

Capteur polarimétrique à fibre optique à cavité de Fabry-Pérot externe appliqué à la vélocimétrie.

Élisabeth Ouisse*, Vincent Métivier*, Noël Servagent*, Christian Boisrobert**,

*SUBATECH, UMR École des Mines de Nantes, IN2P3/CNRS, Université de Nantes, 44307 Nantes Cedex 3 - France.

**LPIO, Faculté des Sciences de Nantes, BP 92208, 44322 Nantes Cedex 3 - France.

Elisabeth.Ouisse@subatech.in2p3.fr

Résumé : Cet article est consacré à l'exposé du principe d'un interféromètre de Fabry-Pérot extrinsèque à fibre optique (EFFPI) adapté à la mesure de la vitesse de vibration d'une cible. Nous détaillons notamment la méthode utilisée pour connaître le sens de déplacement de la cible, basée sur la décomposition de la polarisation de l'onde optique. Nous discutons également sur le choix de fibres à maintien de polarisation dans le bras de mesure.

Mots Clés : *interférométrie, fibre optique, polarisation, vélocimétrie.*

1. Introduction

Nous présentons un interféromètre de Fabry-Pérot [1, 2] extrinsèque à fibre optique (EFFPI) adapté à la mesure de la vitesse de vibration d'une cible. Afin de connaître le sens du déplacement de la cible, nous utilisons une méthode polarimétrique pour créer deux jeux d'interférences, propagés dans le même bras fibré. Une attention particulière doit alors être portée au maintien de la polarisation lors de la propagation dans les fibres.

2. Principes

L'interféromètre développé, de type Fabry-Pérot (FP) [2], est formé par l'extrémité d'une fibre optique et une cible dont on souhaite mesurer la vitesse de vibration (cf. Figure 1). Cet interféromètre est assimilé à un interféromètre à deux ondes car le coefficient de réflexion à la sortie de la fibre est faible (4%). L'intensité I du signal observée par un photo détecteur après réflexion et passage dans la f.o. est modulée cosinusoidalement, ce qui ne permet pas de déterminer directement le sens de déplacement de la cible. Nous avons alors créé deux systèmes d'interférences distincts décalés temporellement ; ainsi, les temps de vol dans la cavité pour ces deux signaux seront très légèrement différents lorsque la cible est mobile : l'un des deux systèmes sera en avance par rapport à l'autre lorsque la cible s'éloigne de la fibre optique et inversement lorsqu'elle se rapproche.

L'onde optique issue d'une diode laser est guidée dans la f.o. ; polarisée elliptiquement, elle peut être séparée en deux composantes orthogonales E_x et E_y déphasées de $\Delta\theta_1$. Les composantes E_x et E_y partiellement réfléchies sur la f.o. sont recouplées et guidées dans la f.o. après réflexion sur la cible et interfèrent avec leurs homologues. Une lame à retard introduite dans la cavité FP génère un déphasage $\Delta\theta_2 \neq \Delta\theta_1$ entre les composantes E_x et E_y qui dépend du sens de mouvement de la cible.

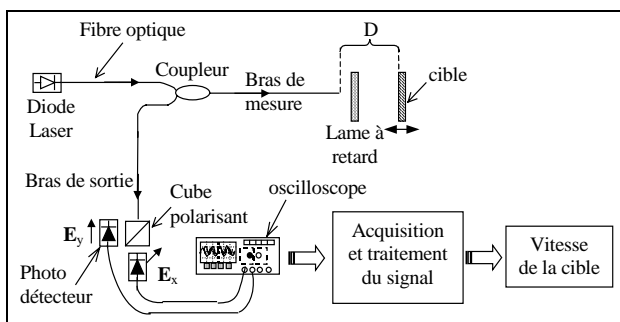


Figure 1 : Schéma du capteur EFFPI adapté à la mesure de vitesse et du sens de déplacement d'une cible en mouvement.

