

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

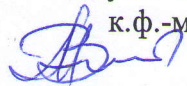
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Радиофизический факультет

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ В ГЭК

Руководитель ООП

к.ф.-м.н., доцент



В.А. Мещеряков

« 19 » января 2022 г.

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

**ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЙ КОМПЛЕКС LABVIEW-R2M ДЛЯ
ИЗМЕРЕНИЯ МНИМОЙ ЧАСТИ МАГНИТНОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ
МАТЕРИАЛОВ С ВОЗМОЖНОСТЬЮ УДАЛЕННОГО ДОСТУПА**

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

Василенко Роман Александрович

Руководитель ВКР

канд. физ.-мат. наук, доцент

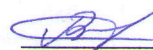


А. А. Жуков

« 18 » января 2022 г.

Автор работы

студент группы № 07609



Р. А. Василенко

« 18 » января 2022 г.

Томск – 2022

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

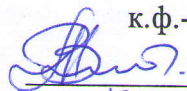
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Радиофизический факультет

УТВЕРЖДАЮ

Руководитель ООП

к.ф.-м.н., доцент



В.А. Мещеряков

« 13 » сентября 2021 г.

ЗАДАНИЕ

на подготовку ВКР специалиста

студенту Василенко Роману Александровичу группы № 07609

1. Тема ВКР: Программно-аппаратный комплекс LabVIEW-P2M для измерения мнимой части магнитной проницаемости материалов с возможностью удаленного доступа.
2. Срок сдачи студентом выполненной ВКР:
 - а) на кафедре 20.01.2022,
 - б) в ГЭК 02.02.2022.
3. Краткое содержание работы:

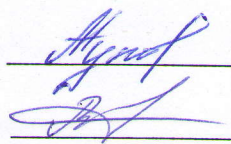
Задание ориентировано на разработку программно-аппаратного комплекса LabVIEW-P2M для измерения магнитной проницаемости материалов. Задание включает: обзор современных публикаций по теме работы, изучение математической модели и проведение модельных экспериментов, разработку и тестирование программы для измерения мнимой части магнитной проницаемости материалов, составление подробных инструкций по применению созданных программ. Также необходимо реализовать удаленный доступ к измерительной системе, составить подробные инструкции по применению созданных ВП и подготовить раздел электронного курса Moodle по программированию измерительного прибора P2M в LabVIEW.

4. Календарный график выполнения ВКР:

а) изучение литературы	06.09.2021 – 30.09.2021
б) разработка и модернизация программ, и проведение измерений	01.10.2021 – 28.11.2021
в) создание раздела электронного курса и организация удаленного доступа к аппаратуре	29.11.2021 – 12.12.2022
г) написание ВКР и сдача в ГЭК,	13.12.2021 – 28.01.2022
д) размещение текста ВКР в электронной библиотеке ТГУ	28.01.2022 – 31.01.2022

5. Дата выдачи задания «06» сентября 2021 г.

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



Жуков А.А.

Василенко Р.А.

АННОТАЦИЯ

Отчет 63 с., 7 гл., 70 рис., 1 табл., 18 источников.

LABVIEW, PYTHON, P2M, АВТОМАТИЗАЦИЯ, ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЙ ОТКЛИК, МНИМАЯ ЧАСТЬ МАГНИТНОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ, MOODLE, УДАЛЕННЫЙ ДОСТУП.

Объект исследования: композиционные материалы.

Цель работы: реализация программно-аппаратного комплекса LabVIEW-P2M для измерения мнимой части магнитной проницаемости материалов с возможностью удаленного доступа.

Методы: экспериментальное исследование и компьютерное моделирование.

В результате работы:

- освоены принципы работы скалярного анализатора цепей P2M;
- разработана программа для автоматизации процесса измерения электромагнитного отклика от композиционных материалов и расчета значений мнимой части магнитной проницаемости на приборе серии P2M;
- проведены исследования электрофизических характеристик композиционных материалов;
- реализован удаленный доступ к скалярному анализатору цепей P2M;
- подготовлен раздел в электронном курсе «Программирование измерительной аппаратуры в системе LabVIEW», содержащая в себе программное и методическое обеспечение для выполнения проектной работы с используемым измерительным оборудованием.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	3
1 Прибор P2M	5
1.1 Принцип работы прибора P2M.....	6
1.2 Управление прибором P2M сторонним программным обеспечением.....	8
2 Распространение электромагнитной волны в изотропной среде	10
2.1 Плоские волны в изотропной магнитоэлектрической среде	10
2.2 Отражение ЭМВ от границы раздела двух сред.....	13
2.3 Расчет коэффициентов прохождения и отражения ЭМВ для слоя магнитодиэлектрика.	15
2.4 Отражение ЭМВ от слоя магнитодиэлектрика на металле	18
3 Среда программирования LabVIEW	21
3.1 Пример связи LabVIEW с прибором P2M.....	21
3.2 Модифицированная программа R2MNEW	24
4 Практическое использование программы R2MNEW.vi	34
4.1 Расчет коэффициентов прохождения, поглощения, отражения с использованием программы R2MNEW.vi.....	34
4.2 Расчет значений мнимой части магнитной проницаемости с использованием программы R2MNEW.vi	42
5 Удаленный доступ к P2M.....	49
5.1 Прямое подключение к прибору P2M	49
5.2 Локальная сеть прибора P2M	49
5.3 Подключение к прибору P2M в сети радиофизического факультета.....	51
5.4 Подключение к прибору P2M из глобальной сети Интернет.....	53
6 Проектная работа в системе Moodle.....	55
7 Требования техники безопасности при работе с СВЧ аппаратурой	58
Заключение	60
Список использованных источников и литературы	62

ВВЕДЕНИЕ

В современном мире широкое распространение получили композиционные материалы. Одновременно, обладая высокой прочностью и жесткостью, они имеют меньший вес по сравнению с классическими материалами и сплавами. За счет данных достоинств применение композитов позволяет уменьшить вес производственной конструкции, но при этом сохранить или даже улучшить её механические характеристики. Качественное использование композиционных материалов при проектировании электротехнической аппаратуры реализуется за счет информации об их электромагнитных характеристиках в заданном частотном диапазоне [1, 2].

В настоящее время научно-исследовательские лаборатории имеют возможность изучать материалы в различных средах распространения электромагнитных волн. Полученные результаты могут иметь достаточно большой объем данных для ручной обработки, вследствие чего это занимает большое количество времени. Для решения данной проблемы и повышения производительности создаются программы автоматизации измерительного процесса, реализованные на различных современных языках программирования таких как LabVIEW, Python, C#, C++ и др. Данные программы помимо получения массива данных об электромагнитном отклике от образца также позволяют рассчитать его основные характеристики: коэффициенты отражения, поглощения, прохождения [3].

Широкую популярность для создания программ управления различными измерительными комплексами получил графический язык программирования LabVIEW. Данный язык позволяет: разрабатывать виртуальные измерительные системы, обеспечивать взаимодействие измерительных комплексов с компьютером, осуществлять ввод и обработку измеряемых параметров с дальнейшей визуализацией полученных результатов.

Данный язык можно использовать в качестве среды программирования для автоматизации процесса измерения электромагнитных характеристик композиционных материалов на скалярном анализаторе цепей серии P2M, разработанном в Научно-производственной фирме «Микран» (НПФ «Микран»).

Цель работы: разработать программный комплекс для автоматизации процесса измерения электромагнитных параметров и расчета мнимой части магнитной проницаемости композиционных материалов на скалярном анализаторе цепей серии P2M.

Задачи:

- изучить методы измерений на приборе P2M;
- изучить принцип работы и имеющееся программное обеспечение скалярного анализатора цепей;
- разработать программу для сбора, обработки и графического представления полученных результатов;
- провести тестовые испытания программы с использованием различных композиционных материалов и разработать раздел «Скалярный анализатор цепей P2M» в электронном курсе «Программирование измерительной аппаратуры в системе LabVIEW».

1 Прибор Р2М

Прибор серии Р2М является скалярным анализатором цепей, который предназначен для измерения в коаксиальном тракте модуля коэффициента передачи (ослабления и усиления) и модуля коэффициента отражения, коэффициента стоячей волны по напряжению (КСВН); одновременного измерения модулей коэффициента передачи и отражения. Прибор разработан научно-производственной фирмой «Микран», которая занимается разработкой и производством оборудования беспроводной связи различного назначения, контрольно-измерительной аппаратуры СВЧ диапазона. На рисунке 1 приведен внешний вид прибора Р2М [4].



Рисунок 1 – Внешний вид прибора Р2М

Данное устройство может использоваться в качестве синтезатора частот для генерирования электрических синусоидальных колебаний с низким уровнем фазовых шумов в широком диапазоне частот и мощностей и в качестве измерителя мощности [4].

Область применения прибора – контроль и производство ВЧ и СВЧ устройств, исследование, настройка и испытания узлов, используемых в радиоэлектронике, связи, приборостроении, измерительной технике [4].

В основе принципа работы скалярного анализатора цепей Р2М лежит измерение мощности СВЧ сигнала с помощью широкополосного амплитудного детектора. Для измерения мощности, отраженной от исследуемого устройства, используется резистивная мостовая схема, которая позволяет разделить падающую и отраженную мощность в широком частотном диапазоне [4].

Характеристики прибора P2M:

- широкий диапазон частот от 10 МГц до 4/20/40 ГГц (в зависимости от версии прибора);
- высокая стабильность частоты и мощности выходного сигнала;
- возможность работы в нескольких коаксиальных трактах;
- одновременная работа с тремя измерительными каналами;
- возможность измерения модуля коэффициента прохождения (КП), коэффициента отражения (КО) и КСВН, группового времени задержки, динамических характеристик, параметров устройств с преобразованием по частоте, устройств в импульсном режиме, измерения с опорным каналом.

P2M использует интерфейс Ethernet для подключения к персональному компьютеру непосредственно или через оборудование локальной вычислительной сети [4].

Скалярный анализатор цепей построен по архитектуре виртуальных приборов и включает в себя аппаратную и программную части. Аппаратная часть выполняет набор базовых функций, определяющих режимы измерений. Программная часть обеспечивает реализацию выбранного пользователем режима измерений, управление и отображение результатов измерений [4].

1.1 Принцип работы прибора P2M

Сформированный высокочастотный сигнал синтезатором частоты, стабилизированный системами фазовой автоподстройки частоты и автоматической регулировки мощности, после прохождения радиоизмерительного тракта и преобразования с помощью детектора или датчика коэффициента стоящей волны (КСВ) в информационный низкочастотный сигнал, пропорциональный измеряемой величине, подается на входы P2M (рисунок 2) [4].

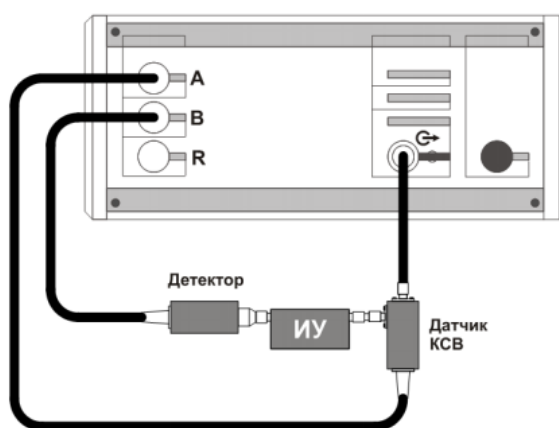


Рисунок 2 – Типичная схема измерения

Входной сигнал оцифровывается в модуле аналого-цифрового преобразователя, затем результаты передаются в блок сбора данных и управления (БСДУ). В БСДУ происходит преобразование данных и передача их в персональный компьютер. Для компенсации влияния амплитудно-частотной характеристики радиоизмерительного тракта на результат измерений применяется калибровка. Для уменьшения рассогласования между выходом «СВЧ» измерительного блока и исследуемыми устройствами радиоизмерительного тракта, уменьшения влияния нестабильности выходной мощности на результаты измерений применяются режимы «A/R» и «B/R», в которых используется дополнительный детектор. Калибровка в этом случае исключает неравномерность трактов передачи и не идентичность частотных характеристик детекторов [4].

Датчик КСВ содержит в своем составе широкополосный направленный мост и детектор. Направленный мост представляет собой резистивный делитель (6 дБ), образованный тремя резисторами, сопротивление каждого из которых равно волновому сопротивлению коаксиальной линии. Резисторы соединены в треугольник, а к вершинам треугольника подключены три выходные коаксиальные линии [4].

Одна линия подключена к выходу P2M, вторая нагружена согласованной нагрузкой, а третья линия оканчивается измерительным разъемом, к которому подключается измерительное устройство (ИУ) [4].

Напряжение разбаланса снимается между второй и третьей линией с помощью симметрирующей цепи со встроенным детекторным диодом. Абсолютная величина

этого напряжения пропорциональна модулю коэффициента отражения исследуемого устройства [4].

В данной работе прибор Р2М используется в 2 режимах работы:

- Модуль коэффициента передачи.
- Модуль коэффициента отражения, КСВН.

Режим «Модуль коэффициента передачи» – это отношение прошедшей $P_{\text{пр}}$ через исследуемое устройство мощности к падающей $P_{\text{пад}}$ (1):

$$T_{\text{дБ}} = 10 * \log \left(\frac{P_{\text{пр}}}{P_{\text{пад}}} \right). \quad (1)$$

Единицы измерений $T_{\text{дБ}}$: дБ. Применяется для определения ослабления/усиления, вносимого исследуемым устройством [4].

Режим «Модуль коэффициента отражения» – это отношение отраженной от исследуемого устройства мощности к падающей (2):

$$R_{\text{дБ}} = 10 * \log \left(\frac{P_{\text{отр}}}{P_{\text{пад}}} \right), \quad (2)$$

Единицы измерений $R_{\text{дБ}}$: дБ. Применяется для исследования качества согласования сопротивлений и эффективности применения устройств радиоизмерительного тракта [4].

1.2 Управление прибором Р2М сторонним программным обеспечением

Компания «Микран» разработала программное обеспечение «Graphit» для работы со скалярным анализатором цепей Р2М, а также написала примеры программ управления данным анализатором на различных языках программирования. Это позволяет пользователям самостоятельно создавать программы управления прибором Р2М. Данное решение позволяет гибко увеличивать функциональность Р2М за счет внедрения программных опций. Открытый программный интерфейс, совместимый со стандартом IVI-COM, дает возможность пользователю управлять Р2М сторонним программным обеспечением LabVIEW, MS Excel, C++ и т.д.

Адаптивная система синхронизации позволяет обеспечить совместную работу Р2М с другими приборами в составе измерительных комплексов [5].

Для того, чтобы производить управление скалярным анализатором цепей и функциями программного обеспечения (ПО) «Graphit» с помощью стороннего программного обеспечения НПФ «Микран» предусмотрела программный интерфейс, основанный на текстовой системе команд. Синтаксис и структура команд, форматы передаваемых данных реализованы в соответствии со стандартом SCPI 1999 (являющегося дополнением спецификации IEEE 488.2) [5].

Взаимодействие управляющего ПО (программа-клиент) и «Graphit» может осуществляться с помощью существующих готовых программных решений, например, библиотек VISA различных реализаций (MiVISA производства «Микран», AgVISA, NI-VISA и другие). Запуск ПО «Graphit» и дальнейшее подключение к прибору могут быть произведена через библиотеку MiVISA [5].

Библиотека MiVISA позволяет взаимодействовать с ПО «Graphit» и измерительным прибором напрямую только в том случае, если управляющее ПО находится на этом же ПК. Зачастую это упрощает процесс инициализации ПО и подключения к прибору. Для этого в программе-клиенте необходимо использовать библиотеку MiVISA32.dll (либо MiVISA64.dll, если приложение 64-х разрядное) и адрес подключения в формате:

TCPIP: :<адрес>: :<порт>: SOCKET: :<суффикс>,

где <адрес> – IP-адрес или сетевое имя прибора; <порт> – номер порта для подключения (обычно 8888); <суффикс> – определяет тип прибора и режима измерения.

2 Распространение электромагнитной волны в изотропной среде

2.1 Плоские волны в изотропной магнитоэлектрической среде

Рассмотрим распространение плоских электромагнитных волн (ЭМВ) в изотропной магнитоэлектрической среде при отсутствии сторонних зарядов и токов. Абсолютную магнитную и диэлектрическую проницаемости обозначим как μ_a и ϵ_a . Тогда $\mu_a = \mu \mu_0$, $\epsilon_a = \epsilon \epsilon_0$. Здесь μ_0 , ϵ_0 – магнитная и диэлектрическая постоянные, а μ и ϵ – относительные магнитная и диэлектрическая проницаемости среды. Так как мы рассматриваем изотропную среду, то μ и ϵ являются скалярными величинами. Для определённости будем считать, что волны распространяются вдоль оси z . При этом зависимость плоских ЭМВ от времени t и координаты z определяется формулой $\exp[i(\omega t - \gamma z)]$, где ω – круговая частота, γ – постоянная распространения электромагнитной волны. При такой временной зависимости уравнения Максвелла запишутся:

$$\begin{cases} \text{rot} \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} = -i\omega \vec{B} = -i\omega \mu_a \vec{H}, \\ \text{rot} \vec{H} = \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} = i\omega \vec{D} = i\omega \epsilon_a \vec{E}, \\ \text{div} \vec{D} = \text{div}(\epsilon_a \vec{E}) = 0, \\ \text{div} \vec{B} = \text{div}(\mu_a \vec{H}) = 0. \end{cases} \quad (3)$$

В данной системе (3) $\vec{E}, \vec{H}, \vec{D}, \vec{B}$ компоненты электрического и магнитного полей и электрической и магнитной индукций ЭМВ. Для плоских волн эти компоненты запишутся: $\vec{A} = \vec{A}_0 \exp[i(\omega t - \gamma z)]$.

