



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Výukové texty

pro předmět

Měřicí technika

(KKS/MT)

na téma

MĚŘENÍ POLOHY A VZDÁLENOSTI

Laserové interferometry

Autor: doc. Ing. Josef Formánek, Ph.D.



Obsah

1 Základní princip interoferometrického měření	3
1.1 Princip funkce interoferometrického systému	3
1.2 Interferenční komparátory	3
1.3 Interferenční refraktometry	6
1.4 Interferenční spektroskopy	7
2 Princip funkce laserového interferometru	9
2.1 Teoretický úvod do funkce laserového interoferometrického systému	9
2.2 Laserový paprsek	9
2.3 Interference světla	9
2.4 Princip laserového světla	11
2.5 Druhy laserů	11
2.6 Výkonové parametry laserů pro interferometrii	13
2.6 Vliv prostředí na interoferometrická měření	14
3 Technická využitelnost interoferometrických systémů	15
3.1 Při měření na výrobních strojích	15
3.2 Umístění měřicí soustavy na stroji	16
3.3 Měření 3D objektů	19
4 Praktické zjištění parametrů laserového snímače vzdálenosti	22
5 Procvičovací otázky	24
6 Literatura	25



1. Základní princip interoferometrického měření

1.1 Princip funkce interferometrického systému

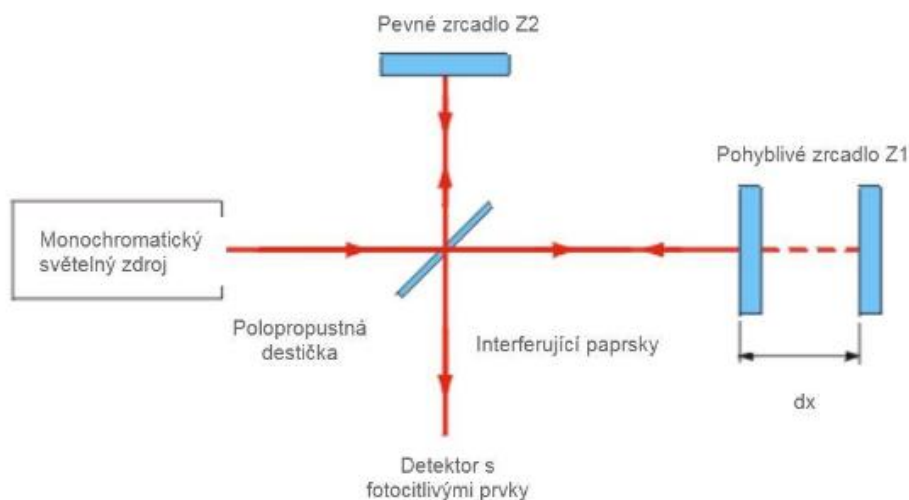
Nejznámějším interferometrickým nástrojem je tzv. Michelsonův interferometr. Jedná se o nejstarší známý druh interferometru, který vynalezl, navrhl a sestavil v roce 1887 Albert Abraham Michelson (americký fyzik narozený v Polsku, který v roce 1907 obdržel Nobelovu cenu za fyziku za své přesné optické přístroje).

Michelsonův interferometr je technický systém zrcadel a polopropustných zrcadel (tzv. děličů paprsku) pro sloučení rozdělených paprsků světla vycházejících ze stejného zdroje. Pokud je použit jako zdroj světla laserový paprsek (laserová interferometrie), kdy se jedná o osvědčenou metodu pro vysoce přesné měření vzdáleností.

Interferometr je proto technické zařízení (přístroj) pro velmi přesná měření polohy a vzdálenosti, na principu interferenci světla. Interferometry pro měření délek se nazývají „interferenční komparátory“, dále pak k určení indexů lomu u plynů a u kapalin se nazývají „interferenční refraktometry“ a k určení jemné struktury spektrálních čar se nazývají „interferenční spektroskopy“.

1.2 Interferenční komparátory

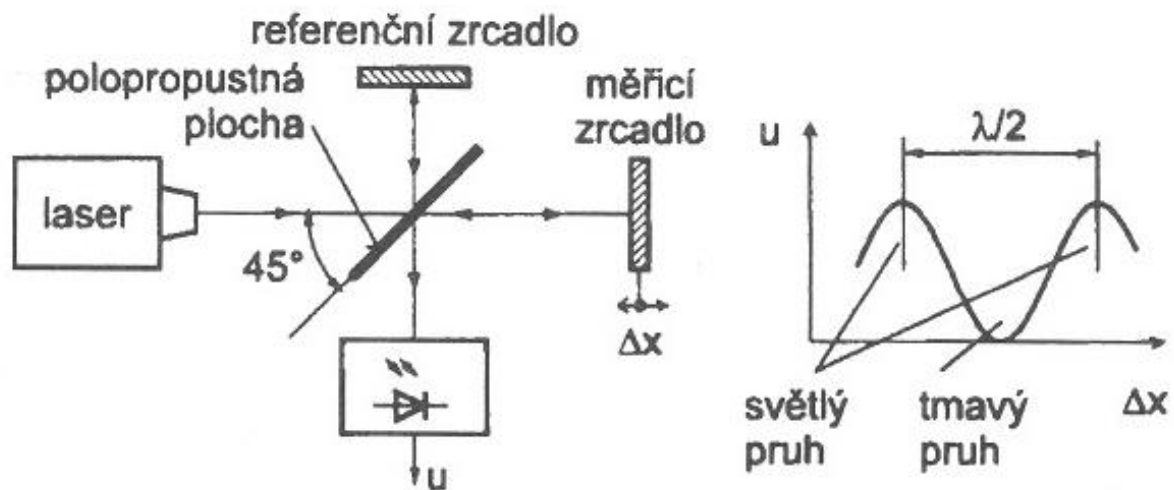
Schéma Michelsonova interferometru



Obr. 1 Základní princip soustavy interferometru ^[1]



Michelsonův interferometr rozštěpí jediný vstupní paprsek koherentního světla na dva identické paprsky. Oba tyto paprsky, kdy každý prochází po jiné dráze, před dopadem na detektor interferují. Rozdíl vzdáleností, po kterých tyto paprsky procházely, vytvoří mezi sebou fázový rozdíl. Takto vzniklý fázový rozdíl vytvoří mezi původně identickými vlnami interferenční obrazec, který lze identifikovat detektorem. Jestliže byl tento jediný paprsek rozdělen do dvou drah (měřicí a referenční), pak tento fázový rozdíl diagnostikuje cokoli, co podél těchto drah změnilo fázi. Může to být fyzická změna vlastní dráhy, nebo změna indexu lomu prostředí, kterým paprsek prochází.



Obr. 2 Vnitřní struktura Michelsonova interferometru [2]

Jak bylo popsáno, interferometr je zařízení pro měření malých rozdílů délek. Proto se dráhový rozdíl světelných paprsků určí z interferogramu. Tento interferogram (viz obr. 3) vznikl interferencí světla vycházejících ze stejného zdroje. Z tohoto interferogramu lze proto s velikou přesností určit dráhový posun.

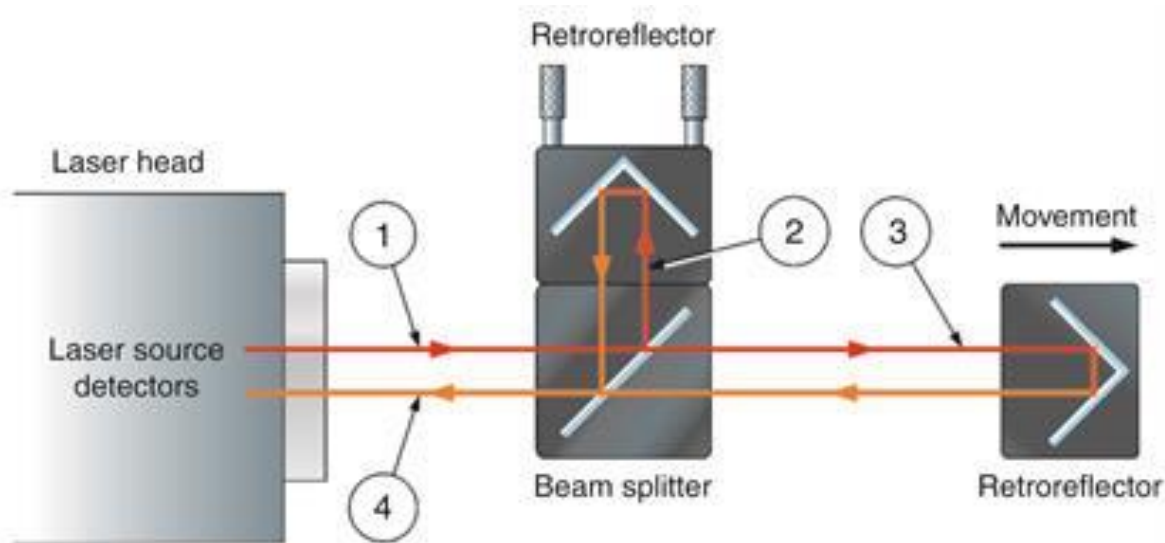


Obr. 3 Interferogram. [3]



Michelsonova interferometrie lze lépe definovat pro měřicí zařízení takto:

Laserový paprsek (1) vychází z laserového zdroje a je v interferometru rozštěpen na dva paprsky (referenční (2) a měřicí (3)). Tyto paprsky jsou dvěma odražeči odraženy zpět, a před dopadem na detektor interferují.



