

## **Исследование поглощения электромагнитных волн бытовыми диэлектриками**

Ливадонов Даниэль Валерьевич

2 курс ГБПОУ Нижегородский радиотехнический колледж, Научное объединение «Школа юного исследователя» АНО ДО «Академ клуб», ИПФ РАН

Минеев Кирилл Владимирович, ИПФ РАН, научный сотрудник, кандидат технических наук

*В процессе работы рассмотрена возможность применения технологий 3д печати в изготовлении корпусов с радиопрозрачными свойствами. В результате проведения исследований было выявлено что такие пластмассы как PLA и PETG, вполне рентабельны в изготовлении радиопрозрачных корпусов, а ABS пластик с содержанием углерода, подходит по свойствам для изготовления радиопоглощающих, радиоотражающих корпусов.*

Хоть на сегодняшний день создано достаточное количество специальных радиопрозрачных и радиопоглощающих материалов, широко используемых в составе приемо-передающей аппаратуры в различных отраслях народного хозяйства. Однако некоторые из указанных материалов обладают достаточно высокой стоимостью, что делает их применение коммерчески неэффективным, поэтому актуальной является задача поиска альтернативных решений среди бытовых диэлектриков, обладающих сравнимыми характеристиками, но имеющих существенно меньшую стоимость.

Задачи: изучить теоретическую часть проекта, описать возможные результаты исследования на основе имеющихся в открытом доступе данных. С помощью технологий 3д печати создать образцы одинакового размера из разных материалов. Создать лабораторный стенд для измерения поглощения и отражения волн образцами, полученными с помощью технологии 3д печати. Провести эксперимент, и сравнить экспериментальные данные с данными, полученными в ходе изучения теории и моделирования в программе Ansys HFSS. Сделать вывод о возможности использования выбранных материалов в качестве корпусов для модулей беспроводной связи.

Для проведения последующих экспериментов, мы напечатали три пластины на 3д принтере с одинаковыми размерами (90\*45\*5)мм из следующих материалов: PLA пластик (красная пластина); PETG пластик (синяя пластина); ABS пластик с углеродным наполнителем. (черная пластина)



**Рис. 1.** PLA пластик

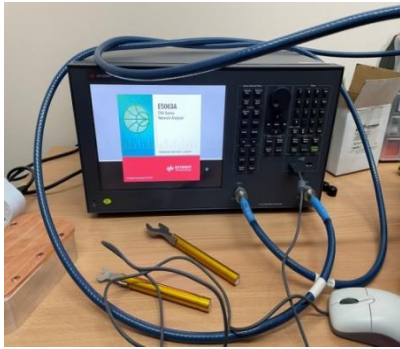


**Рис. 2.** PETG пласти



**Рис. 3.** ABS с углеродом

Для измерения характеристик данных образцов мы использовали векторный анализатор цепей; коаксиальный волновой переход; прямоугольный металлический волновод. Размеры пластин соответствовали сечению коаксиально волнового перехода и сечению прямоугольного металлического волновода (90мм\*45мм.) Диапазон измерений 2.35-2.55 GHz



**Рис. 4.** Векторный анализатор цепей



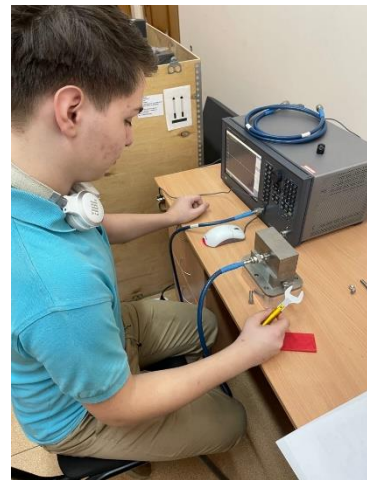
**Рис. 5.** Коаксиально-волноводный Переход сечением 90×45 мм



**Рис. 6.** Прямоугольный металлический волновод сечением 90×45 мм



**Рис. 6.** Измерения на проход



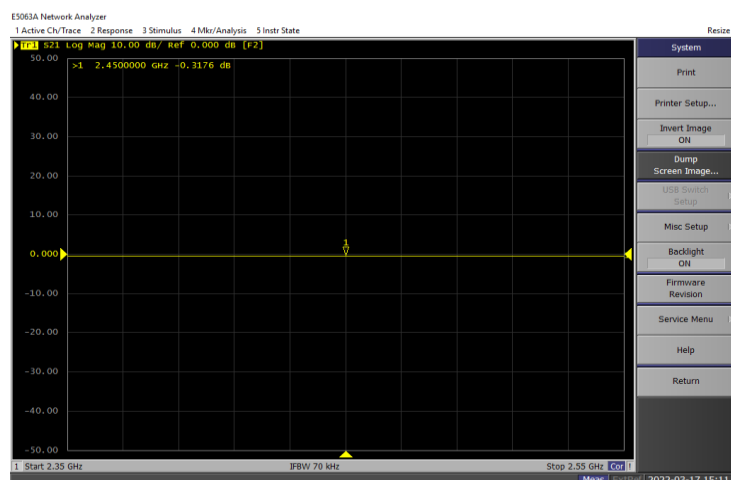
**Рис. 7.** Измерения на отражение

Таким образом проводилось два вида измерений: Измерения на проход и измерения на отражение.

