

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «НОВОСИБИРСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Физический факультет

Кафедра общей физики

Атнюкова Анастасия Николаевна

КУРСОВАЯ РАБОТА

**Разработка микроволнового датчика для диагностики динамики
двухфазного потока**

Электромагнитный практикум, 2 курс, группа №20303

Научный руководитель:

к.т.н. И.К. Кабардин

Оценка научного руководителя

«_____» _____ 20__ г.

Преподаватель практикума

ст. преп. КОФ П.В.Калинин

Оценка преподавателя практикума

«_____» _____ 20__ г.

Куратор практикума:

к.т.н. В.Т. Астрелин

Итоговая оценка

«_____» _____ 20__ г.

Новосибирск 2021

Аннотация

В курсовой работе был опробован метод диагностики динамики двухфазного потока, то есть потока, включающего в себя два разнородных компонента. Был разработан микроволновый датчик с нужными нам характеристиками: высокая локальность, чувствительность, компактность, возможность диагностики в оптически непрозрачных средах. Была собрана экспериментальная установка для регистрирования всплытия газовых пузырей для демонстрации работоспособности метода. Осциллограф регистрировал отношение амплитуд и изменение разности фаз падающего и отраженного сигналов. Методом скоростной съемки одновременно фиксировались всплытие пузыря и осциллограммы. По полученным осциллограммам было выявлено, что появление газовой фазы на торце коаксиального кабеля разработанного датчика сопровождается изменением фазы выходного сигнала, в то время как амплитуда меняется несущественно.

Ключевые слова: динамика двухфазного потока, локальная неоднородность, коэффициент отражения.

Оглавление

1.Введение	4
2.Описание экспериментальной установки	5
3.Методика расчётов	8
4.Обработка экспериментальных данных	10
5.Основные результаты	10
6.Заключение	11
7.Список литературы	11

1. Введение

Применение современных бесконтактных прецизионных средств диагностики существенно повышает эффективность и безопасность технологических процессов в энергетике и промышленности. Существующие на данный момент технологии диагностики трехмерных структурно-динамических параметров многофазных оптически непрозрачных потоков являются недостаточно развитыми для промышленного использования. Для оптимизации параметров потока теплоносителя (оптимизация гидродинамики и теплофизики процессов) требуются экспериментальные данные о его локальных скоростях и режимах течения. Не менее актуальная задача – контролировать возникновение газовой составляющей в теплоносителе вследствие аварийной ситуации. Известны способы контроля неоднородностей потока, согласно которым контролируемую среду просвечивают ультразвуковыми импульсами, в частности – в двух взаимно перпендикулярных направлениях. Регистрация импульсов, прошедших через среду и отраженных от границы раздела фаз, фиксация их амплитуды и время пробега, позволяет сделать вывод о концентрации газовой фазы и режиме течения потока. Недостатками способа являются: высокая погрешность, малая информативность результатов измерения и низкая степень автоматизации. Существующие решения для ультразвуковой диагностики газожидкостных потоков или предназначены для исследования сред с большой концентрацией газовой фазы, или не позволяют локализовать газовую фазу в пространстве. Также для решения задачи диагностики многофазных оптически непрозрачных сред приборы, работающие на основе оптических методов, неприменимы.

Целью данной работы является разработка локального компактного микроволнового датчика для диагностики динамики двухфазного потока. Для достижения этой цели были поставлены следующие задачи:

1. Разработать электрическую схему микроволнового датчика.

2. Выбрать материал волновода.
3. Собрать экспериментальную установку для тестирования разработанного датчика.

2. Описание экспериментальной установки

В качестве волновода был выбран коаксиальный кабель в виду его доступности и достаточной мобильности для проведения локальных и удаленных измерений.

Была собрана следующая электрическая схема (рис. 1).

