

Министерство образования и науки Российской Федерации
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ Н.Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

*Кафедра компьютерной физики и метаматериалов
на базе Саратовского филиала
Института радиотехники и электроники
имени В.А. Котельникова РАН*

**РАДИОВОЛНОВЫЕ УСТРОЙСТВА И МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ
ПАРАМЕТРОВ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ**

АВТОРЕФЕРАТ ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ
(МАГИСТЕРСКОЙ) РАБОТЫ
студента 2 курса 251 группы
направления 03.04.02 «Физика» физического факультета
Плеханова Олега Сергеевича

Научный руководитель
к.ф.-м.н. с.н.с. С. В. Овчинников

Заведующий кафедрой
д.ф.-м.н. профессор В.М. Аникин

Саратов

2018

ОЮЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Разработка и создание высокоэффективных измерительных устройств и их основных функциональных элементов – датчиков – заслуживают большого внимания специалистов в области измерения параметров перемещений физических объектов. Существует большое число работ, посвященных отдельным вопросам теории и применений радиоволновых методов для измерения перемещений физических объектов, основные ставшие классическими в этой области, рассмотрены в работе и приведены в списке литературы. Широкими функциональными возможностями обладают рассматриваемые в данной работе радиоволновые методы и средства измерения. В основе построения радиоволновых датчиков лежит взаимодействие электромагнитных волн сверхвысокочастотного (СВЧ) диапазонов частот с контролируемыми объектами. В работе изложены общие принципы построения радиоволновых СВЧ датчиков и измерительных устройств для измерения параметров перемещений физических объектов.

Цель настоящей квалификационной работы – провести подробный аналитический обзор радиоволновых методов измерений параметров перемещений физических объектов с возможностью построения на данном материале специального курса лекций для магистрантов направления 03.04.02 «Физика», а также разработать несколько макетов радиоволновых датчиков для лабораторных работ для такого специального курса.

Задача работы отразить современное состояние в области теории и практики радиоволновых измерений различных параметров перемещений объектов. Изложенные материалы базируются на результатах работ, опубликованных в нашей стране и за рубежом, в том числе и результатах, полученных автором.

Структура работы. Выпускная квалификационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы из 23 источников. Общий объем работы – 65 с., рисунков – 30, таблиц – 1.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В работе проведен краткий сравнительный анализ бесконтактных методов и способов измерения параметров перемещений физических объектов. Представлено краткое описание устройств разработанных на кафедре компьютерной физики и метаматериалов физического факультета СГУ и описание демонстрации их практического применения. Содержание работы распределено по главам следующим образом:

| | |
|---|----|
| ВВЕДЕНИЕ | 4 |
| 1. КРАТКИЙ СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ БЕСКОНТАКТНЫХ МЕТОДОВ И СПОСОБОВ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ ФИЗИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ | 5 |
| 2. ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РЕАЛИЗАЦИИ РАДИОВОЛНОВЫХ МЕТОДОВ ИЗМЕРЕНИЯ НЕЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН. | 8 |
| 2.1. Электромагнитные системы с распределенными параметрами. | 8 |
| 2.1.1 Полые волноводы | 8 |
| 2.1.2 Резонаторы | 12 |
| 2.1.3. Антенны | 17 |
| 2.2. Элементы СВЧ трактов и генераторы электромагнитных сигналов | 19 |
| 2.3. Информативные параметры электромагнитных систем | 29 |
| 2.3.1 Резонансная частота электромагнитных колебаний | 30 |
| 2.3.2. Число резонансных импульсов на конечном интервале частот | 31 |
| 2.3.3. Добротность резонансной системы | 32 |
| 2.3.4. Положение узла (или пучности) поля стоячей волны на фиксированной частоте генератора | 30 |
| 2.3.5. Коэффициент стоячей волны | 34 |
| 2.3.6. Время распространения сигнала до контролируемого объекта и обратно | 34 |
| 2.3.7. Частотный сдвиг модулированной по частоте падающей волны по отношению к отраженной волне | 36 |
| 2.3.8. Фазовый сдвиг падающей и отраженной волн | 37 |

