МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования

«Южно-Уральский государственный университет» (национальный исследовательский университет)

Факультет компьютерных технологий, управления и радиоэлектроники

Кафедра «Информационно-измерительная техника»

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

Заведующий кафедрой, д.т.н., профессор

_____ / А.Л. Шестаков /

«08» 06 2016г.

Исследование электрических характеристик компонентов преобразователя давления с функцией самодиагностики

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

ЮУрГУ – 200100.62. 2016. 12-81-1886. ВКР

Руководитель, к.т.н, доцент

_____ / О.Ю. Бушуев /

«07» 06 2016 г.

Автор

студент группы КТУР–406

_____ / Г.Д. Смирнов /

«07» 06 2016г.

Нормоконтролер, к.т.н, доцент

_____ / А.С. Волосников /

«07» 06 2016г.

Челябинск 2016

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Южно-Уральский государственный университет»
(национальный исследовательский университет)
Факультет компьютерных технологий, управления и радиоэлектроники
Кафедра «Информационно-измерительная техника»

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой, д.т.н., профессор
_____/ А.Л. Шестаков/
«05» 12 2016 г.

З А Д А Н И Е

на выпускную квалификационную работу студента
Смирнова Георгия Дмитриевича
Группа КТУР–406

1. Тема работы:
Исследование электрических характеристик компонентов преобразователя давления с функцией самодиагностики
утверждена приказом по университету от «15» 04 2016 г.№ 661

2. Срок сдачи студентом законченной работы «8» июня 2016 г.

3. Исходные данные к работе:
Преобразователь давления с разделительной диафрагмой с функцией самодиагностики: патент полезной модели №145163 Рос. Федерация: МПК G01L9/00 / А.С. Семенов, В.В. Синицин, О.Ю. Бушуев. Нормативно-технические документы по интеллектуальным измерительным датчикам и системам, ГОСТ Р 8.673-2009.

4. Содержание расчетно-пояснительной записки:
1) Разработка датчика давления с функцией самодиагностики; 2) Электрические характеристики пьезокерамического кольца, как компонента датчика давления; 3) Экспериментальные исследования электрических характеристик пьезокерамического кольца; 4) Выводы по проделанной работе.

5. Иллюстративный материал:
Презентация выпускной квалификационной работы содержит 15 слайдов, выполненных в программе PowerPoint 2010, приложен компакт–диск с презентацией выпускной квалификационной работы.

6. Дата выдачи задания: 03.12.15.

Руководитель _____/О.Ю. Бушуев/

Задание принял к исполнению _____/Г.Д. Смирнов/

КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

Наименование этапов выпускной квалификационной работы	Срок выполнения этапов работы	Отметка о выполнении руководителя
Разработка датчика давления с функцией самодиагностики;	14.02.16	
Электрические характеристики пьезокерамического кольца, как компонента датчика давления.	1.03.16	
Экспериментальное исследования электрических характеристик пьезокерамического кольца. Сравнение результатов исследования.	25.03.16.	

Заведующий кафедрой _____ / А.Л. Шестаков /

Руководитель работы _____ / О.Ю. Бушуев /

Студент _____ / Г.Д. Смирнов /

АННОТАЦИЯ

Смирнов Г.Д. Исследование электрических характеристик компонентов преобразователя давления с функцией самодиагностики. – Челябинск: ЮУрГУ, КТУР; 2016, 62 с, библиогр. список – 12 наим.

В ходе выполнения данного курсового проекта была разработана математическая модель пьезокерамического кольца, которая предназначена для сравнения с измерением сопротивления пьезокерамического кольца от возбуждающей его частоты в диапазоне от 0 до 500 кГц. В процессе выполнения данной работы были проведены основные исследования измерения пьезокерамического компонента преобразователя давления. Найдены результаты изменения влияния электрических характеристик при изменении особенности конструкции. Максимальное изменение электрического параметра характеристики достигает до 108%.

					ЮУрГУ – 200100.62. 2016.12-81-1886.ВКР	
Изм.	Лист.	№ докум.	Подп.	Дата		
Разраб.		Смирнов Г.Д.		07.06	Исследование электрических характеристик компонентов преобразователя давления с функцией самодиагностики	Лит. / Лист 4 / Листов 62
Пров.		О.Ю.Бушуев		07.06		
Н. Контр.		А.С. Волосников		07.06		ЮУрГУ Кафедра ИнИТ
Утв.		А.Л. Шестаков		07.06		

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ 8
1 РАЗРАБОТКА ДАТЧИКА ДАВЛЕНИЯ С ФУНКЦИЕЙ САМОДИАГНОСТИКИ. 10
2 ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЬЕЗОКЕРАМИЧЕСКОГО КОЛЬЦА, КАК КОМПОНЕНТ ДАТЧИКА ДАВЛЕНИЯ 20
ВЫВОДЫ 56
ЗАКЛЮЧЕНИЕ 58

ВВЕДЕНИЕ

Современное технологическое развитие нуждается в тщательном контроле, иначе это может привести к необратимым последствиям. Реализация технологического контроля осуществляется системой самодиагностики, что позволит обнаружить неисправность прибора, от которого зависит весь технологический процесс, на самом начальном этапе его неисправности.

При измерениях мы должны быть уверены в том, что на текущий момент работы датчик не отклонился от нормального режима работы под влиянием внешних факторов. Для этого применяется метрологический контроль – поверка, калибровка. Но такие средства не всегда эффективны по ряду причин. Эти процессы дороги и при их осуществлении процесс производства остановлен.

Один из самых распространённых датчиков это датчик давления. От его технического состояния может зависеть весь технологический процесс производства.

Пьезокерамический элемент может помочь разработать функцию самодиагностики, поэтому важно знать какое состояние пьезо-элемента является исправным, а какое будет говорить, что датчик вышел из-под контроля.

Изменение электрических характеристик пьезо-элемента будет являться сигналом к тому что датчик выходит из исправного состояния.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1) Проанализировать существующие подходы к определению электрических характеристик преобразователей физических величин;

2) Исследовать электрические характеристики пьезокерамического кольца, как компонента преобразователя давления.

3) Построить математическую модель пьезокерамического кольца.

4) Провести экспериментальные исследования электрических характеристик.

5) Сравнить полученные результаты эксперимента с моделью и сделать выводы

1 РАЗРАБОТКА ДАТЧИКА ДАВЛЕНИЯ С ФУНКЦИЕЙ САМОДИАГНОСТИКИ.

С каждым днём промышленная сфера экономики развивается, увеличивается производство, поэтому очень важно не допустить технологические катастрофы путём внедрения в производство механизмы самодиагностики с целью повышения безопасности производства.

Эти механизмы востребованы для таких целей как увеличения безотказности и непрерывности работы приборов, взаимодействующих с внешней технологической средой.

При измерениях мы должны быть уверены в том, что на текущий момент работы датчик не отклонился от нормального режима работы под влиянием внешних факторов. Для этого применяется метрологический контроль – поверка, калибровка. Но такие средства не всегда эффективны по ряду причин. Эти процессы дороги и при их осуществлении процесс производства остановлен.

Основные проблемы обеспечения достоверности измерительной информации связаны с датчиками: их компоненты стареют, параметры со временем изменяются. Возникают и внезапные дефекты. Все это может приводить к ошибкам в управлении [1!].

Существуют некоторые способы решения проблемы постоянного требования обеспечения достоверности измерительной информации. Один из которых является уменьшением межкалибровочного (межповерочного) интервала. Данный метод повышает затраты на эксплуатацию системы и он может быть просто не применим в силу особенностей ее эксплуатации. Кроме того, метод не дает гарантии сохранения параметров системы во время межповерочного интервала. Существуют способы резервирования и комплексирования датчиков, использование которых может быть ограничено конструктивными особенностями системы, ее тактико-техническими характеристиками и требованием независимости воздействия внешних условий на

параметры датчика. Поэтому ни один из этих методов нельзя признать полноценно оптимальным.

Данную проблему для интеллектуальных датчиков предлагается решить за счет реализации в них функции самоконтроля. Повышенный интерес к разработке средств измерения, обладающим самодиагностикой, обусловлено тем, что такие приборы могут стать более безопасными и дешевыми. Сегодня контроль качества измерений проверяется путем применения традиционных методов метрологического обслуживания (поверки или калибровки). Обычно эти операции неэффективны, поскольку они дороги и для их проведения, как правило, необходимо остановить технологический процесс. Так же затруднительно осуществить поверку датчиков, удаленных на большие расстояния, особенно если они находятся в космосе.

Согласно ГОСТ Р 8.673-2009 Государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ). Датчики интеллектуальные и системы измерительные интеллектуальные. Датчиком называют конструктивно обособленное устройство, содержащее один или несколько первичных измерительных преобразователей **(**на которых непосредственно воздействует явление, физический объект или вещество, являющееся носителем величины, подлежащей измерению)**.**

Известно устройство осуществления самоконтроля [2!], у которого в чувствительном элементе выделяются (формируются) части, имеющие разную чувствительность к фактору, влияющему на исправность преобразователя. В процессе эксплуатации периодически измеряют значения сигнала от этих частей с чувствительностью, достаточной для выявления нарастания погрешности измерительного преобразователя, и по ним судят о его метрологической исправности, т.е. опорная величина формируется путем сравнения сигналов от частей первичного преобразователя, имеющих разую чувствительность к возмущающему фактору.

Недостатком устройства является необходимость разработки модели погрешности с большим количеством допущений и учетом дестабилизирующих

факторов и условий работы, что снижает надежность и достоверность самоконтроля.

Наиболее близким к заявляемому решению является устройство, описанное в патенте [3!]Помимо стандартных элементов, обеспечивающих измерение давления – корпуса, чувствительного элемента, жестко связанного с плунжером, и блока контроля положения плунжера, а значит и чувствительного элемента, устройство включает электромагнит, позволяющий перемещать плунжер, изменяя силу и направление тока в обмотке.

Общим недостатком известных устройств самоконтроля датчиков давления является использование сложной электромеханической конструкции, снижающей надежность устройства и увеличивающее погрешность измерения параметра за счет дополнительных механических контактов с чувствительным элементом.

Задачей разработки датчика давления с функцией самодиагностики и метрологической аттестации, предложенной А.С. Семеновым и О.Ю. Бушуевым, заключается в повышении достоверности метрологического контроля датчика давления с разделительной диафрагмой в ходе технологического процесса путем упрощения конструкции системы контроля, устранения механического контакта диафрагмы с элементами устройства контроля и установления прямой связи между измеряемым и контролируемым параметром.

Техническая задача достигается тем, что в датчике давления с разделительной диафрагмой с функцией метрологического самоконтроля, содержащем корпус, разделительную и измерительную диафрагмы, соединенные полостью, заполненной малосжимаемой жидкостью, согласно полезной модели в корпусе датчика напротив разделительной диафрагмы выполнен кольцевой паз, в который установлено пьезокерамическое кольцо с металлизированными верхними и нижними поверхностями, выполняющими роль электродов, при этом нижний электрод соединен с корпусом датчика, а верхний электрод соединен с

проводником, который размещен в отверстии в корпуса, заполненном компаундом.

Сущность технического решения поясняется графическими материалами, где на рисунке 1 показан схематически датчик давления с функцией метрологического самоконтроля.

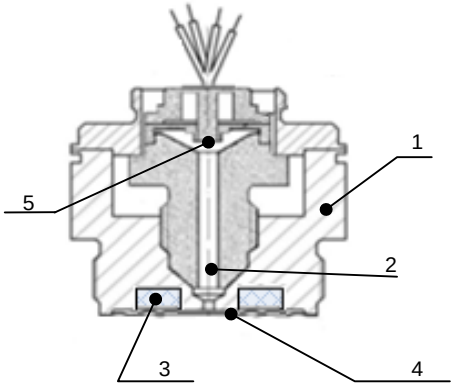

Рисунок 1 – Общий вид датчика.

На рисунке 1 датчик давления с разделительной диафрагмой с функцией метрологического самоконтроля содержит корпус 1, разделительную 4 и измерительную диафрагму 5, соединенные полостью 2, заполненной малосжимаемой жидкостью. В корпусе 1 напротив разделительной диафрагмы 4 в кольцевой паз помещено пьезокерамическое кольцо 3. Кольцевой паз является частью полости 2. Пьезокерамическое кольцо 3 выполнено с металлизированными верхними и нижними поверхностями, играющими роль электродов, при этом нижний электрод соединен с корпусом датчика 1.

Путем упрощения конструкции системы контроля, устранения механического контакта разделительной диафрагмы с элементами устройства контроля и установления прямой связи между измеряемым и контролируемым параметром повышается достоверность метрологического контроля датчика давления с разделительной диафрагмой в ходе технологического процесса.

С.М. Алдакушевым, О.Ю. Бушуевым, А.С. Семеновым разработан

лабораторный макет тензометрического датчика давления с возможностью диагностики своего состояния. В данной работе рассматривается создание лабораторного макета тензометрического датчика давления с возможностью диагностики своего технического состояния. В качестве способа диагностики используется методика, основанная на контроле частотной характеристики первичного измерительного преобразователя датчика. В упрощенной форме методика состоит из следующих этапов: возбуждение собственных колебаний конструкции сенсора – регистрация сигнала отклика – обработка сигнала – вывод о наличии неисправности.

Предлагаемый макет представляет собой набор компонентов, позволяющих возбуждать собственные колебания конструкции сенсора, регистрировать его отклик, обрабатывать полученный сигнал с помощью методов спектрального анализа и принимать решение о состоянии сенсора. За основу макета был взят первичный измерительный преобразователь тензометрического датчика давления без электронного модуля, допускающий возможность регистрации сигнала непосредственно с тензомоста, связанного с измерительной мембраной.

Так же О.Ю.Бушуев в работе исследование возможности диагностики состояния тензометрического преобразователя давления на основе анализа его выходного сигнала выполнил цель дать экспериментальную оценку возможности использования частотной характеристики, определяемой по выходному сигналу преобразователя давления, в задаче диагностики состояния преобразователя.