Obr. 4 vnitřní uspořádání laserového interferometru ^[4]

Použití odražečů zaručuje rovnoběžnost paprsků přicházejících z referenční a měřicí větve, které pak vzájemně interferují. Paprsky dopadají na detektor, kde vzájemně interferují, buď to konstruktivně nebo destruktivně. Při konstruktivní interferenci jsou oba paprsky ve fázi, jejich amplitudy se vzájemně zesilují a vytvářejí jasné pruhy. Při destruktivní interferenci oba paprsky ve fázi nejsou, jejich amplitudy se vzájemně ruší a vytvářejí tmavé pruhy.

Zpracování signálu

Zpracování optického signálu detektorem umožňuje sledovat interferenci obou paprsků (viz interferogram). Posunutí měřicího paprsku způsobí změnu relativní fáze obou těchto paprsků. Tento cyklus konstruktivní a destruktivní interference způsobuje cyklické změny intenzity rekombinovaného světla. K cyklu změny intenzity jasná-tmavá-jasná dochází vždy, když se měřicí paprsek/odražeč (3) posunou o polovinu vlnové délky laseru.



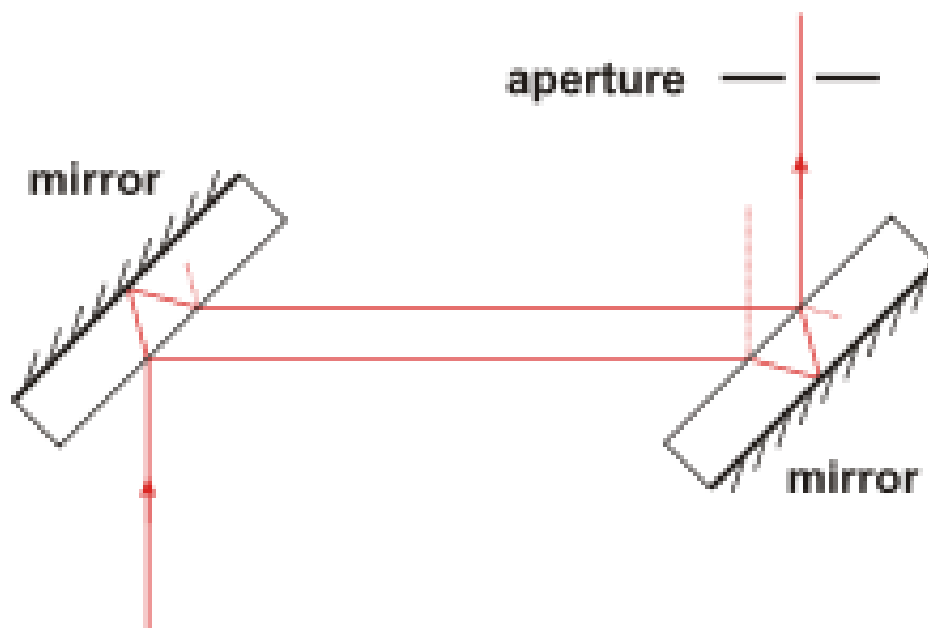
Přesnost systému

Přesnost lineárního měření polohy závisí na přesnosti, s jakou je známá vlnová délka laseru. Provozní vlnová délka laseru závisí na indexu lomu vzduchu, jímž paprsek prochází, a mění se s teplotou, tlakem a relativní vlhkostí vzduchu. Proto je nutno vlnovou délku paprsku měnit (kompenzovat) pro přizpůsobení změnám těchto parametrů.

1.3 Interferenční refraktometry

Interferometr Jaminův^[5]

Jsou to dvě rovnoběžné desky na nichž se odráží a láme svazek rovnoběžných paprsků. Mezi tyto dvě desky se vloží trubice s plynem, u kterého zjišťujeme index lomu, a trubice s vakuem (index lomu = 1). Při měření porovnáváme optické dráhy paprsků, které prochází trubicemi. Trubice s plynem můžeme nahradit trubicemi s kapalinou. Toho se využívá v lékařství při zjišťování kvality krevního séra.

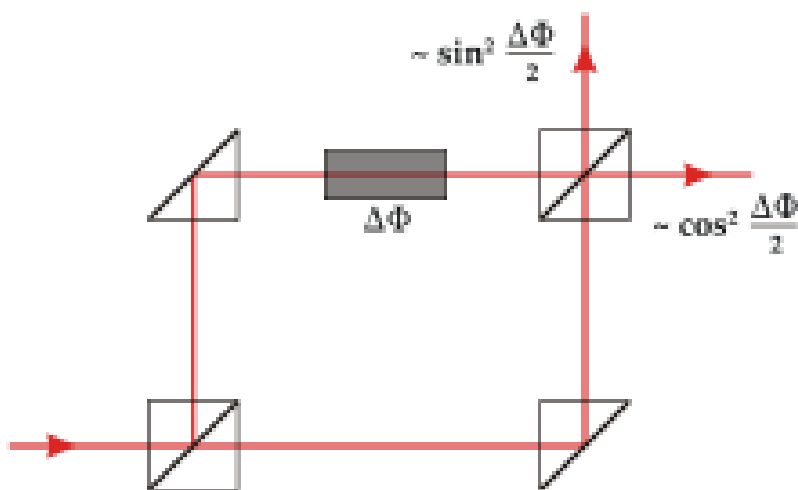


Obr. 5 Jaminův interferometr ^[5]



Interferometr Rožděstvenského-Machův^[5]

Tento interferometr je také nazýván Interferometr Mach-Zehnderův. Je velmi podobný interferometru Jaminovu, pouze svazky paprsků, které prochází první a druhou trubicí jsou od sebe více vzdáleny.



Obr. 6 Interferometr Rožděstvenského-Machův [5]

Interferometr Rayleighův^[5]

Zkoumané světlo prochází štěrbinou, objektivem a pak dvěma štěrbinami rovnoběžnými s první. Za těmito štěrbinami je umístěna spojná čočka, za kterou dochází k interferenci a vzniku interferenčních proužků na stínítku. Mezi objektiv a dvouštěrbinovou destičku se vkládají trubice s plynem a vakuem a porovnávají optické dráhy paprsků, které prochází trubicemi.

1.4 Interferenční spektroskopie

Michelsonova stupňová mřížka^[5]

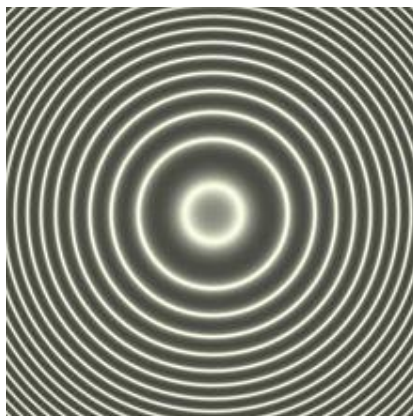
Je tvořena řadou asi 40 rovnoběžných destiček přesně stejné tloušťky z průhledného materiálu. Destičky mají různou délku a jsou spojeny tak, že vytvářejí "schůdky" o výšce 1 mm. Při průchodu



rovnoběžných paprsků zkoumaného monochromatického světla těmito destičkami se stávají "schůdky" zdroji rozptylujících se paprsků, které spolu interferují. Na stínítku pak vznikají interferenční obrazce.

Interferometr Fabryův-Perotův^[5]

Je tvořen dvěma skleněnými deskami mírně klínovitého profilu, mezi kterými je tenká vzduchová vrstva. Při průchodu monochromatického světla vznikají interferenční kroužky, u kterých je dobře viditelné jemné dělení.



