UDC 621.002.56 https://doi.org/10.15407/itm2020.02.089

О. В. ПИЛИПЕНКО, О. В. ДОРОНІН, М. Б. ГОРЄВ, І. Ф. КОДЖЕСПІРОВА

ДВОЗОНДОВІ ВИМІРЮВАННЯ ПЕРЕМІЩЕННЯ МЕХАНІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ У ШИРОКОМУ ДІАПАЗОНІ КОЕФІЦІЄНТА ВІДБИТТЯ

Інститут технічної механіки
Національної академії наук України і Державного космічного агентства України,
вул. Лешко-Попеля, 15, 49005, Дніпро, Україна;; e-mail: ifk56@ukr.net

Розглянуто двозондовий варіант надвисокочастотної інтерферометрії для вимірювання переміщення механічних об'єктів з невідомим коефіцієнтом відбиття. Ціль роботи полягає в підвищенні точності вимірювання переміщення у широкому діапазоні коефіцієнта відбиття. Одержано залежність похибки вимірювання від міжзондової відстані, довжини зондуючої електромагнітної хвилі у вільному просторі, розміру широкої стінки хвилевідної секції із зондами та коефіцієнта відбиття об'єкта з урахуванням відхилення струмів напівпровідникових детекторів, з'єднаних із зондами, від їхніх теоретичних значень. Зі збільшенням довжини зондуючої електромагнітної хвилі похибка проходить через мінімум для коефіцієнтів відбиття, близьких до одиниці, і монотонно збільшується для менших коефіцієнтів відбиття. Така поведінка похибки зумовлена тим, що зі збільшенням довжини зондуючої електромагнітної хвилі та/або зменшенням коефіцієнта відбиття власна похибка двозондових вимірювань зменшується, на той час як похибка, пов'язана з відхиленням струмів детекторів від їхніх теоретичних значень, збільшується. Запропоновано методику зменшення похибки. Методика полягає у зміні довжини зондуючої електромагнітної хвилі у вільному просторі в залежності від виміряного коефіцієнта відбиття. У порівнянні із загальноприйнятим режимом роботи, запропонована методика дозволяє істотно зменшити похибку для коефіцієнтів відбиття, близьких до одиниці. На відміну від відомої методики, що використовує фіксоване значення відношення міжзондової відстані до довжини елетромагнітної хвилі у хвилеводі, менше від однієї восьмої, запропонована методика вільна від такого недоліка, як помітне збільшення похибки при досить малих коефіцієнтах відбиття. Результати цієї роботи можуть бути використані при розробці мікрохвильових вимірювачів переміщення для різних класів віброзахисних систем та систем керування технологічними процесами.

Ключові слова: *комплексний коефіцієнт відбиття, електричний зонд, надвисокочастотна інтерферометрія, напівпровідниковий детектор, хвилевідна секція.*

1. *Викторов В. А., Лункин Б. В., Совлуков А. С.* Радиоволновые измерения параметров технологических М.: Энергоатомиздат, 1989. 208 с.
2. *Cunha A., Caetano E.* Dynamic measurements on stay cables of stay-cable bridges using an interferometry laser system Experimental Techniques. 1999. V. 23. No. 3. Pp. 38–43.
3. *Kaito K., Abe M., Fujino Y.* Development of a non-contact scanning vibration measurement system for real-scale structures. Structure and Infrastructure Engineering. 2005. V. 1, No 3. P. 189–205.
4. *Mehrabi A. B.* In-service evaluation of cable-stayed bridges, overview of available methods, and findings. Journal of Bridge Engineering. 2006. V. 11, No 6. P. 716–724.
5. *Lee J. J., Shinozuka M.* A vision-based system for remote sensing of bridge displacement. NDT & E International. 2006. V. 39. No. 5. Pp. 425–431.
6. *Kim S., Nguyen C.* A displacement measurement technique using millimeter-wave interferometry. IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques. 2003. V. 51. No. 6. Pp. 1724–1728.
7. *Kim S., Nguyen C.* On the development of a multifunction millimeter–wave sensor for displacement sensing and low-velocity measurement. IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques. 2004. V. 52. No. 11. Pp. 2503–2512.
8. *Пилипенко О. В., Горев Н. Б., Доронин А. В., Коджеспирова И. Ф., Привалов Е. Н.* Двухзондовая реализация интерференционного метода измерения параметров движения механических объектов. Технічна механіка. 2013. № 4. С. 112–122.
10. *Тишер Ф.* Техника измерений на сверхвысоких частотах. М.: Физматгиз, 1963. 368 с.
10. *Cripps S. C.* VNA tales. IEEE Microwave Magazine. 2007. V. 8. No. 5. Pp. 28–44.
11. *Andreev M. V., Drobakhin O. O., Saltykov D. Yu.* Techniques of measuring reflectance in free space in the microwave range. Proceedings of the 2016 9th International Kharkiv Symposium on Physics and Engineering of Microwaves, Millimeter and Submillimeter Waves (MSMW), Kharkiv, Ukraine, June 20–24, 2016. Pp. 1–3.
11. *Chavez S., Xiang Q.-S., An L.* Understanding phase maps in MRI: A new cutline phase unwrapping method IEEE Transactions on Medical Imaging. 2002. V. 21, No 8. P. 966–977.
12. *Пилипенко О. В., Горев Н. Б., Доронин А. В., Коджеспирова И. Ф.* Измерение параметров движения с использованием двухзондовой реализации интерференционного метода. Технічна механіка. 2014. № 4. С. 85–93.
13. *Chavez S., Xiang Q.-S., An L.* Understanding phase maps in MRI: A new cutline phase unwrapping method. IEEE Transactions on Medical Imaging. 2002. V. 21. No. 8. Pp. 966–977.
14. *Hasar U. S., Barroso J. J., Sabah C., Kaya Y.* Resolving phase ambiguity in the inverse problem of reflection-only measurement methods. Progress in Electromagnetics Research. 2012. V. 129. Pp. 405–420.
15. *Сильвиа М. Т., Робинсон Э. А.* Обратная фильтрация геофизических временных рядов при разведке на нефть и газ. М.: Недра, 1983. 447 с.

Отримано 14.04.2020,
в остаточному варіанті 18.06.2020