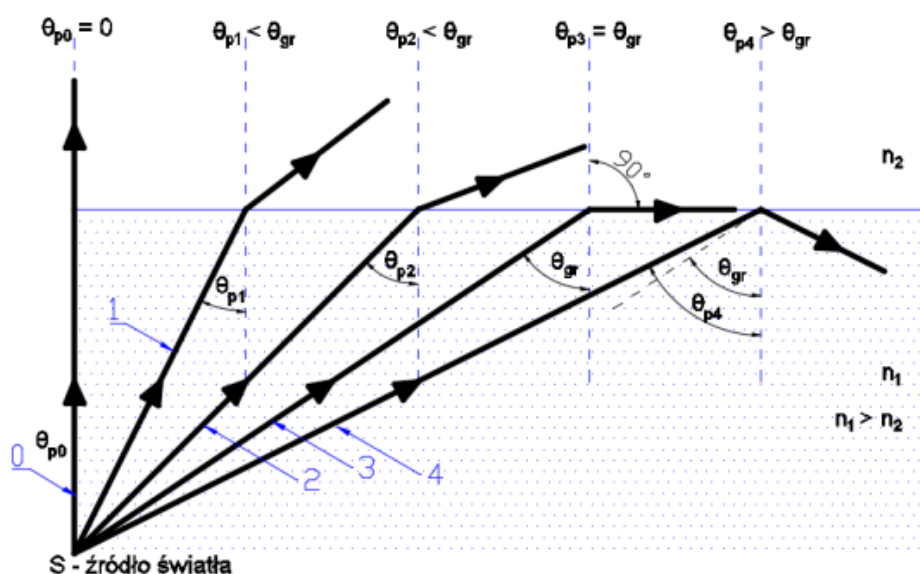
Propagacja światła w światłowodach, rodzaje i zasada działania światłowodowych czujników poziomu cieczy, klasyfikacja czujników światłowodowych, wpływ promienia zagięcia światłowodu na propagowane światło;

1. Zasada działania czujnika światłowodowego

Zjawisko załamania oraz zjawisko całkowitego wewnętrznego odbicia zostały przedstawione na zbiorczym schemacie (rysunek 1). W zjawisku całkowitego wewnętrznego odbicia promień odbija się w całości na granicy dwóch ośrodków optycznych. Aby promień świetlny propagowany w ośrodku optycznym o współczynniku załamania n_1 , uległ zjawisku całkowitego wewnętrznego odbicia na granicy z ośrodkiem o współczynniku załamania n_2 ($n_1 > n_2$), kąt padania tego promienia na granicę ośrodków musi być większy od pewnego kąta θ_{gr} . Wartość tego kąta zależy od wartości współczynników załamania obu ośrodków.

$$\theta_{gr} = \arcsin\left(\frac{n_2}{n_1}\right) \quad (1)$$

Promień, który uległ zjawisku całkowitego wewnętrznego odbicia, został oznaczony numerem 4.

