

Материалы проекта

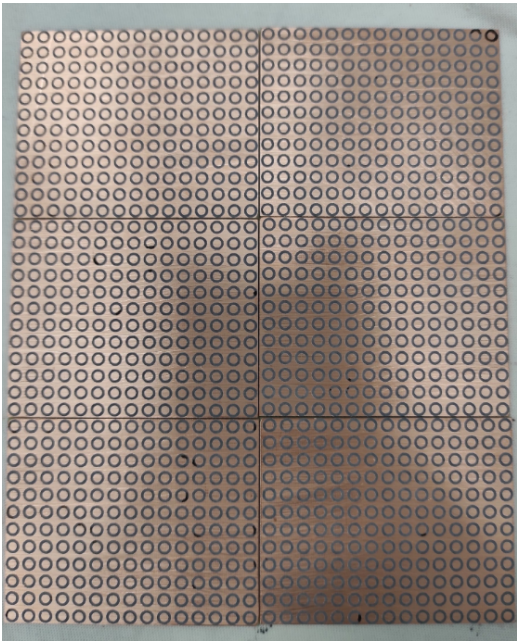
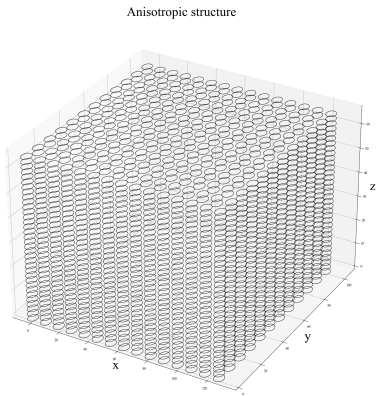
Аннотация

Здесь находится основная информация об изучаемой RL структуре проводящих колец, полученных вытравкой на текстолите

1 Экспериментальная структура

Подробная таблица с комментариями по [ссылке](#)

Параметры кольца	Значение	Единица измерения
Внутренний диаметр	2,5	мм
Внешний диаметр	3,5	мм
Средний диаметр	3	мм
Толщина кольца	18	мкм
Удельное сопротивление	17,2	мОм · мм ² /м
Сопротивление	51,2	мкОм
Индуктивность	5,95	нГн
Параметры структуры	$x \times y \times z$	Единица измерения
Линейные размеры	$52 \times 66 \times 34$	мм
Количество колец	$12 \times 15 \times 34$	шт
Период решетки	$4.5 \times 4.5 \times 1$	мм
Количество слоев	34	шт
Толщина текстолита	1	мм



2 Определение материальных параметров по результатам волноводных измерений

Объяснение метода Николсона-Росса-Вейра.

2.1 Вычисление материальных параметров

Используемые обозначения:

- λ_0 , λ_c , Λ – длина волны в вакууме, критическая длина волны и длина волны в образце в волноводе соответственно
- γ , γ_0 – постоянные распространения внутри волновода для образца и воздуха соответственно
- μ_0 , ϵ_0 – магнитная и диэлектрическая постоянные вакуума
- μ_r , ϵ_r – (относительные) магнитная и диэлектрические проницаемости образца

Для начала будем считать, что коэффициент отражения от границы материала r и коэффициент прохождения через слой исследуемого материала t нам известны. Коэффициент прохождения через слой материала:

$$t = \exp(-\gamma d) \quad (1)$$

, где γ – постоянная распространения в волноводе:

$$\gamma^2 = k_c^2 - k^2 = \left(\frac{2\pi}{\lambda_c}\right)^2 - \left(\frac{2\pi}{\lambda_0}\right)^2 \mu_r \epsilon_r \quad (2)$$

$$\gamma = i2\pi \sqrt{\frac{\mu_r \epsilon_r}{\lambda_0^2} - \frac{1}{\lambda_c^2}} \quad (3)$$

При этом в участках волновода заполненных воздухом:

$$\gamma_0 = i2\pi \sqrt{\frac{1}{\lambda_0^2} - \frac{1}{\lambda_c^2}} \quad (4)$$

Коэффициент отражения от границы материала:

$$r = \frac{\eta - \eta_0}{\eta + \eta_0} \quad (5)$$

, где η и η_0 – волновые импедансы среды и воздуха в волноводе:

$$\eta = \frac{i\omega\mu}{\gamma}, \quad \eta_0 = \frac{i\omega\mu_0}{\gamma_0} \quad (6)$$

Подстановкой (6) в (5) получим:

$$r = \frac{\frac{\gamma_0}{\gamma} \mu_r - 1}{\frac{\gamma_0}{\gamma} \mu_r + 1} \implies \mu_r = \left(\frac{1+r}{1-r}\right) \frac{\gamma}{\gamma_0} \quad (7)$$

Длина волны в волноводе $\Lambda = \frac{i2\pi}{\gamma}$. Тогда (7) преобразуется к следующему виду:

$$\mu_r = \left(\frac{1+r}{1-r}\right) \frac{1}{\Lambda \sqrt{\frac{1}{\lambda_0^2} - \frac{1}{\lambda_c^2}}} \quad (8)$$

Из (2) получим:

$$\epsilon_r = \frac{\lambda_0^2}{\mu_r} \left(\frac{1}{\lambda_c^2} + \frac{1}{\Lambda^2}\right) \quad (9)$$

Из формулы (1) можно получить $\gamma = \frac{1}{d} \ln(-t)$. Тогда совместно с последним равенством формулы (8) и (9) дадут связь материальных параметров с коэффициентами r и t .

