

Д.А. Усанов, А.Э. Постельга

ВОССТАНОВЛЕНИЕ СЛОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ УЧАСТКА ТЕЛА ЧЕЛОВЕКА ПО СИГНАЛУ РАДИОВОЛНОВОГО АВТОДИНА

Аннотация

В работе исследовалась возможность контроля биометрических параметров, характеризующих движения человека, связанные с дыханием и сердцебиением, с помощью методов радиоволнового зондирования с использованием радиоволнового интерферометра на базе автодинного СВЧ-генератора на диоде Ганна. В отличие от ранее опубликованных работ в настоящей статье предложено аппроксимировать искомую форму движений тела человека сложной негармонической, но периодической функцией.

При измерении характеристик вибраций и перемещений оптическими и радиоволновыми методами используется явление интерференции, возникающее при сложении падающей и отраженной от объекта электромагнитных волн [1]-[3]. В таких измерителях в результате анализа временной зависимости интерференционного сигнала или его спектра можно с высокой точностью определить частоту и амплитуду механических движений объекта [4]-[8]. Подобные системы могут быть успешно использованы в медицине для мониторинга состояния пациентов [2].

В работе [9] исследовалась возможность контроля биометрических параметров, характеризующих движения человека, связанные с дыханием и сердцебиением, с помощью методов радиоволнового зондирования с использованием радиоволнового интерферометра на базе автодинного СВЧ-генератора на диоде Ганна и двойного волноводного тройника.

При теоретическом описании в работе [9] форма движений тела человека аппроксимировалась гармонической функцией, что не вполне соответствует действительности. В настоящей работе предложено аппроксимировать искомую форму движений тела человека сложной негармонической, но периодической функцией.

Теоретическое обоснование методики измерений

Для восстановления формы сложного периодического движения отражателя использовалась методика, описанная в [10], [11], которая ранее применялась для восстановления движения отражателя в системе с оптическим автодином. Данная методика основана на одновременном измерении интерференционного сигнала и его производной.

Переменная составляющая интерференционного сигнала имеет вид [12], [13]

$$I(t) = A \cos \left(\theta + \frac{4\pi}{\lambda} f(t) \right),$$

где A – амплитудный коэффициент, определяемый амплитудами токов, наводимых в нагрузке E -пле-

ча волноводного тройника отраженными волнами; t – время; θ – фаза сигнала; λ – длина волны зондирующего излучения; $f(t)$ – функция, характеризующая продольные движения объекта.

В случае, когда отражатель совершает сложное периодическое движение, закон, описывающий это движение, можно представить в виде ряда Фурье:

$$f(t) = \sum_{k=1}^{\infty} (a_k \cos 2\pi k \nu t + b_k \sin 2\pi k \nu t), \quad (1)$$

где ν – основная частота вибраций объекта; a_k и b_k – коэффициенты ряда Фурье (амплитуды механических вибраций) на частоте $k\nu$.

Далее рассмотрим нормированную переменную составляющую интерференционного сигнала

$$U(t) = \frac{I(t)}{A} = \cos \left(\theta + \frac{4\pi}{\lambda} f(t) \right).$$

С учетом выражения (1) нормированная переменная составляющая интерференционного сигнала примет вид

$$U(t) = \cos \left[\theta + \frac{4\pi}{\lambda} \sum_{k=1}^{\infty} (a_k \cos 2\pi k \nu t + b_k \sin 2\pi k \nu t) \right].$$

Введем функцию $S(t)$ следующего вида:

$$S(t) = - \frac{dU(t)}{dt} \left[1 - U^2(t) \right]^{-1/2} = \sum_{k=1}^{\infty} \frac{8\pi^2}{\lambda} k \nu (a_k \cos 2\pi k \nu t + b_k \sin 2\pi k \nu t). \quad (2)$$

Сравнивая выражения (1) и (2), можно заметить, что коэффициенты рядов отличаются множителем $(8\pi^2 / \lambda) \cdot k\nu$. Таким образом, построив на основе экспериментальных данных функцию $S(t)$ и определив коэффициенты ее разложения в ряд Фурье, например методом быстрого преобразования Фурье, можно найти амплитуды колебаний отражателя, а затем, используя представление (1), восстановить саму функцию $f(t)$, характеризующую продольные колебания отражателя.