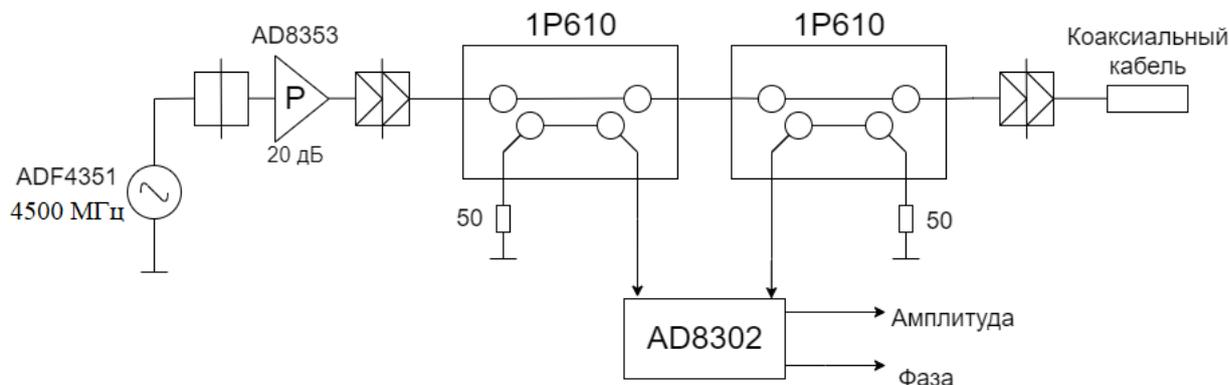


Рис. 1. Электрическая схема датчика. ADF4351 – генератор сигнала, AD8353 – усилитель, 1P610 – направленный ответвитель, AD8302 – детектор фазы и амплитуды.

Роль рефрактометра выполняет AD8302 – интегрированная система для измерения коэффициента усиления и потерь в различных устройствах, в связке с цифровым осциллографом. С помощью AD8302 определяется отношение амплитуд и фаз падающего и отраженного сигналов. На рисунках 2 и 3 представлены графики зависимости амплитуды выходного сигнала от соотношения входного уровня и выходной фазы в зависимости от разности фаз на входе AD8302. 1P610, направленный ответвитель, используется для передачи микроволновой энергии от источника сигнала к волноводу и для подачи сигнала в рефлектметр.

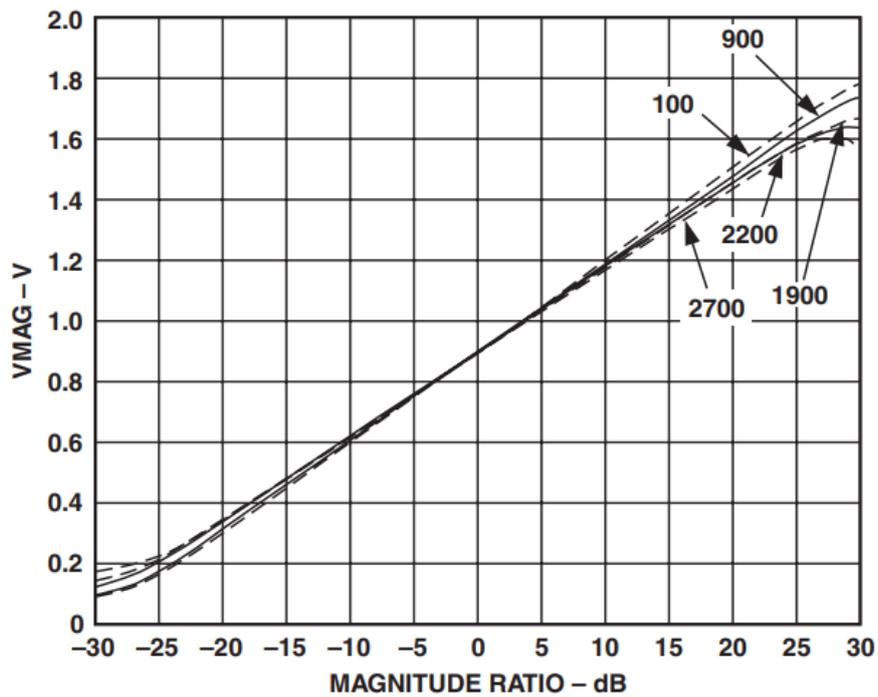


Рис. 2. Амплитуда выходного сигнала с AD8302 (VMAG) в зависимости от соотношения входного уровня(усиленного). Частоты 100 МГц, 900 МГц, 1900 МГц, 2200 МГц, 2700 МГц.

