

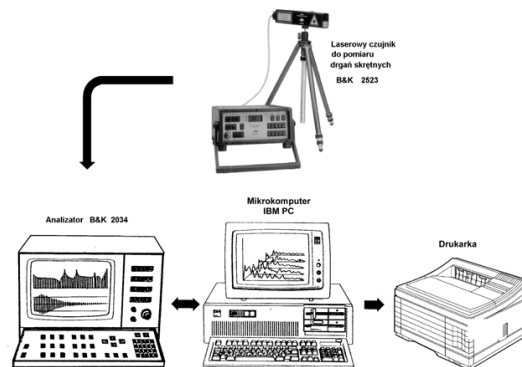
4. Badanie drgań skrętnych

Ćwiczenie wykonywane jest na uniwersalnym stanowisku do badania zespołów napędowych, szczegółowo opisanym w rozdziale „Tensometryczne pomiary momentu skręcającego”. Układ pomiarowo-przetwarzający składa się z miernika drgań skrętnych (sonda laserowa i moduł sterujący), oraz analizatora Układ sterowanego komputerem osobistym wyposażonym w kartę UEUK (rysunek II.4.1). Czułość napięciowa na wyjściu miernika drgań skrętnych zależy od wybranego zakresu pomiarowego; jej wartość należy wprowadzić na podstawie instrukcji obsługi.

Podczas wykonywania ćwiczenia należy:

- ➔ uruchomić miernik drgań skrętnych i zsynchronizować sondę laserową,
- ➔ wybrać tryb pomiarów prędkości kątowej oraz właściwy zakres pomiarowy,
- ➔ dopasować zakres pomiarowy miernika do układu przetwarzającego analizatora,
- ➔ zarejestrować przebieg czasowy oraz ewentualnie wąskopasmowe widmo drgań skrętnych,
- ➔ na podstawie uzyskanych rezultatów określić kąt pracy sprzęgła Cardana,
- ➔ oszacować błąd kąta między osiami,
- ➔ ewentualnie określić na podstawie przebiegu czasowego widmo drgań skrętnych oraz przedyskutować różnice między widmem tak określonym i obliczonym przez analizator.

Uwaga!: Do wykonania ćwiczenia niezbędna jest znajomość zasady działania sprzęgła przegubowego ("przegubu") Cardana - wiadomości na ten temat są zawarte np. w książce Zbigniewa Osińskiego "Sprzęgła i hamulce", Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1996 r.



Rys. II.4.1 Schemat układu pomiarowo - przetwarzającego

Podstawy laserowych pomiarów drgań skrętnych.

Zjawisko Dopplera, wykorzystywane w laserowych pomiarach drgań, polega na zmianie częstotliwości fali odbijającej się od ruchomego obiektu. Jeżeli obiekt zbliża się do źródła fali, częstotliwość fali odbitej rośnie, zaś gdy obiekt oddala się - częstotliwość fali odbitej maleje. Zmiana częstotliwości fali odbitej zależy od prędkości obiektu w kierunku rozchodzenia się fali. Efekt Dopplera występuje we wszelkiego rodzaju zjawiskach falowych.

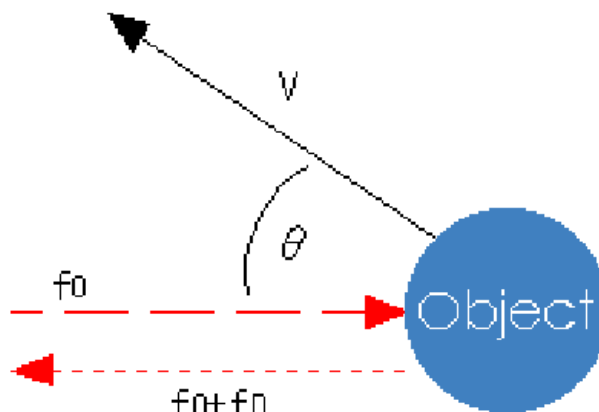
Zmiana częstotliwości fali odbitej znana jest jako częstotliwość Dopplera f_D i opisana zależnością:

$$f_D = \frac{2V_x}{\lambda}$$

gdzie prędkość ruchu V obiektu odbijającego wiązkę o długości fali λ rzutowana na kierunek propagacji fali x wynosi:

$$V_x = V \cos \theta$$

θ jest kątem między kierunkiem ruchu obiektu a kierunkiem propagacji fali padającej. Zależności te zilustrowano rysunkiem; częstotliwość fali padającej oznaczono jako f_0 .