Восстановление сложного движения тела человека с помощью Фурье-преобразования

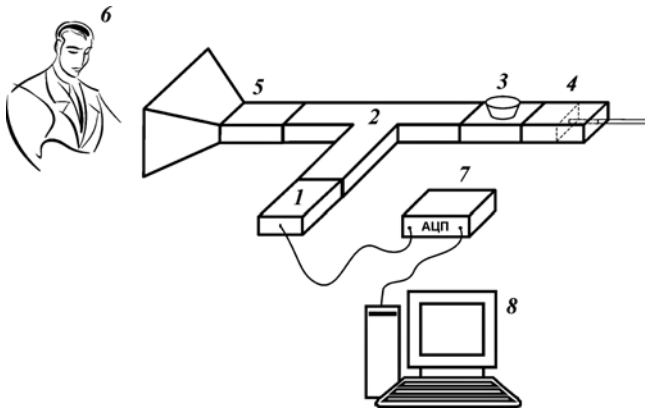


Рис. 1. Схема радиоинтерферометра на базе автодинного СВЧ-генератора на диоде Ганна для контроля смещений грудной клетки пациента

Дыхательные движения и сердечные сокращения вызывают периодические смещения грудной клетки человека. Для контроля периодических движений грудной клетки вследствие дыхательных движений и сердечных сокращений, в качестве источника СВЧ-сигнала в радиоинтерференционной схеме, описанной в [9] (рис. 1), использовался автодинный генератор 1 на диоде Ганна. В опорное плечо тройника 2 включали аттенуатор 3 и короткозамыкающий поршень 4. К измерительному плечу присоединяли рупор 5, от которого СВЧ-излучение направлялось на грудную клетку пациента 6. Автодинный сигнал через аналого-цифровой преобразователь 7 поступал в компьютер 8 для анализа.

Изменение положения грудной клетки вследствие дыхательных движений и сердечных сокращений фиксировалось с помощью автодинного сигнала, возникающего в генераторе под действием СВЧ-сигнала, отраженного от грудной клетки пациента.

На рис. 2 представлены зависимость автодинного сигнала от времени при движении грудной клетки вследствие дыхательных движений и сердечных сокращений (а) и результат восстановления формы сложного периодического движения участка тела человека по описанной выше методике (б).

В работе [9] определялись такие параметры движения грудной клетки, как амплитуда и частота, учитывая допущение, что это движение аппроксимируется гармонической функцией. Из рис. 2 видно, что в результате обработки сигнала по приведенной в [10], [11] методике на большей части временной картины представлена информация о движении вследствие сердечных сокращений.

На рис. 3 представлены зависимость автодинного сигнала от времени при движении грудной клетки вследствие сердечных сокращений при задержанном дыхании (а) и результат восстановления формы сложного периодического движения участка тела человека по описанной выше методике (б).

После обработки интерференционного сигнала, возникающего при движении грудной клетки вследствие сердечных сокращений, вид временной зависимости принимает более информативный характер.

Сравнение приведенных зависимостей дает представление об эффективности вышеуказанной методики для определения формы сложного периодического движения грудной клетки человека вследствие дыхания и сердцебиения.