Obr. 7 Obrazec vznikající při použití Fabryova-Perotova interferometru ^[5]

Lummerova-Gehrecheova deska^[5]

Základem tohoto interferometru je deska z průhledného materiálu, na jejíž jeden konec je přitmělen hranolek, kterým vstupuje zkoumané monochromatické světlo. Paprsky se díky úplnému odrazu v desce odráží od jejích stěn a dochází k jejich interferenci. Při pozorování desky ve směru podélné osy tak vznikají interferenční obrazce.



2. Princip funkce laserového interferometru

2.1 Teoretický úvod do funkce laserového interferometrického systému

Jak bylo popsáno v kapitole 1.1. Princip funkce interferometrického systému, existuje využitelnost pro různé oblasti v měření potřebných veličin. V technické praxi je nejvíce využíváno měření vzdálenosti (délka, vibrace atd.) pomocí interferenčních komparátorů. Vzhledem k technologiím je nejvíce využíváno laserového světelného zdroje – laserový paprsek.

2.2 Laserový paprsek

Laserový paprsek má definovanou vlnovou délku, tj. lze si tento světelný paprsek připodobnit světelné vlně se sinusovým průběhem. Vzhledem k přesně definované vlnové délce jsou proveditelná přesná měření a vzhledem k velmi malé vlnové délce laserového světla lze provést měření s vysokým rozlišením. Fáze všech světelných vln je stejná a proto umožňují vznik interference (složení světelných paprsků).

Vlastnosti laserového paprsku jsou definovány jako:

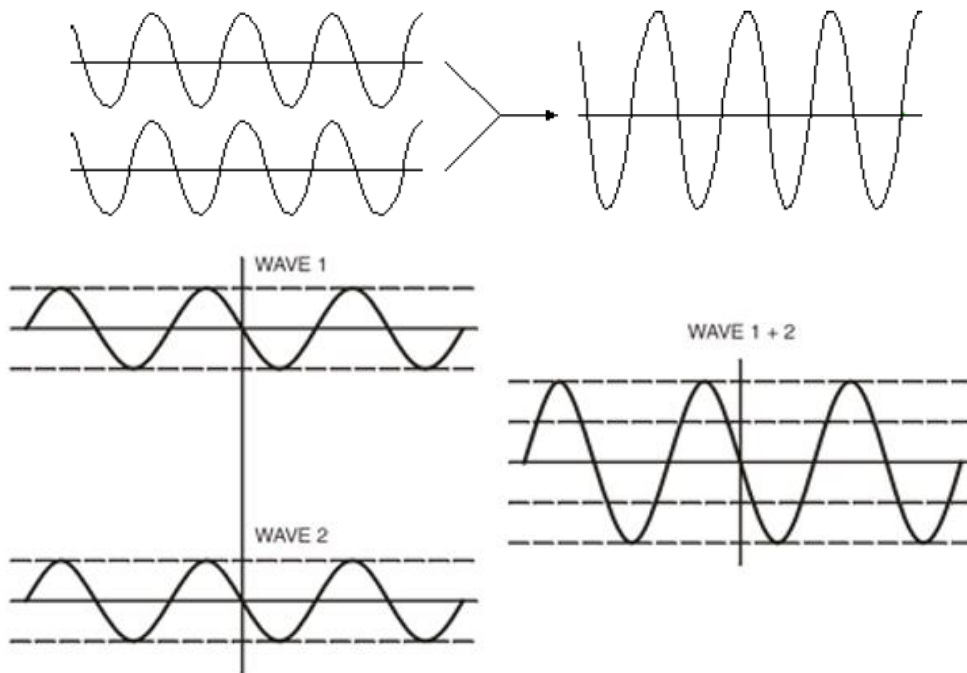
- Koherence (frekvence záření je stále stejná a fázový posun se nemění) ^[6]
- Monochromaticnost (elektromagnetické záření pouze jedné vlnové délky) ^[7]
- Vlnová délka (délka celé vlny, vzdálenost, kterou vlna urazí během jedné periody) ^[8]
- Divergence (rozbíhavost tj. průměr paprsku se spolu se vzdáleností zvětšuje) ^[9]

2.3 Interference světla

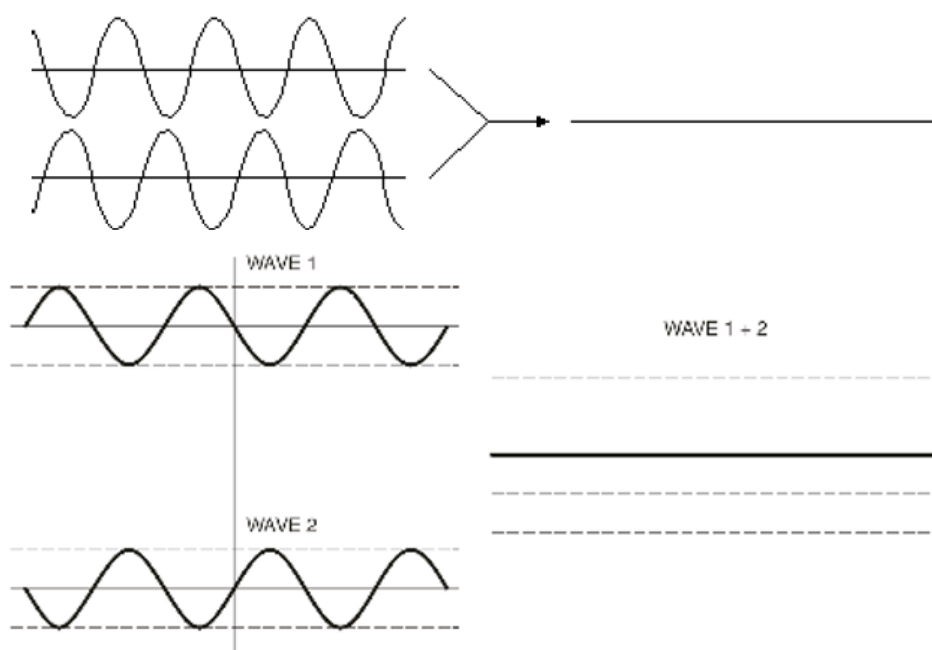
Interference – jev spojený se skládáním nejen světelných vln. Pro vznik interference je nutné splnění těchto podmínek:

- všechna záření dopadající do jednoho bodu musí mít stejnou vlnovou délku,
- v daném bodě (na stínítku) musí mít všechna záření neměnný dráhový rozdíl (tzn. stálý fázový rozdíl).

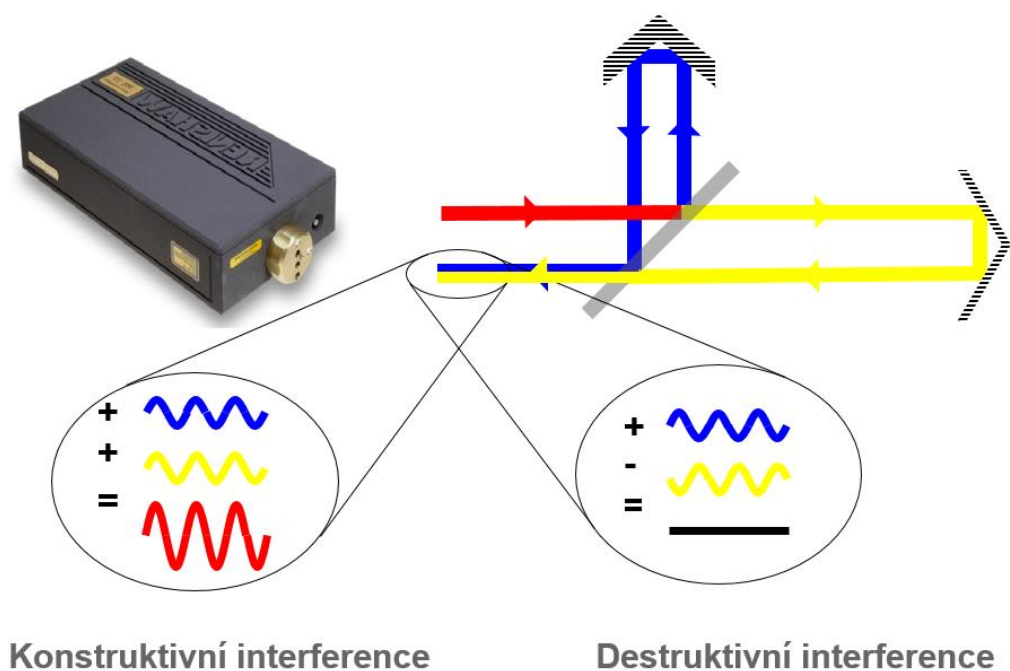
Záření, které splňuje výše uvedené podmínky je označováno za tzv. koherentní záření. Touto podmínkou dochází na stínítku k interferenci (neboli skládání) světla. Do každého bodu na stínítku dopadá světlo z obou štěrbin. Dráhový rozdíl určuje, jestli na stínítku vznikne světlý nebo tmavý proužek (viz obr. 3 Interferogram). Světlý proužek vznikne, pokud je dráhový rozdíl roven sudému násobku vlnové délky a jedná se o konstruktivní interferenci (viz. obr. 8). Pokud je dráhový rozdíl roven lichému násobku vlnové délky, pak vznikne tmavý proužek a jedná se o destruktivní interferenci (viz. obr. 9). ^[3]