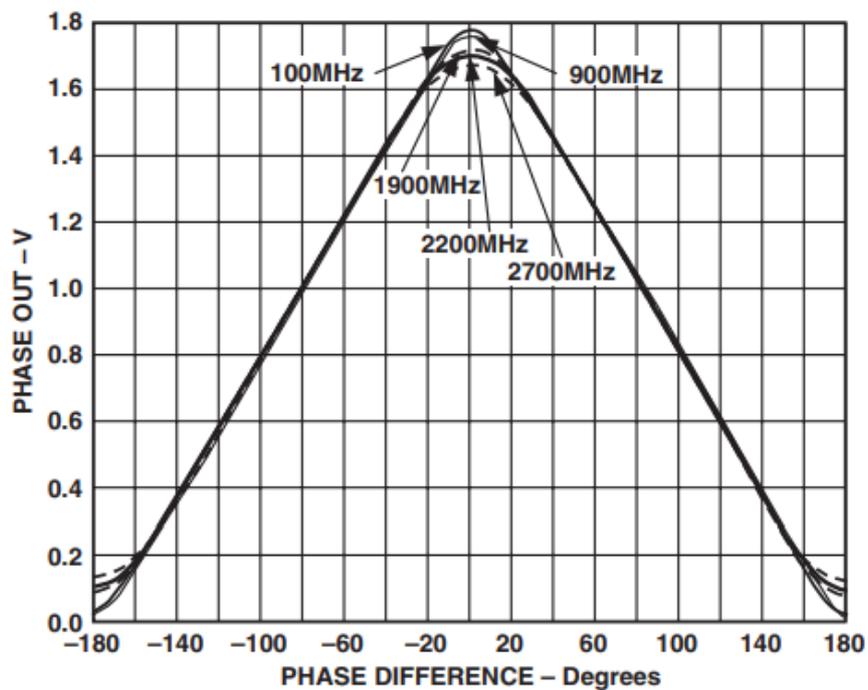


Рис. 3. Выходная фаза в зависимости от разности фаз на входе AD8302. Частоты 100 МГц, 900 МГц, 1900 МГц, 2200 МГц, 2700 МГц.

Был собран опытный образец датчика (рис. 4) для его дальнейшего тестирования на установке, позволяющей отслеживать динамику всплытия газовой фазы.

