



بیست و ششمین کنفرانس اپتیک و
فوتونیک ایران و دوازدهمین کنفرانس
مهندسی و فناوری فوتونیک ایران،
دانشگاه خوارزمی،
تهران، ایران.
۱۵-۱۶ بهمن ۱۳۹۸



ساخت و شبیه سازی دستگاه ارتعاش سنج و سرعت سنج لیزری مبتنی بر اثر دوپلر

ونداد صانعی نژاد^۱، فاطمه رضائی^۱، امیرحسین براتی سده^۲، پویا گورانی^۲

۱. تهران، شریعتی، دانشکده فیزیک، دانشگاه خواجه نصیر الدین طوسی.

۲. تهران، اوین، پژوهشکده لیزر و پلاسما، دانشگاه شهید بهشتی.

چکیده- در این مقاله، ساخت و شبیه سازی دستگاه ارتعاش سنج لیزری مبتنی بر اثر دوپلر مورد مطالعه قرار گرفته است. از چیدمان تداخلی مایکلسون جهت تجزیه باریکه ی لیزر به دو بازوی مرجع و اندازه گیری بهره گیری شده است. چیدمان مورد استفاده در این آزمایش از نوع هموداین می باشد. نتایج حاصل از این تحقیق نشان دهنده همخوانی قابل قبولی بین نتایج حاصل از اندازه گیری های دستگاه با فرکانس مشخص داده شده به دستگاه می باشد که این موضوع نشان دهنده دقت بالای دستگاه در اندازه گیری هاست. همچنین، با پردازش مناسب سیگنال ها و حذف کلیه نوفه های اپتیکی، الکتریکی و محیطی می توان فرکانس جسم مرتعش را با تمایز سیگنال از نوفه استخراج نمود.

کلید واژه- ارتعاش سنج، لیزر، دوپلر، هدف متحرک، نوفه.

Construction of laser Doppler vibrometer and velocimeter device

Vandad Saneinejad 1, Fatemeh Rezaei 1, Amirhossein Barati Sedeh 2, Pouya gourani 2

1. Tehran, Shariati, Physics Faculty, Khajeh Nasir Toosi University of Technology.

2. Tehran, Evin, Laser and Plasma Research Institute, Shahid Beheshti University.

Abstract- In this paper, construction of laser Doppler vibrometer device is studied. Michelson interferometer has been used to divide the laser beam into two reference and measurement arms. The used set-up in this experiment is from kind of homodyne group. The results indicate an acceptable consistency between the results of the measurement of device with identified frequency given to device which shows the high accuracy of the device in the measurements. Furthermore, by suitable signal processing and omitting all of optical, electrical and background noises, the frequency of vibrating object can be extracted with discrimination of the signal from noise.

Keywords: vibrometer, laser, Doppler, moving target, noise.