В декартовой системе координат

$$\text{rot} \vec{A} = \text{rot}(A_x \vec{i} + A_y \vec{j} + A_z \vec{k}) = \left(\frac{\partial A_z}{\partial y} - \frac{\partial A_y}{\partial z} \right) \vec{i} + \left(\frac{\partial A_x}{\partial z} - \frac{\partial A_z}{\partial x} \right) \vec{j} + \left(\frac{\partial A_y}{\partial x} - \frac{\partial A_x}{\partial y} \right) \vec{k}. \quad (4)$$

В плосковолновом приближении у электромагнитной волны имеется зависимость только от координаты z , то отличными от нуля компонентами ротора будут:

$$\text{rot}\vec{A} = -\frac{\partial A_y}{\partial z}\vec{i} + \frac{\partial A_x}{\partial z}\vec{j}. \quad (5)$$

Дивергенция вектора в декартовой системе координат запишется:

$$\text{div}\vec{A} = \frac{\partial A_x}{\partial x} + \frac{\partial A_y}{\partial y} + \frac{\partial A_z}{\partial z}. \quad (6)$$

Так как мы рассматриваем изотропную магнитоэлектрическую среду и согласно (6), то решения последних двух уравнений системы (3) очевидны и равны нулю, т.е. $E_z = H_z = 0$. Это означает, что в изотропной магнитоэлектрической среде распространяются только поперечные электромагнитные волны.

Из первых двух уравнений системы (3) для комплексных амплитуд поперечных компонент электромагнитных полей (E_{x0} , E_{y0} , H_{x0} , H_{y0}) получим систему векторных уравнений:

$$\begin{aligned} i\gamma E_{y0}\vec{i} - i\gamma E_{x0}\vec{j} &= -i\omega\mu_a(H_{x0}\vec{i} + H_{y0}\vec{j} + H_{z0}\vec{k}), \\ i\gamma H_{y0}\vec{i} - i\gamma H_{x0}\vec{j} &= -i\omega\varepsilon_a(E_{x0}\vec{i} + E_{y0}\vec{j} + E_{z0}\vec{k}). \end{aligned} \quad (7)$$

Проектируя систему (7) на оси декартовой системы координат, получим систему скалярных уравнений (таблица 1):

Таблица 1 – Система скалярных уравнений

Уравнение	орт	x	y	x	y	
1.1	$\vec{i}$	0	$+i\gamma E_{y0}$	$+i\omega\mu_a H_{x0}$	+0	= 0
1.2	$\vec{j}$	$-i\gamma E_{x0}$	+0	+0	$+i\omega\mu_a H_{y0}$	= 0
2.1	$\vec{i}$	$-i\omega\varepsilon_a E_{x0}$	+0	$+i\gamma H_{y0}$	+0	= 0
2.2	$\vec{j}$	0	$i\omega\varepsilon_a E_{y0}$	+0	$i\gamma H_{x0}$	= 0

Проекция уравнений (4) на ось z , как и выше (3), дают очевидный результат $E_{z0} = H_{z0} = 0$.

Согласно данной системе уравнений, компонента магнитного поля H_{x0} связана только с компонентой электрического поля E_{y0} , а компонента H_{y0} – с компонентой E_{x0} . Причем

$$\begin{aligned} H_{x0} &= -\frac{\gamma}{\omega\mu_a} E_{y0}, \\ H_{y0} &= \frac{\gamma}{\omega\mu_a} E_{x0}. \end{aligned} \quad (8)$$

Таким образом, если ЭМВ поляризована в направлении оси x , то магнитное поле ориентировано вдоль оси y , и наоборот.

Система однородных уравнений имеет решение, если ее определитель равен нулю:

$$\begin{vmatrix} 0 & \gamma & \omega\mu_a & 0 \\ -\gamma & 0 & 0 & \omega\mu_a \\ -\omega\varepsilon_a & 0 & \gamma & 0 \\ 0 & \omega\varepsilon_a & 0 & \gamma \end{vmatrix} = 0. \quad (9)$$

Из решения определителя (9) получаем формулу для постоянной распространения ЭМВ γ :

$$\gamma_{1,2} = \pm\omega(\varepsilon_a\mu_a)^{\frac{1}{2}}. \quad (10)$$

Знак «+» соответствует волне, распространяющейся в положительном направлении оси z (прямая волна). Знак «-» соответствует ЭМВ, распространяющейся в обратном направлении (обратная волна). С учетом (10) формулы, связывающие электрические и магнитные поля ЭМВ, могут быть переписаны:

$$\begin{aligned} H_{x0} &= \mp Z_a^{-1} E_{y0}, \\ H_{y0} &= \pm Z_a^{-1} E_{x0}. \end{aligned} \quad (11)$$

Верхний знак относится к прямым, а нижний – к обратным волнам. Видно, что вектора электрического и магнитного полей всегда составляют правую тройку относительно направления распространения. В (11) использовано обозначение $Z_a = (\mu_a/\varepsilon_a)^{\frac{1}{2}}$ – волновое сопротивление магнитоэлектрической среды. Волновое сопротивление вакуума ($\mu = \varepsilon = 1$) равно $Z_0 = (\mu_0/\varepsilon_0)^{\frac{1}{2}}$.

Если ЭМВ поляризована под углом α в плоскости xu , то электрическое поле можно записать в виде

$$\vec{E} = \vec{E}_0 e^{i(\omega t - \gamma z)} = \{E_0 \cos \alpha \vec{i} + E_0 \sin \alpha \vec{j}\} e^{i(\omega t - \gamma z)}. \quad (12)$$

Компоненты магнитного поля ЭМВ в этом случае равны:

$$\vec{H} = \vec{H} e^{i(\omega t - \gamma z)} = \{\mp Z_a^{-1} E_0 \sin \alpha \vec{i} \pm Z_a^{-1} E_0 \cos \alpha \vec{j}\} e^{i(\omega t - \gamma z)}. \quad (13)$$

2.2 Отражение ЭМВ от границы раздела двух сред

Рассмотрим задачу на отражение и прохождение плоских ЭМВ при нормальном падении на границу раздела двух полубезграничных пространств. Геометрия задачи представлена на рисунке 3, в котором область I – вакуум, область II – изотропный магнитоэлектрик [6].

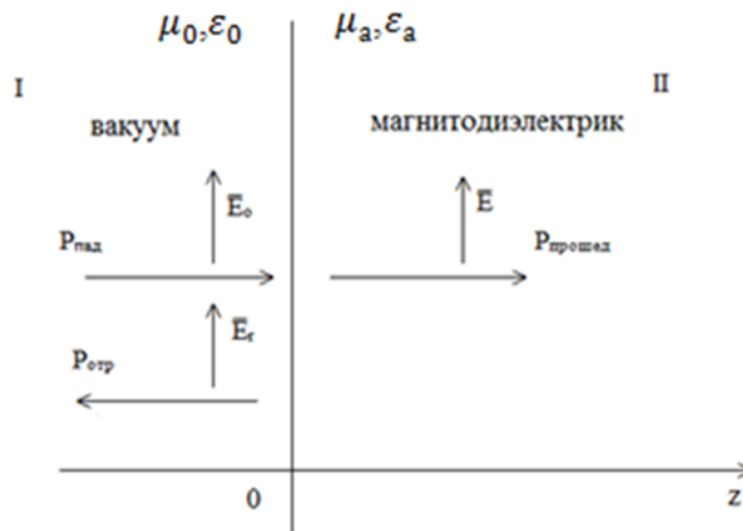


Рисунок 3 – Геометрия задачи. Отражение от границы раздела вакуум – магнитоэлектрик

Для простоты будем считать, что падающая на границу раздела ЭМВ поляризована вдоль оси x . Компоненты электрического и магнитного полей падающей волны запишутся:

$$\begin{aligned}\vec{E}_{x0} &= \vec{i}E_0 \exp[i(\omega t - \gamma_0 z)], \\ \vec{H}_{y0} &= \vec{j}Z_0^{-1}E_0 \exp[i(\omega t - \gamma_0 z)].\end{aligned}\tag{14}$$

Здесь $\gamma_0 = \omega(\epsilon_0\mu_0)^{\frac{1}{2}} = \omega/c$ – постоянная распространения, $Z_0 = (\mu_0/\epsilon_0)^{\frac{1}{2}}$ – волновое сопротивление вакуума, c – скорость света. Часть мощности падающей ЭМВ отразится от границы раздела двух полупространств, т.е. появится отраженная волна:

$$\begin{aligned}\vec{E}_{xr} &= \vec{i}E_r \exp[i(\omega t + \gamma_0 z)], \\ \vec{H}_{yr} &= \vec{j}(-Z_0^{-1})E_r \exp[i(\omega t + \gamma_0 z)].\end{aligned}\tag{15}$$

Часть пройдет через границу раздела:

$$\begin{aligned}\vec{E}_x &= \vec{i}E \exp[i(\omega t - \gamma z)], \\ \vec{H}_y &= \vec{j}Z_0^{-1}E \exp[i(\omega t - \gamma z)].\end{aligned}\tag{16}$$

Здесь $\gamma = \omega(\epsilon_a\mu_a)^{\frac{1}{2}}$ – постоянная распространения ЭМВ, $Z_a = (\mu_a/\epsilon_a)^{\frac{1}{2}}$ – волновое сопротивление магнитодиэлектрической среды. Амплитуды отраженной (E_r) и прошедшей (E) волн могут быть определены из граничных условий на границе раздела $z = 0$:

$$\begin{aligned}\vec{E}_{x0} + \vec{E}_r &= \vec{E}, \\ \vec{H}_{y0} + \vec{H}_r &= \vec{H}.\end{aligned}\tag{17}$$

Подстановка формул (14)–(16) в (17) дает искомые уравнения для нахождения амплитуд:

$$\begin{aligned} E_0 + E_r &= E, \\ Z_0^{-1}(E_0 - E_r) &= Z_a^{-1}E. \end{aligned} \quad (18)$$

Из второго уравнения находим $E = (Z_a/Z_0)(E_0 - E_r)$ и подставляя это выражение в первое уравнение, получим формулу для амплитуды отраженной волны:

$$E_r = \left(\frac{Z_a - Z_0}{Z_a + Z_0} \right) E_0 = \rho E_0. \quad (19)$$

Здесь ρ – коэффициент отражения от передней грани магнитодиэлектрика. Его можно выразить через относительные величины магнитной и диэлектрической проницаемостей:

$$\rho = \frac{\sqrt{\mu} - \sqrt{\varepsilon}}{\sqrt{\mu} + \sqrt{\varepsilon}} = \frac{\sqrt{\frac{\mu}{\varepsilon}} - 1}{\sqrt{\frac{\mu}{\varepsilon}} + 1}. \quad (20)$$

Из (20) видно, что если комплексные магнитная и диэлектрическая проницаемости равны, то отражение от границы раздела отсутствует.

2.3 Расчет коэффициентов прохождения и отражения ЭМВ для слоя магнитодиэлектрика.

Будем считать, что ЭМВ падает нормально на слой магнитодиэлектрика толщиной d , расположенный в вакууме. Поляризацию падающей волны направим вдоль оси x . Геометрия задачи представлена на рисунке 4, в котором области I и III – вакуум, область II – слой магнитодиэлектрика

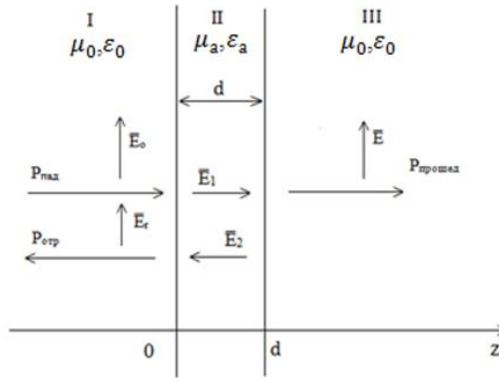


Рисунок 4 – Геометрия задачи

В первой среде распространяются падающая и отраженная волны:

$$\begin{aligned}\vec{E}_{x0} &= \vec{E}_0 \exp[i(\omega t - \gamma_0 z)], & \vec{H}_{y0} &= \vec{J} Z_0^{-1} E_0 \exp[i(\omega t - \gamma_0 z)], \\ \vec{E}_{xr} &= \vec{E}_r \exp[i(\omega t + \gamma_0 z)], & \vec{H}_{yr} &= \vec{J} (-Z_0^{-1}) E_r \exp[i(\omega t + \gamma_0 z)].\end{aligned}\quad (21)$$

В магнитоэлектрике также существует две волны, распространяющиеся в прямом и обратном направлениях:

$$\begin{aligned}\vec{E}_{x1} &= \vec{E}_1 \exp[i(\omega t - \gamma z)], & \vec{H}_{y1} &= \vec{J} Z_a^{-1} E_1 \exp[i(\omega t - \gamma z)], \\ \vec{E}_{x2} &= \vec{E}_2 \exp[i(\omega t + \gamma z)], & \vec{H}_{y2} &= \vec{J} (-Z_a^{-1}) E_2 \exp[i(\omega t + \gamma z)].\end{aligned}\quad (22)$$

В третьей среде распространяется прошедшая волна:

$$\begin{aligned}\vec{E}_{xt} &= \vec{E}_t \exp[i(\omega t - \gamma_0 z)], \\ \vec{H}_{yt} &= \vec{J} Z_0^{-1} E_t \exp[i(\omega t - \gamma_0 z)].\end{aligned}\quad (23)$$

Для слоя магнитоэлектрика существует две границы раздела. Граничные условия формулируются следующим образом:

$$\begin{aligned}E_0 + E_r &= E_1 + E_2, \\ Z_0^{-1}(E_0 - E_r) &= Z_a^{-1}(E_1 - E_2), \\ E_1 \exp(-i\gamma d) + E_2 \exp(i\gamma d) &= E_t, \\ E_1 \exp(-i\gamma d) - E_2 \exp(i\gamma d) &= (Z_a/Z_0) E_t.\end{aligned}\quad (24)$$

Решение граничной задачи:

1. Сложив уравнения 3 и 4 в (24), можно выразить амплитуду прошедшей волны E_t через E_1 :

$$E_t = \left(\frac{2Z_0}{Z_a + Z_0} \right) E_1 \exp(-i\gamma d). \quad (25)$$

2. Умножив уравнение 3 в (24) на Z_a/Z_0 и вычтя из этого произведения уравнение 4 в (24) получим соотношение, связывающее амплитуды E_1 и E_2 в слое магнитодиэлектрика:

$$E_2 = -\rho e^{[-i2\gamma d]} E_1. \quad (26)$$

Здесь ρ – введенное ранее обозначение для коэффициента отражения от передней грани магнитодиэлектрика.

3. Подставив (26) в уравнения 1 и 2 в (24) и поделив первое уравнение на второе, получим связь амплитуды отраженной волны E_r с амплитудой падающей волны E_0 в виде

$$\frac{E_0 + E_r}{E_0 - E_r} = \left(\frac{Z_a}{Z_0} \right) \frac{1 - \rho \exp(-i2\gamma d)}{1 + \rho \exp(-i2\gamma d)}. \quad (27)$$

Отсюда можно получить формулу для амплитуды отраженной волны в виде:
 $E_r = R_t E_0$.

Здесь R_t – коэффициент отражения ЭМВ от слоя магнитодиэлектрика, равный:

$$R_t = \rho \frac{1 - \exp(-i2\gamma d)}{1 - \rho^2 \exp(-i2\gamma d)}. \quad (28)$$

4. Подставив в первое уравнение выражения для E_r и E_2 , получим формулу для амплитуды волны E_1 :

$$E_1 = \frac{1 + \rho}{1 - \rho^2 \exp(-i2\gamma d)} E_0. \quad (29)$$

Подставив амплитуды волн E_1 (29) и E_2 (26) в уравнение 3 в (24) получим формулу для прошедшей волны в виде: $E_t = TE_0$. Здесь T – коэффициент прохождения ЭМВ через слой магнитодиэлектрика, равный:

$$T = \frac{(1 - \rho^2) \exp(-i\gamma d)}{1 - \rho^2 \exp(-i2\gamma d)}. \quad (30)$$

Таким образом, формулы (28) и (30) дают выражения для искомых коэффициентов отражения и прохождения ЭМВ через слой магнитодиэлектрика толщиной d .

2.4 Отражение ЭМВ от слоя магнитодиэлектрика на металле

Рассмотрим задачу о расчете коэффициента отражения от слоя магнитодиэлектрика толщиной d , расположенного на идеально проводящей металлической поверхности при нормальном падении плоской ЭМВ на его поверхность. Геометрия задачи приведена на рисунке 5, в котором область I – вакуум, область II – магнитодиэлектрик, область III – идеально проводящий металл [7].



