

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРЫ БІЛІМ МИНИСТРЛІГІ

«Л.Н. ГУМИЛЕВ АТЫНДАҒЫ ЕУРАЗИЯ ҰЛТТЫҚ УНИВЕРСИТЕТІ» КЕАҚ

**Студенттер мен жас ғалымдардың
«GYLYM JÁNE BILIM - 2024»
XIX Халықаралық ғылыми конференциясының
БАЯНДАМАЛАР ЖИНАҒЫ**

**СБОРНИК МАТЕРИАЛОВ
XIX Международной научной конференции
студентов и молодых ученых
«GYLYM JÁNE BILIM - 2024»**

**PROCEEDINGS
of the XIX International Scientific Conference
for students and young scholars
«GYLYM JÁNE BILIM - 2024»**

**2024
Астана**

УДК 001

ББК 72

G99

«ǴYLYM JÁNE BILIM – 2024» студенттер мен жас ғалымдардың XIX Халықаралық ғылыми конференциясы = XIX Международная научная конференция студентов и молодых ученых «ǴYLYM JÁNE BILIM – 2024» = The XIX International Scientific Conference for students and young scholars «ǴYLYM JÁNE BILIM – 2024». – Астана: – 7478 б. - қазақша, орысша, ағылшынша.

ISBN 978-601-7697-07-5

Жинаққа студенттердің, магистранттардың, докторанттардың және жас ғалымдардың жаратылыстану-техникалық және гуманитарлық ғылымдардың өзекті мәселелері бойынша баяндамалары енгізілген.

The proceedings are the papers of students, undergraduates, doctoral students and young researchers on topical issues of natural and technical sciences and humanities.

В сборник вошли доклады студентов, магистрантов, докторантов и молодых ученых по актуальным вопросам естественно-технических и гуманитарных наук.

УДК 001

ББК 72

G99

ISBN 978-601-7697-07-5

**©Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия
ұлттық университеті, 2024**

УДК 537.876

Расчет диэлектрической проницаемости материалов методом
Николсона – Росса – Вейра

Абеуов Нурбек Нурланович

nurbec@gmail.com

Магистрант кафедры «Радиотехника, электроника и телекоммуникации»

ЕНУ имени Л. Н. Гумилева, Астана, Казахстан

Научный руководитель – к.ф.-м.н., старший преподаватель Маханов К.М.

Диэлектрическая проницаемость определяет способность материалов поляризоваться под воздействием электрического поля. Существуют различные методы её расчета: статические, такие как метод Клаузиуса-Моссотти, и динамические, например, метод Николсона-Росса-Вейра (NRW) [1]. Для определения проницаемости применяются спектроскопические методы, квантово-механические расчеты и феноменологические методы, включая методы Форстера и Хопфа.

Метод NRW является эффективным и универсальным для разных типов материалов, позволяя исследовать дисперсию проницаемости в широком диапазоне частот. Он легко интегрируется с современными вычислительными платформами и нацелен на улучшение точности расчетов диэлектрической проницаемости. Основная цель — разработка вычислительной платформы на Python для точного расчета проницаемости методом NRW, упрощая сложные вычисления и ускоряя процесс научных исследований.

1. Метод Николсона – Росса – Вейра

Метод Николсона–Росса–Вейра (NRW) применяется в микроволновой технике для определения комплексной диэлектрической проницаемости материалов, что важно для их электромагнитного поведения. NRW использует теорию линий передачи и анализ S-параметров для исследования диэлектрических и магнитных свойств на микроволновых частотах. Метод активно применяется в материаловедении для точных измерений и прогнозов, особенно в исследованиях метаматериалов и проектировании устройств.

Разработан способ прогнозирования поведения материалов на основе измеренных S-параметров с использованием NRW [2]. Метод эффективен для сопоставления свойств материала с однородными материалами без потерь и для анализа связи между действительной и мнимой частями диэлектрической проницаемости. Это особенно полезно для прогнозирования свойств метаматериалов. Эксперименты и моделирование подтвердили эффективность метода для различных инженерных материалов, даже при наличии потерь.

Этот метод позволяет [3] непосредственно вычислить как диэлектрическую, так и магнитную проницаемость на основе S-параметров. Это наиболее распространенный метод для такого рода преобразований. Для определения коэффициента отражения и коэффициента передачи необходимо измерить все четыре S-параметра (S_{11} , S_{21} , S_{12} , S_{22}) или хотя бы пару из них (S_{11} , S_{21}) материала, на котором проводится испытание. Однако для материалов с низкими потерями метод не работает правильно на частотах, соответствующих целым кратным половине длины волны в образце, из-за фазовой неопределенности. Поэтому этот метод ограничивается оптимальной толщиной образца в $\lambda g/4$ и рекомендуется для коротких образцов. В качестве примера был взят график из научной работы [1], демонстрирующий использование метода NRW для определения диэлектрической проницаемости политетрафторэтилена (PTFE).

