

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

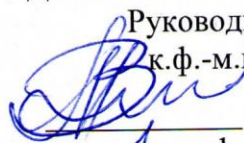
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Радиофизический факультет

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ В ГЭК

Руководитель ООП

к.ф.-м.н., доцент


В.А. Мещеряков

« 1 » февраля 2021 г.

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

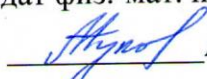
**ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЕ КОМПЛЕКСЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ
МАГНИТНОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ МАТЕРИАЛОВ С ВОЗМОЖНОСТЬЮ
УДАЛЕННОГО ДОСТУПА**

по основной образовательной программе подготовки специалиста
по специальности 11.05.01 «Радиоэлектронные системы и комплексы»

Маленко Григория Игоревича

Руководитель ВКР

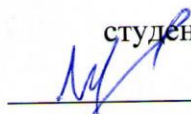
кандидат физ.-мат. наук, доцент


А.А. Жуков

« 01 » февраля 2021 г.

Автор работы

студент группы № 758


Г.И. Маленко

Томск-2021

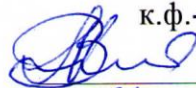
МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Радиофизический факультет

УТВЕРЖДАЮ
Руководитель ООП

к.ф.-м.н., доцент



В.А. Мещеряков

« 21 » сентября 2020 г.

ЗАДАНИЕ

на подготовку ВКР специалиста
студенту Маленко Григорию Игоревичу группы № 758

1. Тема ВКР: Программно-аппаратные комплексы для измерения магнитной проницаемости материалов с возможностью удаленного доступа.

2. Срок сдачи студентом выполненной ВКР:

а) на кафедре 26.01.2021,
б) в ГЭК 04.02.2021.

3. Краткое содержание работы:

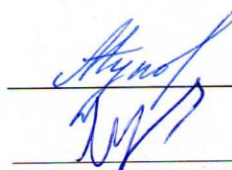
Задание ориентировано на разработку программно-аппаратных комплексов на платформах Agilent E4980A-LabVIEW и Agilent E4285A-LabVIEW для измерения магнитной проницаемости материалов на частотах от 20 Гц до 30 МГц. В ходе работы необходимо провести измерения комплексного импеданса и разработать программу для определения спектров магнитной проницаемости материалов по результатам измерений. Также необходимо реализовать удаленный доступ к измерительным системам, составить подробные инструкции по применению созданных ВП и подготовить раздел электронного курса Moodle по программированию измерительных приборов в Labview.

4. Календарный график выполнения ВКР:

а) изучение литературы	22.12.2020 – 28.12.2020
б) Разработка и модернизация программ и проведение измерений	24.12.2020 – 28.12.2020
в) Создание раздела электронного курса и организация удаленного доступа к аппаратуре	24.12.2020 – 16.01-2021
г) написание ВКР и сдача в ГЭК,	12.01.2021 – 04.02-2021
размещение текста ВКР в в электронной библиотеке ТГУ	24.01.2021 – 06.02.2021

5. Дата выдачи задания « 18 » сентября 2020 г.

Руководитель ВКР –
канд. физ.-мат. наук,
доцент кафедры
радиоэлектроники
Задание принял к исполнению



Жуков А.А.

Маленко Г.И.

РЕФЕРАТ

Дипломная работа, 44 с., 2 гл., 30 рис., 29 источников, 1 приложение.

LABVIEW, LCR AGILENT E4285A, LCR AGILENT E4980A, KEYSIGHT 16454A
MAGNETIC MATERIAL TEST FIXTURE, СДО MOODLE, МАГНИТНАЯ ПРОНИЦАЕ-
МОСТЬ

В работе представлена разработка программно-аппаратных комплексов на платформах LCR Agilent E4980A и LCR Agilent E4285A с использованием измерительной ячейки Keysight 16454A и среды программирования LabVIEW для измерения магнитной проницаемости материалов на частотах от 20 Гц до 30 МГц. Получены спектры действительной и мнимой частей магнитной проницаемости ферромагнетиков в исследуемом диапазоне частот.

Цель работы – Разработка программно-аппаратных комплексов для измерения магнитной проницаемости материалов с возможностью удаленного доступа.

Работа выполнялась с использованием прецизионных измерителей LCR Agilent E4980A, LCR Agilent E4285A и лицензионной версии LabVIEW 2018.

В результате работы:

- а) изучены принципы и способы измерения магнитной проницаемости;
- б) проведён обзор современных публикаций по теме работы;
- в) изучена среда программирования LabVIEW;
- г) изучены принципы работы измерительных установок Agilent E4285A и Agilent E4980A с подключенной к ним измерительной ячейкой Keysight 16454A;
- д) созданы программы для измерения действительной и мнимой части магнитной проницаемости образцов тороидальной формы с возможностью организации удаленного доступа к аппаратуре;
- е) проведены измерения магнитной проницаемости тестовых образцов с использованием программно-аппаратных комплексов Agilent E4285A-LabVIEW, Agilent E4980A-LabVIEW и сравнение полученных результатов;
- ж) в системе дистанционного обучения Moodle реализованы разделы электронного курса, содержащие подробные инструкции по эксплуатации измерительных приборов, а также программное обеспечение, необходимое для проведения измерений магнитной проницаемости.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1 Теоретическая часть	5
1.1 Среда проектирования виртуальных приборов LabVIEW	5
1.1.1 Краткая справка о среде LabVIEW	5
1.1.2 Виртуальные приборы	6
1.2 Измерительное оборудование.....	8
1.2.1 Прецизионный измеритель LCR Agilent E4285A.....	8
1.2.2 Прецизионный измеритель LCR Agilent E4980A.....	10
1.2.3 Измерительная ячейка Keysight 16454A.....	11
1.3 Индуктивный метод измерения магнитной проницаемости.....	12
1.3.1 Теоретические основы методики измерения	12
1.3.2 Объекты исследования	14
2 Практическая часть.....	16
2.1 Реализация программно-аппаратного комплекса Agilent E4285A– LabVIEW	16
2.1.1 Написание программы в LabVIEW	16
2.1.2 Организация удалённого доступа к аппаратуре.....	20
2.2 Реализация программно-аппаратного комплекса Agilent E4980A– LabVIEW	22
2.2.1 Написание программы в LabVIEW	22
2.2.2 Организация удалённого доступа к аппаратуре.....	24
2.3 Алгоритм проведения измерений.....	26
2.4 Применение программно-аппаратного комплекса в реальном измерительном процессе.....	27
2.5 Раздел электронного курса Moodle по программированию измерительных приборов в Labview.....	32
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	35
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	40
ПРИЛОЖЕНИЕ А (обязательное) Справка о внедрении в учебный процесс	43

ВВЕДЕНИЕ

Измерение магнитной проницаемости веществ является важной научно-технической задачей. Создание точной и надёжной измерительной аппаратуры позволяет проводить измерения электрофизических и магнитных параметров материалов в больших частотных и температурных диапазонах.

Диэлектрическая и магнитная проницаемости являются фундаментальными параметрами веществ. Так измерение магнитной проницаемости стали может использоваться как неразрушающий способ определения её качества или износа [1,2]. А в области гео-разведки по значениям данного параметра можно судить о залегающих породах [3,4]. Проводится большое количество исследований, посвящённых измерениям магнитной проницаемости в разных частотных и температурных диапазонах как широко известных, так и перспективных материалов [5]. Обычно, для измерения спектров магнитной проницаемости материалов используется дорогостоящее оборудование. Для этих целей в настоящее время широко используются универсальные измерители, такие как LCR Agilent E4980A [6,7], GW Instek LCR-78101G [8,9] и Актаком АМ-3001 [10,11], которые позволяют получать данные различных параметров материалов с относительно большой точностью. Однако обширный спектр возможностей данных приборов зачастую бывает не нужен для узконаправленных исследований и недоступен в силу своей дороговизны.

Целью данной работы являлась разработка радиоэлектронных комплексов с использованием измерителей Agilent E4285A, Agilent E4980A с подключенной к ним измерительной ячейкой Keysight 16454A и программной среды LabVIEW для измерения магнитной проницаемости материалов на частотах от 1 кГц до 30 МГц. Используемое в работе оборудование состоит на балансе центра коллективного пользования "ЦКП радиоизмерений ТГУ". Также ставились задачи организации удалённого доступа к созданным комплексам и составления подробных инструкций по эксплуатации к разработанным виртуальным приборам.

1 Теоретическая часть

1.1 Среда проектирования виртуальных приборов LabVIEW

1.1.1 Краткая справка о среде LabVIEW

LabVIEW (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench) – среда разработки прикладных программ, созданная фирмой National Instruments (США). В ней используется язык графического программирования. Его освоение не требует знания традиционных текстовых языков программирования. LabVIEW предоставляет широкие возможности для проведения вычислений и математического моделирования [12,13]. В этом отношении среда LabVIEW конкурентоспособна с такими известными системами компьютерной математики, как MATLAB, MathCAD, Mathematica, MAPLE. В настоящее время LabVIEW пользуется большой популярностью во всём мире, о чём свидетельствует большое количество статей, посвящённых работам, в которых в той или иной мере применяется данная система программирования. На рисунке 1 представлен результат литературного поиска по запросу «Измерения LabVIEW» в базах публикаций IEEE, Web of Science и Elibrary.

Однако наиболее полно возможности LabVIEW раскрываются при создании приборов и систем для измерений физических величин в научных экспериментах, лабораторных и промышленных установках [14]. Важным достоинством LabVIEW является возможность управления процессом измерения в автоматическом или интерактивном режиме. Для обработки и анализа данных используется обширный набор функциональных библиотек (общего назначения и специализированных). Взаимодействие с исследователем или оператором осуществляется с помощью продуманного и простого в программировании графического интерфейса. С помощью программ-драйверов LabVIEW эффективно взаимодействует с разнообразными платами ввода/вывода аналоговых и цифровых сигналов, модулями ввода видеосигналов, а также со специализированными модульными приборами (осциллографы, анализаторы спектра, генераторы сигналов и т.д.) [15-17].

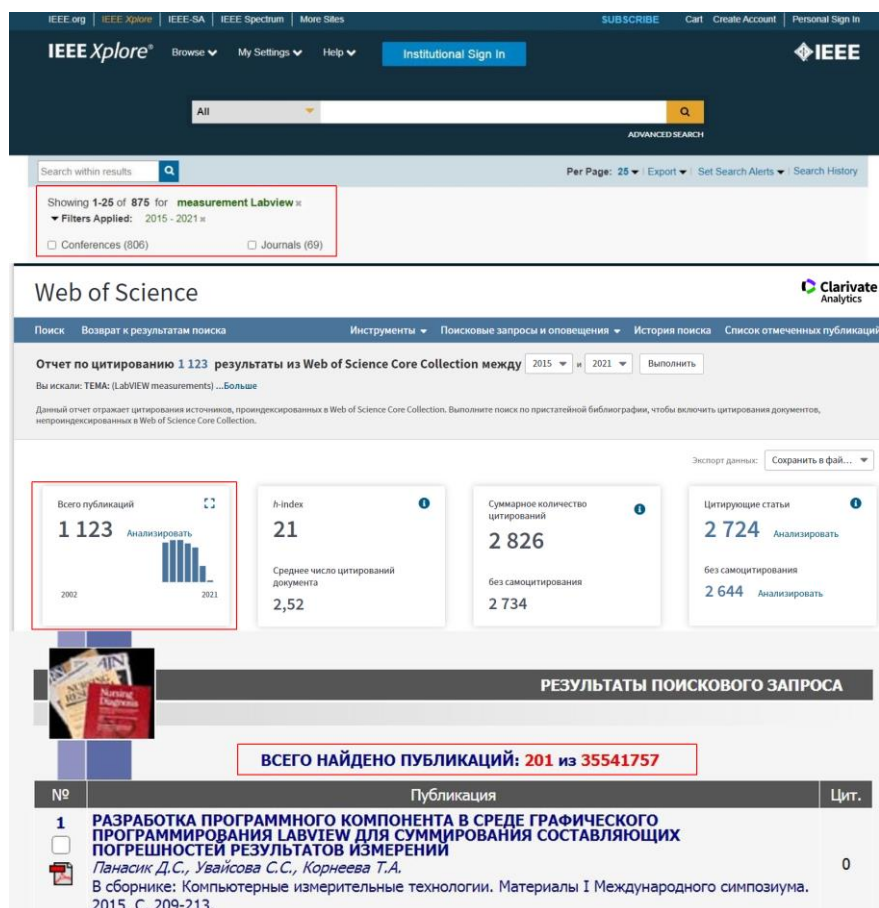


Рисунок 1 – Результаты поиска по запросу «Измерение LabVIEW»

1.1.2 Виртуальные приборы

Программы LabVIEW принято называть виртуальными приборами (ВП), потому что по выполняемым функциям и внешне они похожи на реальные приборы. LabVIEW содержит полный набор инструментов для сбора, анализа, представления, передачи и хранения реально полученных данных [12, 13]. Пример создания ВП приведен на рисунке 2.

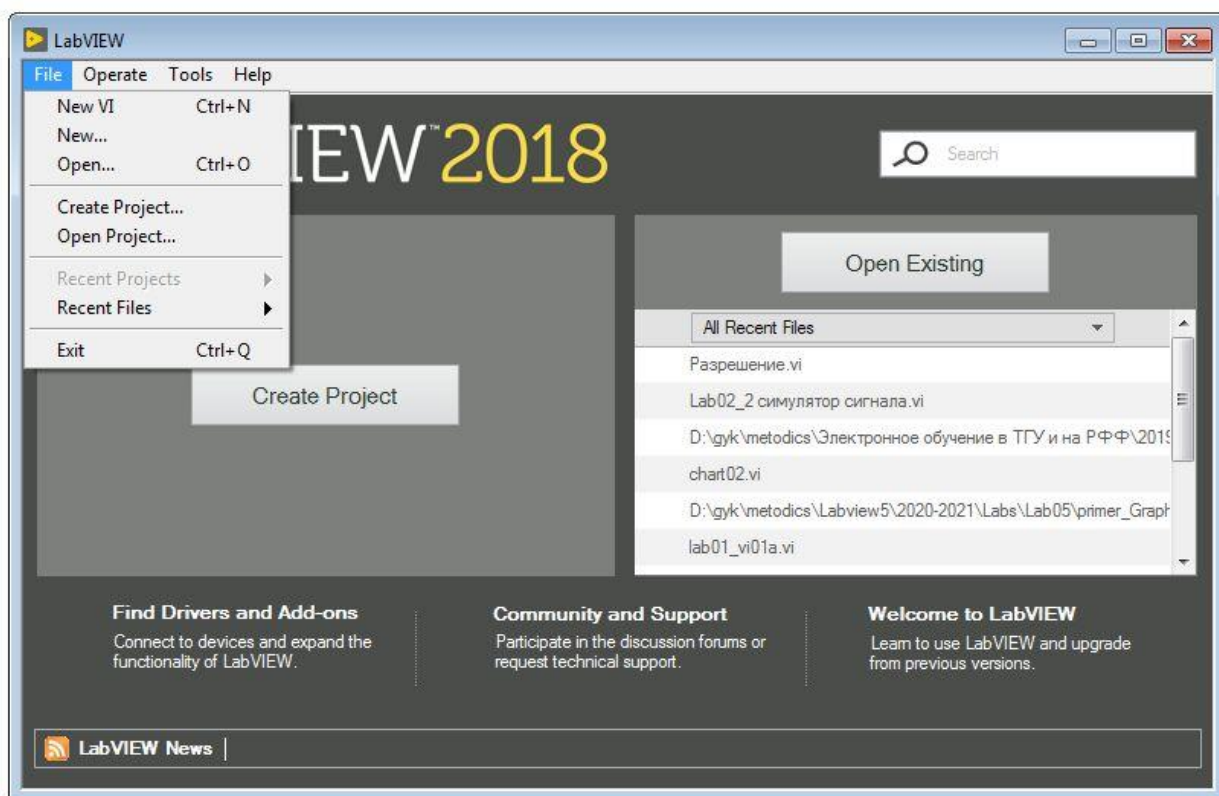


Рисунок 2 – Создание виртуального прибора в LabVIEW

Виртуальный прибор состоит из двух основных частей: лицевой панели, блок-диаграммы. Лицевая панель (front panel) задает пользовательский интерфейс виртуального прибора (рисунок 3). На ней обычно находятся элементы управления (controls), которые используются для ввода данных, и индикаторы (indicators), используемые для вывода результатов работы программы.