2.2 Вычисление коэффициентов отражения и прохождения по результатам волноводных измерений

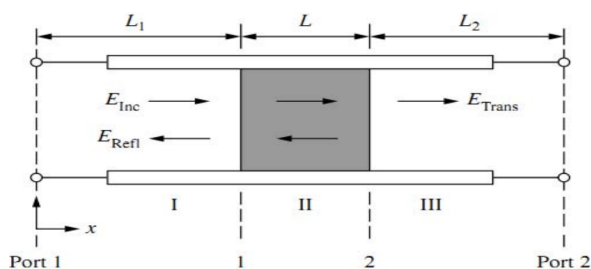
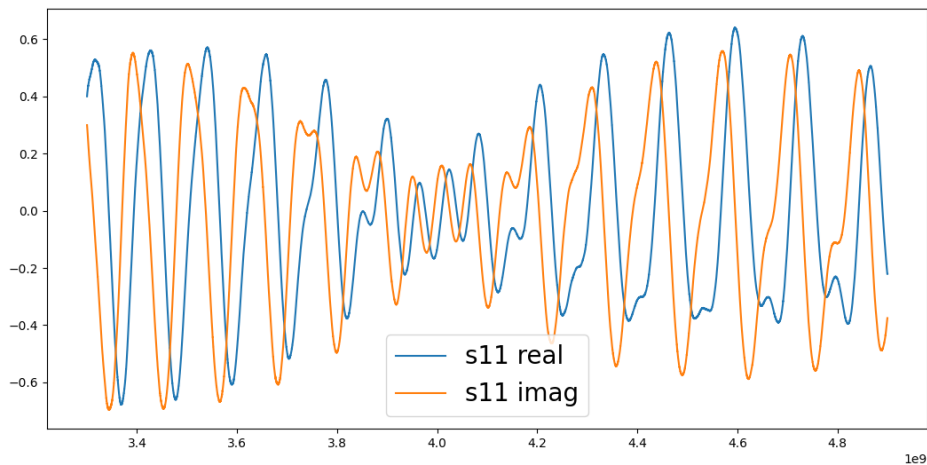


Рис. 1: Схема установки [1]

3 Экспериментальные данные



После этого можно подставить выше в формулы.

Список литературы

- [1] Alexandre Natã Vicente, Gustavo Maciulis Dip и Cynthia Junqueira. «The step by step development of NRW method». В: *2011 SBMO/IEEE MTT-S International Microwave and Optoelectronics Conference (IMOC 2011)*. IEEE. 2011, с. 738–742.

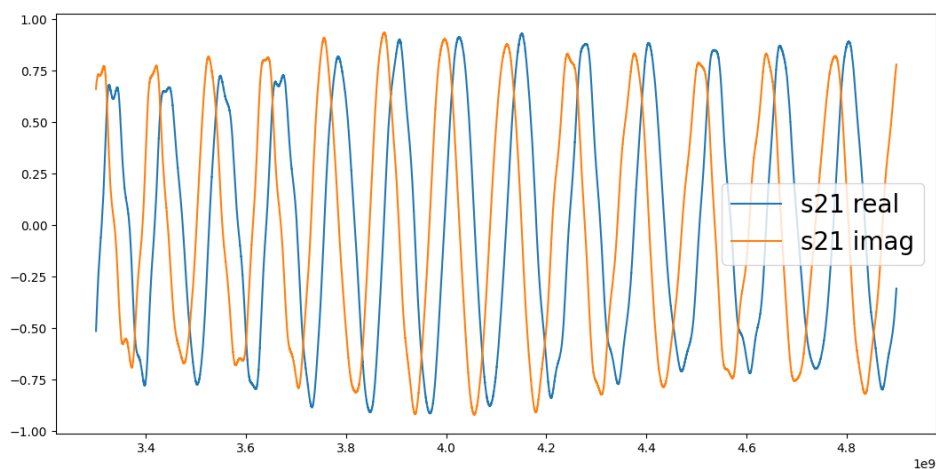


Рис. 2: Так выглядят изначальные данные. По хорошему для метода образец должен быть в центре, а S-параметры одинаковые для обеих сторон. На деле это не совсем так, и кажется что надо усреднить каким-то правильным образом. Конечно, конкретно по этим графикам ничего не сказать, но для общего понимания они пригодятся.

