

FIBER OPTIC INTERFEROMETRY

Petr Srnský

Master Degree Programme (5), FEEC BUT

E-mail: xsrnsk00@stud.feect.vutbr.cz

Supervised by: Milan Čučka

E-mail: xcucka00@stud.feec.vutbr.cz

Abstract: The aim of this thesis is a theoretical analysis of fiber sensoric sensing using coherent interferometry. The first part deals with the description of the sensoric fiber optic sensing and basic physical laws. In the second part is designed model of Mach-Zehnder interferometer in simulation environment VPI photonics. The latest proposal is focused on the implementation of Mach Zehnder interferometer for real functional connections.

Keywords: Interferometer, interference, coherence, detector, laser, coupler

1. ÚVOD

Cílem práce je teoretický rozbor optovláknového sensorického snímání, popis základních fyzikálních veličin a parametrů a následná simulace optického interferometru v programu VPI photonics a aplikace interferometru jako detektoru vibrací, například v různých oblastech sensorové techniky.

Interferometry rozlišujeme na fyzikální interferometry a optické interferometry. Dále se budeme zabývat pouze interferometrem optickým, který je určen pro měření známých frekvencí. Jedná se o Mach-Zehnderův interferometr.

2. OPTOVLÁKNOVÉ SENZORICKÉ SNÍMÁNÍ

Pod pojmem optovláknové sensorické snímání si lze představit určitý druh snímání parametrů za pomoci optických vláken. Zařízení sloužící ke snímání těchto parametrů se nazývá interferometr. Interferometr je zařízení využívající vlnové podoby světla.

Optické interferometry se skládají z optoelektronických součástek jako jsou například: světelné zdroje – Laserové diody nebo DFB lasery, děliče světelných paprsků – couplery nebo splitterly, optické vlnovody – jednovláknová vlákna, detektory optického záření – fotodiody.

2.1. FYZIKÁLNÍ VLASTNOSTI SVĚTLA

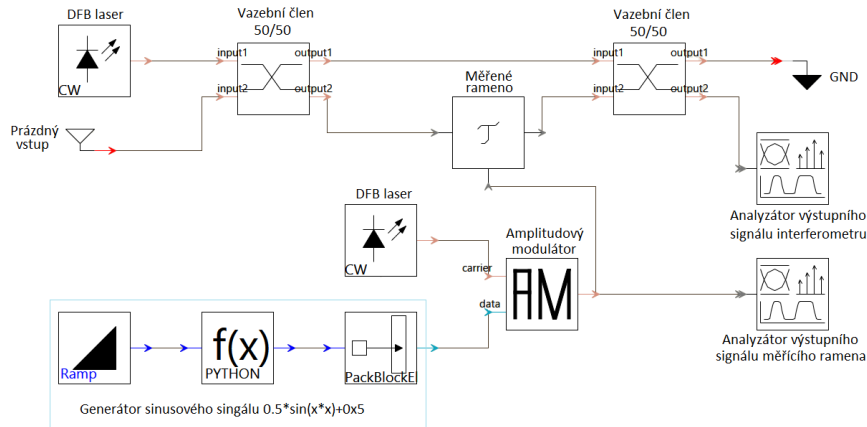
Světlo laseru je monochromatické a koherentní, čímž se zásadně liší například od žárovky. Monochromatické znamená, že má jen jednu barvu, tedy jednu vlnovou délku. Koherentní znamená, že všechny vlny, představme si je jako sinusovky, mají stejnou fázi. Interferometr využívá skutečnosti, že monochromatické světlo je schopné interference, tedy sčítání a odečítání vlny. Důležitým pojmem u optických interferometrů je koherentní délka. Koherentní udává dráhový rozdíl, při němž je světlo daného zdroje schopno interference. V konečném důsledku můžeme konstatovat fakt, že čím větší bude koherentní délka světelného zdroje daného interferometru, tím delší mohou být ramena interferometru. V praxi to znamená, že využijeme-li detektor vibrací pro střežení nějakého objektu, obsáhne tím mnohem větší detekovanou plochu, např. řádově jednotky kilometrů dlouhý oplocený areál, který je potřeba střežit před únikem vězňů. [1]