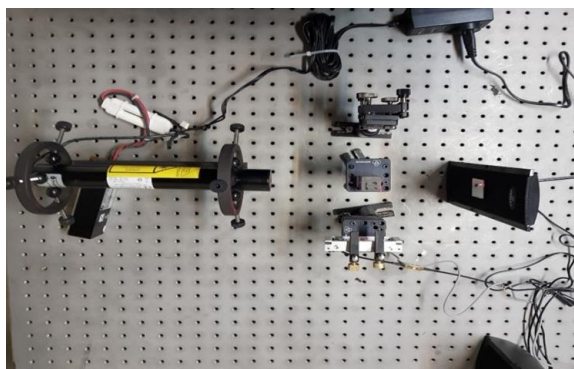
مقدمه

امروزه دستگاه ارتعاش سنج و سرعت سنج لیزری مبتنی بر اثر دوپلر (LDV) کاربردهای متعددی در اندازه گیری سرعت شاره ها و اجزای تشکیل دهنده آنها [۱]، تخمین سرعت اجسام متحرک از قبیل سرعت حرکت موجودات زنده، خودرو و هواپیما [۲] و همچنین تخمین سرعت اجسام چرخان مانند پره های هواپیما، هلیکوپتر [۳]، اندازه گیری ضربان قلب و ارتعاشات پرده گوش [۴] و همچنین بررسی رسیدگی در میوجات و سبزیجات [۵] را دارا می باشد. علاوه، اندازه گیری های زیستی از قبیل برآورد ضربان قلب، آهنگ تنفس، میزان قند و فشار خون و... با این دستگاه می تواند صورت پذیرد. گروه های متعددی به اندازه گیری سرعت اجسام متحرک و چرخان با استفاده از دستگاه LDV پرداختند. به عنوان مثال، کینان و همکارانش [۶] سرعت حرکت ذرات در شاره ها را مورد مطالعه قرار دادند. آنها مشاهده کردند که اندازه و قطر ذرات در نتیجه بدست آمده بی تاثیر می باشد، در حالی که افزایش سرعت شاره منجر به افزایش فرکانس اندازه گیری شده می شود. در این تحقیق ساخت دستگاه ارتعاش سنج لیزری مبتنی بر اثر دوپلر که با استفاده از چیدمان تداخلی مایکلسون، مورد مطالعه قرار گرفته است.

چیدمان آزمایشگاهی

برای ساخت این دستگاه، از چیدمان هموداین تداخل سنج مایکلسون جهت برآورد ارتعاش و سرعت هدف مورد نظر استفاده شده است. طرحواره ای از این چیدمان در شکل ۱ نشان داده شده است. همانطور که در این شکل مشاهده می شود پرتوی لیزر ابتدا به یک جدا کننده پرتو برخورد

می کند و سپس، به دو پرتوی مرجع و اندازه گیری تجزیه می گردد. پرتوی مرجع دارای فرکانس نور لیزر می باشد. در بازوی مرجع نور به آینه برخورد می کند و پس از بازتاب با همان فرکانس لیزر به سمت آشکارساز می رود. در بازوی اندازه گیری نور به جسم مرتعش برخورد می کند و دچار شیفت فرکانسی دوپلر می شود. این دو پرتوی مرجع و اندازه گیری در فوتودیودها تداخل کرده و از آنجا که سیگنال تداخلی با تفاضل فرکانسی دو بازو متناسب است، می توان از تبدیل فوریه نور تداخلی، فرکانس جسم مرتعش را مشاهده کرد. لازم به ذکر است که از مدار تفاضلی quadrature جهت کاهش نوفه ها در بخش الکترونیک دستگاه استفاده شده است. این مدار، نوسانات تداخلی دو بازو را در فوتودیودها به ولتاژ تبدیل کرده و سپس، آن را به اسیلوسکوپ هدایت می کند. در اسیلوسکوپ، رفتار زمانی و فرکانسی جسم متحرک مشاهده می شود.

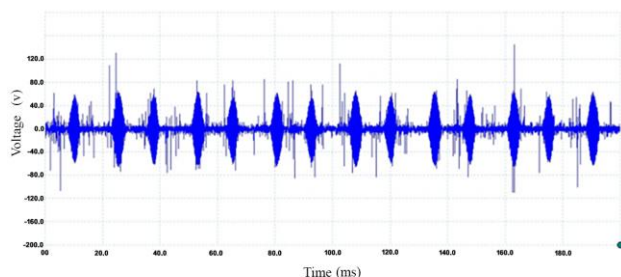


شکل ۱: نمایی از اجزای داخلی دستگاه ارتعاش سنج لیزری مبتنی بر اثر دوپلر جهت اندازه گیری سرعت و ارتعاش جسم متحرک.

پردازش سیگنال و حذف نوفه

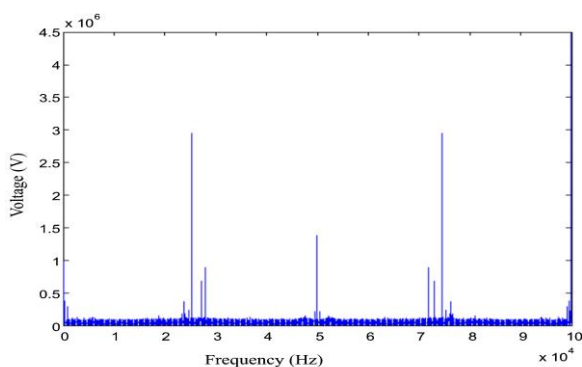
در یک دستگاه LDV، رزولوشن جابجایی و سرعت، نشانگر مینیمم جابجایی و سرعت قابل اندازه گیری این سیستم می باشد. به طور کلی، معمولاً این رزولوشن به واسطه نوفه

تداخلی در شکل ۲ برای فرکانس ۳۰ هرتز نشان داده شده است. همانطور که در این شکل ملاحظه می شود زنش های منظمی رویت می گردد.