Obr. 8 Zobrazení konstruktivní interference^{[10] [11]}



Obr. 9 Zobrazení destruktivní interference^{[10] [11]}



Obr. 10 Principové zobrazení konstruktivní a destruktivní interference^[11]

2.4 Princip laserového světla

Laserové světlo je tvořeno aktivním prostředím, rezonátorem a zdrojem energie. Zdroj energie (např. výbojka) dodává do aktivního média energii. Tato energie vybudí elektrony aktivního prostředí do vyšší energetické hladiny, dojde k tzv. excitaci. Takto je vybudena většina elektronů aktivního prostředí. Při přesunu elektronu na nižší energetickou hladinu dojde k vyzáření (emisi) kvanta energie ve formě fotonů. Tyto fotony se ovlivňují s dalšími elektrony, čímž spouštějí stimulovanou emisi fotonů, se stejnou frekvencí a fází. Jelikož je aktivní prostředí umístěno do rezonátoru, dochází k odrazu paprsku fotonů a jeho opětovným průchodem aktivním prostředím. To podporuje stimulovanou emisi, a tím dochází k exponenciálnímu zesilování toku fotonů. Výsledný svazek fotonů opouští rezonátor skrze výstupní polopropustné zrcadlo. ^[12]

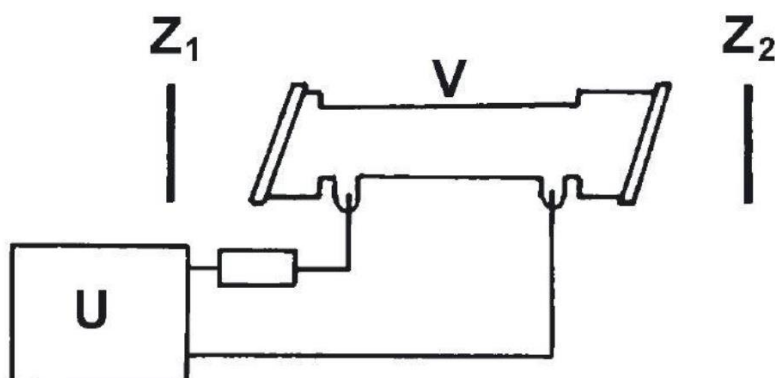
2.5 Druhy laserů

Využití světelného zdroje v oblasti laserů, se dá rozdělit podle aktivního prostředí na tzv. plynové, pevnolátkové, polovodičové a CO₂.



Plynový helium-neonový laser

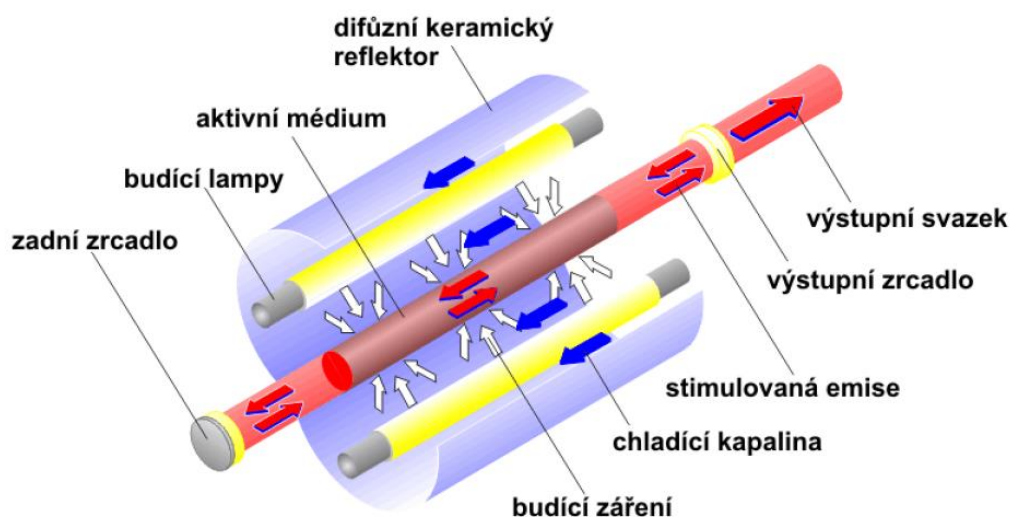
Aktivní prostředí je tvořeno výbojovou dráhou výbojky plněné směsí helia a neonu. Pomocí elektrického výboje se atomy helia budí do vyšších energetických stavů. Při srážkách předávají atomy helia atomům neonu energii. Stimulované emise při přechodech takto vzbuzených atomů neonu na nižší energetické hladiny se pak využívá ke generaci koherentního záření. Jedno z možných uspořádání takového laseru ukazuje obr. 1. Mezi zrcadly Z_1 , Z_2 tvořícími rezonátor laseru je umístěna výbojka V , napájená ze zdroje U . Jedno z obou zrcadel je polopropustné a umožňuje tak výstup generovaného světelného svazku. Čelní plochy výbojové trubice bývají skloněny v Brewsterově úhlu, aby se zde intenzita paprsku zbytečně nesnižovala nežádoucím částečným odrazem. Z hlediska pracovního režimu je tento typ laseru kontinuální, tzn., že generace záření probíhá nepřetržitě, na rozdíl od pulsních laserů, kde vzbuzení systému a vyzáření proběhne v krátkém okamžiku. Helium-neonové lasery nevynikají vysokým výkonem, na rozdíl od některých laserů pulsních. Význačnou vlastností generovaného světla je malá divergence svazku, jeho koherence a monochromaticnost. V tomto směru laser podstatně předčí klasické zdroje světla.^[13]



Obr. 11 Schéma helium-neonového laseru ^[13]

Pevnolátkový laser

Typickým zástupcem je rubínový laser, který používá krystal syntetického rubínu. Dá se provozovat v kontinuálním nebo impulsním režimu. Tento laser se zpravidla používá v impulsním režimu, kde v miliontině sekundy vyzáří výkon řádově miliony wattů. Tento laser generuje ve vlnové délce 694,3 nm. Dále je velmi rozšířen YAG (viz. obr. 12) yttriumaluminiový granát s příměsí neodymu případně chromu (Nd: resp. Cr:YAG). K čerpání se dá využít světlo i obyčejné žárovky, xenonové výbojky atp. Krystal z aktivního prostředí je válcového tvaru a délky od deseti milimetrů až do dvaceti centimetrů. Konce krystalu jsou zařízneny na 90 stupňů a dokonale vyleštěny. Na tyto plošky se v některých případech napařují kovy (nejčastěji stříbro Ag), které vytváří na jedné straně odrazovou plochu a na druhé straně plochu polopropustnou (zrcadlo). Krystal spolu s budicí lampou (výbojkou) jsou umístěny do eliptické odrazové dutiny. Dutinu je potřeba chladit.^{[14] [15]}



Obr. 12 Lampami buzený Nd:YAG laser ^[16]

Polovodičový laser

Polovodičové lasery jsou nejrozšířenější lasery. Někdy se nazývají jako laserová dioda. Jako aktivní prostředí využívají polovodičový přechod. Pracují s elektronovými přechody mezi vodivostním a valenčním pásem polovodiče. Polovodičové lasery jsou velmi malé, což má za následek větší divergenci výstupního svazku. Tyto lasery jsou velmi citlivé na změnu teploty. Laserový paprsek lze snadno modulovat pomocí změny budícího elektrického proudu. Lasery vynikají vysokou účinností až 50%, pracují jak v kontinuálním tak v pulsním režimu. Mohou dosahovat velkých výstupních výkonů. Uplatnění našly především ve výpočetní technice. Dnes se také používají pro čerpání pevnolátkových laserů. ^[17]

CO₂ laser

Jako aktivní částice se využívá lineární molekula CO₂, v níž dva atomy kyslíku jsou vázány na atom uhlíku a všechny atomy leží na jedné přímce. Atomy kyslíku mohou kmitat mnoha směry, tím pádem má bohaté spektrum vyzařovaných frekvencí. Nejintenzivnější frekvence jsou 9,5 μm a 10,6 μm . Tyto lasery se využívají např. při řezání železných nosníků. ^[18]

2.6 Výkonové parametry laserů pro interferometrii

Lasery s malým výkonem

pracují s výkonem 0.1 – 2 mW
pracují na vlnové délce 0.633 μm



Jedná se o nejrozšířenější druh laserového zdroje používaného v metrologii. Základní částí je výbojka o délce 100 – 300mm naplněná héliem (He) a neonem (Ne). Zhotovuje se teplovzdorného skla s dostatečnou tloušťkou stěny, základním požadavkem je její lineárnost, tuhost, zanedbatelná propustnost, vysoká kruhovitost vnitřního průměru.