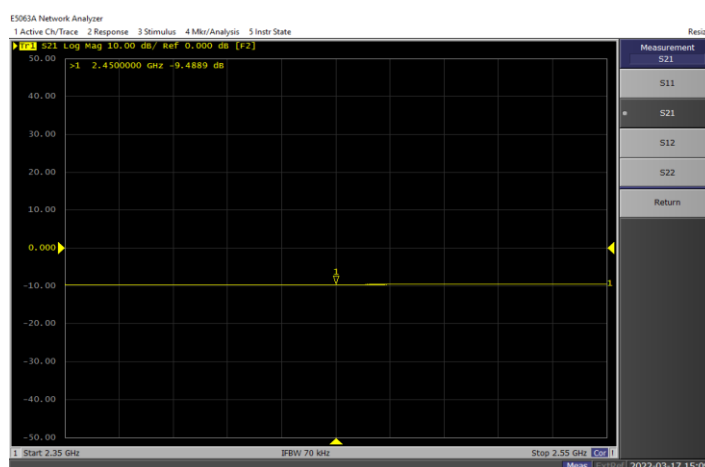
\*(S21) режим измерения передаточной характеристики в прямом направлении; (S11) величина возвратных потерь.

\*Перед измерением производилась калибровка прибора согласно методике, описанной в руководстве по эксплуатации

В режиме на проход:



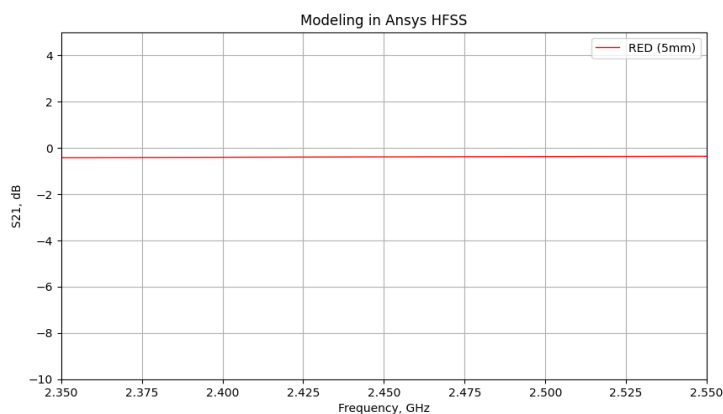
**Рис. 8.** Ослабление красной и синей пластинок  
 $S_{21} = -0,32$  дБ



**Рис. 9.** Ослабление черной пластинки  
 $S_{21} = -9,5$  дБ

Из проведенных опытов видно, цветной полиэтилен толщиной 5 мм мало вносит дополнительного ослабления, в то время как черная пластинка из ABS пластика, наполненного графитом, аналогичной толщины ослабляет мощность СВЧ сигнала почти в 10 раз! Т.е. на выход проходит не более 11% мощности.

Для сравнения теоретически прогнозируемого ослабления сигнала красной и синей пластинок с полученными данными практическим путем, мы провели моделирование в программе Ansys HFSS



**Рис. 10.** Результат моделирования ослабления красной полиэтиленовой пластины (в режиме на проход)

Ниже представлены замеры уровня сигнала в условиях помещения измеряющего устройства в бытовую СВЧ печь, данные измерения проводились для сравнения заводских материалов с напечатанной нами на 3д принтере пластиной из ABS пластика с углеродным наполнителем.

	Уровень Wi-Fi сигнала в db	Уровень мобильной сети в db
Фоновое значение	-67	-91
Значение после помещения в СВЧ печь	-95< (выход за пределы измерителя)	-105

Ослабление сигнала на *db	-28	-14
---------------------------	-----	-----

Ниже представлены результаты в условиях перекрытия антенны пластиной, выполненной из ABS пластика с углеродным наполнителем

	Уровень Wi-Fi сигнала в db	Уровень мобильной сети в db
Фоновое значение	-43	-89
Значение после закрытия антенны пластинкой	-57	-101
Ослабление сигнала на *db	-14	-14

#### *Вывод:*

Малые коэффициенты поглощения / отражения наиболее распространенных материалов для 3д печати (PLA; PETG пластики) означают, что данные материалы вполне подходят для печати радиопрозрачных корпусов в диапазоне работы Bluetooth и Wi-Fi модулей, но некоторые (ABS пластик с графитом) совершенно не пригодны ввиду наличия большего поглощения, поэтому его применение в таких системах совершенно нецелесообразно. Однако, данный пластик имеет хорошую прочность и несущую способность и может использоваться в качестве конструкционных материалов.

В ином случае в корпусах из ABS пластика с графитом необходимы радиопрозрачные вставки из других диэлектрических материалов, имеющих меньшее ослабление.

Стоит заметить, что ABS пластик с графитовым наполнителем может все-таки найти высокое распространение в радиотехнике, так как имея такие характеристики он может быть хорошим аналогом экранирующих покрытий, когда необходимо уменьшить нежелательное электромагнитное влияние.

#### **Литература**

1. Григорьев А.Д., Иванов В.А., Молоковский С.И. Микроволновая электроника: Учебник / Под ред. А.Д. Григорьева. — СПб.: Изд-во «Лань», 2016. — 496 с
2. Астайкин А.И., Троцюк К.В., Ионов С.П., Профе В.Б. Теория и техника СВЧ: Учебное пособие. — Саров: ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», 2008, 446 с.
3. Ратынский М.А. Основы сотовой связи — М.: Радио и связь — 2000 — 248 с.