شکل ۲: فرکانس سیگنال تداخلی برای فرکانس ۳۰ هرتز.

سپس، فرکانس مولد روی ۳۸۰ هرتز تنظیم شده است. شکل ۳، تحولات فرکانسی سیگنال تداخلی را برای بلندگوی مرتعش که فرکانس ارتعاش آن با دستگاه LDV اندازه گیری شده است را نشان می دهد. لازم به ذکر است این رفتار فرکانسی از تبدیل فوریه شکل های زمانی حاصل شده است.



شکل ۳: تحولات فرکانسی جسم مرتعش قبل از حذف نوبه ها.

همانطور که در شکل ۳ ملاحظه می شود، نوبه های متعددی در شکل ملاحظه می شود که برخی در مضارب ۵۰ ظاهر می شوند که بر سیگنال برق شهر دلالت می کنند. همچنین، برخی از نوبه ها که به اتصالات الکترونیکی سیم ها و بخش های مدار می شوند، در این شکل به همراه هماهنگ های آن ظاهر شده اند. نور محیط، تابش زمینه شدیدی را دربر دارد که از سیگنال کل حذف خواهد شد. بعلاوه، سهم نوبه های اپتیکی شات مربوط به لیزر و قطعات

سیستم محدود می شود. در این مقاله، نوبه های اصلی که رزولوشن سیستم LDV را محدود می کنند، شامل موارد ذیل می باشد: الف) نوبه شات که توسط لیزر و مدارهای الکترونیکی ایجاد می شود. ب) نوبه گرمایی آشکارساز و پیش تقویت کننده که به نوبه جانسون موسوم می باشد. ج) نوبه فلیکر که ناشی از قطعات نیمه رسانای مدار الکتریکی می باشد. د) نوبه پردازش سیگنال که شامل نوبه های ایجاد شده به سبب پردازش سیگنال می باشد. ه) نوبه اسپکل که به ارتعاش سطح و یا چرخش هدف مربوط می شود. شدت سیگنال تداخلی دریافتی توسط آشکارساز از حاصل ضرب میدان های دو بازوی مرجع و اندازه گیری از رابطه زیر حاصل می شود:

$$I = \frac{1}{2} [I_{01} + I_{02} + 2\sqrt{I_{01}I_{02}} \cos[(k_1 - k_2).r - (\omega_1 - \omega_2).t]]. \quad (1)$$

که در رابطه فوق I_{01} ، I_{02} ، k_1 ، k_2 ، ω_1 ، ω_2 به ترتیب نشان دهنده شدت سیگنال اول، شدت سیگنال دوم، عدد موج سیگنال اول، عدد موج سیگنال دوم، فرکانس سیگنال اول و فرکانس سیگنال دوم می باشند.

جابجایی فرکانسی دوپلر که ناشی از سرعت هدف متحرک است از رابطه زیر بر حسب سرعت جسم مرتعش بدست می آید:

$$f_d = 2f \frac{v}{c} = 2 \frac{v}{\lambda}. \quad (2)$$

در رابطه فوق، c سرعت نور، v سرعت جسم هدف و λ طول موج نور می باشد.

نتایج و بحث

در این بخش تحلیل رفتار زمانی و فرکانسی سیگنال ها قبل و بعد از پردازش نوبه ارائه شده است. برای شروع آزمایشات از بلندگویی که به یک مولد تولید پالس با فرکانس مشخص متصل شده است، استفاده شده است. رفتار زمانی سیگنال