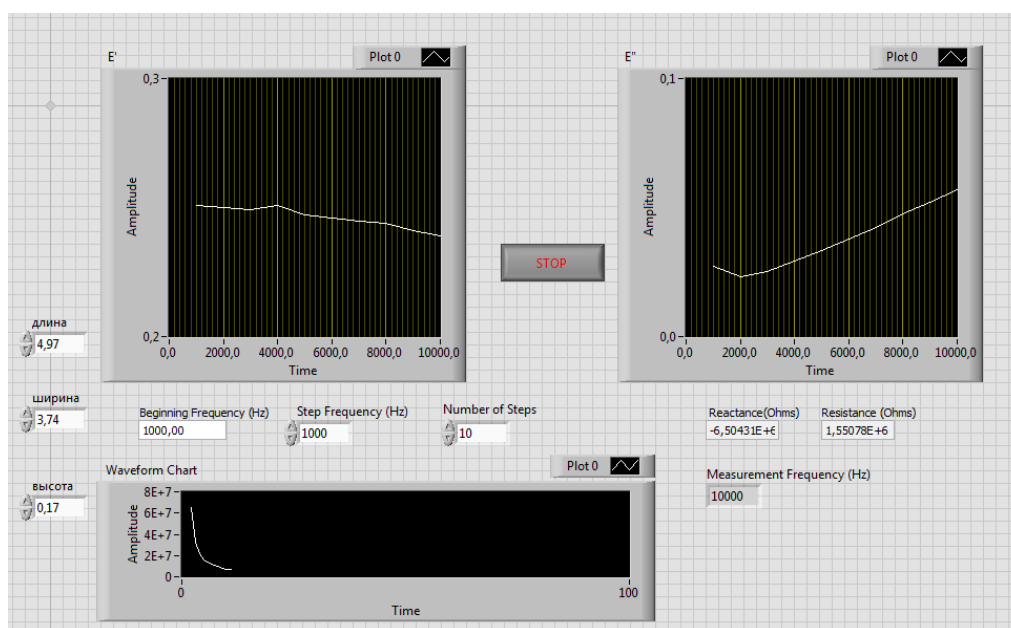


Рисунок 3 – Пример лицевой панели виртуального прибора

Блок-диаграмма (block diagram) – содержит представление алгоритма работы программы на языке графического программирования G. Блок-диаграмма является исполняемым приложением (рисунок 4). На ней обычно размещаются: виртуальные приборы более низкого уровня, терминалы (объекты лицевой панели) встроенные функции LabVIEW, константы и другие структуры.

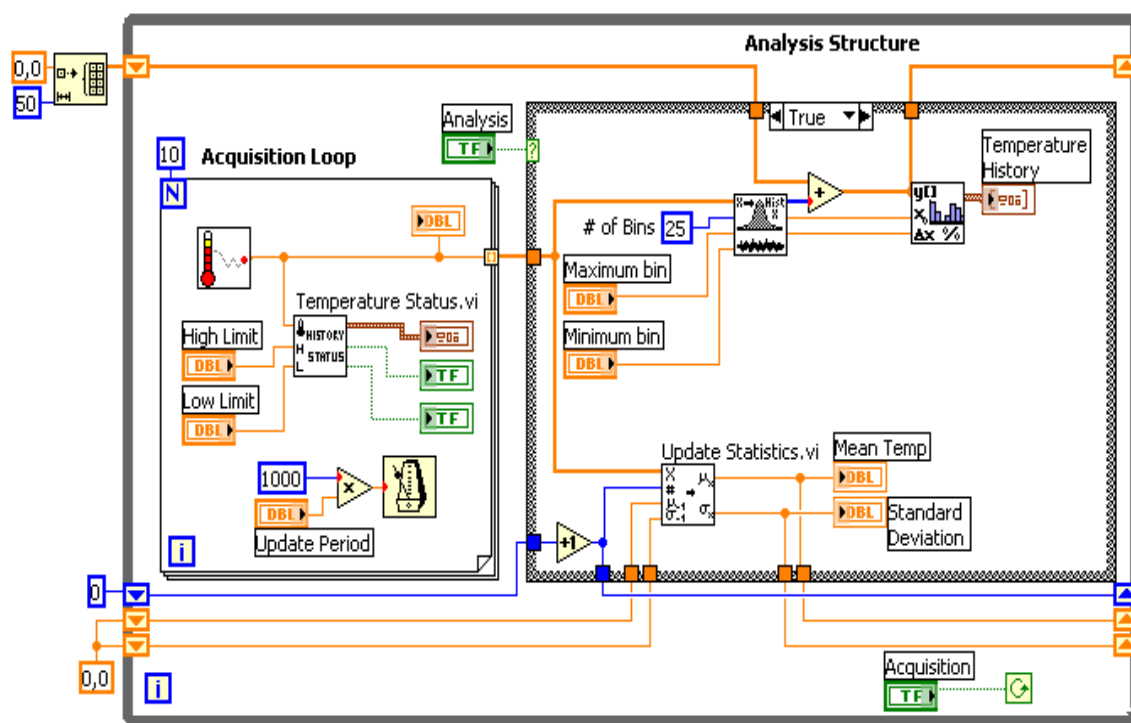


Рисунок 4 – Пример блок-диаграммы виртуального прибора

1.2 Измерительное оборудование

1.2.1 Прецизионный измеритель LCR Agilent E4285A

В качестве аппаратной базы для реализации программно-аппаратного комплекса использовался измеритель LCR Agilent E4285A (рисунок 5) из центра коллективного пользования ТГУ.



Рисунок 5 – LCR Agilent E4285A

Прецизионный измеритель LCR Agilent 4285A позволяет проводить высокоточные и высокоскоростные измерения параметров материалов и компонентов. Прибор обеспечивает широкий диапазон частот испытательного сигнала от 75 кГц до 30 МГц, что может использоваться для проведения испытаний высокочастотных компонентов. Данный прецизионный измеритель позволяет проводить измерения и испытания импеданса при решении широкого круга задач как в процессе разработки, так и при производстве электронных устройств, а также входного контроля компонентов и обеспечения качества готовых изделий [18].

Применение прецизионного измерителя LCR позволяет перекрывать широкий диапазон частот (от 75 кГц до 30 МГц) и устанавливать различные уровни измерительного сигнала (2 В (СКЗ)/20 мА (СКЗ)). Функция автоматической регулировки уровня позволяет проводить измерения сигналов при постоянных значениях уровня силы тока и напряжения, а также у прибора присутствует возможность подавать напряжение смещения постоянного тока ± 40 В на испытуемое устройство. Благодаря такому набору возможностей оператор способен выполнить множество условий измерений. Как говорилось ранее, измеритель LCR позволяет выполнять измерения с высокой точностью (основная погрешность при измерении модуля полного сопротивления $|Z|$: 0,1. Кроме того, встроенная функция коррекции ошибок даёт возможность учесть влияние устройства подключения и соединительной линии, тем самым дополнительно увеличивая точность [18].

Для снижения времени измерений и повышения эффективности измерительных процедур 4285A обладает большим набором различных функций. Карта памяти предоставляет возможность осуществлять предварительную установку условий измерения для компонентов с разными требованиями к проведению измерений. Функция компаратора может быть настроена на сортировку максимум по 10 группам, позволяя обрабатывать множество компонентов во время контроля. Опция интерфейса сканера 4285A-301 решает проблему расхождения измеряемых значений для различных каналов коммутационной матрицы, допуская компенсацию до 128 каналов.

Большой ЖК дисплей позволяет оператору проводить просмотр всех настроек прибора и результатов измерений, что повышает удобство использования данного оборудования и повышает эффективность действий оператора за счет минимизации ошибок считывания. Программируемые клавиши передней панели позволяют пользователю легко изменять состояния прибора посредством перемещения курсора на ЖК дисплее с помощью клавиш курсора. Программируемые клавиши автоматически изменяются, отражая положение курсора. Это минимизирует количество меню и нажатий клавиш.

1.2.2 Прецизионный измеритель LCR Agilent E4980A

Прецизионный измеритель LCR Keysight E4980A [19] является сочетанием точности, скорости и функциональности при выполнении широкого спектра измерений параметров компонентов и материалов (рисунок 6). Прибор обеспечивает высокостабильные измерения на высокой скорости их проведения и во всём диапазоне измерения импеданса. LCR Keysight E4980A может использоваться в качестве основного инструмента как для разработки и исследований, так и производственных испытаний компонентов и материалов. Данный измеритель может использоваться как в стандартной комплектации, так и в условиях подключения к нему внешних устройств или в подключения самого прибора к компьютеру. Для подключения к компьютеру прибор оснащен интерфейсами GPIB, LAN и USB, что значительно повышает производительность тестирования.



Рисунок 6 – Универсальный измеритель LCR Agilent E4980A

Стандартная комплектация и программное обеспечение измерителя LCR Agilent E4980A позволяет проводить измерения различных электрофизических параметров в рабочем диапазоне частот от 20 Гц до 2 МГц, осуществлять усреднение измеренных данных, а также осуществлять запись результатов измерений на внешний носитель, используя встроенную систему наименований файлов. Основная погрешность измерений 0,05% при повторяемости на нижних и верхних пределах измерения импеданса. Прибор оснащён встроенной функцией калибровки на холостом ходу и при коротком замыкании, также имеется возможность учёта затуханий, вносимых соединительным кабелем. E4980A можно использовать с более чем 30 устройствами подключения для разных задач измерения: от материалов до компонентов с монтажом на поверхность. Встроенные функции компенсации минимизируют влияние устройств подключения. Управление прибором осуществляется кнопками, расположенными на его лицевой панели.

1.2.3 Измерительная ячейка Keysight 16454A

Для измерений магнитной проницаемости образцов тороидальной формы с помощью прецизионного измерителя LCR Agilent E4285A необходимо использовать измерительную ячейку Keysight 16454A, представленную на рисунке 7. Данная измеритель-

ная ячейка позволяет реализовать индуктивный метод измерения магнитной проницаемости [20].



Рисунок 7 – Измерительная ячейка Keysight 16454A

Измерительная ячейка Keysight 16454A позволяет проводить измерения в широком частотном диапазоне от 1 кГц до 1 ГГц, при этом нет необходимости наматывать на тороид измерительный провод для реализации индуктивного метода измерения. Данная ячейка позволяет проводить измерения для образцов с различными геометрическими размерами, высота которых может варьироваться от 3 мм до 8,5 мм, внутренний диаметр от 3,1 мм до 5 мм, а внешний диаметра от 8 мм до 20 мм. Также предусмотрена возможность проведения измерений температурных зависимостей с использованием соответствующего оборудования в диапазоне температур от $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+150\text{ }^{\circ}\text{C}$ [21].

Применяемый способ проведения измерений и используемое оборудование позволяет получать значения действительной части магнитной проницаемости с погрешностью измерений равной 5% только в определённом частотном диапазоне, для определённого размера объекта измерения, а именно с 100 кГц до 30 МГц для выбранных образцов. На низких частотах (от 1 кГц до 10 кГц) погрешность измерения составляет порядка 20%. В диапазоне от 10 кГц до 100 кГц погрешность измерения равна 10%.

1.3 Индуктивный метод измерения магнитной проницаемости

1.3.1 Теоретические основы методики измерения

Поиск публикаций, проведенный в различных базах статей за период с 2015 года по 2021 год, показывает растущий интерес к проблеме измерения магнитной проницаемости материалов (рисунок 8). Так российская электронная библиотека eLibrary.Ru предоставляет доступ к 197 статьям по запросу «Измерение магнитной проницаемости».

За рубежом данные исследования в последние годы в таких базах данных как IEEE и Web of Science по аналогичному запросу представлены в количестве 655 и 1578 статей соответственно.

На сегодняшний день существует ряд методов измерения комплексной магнитной проницаемости. К ним относятся: индуктивный метод [20], метод СВЧ-тракта, мостовой метод и ваттметровый метод [22].

