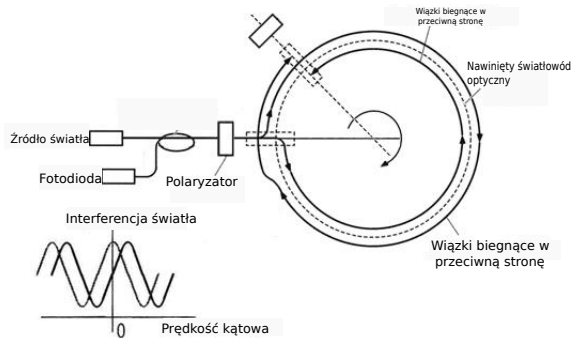


Instrukcja do ćwiczenia

Optyczny żyroskop światłowodowy

(Indywidualna pracownia wstępna)

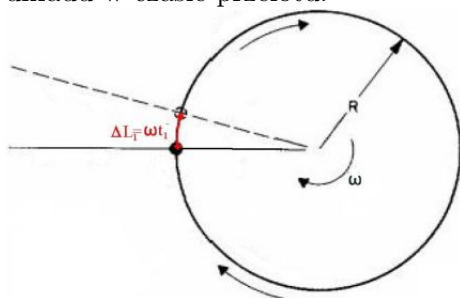
1 Schemat żyroskopu



W ćwiczeniu przetestujesz żyroskop optyczny wykorzystujący zasadę działania interferometru Sagnaca. Światło ze źródła jest rozdzielane przed wejściem do światłowodu na 2 wiązki, z których jedna biegnie zgodnie z ruchem obracającego się układu (z prędkością kątową ω), a druga przeciwnie do niego. W czasie przebiegu wiązki interferują ze sobą, a różnica dróg jaka wynika z szybkości obrotu układu decyduje o charakterze interferencji, co mierzone jest na wyjściu za pomocą fotodiody.

2 Teoretyczny opis zjawiska

Oznaczmy promień zwojów światłowodu jako R , długość światłowodu jako L . Światło biegnące przez światłowód do detektora rozdziela się na 2 wiązki. Wiązka biegnąca zgodnie z kierunkiem obrotu musi pokonać drogę równą długości światłowodu L oraz dodatkową odległość ΔL_1 wynikającą z obrotu układu w czasie przelotu.



Wtedy czas przelotu zgodnie z kierunkiem obrotu wyniesie:

$$t_1 = \frac{L + \Delta L_1}{c} \tag{1}$$

a ponieważ $\Delta L_1 = R\omega t_1$

to po podstawieniu do wzoru 1 otrzymamy, że $t_1 = \frac{L}{c-R\omega}$. Oraz analogicznie dla wiązki biegnącej przeciwnie do kierunku obrotu: $t_1 = \frac{L}{c+R\omega}$

Następnie łatwo możemy policzyć różnicę czasów:

$$\Delta t = t_1 - t_2 = \frac{2LR\omega}{(c-R\omega)(c+R\omega)} \quad (2)$$

W naszym doświadczeniu $R\omega \ll c$, więc możemy wykonać przybliżenie wzoru 2: $\Delta t = \frac{2RL\omega}{c^2}$. Wtedy różnica faz spowodowana obrotem wyniesie:

$$\Delta\Phi = 2\pi \frac{\Delta L}{\lambda} = 2\pi \frac{\Delta t}{\lambda} c = \frac{4\pi RL}{\lambda c} \omega = k\omega \quad (3)$$

We wzorze 3 użyliśmy współczynnika k , który będzie można dogodnie wyznaczać w doświadczeniu.

3 Natężenie światła na fotodiodzie

Zapiszmy wyrażenia opisujące pole elektryczne dwóch wiązek po przejściu przez interferometr. Dla wygody obliczeń możemy uznać, że jedna z nich dozna całkowitego opóźnienia $\Delta\Phi$ znalezione w wzorze 3. Wtedy otrzymamy: $E_1 = \frac{E_0}{2} \Re[e^{i\omega t}]$ oraz $E_2 = \frac{E_0}{2} \Re[e^{i\omega t + \Delta\Phi}]$.