Рисунок 5 – Слой магнитодиэлектрика толщиной d на идеально проводящей металлической поверхности

Для волны, поляризованной в направлении оси x , падающая и отраженная волны в первой среде запишутся:

$$\begin{aligned}\vec{E}_{x0} &= \vec{i}E_0 \exp[i(\omega t - \gamma_0 z)], & \vec{H}_{y0} &= \vec{j}Z_0^{-1}E_0 \exp[i(\omega t - \gamma_0 z)], \\ \vec{E}_{xr} &= \vec{i}E_r \exp[i(\omega t + \gamma_0 z)], & \vec{H}_{yr} &= \vec{j}(-Z_0^{-1})E_r \exp[i(\omega t + \gamma_0 z)].\end{aligned}\quad (31)$$

Волны в магнитоэлектрике имеют вид:

$$\begin{aligned}\vec{E}_{x1} &= \vec{i}E_1 \exp[i(\omega t - \gamma z)], & \vec{H}_{y1} &= \vec{j}Z_a^{-1}E_1 \exp[i(\omega t - \gamma z)], \\ \vec{E}_{x2} &= \vec{i}E_2 \exp[i(\omega t + \gamma z)], & \vec{H}_{y2} &= \vec{j}(-Z_a^{-1})E_2 \exp[i(\omega t + \gamma z)].\end{aligned}\quad (32)$$

Граничные условия для первой границы раздела формулируются так же, как и для рассмотренного ранее случая пластины магнитоэлектрика, расположенной в свободном пространстве:

$$\begin{aligned}E_0 + E_r &= E_1 + E_2, \\ \left(\frac{Z_a}{Z_0}\right)(E_0 - E_r) &= (E_1 - E_2).\end{aligned}\quad (33)$$

Для второй границы раздела магнитоэлектрик – металл достаточно выполнения граничного условия для электрической компоненты ЭМВ: $\vec{E}_1 + \vec{E}_2 = 0$. Граничное условие для комплексных амплитуд этих волн запишется:

$$E_1 \exp(-i\gamma d) + E_2 \exp(i\gamma d) = 0. \quad (34)$$

Из формулы (34) следует, что $E_2 = -\exp(-i2\gamma d)E_1$. Подставив полученную формулу в (33) и разделив уравнение 1 на уравнение 2 в (33), получим связь амплитуды отраженной волны с амплитудой падающей ЭМВ:

$$\frac{E_0 + E_r}{E_0 - E_r} = \left(\frac{Z_a}{Z_0}\right) \frac{1 - \exp(-i2\gamma d)}{1 + \exp(-i2\gamma d)}. \quad (35)$$

Отсюда $E_r = R_r E_0$ и формула для коэффициента отражения от слоя магнитодиэлектрика, расположенного на металлической поверхности при нормальном падении ЭМВ может быть записана в виде:

$$R_r = \frac{\rho - \exp(-i2\gamma d)}{1 - \rho \exp(-i2\gamma d)}. \quad (36)$$

Здесь $\rho = (Z - 1)/(Z + 1)$ – коэффициент отражения электромагнитной волны от переднего края магнитодиэлектрика, $Z = \sqrt{\mu/\epsilon}$ – волновое сопротивление, $\gamma = k_0 \sqrt{\mu\epsilon}$ – постоянная распространения ЭМВ в слое магнитодиэлектрика.

3 Среда программирования LabVIEW

LabVIEW – графический язык программирования для создания программного продукта, который используется для системного проектирования в отраслях, где требуется проведение испытаний, измерений и осуществление управления, а также оперативный доступ к оборудованию и результатам анализа данных [8–10].

Программа LabVIEW является виртуальным прибором (ВП) (англ. Virtual Instrument) и состоит из двух частей:

- блок-диаграммы, описывающей логику работы виртуального прибора;
- лицевой панели, описывающей внешний интерфейс виртуального прибора.

Виртуальные приборы могут использоваться в качестве составных частей для построения других виртуальных приборов. [8–10]

Лицевая панель виртуального прибора содержит средства ввода-вывода: кнопки, переключатели, светодиоды, шкалы, информационные табло и т. п. Они используются человеком для управления виртуальным прибором, а также другими виртуальными приборами для обмена данными.

Блочная диаграмма содержит функциональные узлы, являющиеся источниками, приёмниками и средствами обработки данных. Также компонентами блочной диаграммы являются терминалы и управляющие структуры (являющиеся аналогами таких элементов текстовых языков программирования, как условный оператор «IF», операторы цикла «FOR» и «WHILE» и т. п.). Функциональные узлы и терминалы объединены в единую схему линиями связей [8–10].

3.1 Пример связи LabVIEW с прибором P2M

На рисунке 6 представлена лицевая панель виртуального прибора, имеющее название R2M.vi, разработанной в НПФ «Микран» для подключения среды программирования LabVIEW к прибору P2M в качестве примера.

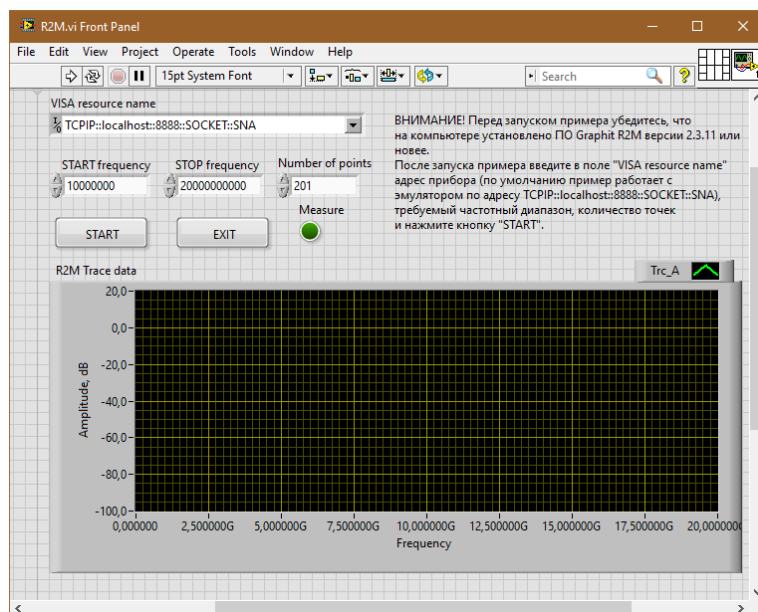


Рисунок 6 – Лицевая панель программы R2M.vi

На рисунке 7 показана блок-схема работы программы

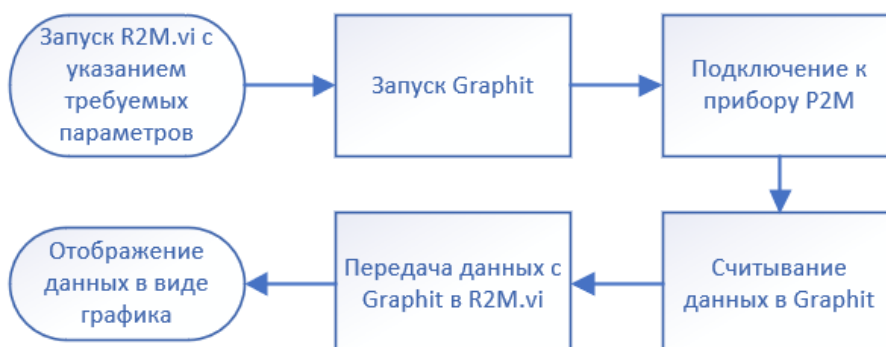


Рисунок 7 – Блок-схема работы R2M.vi

Подготовка к работе ВП R2M.vi производится следующим образом:

- вместо localhost указывается IP адрес прибора, заводские настройки по умолчанию 169.254.0.254;
- указывается начальная (START frequency) и конечная (STOP frequency) частоты в Герцах;
- указывается количество точек (Number of points);
- запускается ВП и нажимается кнопка «START».

Работает ВП следующим образом:

- после нажатия кнопки «START» запускается программа «Graphit»;

- в «Graphit» поступает команда, которая указана в строке «VISA resource name» и в соответствии с этой командой, «Graphit» производит подключение к прибору P2M;

- в случае успешного подключения, с ВП в «Graphit» посылаются и выполняются команды: создание измерительной трассы, задание частотного диапазона, задание количество точек;

- в случае успешного выполнения предыдущих команд, с ВП в «Graphit» посылаются и выполняются команды: считывание данных с измерительной трассы.

- данные с P2M считывает «Graphit» и эти же данные посылает в ВП LabVIEW.

Таким образом, программное обеспечение «Graphit» теперь является посредником между LabVIEW и прибором P2M.

Результат работы программы представлен на рисунке 8. Видно, что графики, а следовательно и данные измерительной трассы в программе «Graphit» (рисунок 9) и R2M.vi совпадают.

Данная измерительная трасса считывает коэффициенты на отражение, выраженных в децибелах.

При нажатии на кнопку «STOP», программа переходит в режим ожидания, без удаления первоначальных настроек.

В итоге, у программы R2M.vi имеются значительные недостатки:

- нет возможности записывать результаты измерения;
- нет возможности создание нескольких измерительных трасс;
- нет возможности произвести калибровку.

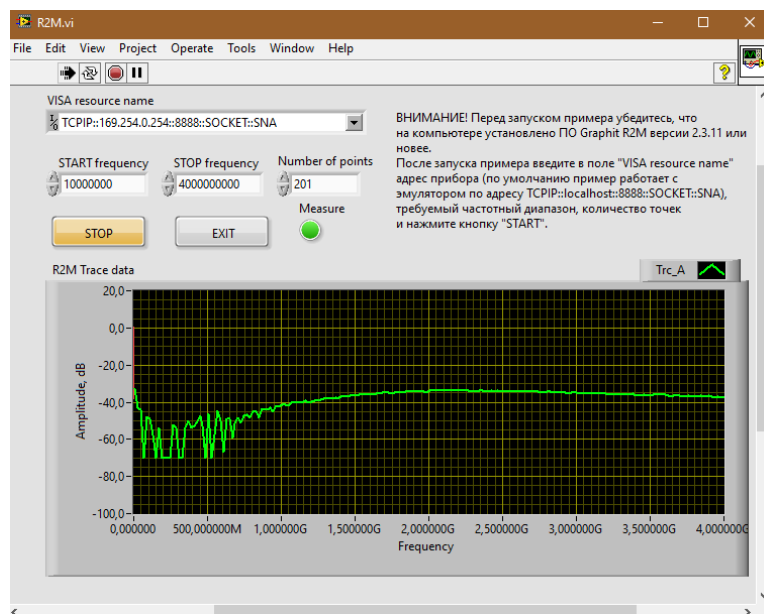


Рисунок 8 – Фрагмент работы программы R2M.vi

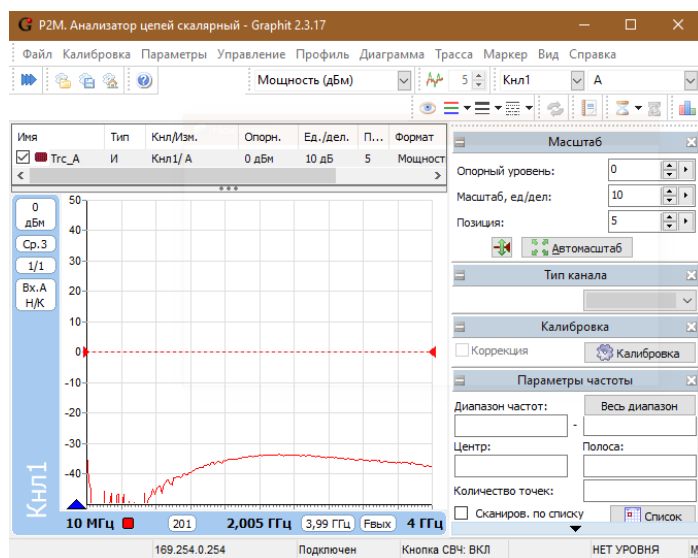


Рисунок 9 – Фрагмент работы программы «Graphit»

Таким образом, в компании «Микран» создали базовый вариант использования программы LabVIEW и прибора P2M, на основе которого появляется возможность запрограммировать его в соответствии с поставленными задачами и возможностями среды программирования LabVIEW.

3.2 Модифицированная программа R2MNEW

Было реализовано девять этапов модификации программы R2M.vi. На рисунке 10 показана лицевая панель, на рисунке 11 блок-схема работы

модифицированной программы управления для P2M, имеющей название R2MNEW.vi.

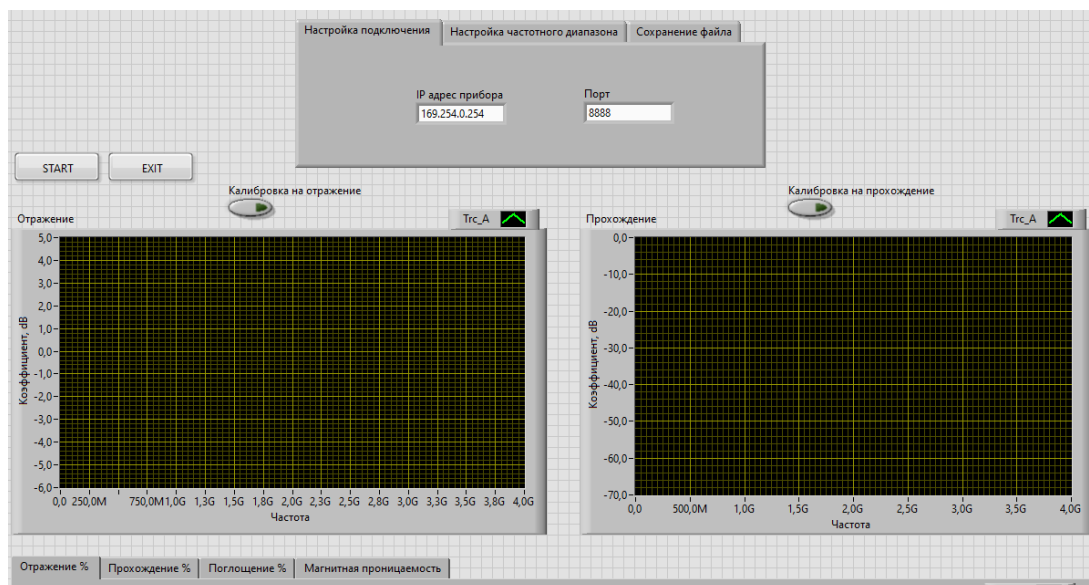


Рисунок 10 – Лицевая панель программы R2MNEW.vi

Первым этапом модификации стало отображение двух измерительных трасс в децибелах: коэффициентов отражения $R_{дБ}$ и прохождения $T_{дБ}$ от частоты (рисунок 12).



Рисунок 11 – Блок-схема работы программы R2MNEW.vi

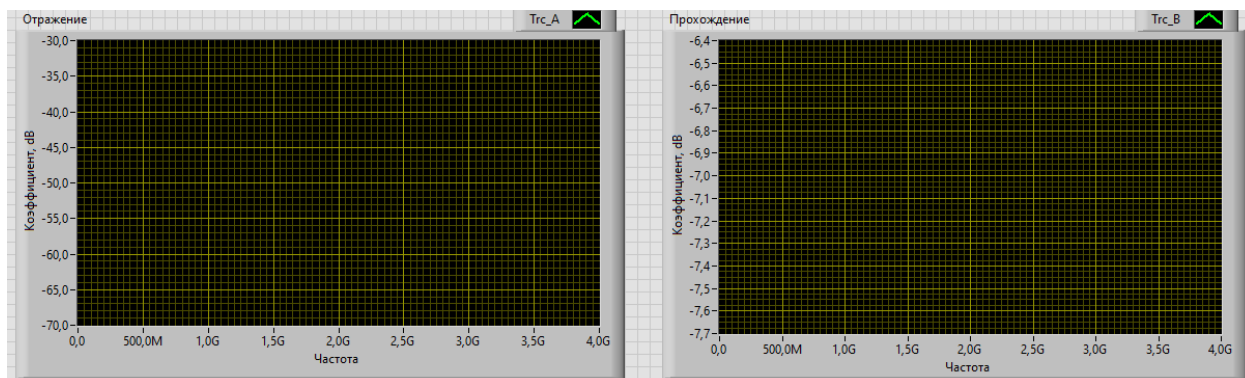


Рисунок 12 – Экран для отображения коэффициентов отражения (слева) и прохождения (справа) от частоты

Вторым этапом модификации стал упрощенный ввод с лицевой панели IP адреса и порта прибора P2M, без указания дополнительных параметров (рисунок 13).

Рисунок 13 – Ввод IP адреса прибора P2M

Третьим этапом модификации стало добавление функции калибровки коэффициентов на прохождения и отражения. Порядок калибровки точно такой же, как и в программе «Graphit» (рисунок 14).

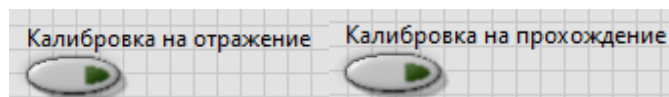


Рисунок 14 – Функции калибровки на отражения (слева) и прохождения (справа)

Четвертым этапом было реализовано удобное задание частотного диапазона, в мегагерцах и гигагерцах (рисунок 15).

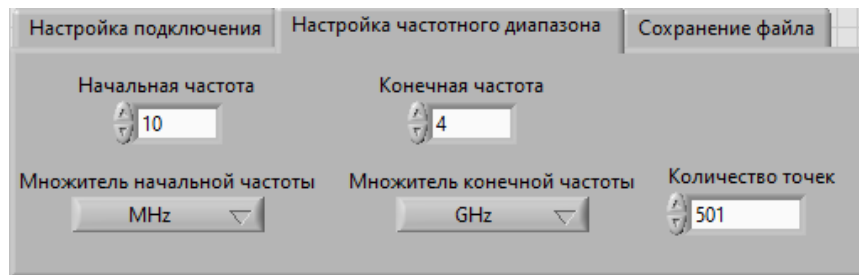


Рисунок 15 – Указание частотного диапазона

Пятым этапом был реализован перевод значений из децибелов в проценты для коэффициентов отражения и прохождения по формулам (37) и (38) соответственно:

$$R_{\%} = 10^{R_{\text{дБ}}/10} \cdot 100\%, \quad (37)$$

$$T_{\%} = 10^{T_{\text{дБ}}/10} \cdot 100\%, \quad (38)$$

где $T_{\%}$ – коэффициент прохождения в процентах от частоты, $R_{\%}$ – коэффициент отражения в процентах от частоты. Полученные значения $R_{\%}$ и $T_{\%}$ также отображаются на графиках, представленных на рисунках 16 и 17 соответственно.