В патенте, Бушуев О.Ю. и Семенов А.С., ставится задача помещения пьезокерамического кольца в тензометрический преобразователь давления, для осуществления функции самодиагностики в будущем датчике давления. Поэтому никто из них не исследовал влияние закрепления кольца в преобразователь.

В публикации не рассматривается исследование электрических характеристик пьезокерамического кольца в виду изменения особенностей закрепления этого кольца в корпус датчика. Прототипом конструкции является

датчик, вид которого показан на рисунке 2. В качестве основной идеи генерации воздействия для датчиков давления с открытой мембраны было предложено использовать патент № 145163 от 22 января 2014 г. «Датчик давления с разделительной мембраной с функцией метрологического самоконтроля» [4!].

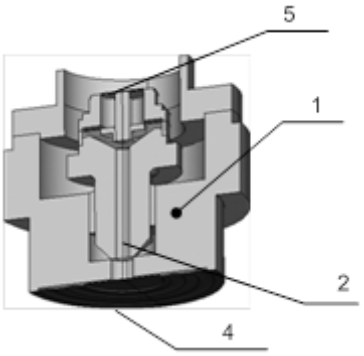

Рисунок 2 – Датчик давления с разделительной мембраной в разрезе.

Исходная конструкция.

1 - корпус, 2 – канал подвода давления, заполненный малосжимаемой жидкостью, 4 - разделительная мембрана, 5 – измерительная мембрана

В основе патента лежит предложение о генерации воздействия (импульса давления) с помощью пьезоэлектрического эффекта. Для реализации этой идеи, в целях формирования импульса давления, во внутреннюю полость 2 корпуса датчика 1 помещается пьезокерамическое кольцо 3, как показано на рис.2. Верхняя и нижняя плоскость кольца металлизированы и являются электродами, при подаче на которые разности напряжения, толщина кольца изменяется, в соответствии со свойствами пьезокерамики. Изменение объема кольца должно компенсироваться, в силу малосжимаемости жидкости, соответствующим изменением формы разделительной 4 и измерительной 5 диафрагм, что приводит к изменению давления в полости. Это изменение давления отслеживается чувствительными элементами, расположенными на измерительной диафрагме и приводит к изменениям показаний датчика.

Контроль исправности датчика с охватом всех элементов измерительной системы осуществляется следующим образом: перед вводом устройства в эксплуатацию проводится дополнительная характеризация датчика,

заключающаяся в том, что при известных давлениях на электроды пьезокерамического кольца подается импульс напряжения фиксированной амплитуды и длительностью в 2-3 раза превышающей постоянную времени датчика. В качестве номинального контролируемого параметра β_0 используется изменение показаний датчика в установившемся режиме после подачи импульса напряжения относительно исходного состояния.

Изменяя давление на входе датчика, можно получить градуировочную зависимость изменения значения номинального контролируемого параметра β_0 при фиксированном значении амплитуды импульса напряжения от величины давления.

В процессе эксплуатации периодически на электроды пьезокерамического кольца подают импульс напряжения той же амплитуды и длительности, как во время характеризации, и контролируют изменение давления β. Если $|\beta_0-\beta| < \beta_{доп}$, где $\beta_{доп}$ - допустимое значение, принимают решение о метрологической исправности устройства.

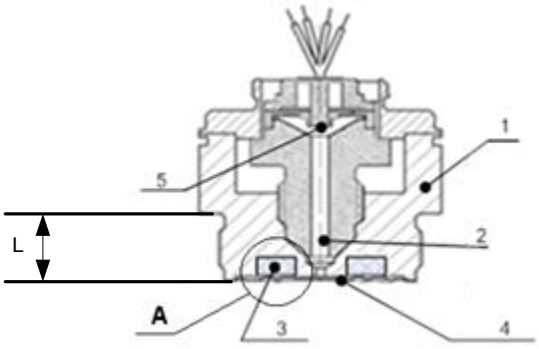

Рисунок 3 – Конструкция датчика с узлом генерации возмущающего воздействия.

1 - корпус, 2 – канал подвода давления, заполненный малосжимаемой жидкостью, 3 - пьезокерамическое кольцо, 4 - разделительная мембрана, 5 – измерительная мембрана

Узел генерации возмущения укрупненно показан на рис. 3. Он состоит из кольцевого паза 6, вырезанного в корпусе датчика напротив разделительной мембраны 4 и являющегося таким образом частью полости 2. В паз помещен пьезокерамический элемент 3 в виде кольца с металлизированными верхними и нижними поверхностями, играющими роль электродов. При этом верхний электрод 7 соединен с корпусом датчика 1, а нижний 8, на который подается напряжение по проводнику 9, проходящему через отверстие 10 в корпусе, заполненное компаундом, изолирован от корпуса с помощью того же компаунда. Варианты крепления кольца в пазе рассматривались в ходе выполнения этапа.

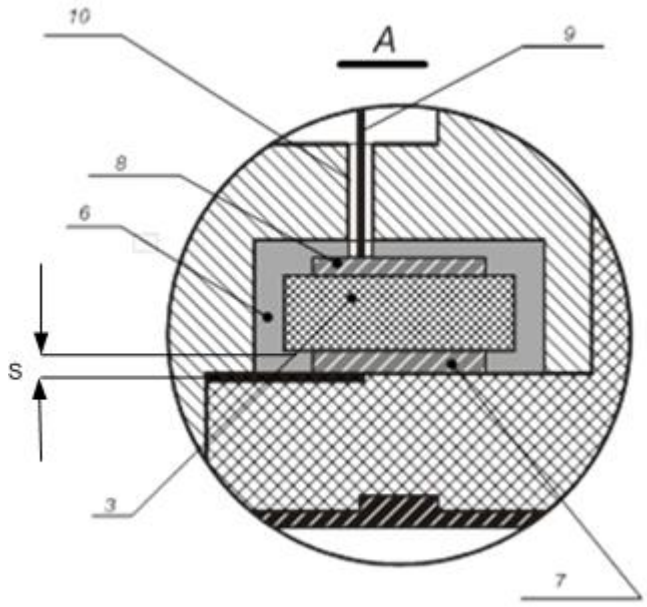

Рисунок 4 – Узел генерации возмущающего воздействия.

Первичный преобразователь датчика тензометрического датчика давления (сенсора) состоит из трех основных элементов – корпуса, возбуждающего пьезокерамического кольца и тензометрического моста с измерительной диафрагмой.

Корпус преобразователя изготовлен из конструкционной легированной стали типа 09ХГ2НАБч, предназначенной для деталей оборудования нефтехимической, нефтедобывающей и химической промышленности. В отличие от стандартного корпуса в данном варианте конструкции увеличена длина посадочного места L (Рисунок 3), с целью размещения проточки, сделан

кольцевой паз 10 (рисунок 3) для размещения пьезокерамического кольца 3 (рис.3) и просверлено дополнительное отверстие 10 (рисунок 3) для выводов системы возбуждения.

Пьезокерамическое кольцо выполнено из пьезокерамики ЦТС 45.

Узел тензометрического моста – стандартный, изготовления ЗАО «ВИП», Екатеринбург.

Процесс изготовления первичного преобразователя предполагает следующую последовательность операций (укрупненно).

- металлизация припоем обкладок кольца и припайка выводов узла возбуждения;

- установка кольца в корпус на проводящий клей или изолированную прокладку (в зависимости от варианта изготовления);

- заполнение технологических емкостей корпуса малосжимаемой кремнийорганической жидкостью и приварка диафрагмы;

- установка узла тензометрического моста.

Вид конструкции в сборе приведен на рис 4.

В целях определения влияния конструкции на характеристики сенсора были изготовлены три варианта конструкции.

Вариант 1. Конструкция с изолированным пьезокерамическим кольцом.

Вариант 2. Конструкция с заглублением пьезокерамического кольца.

Вариант 3. Конструкция с «приподнятым» пьезокерамическим кольцом.

В вариантах 2 и 3 одна обкладка пьезокерамического кольца замкнута на корпус преобразователя, таким образом, для подачи напряжения на пьезокерамическое кольцо может быть использован только один вывод.

При изготовлении вариантов конструкции рассматривались следующие факторы.

1. В случае установки пьезокерамического кольца непосредственно на корпус (замыкании обкладки на корпус) возникает возможность появления токов утечки при подаче высокого напряжения на обкладки

кольца для генерации импульса давления, которые могут нарушать работу измерительного канал. С целью определения влияния таких токов была изготовлена конструкция Вариант 1 с изолированными обкладками.

2. Влияние положения пьезокерамического кольца можно оценить с помощью вариантов конструкции 2 и 3. Вариант 2 предусматривает увеличенное значение S≈2 мм. (рис.3). В варианте 3 S≈0.

Исходя из вышеперечисленного, задачей работы следует считать исследование влияния конструкции на пьезокерамическое кольца, как компонента преобразователя давления с функцией самодиагностики.

Предыдущие авторы не занимались изучением пьезокерамического преобразователя, их задачей было исследование тензометрического чувствительного элемента. Целью моей выпускной квалификационной работы будет исследовать влияние особенностей закрепления пьезокерамического возбуждающего элемента на его электрические свойства в преобразователе давления с функцией самодиагностики.

В процессе выполнения работы мне нужно будет выполнить следующие цели:

1) Проанализировать существующие подходы к определению электрических характеристик преобразователей физических величин;

2) Исследовать электрические характеристики пьезокерамического кольца, как компонента преобразователя давления.

3) Построить математическую модель пьезокерамического кольца.

4) Провести экспериментальные исследования электрических характеристик.

5) Сравнить полученные результаты эксперимента с моделью и сделать выводы

2 ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЬЕЗОКЕРАМИЧЕСКОГО КОЛЬЦА, КАК КОМПОНЕНТ ДАТЧИКА ДАВЛЕНИЯ

2.1 Пьезокерамическое кольцо

Одной из ключевых технических задач разработки датчика давления является установка пьезокерамического кольца с металлизированными верхними и нижними поверхностями, выполняющими роль электродов в кольцевой паз на рисунке 1.

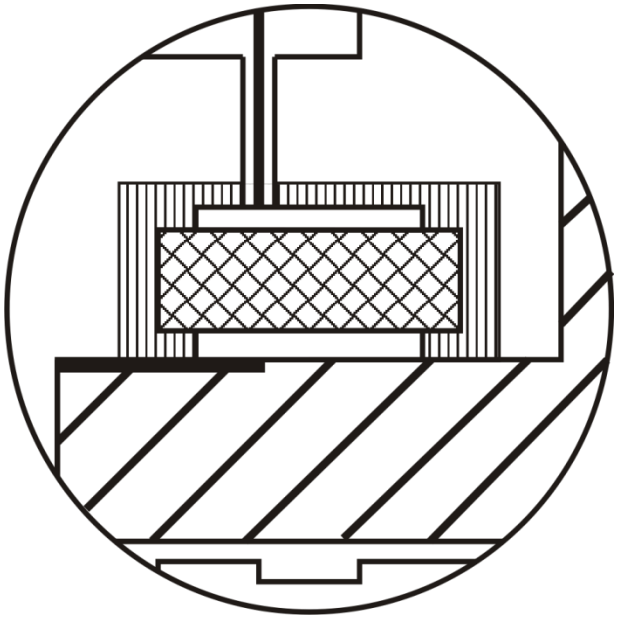

Рисунок 5 – Увеличенное изображение пьезокерамического кольца.

В 1880г. Пьер и Жак Кюри обнаружили, что под действием силы на поверхности некоторых материалов возникают электрические заряды. Этот эффект впоследствии называют прямым пьезоэффектом, а материалы в которых происходит это явления называют пьезоэлектрическими[5!].

Пьезокерамическими материалами (ПКМ) представляют собой сегнетоэлектрические соединения или их твердые растворы, полученные синтезированием из смеси различных оксидов и солей [6!].

Пьезоэлектрические датчики позволяют решать многообразные задачи: для измерения механических параметров (усилии, давлений, ускорений, массы,

угловых скоростей, моментов, деформаций и т. п.), тепловых приборов (термодатчиков, датчиков расхода, вакуума, измерителей электрических параметров, датчиков тепловых потоков), устройств для контроля составов, концентраций газов, влажности, микромасс . Но разрешающей способности и точности эти устройства во многих случаях превосходят датчики, выполненные на других физических принципах.

Пьезоэлектрические датчики можно разделить на два крупных класса в зависимости от физических эффектов, лежащих в их основе. К первому классу относятся датчики, использующие прямой пьезоэффект. Эти преобразователи в дальнейшем мы будем называть пьезодатчиками на прямом пьезоэйфекте. Они используются для измерения линейных и вибрационных ускорений, динамических и квазистатических давлений и усилий, параметров звуковых и ультразвуковых полей и др.

Ко второму, не менее обширному классу пьезодатчиков относятся так называемые резонансные пьезодатчики . В их основе может лежать обратный пьезоэффект (резонансные пьезодатчики на основе пьезоэлектрических резонаторов), а также обратный и прямой пьезоэффекты (резонансные пьезодатчики на основе пьезоэлектрических трансформаторов). Кроме того, в их основе лежат другие физические эффекты (тензочувствителыюсть, акусто-чувствительность, термочувствительность и др.), что позволяет использовать их для измерения статических и динамических давлений и усилий, линейных и вибрационных ускорений, концентраций веществ в газах, вязкости, углов наклона и др.

Большой класс пьезодатчиков можно классифицировать также по следующим признакам.

1)По применяемому материалу. Датчики из:

- монокристаллических материалов (кварц, ниобат лития и др.);
- поликристаллических материалов (пьезокерамики).

2)По виду колебаний:

- по линейному размеру;
- радиальные;
- изгибные;
- крутильные;
- сдвиговые;
- на поверхностных акустических волнах; комбинированные.

3)По виду физических эффектов:

- термочувствительные;
- тенэочувствительиые;
- акусточувствительные;
- гирочувствительные;
- контактные; (использующие контактную жесткость и фактическую площадь контакта) и т. п.; доменно-диссипативные и др.