Lasery se středním výkonem

pracují s výkonem 2.5 – 15 mW
pracují na vlnové délce 0.63 a 1.15μm

Lasery s vyšším výkonem

pracují s výkonem 20 – 60 mW
pracují na vlnové délce 0.63, 1.15 a 3.39μm

2.7 Vliv prostředí na interferometrická měření

Vlnová délka laserového paprsku ve vzduchu závisí na indexu lomu vzduchu. Index lomu vzduchu je funkcí teploty, tlaku, vlhkosti a složení vzduchu (CO₂ a další příměsi mají také malý vliv). Nejistotu měření ovlivňuje též znečištění optické cesty mezi laserem, interferometrem a koutovým odražečem a dále skutečná teplota měřeného předmětu

$$\lambda = \frac{\lambda_0}{n}$$

λ – vlnová délka laserového paprsku ve vzduchu
 λ_0 – vlnová délka laserového paprsku ve vakuu
 n – index lomu vzduchu

Vlnová délka laserového záření vzroste o 1μm těmito změnami v atmosferických podmínkách:

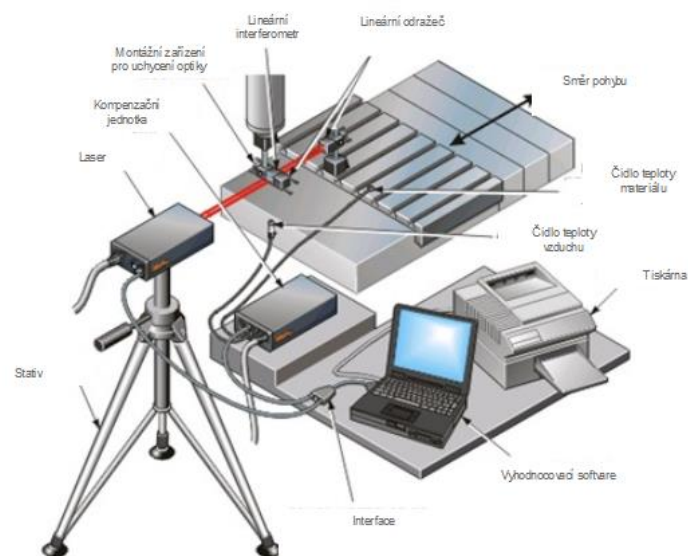
- 1°C nárůst teploty vzduchu
- 3.7 millibaru pokles tlaku vzduchu
- 100% pokles v % relativní vlhkosti

Bude-li interferometrické měření prováděno ve vzduchu s přesnými výsledky, je nezbytné kompenzovat změnu indexu lomu vzduchu.

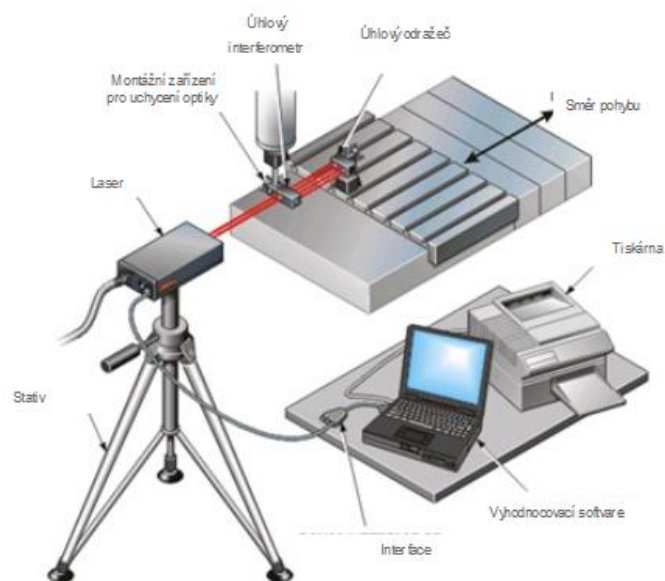


3. Technická využitelnost interferometrických systémů

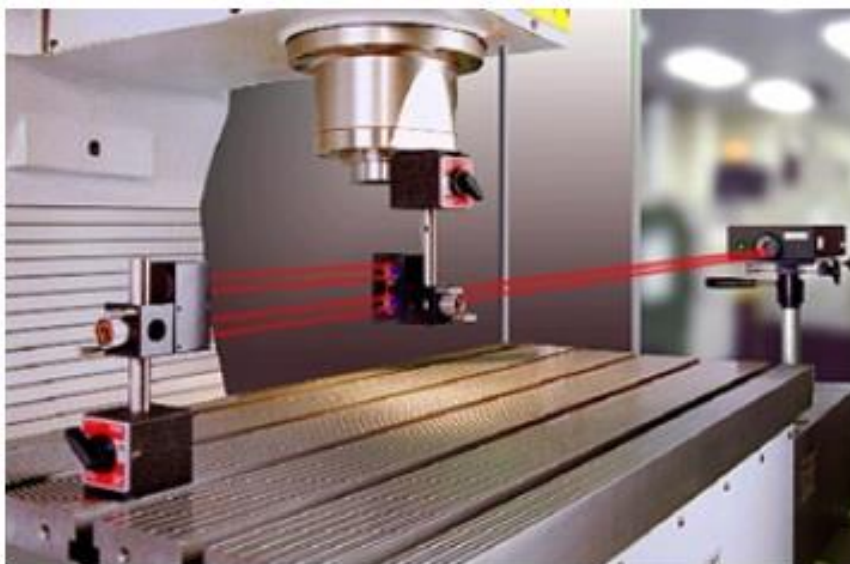
3.1 Při měření na výrobních strojích



Obr. 13 Lineární měření pomocí laserového interferometru [4]



Obr. 14 Úhlové měření pomocí laserového interferometru [4]



Obr. 15 Umístění zařízení na výrobním stroji pro úhlové měření pomocí laserového interferometru ^[4]

3.2 Umístění měřicí soustavy na stroji

Široký výběr optiky umožňuje maximální flexibilitu měření. Pokud není uvedeno jinak, veškerá optika je navržena pro průměr paprsku 6 mm nebo menší.

Lineární interferometr AGILENT 10702A je základní interferometr pro lineární měření, zatímco malý jedno paprskový interferometr 10705A je konstruovaný pro použití ve stísněných prostorech. U měření systémů s více osami se běžně používají interferometry s rovinným zrcadlem, jako je např. AGILENT 10706B. Interferometr s vysokou rozlišovací schopností a s rovinným zrcadlem 10716A má pro většinu aplikací dvojnásobnou rozlišovací schopnost než 10706B. S těmito interferometry s rovinným zrcadlem lze pro jednoosá měření používat rovinné odrazové zrcadlo 10724A.

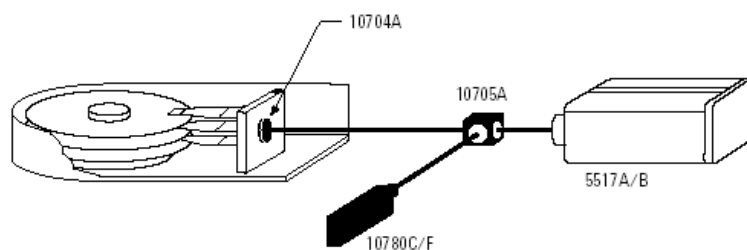
Diferenciální interferometry AGILENT jednoosý 10719A a dvouosý 10721A jsou konstruovány tak, aby se optimalizovala přesnost a opakovatelnost výrobních zařízení pro integrované obvody tím, že se poloha destičky bude přímo vztahovat ke stojanu optiky.