Wiązki interferują ze sobą, na wyjściu dając wypadkowe pole:

$E_{out} = E_1 + E_2 = \frac{E_0}{2} \Re[(e^{i\omega t} + e^{i\omega t + \Delta\Phi})]$, zaś natężenie światła na wyjściu możemy opisać jako: $I_{out} = |E_{out}|^2 = \frac{E_0^2}{4} (e^{i\omega t} + e^{i\omega t + \Delta\Phi})(e^{-i\omega t} + e^{-(i\omega t + \Delta\Phi)})$

$$I_{out} = \frac{E_0^2}{4} (2 + e^{i\Delta\Phi} + e^{-i\Delta\Phi}) = \frac{E_0^2}{4} (2 + 2 \cos \Delta\Phi) = E_0^2 \cos^2 \frac{\Delta\Phi}{2}$$

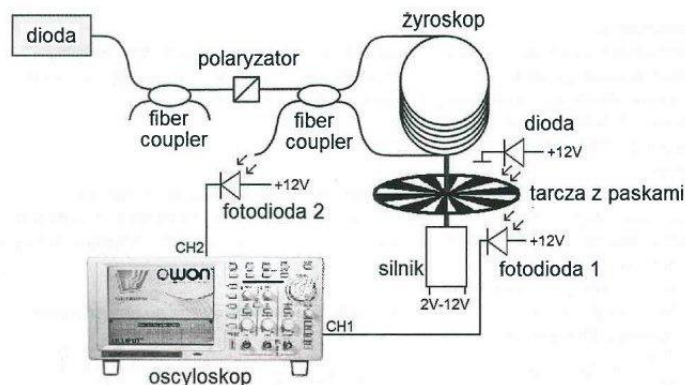
$$I_{out} = I_0 \cos^2 \frac{\Delta\Phi}{2}$$

$$I_{out} = I_0 \cos^2 \left(\frac{2\pi RL}{\lambda c} \omega \right) = I_0 \cos^2 \left(\frac{k\omega}{2} \right) \quad (4)$$

Co pozwoli nam na wyznaczenie parametru k za pomocą wskazań fotodiody.

4 Przebieg pomiarów

Układ eksperymentalny możemy opisać następującym schematem:



Naszym zadaniem będzie wykreślenie zależności napięcia na fotodiodzie od ω , a następnie dopasowanie do danych pomiarowych funkcji, która opisuje zachowanie układu. Zgodnie z przewidywaniami teoretycznymi zależność $U(\omega)$ powinna być opisana ogólnym wzorem $a \cdot \cos^2(k\omega) + b$ (na podstawie wzoru 4). Ten sposób pozwoli na ustalenie wartości współczynnika k , który zgodnie z wcześniejszym opisem (3) powinien wynosić $k = \frac{4\pi RL}{\lambda c}$, co możemy policzyć znając dane techniczne układu (podane w dalszej części). Należy pamiętać również o uwzględnieniu niepewności pomiaru i porównaniu wartości k zmierzonej w doświadczeniu z policzoną według danych.

Przeprowadzając doświadczenie wykonujemy następujące czynności:

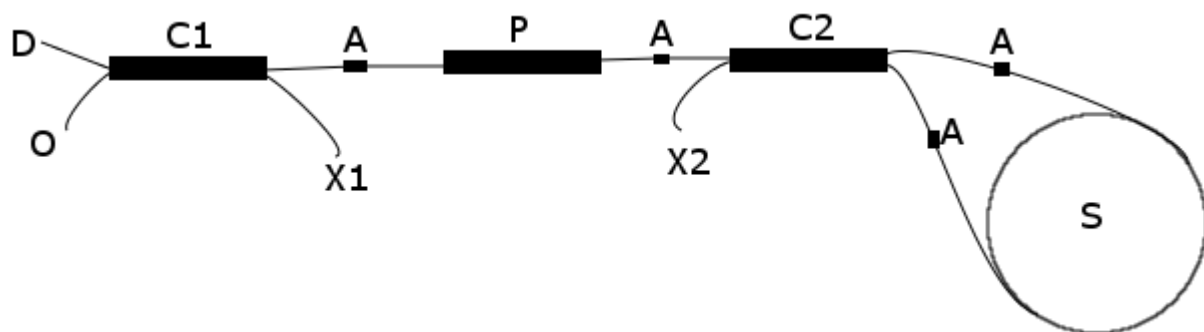
1. Podłączamy kable sygnałowe BNC do oscyloskopu. Za ich pomocą mierzymy natężenie fotoprądu oraz częstość obrotów interferometru. Pozostałe kable - zasilające silnik, podłączamy do zasilacza regulowanego. Włączamy również do prądu zasilacz diod oraz obu fotodiod (dostarczony z interferometrem).
2. Wykonujemy serię pomiarów dla różnych prędkości obrotowych. Prędkość obrotową interferometru regulujemy, zmieniając napięcie zasilające silnik oraz przełożenie.

