

# РАСЧЕТ ДИСПЕРСИИ СПИРАЛЬНОЙ ЗАМЕДЛЯЮЩЕЙ СИСТЕМЫ

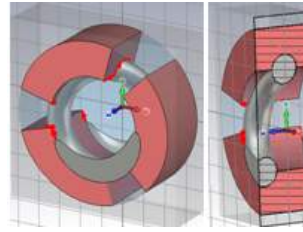
Самым популярным прибором вакуумной электроники является спиральная ЛБВ, благодаря уникально большой частотной полосе усиления и простоте конструкции. В ЛБВ реализуется длительное взаимодействие электронного потока с замедленной до скорости электронов  $v_e$  волной при условии синхронизма  $v_p \approx v_e$ , где  $v_p$  - фазовая скорость замедленной волны. Поэтому важно иметь возможность рассчитать фазовую скорость  $v_p$  для конкретной спирали. При проектировании ЛБВ одной из проблем является расчет дисперсии спиральной ЗС с диэлектрическими поддерживающими стержнями. При этом как форма, так и материал диэлектрических опор оказывают значительное влияние на замедление. В тоже время расчет с учетом опор значительно усложняется. Ранее предлагались методики, основанные на различных способах усреднения и решения дисперсионного уравнения. В работе [1] с помощью эквивалентной замены (когда диэлектрик равномерно распределяется по всей расчетной области) задача сводится к расчету экранированной спирали в однородном диэлектрике между экраном и спиралью. В работе [2] с помощью эквивалентной замены пространство между экраном и спиралью аппроксимируется диэлектриком, диэлектрическая проницаемость которого может меняться только в радиальном направлении. В этих работах на основе метода частичных областей получалось нелинейное дисперсионное уравнение, из решения которого находился закон дисперсии  $v_p(w)$ . Точная модель задачи дисперсии может быть получена на основе теоремы Флоке. Согласно этой теореме в периодических направленных по  $z$  структурах существуют нетривиальные решения однородных уравнений Максвелла, удовлетворяющие условиям квази-периодичности Флоке. В результате задача сводится к решению уравнений Максвелла в отрезке волновода  $0 < z < d$  длиной в один период  $d$  с условиями периодичности

$$\text{rot} \vec{E} = -jW\mu \vec{B} \quad \text{rot} \vec{B} = -jW\varepsilon \vec{E}$$

$$\vec{E}(r, \varphi, d) = e^{-j\varphi_0} \vec{E}(r, \varphi, 0),$$

$$\vec{B}(r, \varphi, d) = e^{-j\varphi_0} \vec{B}(r, \varphi, 0).$$

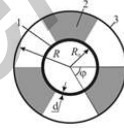
*Берёзкин Роман Валерьевич*, студент гр.2401014, ФРЭ, БГУИР, berezkins.other@yandex.by  
*Научный руководитель: Матвеевко Владимир Владимирович*, кафедра вычислительных методов и программирования БГУИР, vladimir66@bsuir.by



В результате решения находилась величина  $\varphi_0$ , которая имеет смысл набега фазы этой собственной волны на период  $d$  волновода. Изменяя  $\varphi_0$  на интервале  $5^\circ < \varphi_0 < 175^\circ$  с шагом  $10^\circ$  и решая данную систему с заданными граничными условиями на концах волновода, а также используя программу трехмерного моделирования CST MICROWAVE STUDIO, получаем трехмерное распределение электрических и магнитных компонент поля с искомой частотой. Фазовая скорость пересчитывается через  $\varphi_0$ :

$$v_p = \frac{\omega \cdot d'}{\varphi_0}; \quad \beta_p = \frac{v_p}{c}$$

Задавались:  $R_0 = 1.5$  мм,  $R = 3.5$  мм,  $\varepsilon = [2, 20]$ . Диаметр провода спирали  $d = 1$  мм. Шаг спирали  $h = 2.4$  мм.



$\lambda = 10$  см ( $w = 2,998$  ГГц) - частота находилась интерполяцией из полученных решений при разном набеге фаз.

Секторный тип: 1 – спиральная ЗС; 2 – диэлектрические опоры спирали; 3 – экран.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанная математическая модель в статье [2] и пакет CST MICROWAVE STUDIO показывают идентичность расчетов разными методиками.

1. Силин, Р.А. Замедляющие системы / Р.А. Силин, В.П. Сазонов. – М.: Сов. радио. – 1966. – 632 с.
2. «Расчет дисперсионных характеристик спиральной замедляющей системы» / А. К. Сеницын, А. А. Навроцкий // М.: Радиотехника и электроника. – 1995. – Т. 40. – № 11