Tříosé interferometry AGILENT 10735A a 10736A provádějí současně tři měření (lineární, vychýlení a sklon) pro přesná umístění polohy destičky u výrobního zařízení pro integrované obvody a jiné přesné konstrukční aplikace. Zařízení pro měření vlnové délky AGILENT 10717A monitoruje změny indexu lomu vzduchu, aby bylo možné provést optickou kompenzaci změn prostředí (viz. strana 22). ^[19]



Example 1—Single Axis System for Servo-Track Writing

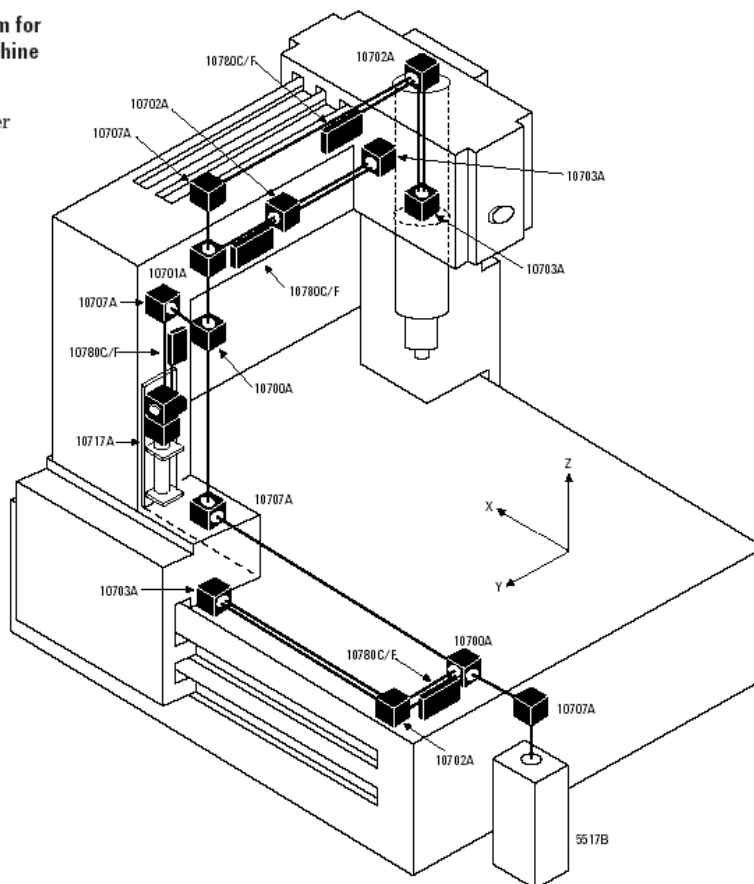
- 1- 5517B/C Laser Head
- 1- 10705A Single Beam Interferometer
- 1- 10704A Reflector (or use bare corner cube)
- 1- 10780C/F Receiver
- 1- 10710A Optics Mount



Obr. 15 Základní uspořádání komponent jednoosého systému [19]

Example 2—Multiaxis System for a Coordinate Measuring Machine

- 1- 5517B Laser Head
- 3- 10702A Linear Interferometer
- 3- 10703A Retroreflector
- 2- 10700A 33% Beamsplitter
- 1- 10701A 50% Beamsplitter
- 3- 10707A Beam Bender
- 1- 10717A Wavelength Tracker
- 4- 10780C/F Receiver
- 6- 10710A Adjustable Mount
- 3- 10711A Adjustable Mount

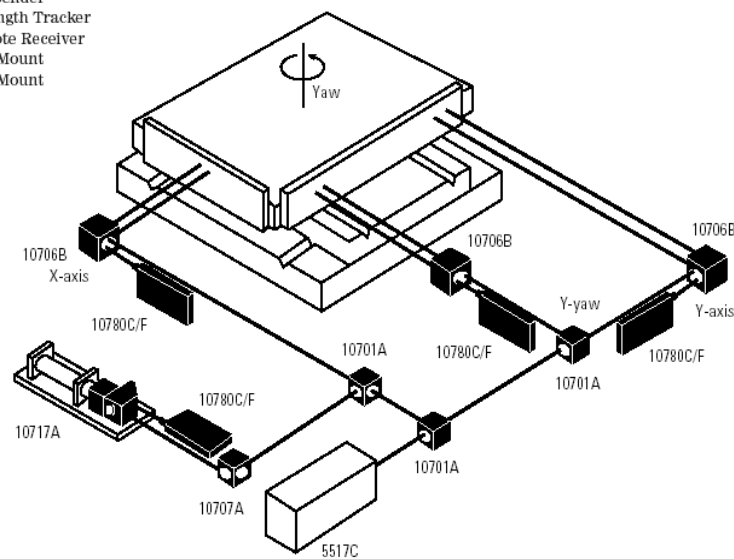


Obr. 16 Základní uspořádání komponent víceosého systému [19]



**Example 3—Multiaxis System for
a Precision X-Y Stage**

- 1- 5517C Laser Head
- 3- 10701A 50% Beam Splitter
- 3- 10706B High-Stability Plane Mirror Interferometer
- 1- 10707A Beam Bender
- 1- 10717A Wavelength Tracker
- 4- 10780C/F Remote Receiver
- 4- 10710A Optics Mount
- 3- 10711A Optics Mount

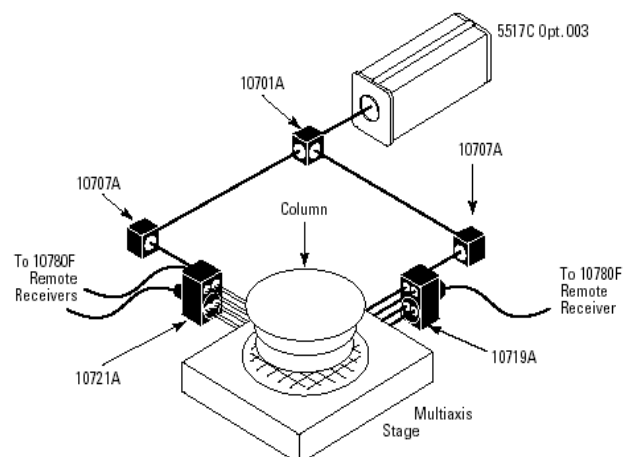


Multiaxis System for a Precision X-Y Stage as Used in IC Fabrication

Obr. 17 Základní uspořádání komponent víceosého systému pro odměřování stolu v osy X a Y ^[19]

**Example 4—Three-axis X-Y Stage
Laser Positioning System with
Column Referencing**

- 1- 5517C Opt. 003 3-mm Laser Head
- 1- 10701A 50% Beam Splitter
- 1- 10707A Beam Splitter
- 1- 10719A One-axis Differential Interferometer
- 1- 10721A Two-axis Differential Interferometer
- 3- 10780F Remote Receiver
- 3- 10710A Adjustable Mount



Obr. 18 Základní uspořádání komponent tříosého systému s laserovým pozičním systémem ^[19]



3.3 Měření 3D objektů

Pro 3D měření lze použít Leica laser tracker LTD 800 v kombinaci s dotykovou sondou T-Probe II. Během měření bylo použito několik druhů měřicích dotyků s ohledem na aktuálně měřenou plochu.

Přesnost měření za dané konfigurace a daných podmínek je $\pm 60 \mu\text{m}$.



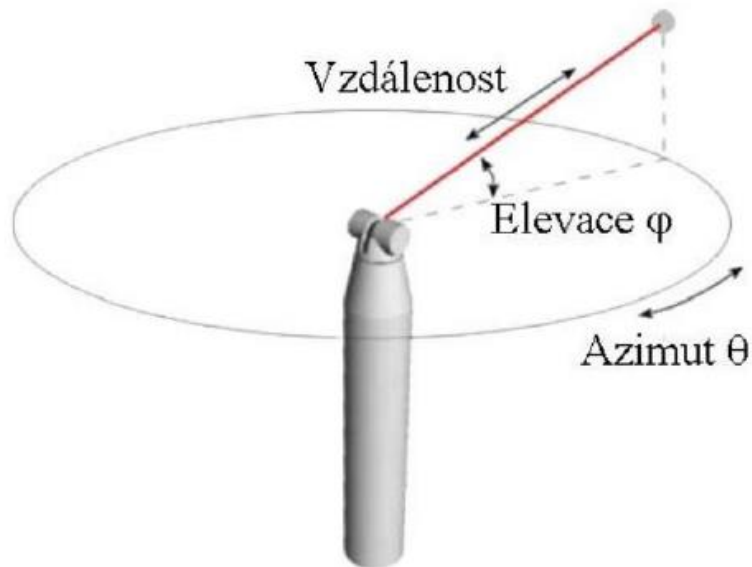
Obr. 19 Leica laser tracker LTD 800^[20]



Obr. 20 Dotyková sonda T-Probe II^[20]

Princip laser trackeru

Základní funkcí je nepřetržité sledování sondy se sféricky montovaným koutovým odražečem SMR (z angl. Spherically Mounted Retro-reflector) pomocí laserového paprsku a zaznamenávání souřadnic v prostorových polárních souřadnicích, které se skládají ze dvou úhlů a jedné vzdálenosti. První z úhlů je azimut θ , který je natočením od svislé osy, v tomto případě osy stojícího laser trackeru. Druhým úhlem je elevační úhel ϕ , který je odklonem od horizontální roviny a je kolmý k ose stojícího zařízení. Pro zjištění vzdálenosti se využívá kombinace dvou způsobů měření.^[7] Měření pomocí laser interferometrie (IFM) a měření pomocí absolutní vzdálenosti (ADM).