Koherentní délku lze vyjádřit vztahem:

$$L_{coh} = \frac{c}{\pi * d_v}; d_v = \frac{c}{\lambda^2} * d_l$$

2.2. SIMULACE OPTICKÉHO MIKROFONU NA BÁZI MACH-ZEHNDEROVA INTERFEROMETRU

V simulačním programu VPI photonics bylo navrženo následující schéma. Zdrojem takto navrženého interferometru je DFB laser, který vysílá optický signál do vazebního členu 2 x 2 s dělicím poměrem 50/50. Optický signál se poté rozdělí na dva signály s polovičním optickým výkonem. Horní část interferometru je tzv. referenční rameno. Z výstupu prvního vazebního členu putuje optický signál na vstup druhého vazebního členu, kde se opět rozdělí na dva optické svazky. [2]

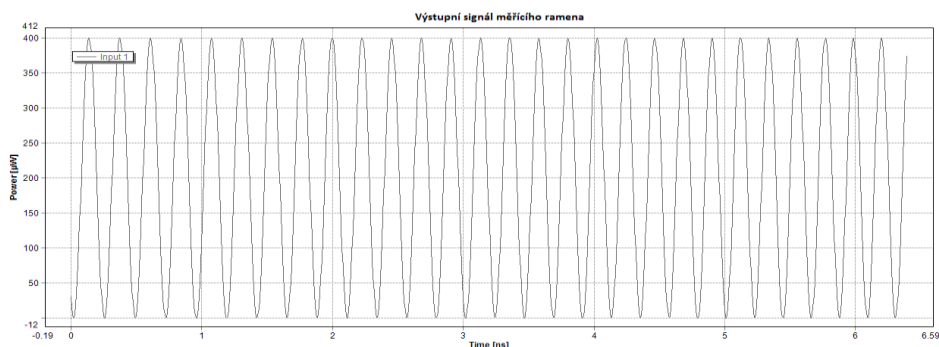


Obrázek 1: Schéma zapojení Mach-Zehnderova interferometru v simulačním prostředí.

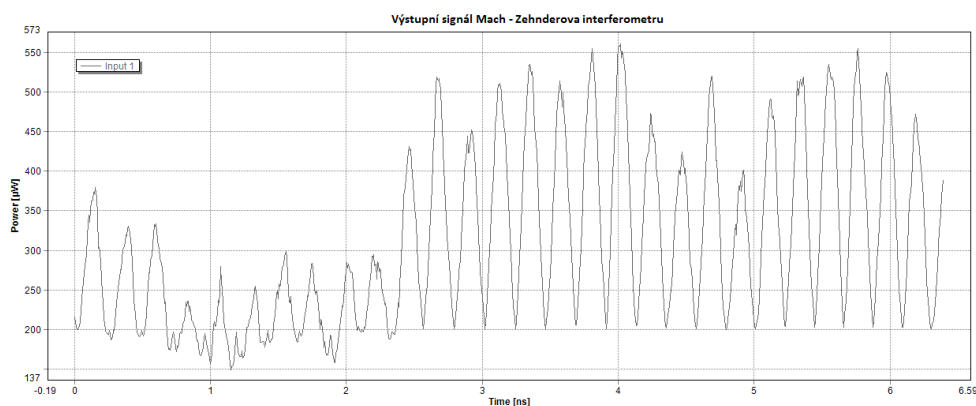
Dolní část interferometru je tzv. měřící rameno. V simulaci byl vytvořen model rušivého signálu, který je vyobrazen na obr. 2. V simulaci tento signál detekujeme pomocí analyzátoru výstupního signálu měřícího ramena. Tento signál má poloviční amplitudu oproti signálu vstupnímu, tedy signálu vstupujícímu do prvního vazebního členu. Signál je přiveden na zpožďovací prvek - blok τ , kde se mísí s původním signálem vstupního DFB laseru, který má už ovšem po průchodu prvním vazebním členem poloviční amplitudu a putuje dále na vstup druhého vazebního členu, kde se opět rozdělí v poměru 50/50. Výsledný měřený signál můžeme pozorovat na obr.3. Zpožďovací prvek byl v simulaci použit proto, abychom se co nejvíce přiblížili podmínkám reálného zapojení.