1.1 Теоретические основы метода Николсона – Росса – Вейра

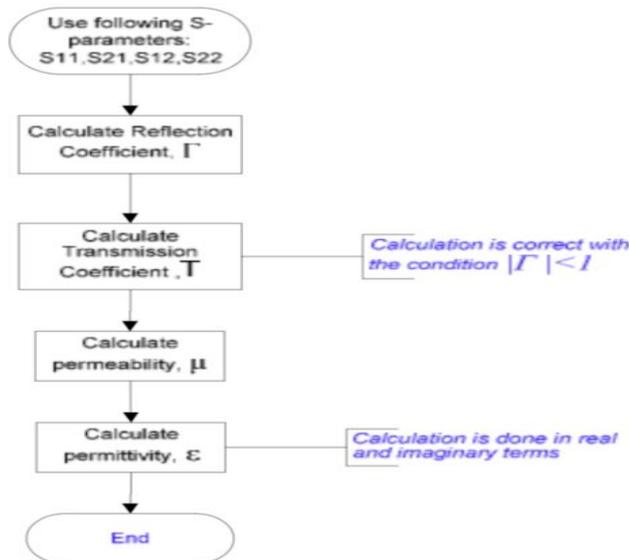


Рисунок 1 - Последовательный процесс формулы

Эти параметры могут быть непосредственно получены с помощью сетевого анализатора:

$$S_{11} = \frac{\Gamma(1-\Gamma^2)}{(1-\Gamma^2T^2)} \quad \text{и} \quad S_{21} = \frac{T(1-\Gamma^2)}{(1-\Gamma^2T^2)} \quad (1)$$

Коэффициент отражения может быть выведен следующим образом:

$$X = \frac{S_{11}^2 - S_{21}^2 + 1}{2S_{11}} \quad \Gamma = X \pm \sqrt{X^2 - 1} \quad (2)$$

где $|\Gamma| < 1$ необходимо для определения правильного корня и в терминах s-параметра.

Коэффициент передачи может быть записан как

$$T = \frac{S_{11} + S_{21} - \Gamma}{1 - (S_{11} + S_{21})\Gamma} \quad (3)$$

Магнитная проницаемость задается следующим образом:

$$\mu_r = \frac{1 + \Gamma_1}{L(1 - \Gamma) \sqrt{\frac{1}{\lambda_0^2} - \frac{1}{\lambda_c^2}}} \quad (4)$$

где λ_0 - это длина волны в свободном пространстве, а λ_c - это длина волны отсечки,

$$\frac{1}{L^2} = \left(\frac{\epsilon_r \mu_r}{\lambda_0^2} - \frac{1}{\lambda_c^2} \right) = - \left(\frac{1}{2\pi L} \ln\left(\frac{1}{T}\right) \right)^2 \quad (5)$$

Диэлектрическая проницаемость может быть определена как

$$\epsilon_r = \frac{\lambda_0^2}{\mu_r} \left(\frac{1}{\lambda_c^2} - \left(\frac{1}{2\pi L} \ln\left(\frac{1}{T}\right) \right)^2 \right) \quad (6)$$

Здесь L - длина материала.

ϵ_r - относительная диэлектрическая проницаемость.

μ_r - относительная магнитная проницаемость.

λ_g - длина волны в материале.

L - постоянная распространения материала.

c - скорость света.

f - частота.

Формулы (5) и (6) демонстрируют интересное свойство: они имеют бесконечное количество корней. Это обусловлено тем, что мнимая часть выражения

$$\frac{1}{\pi} \ln\left(\frac{2L}{\lambda_g}\right)$$

равна $((n \cdot \pi) / 2) \cdot j$, где n принимает значения 0, +- 1, +-2, ...

Значение n определяется как целое число, которое является частным от деления L на λ_g . Это свойство может быть учтено двумя различными методами [4].

2. Результаты и их обсуждение

В ходе выполнения работы был разработан и реализован код на основе упомянутой формулы, которая включает в себя множество переменных. Это потребовало значительного объема работы по отладке и коррекции ошибок. Благодаря этому коду теперь возможно вычислить диэлектрическую проницаемость, а также относительную и начальную проницаемость материала.

```
import cmath
import math
def paramet(z, ph):
    return z * cmath.exp(1j * math.radians(ph))
# Функция для безопасного вычисления деления, предотвращающая деление на ноль
def safe_divide(numerator, denominator):
    if abs(denominator) < 1e-9:
        return complex('inf') # Возвращает комплексную бесконечность
    else:
        return numerator / denominator
lam = float(input("Input lambda value: "))
lam0 = float(input("Input lambda0 value: "))
lam1 = float(input("Input lambda1 value: "))
s11_parameter_num = float(input("Input s11-parameter first number: "))
s11_parameter_phase = float(input("Input s11-parameter phase value: "))
s11_num = paramet(s11_parameter_num, s11_parameter_phase)
s21_parameter_num = float(input("Input s21-parameter first number: "))
s21_parameter_phase = float(input("Input s21-parameter phase value: "))
s21_num = paramet(s21_parameter_num, s21_parameter_phase)
wavelength = float(input("Input a wavelength if it is required, (otherwise write 0): "))
# Ensure complex numbers are used properly in calculations
x = ((s11_num * s11_num) - (s21_num * s21_num) + 1) / (2 * s11_num)
reflection_coeff = x + (cmath.sqrt((x.conjugate() ** 2) - 1))
denominator = 1 - ((s11_num + s21_num) * reflection_coeff)
# Исправлено условие, чтобы избежать деления на ноль
if abs(denominator) < 1e-9:
    print("Error: Division by zero")
    transmission_coeff = complex('nan') # Неопределенное значение
    permeability = complex('nan') # Неопределенное значение
else:
    transmission_coeff = safe_divide((s11_num + s21_num - reflection_coeff), denominator)
    permeability = safe_divide((1 + reflection_coeff), (lam * (1 - reflection_coeff) *
(cmath.sqrt((1 / (lam0 ** 2)) - (1 / lam1 ** 2))))))
    permittivity = ((lam0**2)/permeability)*((1/(lam1**2))- ( ( 1/(2*math.pi * wavelength*
(math.log(1/transmission_coeff)))) )**2 ) )
    print("Reflection Coefficient:", reflection_coeff)
    print("Transmission Coefficient:", transmission_coeff)
    print("Permeability:", permeability)
    print("Permittivity: ", permittivity)
```