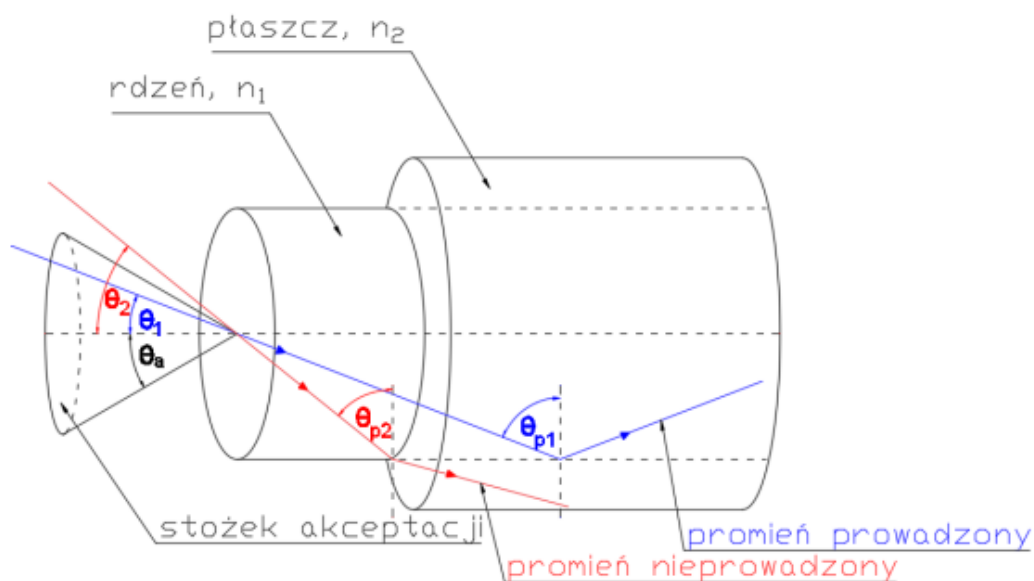


Rys. 1 Załamanie i całkowite wewnętrzne odbicie.

By rozchodząca się w światłowodzie wiązka ulegała zjawisku całkowitego wewnętrznego odbicia, umożliwiającemu jej propagację, musi ona zostać wprowadzona do światłowodu pod odpowiednim kątem – mniejszym lub równym co do wartości kątowni nazywanemu kątem akceptacji θ_a . Promienie, które zostaną wprowadzone do światłowodu pod kątem przekraczającym wartość θ_a nie ulegną zjawisku całkowitego wewnętrznego odbicia, lecz na granicy rdzeń – płaszcz ulegną załamaniu zgodnie z prawem załamania, co spowoduje powstanie strat w płaszczu. Wartość kąta akceptacji przy znanych wartościach współczynnika załamania w rdzeniu n_1 i w płaszczu n_2 :

$$\theta_a = \arcsin \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \quad (2)$$

Na rysunku 2 przedstawiono stożek akceptacji światłowodu (określony kątem akceptacji θ_a) oraz bieg promieni, które zostały wprowadzone do światłowodu pod kątami $\theta_1 < \theta_a$ i $\theta_2 > \theta_a$ i padają na granicę rdzeń – płaszcz pod kątami $\theta_{p1} > \theta_{gr}$ i $\theta_{p2} < \theta_{gr}$.



Rys. 2 Promienie świetlne w światłowodzie.

Im większy kąt akceptacji, tym łatwiej wprowadzić wiązkę laserową do światłowodu. W przypadku światłowodów o niewielkim kącie akceptacji konieczne jest skupienie wiązki przy użyciu na przykład soczewki skupiającej przed wprowadzeniem do światłowodu.

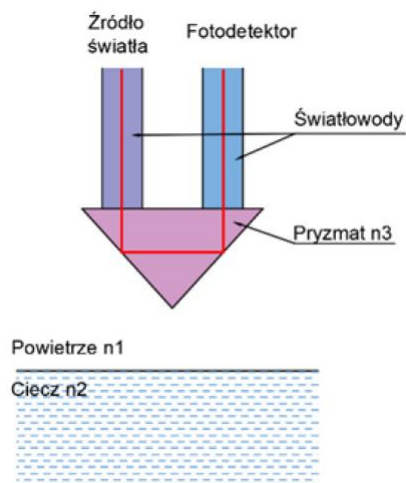
2. Przyczyny wydostawania się światła ze światłowodu

Jeśli światłowód zostanie zgięty, to przy pewnym kącie zagięcia, promień biegnący w światłowodzie może paść na granicę rdzeń-płaszcz pod kątem mniejszym niż kąt graniczny. Powoduje to wydostanie się tego promienia do płaszczu i jego absorpcję.

