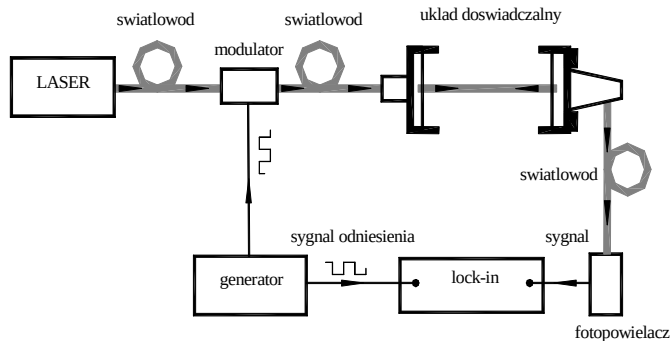


Detekcja fazowa

Detektor fazowy (inne nazwy: woltomierz homodynowy, lock-in, woltomierz fazoczuły) jest urządzeniem przeznaczonym do pomiaru amplitudy C_s określonej harmonicznej badanego sygnału, a także do wyznaczenia jej przesunięcia fazowego φ względem tej samej harmonicznej sygnału odniesienia. Warunkiem poprawnej działalności detektora fazowego jest, by sygnał badany i sygnał odniesienia miały absolutnie tę samą częstotliwość, co oznacza, że muszą pochodzić z tego samego źródła. Typowy schemat doświadczenia z detektorem fazowym przedstawiony został na rysunku poniżej.



Typowy schemat doświadczenia z detektorem fazowym.

Wiązka lasera, po zmodulowaniu amplitudowym, jest kierowana do układu doświadczalnego. Sygnał świetlny pochodzący z tego układu rejestruje się za pomocą fotopowielacza zamieniającego światło na prąd elektryczny. Sygnał z fotopowielacza jest mierzony za pomocą detektora fazowego (lock-in). Sygnał odniesienia pochodzi z generatora sterującego jednocześnie modulatorem światła.

Opis matematyczny pracy detektora fazowego.

Dowolny sygnał sinusoidalny o częstotliwości ω_s może być zapisany w postaci:

$$s(t) = C_s \sin(\omega_s t + \varphi) = A_s \sin(\omega_s t) + B_s \cos(\omega_s t)$$

- gdzie $A_s = C_s \cdot \cos \varphi$, natomiast $B_s = C_s \cdot \sin \varphi$. Wraz z szumami jego postać jest następująca:

$$s(t) = A_s \sin(\omega_s t) + B_s \cos(\omega_s t) + \sum_{i=1}^{\infty} [A_{ni} \sin(\omega_i t) + B_{ni} \cos(\omega_i t)],$$

- gdzie A_{ni} i B_{ni} to amplitudy fourierowskich składowych szumów o częstotliwościach ω_i .

W **detektorze fazowym** zachodzi mnożenie sygnału kolejno przez $\sin(\omega_s t)$ oraz $\cos(\omega_s t)$ (harmoniczne sygnału odniesienia z jednostkową amplitudą) i całkowanie:

$$\begin{aligned} X &= \int_{-nT}^{nT} \sin(\omega_s t) s(t) dt = \int_{-nT}^{nT} \sin(\omega_s t) [A_s \sin(\omega_s t) + B_s \cos(\omega_s t)] dt + \\ &\quad + \int_{-nT}^{nT} \sin(\omega_s t) \left\{ \sum_{i=1}^{\infty} [A_{ni} \sin(\omega_i t) + B_{ni} \cos(\omega_i t)] \right\} dt, \\ Y &= \int_{-nT}^{nT} \cos(\omega_s t) s(t) dt = \int_{-nT}^{nT} \cos(\omega_s t) [A_s \sin(\omega_s t) + B_s \cos(\omega_s t)] dt + \\ &\quad + \int_{-nT}^{nT} \cos(\omega_s t) \left\{ \sum_{i=1}^{\infty} [A_{ni} \sin(\omega_i t) + B_{ni} \cos(\omega_i t)] \right\} dt. \end{aligned}$$

- gdzie okres $T = 2\pi/\omega_s$, a liczba $n \rightarrow \infty$, co oznacza, że całkowanie (uśrednianie) powinno zachodzić po odpowiednio długim czasie. Jeżeli dla każdego i zachodzi $\omega_s \neq \omega_{ni}$ (szumy, pochodzące z zewnętrznego źródła, nie mają tej samej częstotliwości co sygnał), to wynik całkowania po unormowaniu do okresu T :

$$\frac{X}{nT} = \frac{A_s}{nT} \int_{-nT}^{nT} \sin^2(\omega_s t) dt = A_s \qquad \frac{Y}{nT} = \frac{B_s}{nT} \int_{-nT}^{nT} \cos^2(\omega_s t) dt = B_s$$

Pozostałe całki znikają, więc obydwie wielkości (teoretycznie) są pozbawione szumów.

W układach wyjściowych detektora fazowego realizowane są operacje:

- odtworzenia amplitudy sygnału:
$$C_s = \sqrt{\left(\frac{X}{T}\right)^2 + \left(\frac{Y}{T}\right)^2}.$$

- odtworzenia fazy sygnału:
$$\tan \varphi = \frac{Y}{X}.$$

W praktyce idealna eliminacja szumów nie jest możliwa (choćby wskutek skończonego czasu uśredniania), ale możliwa jest do osiągnięcia poprawa stosunku sygnału do szumu nawet o 6 rzędów wielkości.