| | | |
|--------|---|----|
| 2.3.9. | Доплеровский сдвиг частоты | 37 |
| 2.3.10 | Мощность или амплитуда отраженной или прошедшей волны | 39 |
| 3. | РАДИОВОЛНОВЫЕ УСТРОЙСТВА ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ ФИЗИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ | 41 |
| 3.1. | Измерение линейной скорости | 41 |
| 3.2 | Измерение скорости потока и расхода | 44 |
| 3.3. | Измерение частоты вращения | 48 |
| 3.4. | Измерение ускорения | 52 |
| 3.5. | Измерение вибраций | 55 |
| 4. | УСТРОЙСТВА РАЗРАБОТАННЫЕ НА КАФЕДРЕ КОМПЬЮТЕРНОЙ ФИЗИКИ И МЕТАМАТЕРИАЛОВ ФИЗИЧЕСКОГО ФАКУЛЬТЕТА СГУ И ДЕМОНСТРАЦИЯ ИХ ПРАКТИЧЕСКОГО ПРИМЕНЕНИЯ. | 59 |
| | ЗАКЛЮЧЕНИЕ | 63 |
| | СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ | 64 |

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Радиоволновые методы измерения и приборы широко используются для контроля различных технологических процессов. К настоящему времени на основе радиоволновых методов решен ряд проблемных, с точки зрения получения первичной информации, задач в измерениях параметров технологических процессов. Бесконтактные радиоволновые датчики являются надежными и имеют широкую область применения. Они не размещаются на исследуемом объекте, следовательно, мало подвержены механическим, тепловым и другим негативным воздействиям.

Информативными параметрами являются характеристики отраженной и прошедшей или рассеянной волн – амплитуда, фаза, время распространения. Их сравнительные характеристики – частотный сдвиг, доплеровский сдвиг частоты, положение узла или пучности напряженности поля стоячей волны и др.

Простота конструкций является важной особенностью радиоволновых датчиков. В качестве элементов датчиков могут быть применены существующие элементы СВЧ техники, необходима лишь их конструктивная доработка для обеспечения требований промышленной эксплуатации.

Применение АЦП в радиоволновых приборах можно рассматривать в двух аспектах – для реализации алгоритмов, обеспечивающих инвариантность результатов измерений к возмущающим воздействиям, и для повышения точности вторичного преобразования информативных сигналов.

В работе представлен подробный аналитический обзор радиоволновых СВЧ методов измерения параметров перемещения физических объектов. Приводимые в работе примеры не исчерпывают весь круг задач, решаемых с помощью радиоволновых приборов, но дают представление о возможностях рассматриваемых методов для решения практических задач. Но данный материал может служить основой для специального курса лекций направления 03.04.02 «Физика».

Также представлены действующие макеты высокочувствительных СВЧ датчиков, проведение измерений с помощью которых будет служить основой для ряда лабораторных работ по данному специальному курсу.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

Нумерация источников проводится отдельно по каждой главе.

1.1. Плеханов О.С. Радиоволновой контроль динамических перемещений // Гетеромагнитная микроэлектроника: сб. науч. тр. Саратов : Изд-во ОАО "Институт критических технологий", 2017. Вып. 23 С. 14–20.

2.2 Харвей А.Ф. Техника СВЧ. В 2-х т.: Сов.радио, 1978. 785 с.

2.3 Мейнке Х., Гундлах Ф.В. Радиотехнический справочник. М. – Л.: Госэнергоиздат, 1989. Т. 1.

2.4 Тишер Ф. Техника измерений на сверхвысоких частотах (Справочное руководство). М.: Физматгиз, 1983.

2.5 Никольский В.В. Вариационные методы для внутренних задач электродинамики. М.: Наука, 1987.

2.6 Викторов В. А., Лункин Б.В., Совлуков А.С. Высокочастотный

метод измерения неэлектрических величин. М.: Наука, 1978.