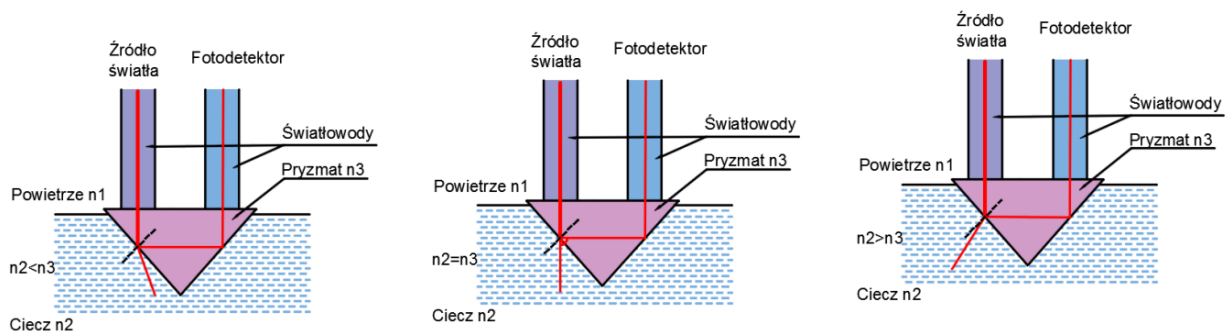
Podobna sytuacja może zajść, kiedy zamiast płaszczu o współczynniku załamania n_2 rdzeń światłowodu otoczony jest przez inny ośrodek optyczny o większym współczynniku załamania n_2' ($n_2' > n_2$). W takiej sytuacji wartość kąta granicznego zwiększa się (1), co powoduje wzrost wartości kąta granicznego, co z kolei prowadzi do wydostawania się promieni z rdzenia, gdyż aktualny kąt padania nie jest już większy od kąta granicznego.

3. Przykłady światłowodowych czujników poziomu cieczy

Pierwszym rodzajem czujnika jest czujnik natężeniowy, odbiciowy, zakończony pryzmatem. Jest jednym z najpopularniejszych czujników wykorzystywanych do monitorowania poziomu cieczy, a zbudowany jest z dwóch włókien światłowodowych, do których przymocowany jest pryzmat. Do jednego z włókien wprowadzane jest światło, które dochodząc do pryzmatu ulega całkowitemu wewnętrznemu odbiciu i powraca do światłowodu odbiorczego. Zjawisko to ma miejsce, gdy pryzmat znajduje się w otoczeniu powietrza, którego współczynnik załamania światła w przybliżeniu wynosi $n = 1$. Jednakże gdy czujnik zostanie zanurzony, a pryzmat dotknie cieczy to światło zmieni swój kąt załamania w pryzmacie, a część promieni świetlnych zacznie przedostawać się do płynu. Jest to spowodowane wyższym współczynnikiem załamania cieczy od powietrza, zaś stopień w jakim będą powodowane starty sygnału jest tym większy im większy będzie współczynnik załamania światła w cieczy, w której zanurzony będzie pryzmat. Problemem tego rodzaju czujników jest stopień zanieczyszczenia powierzchni pryzmatu szeroko pojętym brudem, kurzem i pyłem, a także niewielkie bąbelki powietrza, które mogą znajdować się w cieczy. Zabezpieczenie elementu pomiarowego za pomocą filtra pomaga utrzymać go w czystości i zmniejsza poziom fluktuacji wytworzonych przez pęcherzyki powietrza. Na rysunkach 3 i 4 przedstawiono budowę oraz schemat działania takiego czujnika. Oznaczenia współczynników załamania światła zapisano obok nazw obiektów.



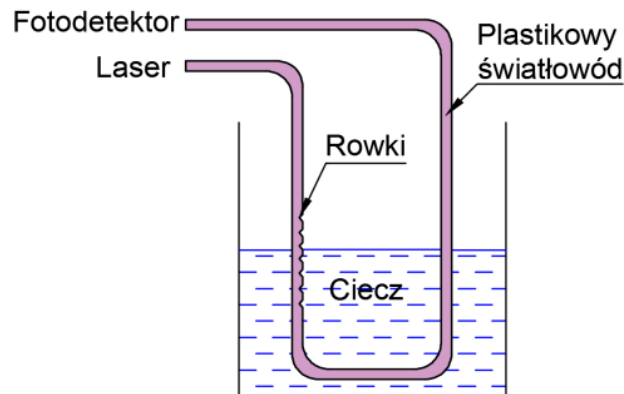
Rys. 3 Czujnik z pryzmatem przed zanurzeniem.