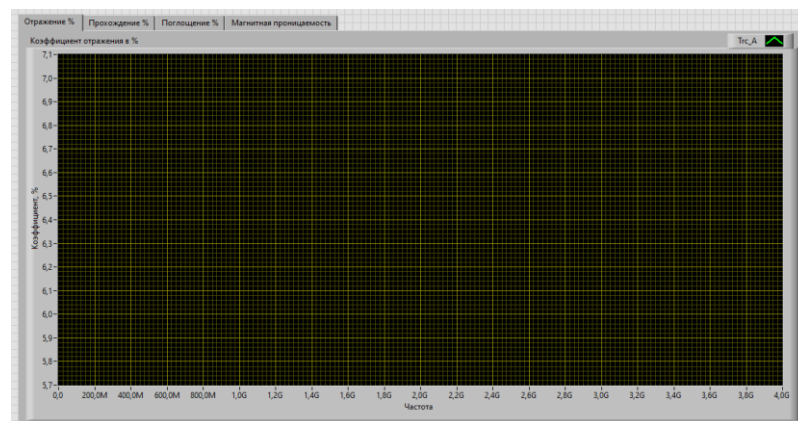


Рисунок 16 – Экран для отображения зависимости коэффициентов отражения в процентах $R_{\%}$ от частоты

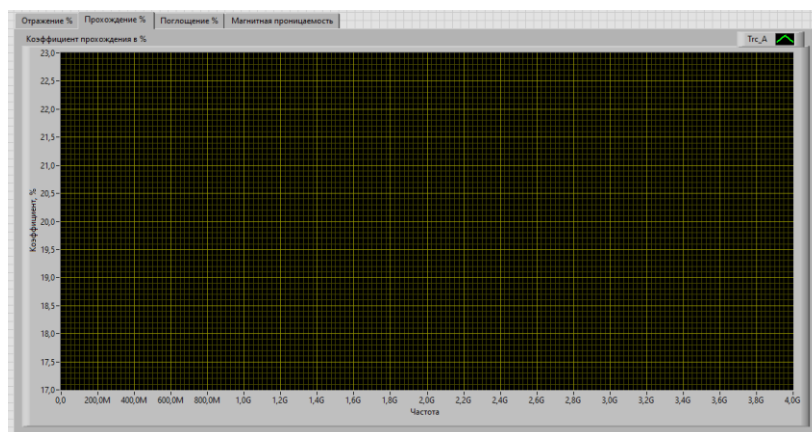


Рисунок 17 – Экран для отображения зависимости коэффициентов прохождения в процентах $T_{\%}$ от частоты

На шестом этапе появилась возможность расчёта коэффициентов поглощения в процентах от частоты $A_{\%}$, вычисляемый по формуле (39):

$$A_{\%} = 100 - T_{\%} - R_{\%}. \quad (39)$$

Зависимость коэффициентов поглощения от частоты так же выводится на график (рисунок 18).

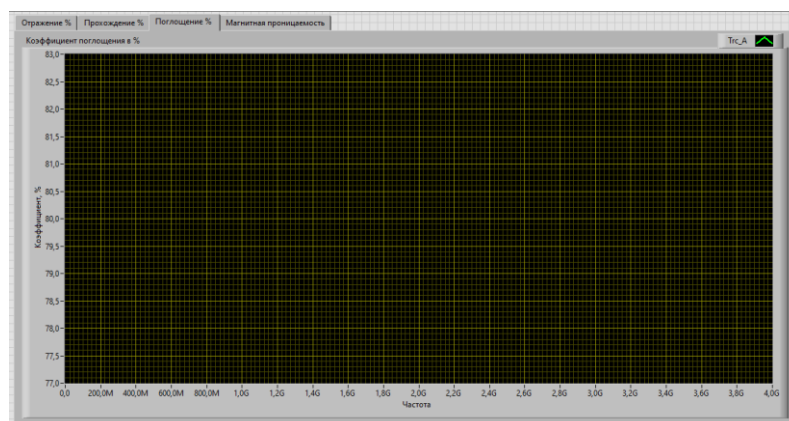


Рисунок 18 – Экран для отображения зависимости коэффициентов поглощения в процентах $A_{\%}$ от частоты

На седьмом этапе была добавлена возможность расчета мнимой части магнитной проницаемости (μ'') при этом материалы должны измеряться методом «на отражение». Схема измерения данным методом представлена на рисунке 19, при

этом композиционный материал расположен в измерительном устройстве на металле [11].

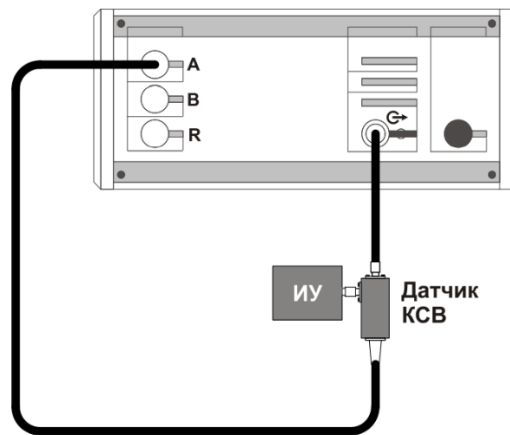


Рисунок 19 – Схема измерения «на отражение»

Из формулы (36) с помощью математических преобразований была получена формула (40):

$$R = |R|^2 \approx \frac{1 - 2k_0 d \mu''}{1 + 2k_0 d \mu''}. \quad (40)$$

Из данной формулы мы можем выразить мнимую часть магнитной проницаемости.

$$|R|^2 = A = \frac{1 - x}{1 + x},$$

где $x = 2k_0 d \mu''$.

Далее найдем μ'' :

$$x = \frac{1 - A}{1 + A},$$

$$2 \frac{\omega}{c} d \mu'' = \frac{1 - A}{1 + A},$$

$$\mu'' = \frac{(1 - |R|^2)}{(1 + |R|^2)} \frac{c}{2 \times 2\pi \times f \times d},$$

где c является скоростью света в вакууме и измеряется в метрах в секунду, частота f измеряется в герцах, а толщина образца d измеряется в метрах.

При переходе в СВЧ диапазон измерение мнимой части магнитной проницаемости будет происходить в гигагерцовой области. Таким образом, мы получим формулу для расчета:

$$\mu'' = \frac{15 \times \left(1 - \frac{R_0\%}{100}\right)}{\left(1 + \frac{R_0\%}{100}\right) \times 2\pi \times f \times d}, \quad (41)$$

где d измеряется в сантиметрах, а частота f измеряется в гигагерцах.

Ввод в программу значения толщины экспериментального образца происходит на лицевой панели в окне «Толщина материала, мм» в миллиметрах (рисунок 20). Измерение значения d происходит с помощью микрометра.

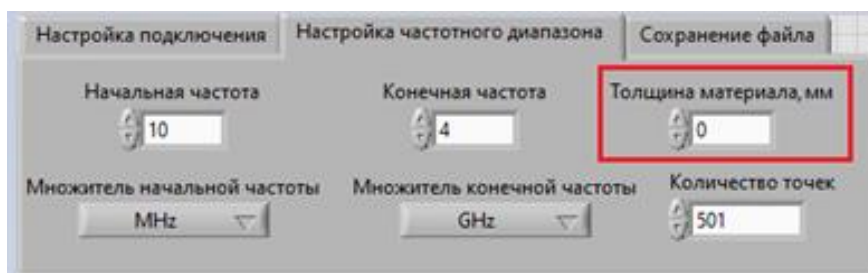


Рисунок 20 – Окно ввода параметра на лицевой панели «Толщина материала (мм)»

Построение частотной зависимости мнимой части магнитной проницаемости производится в режиме реального времени (рисунок 21).

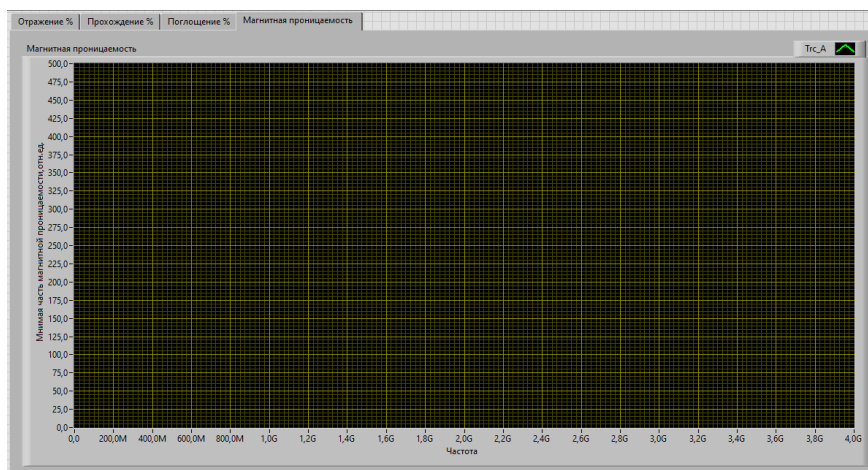


Рисунок 21 – Экран для отображения мнимой части магнитной проницаемости μ'' в зависимости от частоты

На восьмом этапе появилась возможность записи полученных данных в текстовый файл формата .txt (рисунок 22). В окне «Указать папку» указывается каталог для сохранения данных измерений. В параметре «Множитель частоты в файле» указывается множитель частоты для записи в текстовый файл. Кнопка «Сохранить полученные данные?» создает .txt файл в указанном каталоге и записывает в него измеренные и рассчитанные данные (рисунок 22).

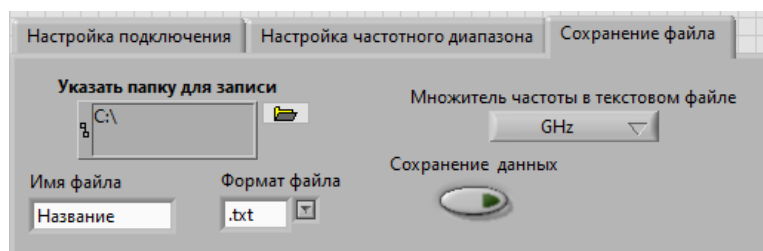


Рисунок 22 – Параметры для сохранения данных в текстовый файл

В созданном текстовом файле (рисунок 23) содержится следующая информация: в первый столбец записываются значения частот, на которых производятся измерения; во второй столбец записываются коэффициенты отражения в децибелах; в третий столбец записываются коэффициенты прохождения в децибелах; в четвертый столбец записываются коэффициенты отражения в процентах; в пятый столбец записываются коэффициенты прохождения в процентах; в шестой столбец записываются коэффициенты поглощения в

процентах; в седьмой столбец записываются значения мнимой части магнитной проницаемости, в восьмом столбце указывается толщина материала.

1	2	3	4	5	6	7	8
GHz	R(db)	T(db)	R(%)	T(%)	A(%)	u''	d(мм)
0.010000	-0.007500	-61.547800	99.827455	0.000070	0.172475	0.916169	2.250000
0.017980	0.001600	-59.330000	100.036848	0.000117	-0.036965	-0.108704	2.250000
0.025960	0.002700	-51.476600	100.062189	0.000712	-0.062901	-0.127050	2.250000
0.033940	0.000900	-70.000000	100.020729	0.000010	-0.020735	-0.032393	2.250000
0.041920	-0.002300	-49.985000	99.947055	0.001003	0.051942	0.067023	2.250000
0.049900	-0.000800	-70.000000	99.981581	0.000010	0.018409	0.019584	2.250000
0.057880	-0.005900	-70.000000	99.864240	0.000010	0.135750	0.124520	2.250000
0.065860	-0.007000	-70.000000	99.838949	0.000010	0.161041	0.129835	2.250000
0.073840	-0.008500	-70.000000	99.804472	0.000010	0.195518	0.140618	2.250000
0.081820	-0.009000	-70.000000	99.792982	0.000010	0.207008	0.134368	2.250000
0.089800	-0.005000	-70.000000	99.884937	0.000010	0.115053	0.068016	2.250000

Рисунок 23 – Созданный текстовый файл с измеренными и расчётными данными

Девятым этапом стало построение графиков в формате .png на основе сохраненных тестовых файлов с помощью среды программирования Python с использованием библиотеки «Matplotlib». «Matplotlib» – библиотека на языке программирования Python для визуализации данных двумерной (2D) графикой [12]. Вызывается подпрограмма нажатием клавиши «Построить графики в PNG?» (рисунок 24).

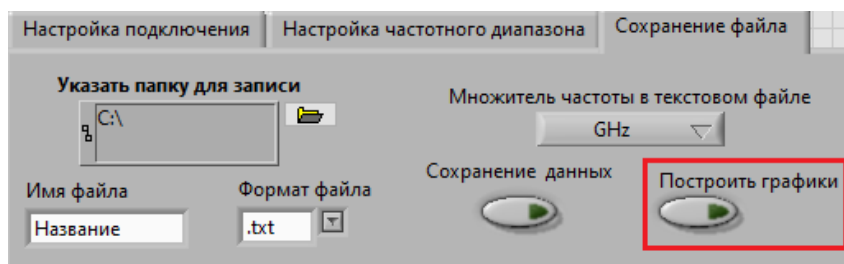


Рисунок 24 – Кнопка для построения графиков формата .png

Для построения графиков коэффициентов прохождения, отражения, поглощения, мнимой части магнитной проницаемости используется аппроксимация при помощи многомерного фильтра Гаусса, который входит в библиотеку «Scipy.ndimage» среды программирования Python [13].

На рисунке 25 представлены частотные зависимости коэффициентов поглощения до и после аппроксимации.

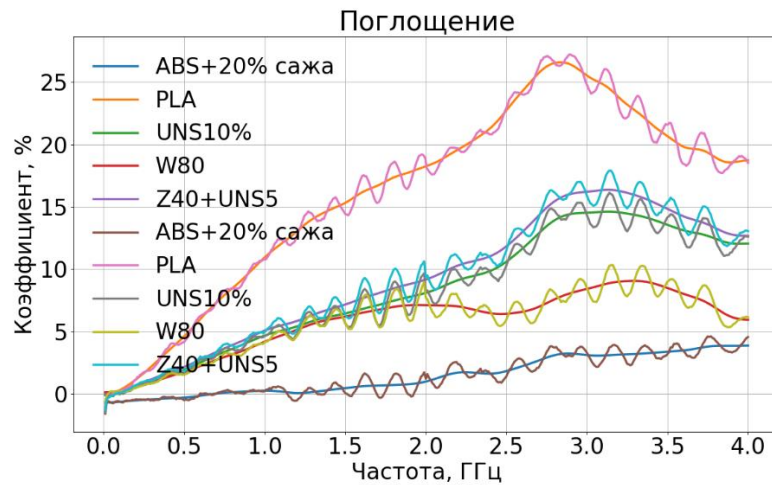


Рисунок 25 – Исходные и аппроксимированные графики

Таким образом, данная модифицированная программа включает в себя следующие функции и возможности:

- простой и понятный интерфейс;
- отображение двух измерительных трасс в виде графиков на отражение и прохождение в децибелах;
- возможность калибровки на отражение и прохождение;
- формулы пересчета из децибелов в проценты;
- осуществление расчета мнимой части магнитной проницаемости в зависимости от частоты;
- возможность сохранения результатов измерений в текстовый файл и в графический вид формата .png для проведение предварительного сравнительного анализа.

4 Практическое использование программы R2MNEW.vi

4.1 Расчет коэффициентов прохождения, поглощения, отражения с использованием программы R2MNEW.vi

Рассмотрим пример использования программы для решения следующей задачи: требуется рассчитать коэффициенты прохождения, отражения, поглощения в процентах в частотном диапазоне от 10 МГц до 4 ГГц, подготовленных образцов. Провести сравнительный анализ электромагнитного отклика от композитов. Материалы имеют следующие названия: ABS+20% сажа, PLA, UNS10%, W80%, Z40%+UNS5%.

На первом этапе работы необходимо произвести запуск программы и настроить параметры в соответствии с задачей, т.е. указать: IP адрес прибора, начальную частоту 10 МГц, конечную частоту 4 ГГц, а также необходимое количество точек и толщину материала. Пример настройки показан на рисунке 26.

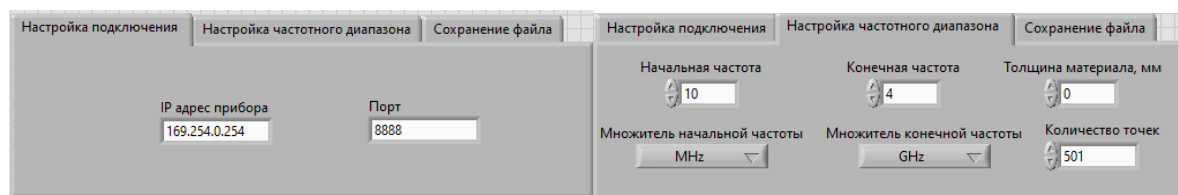


Рисунок 26 – Настройка параметров программы в соответствии с поставленной задачей

После нажатия кнопки «START» запускается программа «Graphit» (рисунок 27) и устанавливается связь с прибором P2M.



Рисунок 27 – Фрагмент программы «Graphit», уведомляющий об успешном подключении к прибору P2M

После успешного подключения окно программы «Graphit» исчезает и работает в фоновом режиме, по-прежнему осуществляя роль посредника.

Затем требуется произвести калибровку коаксиальной ячейки на отражение и прохождение. Для этого нажимается кнопка «STOP» и подключается короткозамыкатель, который полностью отражает электромагнитные волны, на выход ячейки датчика КСВ (рисунок 28).



Рисунок 28 – Подключенный короткозамыкатель

После подключения короткозамыкателя нажимается кнопка «START». Показания коэффициента отражения и прохождения при подключенном короткозамыкателе без учета калибровки показан на рисунке 29.