Rys. II.4.2

Zjawisko Dopplera jest podstawą laserowych pomiarów drgań. Układy pomiarowe umożliwiają pomiar częstotliwości Dopplera jako różnicy między częstotliwością wiązki wysyłanej i odbitej, co z kolei przy znajomości długości fali światła lasera umożliwia określenie chwilowej prędkości V przez przekształcenie wzoru (1).

Do pomiaru drgań skrętnych wykorzystuje się dwie równoległe wiązki laserowe. Zasadę pomiarów można wyjaśnić na przykładzie przedstawiającym schematycznie działanie układu optycznego laserowego przetwornika drgań skrętnych miernika typ 2523 produkcji Bruel&Kjaer'a.

Na rysunku II.4.3 widać przekrój poprzeczny elementu wirującego wokół osi z prostopadłej do płaszczyzny rysunku (\vec{z} jest wektorem jednostkowym w kierunku osi z). Dwie równoległe wiązki uzyskane przez rozdzielenie tego samego światła lasera oddalone od siebie o odległość d padają na obracający się element w punktach A i B. Prędkości liniowe punktów A, B skierowane są prostopadłe do promieni obrotu \vec{R}_1, \vec{R}_2 i wynoszą odpowiednio:

$$\vec{V}_1 = \vec{\omega} \cdot (\vec{R}_1 \times \vec{z}) \quad (1)$$

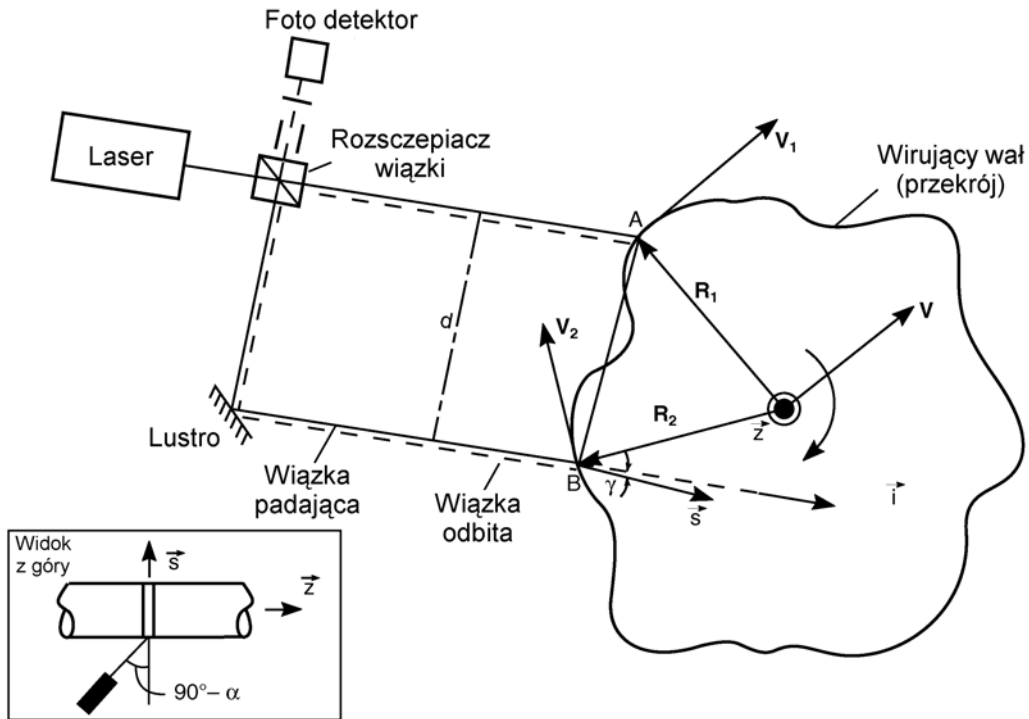
$$\vec{V}_2 = \vec{\omega} \cdot (\vec{R}_2 \times \vec{z}) \quad (2)$$

