

NANOMETRIC VIBROMETRY

Michal Ševčík

Master Degree Programme (2), FEEC BUT

E-mail: xsevci43@stud.feec.vutbr.cz

Supervised by: Pavel Škarvada

E-mail: skarvada@feec.vutbr.cz

Abstract: This paper deals with the high speed measurement of distances in the nanometer range for the purposes of vibrometry measurement. It uses the homodyne Michelson interferometer and output is detected with quadrature detectors to increase the resolution and minimizing measurement errors. Interferometer setup and signal processing is described in this paper.

Keywords: Interference of light, Michelson's interferometer, wrapping phase.

1 ÚVOD

V dnešní době, kdy je tendence neustále zmenšovat vytvářené produkty, je kladen velký důraz na velmi přesné metody měření. Těchto přesných měření lze dosáhnout jedině za využití velmi přesných měřících metod s přesností stovek až jednotek nanometrů. Takto přesných měření již, ale nejsme schopni dosáhnout pomocí mechanických metod měření a je potřeba využít přesnějších způsobů měření založených na vlnové délce světla.

Tento příspěvek se bude zabývat problematikou přesných měření, zejména pak měřením pomocí přesné interferometrické metody, kdy využijí rozšířené zapojení Michelsonova interferometru s čtyřdetekčním systémem. Tuto metodu s konkrétním zapojením lze využít pro měření změny vzdálenosti měřeného prvku s rozlišením nanometrů. Lze jimi tedy měřit hodnoty menší, než je samotná vlnová délka použitého laserového záření. V dnešní době nachází tyto metody uplatnění zejména v nanotechnologiích, ale i v jiných průmyslových odvětvích jako je medicína, elektrotechnika, astronomie, strojírenství a další.

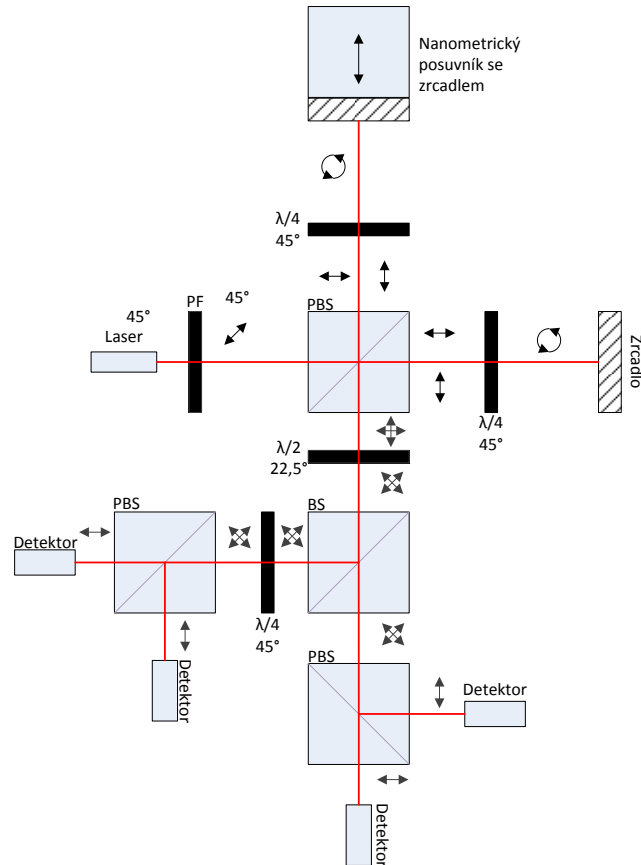
2 REALIZACE EXPERIMENTU

V rámci mé práce bylo potřeba ověřit měřící principy Michelsonova interferometru a v něm probíhající fyzikální děje. Zejména pak interference světla, která je pro toto měření stěžejní. Dále bylo potřeba rozšířit tento základní interferometr o další optické komponenty tak, aby bylo možné sestavit zapojení se čtyřmi detektory. Toto zapojení jsem zvolil z důvodu výhodnějších vlastností daného zapojení. Jedná se například o přesnost měření a odstranění stejnosměrné složky při práci s výslednými signály. Cílem práce dále je vhodně zpracovat naměřené signály. Z nich následně určit velikost změny polohy zkoumaného objektu v měřeném rameni interferometru.

2.1 USPOŘADÁNÍ INTERFEROMETRU

Schéma použitého interferometru je zobrazeno na obr. 1. Polarizace paprsků je zde zaznačena pomocí šipek.

Jako zdroj lineárně polarizovaného světelného záření (v úhlu 45°) je v uspořádání použit He-Ne laser o vlnové délce $\lambda = 633 \text{ nm}$. Svazek laseru, dopadá na polarizační dělící hranol (PBS), kde dochází k rozdělení svazku na horizontální a vertikální polarizaci. Dle polarizace je svazek dělen do dvou



Obrázek 1: Schéma funkčního modelu interferometru [1]

ramen interferometru - referenčního a měřícího. V referenčním rameni prochází svazek čtvrtvlnnou destičkou a odráží se od zrcadla zpět do polarizačního hranolu. To stejné nastává i v měřícím rameni, kde se ale paprsek zpět odráží od zrcadla umístěném na kalibrovaném nanometrickém posuvu. Po opětovném průchodu polarizačním hranolem dojde ke sloučení obou svazků. Zde je důležité, že nedochází k interferenci svazků, ale pouze k sloučení dvou vln se vzájemně kolmou polarizací.

Polarizační roviny svazků jsou pootočený o 45° s použitím půlvlnné destičky. Dále prochází světelné záření děličem svazků (BS), kde dochází k rovnoměrnému dělení vlny do dvou detekčních větví nezávisle na polarizaci.

