

Расчет параметров Е-антенны с помощью пакета Vempp

Артемяева М.В.¹, Калинин М.В.², Кирякин М.В.³

¹artemeva.mv14@physics.msu.ru, ²3lou4yballl@gmail.com,

³makxim.kiryakin@gmail.com

Ментор: Романова А.В., Huawei

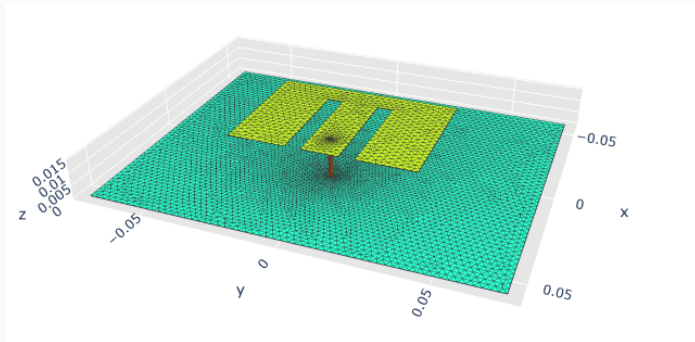
5–19 августа 2022



Летняя школа «Матричные методы и моделирование в науках о жизни и Земле»

- 1 Постановка задачи
 - Геометрия антенны
 - Математическая формулировка задачи
- 2 Метод решения интегральных уравнений
 - Базисные функции
 - Построение сетки
 - Схема метода моментов
- 3 Результаты вычислений
 - Электрическое поле
 - Z-параметр
- 4 Выводы

Геометрия антенны



Два рефлектора соединены между собой проводом, в центральной части которого находится "порт" — источник тока. Все элементы конструкции антенны считаются идеально проводящими.

Математическая формулировка задачи

$$\mathbf{n} \times \mathbf{E}_{pec} = -\mathbf{n} \times \mathbf{E}_{src},$$

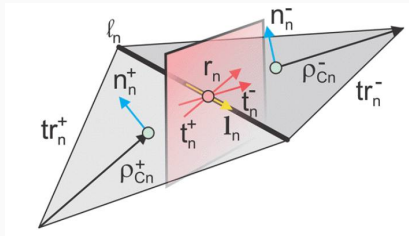
где

$$\mathbf{E}[\mathbf{J}(y)] = \int_{\Sigma} \left\{ \text{grad div} [\mathbf{J}(y)G(x-y)] + k^2 \mathbf{J}(y)G(x-y) \right\} dy,$$

Σ — площадь поверхности антенны, k — волновое число, \mathbf{J} — поверхностные токи, $G(x-y)$ — функция Грина

$$G(x-y) = \frac{e^{ik|x-y|}}{4\pi|x-y|}$$

Базисные функции



$$\mathbf{J} = \sum_{n=1}^N J_n \varphi_n,$$

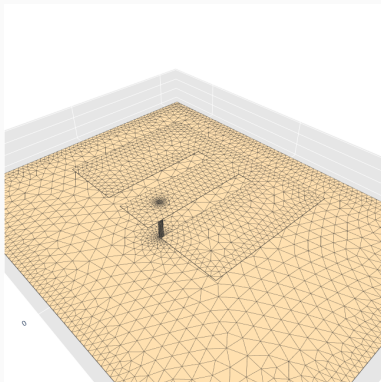
RWG (Rao-Wilton-Glisson)

базисные функции

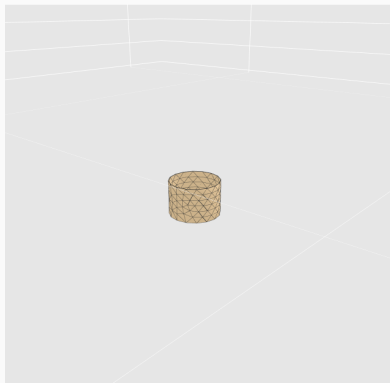
$$\varphi_n(r) = \begin{cases} \frac{l_n}{2A_n^+} \rho_n^+, & r \in tr^+, \\ \frac{l_n}{2A_n^-} \rho_n^-, & r \in tr^-, \end{cases}$$

где A_n — площадь треугольника,
 ρ_n — вектор, направленный к
 центру треугольника из
 противоположной ребру вершины,
 l_n — длина ребра.

