UDC 621.002.56

О. В. ПИЛИПЕНКО, А. В. ДОРОНИН, Н. Б. ГОРЕВ, И. Ф. КОДЖЕСПИРОВА

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ УЧЕТА КОЭФФИЦИЕНТА ОТРАЖЕНИЯ АНТЕННЫ ПРИ ИЗМЕРЕНИИ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ЗОНДОВЫМИ МЕТОДАМИ

Институт технической механики
Национальной академии наук Украины и Государственного космического агентства Украины,
ул. Лешко-Попеля, 15, 49005, Днепр, Украина; e-mail: ifk56@ukr.net

Цель данной работы заключается в выборе зондового метода измерения перемещения, который может быть модифицирован с тем, чтобы учесть коэффициент отражения рупорной антенны, пренебрежение которым может оказаться недопустимым при достаточно большом расстоянии между антенной и контролируемым объектом. Рассмотрены четыре метода: однозондовый метод, в котором проблема фазовой неопределенности решается с помощью использования того, что перемещение и скорость объекта являются непрерывными функциями времени; двухзондовый метод, в котором скорость объекта определяется с помощью дифференцирования токов детекторов и перемещение находится интегрированием скорости; двухзондовый метод, в котором токи детекторов дифференцируются дважды для исключения неизвестного модуля коэффициента отражения объекта; двухзондовый метод, в котором перемещение объекта определяется из квадратурных сигналов с использованием метода развертывания фазы. В результате выбран последний метод. В этом методе модуль и неразвернутая фаза комплексного коэффициента отражения объекта определяются теоретически точно для модуля коэффициента отражения, не превосходящего $2^{-1/2}$. Поэтому он позволяет определить комплексный коэффициент отражения рупорной антенны на конце волноводной секции с зондами, модуль которого достаточно мал, из токов детекторов при работе антенны на согласованную нагрузку. Подход, лежащий в основе выбранного метода, позволил выразить квадратурные сигналы, содержащие информацию о расстоянии до объекта, через токи детекторов, известный комплексный коэффициент отражения рупорной антенны и неизвестный модуль комплексного коэффициента отражения объекта и получить уравнение для определения последнего. Полученные результаты могут послужить основой для разработки зондовых методов измерения перемещения с учетом коэффициента отражения рупорной антенны.

Ключевые слова: *комплексный коэффициент отражения, перемещение, электрический зонд, рупорная антенна, полупроводниковый детектор, волноводная секция.*

1. *Викторов В. А., Лункин Б. В., Совлуков А. С.* Радиоволновые измерения параметров технологических процессов. М.: Энергоатомиздат, 1989. 208 с.
2. *Cunha A., E. 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. doi 10.1111/j.1747-1567.1999.tb01570.x
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. Pp. 189–205. Pp. 189–205. doi: 10.1080/15732470500030661
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. Pp. 716–724. doi: 10.1061/(ASCE)1084-0702(2006)11:6(716)
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. doi: 10.1016/j.ndteint.2005.12.003
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. doi: 10.1109/TMTT.2003.812575
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. doi: 10.1109/TMTT.2004.837153
8. *Пилипенко О. В., Горев Н.Б., Запольский Л. Г., Коджеспирова И. Ф., Привалов Е. Н.* Моделирование процесса измерения параметров вибрации. Техническая механика. 2003. №. 2. С. 25–32.
9. *Пилипенко О. В., Горев Н.Б., Запольский Л. Г., Коджеспирова И. Ф., Привалов Е. Н.* Измерение параметров движения интерференционным методом в широком диапазоне амплитуд перемещений. Техническая механика. 2008. № 1. С. 100–107.
10. *Пилипенко О. В., Горев Н.Б., Жечев М. М., Запольский Л. Г., Заболотный П. И., Коджеспирова И. Ф., Привалов Е. Н.* Измерение параметров движения механических объектов интерференционным методом с использованием двух зондов. Техническая механика. 2009. № 1. С. 111–117.
11. *Пилипенко О. В., Горев Н.Б., Доронин А. В., Коджеспирова И. Ф., Привалов Е. Н.* Двухзондовый метод измерения параметров движения механических объектов. Техническая механика. 2011. № 2. С. 3–7.

12. *Pylypenko O. V., Gorev N. B., Doronin A. V., Kodzhespirova I. F.* Phase ambiguity resolution in relative displacement measurement by microwave interferometry. Teh. Meh. 2017. No. 2. Pp. 3–11.
13. *Pylypenko O. V., Doronin A. V., Gorev N. B., Kodzhespirova I. F.* Experimental verification of a two-probe implementation of microwave interferometry for displacement measurement. Teh. Meh. 2018. No. 1. Pp. 5–12.
14. *Сильвиа М. Т., Робинсон Э. А.* Обратная фильтрация геофизических временных рядов при разведке на нефть и газ. М.: Недра, 1983. 447 с.
15. *Engen G. F.* Advances in microwave measurement science. Proceedings of the IEEE. 1978. V. 66. No. 4. Pp. 374–384.
16. *Кабанов А. А., Никулин С. М., Петров В. В., Салов А. Н.* Опыт разработки ААЦ с двенадцатиполюсными рефлектометрами. Измерительная техника. 1985. № 10. С. 38–40.
17. *Drobakhin O. O.* A novel approach to six-port reflectometer analysis. Proceedings of the 10th International Conference on Antenna Theory and Techniques, Kharkiv, Ukraine, April 21–24, 2015. Pp. 329–331. doi: 10.1109/ICATT.2015.7136874
18. *Афонин Ф. И., Боков Г. В., Лащенко И. В.* Измеритель комплексного коэффициента отражения на основе двухканального двухдетекторного волноводно-щелевого преобразователя. Збірник наукових праць Академії військово-морських сил імені П. С. Нахімова. 2011. № 3. С. 52–58.
19. *Тишер Ф.* Техника измерений на сверхвысоких частотах. М.: Физматгиз, 1963. 368 с.
20. *Cripps S. C.* VNA tales. IEEE Microwave Magazine. 2007. V. 8. No. 5. Pp. 28–44. doi: 10.1109/MMM.2007.904719
21. *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 doi: 10.1109/MSMW.2016.7538213

Получено 12.02.2019,
В окончательном варианте 28.03.2019