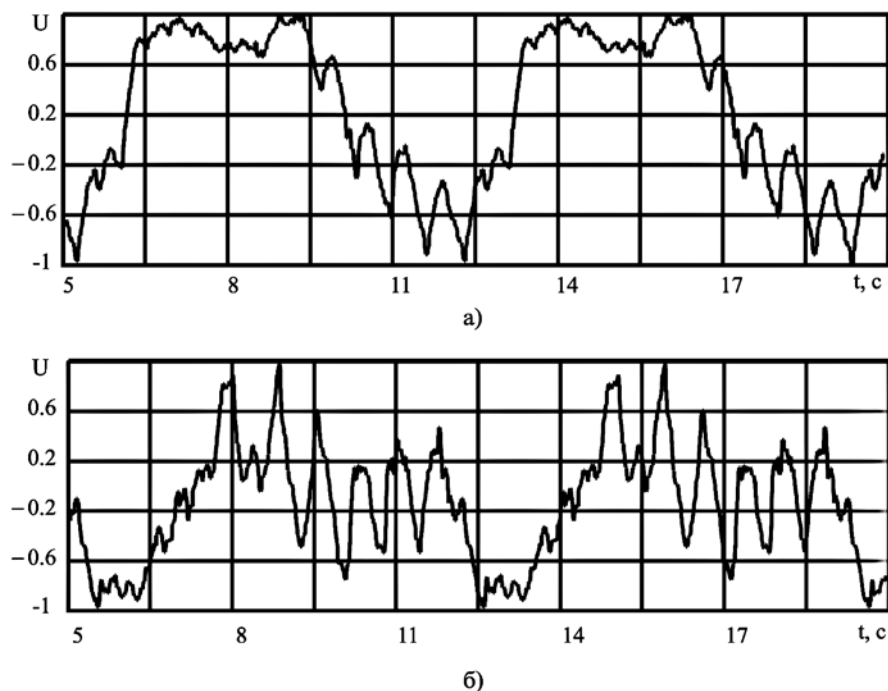


Рис. 2. Зависимость автодинного сигнала от времени при движении грудной клетки вследствие дыхательных движений и сердечных сокращений (а) и восстановленная форма движения грудной клетки (б)

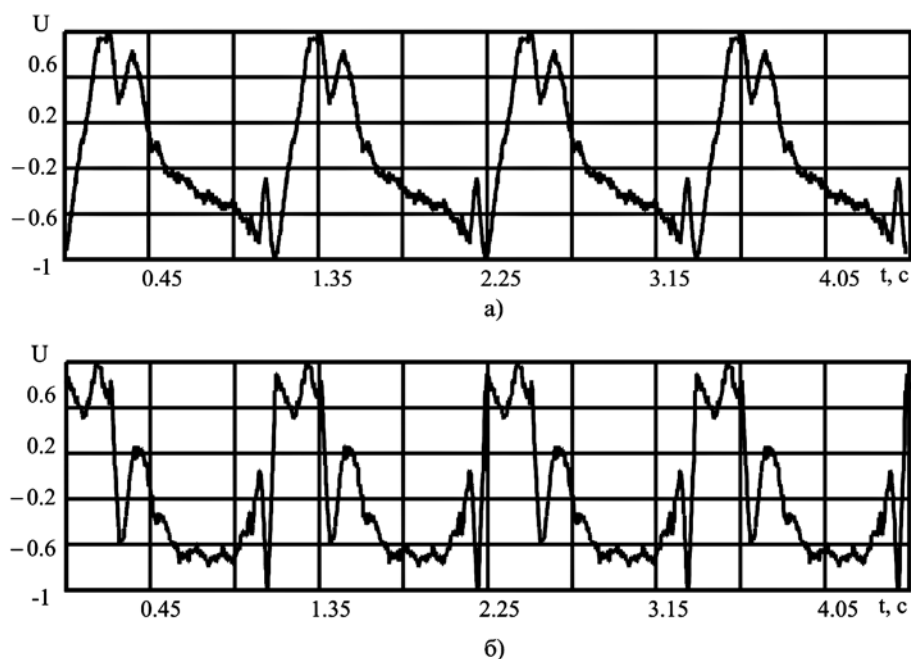


Рис. 3. Зависимость автодинного сигнала от времени при движении грудной клетки вследствие сердечных сокращений при задержанном дыхании (а) и восстановленная форма движения грудной клетки (б)

Заключение

Таким образом, показана возможность восстановления формы сложного периодического движения человека, связанного с дыханием и сердцебиением, с помощью методов радиоволнового зондирования с использованием радиоволнового интерферометра на базе автодинного СВЧ-генератора на диоде Ганна и двойного волноводного тройника.