2.7 Исследование объектов с помощью пикосекундных импульсов/ Г.В. Глебович, А.В. Андриянов, Ю.В. Введенский и др.; Под ред. Г.В. Глебовича. М.: Радио и связь, 1984.

3.1 Справочник : Неразрушающий контроль. Радиоволновой контроль / под общ. ред. В. В. Клюева : в 8 т. М. : Машиностроение, 2008. Т. 6. 848 с.

3.2 Дистанционное измерение скорости перемещения преград по пространственному состоянию электромагнитного поля / А.В. Сидоренко, В.Г. Шаронин, В.И. Стародынов и др.// Измерительная техника. 1974. № 10. С. 94.

3.3 Пат. 50–22418 Японии, НКИ: 111А1. Устройство для измерения относительной скорости и относительного расстояния/ Е. Тадзудзава. 1985.

3.4 Пат. 3939406 США, НКИ: 324–58.5. Microwave fluid flow meter/ Т. R. Billeter, L.D. Phillipp, R.R. Schemmel. 1976.

3.5 А.С. 1058273 СССР, МКИ4 G01B15/02. Устройство для измерения толщины металлического листа/ А.С. Совлуков, Г.Г. Алексанян// Открытия. Изобретения. 1985. № 2.

3.6 Алексанян Г.Г., Совлуков А.С. Радиоволновые измерения линейных размеров с повышенной чувствительностью и точностью// Измерительная техника. 1986. № 5. С. 13–15.

3.7 Пат. 3593136 США, НКИ: 324–175. Sensing rotational speed by amplitude modulating a continuous microwave signal/ F.W. Chapman, F.E. Jamerson, N.L. Muench. 1971.

3.8 А.С. 278263 СССР, МКИ4 G01P3/48. Радиолокационный способ измерения скорости вращения/ Б.М. Петров// Открытия. Изобретения. 1974. № 45.

3.9 Обидовский В.Г., Савельев В.В., Петров Б.М. Радиолокационный измеритель частоты вращения// Рассеяние электромагнитных волн. Межвуз. тематич. сб. Таганрог, Таганрогский радиотехническ. ин-т им. В. Д. Калмыкова. 1998. Вып. 2. С. 77–81.

3.10 Янг Л., Бар А.Дж. Сверхвысокочастотный датчик вращения// ТИИЭР. 1968. Т. 56. № 11. С. 343–344.

3.11 Nitka E.F., Ishii T.K. Microwave ferrite acceleration sensors// IEEE Transactions on Electron Devices. 1969. Vol. ED–16, N 10. P. 845–849.

3.12 Константинов В.А., Трубникова С.Г. Измерение малых

перемещений и вибраций радиотехническими методами // Метрология. 1992. № 5. С. 16–23.

3.13 Griffin D.W. MW interferometers for biological studies// Microwave Journal. 2001. Vol. 21, N 5. P. 69–72.

3.14 Щелкунов К.Н., Аляхов Е.К. Измерение вибраций и других малых перемещений с помощью клистрона–автодина// Тр. ЛИТМО (Ленинград, Институт точной механики и оптики). Сб. работ по электрорадиотехническим расчетам и измерениям. 1981. Вып. 29. С. 125–129.

4.1 Пат. 2025670 Российская Федерация, МПК51 G01 H 9/00. Измеритель вибрации / заявители Кудряшов С.А., Уменушкин А.В., Никитин А.А.; патентообладатель НИИ механики и физики СГУ им. Н.Г.Чернышевского. – № 2004121631/14; заявл. 17.07.1991; опубл. 30.12.1994.

4.2 Пат. GB2310099 Великобритания, G01H9/00, G01S13/50. Radar for vibration detection / заявитель Mark Harper ; патентообладатель Structural Testing Technologies LTD (Cambridge, UK). – № GB9602571.3 ; заявл. 08.02.1996 ; опубл. 13.08.1997.