4)По назначению:

- для измерения динамичес ких давлений и усилий; для измерения линейных ускорений; для измерения параметров вибраций; для измерения статических давлений и усилий; для измерения параметров удара;
- для измерения звукового давления, для измерения влажности;

5)По свойствам и характеристикам пьезоматериалов:

- для измерения вязкости;
- для гидроакустики;
- для гироскопов;
- для газоанализаторов;
- для измерения температуры;
- для измерения контактной жесткости;

для измерения фактической площади контакта;

- для измерения магнитных величин;
- для измерения в оптике;
- для измерения микроперемещений; для измерения концентрации пыли; в ультразвуковой технологии; в электроакустике; в устройствах автоматики: в связи;

6)В электронной технике и радиотехнике; в медицине:

- для ультразвуковых томографов;
- для измерения пульса;
- для измерения тонов Короткова; для урологии;

Основу большинства современных ПКМ составляют твердые растворы титана-цирконата свинца.

Основными характеристиками пьезокерамических материалов являются: [7!], [8!]

1) Коэффициент электромеханической связи K_p

2) Относительная диэлектрическая проницаемость

3) Удельное объёмное электрическое сопротивление pv

4) Плотность p

5) Водопоглощение W

6) Пьезомодули в диэлектрическом режиме

7) Пьезомодуль в статическом режиме

8) Модуль Юнга Y

9) Скорость звука v

10) Механическая добротность Q

11) Относительное отклонение частоты в интервале рабочих температур от частоты, измеренной при температуре настройки

12) Тангенс угла диэлектрических потерь диэлектрических потерь в слабых электрических полях $tg\delta$

13) Электрическая прочность Eпр

14) Температура точки Кюри T_k

15) Предел механической прочности при статическом сжатии

16) Предел механической прочности при статическом изгибе

17) Предел механической прочности при статическом растяжении.

2.2 Электрические характеристики эквивалентной схемы пьезокерамического кольца, как компонента датчика давления.

Индуктивность и ёмкость одноименные реактивные двухполюсники. Как показано на рисунке 6.

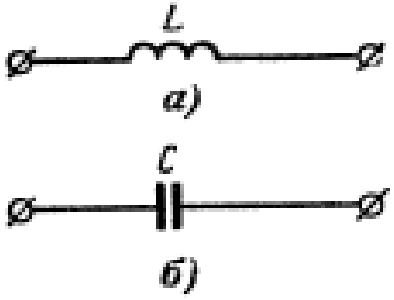

Рисунок 6 – Одноименные реактивные двухполюсники: а) – Индуктивность, б) – Ёмкость.

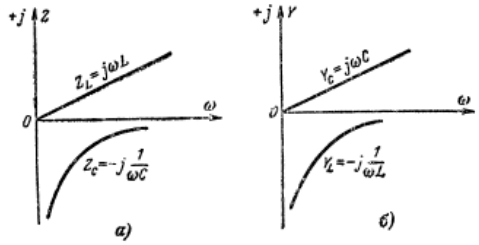

Рисунок 7 – Частотные характеристики одноименных двухполюсников. а) – сопротивление, б) – проводимость.

Существующим отличием их от более сложных двухполюсников является то, что знак сопротивления и комплексной проводимости каждого из этих двухполюсников не изменяется при изменении частоты.

Двухполюсник состоящий из последовательного или параллельного соединённых однородных элементов относится к числу одноименных двухполюсников, так как последовательно или параллельно соединённые элементы могут быть заменены одним эквивалентным элементом того же характера.

В результате сведения числа элементов двухполюсника до минимума путём замены их эквивалентами получается приведенный двухполюсник.

Двухэлементный реактивный двухполюсник получается в результате последовательного и параллельного соединения индуктивности и ёмкости.

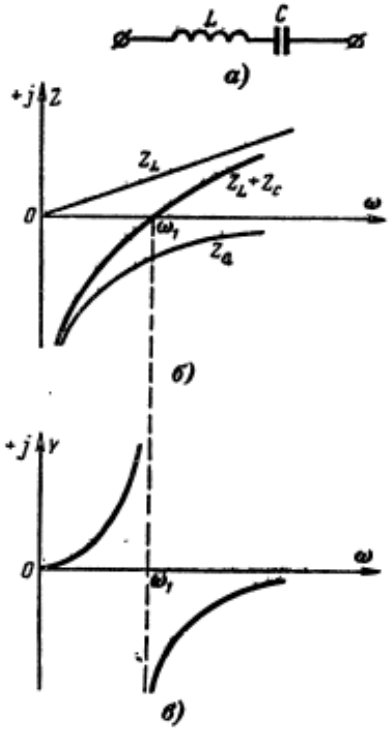

Рисунок 8 – Частотные характеристики двухэлементного реактивного двухполюсника. а) – схема двухполюсника, б) – сопротивление в) – проводимость.

При последовательном соединении индуктивности соединении индуктивности и емкости алгебраически складываются реактивные сопротивления.

При параллельном соединении индуктивности и емкости алгебраически складываются их комплексные проводимости.

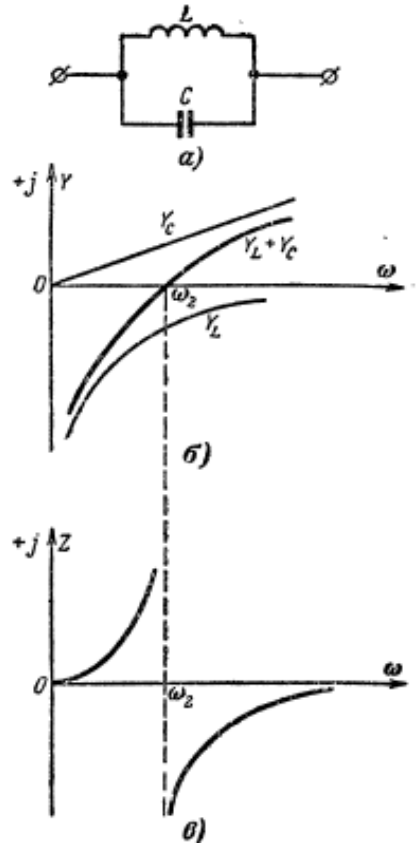

Рисунок 9 – Частотные характеристики двухэлементного реактивного двухполюсника. а) – схема двухполюсника, б) – проводимость в) – сопротивление.

Таким образом, в зависимости от частоты двухэлементный реактивный может иметь либо индуктивное, либо емкостное сопротивление.

В отличие от сопротивлений одноэлементных двухполюсников, которые выражаются через текущую частоту, сопротивления двухэлементных реактивных двухполюсников зависят также и разности квадратов резонансной и текущих частот.

Трёхэлементный реактивный двухполюсник может быть составлен из двух индуктивностей и одной емкости или двух ёмкостей и одной индуктивности.

Общее число возможных схем состоящей из трехэлементных реактивных элементов равно четырем.

Пользуясь частотным характеристиками одноэлементных и двухэлеменых реактивных двухполюсников, приведенными ниже можно построить характеристики для трехэлементных двухполюсников.

При последовательном соединении одноэлементного и двухэлементного реактивных двухполюсников, образующих в совокупности трехэлементный двухполюсник. Суммируются характеристики сопротивлений состовных двухполюсников.

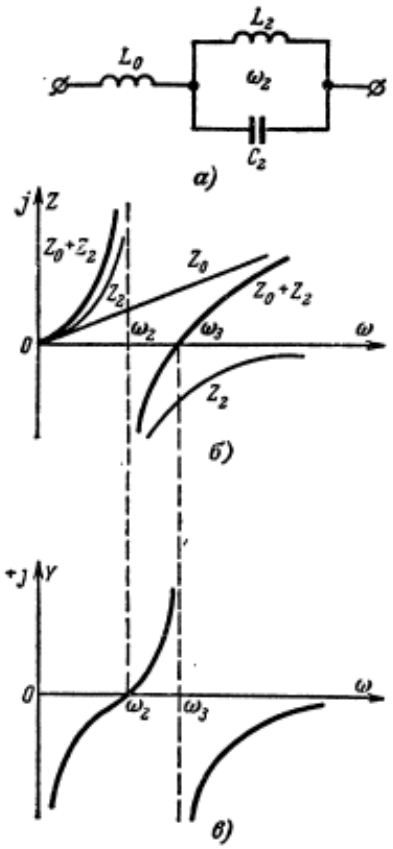

Рисунок 9 – Частотные характеристики трехэлементного реактивного двухполюсника. а) – схема двухполюсника, б) – сопротивление в) – проводимость.

При параллельном соединении одноэлементного и двухэлементных реактивных двухполюсников, трехэлементный двухполюсник суммируются характеристики проводимости составных двухполюсников. Характеристики сопротивлений трехэлементный двухполюсников получаются обращением соответствующих характеристик проводимостей. Из сопоставлений частотных

характеристик трёхэлементных двухполюсников следует, что двухполюсники, состоящие из двух индуктивностей и одной емкости имеют однотипные частотные характеристики. Параметры этих двухполюсников подобраны так что, их характеристики совпадут.

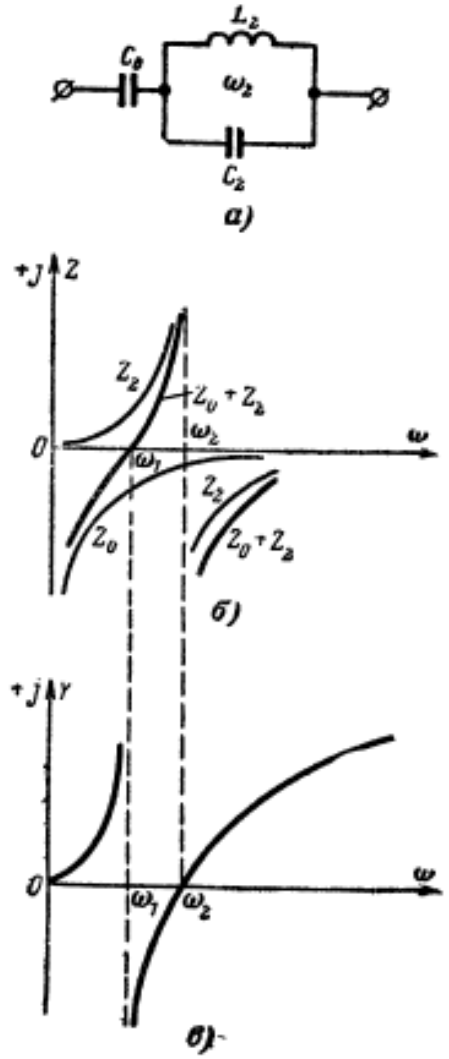

Рисунок 10 – Частотные характеристики трехэлементного реактивного двухполюсника. а) – схема двухполюсника, б) – сопротивление в) – проводимость.

Таким образом, сопротивления трехэлементных реактивных двухполюсников содержат разности квадратов резонансной и текущей частот.

Существует зависимость сопротивления пьезопреоброзователя от частоты возбуждающего его напряжения. Это позволяет рассматривать элемент как электрическую цепь [9!]. При взаимодействии его с технологической средой эта зависимость может видоизменяться, следовательно, она может быть критерием для определения неисправности датчик и основанием для его дальнейшего использования.

Как отметилось ранее полученную зависимость сопротивления пьезопреоброзователя от частоты возбуждающего его напряжения можно рассмотреть как эквивалентную цепь, показанную на рисунке 11.

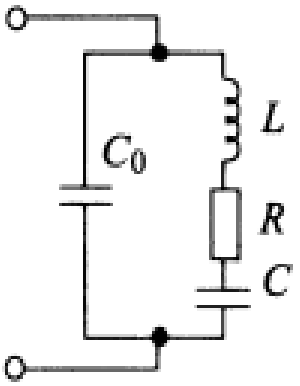

Рисунок 11– Эквивалентная схема пьезокерамического кольца.

Электрическая цепь состоит из емкости C_0, динамической индуктивности L и емкости C, активного сопротивления потерь R [10!].

Этот контур имеет две резонансные частоты: последовательного резонанса f_p и параллельного f_a. Сопротивление на резонансной последовательной частоте (R_p) минимальное, а на параллельной (R_a) максимальное и носит активный характер. Резонансная зависимость изображена на рисунке 12 [11!].

.

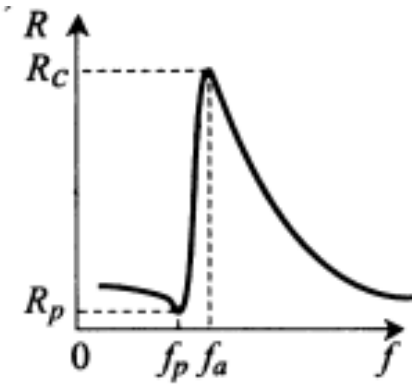

Рисунок 12 – Частотная характеристика пьезокерамического материала.

Резонансные частоты зависят от следующих параметров:

$$f_p = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}; f_a \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{C+C_0}{LCC_0}}; \quad (1)$$

Как показано по формуле 1 резонансные частоты зависят от емкости C_0, динамической индуктивности L и емкости C и поэтому данные параметры будут являться электрическими характеристиками пьезокерамического кольца.

2.3 Построение математической модели.

Электрической схемой будет выступать эквивалентная схема приведённая на рисунке 3 состоящая из следующих параметров:

- Статистическая емкость C_0;
- динамическая индуктивность L;
- емкость C;
- активное сопротивление потерь.

Выражение схемы будет выглядит следующим образом:

$$Z = \frac{(i \cdot w \cdot L + R + \frac{1}{i \cdot w \cdot C})(\frac{1}{i \cdot w \cdot C_0})}{\left(\frac{1}{i \cdot w \cdot C_0}\right) + (i \cdot w \cdot L + R + \frac{1}{i \cdot w \cdot C})}$$

Данное выражение является комплексным поэтому нужно найти модуль.