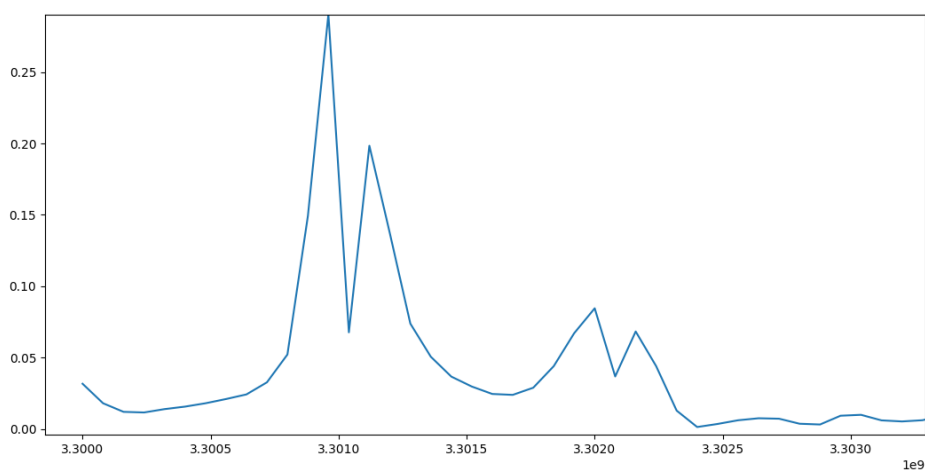


Рис. 3: Так выглядит модуль Фурье образа одного из параметров. Поскольку зависимость сильно периодическая с огибающей, на Фурье есть только несколько почти точечных пиков. Вот эти пики вблизи. Насколько понимаем, за переотражение отвечают вторые пики, поэтому зануляли мы все правее первого пика.

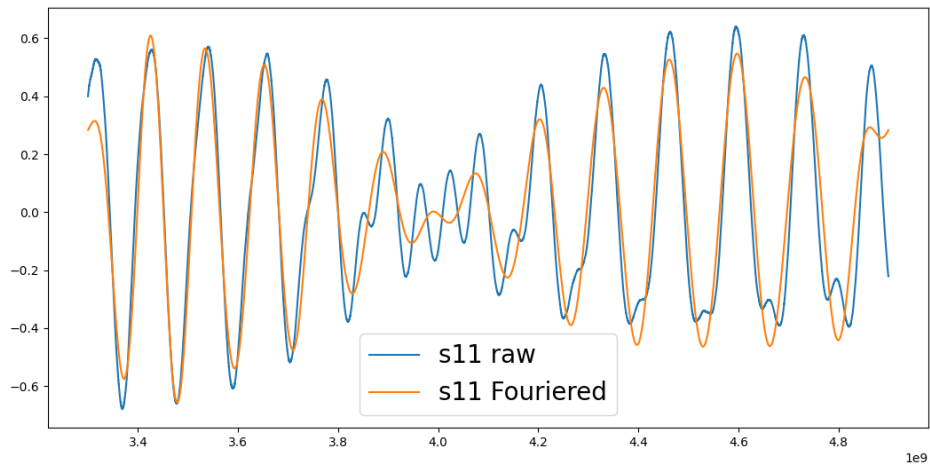


Рис. 4: Это сравнение реальной части s11 параметра до и после фурье обработки.

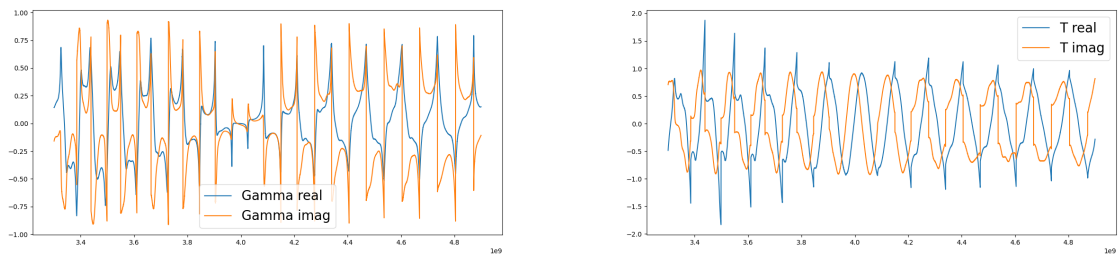


Рис. 5: Промежуточные расчеты коэффициента отражения гамма и прохождения T.

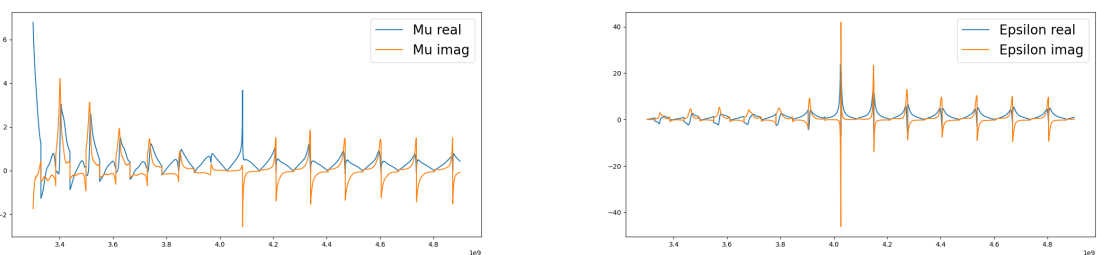


Рис. 6: Итоговые зависимости для магнитной и диэлектрической проницаемости