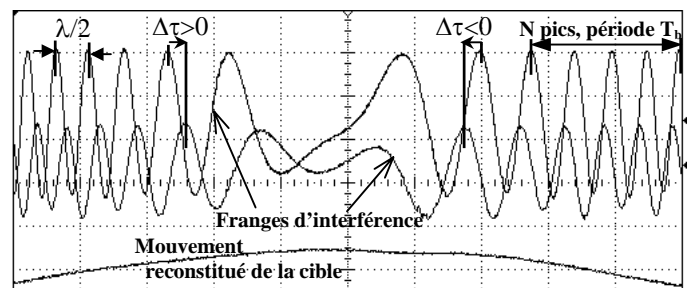


Figure 2 : Signaux d'interférences observés à l'oscilloscope.

Le système de détection du capteur EFFPI, constitué d'un cube séparateur polarisant et de deux photodiodes (cf. Figure 1), permet d'observer séparément les deux jeux d'interférences, leur décalage temporel permettant de déterminer le sens de déplacement de la cible (cf. Figure 2). À partir de ces signaux d'interférences, nous extrayons la fréquence de battement f_b de l'un ou l'autre des signaux sur une portion linéaire du déplacement de la cible. Cette fréquence est fonction du nombre N de maxima pendant la durée T_b :

$$f_b = (N-1)/T_b \quad (1)$$

La mesure de la fréquence f_b permet de remonter à la vitesse de vibration V_c de la cible :

$$V_c = \lambda/2 \cdot f_b \quad (2)$$

La vitesse de vibration de la cible est donc directement déterminée par cette fréquence de battement et la longueur d'onde d'émission λ de la source.

3. Expérimentations et résultats

Nous avons montré la faisabilité de ce capteur [3], en étudiant notamment la répétitivité des résultats au cours du temps. L'ouverture numérique de la f.o. limite à 3-4° maximum l'angle entre la fibre et une cible de type miroir, au-delà, les ondes réfléchies ne sont plus couplées dans la f.o.. Cet angle limite est augmenté jusqu'à 20-30° en utilisant une cible rétro réfléchissante (micro-prismes), qui réfléchit le faisceau dans la même direction que le faisceau incident [3]. Malheureusement les cibles utilisées sont biréfringentes et peuvent introduire une incertitude concernant la détermination du sens de déplacement.

Ce capteur a été comparé avec un autre capteur de vitesse [4]. Les mesures de vitesse faites par l'EFFPI concordent avec celles du capteur de référence, l'écart ne dépassant pas 4% (cf. Figure 3).

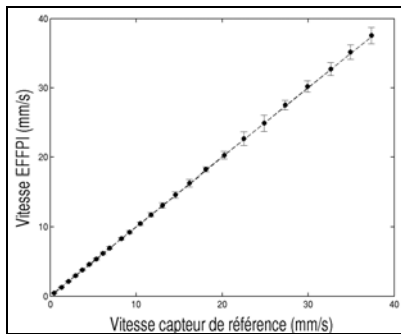


Figure 3 : Comparaison des vitesses mesurées par l'EFFPI avec un capteur de référence.

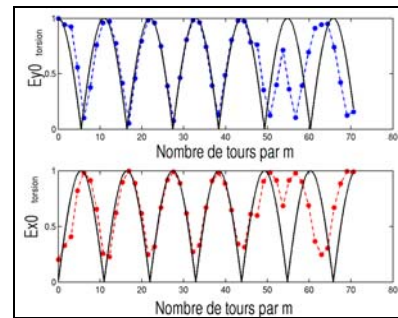


Figure 4 : Variation des amplitudes de torsion E_{x0} et E_{y0} d'une f.o. gainée en fonction du nombre de tours donnés à cette même fibre.

Cependant, lorsque des contraintes (pression, torsion) sont appliquées sur la f.o. du bras de mesure, l'état de la polarisation de l'onde transmise est perturbé et il devient difficile de connaître avec certitude le sens de déplacement de la cible.