Для нахождения модуля нужно умножить числитель и знаменатель дроби на комплексно-сопряженное знаменателя.

Для этого нужно сгруппироватьзнаменатель:

$$R + i \cdot (w \cdot L - \frac{1}{w \cdot C} - \frac{1}{w \cdot C_0})$$

Выражение умножить на его комплексно-сопряженное:

$$\left(R + i \cdot \left(w \cdot L - \frac{1}{w \cdot C} - \frac{1}{w \cdot C_0}\right)\right)\left(R - i \cdot \left(w \cdot L - \frac{1}{w \cdot C} - \frac{1}{w \cdot C_0}\right)\right)$$

$$= R^2 + \left(w \cdot L - \frac{1}{w \cdot C} - \frac{1}{w \cdot C_0}\right)^2$$

Раскрыть скобки в числителе:

$$\frac{L}{C_0} + \frac{1}{w^2 \cdot C \cdot C_0} + \frac{i \cdot R}{w \cdot C_0}$$

Умножить числитель на сопряженное знаменателя:

$$\left(\frac{L}{C_0} + \frac{1}{w^2 \cdot C \cdot C_0} + \frac{i \cdot R}{w \cdot C_0}\right)\left(R - i \cdot \left(w \cdot L - \frac{1}{w \cdot C} - \frac{1}{w \cdot C_0}\right)\right)$$

$$= \frac{R}{C0^2 \cdot w^2} + \frac{2 \cdot R}{C \cdot C0 \cdot w^2} + i \cdot \left(\frac{1}{C \cdot C0^2 \cdot w^3} + \frac{L}{C0^2 \cdot w} + \frac{1}{C^2 \cdot C0 \cdot w^3} - \frac{L^2 \cdot w}{C0} - \frac{R^2}{C0 \cdot w}\right)$$

После разделения на действительную и мнимую часть:

$$\frac{\left(\frac{R}{C0^2 \cdot w^2} + \frac{2 \cdot R}{C \cdot C0 \cdot w^2}\right)}{\left[w \cdot L - \frac{1}{(w \cdot C)} - \frac{1}{(w \cdot C0)}\right]^2 + R^2} + i \cdot \frac{\left(\frac{1}{C \cdot C0^2 \cdot w^3} + \frac{L}{C0^2 \cdot w} + \frac{1}{C^2 \cdot C0 \cdot w^3} - \frac{L^2 \cdot w}{C0} - \frac{R^2}{C0 \cdot w}\right)}{\left[w \cdot L - \frac{1}{(w \cdot C)} - \frac{1}{(w \cdot C0)}\right]^2 + R^2}$$

Модуль $|Z|$ будет равен:

$$|Z| = \left[\frac{\left(\frac{R}{C0^2 \cdot w^2} + \frac{2 \cdot R}{C \cdot C0 \cdot w^2}\right)}{\left[w \cdot L - \frac{1}{(w \cdot C)} - \frac{1}{(w \cdot C0)}\right]^2 + R^2}\right]^2 + \left[\frac{\left(\frac{1}{C \cdot C0^2 \cdot w^3} + \frac{L}{C0^2 \cdot w} + \frac{1}{C^2 \cdot C0 \cdot w^3} - \frac{L^2 \cdot w}{C0} - \frac{R^2}{C0 \cdot w}\right)}{\left[w \cdot L - \frac{1}{(w \cdot C)} - \frac{1}{(w \cdot C0)}\right]^2 + R^2}\right]^2$$

Путём подбора параметров в среде MathCad 15 выражение $|Z|$ снимает следующую зависимость приведенную на рисунке 5.

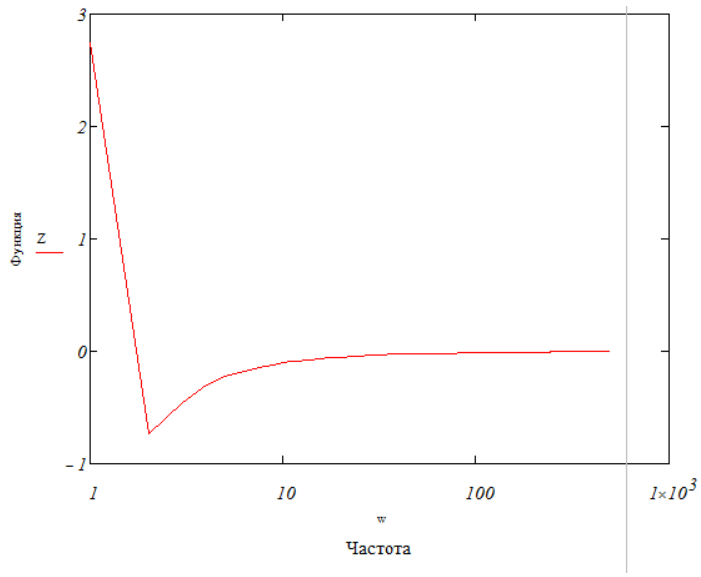

Рисунок 12 – Частотная характеристика синтезируемой функции.

При подборе значений из справочника выстраивается зависимость изображенная на рисунке 13

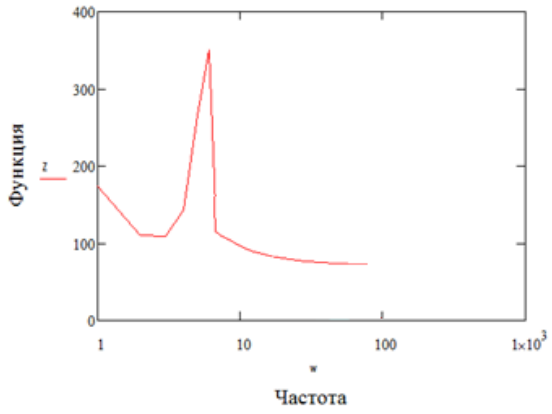

Рисунок 13 – Частотная характеристика синтезируемой функции после некоторого подбора параметров.

Теоретическая зависимость совпадает с расчетной функцией.

2.4 Изменение электрической характеристики при изменении параметров конструкции датчика.

Поскольку пьезокерамическое кольцо будет закреплено в кольцевой паз датчика давления, то на него будет оказано силовое воздействие, что может повлиять на его параметры и частотная зависимость может измениться и оказать воздействие на результат измерения датчика. Следующий раздел будет посвящен

экспериментальному исследованию на изменение электрических характеристик пьезокерамического кольца, при изменении особенности конструкции датчика.

Проводится исследование влияния типа закрепления конструкции на параметры электрической характеристики пьезокерамического кольца.

3 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЬЕЗОКЕРАМИЧЕСКОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ КАК КОМПОНЕНТА ДАТЧИКА ДАВЛЕНИЯ.

3.1 Описание установки

3.1.1 Описание экспериментального стенда

На рисунке 2.1 представлена схема стенда для проведения экспериментальных исследований.

Рисунок 14 – Экспериментальный стенд проведения измерения.

С помощью измерителя LRC-78101G будут проводиться измерение электрической характеристики. Сам измеритель имеет связь между компьютером через интерфейс программы “LRC” показанной на рисунке 15.

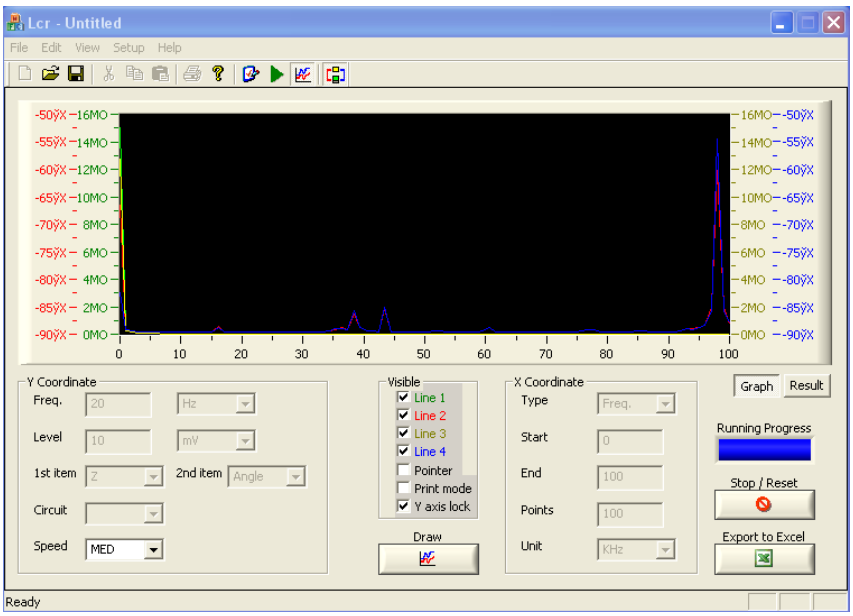

Рисунок 15 – Интерфейс программы LRC.

В графе программы 1st item выбирается измеряемая величина. Мы будем мереть сопротивление Z. Графа Speed отвечает за скорость измерения. Наша скорость проведения измерения будет средней. В окне X Coodinate задаются интервал подаваемой частоты измерения и количество точек, максимум 100 точек на одно измерение. В Unit можно выбрать размерность подаваемой частоты. Интервал моих измерений будет от 0 до 500 кГц. Следовательно измеряться будут 500 точек.

Измеритель LRC подает одну точку частоты на объект исследования и снимает измеряемую величину.

3.2 Объект исследования.

Объектом исследования являться пьезокерамическое кольцо, которое будет находиться в разных параметрах конструкции (типов закрепления кольца) с целью изучения изменения его электрической характеристики, а именно сопротивления. Для выявления в дальнейшем неисправностей датчика.

1. Пьезокерамическое кольцо.
2. Конструкция с «приподнятым» пьезокерамическим кольцом.
3. Пьезокерамическое кольцо в не погруженном корпусе.

4. Конструкция с заглублением пьезокерамического кольца.

5. Конечная сборка датчика.

ОИ будут находиться в воздухе, в изоляции клеем, в воде в таблице 1 приведены объекты измерения и среды.

Таблица 1 – Зависимости измерения объекта исследования.

Объект измерения	Внешняя среда
1	Воздух, вода
2	Воздух, изоляция, вода
3	Воздух, изоляция, вода
4	Воздух, изоляция, вода
5	Воздух, вода

Устанавливаем нужные параметры в программе LRC как показано на 16 и запускаем измерение.

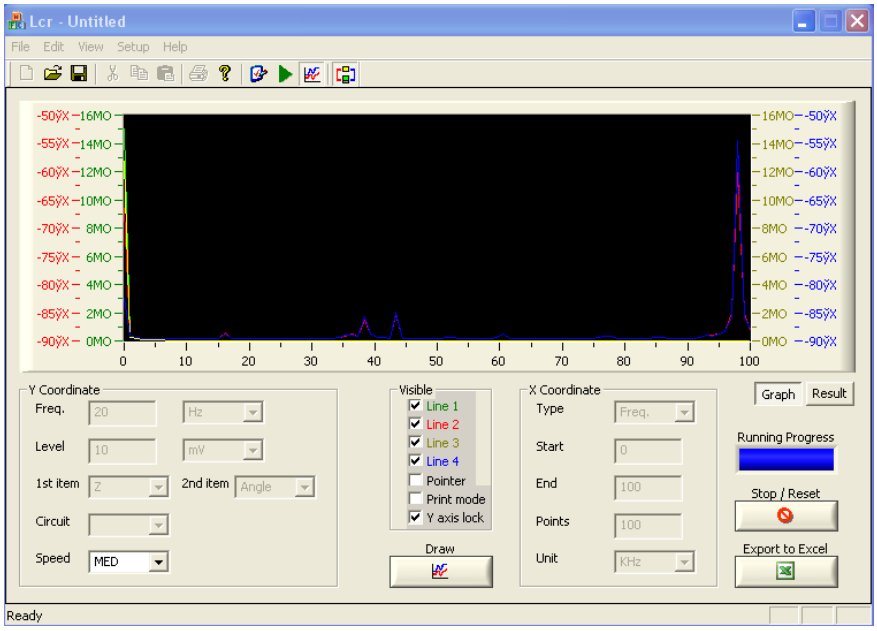

Рисунок 16 – Соответствующие параметры измерения.

После проведения измерения данные сохраняются в пакет Microsoft Excel.

В ходе проведения измерений должны получиться следующие зависимости сопротивления от частоты, приведённые в таблице 2.

Таблица 2 Таблица зависимостей ОИ.

Зависимость	ОИ	Среда
1	1	Воздух
2	1	Вода
3	2	Воздух
4	2	Клей
5	2	Вода
6	3	Воздух
7	3	Клей
8	3	Вода
9	4	Воздух
10	4	Клей
11	4	Вода
12	5	Воздух
13	5	Вода

Построение графиков зависимостей сопротивления осуществляется в среде MATLAB.

3.3 Проведение эксперимента.

3.3.1 Зависимость 1ОИ в воздухе.

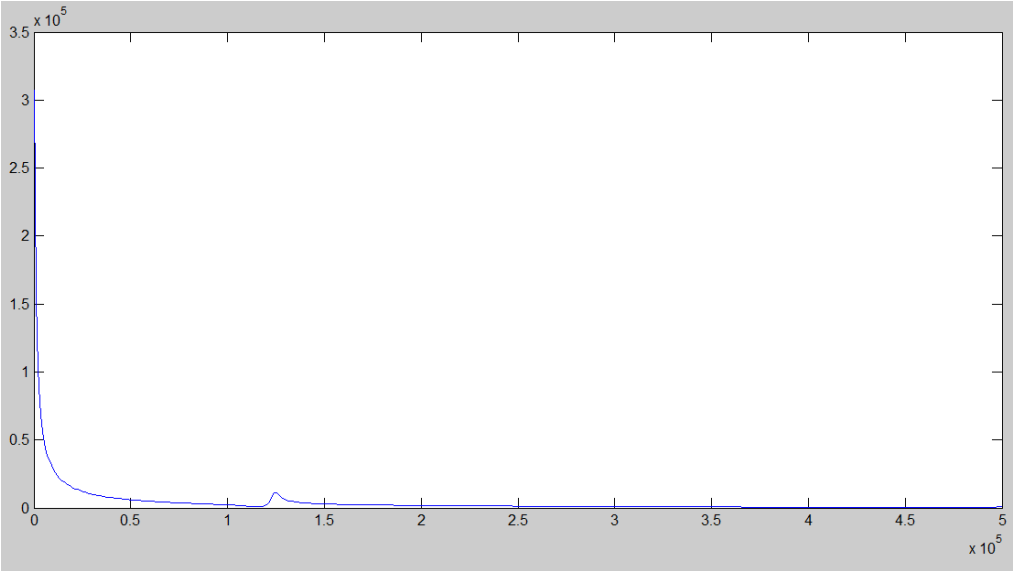

Рисунок 17 – Зависимость сопротивления 1 ОИ в воздухе.