Rys. 4 Czujnik z pryzmatem po zanurzeniu.

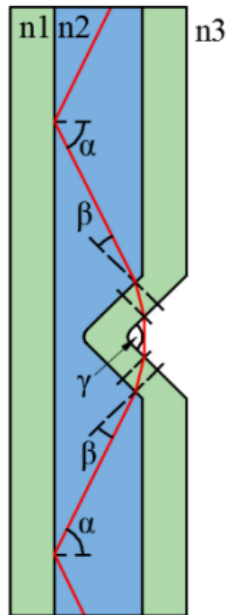
Dobór pryzmatu o odpowiednim współczynniku załamania światła, a także sprzężenie go z włóknami światłowodowymi za pomocą balsamu kanadyjskiego lub innego przezroczystego spoiwa, generuje trudności w wykonaniu elementu potrzebnego do układu pomiarowego.

Innym rodzajem jest czujnik wykonany z plastikowego światłowodu (Plastic Optical Fibre - POF), na którym za pomocą metalowej prasy wyciska się rowki w kształcie litery V. Następnie światłowód osadza się w zbiorniku z cieczą, tak aby odcinek z rowkami znajdował się w pozycji pionowej, prostopadle do cieczy (rys. 5).



Rys. 5 Czujnik z rowkami V-kształtnymi.

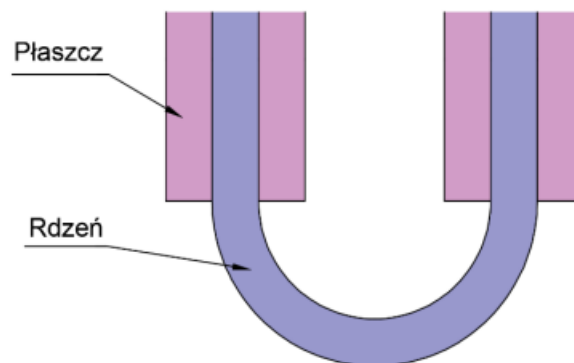
Gdy poziom cieczy zakryje lub odkryje rowek charakterystyka transmitowanego światła ulegnie zmianie, co spowoduje zmianę sygnału odbieranego przez fotodetektor. Dostosowując ilość i parametry (kąt i głębokość) V-kształtnych rowków możemy w łatwy sposób wpłynąć na rozdzielczość czujnika. Struktura rowków powoduje, że propagujące mody we włóknie załamują się na ściance rowka, przechodzą przez płaszcz. Część z nich wypromieniowuje na zewnątrz światłowodu, zaś część jest przechwytywana przez drugą ściankę rowka. Ilość powracającego światła do wnętrza światłowodu zależy od parametrów rowków oraz współczynnika załamania otoczenia, w którym znajduje się włókno. Kiedy wszystkie rowki znajdują się w otoczeniu powietrza, które ma stosunkowo niski współczynnik załamania światła, wtedy sprzężenie światła pomiędzy rowkami jest słabe, co w efekcie daje niski sygnał odbierany przez fotodetektor. Wraz ze wzrostem poziomu cieczy, V-kształtne rowki są nią wypełniane, a współczynnik załamania otoczenia wzrasta, wynikiem czego poprawia się jakość sprzężenia światła między rowkami i więcej promieniowania powraca do wnętrza światłowodu, a sygnał na wyjściu zaczyna wrastać (rys. 6).



Rys. 6 Przebieg światła w rowku.

n_1 , n_2 oraz n_3 to odpowiednio współczynniki załamania światła w płaszczu i rdzeniu światłowodu oraz otaczającego światłowód ośrodka, α jest kątem padania promienia wewnątrz rdzenia światłowodu, β jest kątem padania w pobliżu rowka, zaś γ jest wewnętrznym kątem V-kształtnego rowka. Dowiedzono doświadczalnie, że im mniejsza będzie wartość kąta β tym więcej promieni przedostanie się do płaszczu lub wypromieniuje poza światłowód.