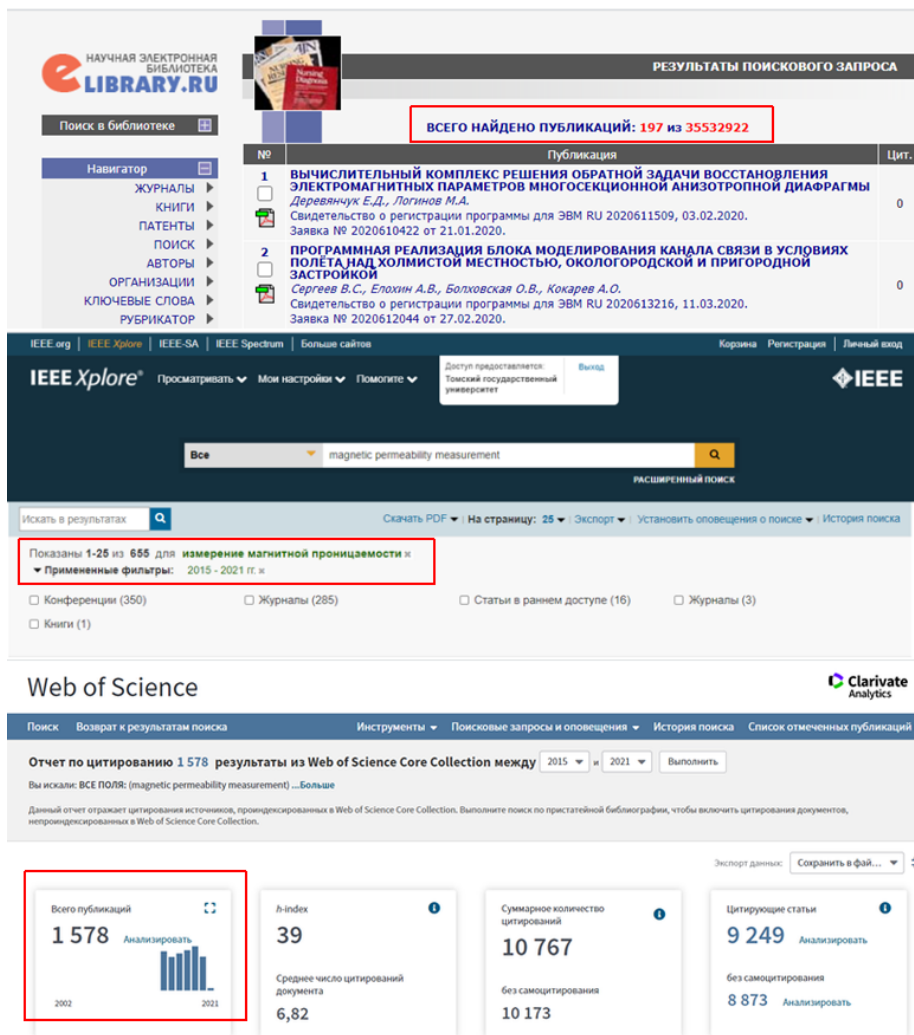


Рисунок 8 –Результаты поиска по запросу «Измерение магнитной проницаемости»

Для проведения измерений был использован индуктивный метод в силу наличия необходимого оборудования. Метод основан на измерении электродвижущей силы, которая возбуждается в измерительной обмотке исследуемого образца замкнутого (кольцо, тороид и т.п.) или разомкнутого (стержень, пластина, диск) при изменении в нём магнитного потока.

Методика измерений предполагала измерение действительной и мнимой частей импеданса ячейки без образца и с помещённым внутрь объектом. Перед измерениями

проводилась калибровка измерительного прибора при коротком замыкании и на холостом ходу для компенсации остаточного импеданса линий передач, к которым подключалась измерительная ячейка. Далее проводилось измерение первичных параметров необходимых для дальнейших расчётов. Вначале каждого измерения для всех образцов отдельно измерялся импеданс ($Z_0=R_0+iX_0$) пустой ячейки (без образца), где R_0 – действительная и X_0 – мнимая части. Затем в измерительную ячейку помещался образец и измерялся импеданс ячейки с образцом $Z_S=R_S+iX_S$.

После измерения первичных параметров и их усреднения с учётом 32 измерений производится расчёт требуемых величин действительной и мнимой частей магнитной проницаемости, формулы которых были выведены из формулы комплексной магнитной проницаемости:

$$\mu = \mu' - i\mu'' = 1 + \frac{Z_S - Z_0}{if\mu_0 h \ln(D/d)}, \quad (1)$$

$$\mu' = i \frac{X_0 - X_S}{f\mu_0 h \ln(D/d)}, \quad (2)$$

$$\mu'' = 1 + \frac{R_S - R_0}{f\mu_0 h \ln(D/d)}, \quad (3)$$

где μ' – действительная, μ'' – мнимая части магнитной проницаемости, i – мнимая единица, f – частота измерений, μ_0 – магнитная постоянная. h – высота, D – внешний, d – внутренний диаметры образца тороидальной формы.

1.3.2 Объекты исследования

В качестве объектов исследования были выбраны пять *LiTiZn* ферритов с различным процентным содержанием ZrO_2 , чей состав и способ изготовления подробно описан в работе [23]. Массовый процент содержания ZrO_2 в образце номер 1 составляет 0%, для образца номер 2 этот показатель равен 0.5%, образец номер 3 – 1%, образец номер 4 – 2%, образец номер 5 – 3%. Все исследуемые образцы были выполнены в форме тороидов с внешним диаметром $D \approx 7.0$ мм, внутренним диаметром $d = 3.1$ мм, и толщиной $h \approx 1.5$ мм. Геометрические размеры объектов исследований определялись параметрами

измерительной ячейки Keysight 16454A Magnetic Material Test Fixture. Внешний вид исследуемых образцов представлен на рисунке 9.

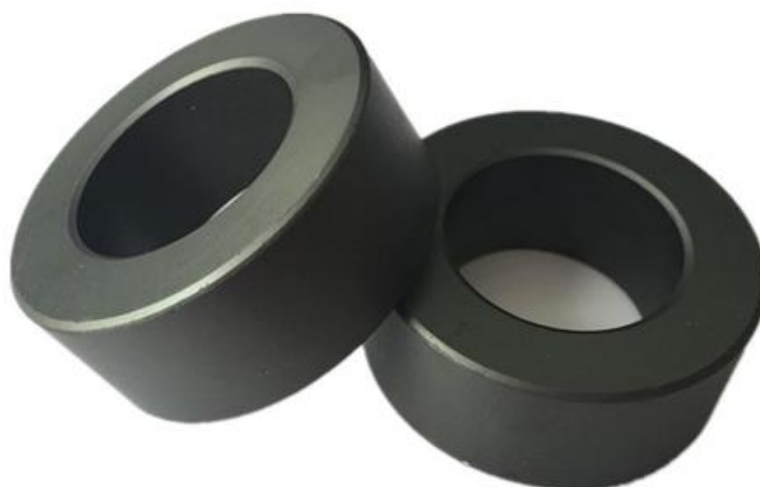


Рисунок 9 – Образцы тороидальной формы

2 Практическая часть

2.1 Реализация программно-аппаратного комплекса Agilent E4285A–LabVIEW

2.1.1 Написание программы в LabVIEW

Получение значений действительной и мнимой частей магнитной проницаемости образцов тороидальной формы проводится в два этапа: измерение частотной зависимости первичных параметров и перерасчёт полученных значений по указанным выше формулам (2) и (3) для получения спектров действительной и мнимой частей магнитной проницаемости исследуемых образцов.

Для выполнения первого этапа измерений с официального сайта компании производителя измерительного оборудования была взята программа[18], созданная в среде LabVIEW, для управления прецизионным измерителем Agilent E4285A. Лицевая панель и блок диаграмма исходной программы представлены на рисунках 10 и 11 соответственно.

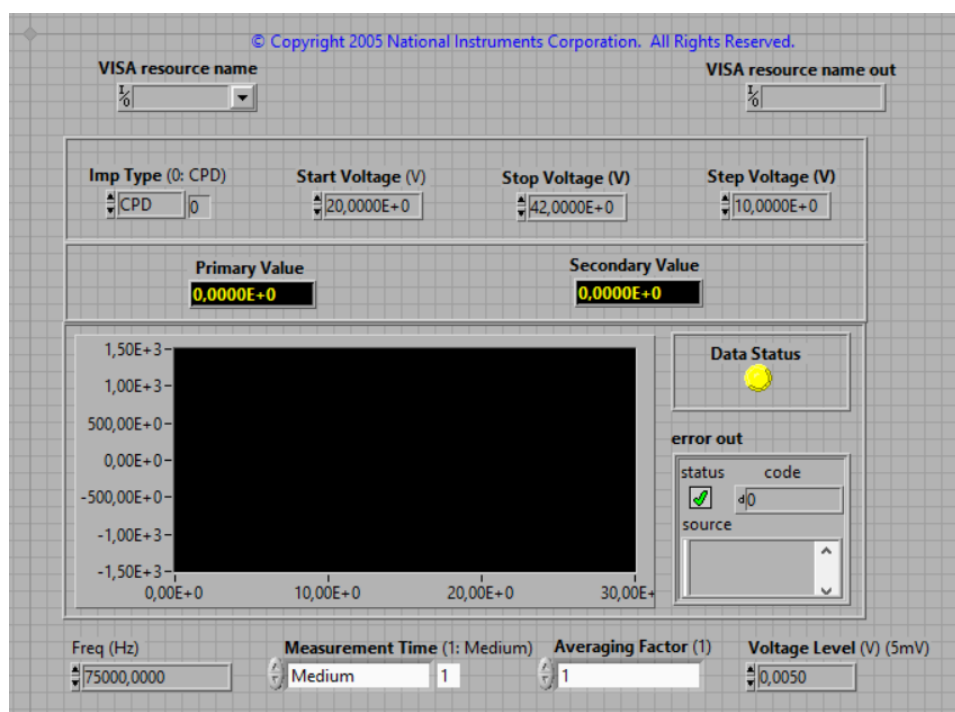


Рисунок 10 – Лицевая панель программы управления прецизионным измерителем Agilent E4285A

Стандартная программа позволяла управлять измерительным прибором с персо-

нального компьютера, связь с которым осуществлялась с помощью интерфейса GPIB. Оператору предоставлялась возможность построения графиков зависимости измеряемых параметров на фиксированной частоте всех во 20 режимах работы от напряжения в рамках рабочего диапазона с указанием начального и конечного напряжения, а также шага изменения напряжения. Виртуальный прибор позволял также выбрать количество усреднений и записать полученные в ходе измерения данные в файл, а также в режиме реального времени наблюдать значения измеряемых величин и наличия ошибки в работе программы с помощью соответствующих индикаторов.

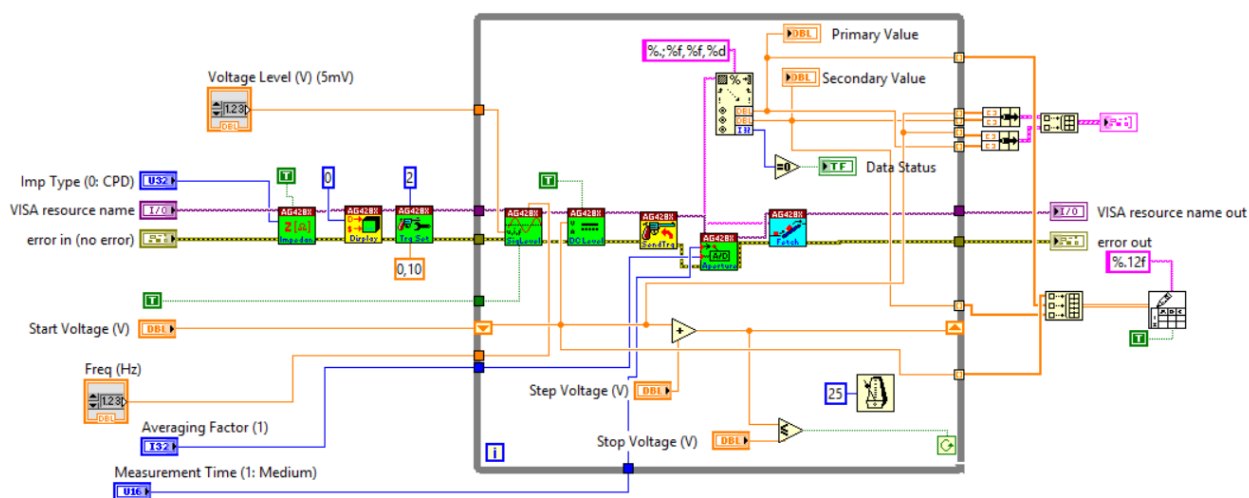


Рисунок 11 –Блок-диаграмма программы управления прецизионным измерителем Agilent E4285A

Для проведения измерений частотной зависимости исследуемых образцов в стандартную программу были внесены изменения. Блок диаграмма виртуального прибора первого этапа измерений представлена на рисунке 12. От стандартной программы она отличается тем, что позволяет проводить измерения на фиксированном уровне напряжения при изменяющейся частоте. В исходном варианте программы у оператора нет возможности выбора диапазона частот, в программе используются частоты, на которых производится калибровка прибора на холостом ходу и коротком замыкании. Так как программа создавалась с целью проведения измерения частотной зависимости действительной и мнимой частей магнитной проницаемости с обязательным использованием измерительной ячейки Keysight 16454A в неё были добавлены специальные блоки, требующиеся для выбранного метода измерения. В исходной программе добавлен раздел, создающий папку для записи файла с результатами измерения. Также внесены измене-

ния в порядок названия файла: либо в названии указывается номер образца и состояние ячейки, либо номер образца, дата и время проведения измерения. У оператора всё также сохраняется возможность наблюдать график частотной зависимости измеряемых величин по окончании измерения, а также в режиме реального времени наблюдать за изменением исследуемых параметров и наличием ошибки в работе программы. Лицевая панель модифицированного ВП приведена на рисунке 13.

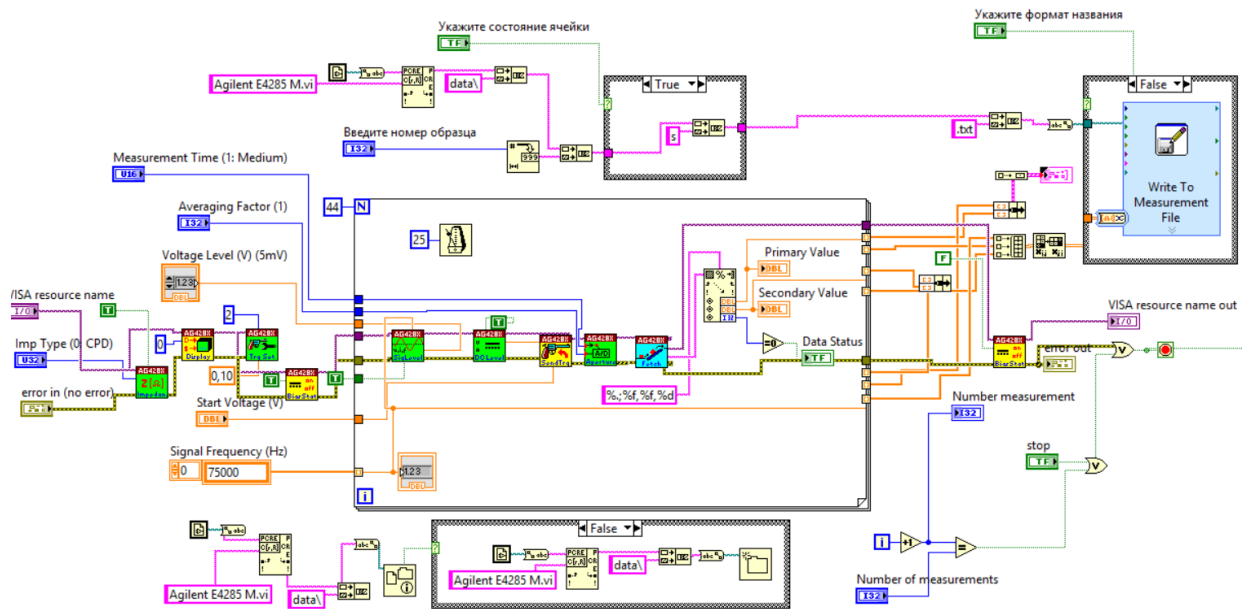


Рисунок 12 – Фрагмент блок-диаграммы измененного виртуального прибора для измерения частотных зависимостей

