

УСУНЕННЯ ФАЗОВОЇ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ ПРИ ВИМІРЮВАННІ ВІДНОСНОГО ПЕРЕМІЩЕННЯ ІНТЕРФЕРЕНЦІЙНИМ МЕТОДОМ

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

Розглядається надвисокочастотний інтерференційний метод вимірювання, який широко використовується для визначення переміщення в різноманітних технічних застосуваннях. Метою цієї статті є розробка методики усунення фазової невизначеності при вимірюванні відносного переміщення механічних об'єктів за допомогою двозондової реалізації інтерференційного методу. Для визначення нерозгорнутої фази з квадратурних сигналів запропоновано використовувати менший корінь біквадратного рівняння, що пов'язує невідомий коефіцієнт відбиття зі струмами з'єднаних із зондами напівпровідникових детекторів. Знайдено діапазони коефіцієнта відбиття й дійсної нерозгорнутої фази, в яких визначена таким чином нерозгорнута фаза є позірною. Показано, що похибка визначення переміщення, зумовлена різницею між позірною й дійсною нерозгорнутою фазою, відрізняється від нуля тільки для досить великих коефіцієнтів відбиття та не перевищує декількох процентів від довжини хвилі зонduючого електромагнітного випромінювання. Встановлено, що для розмірів контрольованого об'єкта й відстаней між об'єктом та антеною, для яких виконується наближення плоскої хвилі, запропонована методика дозволяє визначати розмах коливань з точністю порядку декількох десятих процента навіть при розмісі, що у декілька разів перевищує довжину хвилі зонduючого електромагнітного випромінювання. Запропонована методика може бути використана при розробці давачів переміщення зі спрощеною апаратною реалізацією.

Ключові слова: фазова невизначеність, комплексний коефіцієнт відбиття, електричний зонд, напівпровідниковий детектор, хвилевідна секція, міжзондова відстань.

1. Викторов В. А., Лункин Б. В., Совлуков А. С. Радиоволновые измерения параметров технологических процессов. 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. P. 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. P. 425 – 431.
6. Pieraccini M., Fratini M., Parrini F., Macaluso G., Atzeni C. CW step-frequency coherent radar for dynamic monitoring of civil engineering structures. *Electronics Letters*. 2004. V. 40. No. 14. P. 907 – 908.
7. Gentile C. Application of microwave remote sensing to dynamic testing of stay-cables. *Remote Sensing*. 2010. V. 2. No. 1. P. 36 – 51.
8. Kim S., Nguyen C. A displacement measurement technique using millimeter-wave interferometry. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*. 2003. Vol. 51. No. 6. P. 1724 – 1728.
9. 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. Vol. 52. No. 11. P. 2503 – 512.
10. Волковец А. И., Руденко Д. Ф., Гусинский А. В., Кострикин А. М. Радиоволновой бесконтактный метод измерения параметров движения и вибрации. Доклады БГУИР. 2007. № 4. С. 58–64.
11. Тишер Ф. Техника измерений на сверхвысоких частотах. М.: Физматгиз, 1963. 368 с.
12. Hu C. J. A novel approach to the design of multiple-probe highpower microwave automatic impedance measuring schemes. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*. 1980. V. 28. No. 12. P. 1422 – 1428.
13. Hu C. J. Microwave automatic impedance measuring schemes using three fixed probes. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*. 1983. V. 31. No. 9. P. 756 – 762.
14. Munos J., Margineda J., Zamarró J. M., Martín E. A five-port reflectometer using a three probes scheme. 17th European Microwave Conference: proceedings (September 1987, Rome, Italy). Rome, IEEE, 1987. P. 795 – 799.
15. Uebo T., Okubo Y., Iritani T. Standing wave radar capable of measuring distances down to zero meters. *IEICE Transactions on Communications*. 2005. V. E88-B. No. 6. P. 2609 – 2615.
16. Cripps S. C. VNA tales. *IEEE Microwave Magazine*. 2007. V. 8. No 5. P. 28 – 44.
17. Okubo Y., Uebo T. Experimental verification of measurement principle in standing wave radar capable of measuring distances down to zero meters. *Electronics and Communication in Japan. Part 1*. 2007. V. 90. No. 9. P. 25 – 33.

18. *Drobakhin O. O., Doronin A. V., Grigor'ev V. V.* 3-probe microwave measuring instrument of vibration of mechanical objects with non-plane surface. International Conference on Antenna Theory and Techniques: proceedings (October 6 – 9, 2009, Lviv, Ukraine). Lviv: Lviv National University, 2009. P. 277 – 279.
19. *Сильва М. Т., Робинсон Э. А.* . Обратная фильтрация геофизических временных рядов при разведке на нефть и газ. М.: Недра, 1983. 447 с