

DESIGN OF DEPOLARIZED INTERFEROMETRIC FIBER-OPTIC GYROSCOPE

Michal Skalský

Bachelor Degree Programme (3), FEEC BUT

E-mail: xskals01@stud.feec.vutbr.cz

Supervised by: Zdeněk Havránek

E-mail: havranek@feec.vutbr.cz

Abstract: This article deals with design and construction of unexpensive interferometric fiber-optic gyroscope (I-FOG) with common single-mode (SM) fiber. It is based on depolarized light and all-fiber components. Er-doped superfluorescent fiber source (SFS) is used to generate depolarized broadband light. It is utilizing a piezoelectric tube (PZT) with several windings of SM fiber to sweep phase of propagating light. Lower modulation frequency and fiber depolarizer is used to ensure stability of the output signal.

Keywords: Depolarized fiber-optic gyroscope, all-fiber optical gyro, Sagnac interferometer, angle velocity sensor

1 ÚVOD

Gyroskopy se využívají ke snímání úhlové rychlosti vůči inerciálnímu vztažnému systému. Spolu s akcelerometry a GPS představují základ inerciální navigace. Uplatňují se v letectví, astronautice, robotice, vojenství a mnoha dalších aplikacích [1]. Nejpřesnějšími a nejspolehlivějšími jsou optické gyroskopy. Jak kruhové laserové (RLG), tak vláknové (FOG) jsou ovšem velmi nákladné.

Cílem této práce bylo pokusit se navrhnout a sestavit interferometrický optovláknový gyroskop (I-FOG) z běžně dostupných komponent. Snímač by měl především demonstrovat způsob, jak lze efektivně dosáhnout snížení ceny. Odtud plynou i základní atributy navrženého řešení, které představuje použití nepolarizovaného záření a celovláknových optických komponent.

2 SAGNACŮV JEV V I-FOG

Základní princip I-FOG je jednoduchý. Koherentní záření je rozděleno vláknovým vazebním členem a navedeno do protilehlých konců optického vlákna navinutého na kruhové cívce. Vlivem rotace cívky dojde k fázovému posuvu mezi svazky ϕ_s [rad], který je dán

$$\phi_s = \frac{8\pi NA\Omega}{\lambda c}, \quad (1)$$

kde N [-] je počet závitů vlákna, A [m²] je plocha cívky, Ω [rad/s] je měřená úhlová rychlost, λ [m] je vlnová délka a c [m/s] rychlost světla ve vakuu. Oba svazky spolu ve vazebním členu interferují a detekovaná intenzita záření I [W] je dána

$$I = I_0(1 + \cos\phi_s), \quad (2)$$

kde I_0 [W] je střední hodnota intenzity (tj. bez interference) [2].

Experiment ukázal, že díky nesymetrii vazebního členu nejsou cesty obou protichůdných svazků zcela ekvivalentní. Uspořádání s jedním vazebním členem je tzv. nereciproké a dochází k chybě měření. K zajištění reciprocity byly použity dva vazební členy, jak je znázorněno na obr. 1.

3 DEPOLARIZOVANÉ ŘEŠENÍ I-FOG

3.1 OPTICKÉ VLÁKNO

Pro zajištění reciprocity se běžně používá polarizované záření a jednovidové vlákno zachovávající polarizaci (PM), které je ovšem velmi drahé. Pro realizaci bylo proto použito běžné jednovidové vlákno (SM) Thorlabs SMF-28 o délce 1000 m. Na základě provedených experimentů bylo zjištěno, že vlivem ohybů se ve vláknech utváří dvojlom, který způsobuje náhodné změny polarizace obou protichůdných svazků. To při použití polarizovaného záření vedlo na nerekiproký fázový posuv svazků a tím i na nestabilitu výstupu, značně závislou na ohybu vlákna i na vstupní polarizaci. Použitím zdroje záření LED s náhodně proměnnou polarizací byl však uvedený jev odstraněn. Díky náhodnému rozložení polarizace do všech směrů bylo průměrné zpoždění obou protichůdných svazků stejné a nerekiproké odchylky se vzájemně vrušily. Výsledky měření s tzv. minimální konfigurací jsou v souladu se vztahem (2) a jsou znázorněny v grafu na obr. 2.