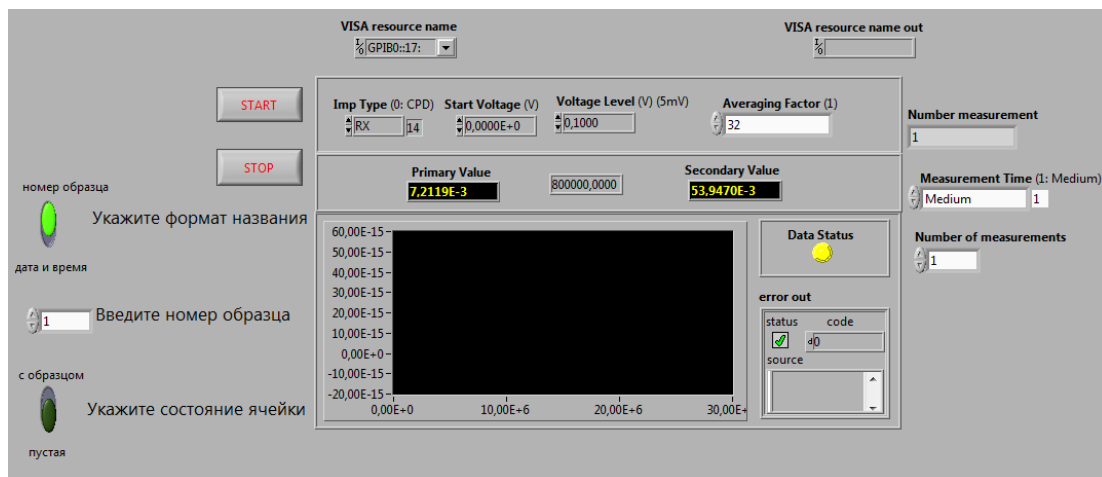


Рисунок 13 –Лицевая панель виртуального прибора для измерения частотных зависимостей

Программа второго этапа для записи и построения спектров действительной и

мнимой частей магнитной проницаемости представлена на рисунке 14. Она является универсальной для измерительных приборов, при условии, что проводились замеры параметров пустой и заполненной ячейки. Данная часть программы отвечает за обработку полученной информации в процессе измерения. В ней производится расчёт искомых величин, построение спектральных зависимостей действительной и мнимой частей магнитной проницаемости, создание папки и последующая запись конечных данных в файлы. Оператору требуется указать геометрические размеры образца такие как высота, внутренний и внешний диаметр тороида. Значение действительной и мнимой частей импеданса, а также частот, на которых проводились измерения, программа считывает из файлов, полученных на первом этапе измерения. Результатом работы программы является создание на внешнем носителе папки с измеренными параметрами на калибровочных частотах прецизионного измерителя и построение на лицевой панели программы спектров измеренных величин (рисунок 15). У оператора сохраняется возможность выбора варианта названия файла: номер образца или дата и время измерения.

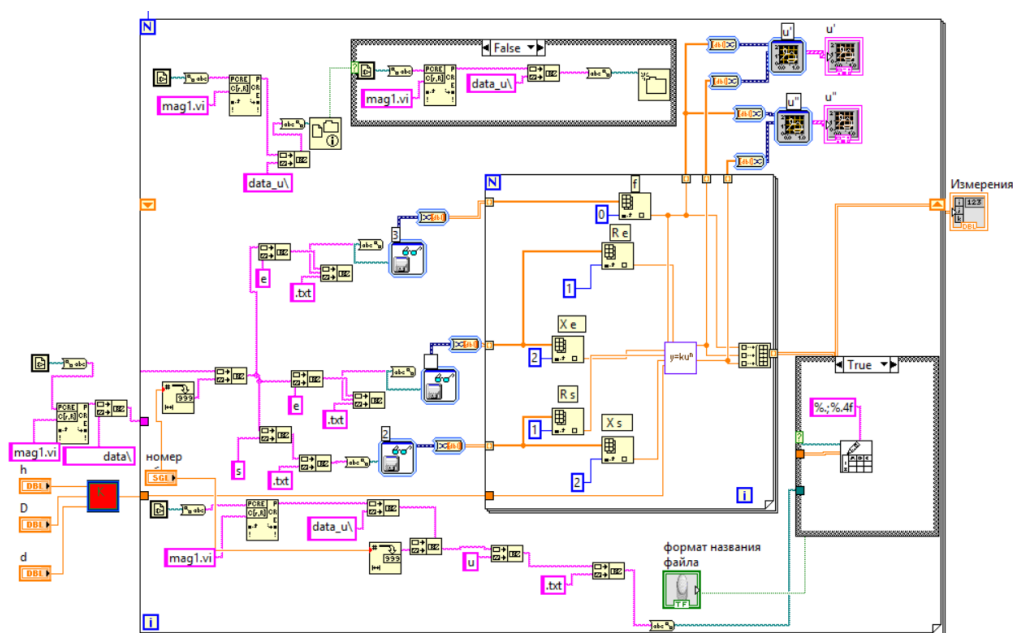


Рисунок 14 – Фрагмент блок-диаграммы программы автоматизации измерений магнитной проницаемости образцов тороидальной формы

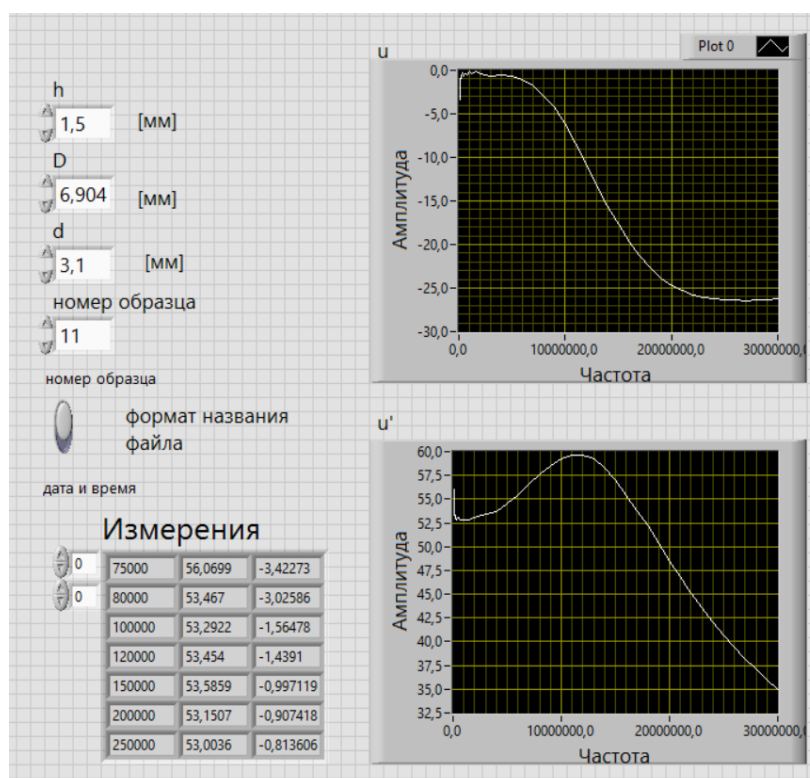


Рисунок 15 – Лицевая панель программы автоматизации измерений магнитной проницаемости образцов тороидальной формы

2.1.2 Организация удалённого доступа к аппаратуре

Технология виртуальных измерительных приборов позволяет создавать системы измерения, управления и диагностики различного назначения практически любой производительности и сложности [13]. Преимущество и эффективность виртуальных измерительных технологий состоит в возможности программным путем создавать разнообразные приборы, измерительные системы и программно-аппаратные комплексы, легко перестраивать их к изменяющимся требованиям, уменьшать материальные затраты и время на разработку. При этом создаваемая измерительная система может быть оптимальным образом адаптирована для решения поставленных задач с учетом их особенностей, что и было реализовано в данной работе.

Также виртуальные измерительные технологии дают возможность совмещать измерительные системы с телекоммуникационными сетями, обеспечивая тем самым возможность дистанционного доступа к измерительному и управляющему оборудованию. Подобная интеграция позволяет связывать в единую систему большое число различных удаленных друг от друга измерительных и управляющих устройств либо проводить

длительные измерения требуемых параметров с постоянным контролем показателей аппаратуры, получать и обрабатывать данные, находясь в любой точке мира с доступом к сети Internet.

Система LabVIEW позволяет организовать удалённый доступ к рабочему виртуальному прибору. Для этого необходимо в открытом окне лицевой панели прибора в разделе Tools выбрать пункт Web Publishing Tool (рисунок 16). Во всплывшей панели указывается созданный виртуальный прибор в диалоговом окне VI name и выбирается режим Embedded для возможности просматривать и контролировать лицевую панель удаленно с помощью браузера, выбор осуществляет пользователь, а не программа. ВП должен находиться в памяти на сервере, чтобы клиенты могли просматривать и контролировать переднюю панель. Также следует задать время обновления страницы и нажать кнопку Start Web Server для запуска сервера. Для предварительного просмотра страницы в браузере следует нажать кнопку Preview in Browser. Для дальнейшей настройки веб-страницы необходимо нажать кнопку Next.

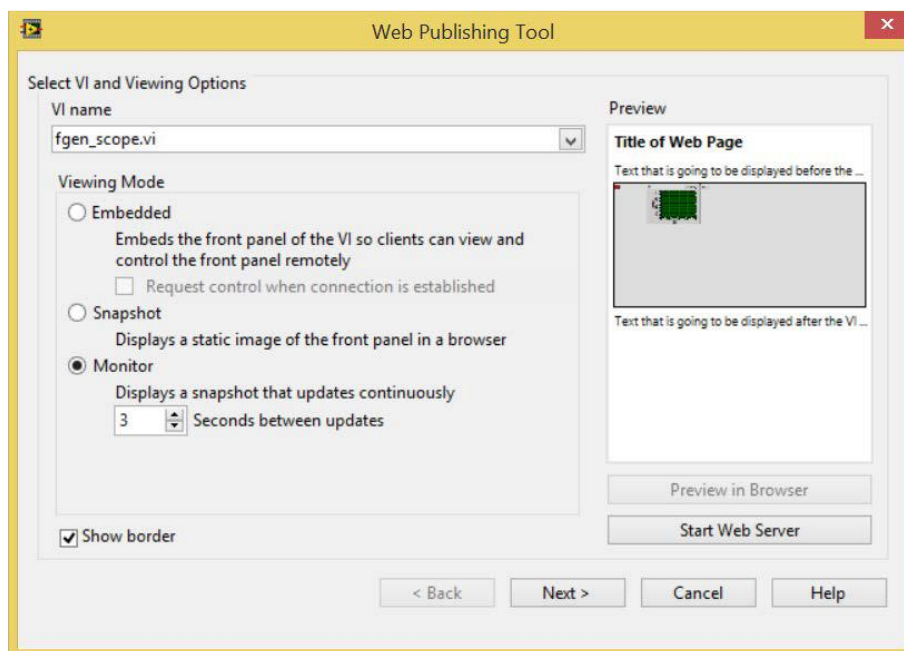


Рисунок 16 – Диалоговое окно выбора режима удалённого доступа

В появившейся вкладке в соответствующих полях необходимо указать место сохранения файла HTML, название данного файла и скопируйте адрес созданной веб-страницы из окна URL. После выполнения всех операций необходимо сохранить файл HTML на диск, нажав кнопку Save to Disk.

В рамках данного проекта к виртуальным приборам, отвечающим за управление

измерительным оборудованием, а также за перерасчёт первичных параметров в значения магнитной проницаемости, был организован удалённый доступ. Пример организации удалённого управления прецизионным измерителем E4285E представлен на рисунке 17. Оператор может осуществлять любые действия по управлению измерителем, которые представляются виртуальный прибор LabVIEW. Однако удалённый доступ должен быть настроен заранее и у оператора должна быть возможность выхода в сеть Internet.

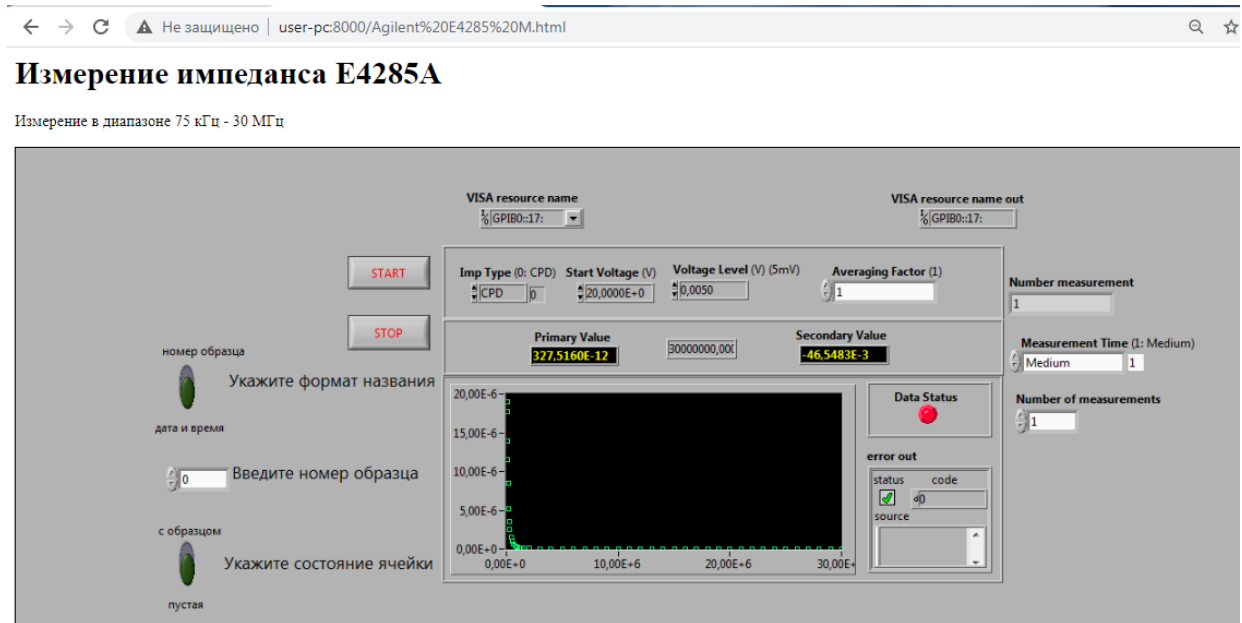


Рисунок 17 – Лицевая панель виртуального прибора E4285A в режиме удалённого доступа

2.2 Реализация программно-аппаратного комплекса Agilent E4980A–LabVIEW

2.2.1 Написание программы в LabVIEW

Для управления измерителем Agilent E4980A использовалась программа, взятая с официального сайта компании производителя измерительного оборудования [24], реализованная в среде LabVIEW.