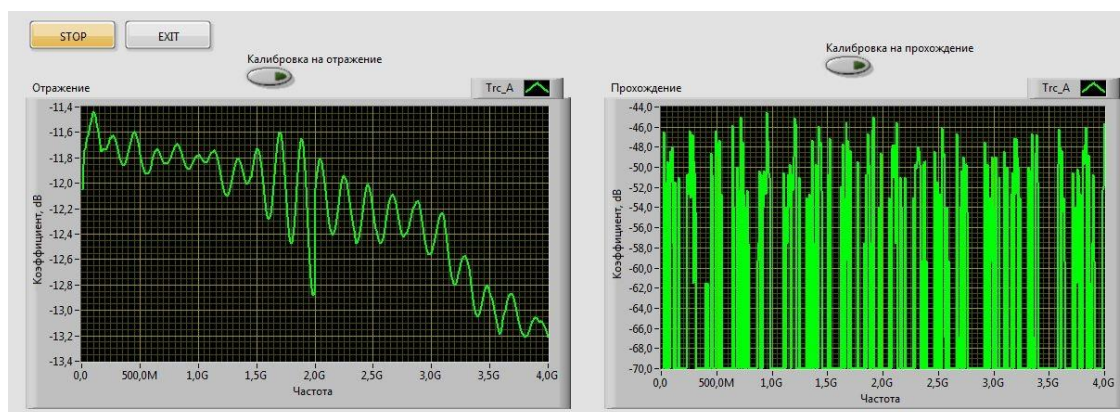


Рисунок 29 – Считанные данные при подключенном короткозамыкателе

Калибровка значений коэффициентов отражения происходит при нажатии кнопки «Калибровка на отражение» (рисунок 30).

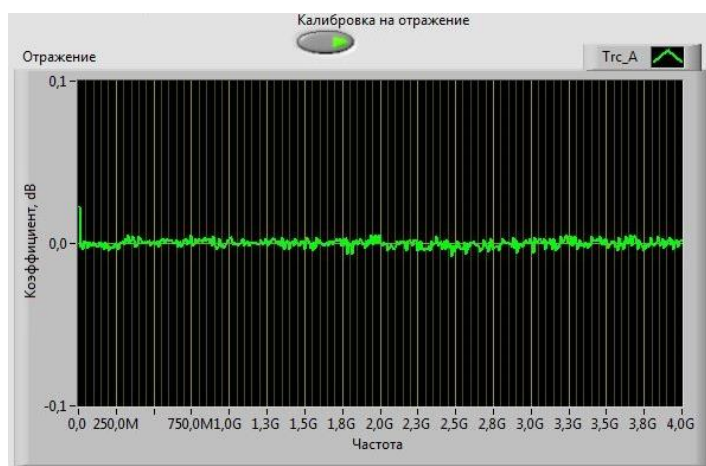


Рисунок 30 – Откалиброванные параметры на отражение

Затем производится калибровка на прохождение. Для этого подключается пустая коаксиальная ячейка между выходом датчика КСВ и детекторной головкой (рисунок 31).



Рисунок 31 – Подключенная пустая коаксиальная ячейка

Графики коэффициентов отражения с учетом калибровки на отражение и прохождение при подключенной пустой коаксиальной ячейки приведены на рисунке 32.

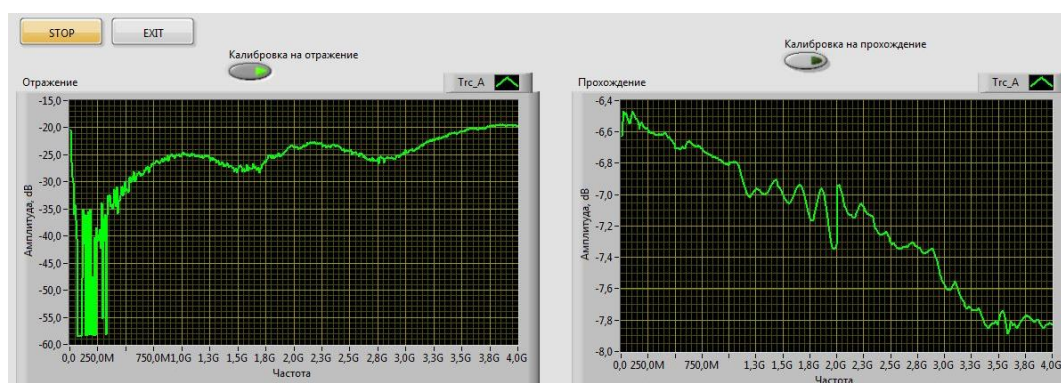


Рисунок 32 – Графики коэффициентов отражения с калибровкой и прохождения

При нажатии на кнопку «Калибровка на прохождение», производится калибровка значений коэффициентов прохождения (рисунок 33).

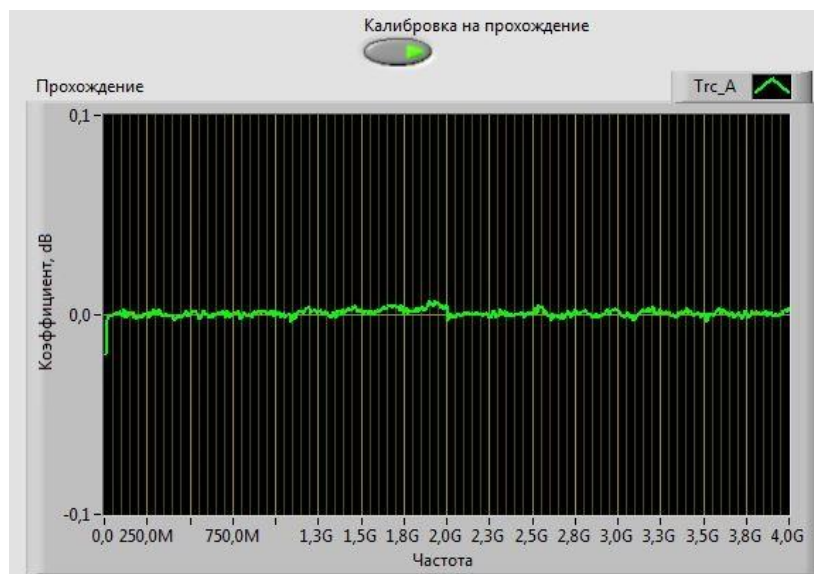


Рисунок 33 – Откалиброванные параметры на прохождения

После выполнения калибровки, помещается первый подготовленный образец (PLA) в коаксиальную ячейку. Графики коэффициентов прохождения и отражения в децибелах с учетом калибровок для данного материала показаны на рисунке 34.

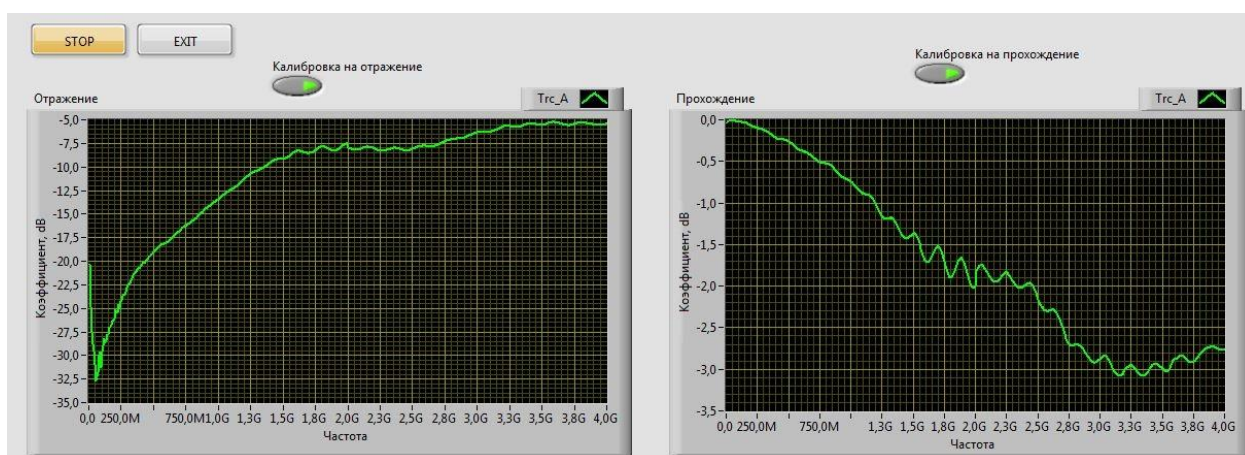


Рисунок 34 – Измерения характеристик материала

Также в режиме реального времени производится вычисление и отображение на графиках значений коэффициентов отражения (рисунок 35), прохождения (рисунок 36), поглощения (рисунок 37) в процентах, рассчитанных по формулам (37), (38), (39) соответственно.

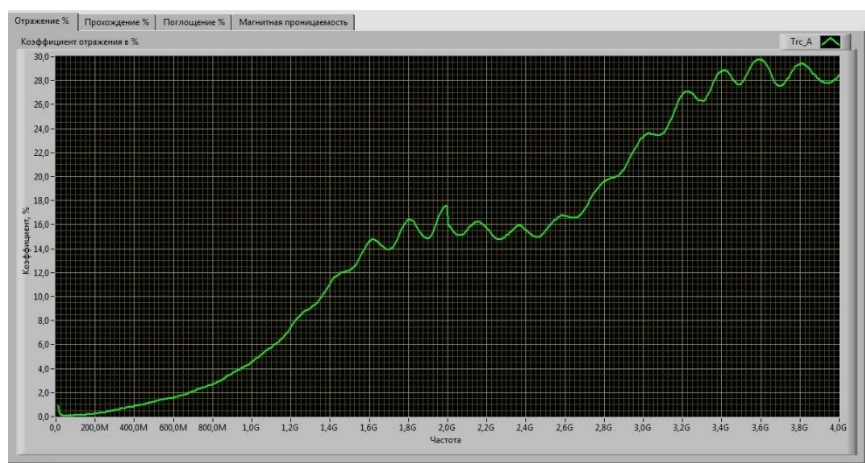


Рисунок 35 – Рассчитанные коэффициенты $R_{\%}$



Рисунок 36 – Рассчитанные коэффициенты $T_{\%}$



Рисунок 37 – Рассчитанные коэффициенты $A_{\%}$

Затем указывается каталог для сохранения данных (рисунок 38). Чтобы в текстовый файл записывать частоту в ГГц, в параметре «Множитель частоты в

файле» выставляется GHz. Поскольку первый измеряемый образец имеет название PLA, то в параметр «Имя файла» запишем PLA. При нажатии кнопки «Сохранить полученные данные?» сохраняются результаты измерения и расчета в текстовый документ формата .txt (рисунок 39).

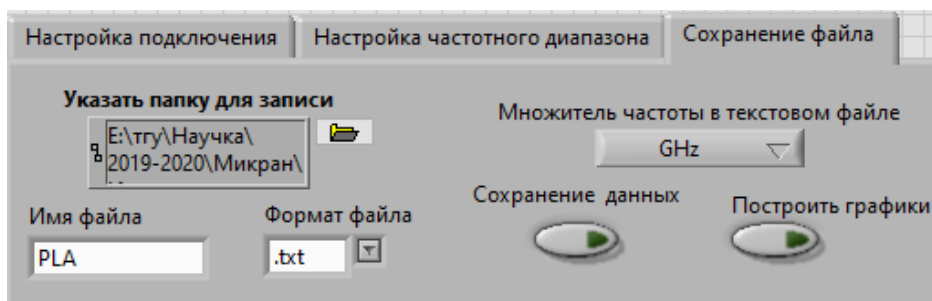


Рисунок 38 – Указания параметров для сохранения данных в текстовый файл

PLA_conductive.txt – Блокнот

Файл	Правка	Формат	Вид	Справка				
GHz	R(db)	T(db)	R(%)	T(%)	A(%)	u''	d(мм)	
0.010000	-29.118300	0.012460	0.973128	99.688027	-0.661155	0.000000	2.190000	
0.029950	-28.613100	0.013180	0.137623	100.303942	-0.441564	0.000000	2.190000	
0.049900	-29.553400	0.014210	0.110831	100.327733	-0.438564	0.000000	2.190000	
0.069850	-30.133600	0.007360	0.096971	100.169614	-0.266585	0.000000	2.190000	
0.089800	-29.935000	0.002060	0.101508	100.047445	-0.148952	0.000000	2.190000	
0.109750	-28.980200	-0.001900	0.126468	99.956260	-0.082728	0.000000	2.190000	
0.129700	-28.592400	-0.002880	0.138280	99.933708	-0.071988	0.000000	2.190000	
0.149650	-27.685200	-0.009020	0.170404	99.792522	0.037074	0.000000	2.190000	
0.169600	-27.288000	-0.005730	0.186724	99.868149	-0.054873	0.000000	2.190000	

Рисунок 39 – Сохраненные данные в текстовом файле

При нажатии на кнопку «STOP», программа переходит в режим ожидания, без удаления первоначальных настроек и калибровочных данных. Заменяв материал в коаксиальной ячейке, нажимаем кнопку «START», программа вновь считывает параметры. После замеров электрофизических параметров требуемых материалов в указанном каталоге находятся сохраненные файлы с названиями всех измеренных материалов, указанных в ходе проведения измерений (рисунок 40).

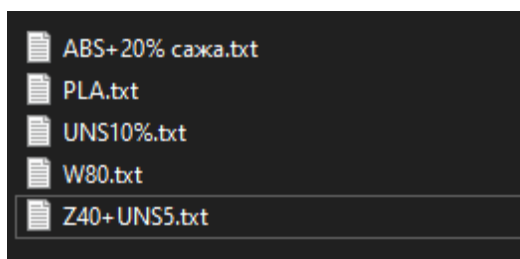


Рисунок 40 – Сохраненные данные измерений для материалов

После нажатия кнопки «Построить графики?», запускается программа Obyed.exe, написанная на языке программирования Python. Она переходит в указанный каталог, считывает данные с файлов формата .txt, создает одноименные каталоги, и строит графики в .png формате (рисунок 41). Результатом работы программы является сгенерированные каталоги со вложенными графиками (рисунок 42).

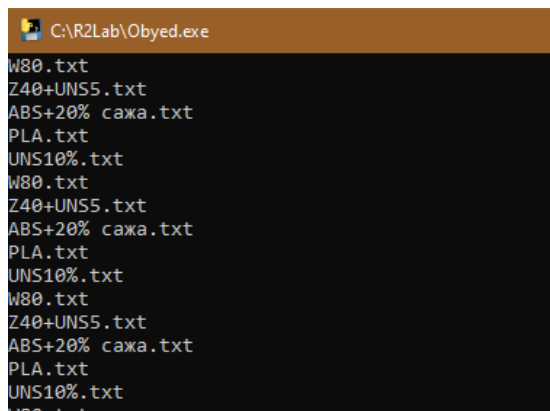


Рисунок 41 – Процесс создания картинок в .png формате

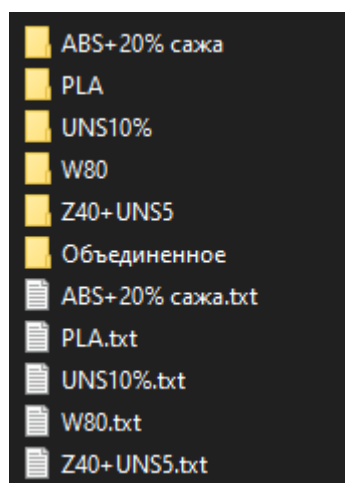


Рисунок 42 – Созданные одноименные каталоги со вложенными графиками

В каталоге «Объединенное» находятся графики зависимостей для сравнительного анализа замеренных и рассчитанных характеристик материалов (рисунок 43).

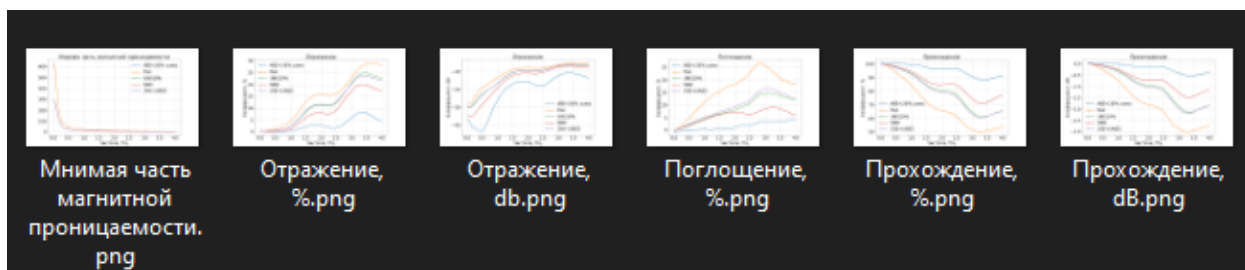


Рисунок 43 – Графики в каталоге «Объединенное»

Таким образом, просматривая сгенерированные графики в папке «объединенное» можно сделать предварительные сравнение электрофизических характеристик (рисунки 44–46).