W powyższych równaniach $\vec{\omega}$ jest chwilową prędkością obrotową.

Wprowadzając jednostkowy wektor kierunku propagacji wiązek laserowych \vec{i} i prędkość osi obrotu \vec{V} częstotliwości Dopplera dla promieni odbitych po przekształceniu (1) wyniosą odpowiednio:

$$f_{D_A} = \frac{2}{\lambda} \vec{i} \cdot (\vec{V} + \vec{V}_1) \quad (3)$$

Odbite promienie padają na powierzchnię elementu światłoczułego modulując się wzajemnie, co wywołuje zjawisko dudnienia o częstotliwości f_d :



Rys. II.4.3

$$f_{D_B} = \frac{2}{\lambda} \vec{i} \cdot (\vec{V}_1 + \vec{V}_2) \quad (4)$$

$$f_d = f_{D_A} - f_{D_B} = \frac{2}{\lambda} \vec{i} \cdot (\vec{V}_1 - \vec{V}_2) \quad (5)$$

Zauważmy, że

$$\vec{V}_1 - \vec{V}_2 = \vec{\omega} \cdot (\vec{R}_1 - \vec{R}_2) \times \vec{z} \quad (6)$$

zaś

$$\vec{R}_1 - \vec{R}_2 = \vec{B}\vec{A} \quad (7)$$

Po oznaczeniu jako \vec{s} jednostkowego wektora prostopadłego do $\vec{B}\vec{A}$ i leżącego w płaszczyźnie prostopadłej do osi obrotu z, można w przypadku ogólnym, gdy kierunek padania wiązki jest odchylony od przekroju prostopadłego do osi obrotu o kąt $90^\circ - \alpha$, zależność (6) zapisać w postaci:

$$\vec{V}_1 - \vec{V}_2 = \vec{\omega} \cdot (\vec{B}\vec{A} \times \vec{z}) = \vec{\omega} \cdot \vec{s} |\vec{B}\vec{A}| \sin \alpha \quad (8)$$

Podstawiając (8) do (5) otrzymamy:

$$f_d = \frac{2}{\lambda} \omega |\vec{B}\vec{A}| \sin \alpha \vec{i} \cdot \vec{s} \quad (9)$$

Ostatecznie po wprowadzeniu kąta γ między kierunkami wektorów jednostkowych \vec{i} , \vec{s} częstotliwość dudnienia wynosi:

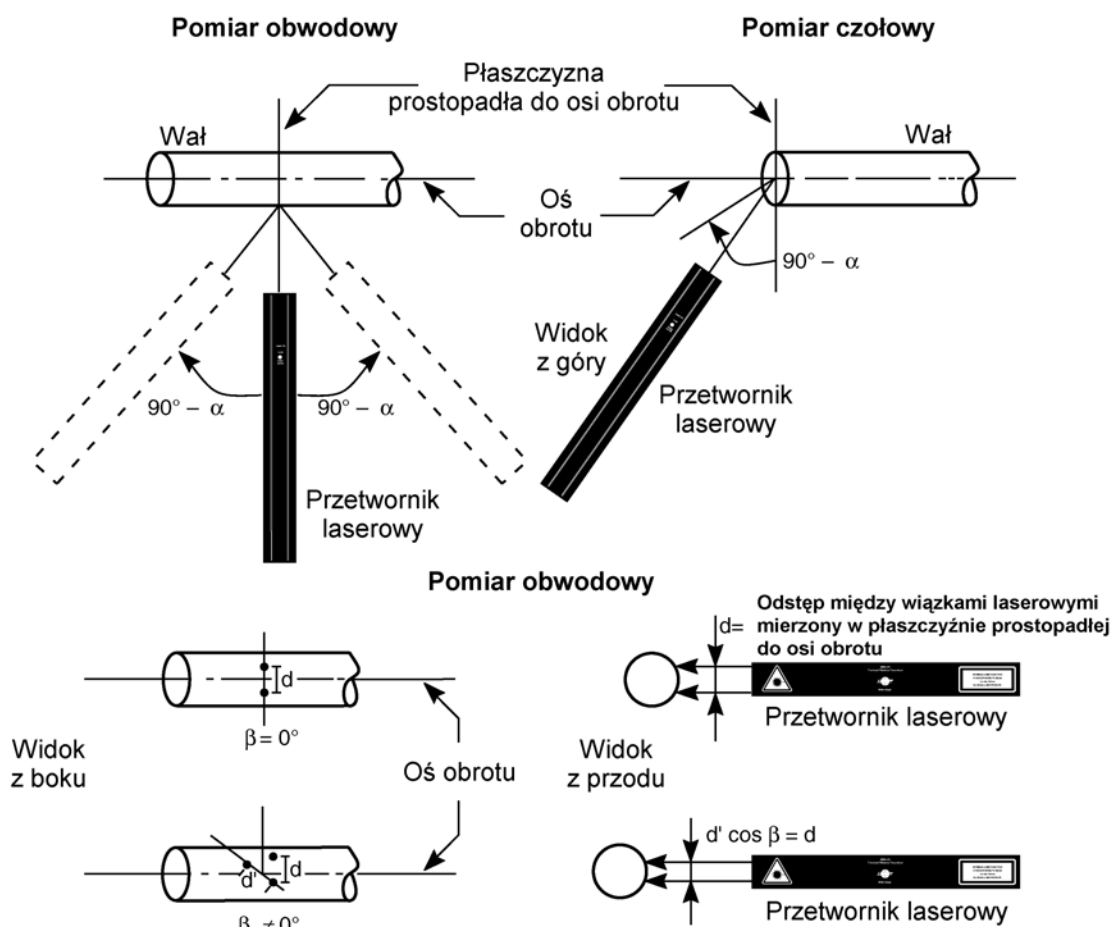
$$f_d = \frac{2}{\lambda} \omega |\vec{BA}| \sin \alpha \cos \gamma \quad (10)$$

Gdy obie wiązki światła laserowego wyznaczają płaszczyznę prostopadłą do osi obrotu elementu wirującego, wówczas $\alpha = \frac{\pi}{2}$, zaś $|\vec{BA}| \cos \gamma = d$. W tych warunkach:

$$f_d = \frac{2}{\lambda} \omega d \quad (11)$$

Z powyższych rozważań widać, że istnieje jednoznaczna zależność wiążąca prędkość kątową z częstotliwością dudnienia powstałą wskutek nałożenia dwóch wiązek odbitych od wirującego elementu. Laserowe mierniki drgań skrętnych bazują na tej zależności, generując na wyjściu sygnał napięciowy proporcjonalny do chwilowej prędkości obrotowej. Podczas pomiarów gdy wiązki padają na czoło wirującego czopa oraz przy odchyleniu osi optycznej przetwornika od płaszczyzny prostopadłej do osi wirowania dla określania amplitudy drgań skrętnych konieczne jest wprowadzanie poprawek wynikających z (10). Tego typu efekty zilustrowano rysunkiem II.4.4.

Praktycznie zatem wygodniej jest kierować wiązki promieni lasera na obwód wirującego wału w płaszczyźnie prostopadłej do osi obrotu - nie zachodzi wtedy konieczność korygowania uzyskanych rezultatów pomiarowych.



Rys. II.4.4