3.3.2 Зависимость 1 ОИ в воде.

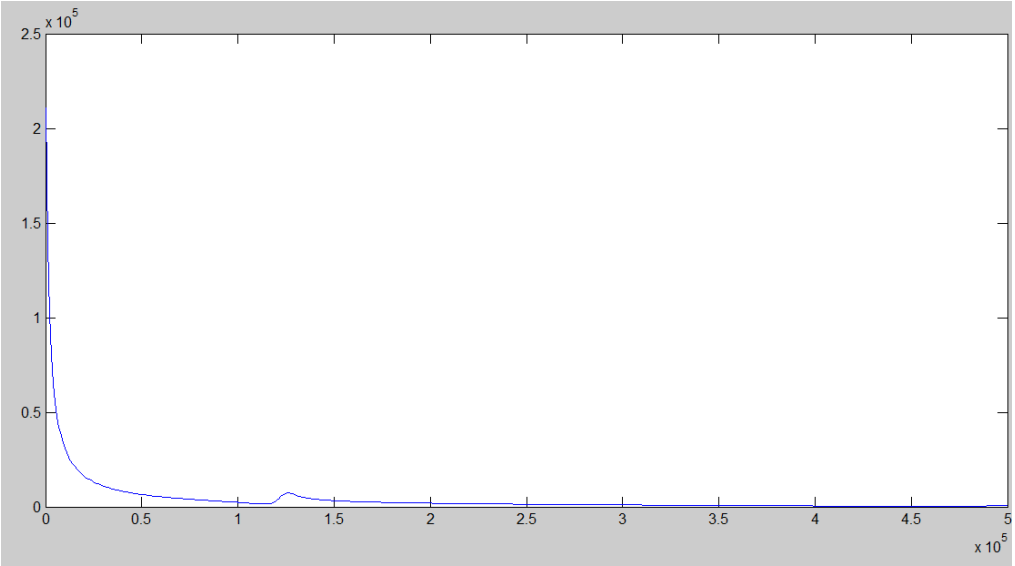

Рисунок 18 – Зависимость сопротивления пьезокерамического кольца в воде.

3.3.3 Зависимость 2 ОИ в воздухе.

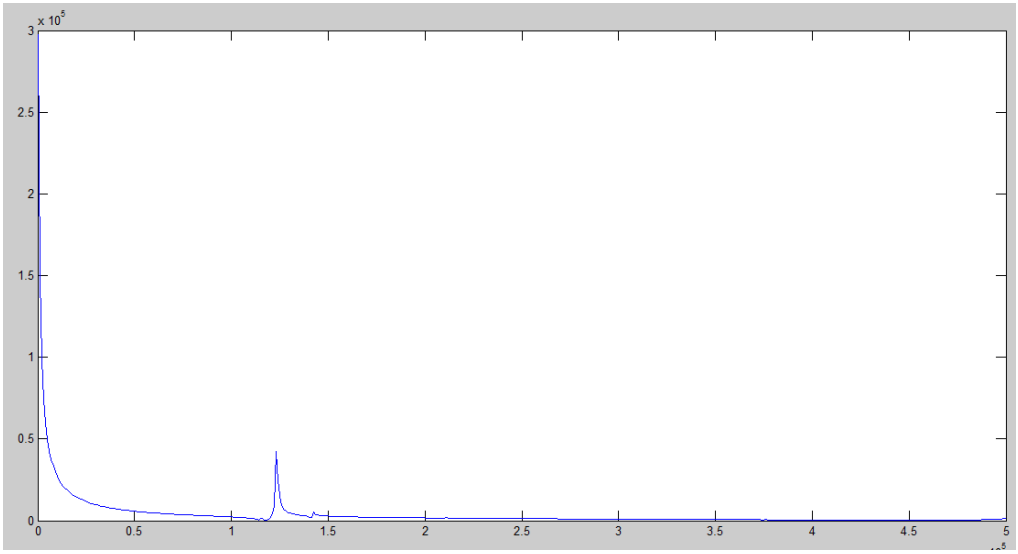

Рисунок 19 –Зависимость сопротивления 2 ОИ в воздухе.

3.3.4 Зависимость 2 ОИ в изоляции.

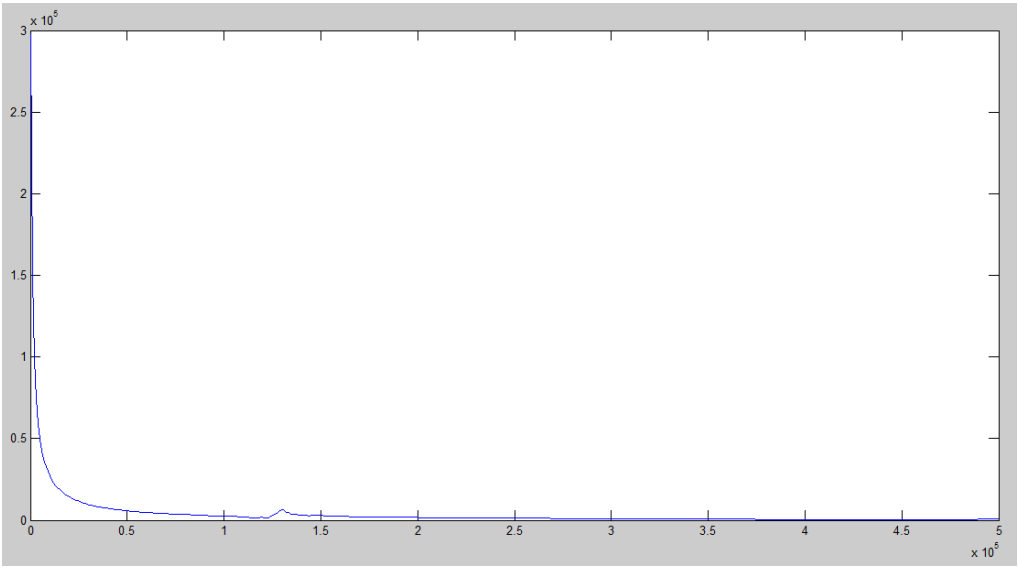

Рисунок 20 – Зависимость сопротивления пьезокерамического кольца в корпусе с изолированной обкладкой в изоляции.

3.3.5 Зависимость 2 ОИ в воде.

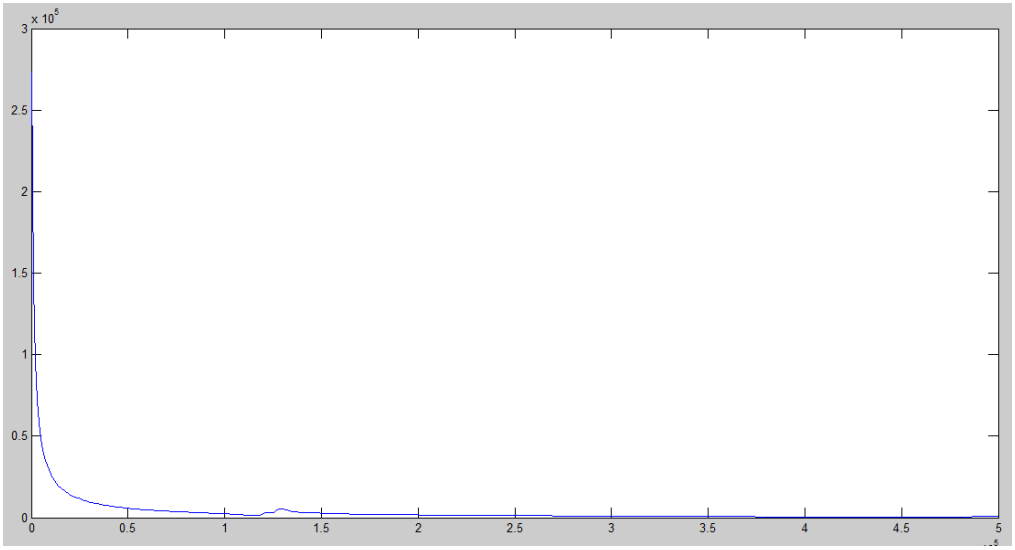

Рисунок 21 – Зависимость сопротивления пьезокерамического кольца в корпусе с изолированной обкладкой в воде.

3.3.6 Зависимость пьезокерамического кольца 3 ОИ в воздухе.

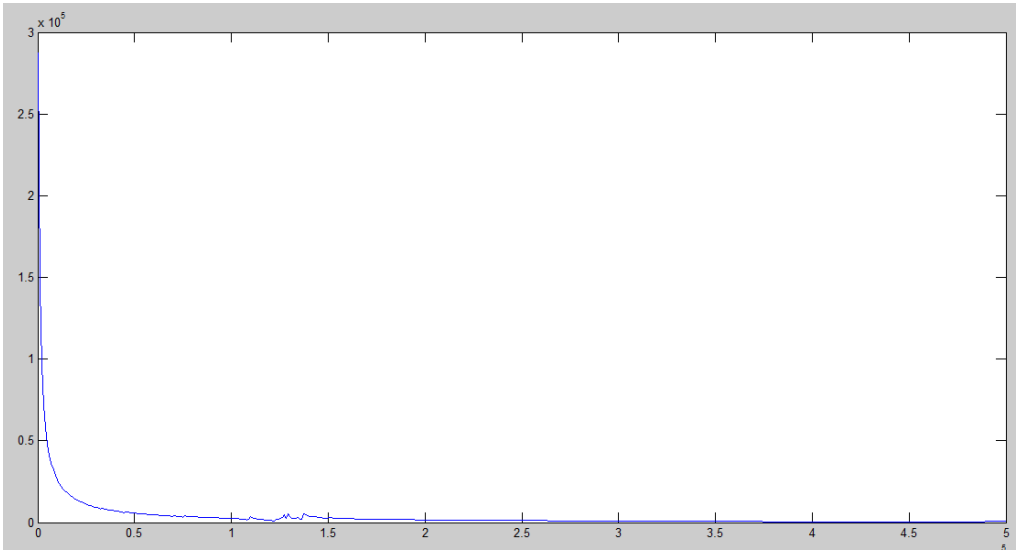

Рисунок 22 – зависимость 3 ОИ в воздухе.

3.3.7 Зависимость 3 ОИ изоляции.

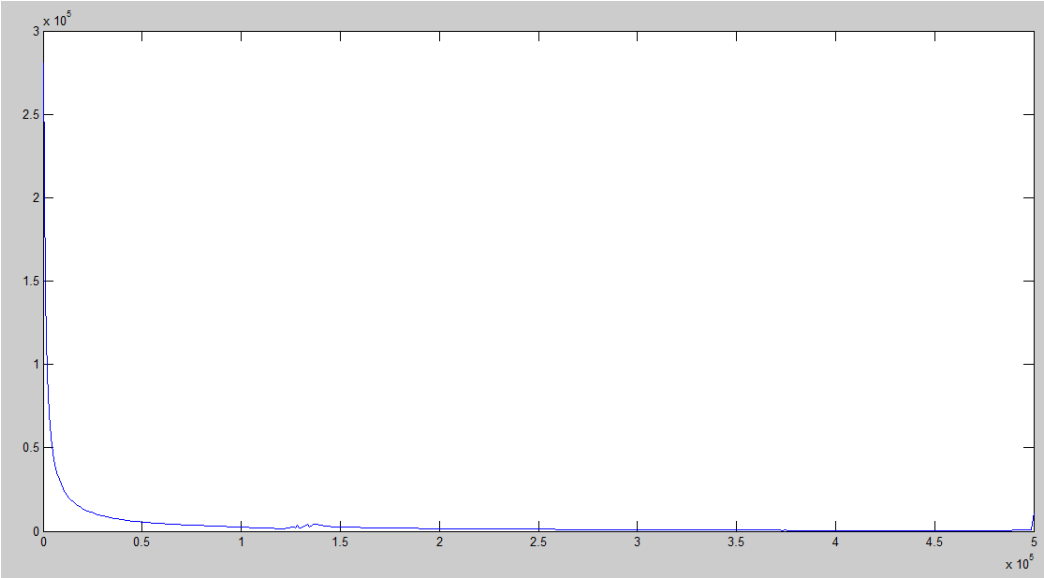

Рисунок 23 – Зависимость сопротивления ОИ3 в изоляции.

3.3.8 Зависимость 3 ОИ в воде.