Стандартная программа позволяла управлять измерительным прибором с персонального компьютера, связь с которым осуществлялась с помощью интерфейса USB. Оператору предоставлялась возможность наблюдать в режиме реального времени изменения значений измеряемых параметров при изменении частоты во всех 23 режимах работы с выбором уровня тестового сигнала. Измерения проводились на сетке калибро-

вочных частот. Виртуальный прибор позволял также выбрать количество усреднений (до 999) и записать полученные в ходе измерения данные в файл. Оператор мог также выбирать скорость измерения от 5,6 мс на точку на частоте 1 МГц в режиме SHORT до 220 мс на точку на частоте 1 МГц в режиме LONG. Виртуальный прибор самостоятельно проводил поиск ошибки, и при её наличии не позволял запустить измерительный прибор, выводя на экран всплывающее окно с номером ошибки и её кратким описанием.

Для проведения измерений частотной зависимости комплексного импеданса исследуемых образцов в стандартную программу были внесены изменения. Красными областям на рисунке 18 выделены участки, содержащие в себе блоки дополнений. Главной особенностью модифицированной программы является учёт обязательного соединения измерительного прибора с измерительной ячейки Keysight 16454A (это необходимое условие выбранной методики измерения для правильного наименования файлов). В представленном варианте программы у оператора нет возможности выбора диапазона частот, в программы используются частоты, на которых производится калибровка прибора на холостом ходу и коротком замыкании. В исходную программу добавлены блоки, создающие папку для записи файла с результатами измерения. Также внесены изменения в порядок названия файла: либо в названии указывается номер образца и состояние ячейки, либо номер образца, дата и время проведения измерения. У оператора появилась возможность наблюдать график частотной зависимости измеряемых величин по окончании измерения.

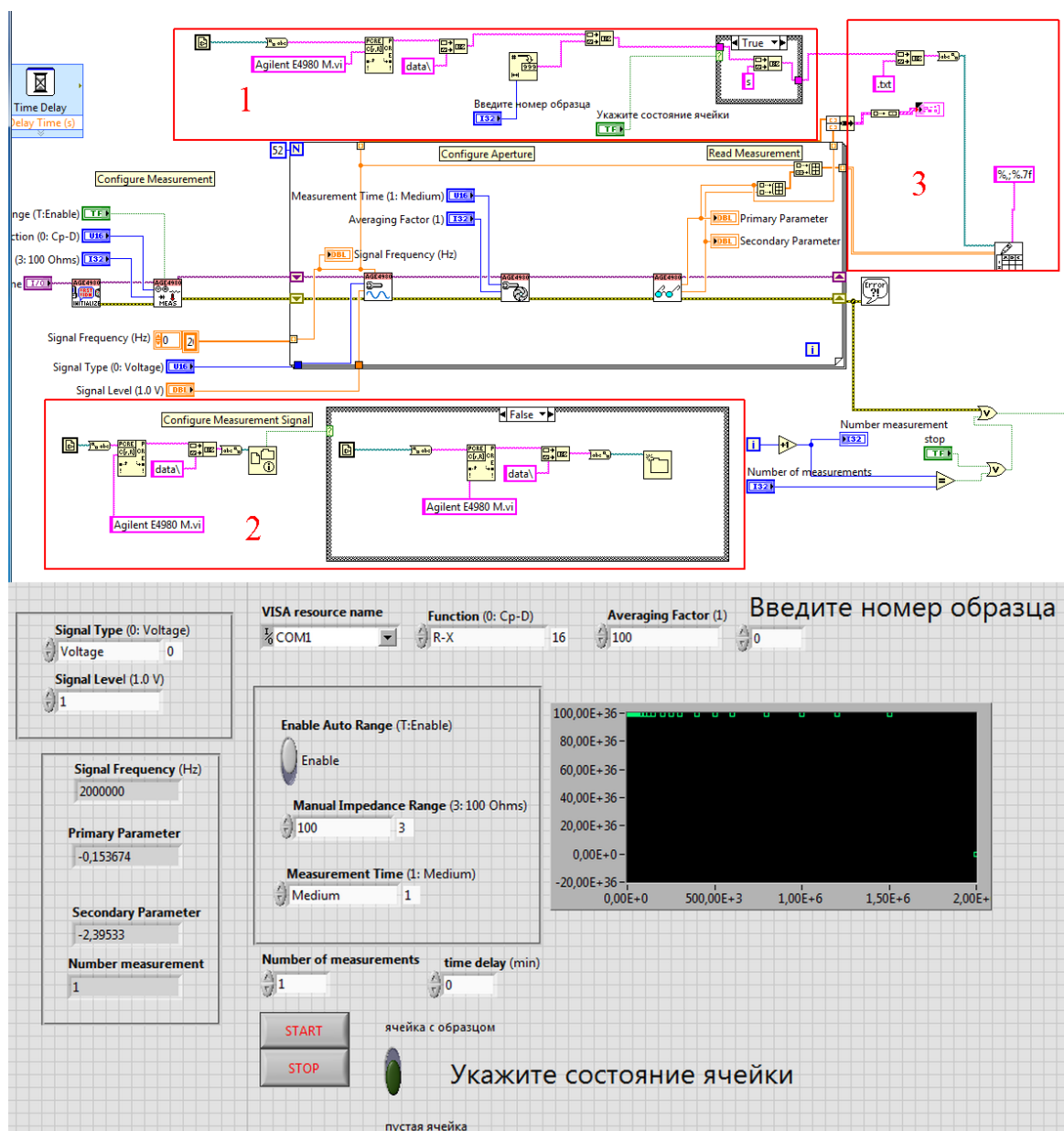


Рисунок 18 – Фрагмент блок-диаграммы и лицевой панели виртуального прибора от компании производителя с элементами модификации

2.2.2 Организация удалённого доступа к аппаратуре

Как уже говорилось ранее, возможность дистанционного доступа к измерительному и управляющему оборудованию позволяет связывать в единую систему большое число различных удаленных друг от друга измерительных и управляющих устройств либо проводить длительные измерения требуемых параметров с постоянным контролем показателей аппаратуры, получать и обрабатывать данные, находясь в любой точке мира с доступом к сети Internet. Особенно эти преимущества важны при работе с дорогостоя-

щим оборудованием в условиях необходимости проведения множественных измерений. Также для предотвращения случайных ошибок в процессе измерений удалённый доступ даёт возможность первичной оценки качества проведения измерений.

В силу указанных причин удалённый доступ в рамках данной работы организовывался ко всем виртуальным приборам. На рисунке 19 представлена лицевая панель виртуального прибора для управления измерителем E4980A в режиме удалённого доступа. Основной причиной необходимости создания удалённого доступа к этому прибору выступали перспективы длительных измерений с использованием данного оборудования.

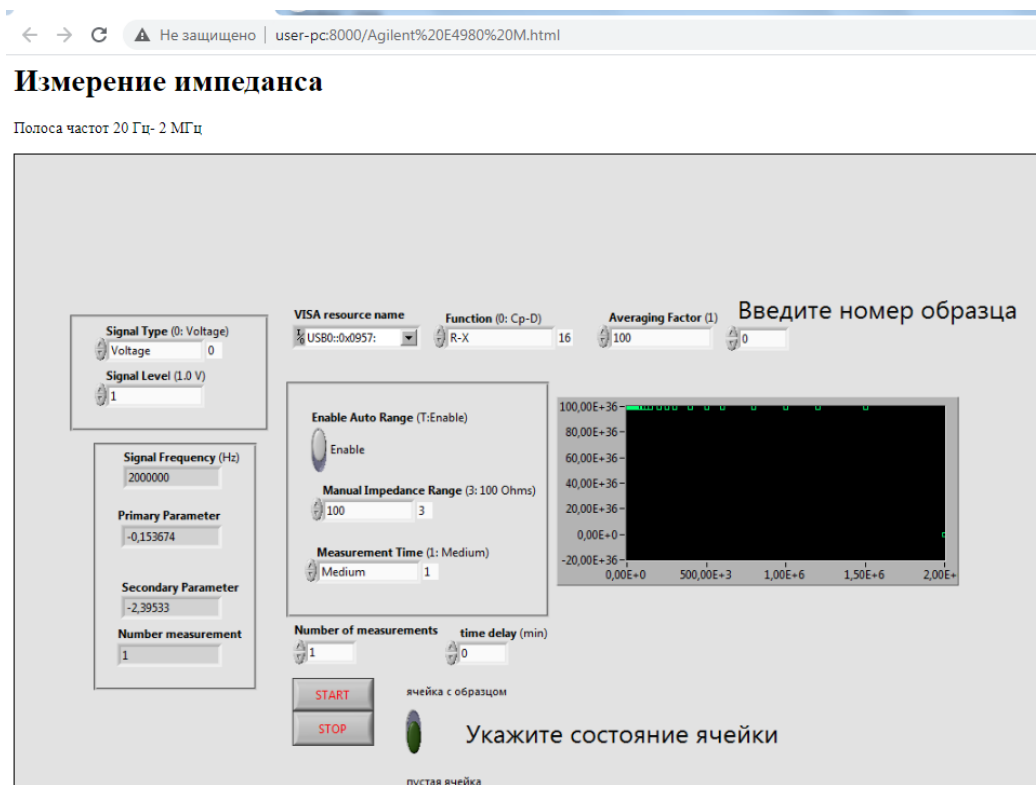


Рисунок 19 – Лицевая панель виртуального прибора E4980A в режиме удалённого доступа

На рисунке 20 приведён пример использования виртуального прибора для расчёта магнитной проницаемости. Функционал прибора позволяет проводить первичную оценку качества проведённых измерений и получать доступ к данным, по которым строятся графики зависимости действительной и мнимой части магнитной проницаемости.

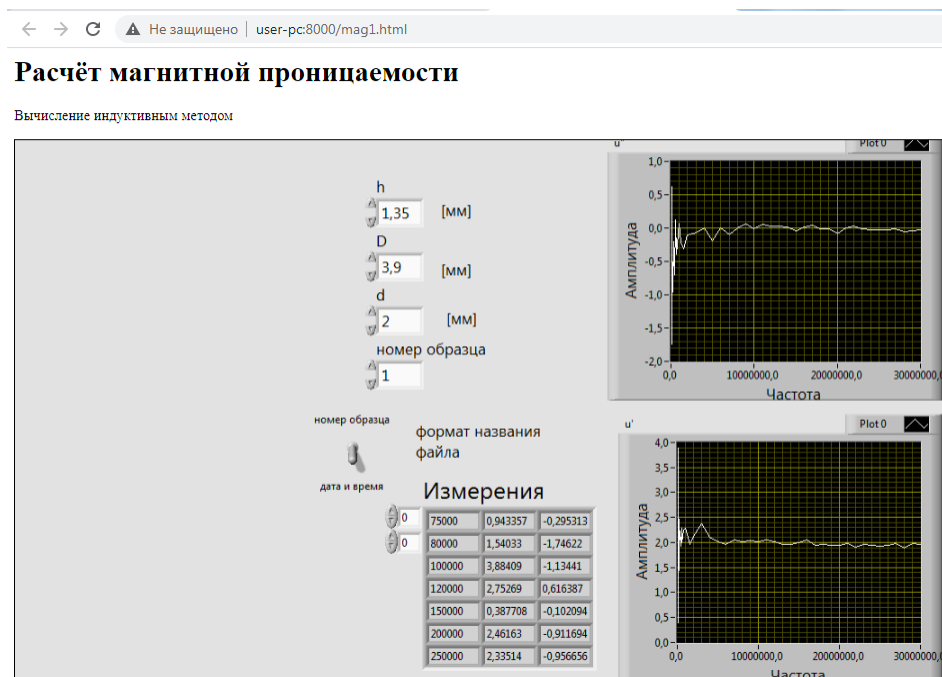


Рисунок 20– Лицевая панель виртуального прибора расчёта магнитной проницаемости в режиме удалённого доступа

2.3 Алгоритм проведения измерений

Методика измерений предполагала измерение действительной и мнимой частей импеданса пустой ячейки и ячейки с образцом внутри. Перед проведением измерения проводилась калибровка измерительного прибора для учёта его собственного импеданса (рисунок 21) и остаточных затуханий отрезка коаксиального кабеля, которым измерительная ячейка подключается к прибору, посредством выбора необходимой операции с помощью кнопок на лицевой панели. Калибровка проводилась при коротком замыкании (использовался короткозамыкатель КЗ(НКЗ-20-13Р) из набора калибровочных мер фирмы Микран) и на холостом ходу. Данная процедура проводилась перед каждым новым измерением.

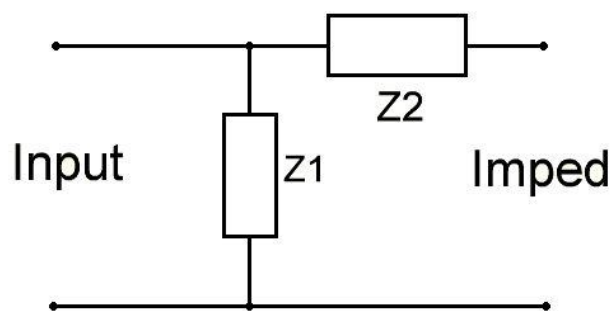


Рисунок 21 – Эквивалентная схема внутреннего сопротивления измерительного прибора

После калибровки прибора к линии передач подключалась измерительная ячейка и проводилось измерение импеданса пустой ячейки. Далее в ней помещался исследуемый образец. На лицевой панели вводились его параметры в соответствующие диалоговые окна и запускался процесс измерения. Блок-диаграмма алгоритма проведения измерений представлена на рисунке 22.



Рисунок 22 – Блок-схема алгоритма проведения измерений

2.4 Применение программно-аппаратного комплекса в реальном измерительном процессе

Для проверки полученных результатов был выбран метод сравнения со значениями измеряемых параметров, полученных на приборах E4991B и E4980A в частотном

диапазоне от 1кГц до 3 ГГц. Для выполнения работы и отладки программы объектами исследования использовались ферриты тороидальной формы, находящиеся на балансе центра коллективного пользования при ТГУ. Исследование частотной зависимости их действительной и мнимой частей магнитной проницаемости представлены в работе [23]. Эти результаты были взяты за эталонные значения для анализа работы программы и метода измерения в целом.

Применяемый способ проведения измерений и используемое оборудование позволяет получать значения действительной части магнитной проницаемости с погрешностью измерений равной 5% только в определённом частотном диапазоне, для определённого размера объекта измерения, а именно с 100 кГц до 30 МГц для используемых образцов. На низких частотах (до 10кГц) погрешность измерения составляет порядка 20%. В диапазоне от 10 кГц до 100кГц погрешность измерения равна 10%.