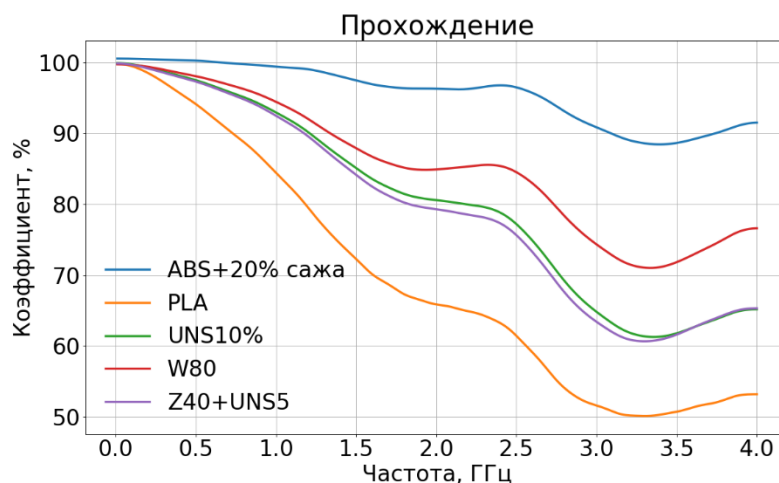


Рисунок 44 – График сравнения $T_{\%}$ материалов

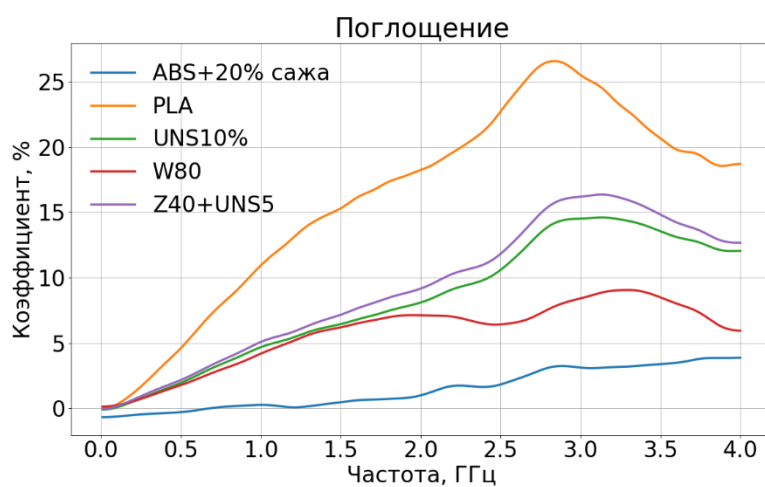


Рисунок 45 – График сравнения $A_{\%}$ материалов

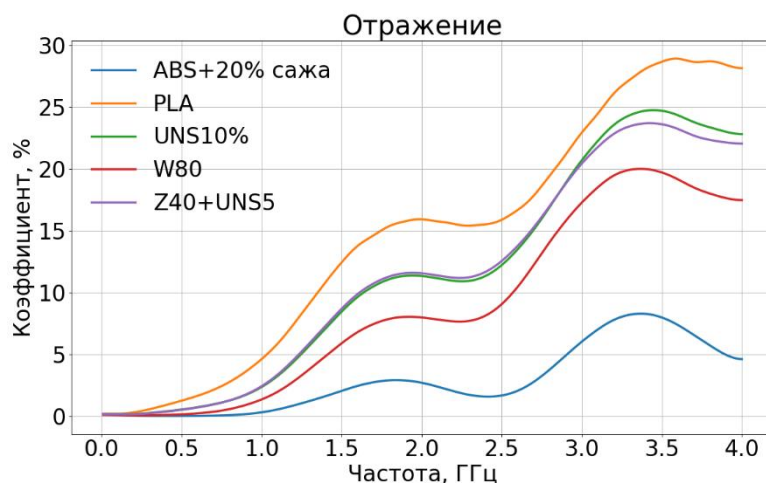


Рисунок 46 – График сравнения $R_{\%}$ материалов

Анализируя рисунки 44–46 можно сделать следующие выводы:

- экспериментальный образец под названием «PLA» наиболее эффективен для поглощения электромагнитных волн в заданном частотном диапазоне по сравнению с другими материалами;
- в начале частотного диапазона все образцы обладают минимальными значениями коэффициента отражения, которые с ростом частоты начинают нелинейно возрастать.

4.2 Расчет значений мнимой части магнитной проницаемости с использованием программы R2MNEW.vi

Рассмотрим пример использования программы для решения следующей задачи: произвести расчет мнимой части магнитной проницаемости по измеренному значению коэффициента отражения. Провести сравнительный анализ электромагнитного отклика от композитов. Подготовленные материалы: $\text{BaCo}_{0.6}\text{Zn}_{1.4}\text{Fe}_{16}\text{O}_{27}$ – 80 масс. % и 20 масс. % связующего материала, $\text{BaCo}_{0.7}\text{W}$ – 80 масс. % и 20 масс. % связующего материала, КЖ – 70 масс. % и 30 масс. % связующего материала, М400НН – 80 масс. % и 20 масс. % связующего материала, ТФ640 – 60 масс. % и 40 масс. % связующего материала. Толщина материалов, замеренная микрометром, составляет 2,19 мм.

Расчет коэффициентов мнимой части магнитной проницаемости осуществляется по формуле (41), измерение материалов проводится методом «на отражение» [11].

На первом этапе работы необходимо произвести запуск программы и настроить параметры в соответствии с задачей, т.е. указать: IP адрес прибора, начальную частоту 10 МГц, конечную частоту 4 ГГц, а также необходимое количество точек и толщину материала. Пример настройки показан на рисунке 47.

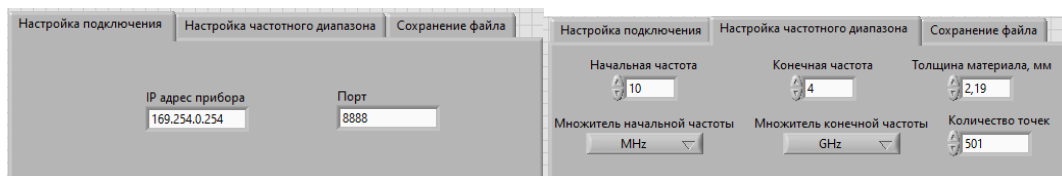


Рисунок 47 – Начальные настройки программы

После нажатия кнопки «START» запускается программа «Graphit» (рисунок 48) и устанавливается связь с прибором P2M.



Рисунок 48 – Фрагмент программы «Graphit», уведомляющий об успешном подключении к прибору P2M

После успешного подключения окно программы «Graphit» исчезает и работает в фоновом режиме, по-прежнему осуществляя роль посредника.

Затем требуется произвести калибровку на отражение. Для этого нажимается кнопка «STOP» и подключается короткозамыкатель (отражатель СВЧ волн) на выход ячейки датчика КСВ (рисунок 49).



Рисунок 49 – Подключенный короткозамыкатель с коаксиальной ячейкой

После подключения короткозамыкателя нажимается кнопка «START». Показания коэффициентов отражения при подключенном короткозамыкателе без учета калибровки показан на рисунке 50.

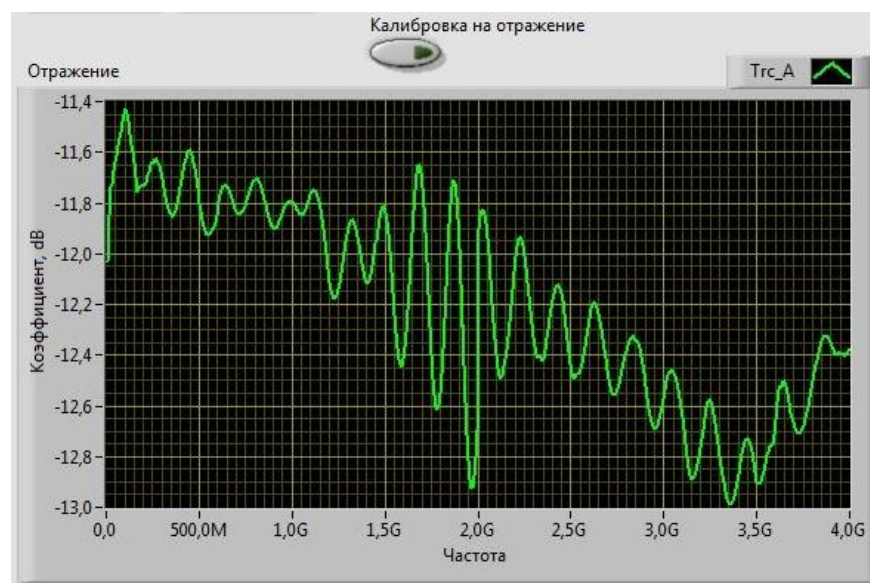


Рисунок 50 – Графики коэффициентов отражения

Калибровка значений коэффициентов отражения происходит при нажатии кнопки «Калибровка на отражение» (рисунок 51).

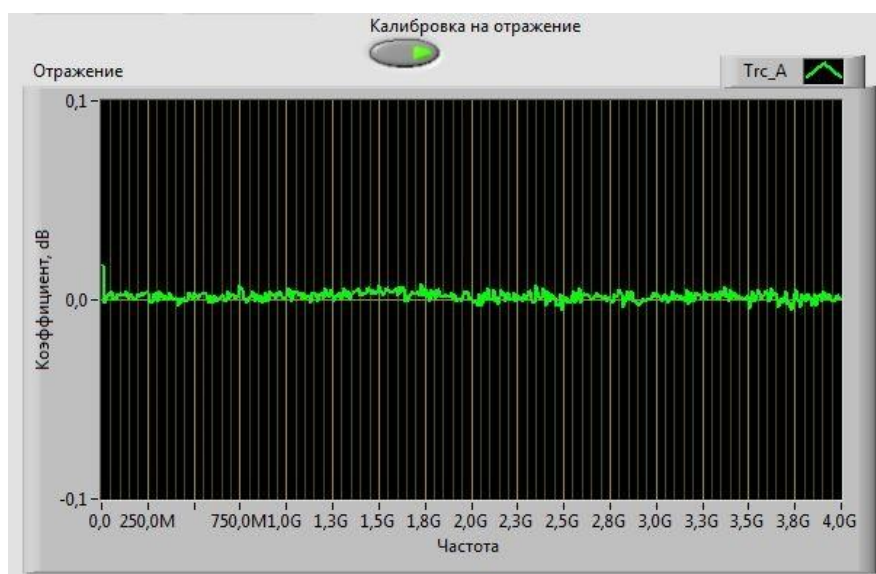


Рисунок 51 – Откалиброванные значения коэффициентов отражения

После выполнения калибровок, помещается первый подготовленный образец $\text{BaCo}_{0,6}\text{Zn}_{1,4}\text{Fe}_{16}\text{O}_{27}$ – 80 масс. % в коаксиальную ячейку. График измеренных коэффициентов отражения в децибелах с учетом калибровки для данного материала показаны на рисунке 52.

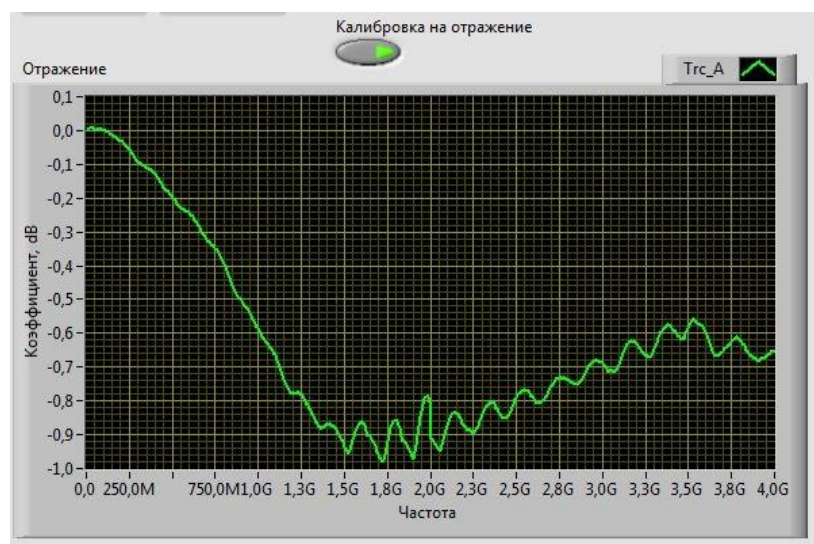


Рисунок 52 – Измеренные коэффициенты отражения материала

В режиме реального времени производится вычисление и отображение на графиках значений коэффициентов отражения в процентах (рисунок 53) и значений мнимой части магнитной проницаемости (рисунок 54), рассчитанных по формулам (37) и (41) соответственно.

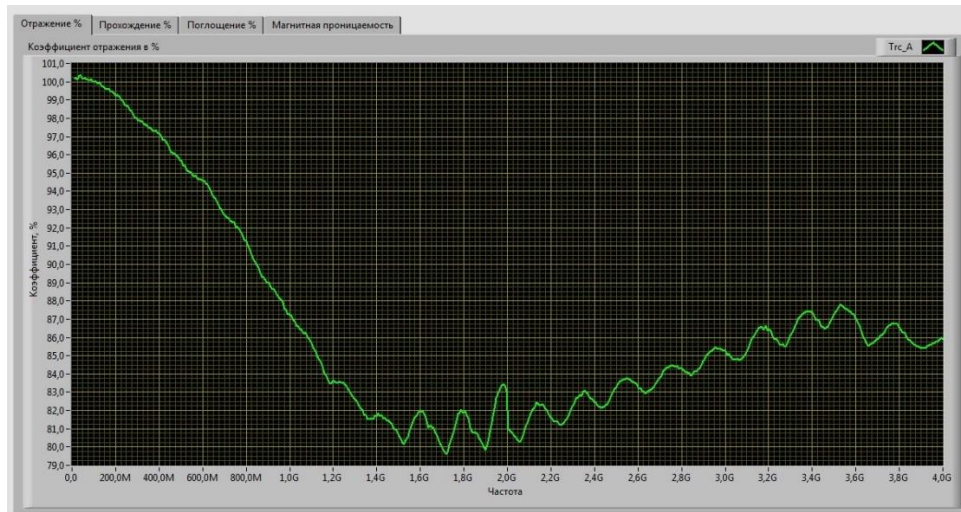


Рисунок 53 – Рассчитанные коэффициенты $R_{\%}$

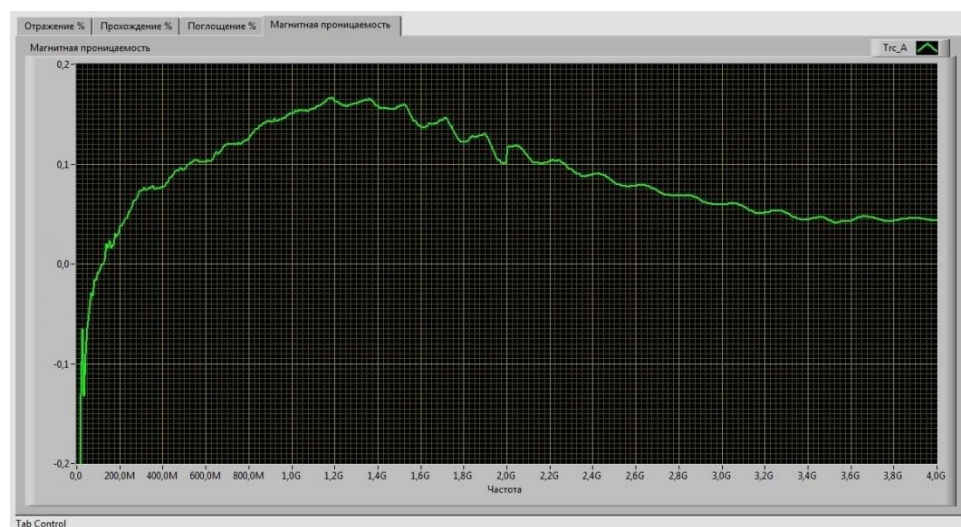


Рисунок 54 – Рассчитанные значения μ''

Как видно на рисунке 54, на низких частотах мнимая часть магнитной проницаемости принимает отрицательные значения. Это связано с тем, что при эксперименте была использована не полностью исправленная коаксиальная ячейка, из-за которой на низких частотах прибор измеряет коэффициенты отражения и прохождения недостаточно точно.

При нажатии на кнопку «STOP», программа переходит в режим ожидания, без удаления первоначальных настроек и калибровочных данных. Заменяв материал в коаксиальной ячейке, нажимаем кнопку «START», программа вновь считывает параметры. После замеров электрофизических параметров требуемых материалов в

указанном каталоге находятся сохраненные файлы с названиями всех измеренных материалов, указанных в ходе проведения измерений (рисунок 55).

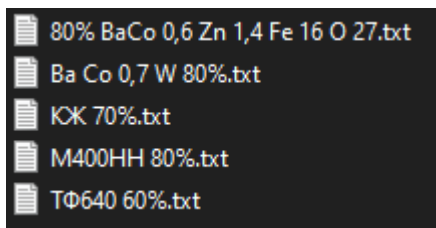


Рисунок 55 – Сохраненные данные измерений для материалов

На основе текстовых файлов с помощью программы Obyed.exe, которая была написана на языке программирования Python, генерируются графики для сравнения параметров измеренных материалов формата .png (рисунки 56–58).