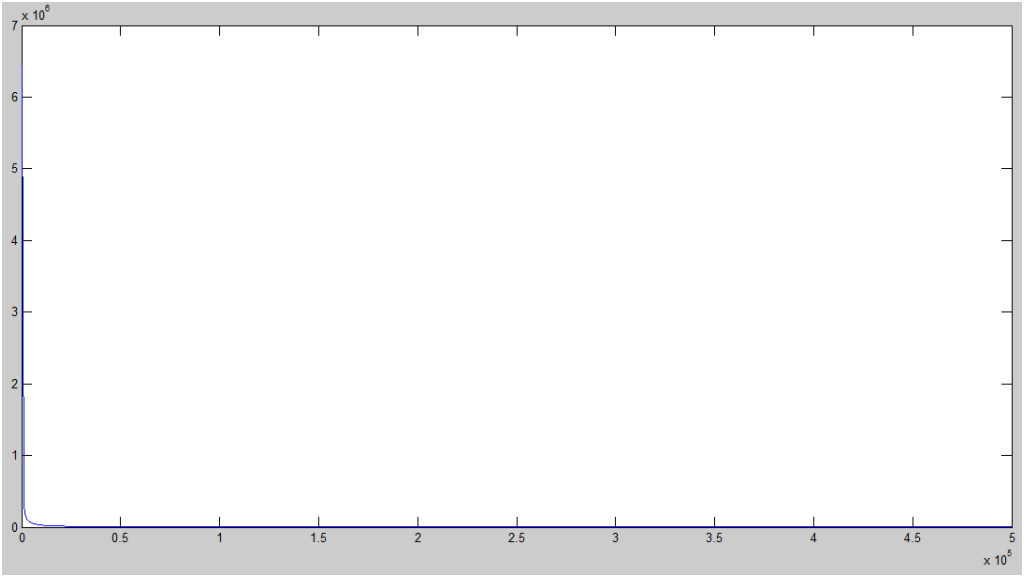

Рисунок 24 – Зависимость сопротивления пьезокерамического кольца в погруженном корпусе в воде.

3.3.9 Зависимость 4 ОИ в воздухе.

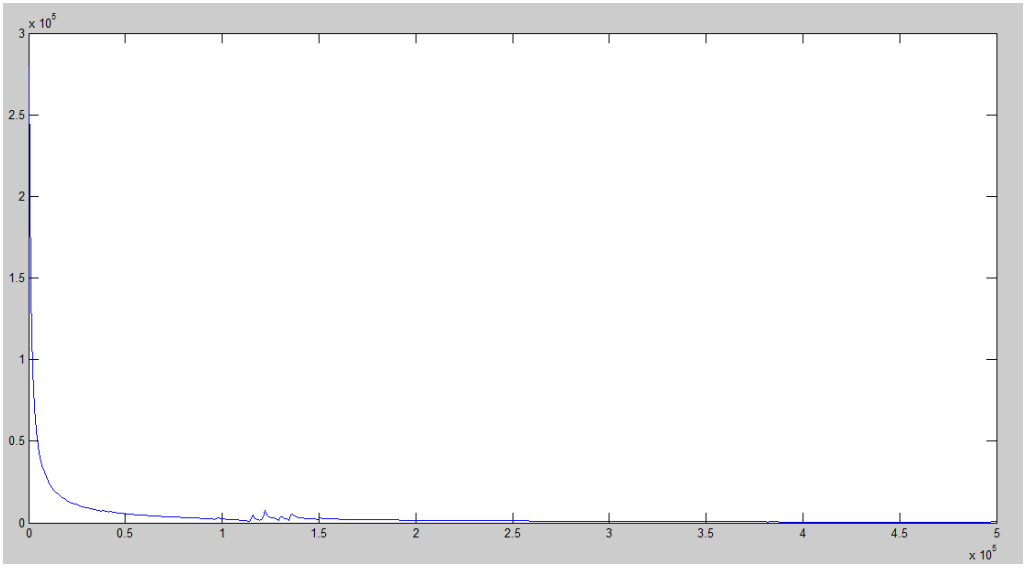

Рисунок 25 – Зависимость сопротивления 4 ОИ в воздухе.

3.3.10 Зависимость 4 ОИ в изоляции.

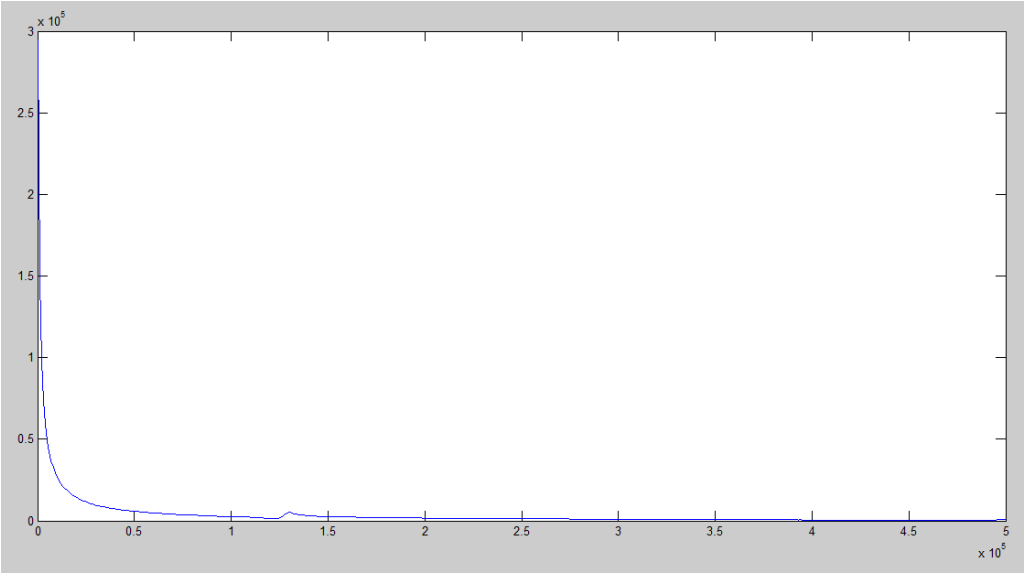

Рисунок 26 – Зависимость сопротивления 4 ОИ в изоляции.

3.3.11 Зависимость сопротивления 4 ОИ в воде.

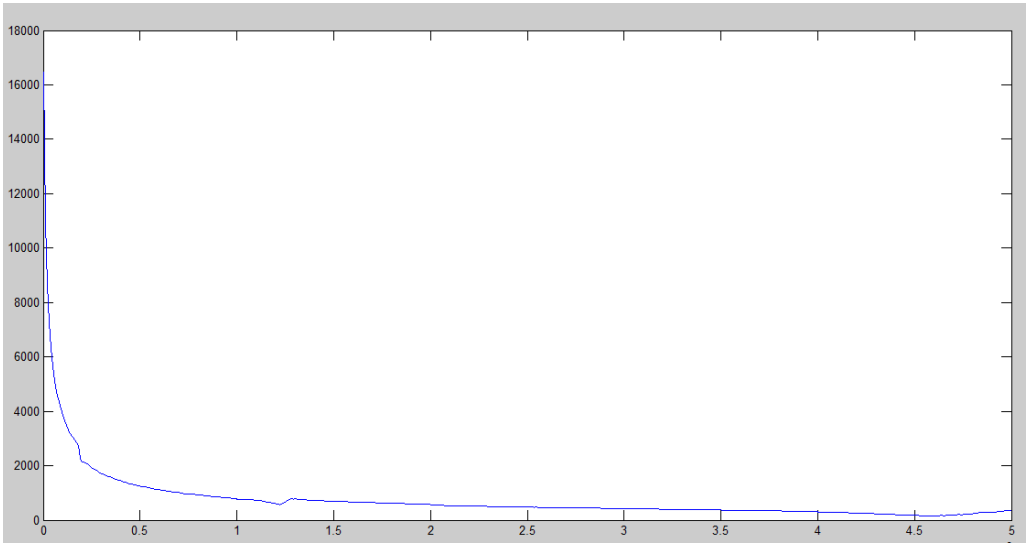

Рисунок 27 – Зависимость сопротивления 4 ОИ в воде.

3.3.12 Зависимость 5 ОИ в воздухе.

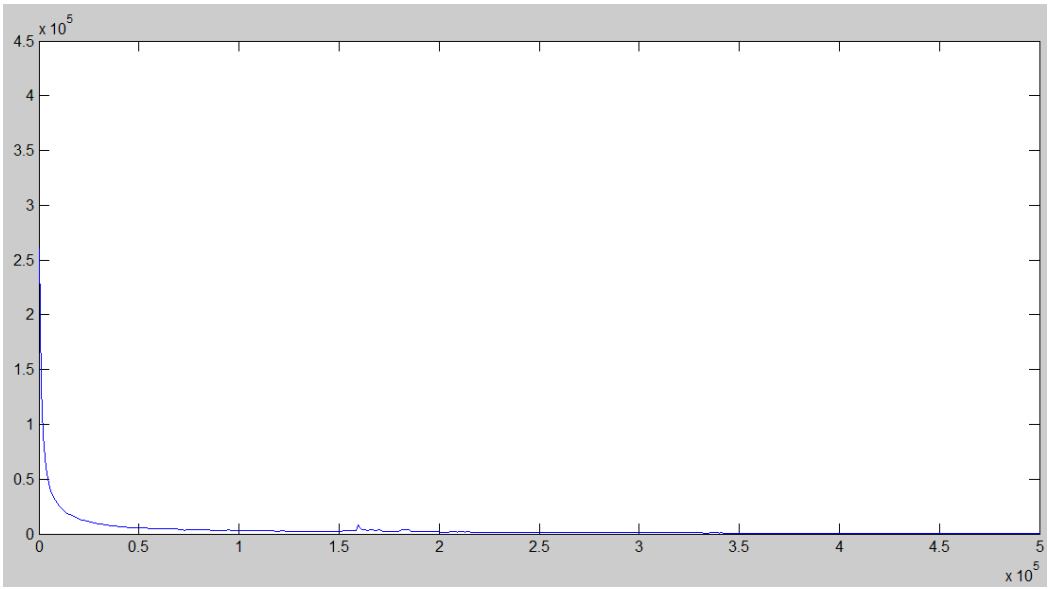

Рисунок 28 – Зависимость сопротивления конечной сборки датчика в воздухе.

3.3.13 Зависимость 5 ОИ в воде.

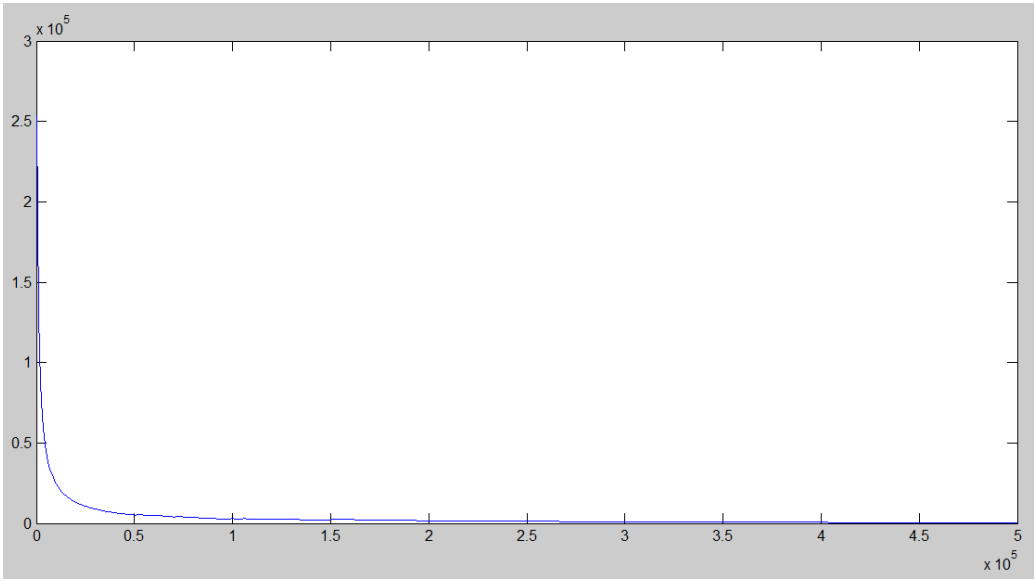

Рисунок 29 – Зависимость сопротивления конечной сборки датчика в воде.

3.4 Зависимости

1)Зависимость сопротивления ОИ 1 на изменение внешней конструкции.

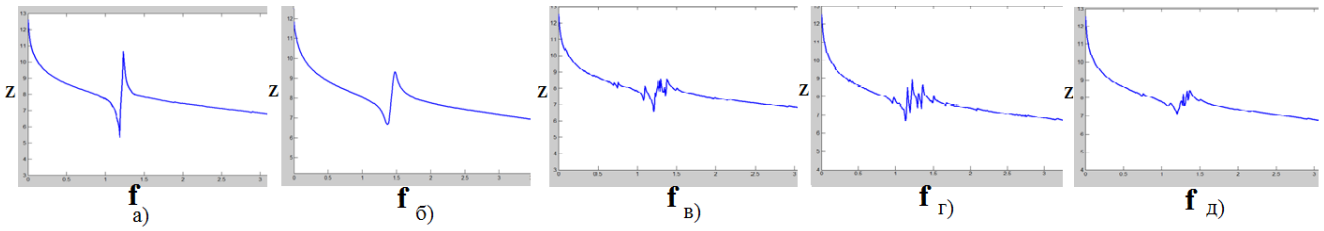

Рисунок 30 – ОИ 1 при изменении типа закрепления.

2)Зависимость модуля сопротивления 1 ОИ на изменение внешней среды.

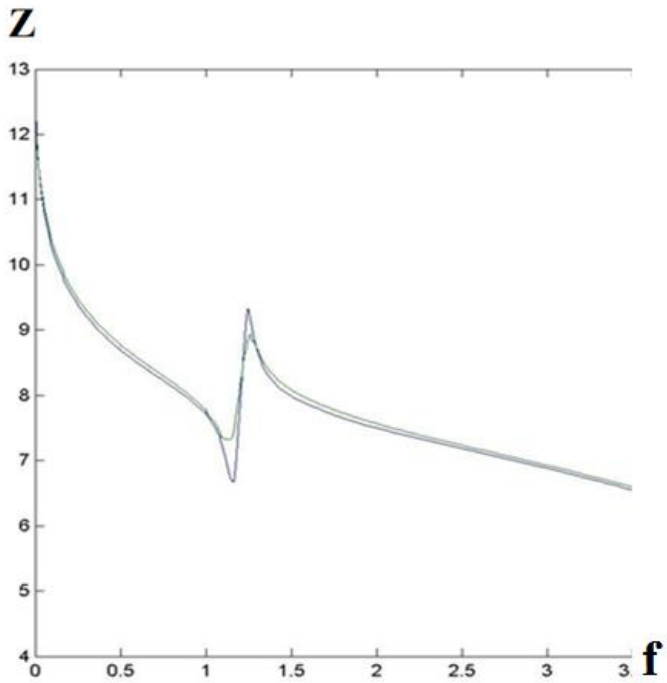

Рисунок 31 – ОИ 1 Синим цветом в воздухе, зеленым в воде.