Trzeci typ czujnika światłowodowego do pomiaru poziomu cieczy przedstawiony została na rysunku 7. Fragment światłowodu pozbawiony jest płaszczu przy użyciu narzędzia skrawającego, a następnie ukształtowanie odsłoniętej części w kształcie litery U.



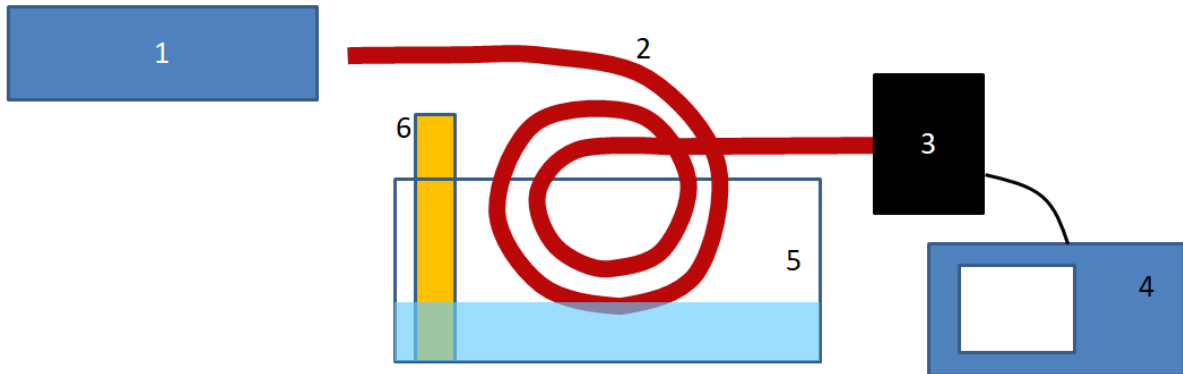
Rys. 7 Światłowód ze zdjętym płaszczem.

Światło na skutek zakrzywienia światłowodu i zmiany współczynnika załamania ośrodka otaczającego rdzeń światłowodu (po jego zanurzeniu w cieczy) wydostaje się z rdzenia, przez co zmniejszeniu ulega ilość światła docierającego do końca światłowodu.

4. Przebieg doświadczenia

Pomiar przeprowadzony zostanie z użyciem zmodyfikowanego czujnika światłowodowego opisanego jako trzeci w poprzednim punkcie instrukcji.

Układ pomiarowy przedstawiony jest na rysunku 8.



Rys. 8 Schemat układu pomiarowego, gdzie: 1) laser; 2) pręt wygięty szklany; 3) detektor; 4) miernik; 5) zlewka z wodą; 6) linijka.

Pomiar należy przeprowadzić w zaciemnionym pomieszczeniu, aby ograniczyć wpływ zewnętrznego światła na odczyt z multimetru. Początkowo zwoje szklanego pręta powinny znajdować się w całości w powietrzu nad zlewką. W doświadczeniu należy zwiększać poziom cieczy w zlewce notując jej poziom odczytywany z linijki (d) oraz wartość wskazywaną przez miernik (U). Wyniki zapisać w tabeli.

Lp	d , mm	U , mV
1		
2		
...		

5. Opracowanie wyników pomiarów

1. Narysować wykres zależności wartości wskazywanej przez miernik od wysokości poziomu cieczy $U=f(d)$.
2. Określić czułość i przedział liniowości czujnika, dobierając taki zakres punktów pomiarowych dla których wartość współczynnika korelacji dopasowanej prostej będzie możliwie bliski wartości 0,995.
3. We wnioskach opisać dokładność i przydatność wzorcowanego czujnika. Wy tłumaczyć otrzymany kształt wykresu. Przedstawić przykładowe zastosowania takiego czujnika ze szczególnym uwzględnieniem zastosowań medycznych.