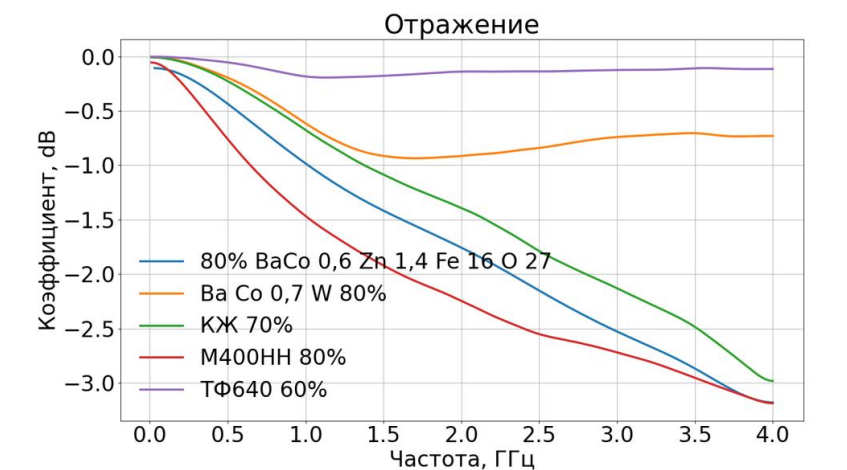


Рисунок 56 – График сравнения R_{dB} материалов

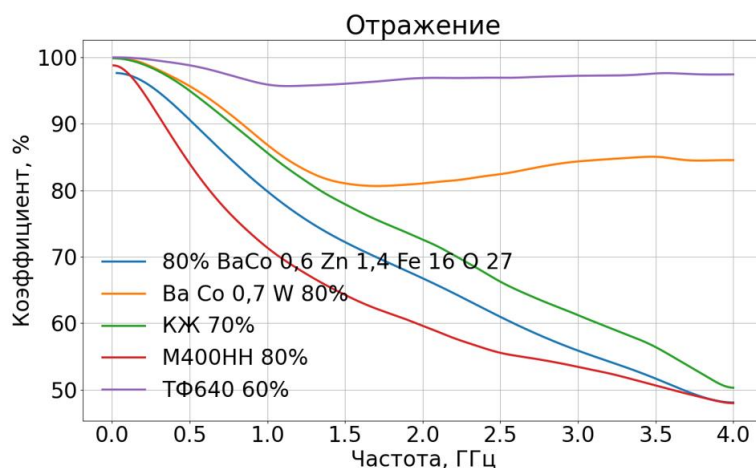


Рисунок 57 – График сравнения $R_{\%}$ материалов

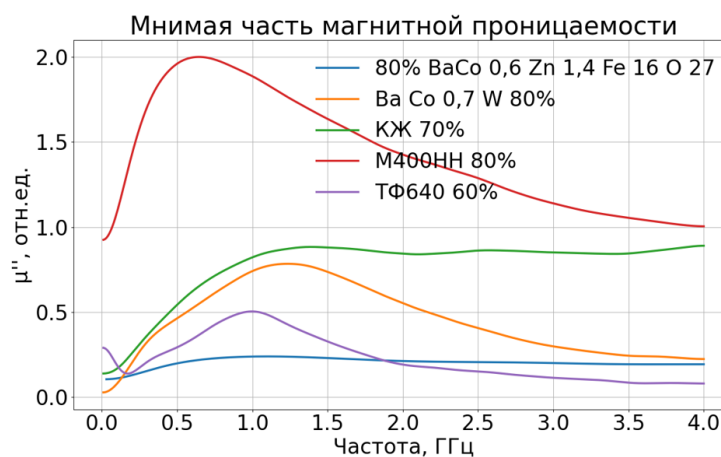


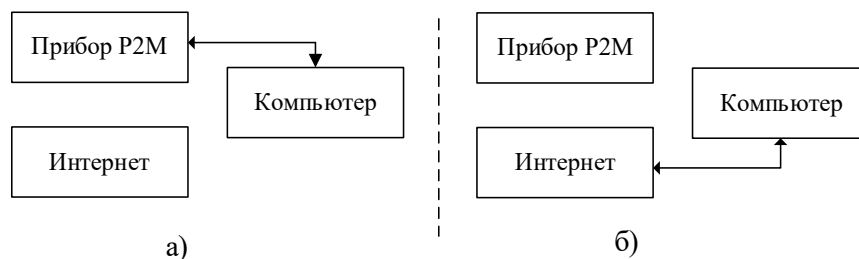
Рисунок 58 – График сравнения μ'' материалов

Исходя из полученных графиков (рисунки 56–58) можно сделать вывод о том, что материал под названием «М400НН 80%» имеет значение мнимой части магнитной проницаемости выше по сравнению с другими образцами. Это означает, что потери электромагнитных волн в нём будут максимальны.

5 Удаленный доступ к Р2М

5.1 Прямое подключение к прибору Р2М

В скалярном анализаторе цепей Р2М используется интерфейс Ethernet для непосредственного подключения к компьютеру или к оборудованию локальной вычислительной сети. В соответствии с этим подключение осуществляется напрямую (рисунок 59, а), так как данное подключение не предполагает никаких настроек. Недостатком данного подключения является то, что прибор, работая с локальным компьютером, не имеет доступ в интернет. После использования скалярного анализатора цепей необходимо вручную осуществлять подключение компьютера к интернету (рисунок 59, б).



а – прямое подключение компьютера к прибору Р2М; б – прямое подключение компьютера к интернету

Рисунок 59 – Прямые подключения

5.2 Локальная сеть прибора Р2М

Для решения этой проблемы было принято решение организовать локальную сеть (рисунок 60). Для этого подключается маршрутизатор (роутер), где в порт WAN подключается кабель для выхода в интернет, в порт LAN1 – прибор Р2М, в остальные порты LAN – компьютеры и прочие устройства [14].

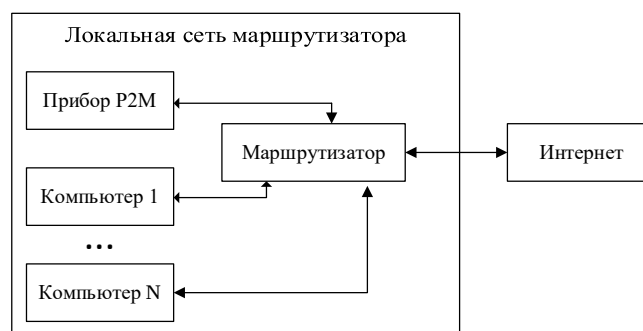


Рисунок 60 – Подключение компьютера и Р2М к маршрутизатору

Однако при таком подключении может произойти конфликт между маршрутизатором и прибором P2M. Это связано с тем, что роутер обычно присваивает всем подключенным устройствам локальные IP-адреса по стандартным настройкам в пределах от 192.168.x.2 до 192.168.x.255, где x принимает значения 0 или 1 [14], а заводской IP-адрес прибора P2M 164.254.0.254 не входит в заданные пределы.

Чтобы решить данную проблему существует два варианта. Первый вариант заключается в том, чтобы поменять пределы присвоения локальных IP-адресов в маршрутизаторе от 164.254.0.2 до 164.254.0.254 (рисунок 61). Второй вариант – задать IP-адрес прибора вручную, чтобы он входил в необходимый диапазон (например, 192.168.x.254). Данный вариант осуществить не получилось по причине отсутствия необходимых переключателей на имеющемся скалярном анализаторе цепей P2M, которые позволяют выйти в меню настроек.

The image shows a web-based configuration interface for a router, divided into two main sections: "ROUTER SETTINGS" and "DHCP SERVER SETTINGS".

ROUTER SETTINGS

Use this section to configure the internal network settings of your router. The IP Address that is configured here is the IP Address that you use to access the Web-based management interface. If you change the IP Address here, you may need to adjust your PC's network settings to access the network again.

Router IP Address : 169.254.0.1

Subnet Mask : 255.255.255.0

Device Name : dlinkrouter

Local Domain Name : (optional)

Enable DNS Relay : ☒

DHCP SERVER SETTINGS

Use this section to configure the built-in DHCP Server to assign IP addresses to the computers on your network.

Enable DHCP Server : ☒

DHCP IP Address Range : 169.254.0.2 to 169.254.0.254

DHCP Lease Time : 1440 (minutes)

Always Broadcast : ☒ (compatibility for some DHCP Clients)

NetBIOS announcement : ☐

Learn NetBIOS from WAN : ☐

NetBIOS Scope : (optional)

NetBIOS node type : ☒ Broadcast only (use when no WINS servers configured)
☐ Point-to-Point (no broadcast)
☐ Mixed-mode (Broadcast then Point-to-Point)
☐ Hybrid (Point-to-Point then Broadcast)

Primary WINS IP Address : 0.0.0.0

Secondary WINS IP Address : 0.0.0.0

Рисунок 61 – Настройка LAN и сервера DHCP в модеме

После выполнения данной настройки локальная сеть, показанная на рисунке 60, функционирует полноценно. Каждый компьютер в локальной сети имеет

одновременно доступ и к прибору P2M, и к интернету. Для подключения к прибору в локальной сети нужно ввести в поле «IP-адрес прибора» 164.254.0.254 (рисунок 62). Однако при таком способе подключения компьютеры, находящиеся не в локальной сети роутера, не смогут подключиться к прибору P2M [14].

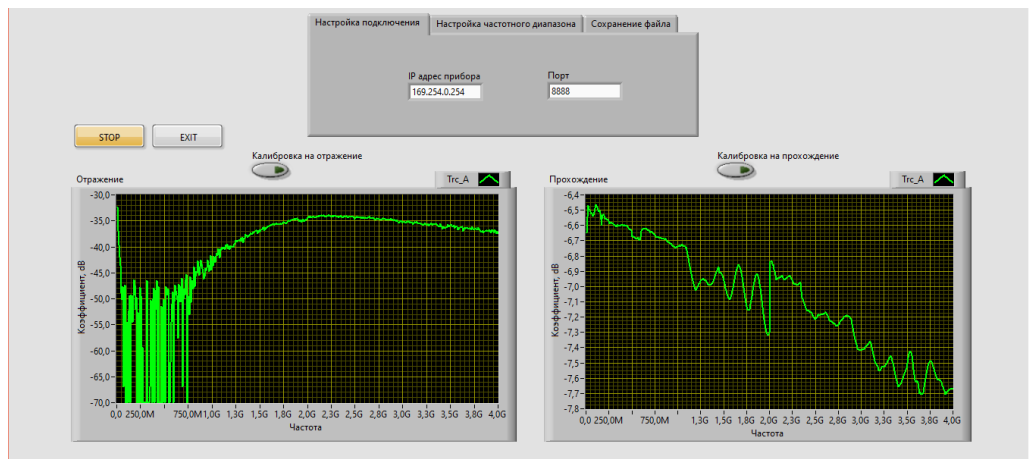


Рисунок 62 – Результат работы программы при подключении к прибору в локальной сети маршрутизатора

5.3 Подключение к прибору P2M в сети радиофизического факультета

На рисунке 63 показана структурная схема локальной сети в учебном корпусе РФФ. Можно сделать вывод о том, что возможно подключение к прибору P2M с любого компьютера, который подключен к сети на радиофизическом факультете.

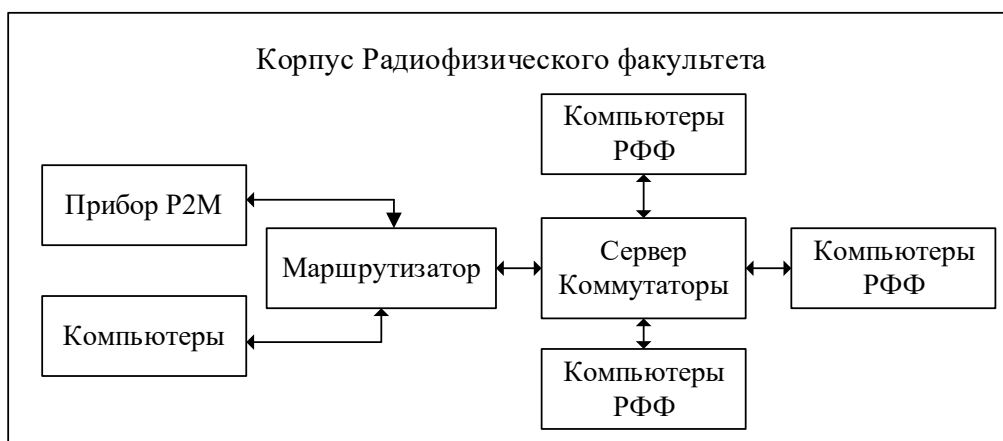


Рисунок 63 – Схема сети в учебном корпусе

Для того, чтобы компьютеры на РФФ могли подключаться к прибору, необходимо у роутера, к которому подключен P2M, открыть порт. Поскольку

полный заводской IP-адрес прибора 168.254.0.254:8888, где 8888 – номер порта, то тогда открыть и перенаправить нужно порт 8888. На рисунке 64 показан процесс настройки переадресации порта.

24 — VIRTUAL SERVERS LIST					
	Name	IP Address	Port	Traffic Type	
☒	r2m	169.254.0.254	Public Port: 8888 Private Port: 8888	Protocol: Both	Schedule: Always

Рисунок 64 – Сохраненная запись об открытом порте в памяти роутера

Теперь нужно узнать IP-адрес маршрутизатора. Данная информация находится в разделе WAN (рисунок 65).

WAN

Connection Type : DHCP Client
Cable Status : Connected
Network Status : Connected
Connection Up Time : 0 Day, 0:06:56
 DHCP Renew DHCP Release
MAC Address : 1c:7e:e5:38:cb:fd
IP Address : 10.52.0.47
Subnet Mask : 255.255.255.0
Default Gateway : 10.52.0.1
Primary DNS Server : 1.1.1.1
Secondary DNS Server : 82.200.70.8
Advanced DNS : Disabled

Рисунок 65 – WAN параметры роутера

После проведенных настроек получим, что при обращении к порту 8888 маршрутизатора, происходит перенаправление на прибор Р2М. Для подключения к прибору в сети РФФ нужно ввести в поле «IP-адрес прибора» IP-адрес роутера (рисунок 66).

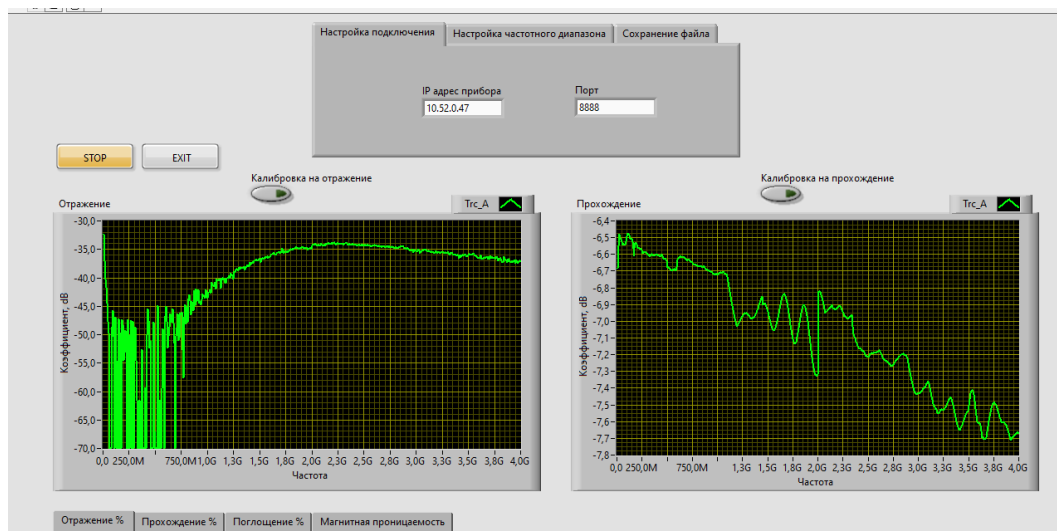


Рисунок 66 – Результат работы программы при подключении к прибору в сети РФФ

5.4 Подключение к прибору P2M из глобальной сети Интернет

На рисунке 67 полная структурная схема сети радиофизического факультета.

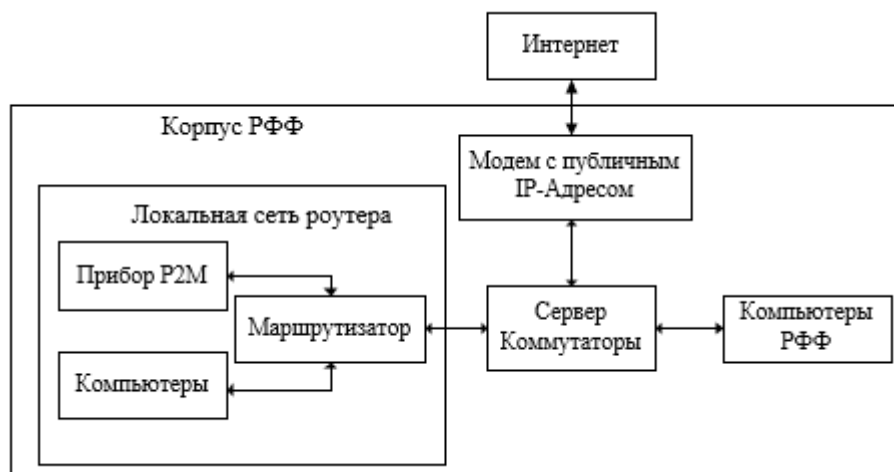


Рисунок 67 – Структура сети РФФ

В сети РФФ все внутренние компьютеры и маршрутизаторы имеют локальные IP-адреса, а выходят в сеть интернет с помощью публичного одного IP-адреса. Это говорит о том, что из глобальной сети Интернет по локальным IP-адресам подключиться к прибору не получится [14].

Чтобы подключиться к P2M из глобального Интернета, необходимо открыть порт на модеме с публичным IP-адресом и переадресовать на IP-адрес маршрутизатора, к которому подключен прибор P2M [14, 15]. Для того, чтобы

локальный IP-адрес роутера не менялся спустя время или из-за перезагрузки, нужно прописать в настройках сервера, который автоматически распределяет локальные IP-адреса компьютерам и маршрутизаторам сети РФФ, статический локальный IP-адрес роутера, к которому подключен прибор P2M. Для этого нужно знать его физический адрес (MAC-адрес), который указан на рисунке 65 [14, 15].

Поскольку студенты не имеют доступа к серверу и к модему с публичным IP-адресом, то необходимо обратиться к сетевому администратору РФФ. После указаний необходимых данных, был открыт порт 20023 и таким образом, прибор P2M стал доступен по адресу 92.63.68.52:20023 из любой точки интернета (рисунки 68 и 69).

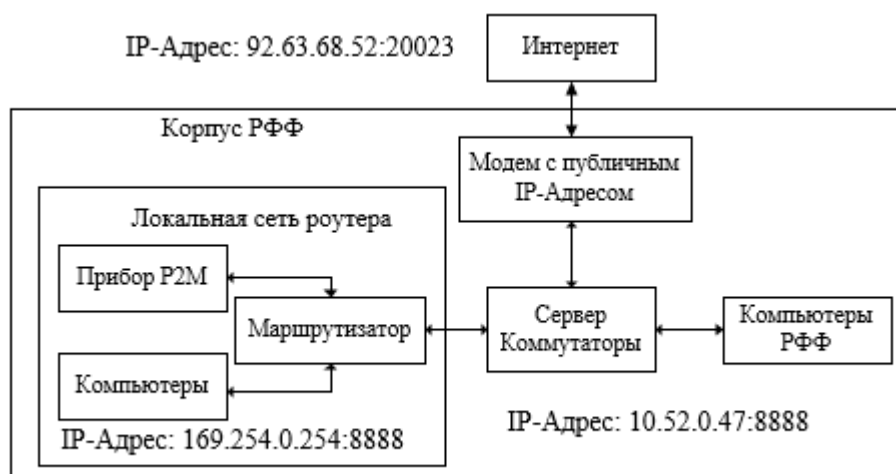


Рисунок 68 – Схема удаленного доступа к прибору P2M из различных точек



Рисунок 69 – Результат работы программы при подключении к прибору из интернета

6 Проектная работа в системе Moodle

Развитие технологий порождает в обществе потребность в высококвалифицированных кадрах. Неотъемлемой частью подготовки таких специалистов является выполнение лабораторного практикума по различным дисциплинам. Для получения у студентов навыков работы по автоматизации эксперимента была подготовлена проектная работа и размещена в системе дистанционного обучения Moodle. Данная система в течение нескольких лет используется на радиофизическом факультете для электронного сопровождения лекционных занятий, семинаров, а также лабораторных и практических работ. Каждый студент радиофизического факультета зарегистрирован в СДО Moodle, что позволяет ему беспрепятственно просматривать те курсы, на которые он записан [16, 17].