Uwaga

- Napięcie zasilające silnik nie może przekroczyć 12V
- Przy włączaniu zasilacza należy skrócić pokrętła kontroli napięcia na 0 (maksymalnie w lewo)
- W przypadku wystąpienia powtarzalnych zakłóceń sygnału, do dalszej analizy wycinamy z uzyskanych danych fragment nie zawierający zakłóceń.

5 Opis techniczny układu pomiarowego

Schemat połączeń światłowodów z elementami optycznymi:



A – adaptory FC,

C1, C2 – rozdzielacze światła w światłowodzie (Couplery),

P – światłowodowy polaryzator liniowy,

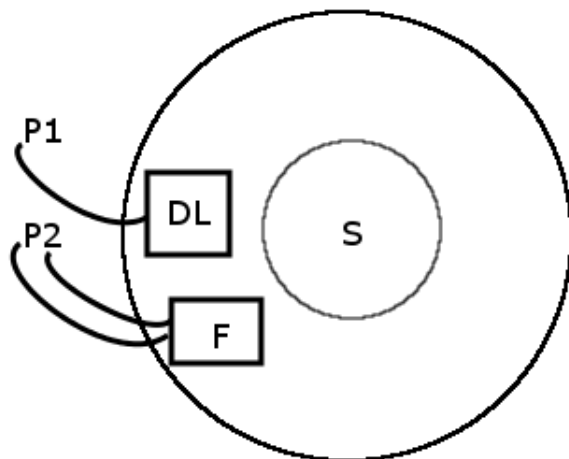
S – długi fragment światłowodu jednomodowego nawinięty na walec,

D – wejście couplera C1, do którego podłączono diodę luminescencyjną,

O – wyjście couplera C1, do którego podłączono fotodiode,

X1, X2 – ślepe wyjścia couplerów C1 i C2

Schemat żyroskopu:



(na schemacie pominięto elementy optyczne i połączenia między nimi z poprzedniego schematu, są one przymocowane do obrotowego stołu wokół walca S)

S – światłowód nawinięty na walec zamocowany centralnie na obrotowym stole,

DL – dioda luminescencyjna (z zasilaczem) świecąca światłem o długości 1550nm,

F – fotodioda,

P1 – przewód zasilający diodę,

P2 – przewód zasilający fotodiode i wyjście na oscyloskop.

W celu pomiaru prędkości kątowej bez użycia interferometru, aby zweryfikować efekt Sagnaca, w dolnej części obracającego się układu umieszczono tarczę z czarnymi paskami, która obraca się z taką samą ω jak żyroskop. Tarcza znajduje się pomiędzy diodą, a fotodiode, przez co w zależności od prędkości kątowej na fotodiodzie podłączonej do oscylatora będziemy rejestrować sygnał o częstotliwości, związanej ściśle z ω . Aby odpowiednio wyznaczyć związek pomiędzy rejestrowaną częstotliwością sygnału (f_0) na oscyloskopie z prędkością kątową warto za pomocą stopera zmierzyć okres obrotu tarczy dla różnych prędkości, co jest możliwe dzięki temu, że jeden z pasków na tarczy jest wyraźnie grubszy, przez co może być użyty jako element odniesienia. To da nam dosyć dokładną wartość ω . Wykonując tę czynność należy starać się odpowiednio zanotować f_0 , uważając na ciągłe fluktuacje tej wartości.

Parametry techniczne:

Długość głównego światłowodu – 2,2 km +/- 0,2 km

Średnica walca – 13,4 cm +/- 1 cm

Długość światła diody luminescencyjnej – 1550nm

Pozostały obwód – 60,2 cm +/- 1cm

6 Zadania do domu

1. Przeanalizuj mechanizm powstawania różnicy dróg optycznych w obracającym się interferometrze na stronie wikipedii.
2. Zapisz wzorem pole elektryczne na wyjściu interferometru, jako sumę pól z obu ramion.
3. Jakie będzie natężenie światła na wyjściu w funkcji częstości obrotów ω ?
4. (*) Dla pewnej różnicy dróg optycznych (zgodnie ze wzorem 4) natężenie światła na wyjściu wynosi zero. Co się wówczas dzieje z energią z lasera?