Dále bylo zjištěno, že pro dosažení interference je nutné, aby v místě detektoru byla polarizace obou svazků shodná. Proto byl při experimentu mezi cívkou s vláknem a vazební člen vložen polarizační kontroler (PC), umožňující kompenzovat změnu polarizace uvnitř vlákna a dosáhnout maximální vizibility interferenčního obrazce.

Z důvodu pozorované závislosti vlastností SM vlákna na okolních podmínkách by pro stabilní výstup bylo nutné tyto změny neustále kompenzovat pomocí PC. Fixní úprava polarizace pomocí PC tedy nebyla vhodná. Ukázalo se, že polarizace musí být upravována zcela náhodným způsobem. Vizibilita tak bude kolísat mezi hodnotami 0 a 1, ale její střední hodnota bude stále 0,5.

PC bude ve finálním řešení nahrazen Lyotovým depolarizátorem generujícím pseudonáhodnou polarizaci [3]. Z důvodu zachování kompaktnosti konstruujeme jeho vláknovou variantu v podobě dvou spojených PM vláken s pootočenými osami polarizace a poměrem délek 1:2.

3.2 ZDROJ ZÁŘENÍ

Pro I-FOG je potřeba vysokého výkonu ve vláknech (několik mW) a zároveň malé časové koherence záření, zejména z důvodu omezení vlivu zpětně odraženého záření uvnitř vlákna. Konvenční řešení se superluminiscenční diodou (SLD) je poměrně drahé, bude proto použit zdroj s erbiem dopovaným vláknem (SFS), který poskytuje již nepolarizované záření a je teplotně stabilnější [1], [4].

Vlákno bude stimulováno koherentním úzkopásmovým zářením z laserové diody (LD) s vlnovou délkou 980 nm a zesílenou spontánní emisí pak bude produkovat širokopásmové záření s malou časovou koherencí na střední vlnové délce 1550 nm. Z důvodu vysoké účinnosti a zamezení šíření koherentního záření z LD do obvodu I-FOG bude vlákno stimulováno ze stejného konce, z jakého se záření šíří do I-FOG, k oddělení svazků slouží vlnový multiplexer (WDM). Situace je znázorněna na obr. 1.

3.3 ZPRACOVÁNÍ SIGNÁLU

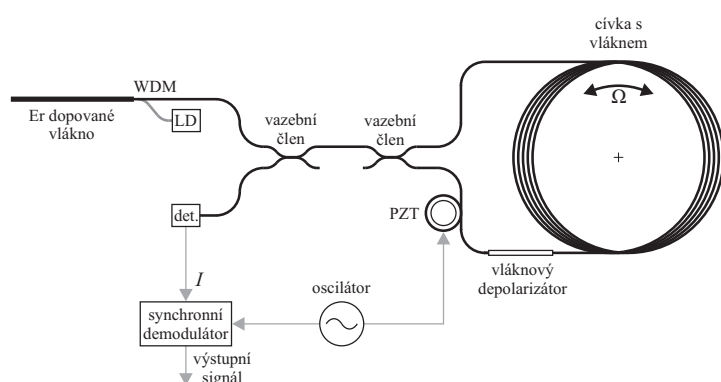
Pro odstranění nulové citlivosti pro malé rotace a nemožnosti rozlišit směr (viz graf na obr. 2) je použita fázová modulace záření harmonickým signálem. Pro zachování reciprocity se oba svazy moduluje stejně, ale s fázovým posuvem daným dobou oběhu svazku záření podél vlákna [1], [2].