3)Зависимость сопротивления кольца в 2 ОИ на изменение внешней среды.

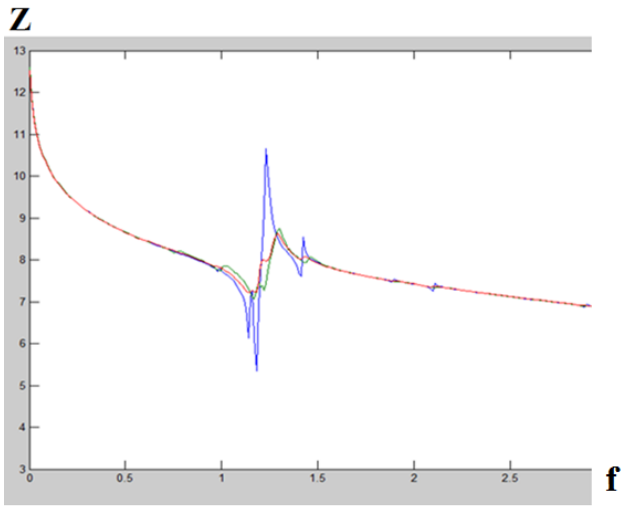

Рисунок 32 – ОИ 2 Синим цветом в воздухе, зеленым в изоляции, красным в воде.

4)Зависимость сопротивления кольца в 3 ОИ на изменение внешней среды.

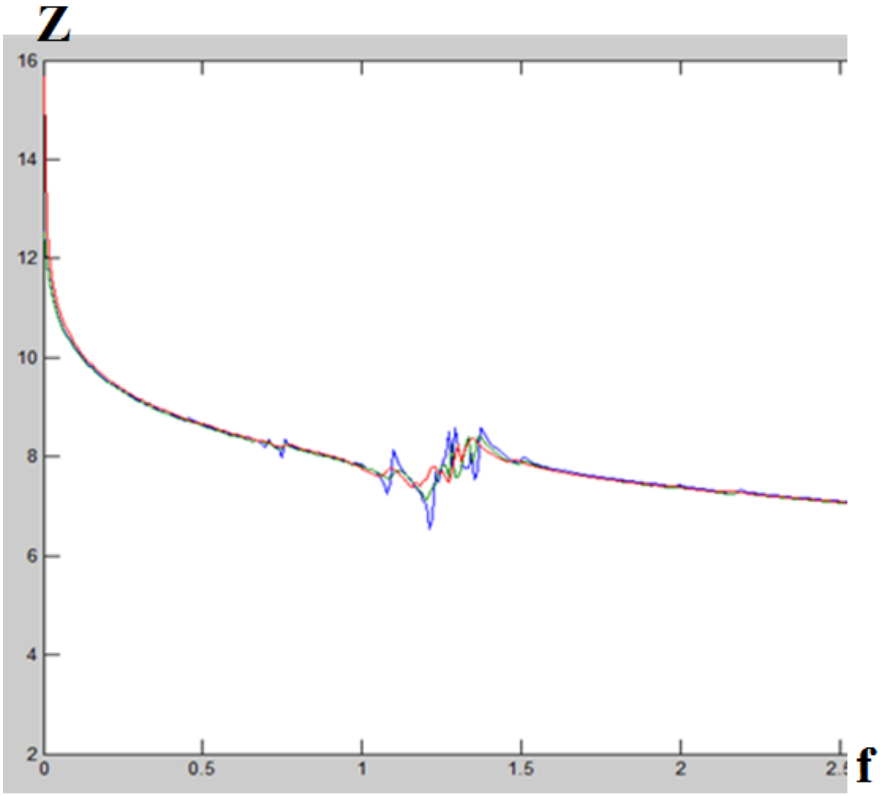

Рисунок 33 – 3 ОИ. Синим цветом в воздухе, зеленым в изоляции, красным в воде.

5)Зависимость фазы сопротивления кольца в датчике 4 на изменение внешней среды.

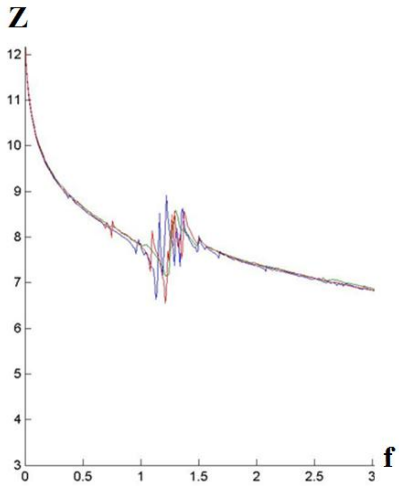

Рисунок 33 – 4 ОИ. Синим цветом в воздухе, зеленым в изоляции, красным в воде.

6)Зависимость сопротивления кольца в 5 ОИ на изменение внешней среды.

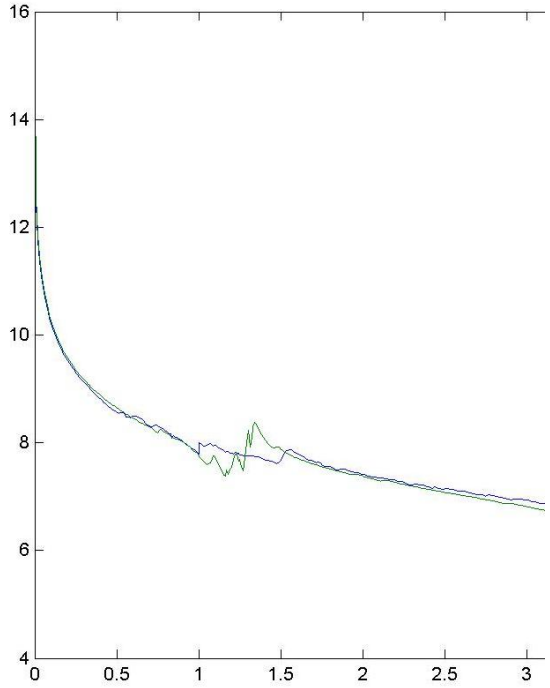

Рисунок 34 – 5 ОИ. Зеленым в воздухе, синим в воде.

3.5 Подбор параметров математической модели по экспериментальным исследованиям.

Результат проведения эксперимента показывает схожесть с математической моделью. Проведение эксперимента дает возможность примерно определить изменение параметров в математической модели эквивалентной схемы пьезокерамического кольца. На основе данных значений можно говорить о влияниях параметра закрепления на пьезокерамическое кольцо.

Расчет параллельной ёмкости проводится по следующей формуле:

$$C_0 = \frac{\sum_i \frac{1}{f_i \cdot Z_i}}{500} \qquad (2)$$

где, f_i возбуждающая частота, Z_i измеренное значение комплексного сопротивления, i интервал проведенного измерения 1 до 500.

Зная значение параллельной ёмкости и частоту резонанса можно рассчитать индуктивность.

$$f_A = \frac{1}{\sqrt{C_0 \cdot L}} \quad (3)$$

,где L индуктивность.

Исходя из значений предыдущих параметров, можно выразить значение емкости

$$f_B = \frac{1}{\sqrt{C \cdot L}} \quad (4)$$

По полученым значения выстраивается математическая модель эквивалентной схемы пьезокерамического кольца. Значение сопротивления R определяет максимум резонанса. Чем больше значение сопротивления, тем максимальное значение резонанса уменьшается. Подбирается значение сопротивления которое определяет максимальную точку резонанса.

Для ОИ 1 параллельная емкость равна C_0=0,00012916840Ф, индуктивность L=0,00000945Гн, емкость C=0,000152Ф, R=120Ом. Математическая модель первого объекта исследования изображена на рисунке.

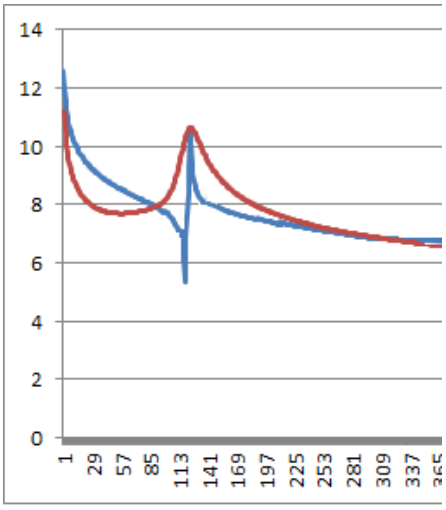

Рисунок 35 – Подбор значения сопротивления в 1 ОИ.

Для ОИ 2 параллельная емкость равна C_0=0,00012855828

Ф, индуктивность L=0,00000753Гн, емкость C=0.000139173Ф, R=120Ом. Математическая модель второго объекта исследования изображена на рисунке.

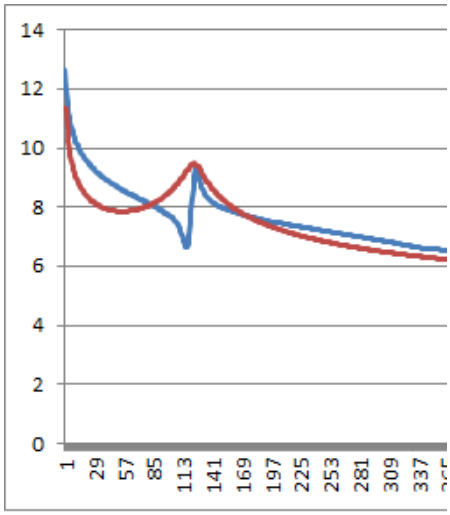

Рисунок 36 – Подбор значения сопротивления во 2 ОИ.

Для ОИ 3 параллельная емкость равна C_0= 0,00012793951Ф, индуктивность L=0,00000533Гн, емкость C= 0,0001482307Ф, R=190Ом. Математическая модель третьего объекта исследования изображена на рисунке.

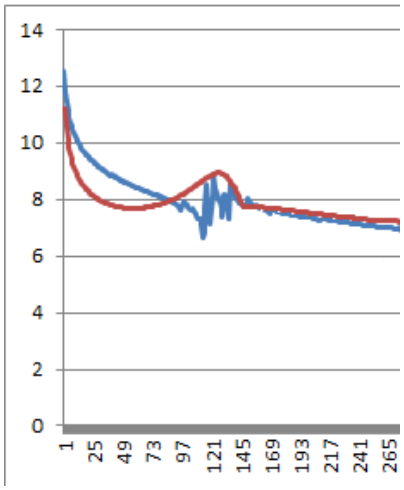

Рисунок 37 – Подбор значения сопротивления в 3 ОИ.

Для ОИ 4 параллельная емкость равна C_0= 0,00012823942Ф, индуктивность L=0,00000833Гн, емкость C=0,00014563268Ф, R=235Ом. Математическая модель четвертого объекта исследования изображена на рисунке.

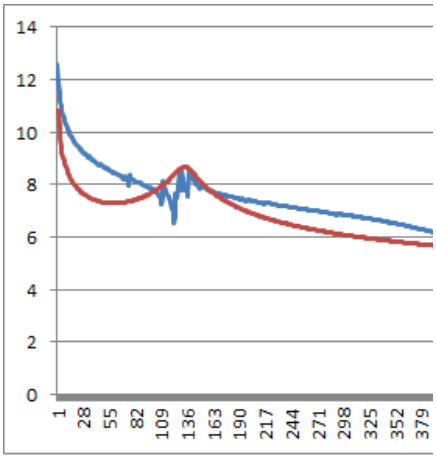

Рисунок 38 – Подбор значения сопротивления в 4 ОИ.

Для ОИ 5 параллельная емкость равна C_0= 0,00013097422Ф, индуктивность L=0,00000533Гн, емкость C= 0.00014858097Ф, R=250Ом. Математическая модель пятого объекта исследования изображена на рисунке.

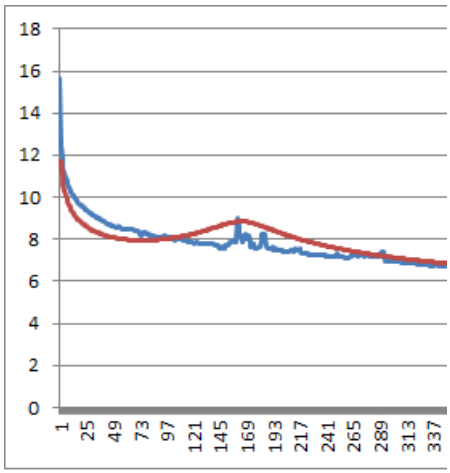

Рисунок 39 – Подбор значения сопротивления в 5 ОИ.

Результаты параметров конструкции определены в таблиц.

Таблица 3 – Характеристики ОИ.

ОИ	Fa	R
1	125253	120
2	123232	170
3	129293	190
4	122222	235
5	160606	250

Для 1 объекта исследования в воде параллельная емкость равна C_0= 0,00019097422Ф, индуктивность L=0,00000733Гн, емкость C= 0.00013858097Ф, R=140Ом. Математическая модель первого объекта исследования изображена на рисунке.