V simulaci byl jako měřený signál zvolen sinusový signál, který se skládá ze tří bloků. V prvním bloku se vytváří proměnná x . Ve druhém bloku se počítá matematická funkce $0,5 \sin(x^2) + 0,5$. Ve třetím bloku dochází k přeměně matematického signálu na signál elektrický.

Matematická funkce je volena tak, aby co nejvíce odpovídala realitě, kdy $\sin(x^2)$ reprezentuje sinusový průběh. Vynásobíme-li $\sin(x^2)$ mocnitelem 0,5, docílíme poloviční amplitudy signálu. Pokud k této funkci přičteme 0,5, posuneme frekvenční osu průběhu do poloviny osy amplitudy. Toto děláme proto, aby bylo možné signál modulovat na signál optický. [2]



Obrázek 2: Výstupní signál měřícího ramena (rušivý signál)



Obrázek 3: Výstupní signál Mach-Zehnderova interferometru

2.3. MACH-ZEHNDERŮV INTERFEROMETR V PRAXI

Interferometr lze v praxi realizovat pomocí DFB laseru s vlnovou délkou 1550 nm a vyzářovacím výkonem 0.8 mW. Stejná konfigurace byla zvolena i v simulaci. Dále lze využít dvou vazebních členů 50/50 a jednovidového optického vlákna. Z výstupu prvního vazebního členu vedeme optickým kabelem signál do druhého vazebního členu, kde světelné paprsky interferují a vyhodnocují se zde fázové změny ovlivněné změnou optické trasy měřeného ramena. Z druhého vazebního členu je optický signál převeden na signál elektrický fotodiodou, zesílen a zobrazen například na osciloskopu. V praxi můžeme optický kabel v části měřeného ramena připevnit například na membránu reproduktoru, kterou budíme elektrickým signálem, čímž dochází k vibracím membrány. Lze tedy tímto způsobem změřit frekvenci, kterou daný reproduktor generuje. Na osciloskopu poté můžeme sledovat výstupní signál interferometru.

3. ZÁVĚR

Cílem práce byl popis optovláknové interferometrie a aplikace měřícího zařízení v praxi.

V první části jsou popsány fyzikální principy, které je potřeba vysvětlit, aby byla pochopena základní problematika měřících zařízení – tyto zařízení nazýváme měřícími interferometry.

V druhé části byl simulován model optického mikrofonu na principu Mach-Zehnderova interferometru. Zde je navrženo funkční schéma v programu VPI photonics s příslušnými výstupy.

Třetí část se zabývá návrhem optického mikrofonu opět na bázi Mach-Zehnderova interferometru, který je schopen měřit známe frekvence. Zde jsou popsány základní optoelektronické prvky, ze kterých lze takový měřící přístroj sestavit.

REFERENCE

- [1] Koherenční optika – Interferometrie. ÚPT AV ČR[online]. Brno, 2017 [cit. 2017-03-10]. Dostupné z: <http://www.isibrno.cz/ko2/index.html>
- [2] DORAZIN, David. Distribuované optické senzorické systémy [online]. Brno, 2017 [2017-03-10] Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=125043
- [3] Optical fibre Mach-Zehnder Microphone. IEEE [online]. 2007, **2007**, 389-391 [cit. 2017-03-10]. DOI: 10.1109/IMOC.2007.4404287. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/search/searchresult.jsp?newsearch=true&queryText=optical%20fibre%20mach-zehnder%20microphone>