Při dostatečném kmitočtu, který pro tento případ činí 132 kHz, se oba protichůdné svazky moduluje opačným směrem a výsledný fázový offset má harmonický průběh. Výstupní signál z detektoru je pak demodulován stejným kmitočtem.

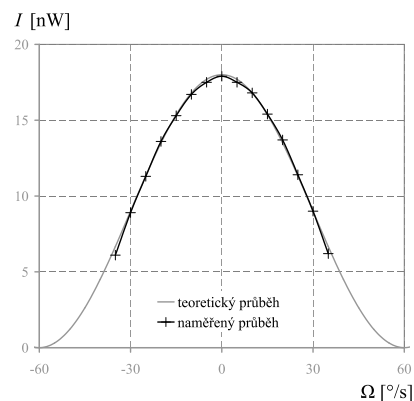
Vzhledem k použití nepolarizovaného světla je jediným řešením piezoelektrický fázový modulátor (PZT), který je tvořen opět SM vláknem navinutým a nalepeným na piezokeramickém prstenci v několika závitech. Ten je buzen harmonickým napětím, čímž se vlákno prodlužuje a zkracuje a vzniká

tak proměnlivé fázové zpoždění svazků záření.

Jelikož je vlákno rozpínáno kruhově, může s modulací docházet také ke změně dvojlomu vedoucí na proměnlivost stavu polarizace. Ukázalo se, že tento jev lze potlačit použitím nižšího modulačního kmitočtu. Zpoždění modulace mezi svazky zůstává stejné, je proto nutné použít větší hloubku modulace. S její velikostí však opět narůstá vyvolaný náhodný dvojlom. Jako optimální se ukázalo použití modulace ± 10 V na 27 kHz.



Obrázek 1: Schéma navrženého uspořádání I-FOG s fázovou modulací harmonickým signálem



Obrázek 2: Výsledná převodní charakteristika minimální konfigurace I-FOG

4 ZÁVĚR

Podařilo se navrhnout a z velké části sestavit (v době tvorby článku bylo finální řešení podle obr. 1 těsně před dokončením, chyběl jen SFS zdroj) funkční variantu I-FOG za použití výhradně vláknových komponent s nízkou cenou, velkou robustností a snadnou zástavbou. Přestože se jedná o prototypové řešení v podobě samostatných prvků, poskytuje vizi vláknového gyroskopu tvořeného od zdroje až po detektor jediným vláknem formovaným do podoby jednotlivých komponent. Toto řešení je dále stabilní a reciproké i s nepolarizovaným světlem, což umožňuje použít SM vlákno a SFS zdroj namísto velmi drahého PM vlákna a SLD, které jsou součástí konvenčních řešení I-FOG.

REFERENCE

- [1] LAWRENCE, A.: Modern Inertial Technology: Navigation, Guidance, and Control. 2nd ed. New York: Springer-Verlag, 1998. s. 169-207. Mechanical Engineering Series. ISBN 0-387-98507-7.
- [2] MERLO, S., M. NOROGIA a S. DONATI: Fiber Gyroscope Principles. In: Handbook of Optical Fibre Sensing Technology [online]. New York: Wiley, 2002. [cit. 2013-11-24]. ISBN 978-0-471-82053-6. Dostupné z: <http://www-3.unipv.it/donati/papers/2c.pdf>.
- [3] KERSEY, A. D. et al.: Fiber Optic Gyroscopes with depolarized light [online]. Inventors: A. D. Kersey, W. K. Burns a R. P. Moeller. United States Patent No. 5,319,440. 7. 6. 1994. Dostupné z: http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=144925.
- [4] WYSOCKI, P. F., M. J. F. DIGONNET, B. Y. KIM a H. J. SHAW: Characteristics of Erbium-Doped Superfluorescent Fiber Sources for Interferometric Sensor Applications. In: Journal of Lightwave Technology [online]. Washington: Optical Society, 3. března 1994, roč. 12, č. 3 [cit. 2013-11-24]. ISSN 0733-8724. Dostupné z: http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=285318.