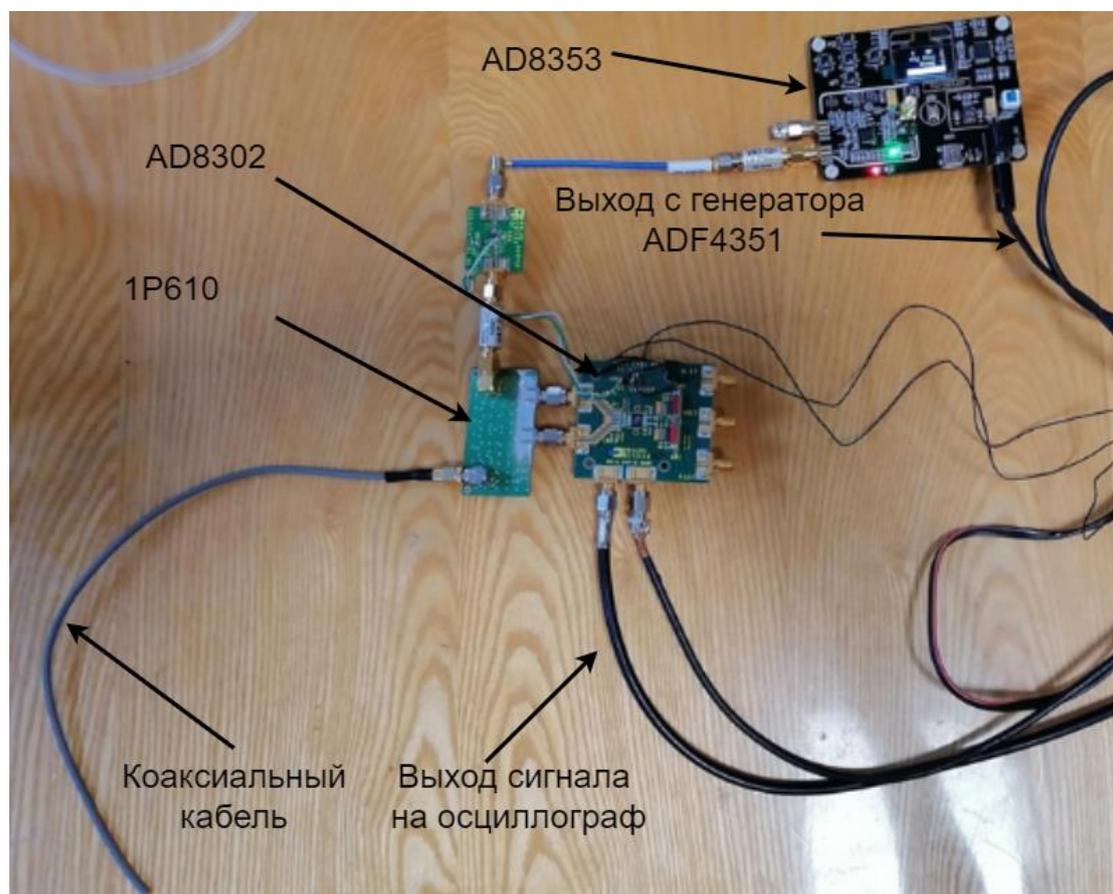


Рис. 4. Экспериментальный образец разработанного датчика для диагностики динамики двухфазного потока.

На рисунке 5 представлена установка для регистрирования всплытия газовых пузырей. В резервуаре с водой происходит равномерная генерация пузырей при помощи компрессора. Осциллограф регистрирует отношение амплитуд и фаз падающего и отраженного сигнала. Методом скоростной съемки одновременно фиксируются всплытие пузыря и осциллограммы.

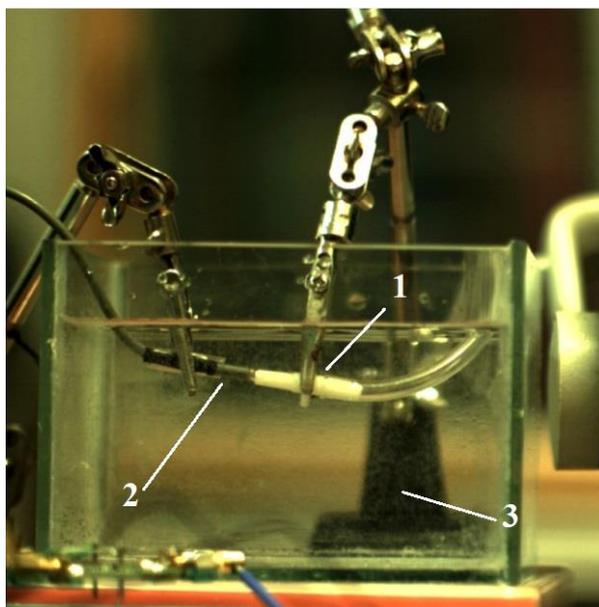


Рис. 5. Фотография экспериментального стенда для диагностики всплытия пузырей. 1 - компрессор, 2 - коаксиальный кабель, 3 – резервуар с водой.

3. Методика расчётов

Рассмотрим линию передачи (ЛП), в которой имеется локальная неоднородность. Пусть в ЛП возбуждена волна, распространяющаяся в сторону неоднородности (падающая волна). Под воздействием поля этой волны в неоднородности возникают токи, порождающие волны различных типов, распространяющихся в обе стороны от нее. В этом случае на достаточно большом удалении от неоднородности существуют только три волны одного и того же типа: падающая и отраженная с одной стороны, прошедшая – с другой (рис. 6).