Представленный листинг программы написан на языке Python. Он позволяет рассчитать диэлектрическую проницаемость материалов на основе введенных пользователем S-параметров и параметров λ . Код включает функции для преобразования амплитуды и фазы в комплексные числа, а также безопасное деление для предотвращения ошибок. Инструмент предоставляет коэффициенты отражения и передачи, на основе

которых рассчитывается диэлектрическая проницаемость материала. Это полезный инструмент для исследователей и инженеров в области материаловедения и электромагнитных исследований.

В дальнейшем планируется разработка полноценного приложения с фронтендом и бэкендом, чтобы обеспечить удобство использования для широкого круга пользователей без технических навыков. Это завершит текущую фазу проекта и сделает результаты исследования доступными для практического применения.

Таким образом, работа, по разработке метода Николсона–Росса–Вейра (NRW) для расчета диэлектрической проницаемости, направлена на создание удобного для пользователя инструмента на языке Python. Внедряя алгоритм NRW в Python и используя такие библиотеки, как NumPy и SciPy, можно упростить сложные вычисления для различных материалов. Тщательное тестирование и валидация повысят точность инструмента, гарантируя его надежность в широком спектре сценариев.

Список использованных источников

1. Harris, C. R., Millman, K. J., van der Walt, S. J., Gommers, R., Virtanen, P., Cournapeau, D., Wieser, E., Taylor, J., Berg, S., Smith, N. J., Kern, R., Picus, M., Hoyer, S., van Kerkwijk, M. H., Brett, M., Haldane, A., del Río, J. F., Wiebe, M., Peterson, P., ... Oliphant, T. E. (2020). Программирование с массивами с использованием NumPy. *Природа*, 585(7825), 357–362. <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2649-2>

2. Angiulli, G., & Versaci, M. (2022). Извлечение электромагнитных параметров метаматериала с использованием метода Николсона-Росса-Вейра: анализ на основе глобальных аналитических функций и поверхностей Римана. *Прикладные науки (Базель, Швейцария)*, 12(21), 11121. <https://doi.org/10.3390/app12211121>

3. (N.d.). Academia.edu. Retrieved March 24, 2024, from https://www.academia.edu/40571342/Measurement_of_Dielectric_Material_Properties_Application_Note_Products

4. Coax cutoff frequency. (n.d.). *Microwaves101.com*. Retrieved March 24, 2024, from <https://www.microwaves101.com/encyclopedias/coax-cutoff-frequency>

5. Rothwell, E. J., Frasch, J. L., Ellison, S. M., Chahal, P., & Ouedraogo, R. O. (2016). Анализ метода Николсона-Росса-Вейра для характеристики электромагнитных свойств инженерных материалов. *Электромагнитные волны (Кембридж, Массачусетс)*, 157, 31–47. <https://doi.org/10.2528/pier16071706>

УДК 004.3

ОБЗОР СУЩЕСТВУЮЩИХ РЕШЕНИЙ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ В СЕТЯХ 5G

Адиқан Макпал Бекжановна¹, Құттыбек Ажар Арманқызы², Оспанова Сымбат
Тулендиевна³

makpal.adikan@mail.ru

¹Магистрант кафедры «Радиотехника, электроника и телекоммуникации»
ЕНУ им. Л. Н. Гумилева, Астана, Казахстан

²Старший преподаватель кафедры «Радиотехника, электроника и телекоммуникации»
ЕНУ им. Л. Н. Гумилева, Астана, Казахстан

³Инженер кафедры «Радиотехника, электроника и телекоммуникации»
ЕНУ им. Л. Н. Гумилева, Астана, Казахстан
Научный руководитель: Казиева Н. М.

Мобильная беспроводная связь пережила много поколений, начиная с 1G, первое поколение использовалось только для голосовых вызовов, однако оно было основой всего