Uspořádání obou detekčních větví je shodné. Každá z nich obsahuje PBS a dva detektory pro detekci jednotlivých polarizací. Jediným rozdílem mezi větvemi je fázové posunutí v jedné větvi, realizované čtvrtvlnnou destičkou [1].

2.2 ZPRACOVÁNÍ A VÝSLEDKY

Nejproblematictější částí práce je způsob zaznamenání a zpracování intenzit měřených světelných svazků. K tomu jsou použity čtyři detektory. Přičemž rozdíl signálů naměřených v první detekční větvi interferometru označíme I_x rozdíl signálů v druhé detekční větvi I_y . Potom změna interferenčního obrazce může být popsána změnou úhlu φ , kde

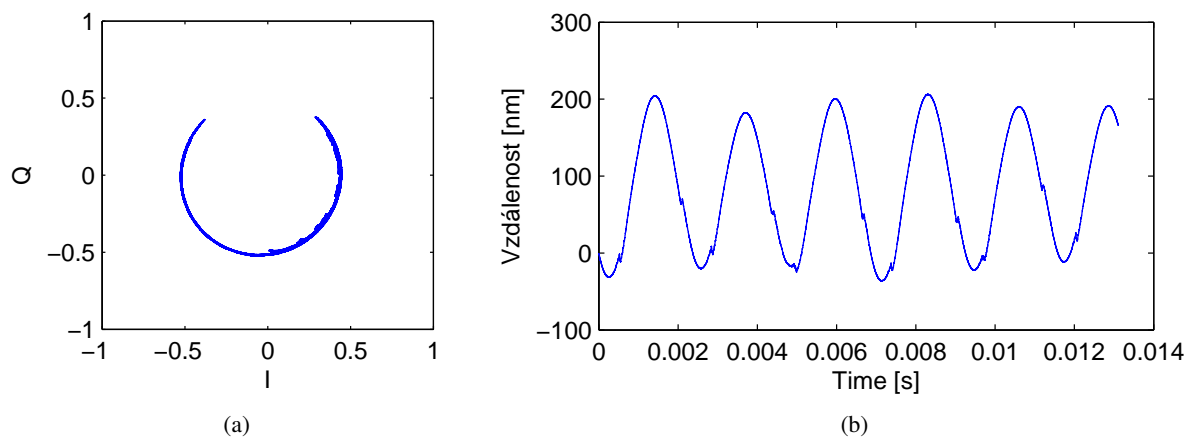
$$\varphi = \arctan \frac{I_x}{I_y}. \quad (1)$$

Zobrazíme-li signály I_x a I_y jako ortogonální, můžeme pozorovat při posuvech zrcátka větších než $\lambda/2$, že koncový bod vektoru opisuje kružnici obr. 2(a). Koncový bod vektoru vyjadřuje pozici měřeného zrcátka a jeho pootočení lze tedy přepočítat na posunutí dle

$$d = \left(\frac{\varphi}{2\pi} \cdot \frac{\lambda}{2} \right), \quad (2)$$

kde λ značí vlnovou délku použitého laseru v interferometru a φ fázi naměřených vzorků.

Nyní by se mohlo zdát, že jsme získali kompletní informaci o fázi pro všechny naměřené vzorky, ale není tomu tak. Vlivem použití funkce \arctan pro výpočet fáze nám vznikly body, kde se fáze skokově mění z maximální hodnoty na minimální či naopak. K takovým bodům je tak nutné přičíst, případně odečíst hodnotu 2π . Tento problém s demodulací fáze (rozbalením fáze) je možné realizovat např. způsobem, kdy kontrolujeme rozdíl sousedních hodnot fáze $\Delta\varphi = \varphi(n+1) - \varphi(n)$ při procházení fázové matice. Je-li rozdíl menší než $-\pi$, přičteme k dalším pixelům počínaje vzorkem $\varphi(n+1)$ hodnotu $+2\pi$. Pokud je rozdíl větší než $+\pi$, pak přičteme k vzorkům hodnotu -2π . Nyní můžeme říct, že jsme získali správné hodnoty fáze pro všechny naměřené vzorky. Nevýhodou této metody může být náchylnost na šum [2]. Z vypočítaných hodnot fáze lze dopočítat změnu pozice zrcátka v měřeném rameni interferometru obr. 2(b).



Obrázek 2: a) Trajektorie koncového bodu vektoru tvořeného signály $I_x I_y$, b) závislost pozice zrcátka na čase

3 ZÁVĚR

V rámci práce byla experimentálně ověřena funkčnost sestaveného interferometru. Uspořádání experimentu potlačuje okolní osvětlení a umístění na antivibrační platformě omezuje parazitní vibrace budovy. Navzorkované signály výstupů detektorů byly zpracovány dle popsaného postupu v prostředí Matlab. Bylo dosaženo nanometrického rozlišení měření pozice zkoumaného zrcátka s dostatečným počtem vzorků pro výpočet spektra vibrací.

REFERENCE

- [1] ČÍP, Ondřej; BUCHTA Zdeněk. *Interference světla a její využití pro měření délek*. [online]. 2011, s. 36. [cit. 2013-03-03] Dostupné z: <http://www.crr.vutbr.cz/system/files/brozura_06_1110.pdf>.
- [2] PSOTA, Pavel; Vít LÉDL a Jan VÁCLAVÍK. *Matlab GUI pro měření deformací holografickou interferencí*. [online]. s. 9 [cit. 2013-03-03]. Dostupné z: <http://dsp.vscht.cz/konference_matlab/MATLAB09/prispevky/085_psota.pdf>.