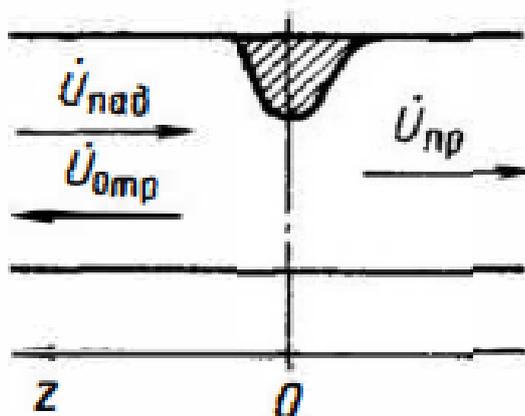


Рис. 6. Линия передачи с неоднородностью.

Выберем начало координат в месте расположения неоднородности и направим ось в сторону генератора. Запишем напряжение в линии передачи при $z > 0$ в виде суммы напряжений падающей и отраженной волн:

$$\dot{u}(z) = \dot{u}^+(z) + \dot{u}^-(z) = \dot{u}^+(z)[1 + \Gamma(z)]$$

где

$$\Gamma(z) = \frac{u^-(z)}{u^+(z)} = \frac{u_0^-(z)}{u_0^+(z)} e^{-2iyz}$$

– коэффициент отражения волны по напряжению, $\gamma = \beta - i\alpha$ – постоянная распространения волны.

Считая $z = 0$, определим коэффициент отражения в месте расположения неоднородности. Следует учесть, что фактически электромагнитное поле *при* $z = 0$ имеет сложный характер и из него трудно выделить поле данного типа волны. Поэтому величину $\Gamma(0)$ следует понимать как значение коэффициента отражения в регулярной линии передачи, в которой возбуждена отраженная волна такой же амплитуды и фазы, как волна, обусловленная наличием неоднородности. Коэффициент $\Gamma(0)$ зависит только от свойств неоднородности. Поэтому величину $\Gamma(0) = \Gamma_H$ называют коэффициентом отражения от неоднородности (коэффициентом отражения нагрузки). Таким образом,

$$\Gamma(z) = \Gamma_H e^{-2iyz}$$

Коэффициент отражения можно представить в виде вектора на комплексной плоскости. При движении вдоль линии передачи конец вектора $\Gamma(z)$ описывает спираль, причем перемещению к генератору соответствует вращение вектора $\Gamma(z)$ по часовой стрелке, а перемещению к нагрузке – против часовой стрелки. Повороту вектора $\Gamma(z)$ на 360° соответствует перемещение вдоль линии передачи на расстояние Δz , определяемое из условия $2\beta \Delta z = 4\Delta z / \lambda_B = 2\pi$, откуда $\Delta z = \lambda_B / 2$. При движении к генератору модуль коэффициента отражения уменьшается, так как амплитуда падающей волны растет, а отраженной – снижается. Если потери в линии передачи не учитываются ($\alpha = 0$), то конец вектора коэффициента отражения описывает окружность. Нетрудно видеть, что все возможные значения коэффициента отражения от пассивной, т. е. не увеличивающей энергию волны, нагрузки лежат внутри и на единичной окружности комплексной плоскости коэффициента отражения.

Максимальное значение модуля напряжения в линии передачи без потерь $u_{max} = |u_0^+| + |u_0^-|$, а минимальное $u_{min} = |u_0^+| - |u_0^-|$. Отношение этих величин называется коэффициентом стоячей волны напряжения:

$$k_c = \frac{u_{\max}}{u_{\min}} = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|}$$

Если коэффициент отражения равен нулю, то $k_c = 1$, т. е. максимумы и минимумы напряжения в линии передачи отсутствуют. Если волна полностью отражается от нагрузки ($|\Gamma| = 1$), то $k_c \rightarrow \infty$.

При изменении размеров, формы или природы неоднородности коэффициент отражения неизбежно будет меняться, что может быть зафиксировано как изменение разности фаз и отношение амплитуд падающей и отраженной волн.