Список литературы:

1. Викторов В.А., Лункин Б.В., Совлуков А.С. Радиоволновые измерения параметров технологических процессов. – М.: Энергоатомиздат, 1989. 208 с.
2. Бугаев А.С., Васильев И.А., Иваинов С.И., Парашии В.Б., Сергеев И.К., Шейко А.П., Щукин С.И. Дистанционный контроль параметров кардиореспираторной системы человека с помощью радиолокационных средств // Биомедицинские технологии и радиоэлектроника. 2004. № 10. С. 24-31.
3. Hoglund R., Large P. Технология безотражательных дальнометров для геодезистов и инженеров-строителей (перевод «Навгеоком») // Автоматизированные технологии изысканий и проектирования. 2004. № 12. С. 15-19.
4. Усанов Д.А., Скрипаль А.В., Камышанский А.С. Измерение скорости нанометровых перемещений по спектру автодинного сигнала лазера на квантоворазмерных структурах // Письма в ЖТФ. 2004. № 7. С. 77-82.
5. Усанов Д.А., Скрипаль А.В. Измерение нанометровых вибраций полупроводниковым лазером на квантоворазмерных структурах, работающим в автодинном режиме // Письма в ЖТФ. 2003. № 9. С. 51-57.
6. Усанов Д.А., Скрипаль А.В., Калинин М.Ю. Восстановление формы сложного движения объекта по сигналу автодинного детектирования полупроводникового лазера // ЖТФ. 2000. Т. 70. Вып. 2. С. 125-129.
7. Усанов Д.А., Скрипаль А.В., Скрипаль А.В. Физика полупроводниковых радиочастотных и оптических автодинов. – Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 2003. 312 с.
8. Усанов Д.А., Скрипаль А.В., Скрипаль А.В., Постельга А.Э. Сверхвысокочастотный автодинный измеритель параметров вибраций // Приборы и техника эксперимента. 2004. № 5. С. 1-5.
9. Усанов Д.А., Скрипаль А.В., Скрипаль А.В., Абрамов А.В., Боголюбов А.С., Постельга А.Э. Радиоволновая интерферометрия движений тела человека, связанных с дыханием и сердцебиением // Биомедицинские технологии и радиоэлектроника. 2005. № 11-12. С. 44-51.
10. Гангнус С.В., Скрипаль А.В., Усанов Д.А. Определение параметров движений объекта с помощью оптического гомодинного метода // Автометрия. 1999. № 1. С. 31-37.
11. Усанов Д.А., Скрипаль А.В., Гангнус С.В. Решение обратной задачи для восстановления параметров сложного периодического движения в лазерной гомодинной системе // Автометрия. 2001. № 1. С. 117-122.
12. Мандельштам Л.И. Полное собрание трудов. АН СССР. – М.: Изд-во АН СССР в ЛГР, 1947. Т. 2. 396 с.
13. Лебедев И.В. Техника и приборы СВЧ. – М.: Высшая школа, 1970. Т. 1. 372 с.

Дмитрий Александрович Усанов,
д-р физ.-мат. наук, профессор,
зав. кафедрой, проректор по НИР,
Александр Эдуардович Постельга,
канд. физ.-мат. наук, доцент,
кафедра физики твердого тела,
ГОУ ВПО «Саратовский государственный
университет им. Н.Г. Чернышевского»,
г. Саратов,
e-mail: usanovda@info.sgu.ru