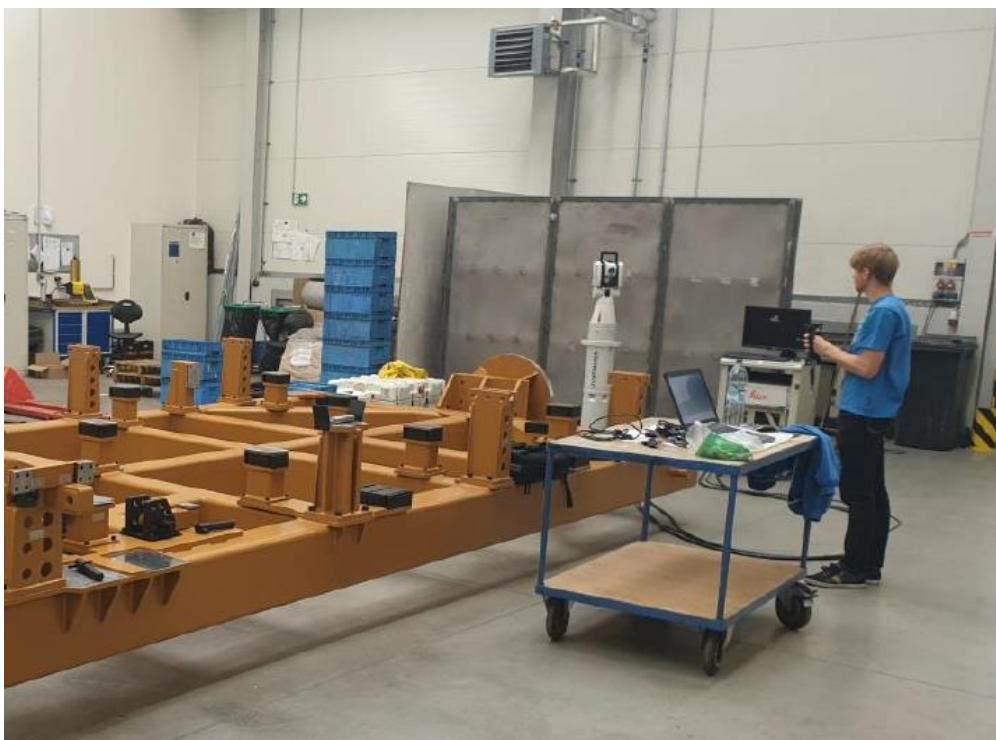


Obr. 21 Princip laser trackeru^[21]

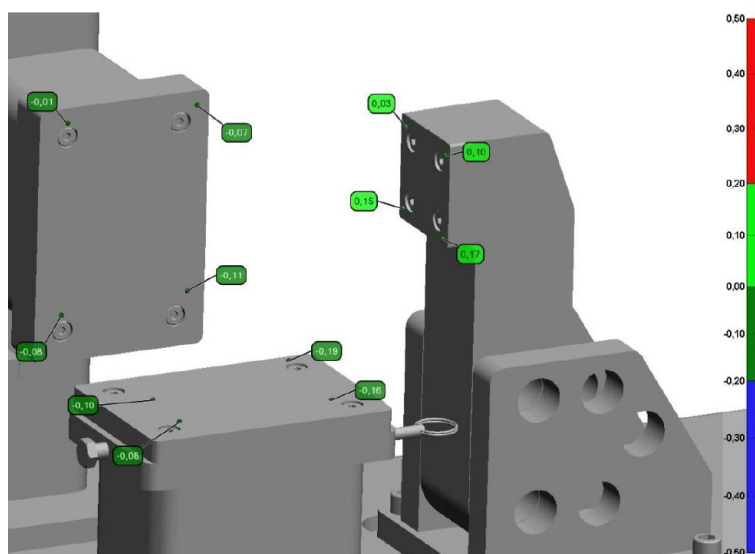
Princip dotykové sondy

Dotykový sonda je kombinací snímacího doteku a odražeče. Díky znalosti polohy odražeče sondy, natočení sondy v prostoru a geometrických parametrů je možné určit polohu dotyku.

Sonda Leica T-Probe je bezdrátové zařízení, které umožňuje výměnu dotykových hrotů bez nutnosti následné kalibrace. Maximální vzdálenost měření je 30 m.



Obr. 22 Celkové uspořádání při 3D skenování/měření objektu



Obr. 23 Výsledné reálné měření vybraných míst promítнутých do 3D modelu objektu s velikostí odchylky



4. Praktické zjištění parametrů laserového snímače vzdálenosti

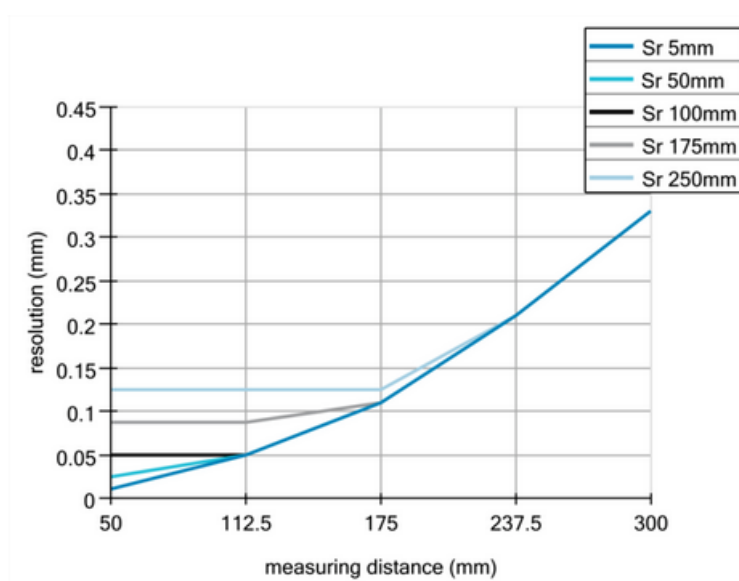
Využijte teoretických znalostí pro zjištění měřicího rozsahu vzdálenostního laserového snímače (OADM 2016481/S14F), kdy tématem tohoto praktického zjištění parametrů je ukázkové měření přesného odměřování polohy na strojích apod., včetně ukázek vysvětlujících popis měření, zapojení a schématické znázornění.

Popis měření laserového snímače vzdálenosti

Celkový snímač je integrované zařízení do pevného obalu s přípojevacími otvory a přímým analogovým signálovým výstupem. Výstupní signál je linearizovaný vnitřním elektronickým systémem v unifikovaném rozmezí 0 – 10V DC pro celkový měřicí rozsah tohoto snímače vzdálenosti (vzdálenost bude zjišťována na pravítku s odrazivou deskou). Výstupní napětí lze měřit buď klasickým voltmetrem (tento případ testování snímače) nebo přímo měřicími aparaturami, PC kartami atd.

Charakteristika laserového snímače vzdálenosti

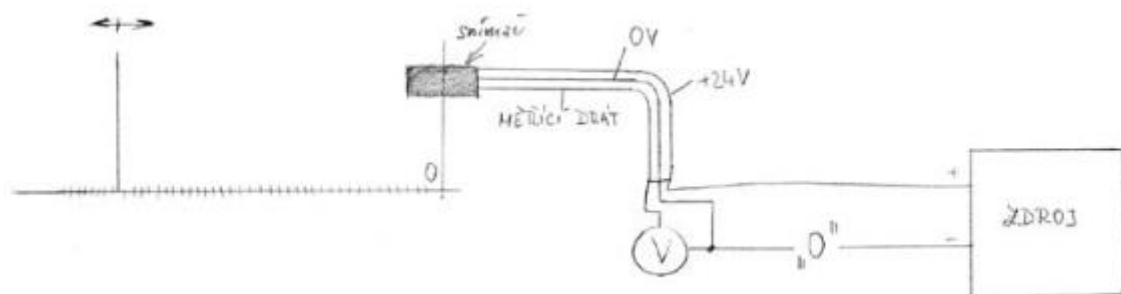
Světelný zdrojem je dioda pulsního červeného laseru o vlnové délce 650nm. Laser je třídy 2.