Более наглядное сравнение результатов измерения действительной и мнимой частей магнитной проницаемости второго образца представлено на рисунке 23, где чёрными и красными точками отмечены результаты измерения действительной и мнимой частей магнитной проницаемости соответственно с использованием аппаратуры E4991B, а зелёные и синие точки – это значения, полученные с помощью измерителя E4285A. Аналогичная цветовая градация применена для сравнения данных, полученных с помощью измерителей E4980A, однако там применяются полые точки. На графиках остальных образцов, представленных на рисунке 24, применяется та же цветовая палитра.

Сравнивая спектры магнитной проницаемости остальных образцов, можно заметить, что не произошло сдвига резонансной частоты ни для действительной, ни для мнимой части магнитной проницаемости. У всех образцов наблюдалась разница значений величины частей магнитной проницаемости, полученных на разных приборах. Относительная погрешность измерений не рассчитывалась для первого и второго образца из-за приведённых выше причин. Для остальных же образцов относительная погрешность измерения составила не более 7% на всём частотном интервале. Данная погрешность может быть связана с температурным дрейфом и влажностью в разное время в помещении, где проводились измерения.

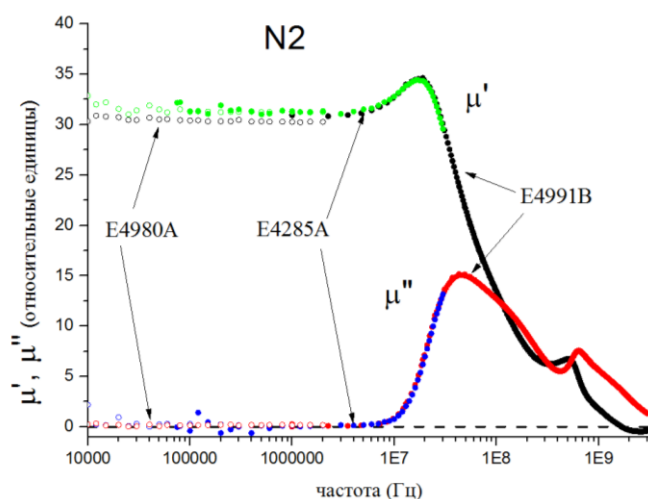


Рисунок 23 – Спектральная зависимость действительной и мнимой части магнитной проницаемости второго образца

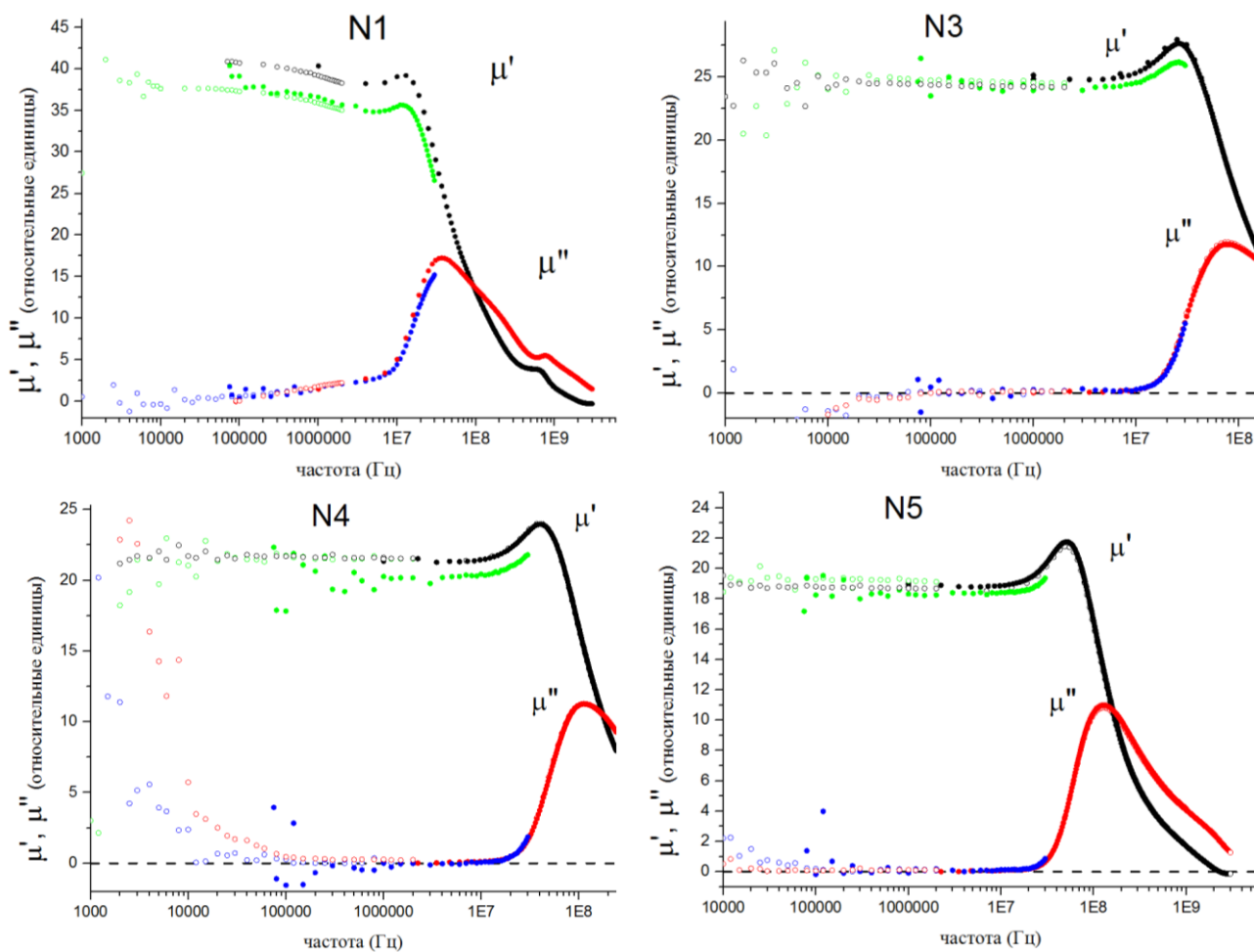


Рисунок 24 – Спектральная зависимость действительной и мнимой части магнитной проницаемости исследуемых образцов

Также на разницу значений может влиять нестабильность работы измерительного оборудования. Для проверки этой гипотезы были проведены 8 измерений действительной и мнимой части импеданса пустой ячейки. Результаты измерения представлены на ри-

сунке 25. Чёрной линией на графиках отмечены средние значения из 8 измерений. Разница между двумя измерениями на одинаковых частотах может достигать 30% для действительной части импеданса и 25% для мнимой части импеданса. Из графиков видно, что наибольший разброс измеряемых параметров проявляется на границах частотных диапазонов.

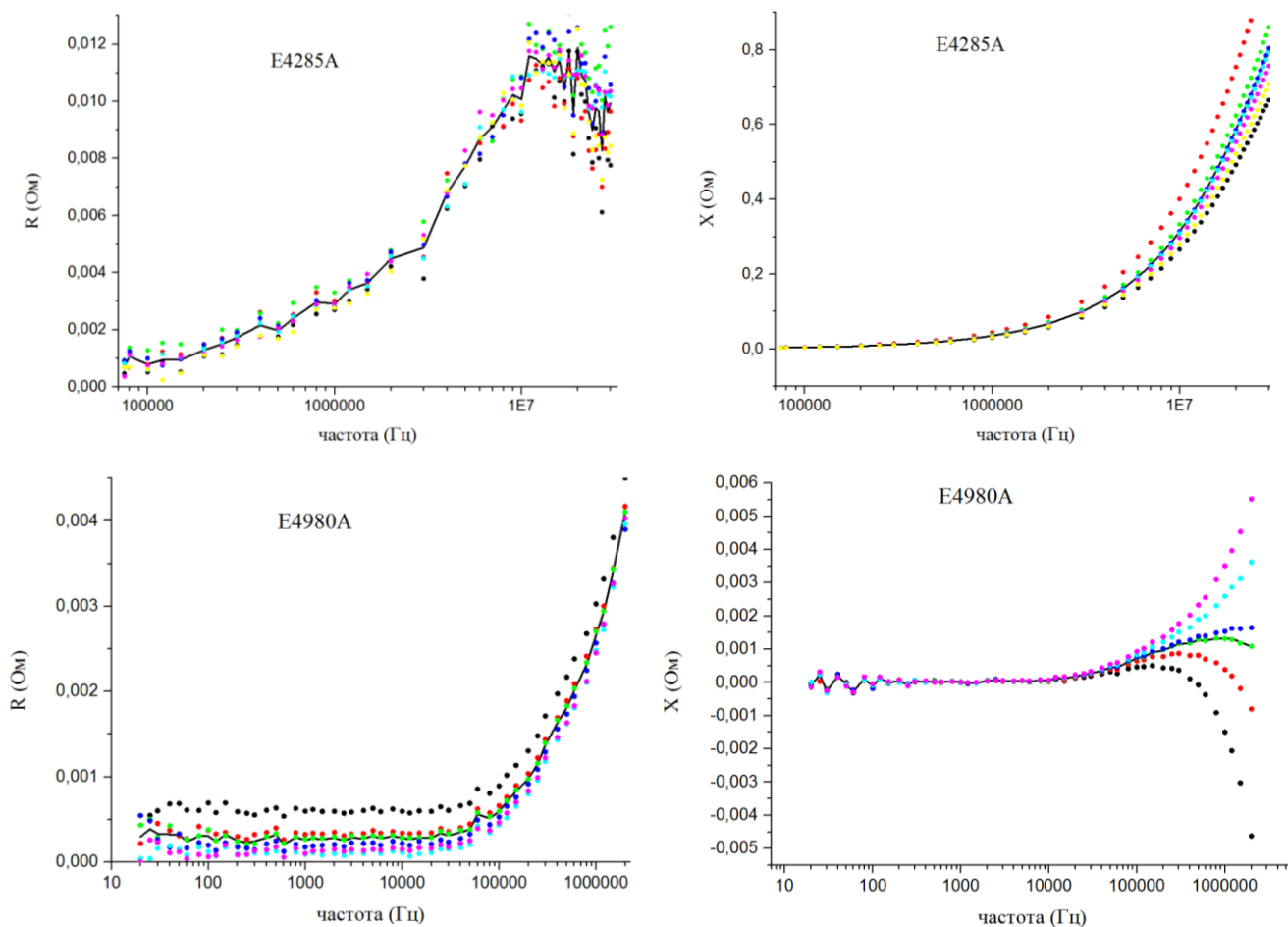


Рисунок 25 – Спектральная зависимость действительной и мнимой части импеданса пустой ячейки

Для оценки влияния случайной ошибки дополнительно были проведены 8 измерений магнитной проницаемости первого образца с соблюдением требований методики измерения. Результаты измерений действительной части магнитной проницаемости приведены на рисунке 26. На графиках наглядно виден разбег значений действительной части магнитной проницаемости разных измерений на одинаковых частотах. Так средняя относительная погрешность измерений относительно среднего значения равна 5-7% в зависимости от частоты – на частотах до 1,5 МГц относительная погрешность больше средней.

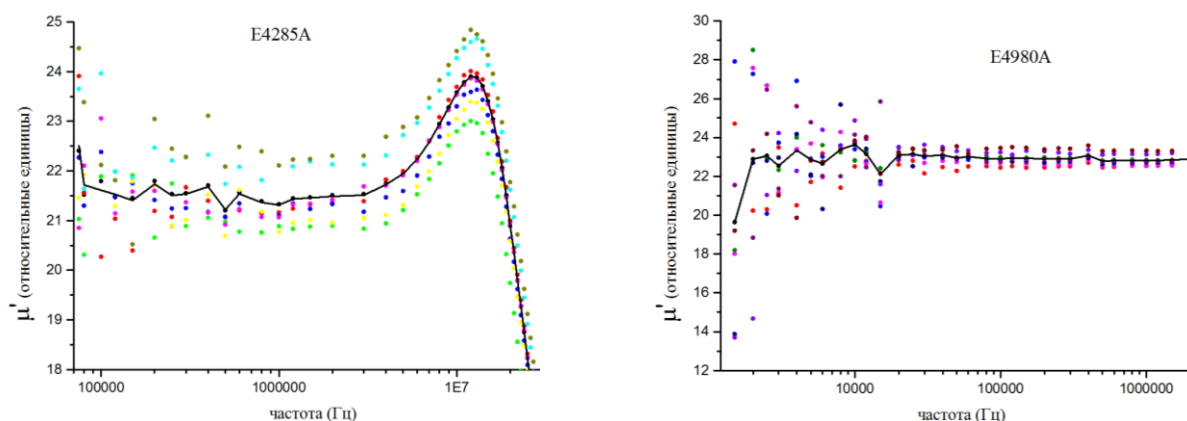


Рисунок 26 – Спектральная зависимость действительной части магнитной проницаемости первого образца

Для оценки влияния систематической ошибки измерений предполагалось сравнивать полученные данные с эталонными значениями, но в силу отсутствия эталонов магнитной проницаемости, сравнение проведено не было. Однако были проведены частотные измерения комплексной магнитной проницаемости серийно выпускаемых кольцевых сердечников с известными паспортными данными и различными геометрическими размерами.

Использовались термостабильные кольцевые ферритовые марганец-цинковые сердечники повышенной надежности K16.0x8.0x6.0 и K17.5x8.2x5.0 с маркой феррита 2000НМ. Начальная магнитная проницаемость образцов составляет $2000 \mu_n$ с возможным отклонением значения на +500 единиц или на -300 единиц.

Все измерения проводились с сохранение требуемой методикой последовательности действий. После калибровки на холостом ходу и при коротком замыкании проводились замеры частотных зависимостей действительной и мнимой частей импеданса пустой ячейки и ячейки с образцом. Стоит отметить, что геометрические размеры серийно выпускаемых ферритовых колец значительно превышали размеры исследуемых с различным содержанием двуокиси циркония. По этой причине использовался другой разъём измерительной ячейки, входящий в состав комплекта.

На рисунках 27 и 28 представлены спектральные зависимости действительной и мнимой части магнитной проницаемости ферритовых колец. На обоих рисунках точками синего и красного цвета отмечены данные, полученные с использованием измерителя E4980A, а чёрным и зелёным цветом выделены измерения, полученные с помощью E4285A.