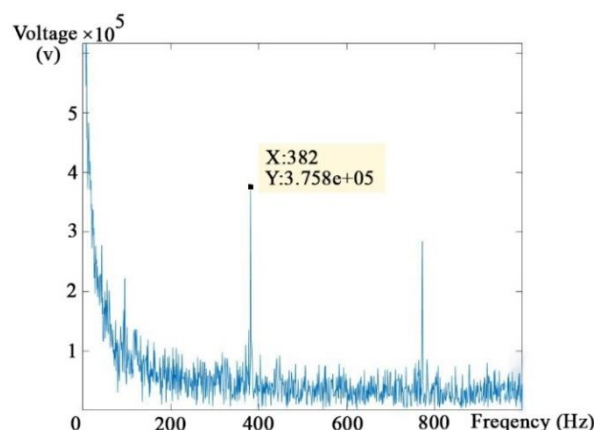
نتیجه گیری

در این تحقیق، با بهره گیری از چیدمان هموداین تداخل-سنج مایکلسون و در نظر گرفتن کلیه نوفه های موجود و پردازش مناسب سیگنال ها، دستگاه ارتعاش سنج لیزری دوپلری ساخته شده است. همانطور که در نتایج بدست آمده مشخص است همخوانی بسیار مناسبی بین فرکانس ایجاد شده توسط مولد فرکانسی متصل به بلندگو و فرکانس اندازه گیری شده به کمک دستگاه ارتعاش سنج و سرعت سنج لیزری وجود دارد. لذا، می توان سرعت و ارتعاشات که اجسام جامد مرتعش و متحرک را به آسانی با این دستگاه اندازه گیری نمود.

مراجع

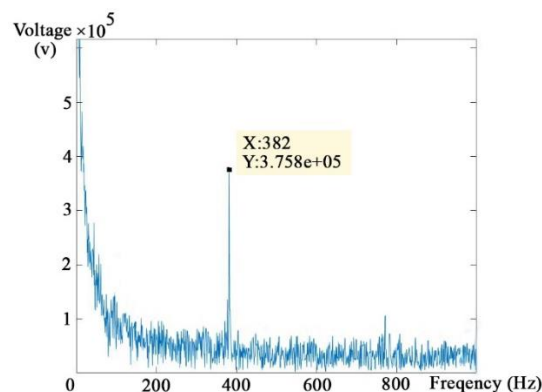
1. Sato, H. and M. Takagi, *Airflow Measurement Around Passenger Car Models Using a Two-Channel Laser Doppler Velocimeter*. 1993, SAE Technical Paper.
2. Mues, W., J. Hens, and L. Boiy, *Observation of a dynamic wetting process using Laser-Doppler velocimetry*. AICHE journal, 1989. 35(9): p. 1521-1526.
3. Martin, P., G. Pugliese, and J. Leishman. *Laser Doppler velocimetry uncertainty analysis for rotor blade tip vortex measurements*. in 38th Aerospace Sciences Meeting and Exhibit. 2000.
4. G. Cosoli, L. Casacanditella, EP. Tomasini, L. Scalise, *Evaluation of Heart Rate Variability by means of Laser Doppler Vibrometry measurements*, Journal of Physics: Conference Series, 2015, 658, p. 012002.
5. Muramatsu, N., et al., *Remote sensing of fruit textural changes with a laser Doppler vibrometer*. Journal of the American Society for Horticultural Science, 2000. 125(1): p. 120-127.
6. Keenan, L. and K.O. Chapin, *Laser Doppler Velocimetry*. Final Report, Physic 173: Biophysic Laboratory, 2009.

اپتیک در این شکل ظاهر شده است که محاسبه می شود و از سیگنال برآیند حذف می گردد. با بزرگنمایی کردن بر نواحی فرکانسی پایین فرکانس ۳۸۰ هرتز به خوبی مشاهده می شود که در شکل ۴ نشان داده شده است.



شکل ۴: رفتار زمانی سیگنال مرتبط با جسم مرتعش در نواحی پایین فرکانسی.

برای حذف نوفه ها از روش آماری آنوا استفاده شده است که طرحواره ای از شکل پردازش شده در شکل ۵ ارائه شده است. شکل ۵ نمایی از سیگنال پردازش شده را طی حذف نوفه ها نشان می دهد.



شکل ۵: رفتار فرکانسی جسم مرتعش بعد از پردازش سیگنال و حذف نوفه ها برای فرکانس مولد ۳۸۰ هرتز.

با محاسبه فرکانس، از رابطه (۲) می توان سرعت حرکت جسم مرتعش را بدست آورد که برابر است با m/s $10^{-4} \times 1.2$.