Построение сетки



Е-антенна



Порт Е-антенны

Схема метода моментов

Представим неизвестную функцию \mathbf{J} в виде разложения по базисным RWG-функциям

$$\mathbf{J} = \sum_{n=1}^N J_n \varphi_n, \quad \text{тогда} \quad \sum_{n=1}^N J_n \mathbf{E}_{\text{pec}}[\varphi_n] = \mathbf{E}_{\text{src}}[\mathbf{J}_{\text{src}}].$$

Умножим скалярно на тестовую функцию из пространства RWG-функций

$$\sum_{n=1}^N J_n \left(\psi_m, \mathbf{E}_{\text{pec}}[\varphi_n] \right) = \left(\psi_m, \mathbf{E}_{\text{src}}[\mathbf{J}_{\text{src}}] \right)$$

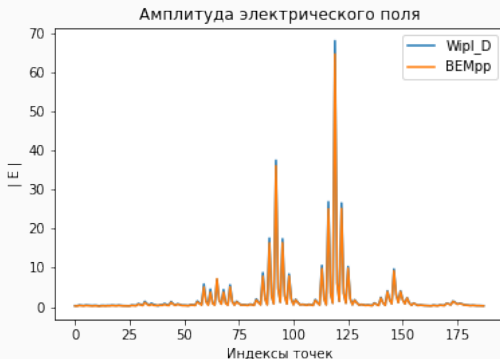
и получим СЛАУ относительно неизвестных коэффициентов J_n :

$$EJ = a, \quad \text{где,}$$

$$E_{mn} = -ik \iint_{\Gamma_{\text{pec}}} G(x,y) \varphi_n(y) \psi_m(x) ds - \frac{1}{ik} \iint_{\Gamma_{\text{pec}}} G(x,y) \nabla \varphi_n(y) \nabla \psi_m(y) ds,$$

$$a_m = ik \int_{\Gamma_{\text{src}}} \psi_m(y) \mathbf{J}_{\text{src}} G(x,y) dy - \frac{1}{ik} \int_{\Gamma_{\text{src}}} \nabla \psi_m(y) \mathbf{J}_{\text{src}} G(x,y) dy.$$

Вычисление электрического поля на частоте 1,5 ГГц



$$\mathbf{E} = \mathbf{E}_{\text{src}} + \mathbf{E}_{\text{pec}}, \quad \text{где}$$

$$\mathbf{E}_{\text{src,pec}} = \int_{\Sigma_{\text{src,pec}}} \left\{ \text{grad div} [\mathbf{J}_{\text{src,pec}}(y)G(x-y)] + k^2 \mathbf{J}_{\text{src,pec}}(y)G(x-y) \right\} ds$$

— поле источника и антенны соответственно.

Вычисление Z-параметра в диапазоне частот 1,6–3,0 ГГц

$$Z = \int_{\Gamma_{\text{src}}} \mathbf{J}_{\text{src}} \cdot \overline{\mathbf{E}} \, ds,$$

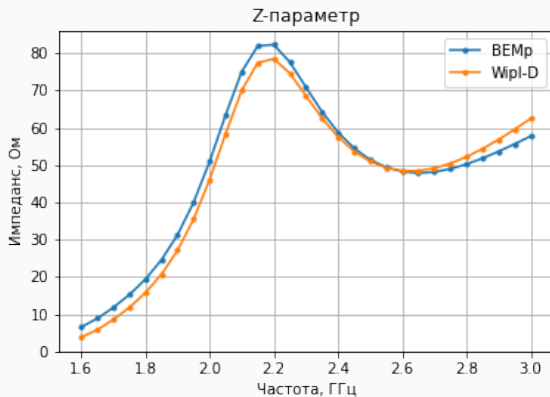
где Γ_{src} — поверхность порта, на которой определен электрический ток \mathbf{J}_{src} , \mathbf{E} — электрическое поле, $\overline{\mathbf{E}}$ — комплексное сопряжение.

Поскольку в функциональном пространстве φ_i электрический ток представляется коэффициентами J_i , справедлива следующая цепочки равенств:

$$Z = \sum_{i=1}^N J_i \int_{\Gamma_{\text{src}}} \varphi_i \cdot \overline{\mathbf{E}} \, ds = \sum_{i=1}^N J_i \int_{\Gamma_{\text{src}}} (\mathbf{n} \times \varphi_i) \cdot (\mathbf{n} \times \overline{\mathbf{E}}) \, ds = \sum_{i=1}^N J_i \overline{E^i},$$

где $\overline{E^i}$ — проекции вектора $\mathbf{n} \times \overline{\mathbf{E}}$ на функциональное пространство $\psi_i = \mathbf{n} \times \varphi_i$.

Вычисление Z-параметра в диапазоне частот 1,6–3,0 ГГц



- 1 Построена треугольная сетка на поверхности Е-антенны
- 2 Поверхностные токи на частоте 1,5 ГГц найдены с помощью метода моментов с базисными функциями RWG
- 3 Вычислено ближнее поле
- 4 Рассчитаны Z-параметры в диапазоне частот 1,6–3,0 ГГц
- 5 Полученные характеристики Е-антенны сравнивались с референсным решением

- 1 *C.A. Balanis*. Modern Antenna Handbook. USA: Wiley-Interscience, 2008.
- 2 The Bempp Handbook

Расчет параметров Е-антенны с помощью пакета Vempp

Артестьева Маргарита, artemeva.mv14@physics.msu.ru

Калинин Михаил, 3lou4yballl@gmail.com

Кирякин Максим, makxim.kiryakin@gmail.com

Ментор: Романова Алла Владимировна, Huawei



Летняя школа «Матричные методы и
моделирование в науках о жизни и Земле»

5–19 августа 2022

12/12