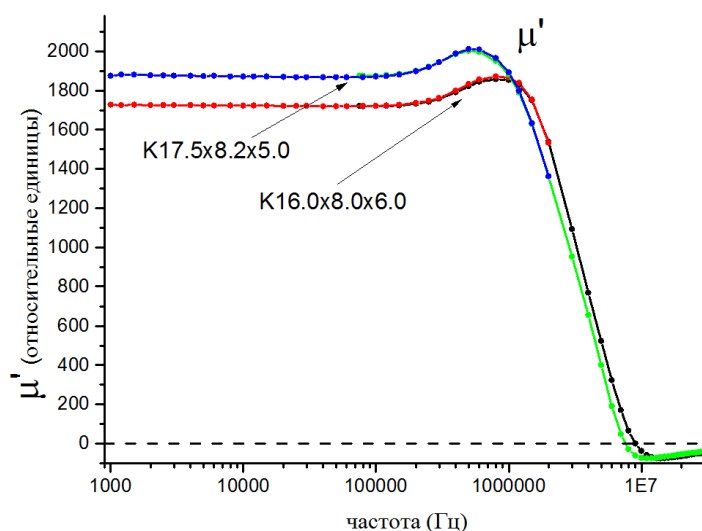


Рисунок 27 – Спектральная зависимость действительной части магнитной проницаемости ферритовых колец

Согласно паспортным данным диапазон значений начальной намагниченности может находиться в пределах от 2500 до 1700 единиц. Используемое оборудование позволяло проводить измерения от 1 кГц, на этой частоте у образца K17.5x8.2x5.0 $\mu_n = 1874$, а у образца K16.0x8.0x6.0 $\mu_n = 1724$. Полученные результаты не выходят за пределы допустимых значений.

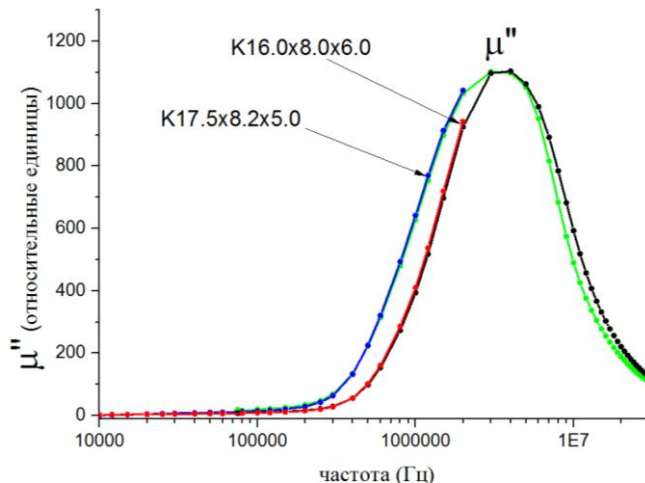


Рисунок 28 – Спектральная зависимость мнимой части магнитной проницаемости ферритовых колец

2.5 Раздел электронного курса Moodle по программированию измерительных приборов в Labview

В системе электронного обучения Moodle [25] был создан электронный курс, по-

священный программированию измерительных приборов с помощью Labview. Система Moodle на протяжении нескольких лет широко используется для организации электронного обучения на радиофизическом факультете Томского государственного университета [26]. На факультете в системе Moodle представлен и активно используется в учебном процессе ряд электронных ресурсов для информационного и методического обеспечения лекций, семинаров, лабораторных и практических занятий, а также для организации самостоятельной работы студентов [27-29].

Целью создания данного ресурса была необходимость наличия русскоязычных инструкций к измерительным приборам в условиях их использования с помощью персональных компьютеров (виртуальные приборы от компании производителя).

Электронный курс на данный момент состоит из трёх разделов, посвящённых трём измерительным приборам: Agilent E4980A, Agilent E4285A и Micran R2M. Каждый из разделов имеет одинаковую структуру. Рассмотрим её на примере раздела, посвящённого прецизионному измерителю Agilent E4285A (рисунок 29).

Agilent E4285A

Материал подготовлен студентами 758 группы Атамасовым В.В. и Маленко Г.И.



Измерительный прибор E4285A является прецизионным измерителем LCR. Он предназначен для измерения индуктивности, емкости и сопротивления в широком диапазоне частот (75 кГц до 30 МГц). Информация о приборе на сайте производителя: <https://www.keysight.com/ru/pd-1000000854%3Aepsg%3Apro-pn-4285A/precision-lcr-meter-75-khz-to-30-mhz?>

pm=PL&nid=32776.536880952&cc=RU&lc=rus

Дополнительная информация об измерителях LCR и приборах для измерения импеданса: <https://www.keysight.com/ru/pc-1000000391%3Aepsg%3Aapgr/lcr-meters-impedance-measurement-products?pm=LB&nid=536902441.0&c=153639.i.1&no=100&to=79830.g.0&cc=RU&lc=rus>

Файлы с сайта компании производителя

Rar-архив, содержащий инструкции такие как: Agilent 4285A Precision LCR Meter, Data Sheet, Maintenance Manual, Operation Manual, Permittivity and Permeability Measurement with LCR Meters and Impedance Analyzers, Precision LCR Meter Family
Размер архива 6 Мб.

Виртуальный прибор E4285A

программное обеспечение Agilent E4285A

Рисунок 29 – Фрагмент электронного курса

Папка с названием “Файлы с сайта компании производителя” содержит в себе файлы с описанием технических характеристик измерительного прибора, руководство

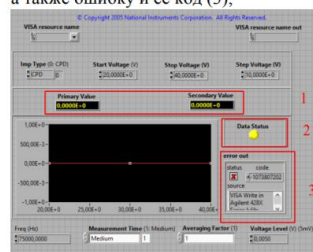
по ремонту, руководства по применению, руководства по выбору продуктов и конфигурации, брошюры и сравнительные обзоры, представленные на английском языке[18].

В файлах “Виртуальный прибор E4285A”, “Инструкция E4285A для измерения магнитной проницаемости” и “Инструкция E4285A для измерения диэлектрической проницаемости” представлен алгоритм работы с измерительной аппаратурой при помощи виртуальных приборов в их стандартном виде и их видоизменённых версий для проведения специальных измерений, таких как замеры частотной зависимости магнитной и диэлектрической проницаемости образцов. Фрагменты содержания вышеописанных инструкций представлены на рисунке 30.

Инструкция проведения измерения действительной и мнимой части магнитной проницаемости образцов тороидальной формы с использованием программно-аппаратного комплекса на платформе Agilent E4285A- Keysight 16454A –LabVIEW

1. Включите прецизионный измеритель Agilent E4285A в сеть и дайте аппаратуре прогреться в течении 40-50 минут;
2. Проведите калибровку прибора с учётом соединительной линии, которой подключается измерительная ячейка Keysight 16454A, при коротком замыкании и на холостом ходу:
 - Подключите к измерительному прибору соединительную линию;
 - С помощью кнопок на передней панели прибора и дисплея установите режим измерения, а также его параметры (уровень напряжения, частота, количество усреднений);
 - Нажмите кнопки MEAS SETUP и CORRECTION, на дисплее с помощью курсора и кнопок справа от экрана выключите предыдущие значения (состояние OFF);
 - Переместите курсор в поле OPEN и нажмите кнопку MEAS OPEN;
 - Через 51 секунду, как только закончится корректировка на холостом ходу, нажмите ON в поле OPEN, чтобы учесть данные корректировки;
 - Подключите к соединительной линии короткозамыкатель КЗ(НКЗ-20-13Р) из набора калибровочных мер фирмы Микран;
 - Переместите курсор в поле SHORT и нажмите кнопку MEAS SHORT;
 - Через 51 секунду, как только закончится корректировка на холостом ходу, нажмите ON в поле SHORT, чтобы учесть данные корректировки;

9. Рабочий виртуальный прибор позволяет в режиме реального времени наблюдать значения измеряемых параметров (1), состояние данных (2), а также ошибку и её код (3);



10. В конце измерения появится диалоговое окно, в котором необходимо будет указать путь и название файла, в котором будут записаны данные измерения;

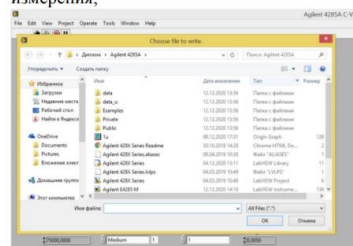


Рисунок 30 – Фрагменты инструкций к виртуальным приборам

Также в разделе, посвящённому измерителю E4285A, содержатся папки с программным обеспечением для работы с данным прибором. В них имеются как основные виртуальные приборы, так и библиотеки и подприборы, необходимые для нормальной работы аппаратуры. Информация каждого раздела данного курса позволяет в короткие сроки изучить особенности работы с измерительной аппаратурой, получить доступ к исходным виртуальным приборам для реализации собственных проектов, либо использовать имеющиеся виртуальные приборы для проведения измерений, не теряя время на создание собственных проектов. Подробные инструкции по эксплуатации на русском языке имеющихся в разделе курса виртуальных приборов также значительно сокращают время подготовки специалиста для проведения измерений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В процессе выполнения выпускной квалификационной работы:

1. Подобраны необходимые программные средства, техническое, коммутационное и измерительное оборудование.
2. Созданы виртуальные приборы в программном продукте LabVIEW для работы с прецизионными измерителями LCR Agilent E4285A, LCR Agilent E4980A и измерительной ячейки Keysight 16454A, а также для расчёта значений магнитной проницаемости материалов.
3. Проведены исследования электромагнитных характеристик экспериментальных образцов.
4. Составлены инструкции по эксплуатации созданных виртуальных приборов.
5. Подготовлен раздел электронного курса, содержащий в себе программное и методическое обеспечение для работы с используемым измерительным оборудованием.

Выражаю благодарность:

- центру коллективного пользования "ЦКП радиоизмерений ТГУ" за предоставленное оборудование и образцы измерений;
- Журавлеву Виктору Алексеевичу за помощь в организации и проведении измерений.

Результаты выпускной квалификационной работы были апробированы на семнадцатой Всероссийской конференции студенческих научно-исследовательских инкубаторов, Томск, 11–15 мая 2020 года.

Результаты выпускной квалификационной работы опубликованы в следующих журналах и сборниках трудов:

- а) Atamasov V.V., Malenko G.I. Automation of measurements permeability of materials // Journal of Physics: Conference Series. – 2020. –V. 1488. – P. 012022-1– 012022-5.
- б) Атамасов В.В., Маленко Г.И. Автоматизация измерения магнитной проницаемости материалов // Сборник трудов семнадцатой Всероссийской конференции студенческих научно-исследовательских инкубаторов, Томск. .– 2020 – С. 130–134.

Во время обучения в Томском государственном университете автором проводи-

лись научные исследования, результаты которых были представлены на следующих мероприятиях:

- Четырнадцатой всероссийской конференции студенческих научно-исследовательских инкубаторов 2017г. Томск;
- Седьмой Международной научно-практической конференции «АПР-2017» 2017г. Томск.
- Третьей международной научно-практической конференции 2017 г. Барнаул;
- XXIV международной научно-методической конференции «Современное образование: содержание, технологии, качество» 2018г. Санкт-Петербург;
- VIII Международном педагогическом форуме молодых ученых «Актуальные вопросы теории и практики педагогической науки» 2018г. Новосибирск;
- Международной студенческой научно-практической конференции «Научный потенциал молодёжи и технический прогресс» 2018 г. Санкт-Петербург;
- Пятнадцатой всероссийской конференции студенческих научно-исследовательских инкубаторов 2018г. Томск;
- Всероссийской молодежной научно-практической конференции «Программно-техническое обеспечение автоматизированных систем» 2018 г. Барнаул;
- XIV международной научно-практической конференции «Электронные средства и системы управления» 2018 г. Томск;
- Пятом Всероссийском студенческом научно-техническом фестивале «ВУЗПРОМФЕСТ–2018» 2018г. Москва;
- 2019 International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON 2019). Tomsk;
- VIII международной научно-практической конференции «Современный технологии в российской и зарубежных системах образования» 2019 г. Пенза;
- Международной научно-практической конференции «Научная сессия ТУСУР-2019» 2019 г. Томск;
- Втором международном научно-техническом форуме «Современный технологии в науке и образовании» 2019 г. Рязань;
- Восьмой Международной научно-практической конференции «АПР-2019» 2019г. Томск.

- 29-ой Международной крымской конференции «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии» 2019г. Севастополь.
- Шестнадцатой всероссийской конференции студенческих научно-исследовательских инкубаторов 2019 г. Томск;
- Четвертом Российско-Белорусском семинаре 2019г.Томск;
- Семнадцатой Всероссийской конференции студенческих научно-исследовательских инкубаторов 2020г. Томск.

Результаты научно-исследовательской работы за время обучения были опубликованы в следующих журналах и сборниках трудов:

- 1) Atamasov V.V., Malenko G.I. The use of software and hardware complex based on NI ELVIS II and LabVIEW to measure the dielectric permittivity spectra of materials by the capacitor method //2019 International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON 2019), Tomsk. – 2019. P. 1–6.
- 2) Zhuravlev V.A., Zhuravlev A.V., Atamasov V.V., Malenko G.I. Determination of the anisotropy fieldsof polycrystalline hexaferrites by FMR //ITM Web of Conferences. – 2019. –V. 30. – P. 07007-1– 07007-6.
- 3) Zhukov A.A., Atamasov V.V., Malenko G.I. Automation of measurements permittivityof materials by the capacitor method //ITM Web of Conferences. – 2019. – V. 30. P. 11006-1–11006-4.
- 4) Zhuravlev V.A., Zhuravlev A.V., Atamasov V.V., Malenko G.I. Magnetocrystalline anisotropy and spinorientation phase transitions of Co₂Z hexaferrite doped with Ti⁴⁺ AND Zn²⁺ ions //Russ. Phys. J. – 2020. – V. 62, № 10. – P. 1926–1936.
- 5) Atamasov V.V., Malenko G.I. Automation of measurements permeability of materials // Journal of Physics: Conference Series. – 2020.–V. 1488. –P. 012022-1– 012022-5.
- 6) Журавлев В.А., Журавлев А.В., Атамасов В.В., Маленко Г.И. Магнитокристаллическая анизотропия и спин-ориентационные фазовые переходы гексаферрита Co₂Z, легированного ионами Ti⁴⁺ и Zn²⁺ //Известия вузов. Физика.–2019. –Т. 62. № 10. – С. 162–169.
- 7) Атамасов В.В., Маленко Г.И. Информационное обеспечение курса «Программирование микроконтроллера Arduino Uno»//Труды четырнадцатой всероссийской конференции студенческих научно-исследовательских инкубаторов, Томск. –2017 . –С. 9–11.

8) Атамасов В.В., Маленко Г.И. Информационное обеспечение курса «Программирование контроллера Arduino Uno//Сборник научных статей третьей международной научно-практической конференции, Барнаул. –2017. –С. 13–17.

9) Атамасов В.В., Маленко Г.И. Использование системы Moodle для организации и методического обеспечения практикума по курсу «Микропроцессорная техника// Материалы XXIV международной научно-методической конференции «Современное образование: содержание, технологии, качество», Санкт-Петербург. – 2018. – С.148–151.

10) Атамасов В.В., Маленко Г.И. Использование электронных образовательных ресурсов в практикуме по курсу «Микропроцессорная техника //Сборник научных трудов по материалам VIII Международного педагогического форума молодых ученых «Актуальные вопросы теории и практики педагогической науки», Новосибирск. –2018 . –С. 23–32.