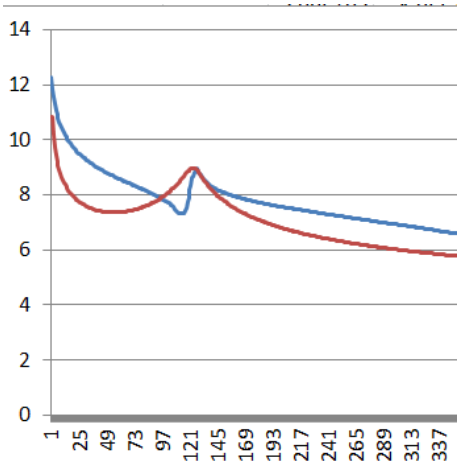

Рисунок 40 – Подбор значения сопротивления в 1 ОИ в воде.

Для 2 объекта исследования в изоляции параллельная емкость равна C_0= 0,00013097422Ф, индуктивность L=0,00000333Гн, емкость C= 0.00012858097Ф, R=170Ом. Математическая модель первого объекта исследования изображена на рисунке.

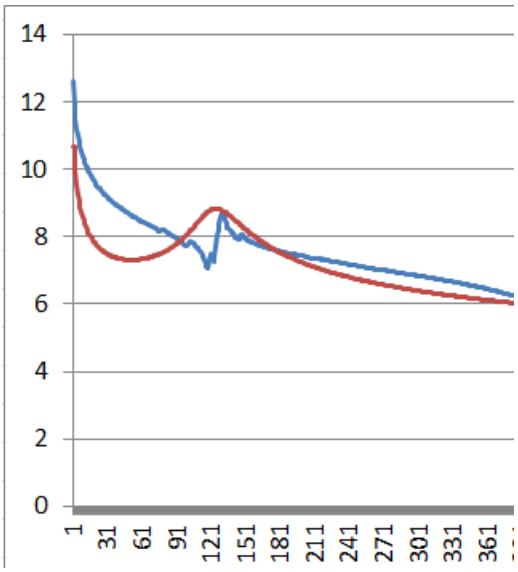

Рисунок 41 – Подбор значения сопротивления в 2 ОИ в изоляции.

Характеристики в воде 2 ОИ не изменяется.

Для 3 объекта исследования в изоляции параллельная емкость равна C_0= 0,00013297422Ф, индуктивность L=0,00000733Гн, емкость C= 0.00016758097Ф, R=190Ом. Математическая модель первого объекта исследования изображена на рисунке.

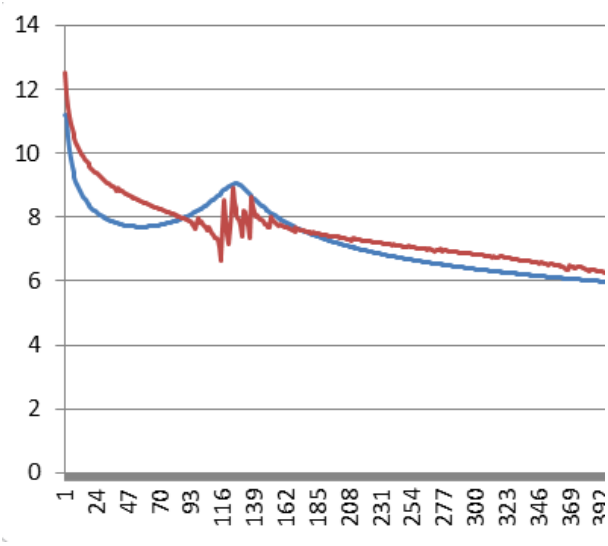

Рисунок 42 – Подбор значения сопротивления в 3 ОИ в изоляции.

Характеристики в воде у 3 ОИ не изменяются.

Для остальных экспериментов подобраны параметры сопротивления и сведены в следующую таблицу.

Для 4 объекта исследования в изоляции параллельная емкость равна C_0= 0,0001304672Ф, индуктивность L=0,00000952Гн, емкость C= 0.00014858097Ф, R=238Ом. Математическая модель четвертого объекта исследования изображена на рисунке.

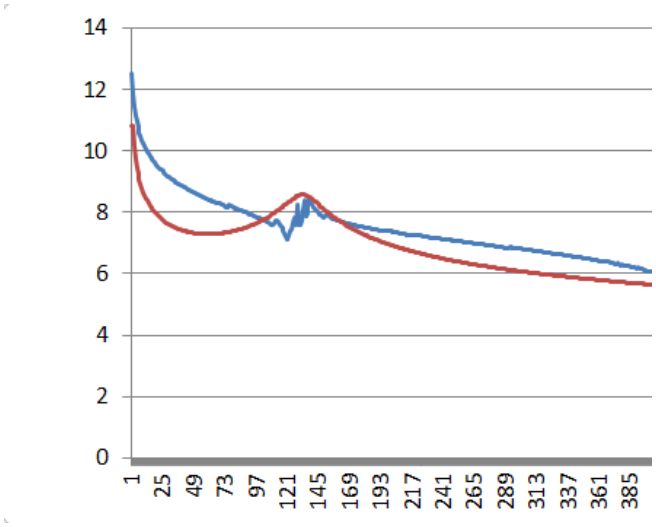

Рисунок 43 – Подбор значения сопротивления в 4 ОИ в изоляции.

Для 4 объекта исследования в изоляции параллельная емкость равна C_0= 0,0001304672Ф, индуктивность L=0,00000952Гн, емкость C= 0.00014858097Ф, R=238Ом. Математическая модель четвертого объекта исследования изображена на рисунке.

Для 5 объекта исследования в изоляции параллельная емкость равна C_0= 0,0001309622Ф, индуктивность L=0,00000652Гн, емкость C= 0.00011245097Ф, R=350Ом. Математическая модель четвертого объекта исследования изображена на рисунке.

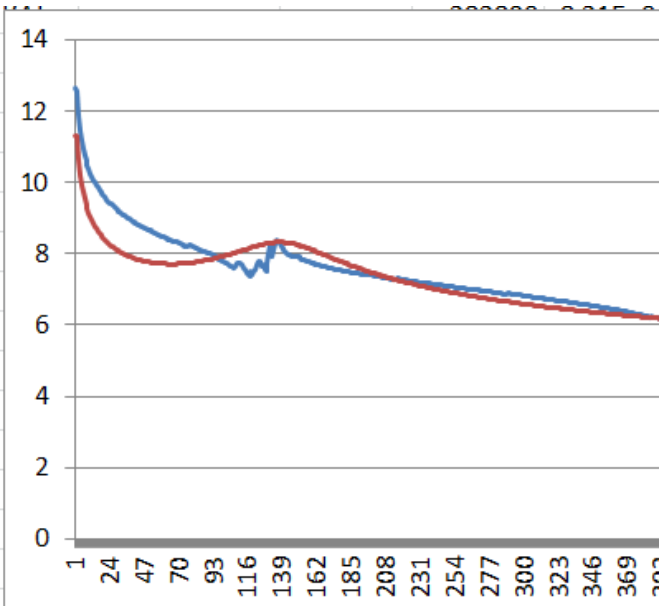

Рисунок 44 – Подбор значения сопротивления в 5 ОИ в изоляции.

Таблица 2 – Характеристики всех ОИ.

	Значение f			Значение R		
ОИ	Воздух	Изоляция	Вода	Воздух	Изоляция	Вода
1	125252,5		125343,3	120		140
2	12352,5	125232		140	170	170
3	12952,5	120232	121342	180	190	190
4	12252,5	130232	123043,3	235	238	238
5	130345,5		160253,3	250		350

Для определения оценки влияния типа закрепления на электрические характеристики параметров проводится расчет изменения параметров относительно кольца по следующей формуле:

$$\frac{F_{ОИ1} - F_{ОИ1+k}}{F_{ОИ1}}$$

$$\frac{R_{ОИ1} - R_{ОИ1+k}}{R_{ОИ1}}$$

,где k от 1 до 5.

Полученные расчеты сводятся в таблицы.

Таблица 3 – Результаты изменения электрических характеристик при изменении типа закрепления пьезокерамического кольца.

	Изменение Fa,%	Изменение R,%
Кольцо в ОИ2	1,612901938	41,6667
Кольцо в ОИ3	3,225803876	58,3333
Кольцо в ОИ4	10,41935291	95,8333
Кольцо в ОИ5	28,22586376	108,333

Таблица 4 – Результаты изменения частоты резонанса.

ОИ	Воздух-Изоляция,%	Воздух-Вода
1		2,345
2	5,863	5,835
3	10,253	10,26
4	11,276	11,267
5		23,053

Таблица 5 – Результаты изменения сопротивления.

ОИ	Воздух-Изоляция,%	Воздух-Вода
1		16,6666667
2	176470588	17,6470588
3	5,5555556	5,5555556
4	1,2765957	1,2765957
5		40

ВЫВОДЫ

В процессе работы был проведен анализ существующих подходов к определению электрических характеристик преобразователей физических величин. Были исследованы электрические характеристики пьезокерамического кольца, как компонента преобразователя давления. Построена математическая модель пьезокерамического кольца. Проведены экспериментальные исследования электрических характеристик. Проведено исследование влияния параметров закрепления конструкции на электрические характеристики кольца.

Результаты исследования позволяет сделать выводы о заданном вопросе.

1) Особенности закрепления оказывает влияние на электрические характеристики контрольного канала передачи информации, что подтверждается возникновением дополнительных резонансов, изменением сопротивления потерь. Это позволяет говорить о контроле состояния датчика на основе состояния текущей характеристики влияния пьезокерамического кольца;

2) Погружение в глубь, а так же в конечном корпусе увеличивает влияние конструктивных элементов. С одной стороны, это способствует увеличению контролируемых элементов, с другой стороны затрудняет оценку каждого элемента.

3) Характеристика с изолированным корпусом наиболее похожа на характеристику пьезокерамического кольца, что позволяет говорить о контроле состояния датчика на основе состояния текущей характеристики влияния пьезокерамического кольца;

4) Цикл исследований подтвердил возможность контроля текущего состояния датчика с помощью пьезокерамического кольца, однако изучение отдельных элементов и обработка нужной информации требует проведения дополнительных исследований.

Таким образом, при расчете параметров заглубления и конечного корпуса необходимо учитывать приоритетность задачи, т.е. важность оценки конкретного элемента, либо интегральной оценки всей конструкции;

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения данного курсового проекта была разработана математическая модель пьезокерамического кольца, которая предназначена сравнения с измерением сопротивления пьезокерамического кольца от возбуждающей его частоты в диапазоне от 0 до 500 кГц. В процессе выполнения данной работы были проведены основные исследования измерения пьезокерамического компонента преобразователя давления. Был исследован вопрос о влиянии пьезокерамического кольца на электрические характеристики пьезокерамического кольца.

ПРИЛОЖЕНИЕ А – Техническая документация измерителя

LCR-78101G. Общие характеристики

Измерение комплексного сопротивления на переменном токе (R,Z,X), сопротивления постоянному току (Rdc), проводимости (G, Y, B) ёмкости, индуктивности, тангенса угла потерь, добротности, фазового сдвига
Диапазон частот: 20 Гц…1 МГц
Базовая погрешность 0,1 %
Отображение графика зависимости измеряемых параметров от частоты/напряжения (режим анализа), автоустановка вертик. шкалы, маркерные измерения (Peak/ Dip)
Параллельная/последовательная схема измерений
Режим полярных координат: Z+фаз.сдвиг (Θ)/ Y+фаз.сдвиг (Θ)
Широкие функциональные возможности по сбору, анализу, отображению и хранению информации
Допусковый тест элементов (Pass/Fail) в режимах: «абсолют. знач./Δ-измерение/ %»,
Программирование табличных измерений (мультишаговый тест)
Плавная установка частоты тест-сигнала (ГРУБО/ТОЧНО)
Большой графический ЖК-дисплей, разрешение 6 разрядов
Одноуровневый интуитивный пользовательский интерфейс
Интерфейс КОП/RS-232

ХАРАКТЕРИСТИКИ	ПАРАМЕТРЫ	ЗНАЧЕНИЯ
ИЗМЕРЯЕМЫЕ ПАРАМЕТРЫ	Сопротивление (R,Z,X) Сопротивление на постоянном токе (Rdc) Проводимость (G,Y,B) Ёмкость (C) Индуктивность (L) Добротность (Q) Тангенс угла потерь (D) Фазовый сдвиг (Θ) Базовая погрешность	До 100 МОм с разрешением 0,1 мОм До 100 МОм с разрешением 0,01 мОм До 1000 См с разрешением 10 нСм До 1 Ф с разрешением до 0,01 пФ До 100 кГн с разрешением до 0,1 нГн 0,1 – 10000 0,00001 – 1000 -180…180° ± 0,1 % (R, Z, X, G, Y, B, L, C)
ТЕСТ СИГНАЛ	Частота тест-сигнала	20 Гц…1 МГц
	Разрядность уст. частоты	5 разрядов
	Погрешность установки	±0,005 %
	Уровень тест-сигнала Погрешность уровня	≤3 МГц:10 мВ…2 В (шаг 10 мВ); >3 МГц: 10 мВ…1 В (шаг 10 мВ) 100 мкА…20 мА (в зав. от частоты; режим стабилизации по току) ±2%
	Внутр. импеданс источника	100 Ом
	Запуск измерений	Автоматический, ручной
ПАМЯТЬ	Функции Объём памяти	Запись/ считывание установленных параметров, измерения в мультишаговом режиме (таблица) 64 программы тестирования
ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ФУНКЦИИ	Режим графической развертки Закон качания	Построение графика зависимости измеряемого параметра от переменной (режим ГКЧ) Линейный, логарифмический
	Тип качания Изменяемая переменная Режим «Таблица»	Однократный, периодический, прямой и обратный ход (Up/Down) Частота, уровень тест-сигнала (напряжение) Табличные значения измерений (8 парам. х 30 шагов), редакт. программ (копирование шагов, задержка 0…1000 мс, запись/ вызов)
ДИСПЛЕЙ	Разрешение Режим индикации Формат индикации	320x240 (ЖКИ, графическая матрица) Абсолют. значение, Δ-измерение, Δ-измерение в %, усред. (1…256) Основной и вспомогательный параметр
	Скорость измерения	150 мс/ 450 мс/ 600 мс (быстр./ средне/ медлен.)