4. Обработка экспериментальных данных

Были проведены два эксперимента накалывания на торец коаксиального кабеля газовых пузырей разного объема.

Объем пузыря, мм ³	Уровень выходного сигнала, мВ	Фаза выходного сигнала, °
38,8	1003	-80

Таблица 1. Результаты первого эксперимента.

Объем пузыря, мм ³	Уровень выходного сигнала, мВ	Фаза выходного сигнала, °
47,7	1002	-80

Таблица 2. Результаты второго эксперимента.

В обоих экспериментах отношение амплитуды входного и выходного сигналов не меняется и составляет порядка 1000 мВ.

5. Основные результаты

В ходе экспериментов было выявлено, что появление газовой фазы на конце коаксиального кабеля сопровождается изменением фазы выходного сигнала, в то время как амплитуда меняется несущественно (рис. 7).

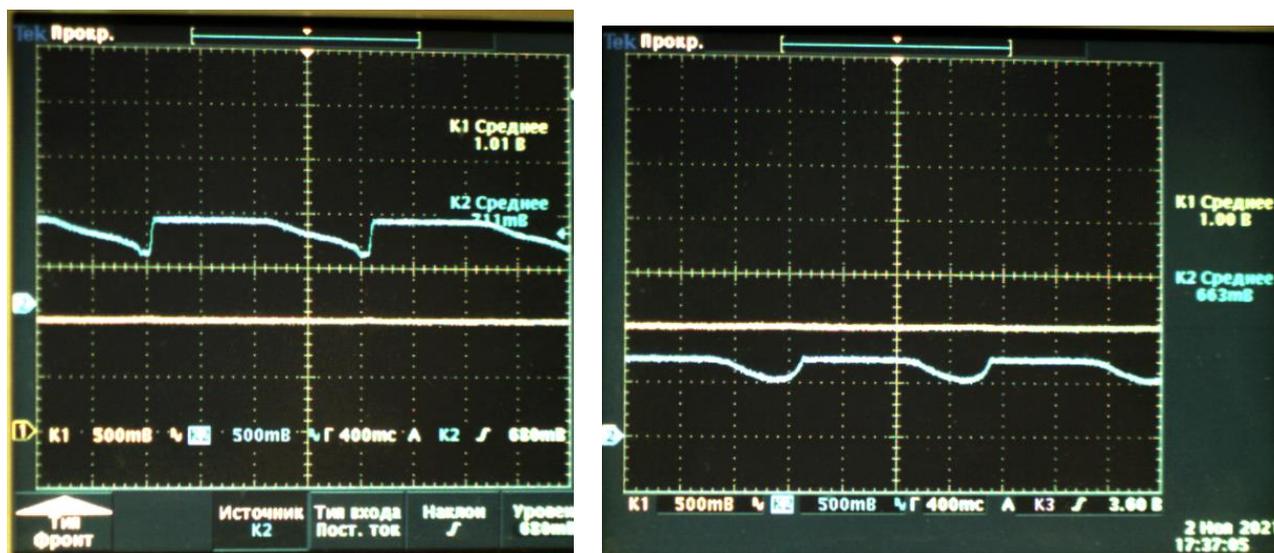


Рис. 7. Осциллограммы для накалывания пузыря на волновод для первого (слева) и второго эксперимента (справа).

6. Заключение

В курсовой работе был опробован метод диагностики динамики двухфазного потока. Был разработан компактный микроволновый датчик с высокой локальностью. Экспериментально продемонстрирована работоспособность метода. В ходе экспериментов было выявлено, что появление газовой фазы на торце коаксиального кабеля разработанного датчика сопровождается изменением фазы выходного сигнала, в то время как амплитуда меняется несущественно.

7. Список литературы

1. Datasheet AD8302. One Technology Way, P.O. Box 9106, Norwood, MA 02062-9106, U.S.A
2. Григорьев А. Д. Электродинамика и техника СВЧ: Учеб. для вузов по 1 спец. «Электронные приборы и устройства».-М.: Высш. шк., 1990-335 с.