Obr. 24 Přesnost snímače na měřené vzdálenosti ^[22]



Celkové měřicí pracoviště



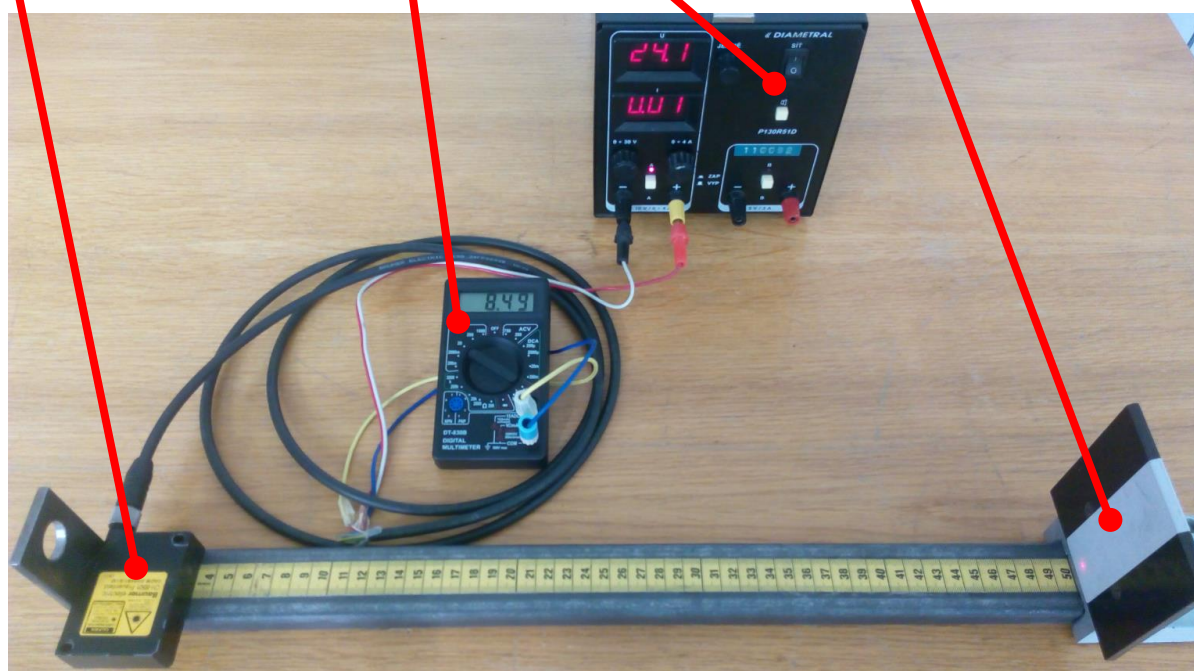
Obr. 25 Blokové schéma zapojení laserového snímače vzdálenosti

Laserový snímač vzdálenosti

Voltmetr

Stabilizovaný zdroj

Odrazivá deska s pravítkem



Obr. 26 Laserový snímač vzdálenosti (popis celkového uspořádání testovacího měření)



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání



5. Procvičovací otázky

Na jakém principu funguje interferometrický systém?

Jaké je technické řešení vnitřní struktury Michelsonova interferometru?

V jakých oblastech se dá laserová interferometrie využívat?

Můžou se tímto systémem měřit i vibrace rotujících částí strojů?

Jaká je přesnost 3D scanování?



Literatura

- [1] PATA, Vladimír, Úvod do laserinterferometrie. 2005-2007.
- [2] JENČÍK J, VOLF J: Technická měření, Vydavatelství ČVUT, Praha, 2000, ISBN 80-01-02138-6.
- [3] Interference a interferogram. Gymnázium Ladislava Jaroše Holešov [online]. [cit. 2021-12-22]. Dostupné z: http://www.gymhol.cz/projekt/fyzika/08_interf/08_interf.htm
- [4] Laserové interferometry, Renishaw [online]. [cit. 2021-01-22]. Dostupné z: <https://www.renishaw.cz/cs/jak-funguje-interferometricky-system--38612>
- [5] Interferometry, WiKi [online]. [cit. 2021-01-22]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Interferometr>
- [6] PAVELEK, Milan. KOHERENCE ZÁŘENÍ. Vysoké Učení Technické v Brně [online]. [cit. cit. 2020-12-22]. Dostupné z: <http://ottp.fme.vutbr.cz/~pavelek/optika/0206.htm>
- [7] Záření. <http://ciselniky.dasta.mzcr.cz> [online]. [cit. cit. 2020-12-22]. Dostupné z: <http://ciselniky.dasta.mzcr.cz/hypertext/200630/hypertext/AJBDN.htm>
- [8] Vlnová délka. Univerzita Karlova v Praze [online]. [cit. cit. 2020-12-22]. Dostupné z: http://fu.ff.cuni.cz/vyuka/akustika/1_zvuk.pdf
- [9] Condition Monitoring & Maintenance Systems. Divergence [online]. [cit. cit. 2020-12-22]. Dostupné z: <http://www.cmms.cz/ustavovani-a-vyvaovani/92-divergencelaseroveho-paprsku-.html>
- [10] Interference. <http://optics.mbhs.edu> [online]. [cit. cit. 2020-12-22]. Dostupné z: <http://optics.mbhs.edu/bubbles/interference.gif>
- [11] Ústav metrologie a zkušebnictví; Laserová interferometrie [online]. [cit. 2021-02-22]. Dostupné z: <https://slideplayer.cz/slide/1992662/>
- [12] Princip laseru. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001 [online]. [cit. cit. 2020-12-22]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Laser>
- [13] Helium-neonový laser. Univerzita Karlova [online]. [cit. cit. 2020-12-22]. Dostupné z: http://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/txt_u315.pdf



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání



- [14] VOJTA, Filip. Princip laseru. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích [online]. [cit. cit. 2020-12-22]. Dostupné z: <http://www.pf.jcu.cz/stru/katedry/fyzika/prof/Svadlenkova/Princip%20laseru.pdf>
- [15] Lasery. [Http://tc-pipa.wz.cz](http://tc-pipa.wz.cz) [online]. [cit. cit. 2020-12-22]. Dostupné z: <http://tcpipa.wz.cz/lasery.html>
- [16] Lampami buzený Nd:YAG laser. MEGABLOG [online]. [cit. cit. 2020-12-22]. Dostupné z: <http://www.mega-blog.cz/lasery/hlavni-typy-laseru-pouzivanych-vprumyslu/>
- [17] ŠULC, Jan. Lasery a jejich aplikace. PLS Laser Systems [online]. [cit. cit. 2020-12-22]. Dostupné z: <http://www.plslaser.cz/pdf/lasery.pdf>
- [18] Lasery a koherentní svazky. Praha: Academia, 1990. ISBN 80-200-354-1. [online]. [cit. cit. 2020-12-22]. Dostupné z: <http://people.fjfi.cvut.cz/sulcjan1/ult/Lasery%20a%20koherentni%20svazky.pdf>
- [19] Laserové zařízení. UZIMEX [online]. [cit. cit. 2020-12-22]. Dostupné z: <https://www.uzimex.cz/Sortiment/Laserovy-interferometr/Agilent-technologies/Laserova-interferometrie/Laserovy-interferometr.html>
- [20] Leica T-Probe. [online]. [cit. 2020-12-22]. Dostupné z: <https://www.pesmetrology.com/hire/hire-t-probe/>.
- [21] Leica T-Probe. [online]. [cit. 2020-12-22]. Dostupné z: <https://www.hexagonmi.com/cs-CZ/products/laser-tracker-systems/leicaprobng-solutions/leica-tprobe>.
- [22] Baumer sensors, laser-distance-sensors [online]. [cit. 2021-02-24]. Dostupné z: <https://www.baumer.com/be/en/product-overview/distance-measurement/laser-distance-sensors/>
- [23] Fuka J., Havelka B.: Optika a atomová fyzika, I. Optika, fyzikální kompendium pro vysoké školy, díl IV., SPN, Praha 1961. Dostupné online.