

高周波光位相変調を用いた高速振動変位の精密測定

Precision measurement of high-speed vibration displacement using high-frequency optical phase modulation

農工大工, °土屋 光輝, 木村 亮祐, 伊藤 孝優, 田中 洋介, 黒川 隆志

Tokyo Univ. of Agri. & Tech., °Koki Tsuchiya, Ryosuke Kimura, Takamasa Ito, Yosuke Tanaka, Takashi Kurokawa

E-mail: tyosuke@cc.tuat.ac.jp

1.はじめに

マイクロマシンや生体計測の分野で、微小領域の高速振動変位計測に関心が高まっている。非接触で精密測定可能なレーザ変位計は、高速振動変位計測応用への期待が大きい。定常振動の高速振動変位計測に対しては、様々な手法が考案されている。一方、非定常的な振動変位や、瞬時変位を簡単に精密測定する手法はあまりない。我々は、三角波位相変調を用いることで、周波数が数 100 kHz から数 MHz の高速振動変位を高精度かつ簡便に測定可能なことを実証してきた。今回、より高周波な 10 MHz オーダーの振動変位測定手法として、正弦波位相変調を用いた手法を検討し、誤差評価を行ったので報告する。

2.原理と実験

Fig.1 に提案する振動変位測定の実験系を示す。半導体レーザー($\lambda=1537$ nm)からの出射光が、偏波保持光ファイバで構成された Mach-Zehnder 干渉計に入射し、プローブ光と参照光に分けられる。プローブ光は、振動物体で反射され(Fig.1(a))、参照光は、LN 位相変調器により、物体の振動周波数より十分高周波な正弦波で位相変調される。変調動作点は、正弦波による位相変調 1 周期 T の間に、干渉光パワーが最小、最大となる時刻が必ずあるような点にする。Fig.2 に干渉信号の模式図を示す。干渉信号が最小値となる時刻の間隔 T_1, T_2 は物体の変位に伴って変化しそれらの和は、正弦波変調の 1 周期 T と等しい。正弦波変調の 1 周期 T 経過後、時間間隔 T_1, T_2 が T_3, T_4 に変化したとすると、変位 ΔL は、

$$\Delta L = \frac{\lambda V_A}{4nV_\pi} \left\{ \sin\left(\frac{\pi}{2} \cdot \frac{T_3 - T_4}{T}\right) - \sin\left(\frac{\pi}{2} \cdot \frac{T_1 - T_2}{T}\right) \right\} \quad (1)$$

で与えられる。但し、 λ は光源波長、 V_A は変調信号振幅、 V_π は半波長電圧、 n は振動物体近傍の屈折率である。

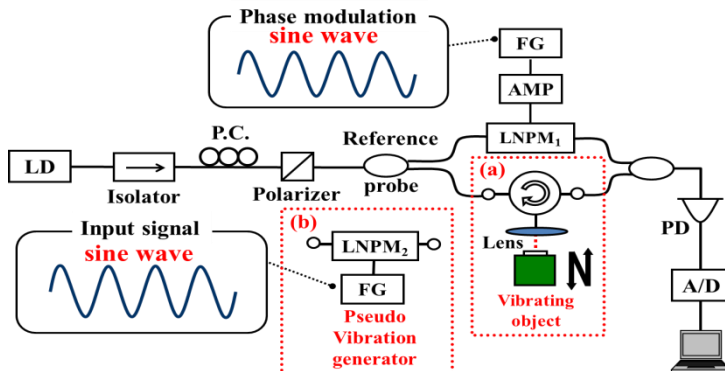


Fig.1. Schematic of vibration displacement measurement system.

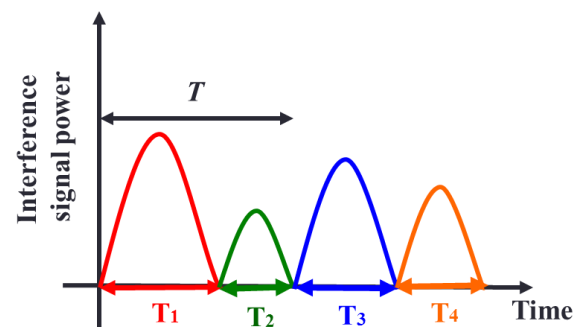


Fig.2. Interference signals.

原理確認のため、LN 位相変調器(LNPM2)による擬似振動発生器をプローブ光路に挿入した(Fig.1(b))。参照光路の位相変調器(LNPM1)には、振幅 3.12 V、周波数 100 MHz の正弦波を印加した。Fig.3 に、一例として振幅 0.75 V、周波数 10 MHz の正弦波入力による擬似振動(変位振幅 24.5 nm)に対する測定結果を示す。標準偏差は 0.64、理論波形とのフィッティングによる R 値は 0.99 で、高い精度での測定を実現できた。

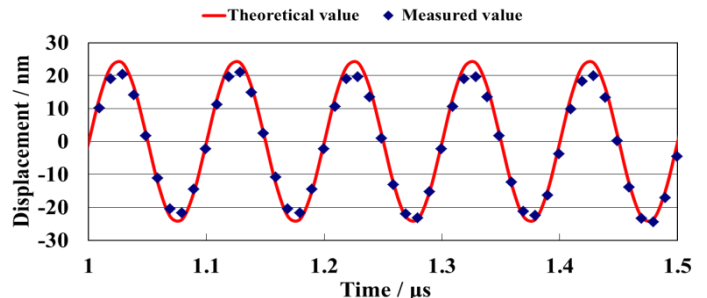


Fig.3. Measured displacement of 10-MHz vibration

3.まとめ

正弦波位相変調光を用いた 10 MHz オーダー高速振動の変位測定手法を提案し、原理確認を行った。これまで検討を進めてきた三角波位相変調光による手法と比べ、測定値の標準偏差はやや劣るものの、以前よりも高周波な 10 MHz の振動変位測定ができた。本研究は、日本学術振興会科学研究費補助金(15K13996)の助成を受けた。

参考文献

- [1] Y. Tanaka, N. Miyata, T. Kurokawa, Meas. Sci. Technol., vol.25, (025202), 2014.
- [2] 伊藤、木村、田中、黒川、2015 年度日本光学会年次学術講演会、PD-2、2015 年 10 月。
- [3] 木村、伊藤、田中、黒川、光波センシング技術研究会予稿集 LST56-29、pp.183-188、2015 年 12 月。