11) Атамасов В.В., Маленко Г.И. Использование программно-аппаратного комплекса на базе NI ELVIS II и LabVIEW для измерения частотных зависимостей импедансов двухполюсников// Материалы международной студенческой научно-практической конференции «Научный потенциал молодёжи и технический прогресс», Санкт-Петербург. – 2018 г.–С. 33–34.

12) Атамасов В.В., Маленко Г.И. Использование программно-аппаратного комплекса на базе NI ELVIS II и LABVIEW для измерения спектров диэлектрической проницаемости материалов конденсаторным методом // Труды пятнадцатой всероссийской конференции студенческих научно-исследовательских инкубаторов, Томск –2018. – С. 306-309.

13) Атамасов В.В., Маленко Г.И. Автоматизация процесса измерения частотных зависимостей импеданса двухполюсников с использованием программно-аппаратного комплекса на базе LabVIEW и NI ELVIS II+ // Материалы всероссийской молодежной научно-практической конференции «Программно-техническое обеспечение автоматизированных систем», Барнаул. – 2018. –С. 20–23.

14) Атамасов В.В., Маленко Г.И. Использование программно-аппаратного комплекса на базе NI ELVIS II+ и LabVIEW для измерения спектров диэлектрической проницаемости материалов конденсаторным методом // Материалы XIV международной научно-практической конференции «Электронные средства и системы управления»,

Томск. – 2018. –С.106–110.

15) Атамасов В.В., Маленко Г.И. Информационное и методическое обеспечение лабораторной работы «Удалённый доступ к измерительным устройствам» // Материалы восьмой международной научно-практической конференции «Современный технологии в российской и зарубежных системах образования», Пенза. – 2019. –С. 13–18.

16) Атамасов В.В., Маленко Г.И. Измерение диэлектрической проницаемости материалов конденсаторным методом помощью программно-аппаратного комплекса NI ELVIS II+ и LABVIEW // Материалы международной научно-практической конференции «Научная сессия ТУСУР-2019», Томск. – 2019. – С. 96–99.

17) Атамасов В.В., Маленко Г.И. Электронный образовательный ресурс для информационного и методического обеспечения лабораторного практикума по дисциплине «Измерительные приборы и устройства радиотехники» // Сборник трудов второго международного научно-технического форума «Современный технологии в науке и образовании», Рязань. – 2019. – Т. 9. –С. 44–48.

18) Атамасов В.В., Маленко Г.И. Информационное и методическое обеспечение лабораторной работы «Измерение импеданса двухполюсников// Труды шестнадцатой всероссийской конференции студенческих научно-исследовательских инкубаторов Томск– 2019. – С. 218–221.

19) Атамасов В.В., Маленко Г.И. Автоматизация измерений диэлектрической проницаемости материалов конденсаторным методом// 8-я Международная научно-практическая конференция ", Томск. – 2019. –С. 475–478.

20) Жуков А.А., Коровин Е.Ю., Атамасов В.В., Маленко Г.И., Василенко Р.А., Жабин О.С. Использование информационных технологий в лабораторном практикуме по курсу "Измерительные приборы и устройства в радиотехнике" // 8-я Международная научно-практическая конференция, Томск. –2019. –С. 452–456.

21) Журавлев В.А., Атамасов В.В., Маленко Г.И., Журавлев А.В. Исследование магнитокристаллической анизотропии планарных гексаферритов Z-типа методом ферромагнитного резонанса // Труды Четвертого Российско-Белорусского семинара. Томск. – 2019.– С.74–78.

22) Атамасов В.В., Маленко Г.И. Автоматизация измерения магнитной проницаемости материалов // Сборник трудов семнадцатой Всероссийской конференции студенческих научно-исследовательских инкубаторов, Томск. .– 2020 – С. 130–134.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Cooley M.E. Jannakis M. Assessment of the stress state in low-carbon and TRIP steels by magnetic permeability // 5th International Conference on Materials and Applications for Sensors and Transducers (IC-MAST2015). - Mikonos, Greece, –2015. – V.108. – P.012013
2. Vourna P., Ktena A. Correlation of microstructure with macroscopic magnetic measurements on electrical steels // Key engineering materials. – 2011.– V. 495. – P. 257–260.
3. Горшков А.М. Измерения проницаемости пород баженовской свиты на заглушках и измельченном сердечнике. // Международная научно-техническая конференция "Наука о Земле". – Томск, 2019. – Т. 272. – С. 032005
4. Teixeira L., Braga P., Kudasik M. Measurements of the permeability of raw and briquetted coal of different porosity at different temperatures // Materials and research express. – 2019. – V. 6., –№ 10. – P. 105609
5. Qing O., Zhengkun L. New device for measuring the permeability of weakly magnetic materials // IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement. – 2005. – V. 54, –№ 2. – P. 730–733.
6. Ding R., Bowler N. Influence of accelerated aging on dielectric properties of extruded Nylon 6 film 2013 // Annual Report Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena, Shenzhen, .– 2013. –P. 152–155,
7. Фролов К.О., Доценко О.А. Автоматизация процесса температурных исследований с применением измерительного комплекса Agilent E4980A и камеры тепла/холода THC 80// NI academic days 2017. Москва. – 2017. –С. 8–10.
8. Шиганов А. Новые цифровые измерители импеданса с частотой сигнала до 10 МГц // Компоненты и Технологии. –2010. – Т.6., –№107. – С. 150–151.
9. Измеритель RLC LCR-78101G [электронный ресурс]. – URL: https://prist.ru/catalog/izmeriteli_rlc_laboratornye/lcr_78101g/ (дата обращения 25.12.2020)
10. Есиркепов А.Н., Жирнова Е.А. Распознавание дефектов буксовых подшипников на основе анализа характеристик вибросигналов // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. – 2015. – Т.2., –№11. – С. 81–82.
11. Богомолов Л. М. О механизме электромагнитного влияния на кинетику микротрещин и электростимулированных вариациях акустической эмиссии породных образцов // Физическая мезомеханика. –2010. – Т.13.,– №3. – С. 39–56.

12. Магда Ю. С. LabVIEW: практический курс для инженеров и разработчиков. – Москва: ДМК, 2012. – 207 с.
13. Трэвис Дж., Кринг Дж. LabVIEW для всех: графическое программирование стало простым и увлекательным. – М.: Нью-Джерси Прентис Холл, 2009. – 1032 с.
14. Евдокимов Ю. К., Линдваль В. Р., Щербаков Г. И. LabVIEW в научных исследованиях – Москва: ДМК Пресс, 2012. – 399 с.
15. Petrovich G., Shimich I., Bosnich J., Mostarak P. Power quality meter based on FPGA and LabVIEW // 11th International Conference on Measurements, Smolenice, 2017. – P. 151–154.
16. Yufeng Z., Min L., Ying F., Zhandong Yu. Automatic control of the emissivity measurement process based on LabVIEW // 3rd International Conference on Informatics and Technology Management (ICISCE), Beijing, 2016. – P. 876–878.
17. Wang Yu, Xiao P., Dai J. LabVIEW-based Automation of Thermal Conductivity Measurement Process Control // Eighth International Conference on Instrumentation, Computers, Communications and Control (IMCCC) 2018, Har-bin, China, 2018. – P. 614–617.
18. 4285A Прецизионный измеритель LCR, от 75 кГц до 30 МГц [электронный ресурс]. – URL: <https://www.keysight.com/ru/pd-1000000854%3Aepsg%3Apro-pn-4285A/precision-lcr-meter-75-khz-to-30-mhz?pm=PL&nid=-32776.536880952&cc=RU&lc=rus> (дата обращения 25.12.2020)
19. E4980A Precision LCR Meter [электронный ресурс]. – URL: <http://agilent.com/find/e4980a> (дата обращения 25.12.2020)
20. Solutions for Measuring Permittivity and Permeability w/LCR Meters & Impedance Analyzers [электронный ресурс]. – URL: <https://www.keysight.com/ru/ru/assets/7018-06683/application-notes/5980-2862.pdf> (дата обращения 20.05.2020)
21. 16454A Magnetic Material Test Fixture [электронный ресурс]. – URL: <https://www.keysight.com/main/techSupport.jsp?cc=RU&lc=rus&nid=536902475.536879639.08&pid=1000000509%3Aepsg%3Apro&pageMode=OV> (дата обращения 20.12.2020)
22. Подольский И. Д. Магнитные измерения // Большая российская энциклопедия. Электронная версия (2017) [электронный ресурс]. – URL: https://bigenc.ru/technology_and_technique/text/2153216 (дата обращения: 05.06.2020)
23. Lysenkova E.N., Nikolaeva S.A., Surzhikova A.P., Gyngazova S.A., Plotnikova I.V., Zhuravlev V.A., Zhuravleva E.V. Electrical and magnetic properties of lithium-titanium-

zinc doped with ZrO₂ ferrite ceramics // Ceramics International. – 2019. – V. 45. – P. 20148–20154

24. National Instruments E4980A Precision LCR Meter [электронный ресурс]. – URL: www.sine.ni.com (дата обращения: 08.11.2020)

25. Байдаров С. Ю., Бутаев М. М., Куроедов С. К., Светлов А. В. Использование технологии виртуальных приборов для определения частотных характеристик элементов и устройств систем управления // Известия ВУЗов. Поволжский регион. Технические науки. –2012. –№1. – С. 105–115.

26. Жуков А.А. Организация электронного обучения на радиофизическом факультете // Лучшие практики электронного обучения. Материалы II практической конференции. Томск: Томский государственный университет. – 2016. –С. 29–35.

27. Брюханова В.В., Дорошкевич А.А., Кириллов Н.С., Мамонтова Э.Ж., Самохвалов И.В. Фонд оценочных средств по дисциплине “Основы оптики” // Известия высших учебных заведений. Физика.– 2015. –Т. 58. –№ 10/3. – С. 179–182.

28. Маслова Ю.В., Коханенко А.П. Подготовка к разноуровневой профессиональной деятельности выпускников радиофизического факультета на основе лабораторного комплекса по ВОЛС // Известия высших учебных заведений. Физика. –2015. –Т. 58.– № 10/3.– С. 197–199.

29. Жуков А.А., Коровин Е.Ю., Маленко Г.И., Атамасов В.В., Жабин О.С., Василенко Р.А. Использование информационных технологий в лабораторном практикуме по курсу "Измерительные приборы и устройства в радиотехнике"// Актуальные проблемы радиофизики АПР 2019. Томск. –2019. –С. 452–455

ПРИЛОЖЕНИЕ А

(обязательное)

Справка о внедрении в учебный процесс

УТВЕРЖДАЮ

Декан радиофизического факультета
Томского государственного университета, доцент

А.Г. Коротаев

« 01 » февраля 2021г.



СПРАВКА

об использовании в учебном процессе электронных курсов «Программирование измерительной аппаратуры в системе LabVIEW» и «Измерительные приборы и устройства в радиотехнике»

Настоящая справка подтверждает, что разработанные студентом 758 группы радиофизического факультета Г.И. Маленко разделы электронных курсов «Программирование измерительной аппаратуры в системе LabVIEW» и «Измерительные приборы и устройства в радиотехнике» внедрены в учебный процесс радиофизического факультета. Курс «Программирование измерительной аппаратуры в системе LabVIEW» включает описание различных измерительных приборов и способов их программирования в системе LabVIEW. Г.И. Маленко совместно с В.В. Атамасовым в этом курсе разработаны два раздела «Прецизионный измеритель LCR Agilent E4980A» и «Прецизионный измеритель LCR Agilent E4285A». В каждом разделе приведены технические характеристики приборов, руководства по применению, ремонту, выбору продуктов и конфигурации, а также брошюры и сравнительные обзоры. Также в этих разделах приведены инструкции по применению приборов для измерения диэлектрической и магнитной проницаемостей материалов. Кроме этого в указанных разделах содержатся папки с программным обеспечением для работы с Agilent E4285A и Agilent E4980A. В этих папках представлены как основные виртуальные приборы, так и библиотеки и подприборы, необходимые для работы измерительной аппаратурой. Материалы этого электронного ресурса используются студентами радиофизического факультета при изучении дисциплин «Технологии организации приборных интерфейсов», «Labview - современная технология автоматизации измерений» и «Компьютерные технологии». Также разработанный электронный ресурс планируется использовать при выполнении студентами радиофизического факультета курсовых и квалификационных работ.

В курсе «Измерительные приборы и устройства в радиотехнике» Г.И. Маленко совместно с В.В. Атамасовым разработана лабораторная работа «Измерение полного сопротивления элементов электрических цепей». Студентом Г.И. Маленко не только разработаны разделы указанных электронных курсов, но и проведены занятия со студентами по программированию и использованию приборов и устройств, описанных в этих разделах.

Руководитель ООП, к.ф.-м.н., доцент

В.А. Мещеряков

Отчет о проверке на заимствования №1



Автор: Маленко Григорий grisha-9708@mail.ru / ID: 5824241

Проверяющий: Маленко Григорий (grisha-9708@mail.ru / ID: 5824241)

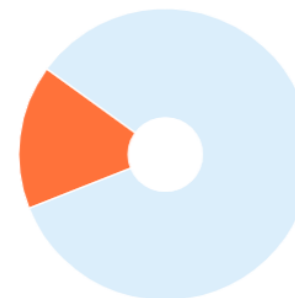
Отчет предоставлен сервисом «Антиплагиат»- <http://users.antiplagiat.ru>

ИНФОРМАЦИЯ О ДОКУМЕНТЕ

№ документа: 5
Начало загрузки: 27.01.2021 12:42:25
Длительность загрузки: 00:00:01
Имя исходного файла:
Маленко_Диплом_2.0.pdf
Название документа: Маленко_Диплом_2.0
Размер текста: 60 кБ
Символов в тексте: 61730
Слов в тексте: 7091
Число предложений: 586

ИНФОРМАЦИЯ ОБ ОТЧЕТЕ

Последний готовый отчет (ред.)
Начало проверки: 27.01.2021 12:42:27
Длительность проверки: 00:00:06
Комментарии: не указано
Модули поиска: Модуль поиска Интернет



ЗАИМСТВОВАНИЯ

15,77%

САМОЦИТИРОВАНИЯ

0%

ЦИТИРОВАНИЯ

0%

ОРИГИНАЛЬНОСТЬ

84,23%

№	Доля в отчете	Доля в тексте	Источник	Ссылка	Актуален на	Модуль поиска	Блоков в отчете	Блоков в тексте
[01]	2,86%	2,86%	Содержание 1 Содержание, указатель номеров изделий...	http://docplayer.ru	17 Апр 2018	Модуль поиска Интернет	15	15
[02]	0%	2,86%	Содержание 1 Содержание, указатель номеров изделий...	http://docplayer.ru	17 Апр 2018	Модуль поиска Интернет	0	15
[03]	2,81%	2,81%	том_9СТНО-2019 (1/2)	http://rsreu.ru	22 Янв 2020	Модуль поиска Интернет	13	13

Еще источников: 17

Еще заимствований: 10,08%