Проектная работа «Измерение мнимой части магнитной проницаемости композиционных материалов на приборах серии P2M» дает студентам следующие навыки: работа со скалярным анализатором цепей P2M; основы управления прибором с помощью программы, разработанной на графическом языке LabVIEW; организация удаленного управления прибором. На рисунке 70 приведен фрагмент электронного курса, содержащего описание проектной работы.

Скалярный анализатор цепей P2M



Скалярный анализатор цепей P2M предназначен для измерения в коаксиальном тракте модуля коэффициента передачи (ослабления и усиления) и модуля коэффициента отражения или коэффициента стоячей волны по напряжению (КСВН); одновременного измерения модулей коэффициента передачи и отражения.

-  Инструкция по управлению прибором P2M (эмулятором P2M) из среды программирования LabVIEW
-  Задание 1. Задание частотного диапазона
-  Задание 2. Отображение двух графиков (Коэффициентов отражения и прохождения)
-  Задание 3. Добавление калибровки
-  Задание 4. Расчет мнимой части магнитной проницаемости, R, T, A
-  Задание 5. Вывод текстовых файлов
-  Задание 6. Организация удаленного доступа
-  Программа для управления прибором P2M — Graphit
-  Документация с сайта производителя "Микран"
-  Сдать отчет "Управление скалярным анализатором цепей P2M с помощью среды программирования LabVIEW"

Рисунок 70 – Фрагмент электронного курса с описанием

Информационные и методические материалы по проектной работе включают:

- документацию по прибору P2M;
- программу для управления прибором P2M – «Graphit»;
- инструкцию по управлению прибором P2M из среды программирования LabVIEW;
- набор заданий по работе с прибором.

Первое задание направлено на установление определенного частотного диапазона работы программы с возможностью выбора множителя частоты в соответствии с версией скалярного анализатора цепей P2M, на котором работает студент.

Второе задание предусматривает вывод на лицевую панель программы двух графиков, на которые будут отображать значения коэффициентов отражения и прохождения измеряемых композиционных материалов в дБм в зависимости от частотного диапазона.

Для того, чтобы обрабатывать результаты измерений электрофизических параметров композиционных материалов необходимо произвести калибровку измерительной ячейки для получения более точных данных. Для этого студент должен ознакомиться с методическими указаниями по третьему заданию и выполнить их. После реализации в программе возможности калибровки, студент должен преобразовать откалиброванные значения коэффициентов отражения и прохождения композитов из дБм в проценты. На этом этапе появится возможность получить не только значения коэффициентов отражения и прохождения в процентах, но также и получить значения коэффициента поглощения в процентах, значение мнимой части магнитной проницаемости. Данные параметры студент также должен вывести на отдельные графики.

На четвертом этапе работы студенту предлагается сохранить полученные электрофизические параметры в зависимости от частот, на которых проводились исследования композита, в формате .txt и .xls.

Пятое задание направлено на организацию удаленного доступа к прибору. Поскольку осуществлять доступ из глобальной сети интернет во время выполнения работы нецелесообразно из-за безопасности и большого количества требуемых

открытых портов на сервере, то организовывать удаленное взаимодействие с прибором студент будет только для локальной сети радиофизического факультета.

В курсе также предусмотрена возможность отправки студентами на проверку электронного отчета по работе.

Использование такого рода заданий позволит студентам получить опыт работы на современном измерительном оборудовании и может пригодиться им при выполнении курсовых, проектных и квалификационных работ.

7 Требования техники безопасности при работе с СВЧ аппаратурой

Перед началом проведения работ на СВЧ аппаратуре необходимо визуально проверить целостность электрических проводов, сетевых фильтров, розеток, устройств защитного отключения (УЗО). Также необходимо подготовить рабочее место, для этого необходимо навести порядок на рабочем месте, обеспечить достаточную освещенность, убрать все посторонние предметы и приборы. Нужно создать такие условия для работы, чтобы иметь оптимальный обзор всех приборов и установок, обеспечить доступность к их органам управления и возможность быстрого отключения приборов от электросети [18].

Во время проведения работ защита работника, обслуживающего СВЧ оборудование достигается:

- уменьшением излучения непосредственно от самого источника излучения;
- экранированием источника излучения;
- экранированием рабочего места у источника излучений.

Необходимо выполнять только порученную преподавателем работу. Не допускается одновременно выполнять или участвовать в выполнении других работ. Поэтому нельзя включать в сеть установки и приборы, не имеющие отношения к выполняемой работе.

Во время работы на экспериментальных установках следует:

- не прикладывать излишних усилий к органам управления приборов (все необходимые регулировки и подстройки осуществлять в полном соответствии с инструкцией по эксплуатации приборов);
- переставлять приборы, изменять коммутацию электрических цепей только при отключенном электрооборудовании;
- коммутируя СВЧ тракты, понижать излучаемую в пространство электромагнитную энергию до безопасных пределов путем введения максимального затухания выходного аттенюатора или вовсе отключать генератор СВЧ;
- плотно стягивать фланцы волноводных узлов измерительного тракта болтами или струпцинами;
- при появлении в установке неисправностей или отклонений от нормальной работы приборов (отсутствие или периодическое пропадание сигналов,

искрение, звук электрического разряда, появление дыма или запаха горелой изоляции) необходимо выключить установку и сообщить об этом ведущему преподавателю или дежурному инженеру. Повторное включение установки в сеть допускается лишь после проверки ее исправности ведущим преподавателем (дежурным инженером) и с его разрешения.

При работе на экспериментальных установках запрещено прикасаться к открытым токоведущим частям приборов и изменять электрическую коммутацию элементов лабораторной установки при включенных источниках высокого напряжения. Также запрещается проверять наличие СВЧ мощности по тепловому эффекту на любой части тела и заглядывать в открытый конец СВЧ тракта при включенном источнике мощности.

По окончании работы необходимо отключить все устройства, кроме работающих в непрерывном режиме, от электросети, навести порядок на рабочем месте и сообщить руководителю об окончании работы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В процессе выполнения работы:

- разработана программа для автоматизации процесса измерения электромагнитного отклика от композиционных материалов на приборе серии P2M;
- проведены измерения электрофизических характеристик нескольких композиционных материалов и рассчитаны значения мнимой части магнитной проницаемости;
- освоены различные режимы работы скалярного анализатора цепей;
- организован удаленный доступ к прибору;
- подготовлена проектная работа, содержащая в себе программное и методическое обеспечение для работы с используемым измерительным оборудованием, а также подготовлен раздел «Скалярный анализатор цепей P2M» в электронном курсе «Программирование измерительной аппаратуры в системе LabVIEW».

Разработанное программное обеспечение позволяет сократить время на получение коэффициентов отражения, прохождения, поглощения, а также значений мнимой части магнитной проницаемости материалов. Данная программа используется в Центре радиофизических измерений, диагностики и исследования параметров природных и искусственных материалов, которое является структурным подразделением в составе Научного управления ТГУ.

Результаты данной работы представлены на:

- Международной научно-студенческой конференции «МНСК – 2020»;
- XIV Международной конференции «Новые информационные технологии в исследовании сложных структур ICAM – 2020»;
- 18 Всероссийской конференции Студенческих научно-исследовательских инкубаторов «СНИИ – 2021»;
- Международной научно-студенческой конференции «МНСК – 2021»;
- Международной научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных «Научная сессия ТУСУР – 2021».

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

- Vasilenko R. A. Electromagnetic characteristics of composite materials based on hexaferrite powders and a silicone binder / R.A. Vasilenko, O.S. Zhabin, G.E. Kuleshov // JPCS. – 2020. – Vol. 1488. – P. 012013-1–012013-7.
- Vasilenko R. A. Use of information technologies in the laboratory practice in the course "Measuring instruments and devices in radio engineering" / R. A. Vasilenko O. S. Zhabin // JPCS. – 2020. – Vol. 1680. – P. 012054-1–012054-5.
- Василенко Р. А. Информационное обеспечение лабораторной работы «Измерение композиционных материалов на приборе серии P2M» / О.С. Жабин, Р.А. Василенко, // Информационные технологии: Материалы 59-й Международной научно-студенческой конференции 12–23 апреля 2021 г. – Новосибирск: НГУ, 2021. – С. 46.
- Василенко Р.А. Информационное обеспечение программно-аппаратного комплекса LabVIEW–P2M / О.С. Жабин, Р. А Василенко // Восемнадцатая всероссийская конференция студенческих научно-исследовательских инкубаторов 5–7мая 2021г. – Томск: STT, 2021. – С. 200.

Также было оформлено:

- Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ RU 2020666056. Программа получения и обработки данных со скалярных анализаторов цепей серии P2M при измерении электромагнитных характеристик композиционных материалов / А. А. Жуков, О. С. Жабин, Р. А. Василенко, Г. Е. Кулешов, В. И. Суслиев (RU) ; правообладатель ФГАОУВО «Национальный исследовательский Томский государственный университет». – № 2020666056 ; заявл. 02.12.2020 ; опубл 04.12.2020. – 1 с.

Выражаю благодарность:

- центру коллективного пользования «ЦКП радиоизмерений ТГУ» за предоставленное оборудование и образцы измерений;
- Кулешову Григорию Евгеньевичу и Журавлеву Виктору Алексеевичу за помощь в организации и проведении измерений.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ И ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Композитный материал // Википедия: свободная энциклопедия. – [Б. м.], 2019. – URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Композитный_материал (дата обращения: 17.01.2022).
- 2 Ильиных Е. Л. Углерод-углеродные композиционные материалы и технология изготовления излучателей из углерод-углеродных композиционных материалов // Аэрокосмическая техника, высокие технологии и инновации. – Пермь, 2015. – Т. 1. – С. 166–170.
- 3 Пильцов М. В. Разработка систем сбора данных на основе платформы Arduino и языка программирования Python // Современные технологии и научно-технический прогресс. – Ангарск, 2018. – Т. 1. – С. 84–85.
- 4 Руководство по эксплуатации Р2М-04. Общие сведения // ЗАО «НПФ «Микран». – [Томск], 2011. – URL: http://download.micran.ru/kia/Manual/Library/R2M/User_Manual/R2M-04-UM-001_part1.pdf (дата обращения: 17.01.2022).
- 5 Руководство по программному обеспечению Р2М-04. Часть II // ЗАО «НПФ «Микран». – [Томск], 2011. – URL: http://download.micran.ru/kia/Manual/Library/R2M/User_Manual/R2M-04-UM-001_part2.pdf (дата обращения: 17.01.2022).
- 6 Zhuravlev V. A. Electromagnetic waves absorbing characteristics of composite material containing carbonyl iron particles / V. A. Zhuravlev, V. I. Suslyaev, E. Yu. Korovin, K. V. Dorozhkin // Materials Sciences and Applications. – 2014. – Vol. 5, № 11. – P. 803–811.
- 7 Shanenkov I. Magnetite hollow microspheres with a broad absorption bandwidth of 11.9 GHz: Toward promising lightweight electromagnetic microwave absorption / I. Shanenkov, Q. Guo, G. Wei [et al.] // PCCP: Physical Chemistry Chemical Physics. – 2017. – Vol. 19, № 30. – P. 19975–19983.
- 8 LabVIEW // Википедия: свободная энциклопедия. – [Б. м.], 2019. – URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/LabVIEW> (дата обращения: 17.01.2022).
- 9 Сиротский А.А. Компьютеризированные средства автоматизации контрольно-измерительных операций на основе технологии LabVIEW / А.А.

Сиротский, Е.Г. Мурачёв, И.Н. Дорохов // Известия Московского государственного технического университета МАМИ. – М., 2009. – № 1. – С. 179–185.

10 Савочкин А.А. Использование языка программирования LabVIEW при разработке измерительного оборудования / А.А. Савочкин, А.А. Слободенюк // Вісник СевНТУ. – Севастополь, 2012. – № 131. – С. 90–94.

11 Чечерников В.И. Магнитные измерения / В.И. Чечерников // – М.: Изд-во МГУ, 1969. – 388 с.

12 Matplotlib // Википедия: свободная энциклопедия. – [Б. м.], 2019. – URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Matplotlib> (дата обращения: 17.01.2022).

13 Каморкин П.А. Применение фильтра Гаусса для определения геометрических параметров качества поверхности профильным методом // Прогресивні технології і системи машинобудування. – 2013. – № 2. – С. 139–146.

14 Брайан Х. Полный справочник по Cisco / Х. Брайан // – М.: Издательский дом «Вильямс», 2004. – 1078 с.

15 Веретенников, И. С. Построение каналов связи в корпоративной сети // Синергия Наук. – М., 2018. – № 22. – С. 845–851.

16 Жуков А.А. Организация электронного обучения на радиофизическом факультете // Лучшие практики электронного обучения. Материалы II методической конференции. – Томск, 2016. – С. 29–35.

17 Иванова, В. М. Использование электронных учебных курсов MOODLE как средство повышения качества университетского образования // Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры: Материалы Всероссийской научно-методической конференции (с международным участием), Оренбург, 23–25 января 2020 года. – Оренбург, 2020. – С. 4222–4226.

18 ГОСТ Р 50829-95. Безопасность радиостанций, радиоэлектронной аппаратуры с использованием приемопередающей аппаратуры и их составных частей. Общие требования и методы испытаний. – Введ. 1997–01–01. – М.: Стандарт информ, 1996. – 40 с.



Отчет о проверке на заимствования №1



Автор: Василенко Роман

Проверяющий: Василенко Роман (rc9hb@mail.ru / ID: 6752666)

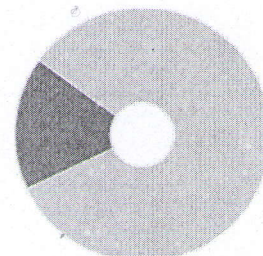
Отчет предоставлен сервисом «Антиплагиат» - users.antiplagiat.ru

ИНФОРМАЦИЯ О ДОКУМЕНТЕ

№ документа: 20
Начало загрузки: 23.01.2022 10:45:25
Длительность загрузки: 00:00:02
Имя исходного файла: Василенко Р.А.
дипломная работа.pdf
Название документа: Василенко Р.А.
дипломная работа
Размер текста: 63 кБ
Символов в тексте: 64849
Слов в тексте: 7914
Число предложений: 401

ИНФОРМАЦИЯ ОБ ОТЧЕТЕ

Начало проверки: 23.01.2022 10:45:27
Длительность проверки: 00:00:04
Комментарии: не указано
Модули поиска: Интернет Free



ЗАИМСТВОВАНИЯ

16,71%

САМОЦИТИРОВАНИЯ

0%

ЦИТИРОВАНИЯ

0%

ОРИГИНАЛЬНОСТЬ

83,29%

Заимствования — доля всех найденных текстовых пересечений, за исключением тех, которые система отнесла к цитированиям, по отношению к общему объему документа.

Самоцитирования — доля фрагментов текста проверяемого документа, совпадающий или почти совпадающий с фрагментом текста источника, автором или соавтором которого является автор проверяемого документа, по отношению к общему объему документа.

Цитирования — доля текстовых пересечений, которые не являются авторскими, но система посчитала их использование корректным, по отношению к общему объему документа. Сюда относятся оформленные по ГОСТу цитаты; общепотребительные выражения; фрагменты текста, найденные в источниках из коллекций нормативно-правовой документации.

Текстовое пересечение — фрагмент текста проверяемого документа, совпадающий или почти совпадающий с фрагментом текста источника.

Источник — документ, проиндексированный в системе и содержащийся в модуле поиска, по которому проводится проверка.

Оригинальность — доля фрагментов текста проверяемого документа, не обнаруженных ни в одном источнике, по которым шла проверка, по отношению к общему объему документа.

Заимствования, самоцитирования, цитирования и оригинальность являются отдельными показателями и в сумме дают 100%, что соответствует всему тексту проверяемого документа.

Обращаем Ваше внимание, что система находит текстовые пересечения проверяемого документа с проиндексированными в системе текстовыми источниками. При этом система является вспомогательным инструментом, определение корректности и правомерности заимствований или цитирований, а также авторства текстовых фрагментов проверяемого документа остается в компетенции проверяющего.

№	Доля в отчете	Источник	Актуален на	Модуль поиска
[01]	9,67%	http://vital.lib.tsu.ru/vital/access/services/Download/vital:6056/SOURCE01 http://vital.lib.tsu.ru	07 Сен 2020	Интернет Free
[02]	4,24%	2282.Исследование поляризации электромагнитных волн Руководство к лабораторной работе для бакалавр. http://docme.ru	09 Мая 2017	Интернет Free
[03]	0,9%	Проект контракта на поставку для нужд открытого акционерного общества «Марийский машиностроительный завод» комплекта оборудования, состоящего из приборов «Измеритель модуля коэффициента передачи и отражения» P2M-18/2, «Микран», Россия в исполнении «N» ... http://pandla.org	24 Авг 2018	Интернет Free

Еще источников: 7

Еще заимствований: 1,89%

Научный руководитель

А.А. Жуков