Afin de nous affranchir de cet inconvénient, nous avons tout d'abord envisagé l'utilisation d'une f.o. torsadée [5]. Avec ce type de fibre, les composantes E_x et E_y du champ $E(z,t)$ évoluent cycliquement en fonction du nombre de tour qu'on lui donne (cf. Figure 4) [6]. Il existe un nombre de tour pour lequel les polarisations en entrée et en sortie de la f.o. sont identiques. Cependant la f.o. utilisée pour les expérimentations est protégée par une gaine époxy qui n'a pas les mêmes propriétés mécaniques que le système cœur-gaine optique. Il existe un nombre de tour limite ($\sim 50 \text{ tours.m}^{-1}$) pour lequel les gaines optique (en silice) et mécanique (en époxy) se désolidarisent : la torsion appliquée au système cœur-gaine ne correspond plus alors à celle effectivement appliquée (à la gaine époxy). On observe un glissement de la gaine optique par rapport à la gaine mécanique qui se traduit par une rupture de l'évolution cyclique des amplitudes E_{x0} et E_{y0} du champ $E(z,t)$. Les courbes en traits pleins correspondent aux modélisations de l'évolution théorique des amplitudes E_{x0} et E_{y0} en fonction du nombre de tours de f.o. Pour résoudre le problème de glissement des gaines optique et mécanique, il faudrait pouvoir travailler avec une f.o. sans gaine mécanique mais cette dernière serait alors trop fragile.

Dans un second temps, nous avons remplacé la f.o. « classique » du bras de mesure par une f.o. à maintien de polarisation (de type *PandaTM*). Ainsi le déphasage entre les deux signaux d'interférence est maintenu même lorsque la fibre est contrainte. Si l'utilisation de ce type de f.o. semble convenir pour la polarisation de notre système, elle nécessite cependant, d'injecter le signal suivant un axe précis dans la f.o.

4. Conclusion et perspectives

Le capteur développé permet de faire des mesures de vitesse et de déplacement d'une cible avec une sensibilité de $\lambda/2$ (équivalent à une période, cf. Figure 2) sur le déplacement. Cette sensibilité pourra être augmentée en faisant une analyse interférométrique du signal sinusoïdal d'interférence. Le capteur et le traitement du signal associé sont relativement simples de mise en œuvre et nous avons montré que les mesures de la vitesse de vibration d'une cible sont répétables. L'utilisation d'une f.o. spécifique à maintien de la polarisation permet de déterminer sans ambiguïté le sens de déplacement de la cible. Notons toutefois que l'emploi d'une telle fibre exige une injection contrôlée de la polarisation. Afin de nous affranchir de l'utilisation de miroirs, nous avons envisagé des cibles à base de micro-prismes. Cependant, leur biréfringence semble perturber le signal et nous étudions donc actuellement leur influence exacte sur l'état de la polarisation du signal afin de savoir si elles sont compatibles avec l'emploi de fibre optique à maintien de polarisation dans le cadre de notre application.

Références bibliographiques

- [1] E. Udd, « An overview of fiber-optic sensors », Rev. Sci. Instrum., Vol. 66, No. 8, pp. 4015-4030, 1995.
- [2] C.E. Lee, J.J. Alcoz, Y. Yeh, W.N. Gibling, R.A. Atkins & H.F. Taylors, « Optical fiber Fabry-Perot sensors for smart structures », Smart Mater. Struct., Vol. 1, pp. 123-127, 1992.
- [3] H.C. Seat, E. Ouisse, E. Morteau and V. Métivier, « Vibration-displacement measurements based on a polarimetric extrinsic fibre Fabry-Perot interferometer », Meas. Sci. Technol., Vol. 14, pp 710-716, 2003.
- [4] X. Raoul, T. Bosch, N. Servagent, « Double laser diode speed sensor for contactless measures of moving targets », Fifth international conference on Vibration Meas. by Laser Techniques : Advances and Applications, SPIE, Italy, 2002.
- [5] S.C. Rashleigh, member IEEE, « Origins and Control of Polarization Effects in Single-Mode fibers », J. of Lighthwave Tech., Vol. LT-1, No. 2, June 1983.
- [6] E. Ouisse, V. Métivier, H. C. Seat, N. Servagent, Ch. Boisrobert, « Capteur interférométrique extrinsèque de Fabry-Pérot à fibre optique (EFFPI) adapté à la vélocimétrie », Journée Nationales de l'Optique Guidée, pp. 343-345, Valence, nov. 2003.