

МЕТОД РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМЫ РАСЧЕТА ДИСПЕРСИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СПИРАЛЬНОЙ ЗС

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Михайловский Д. Н.

Цырельчук И. Н. – канд. техн. наук, доцент

Проблема расчета дисперсионных характеристик спиральной ЗС, несмотря на большое число работ, до сих пор остается актуальной. Это связано с тем, что на практике спираль закрепляется в экране с помощью диэлектрических стержней различной формы и конфигурации. Они вносят не симметрию в спиральную ЗС и как следствие, этим существенно усложняют поставленную задачу. Одним из эффективных методов решения этой проблемы, в рамках модели спирально проводящего цилиндра является метод эквивалентной замены, предложенный в свое время Кураевым А.А. Суть метода – принимать диэлектрик равномерно распределенным по всей расчетной области. В данном случае, поставленная задача сводится к расчету симметричной экранированной спирали в слоистом диэлектрике [1]. Однако метод решения задачи со слоистым диэлектриком очень громоздок, в силу чего возникают трудности его реализации.

Рассматривается проволочная спираль, имеющая средний радиус R_0' , толщину проволоки δ , угол намотки φ , закрепленная в соосном металлическом экране радиуса R' . Промежуток между спиралью и экраном заполнен диэлектриком с относительной диэлектрической проницаемостью, изменяющейся в радиальном направлении по заданному закону.

В математическую модель, принятую для расчета процессов взаимодействия в ЛБВ-О с нерегулярной спиральной ЗС, входит зависимость удельного сопротивления связи от фазовой скорости $R(\beta_\varphi)$ [2]. При этом предполагается, что относительная фазовая скорость $\beta_\varphi(z)$ в каждом сечении z нерегулярной спирали однозначно определяется шагом регулярной спирали в этом же сечении $d(z)$. Действительно, как показали расчеты, зависимость $\beta_\varphi(d)$, при фиксированной геометрии спирали, близка к линейной и по заданному β_φ шаг спирали d определяется однозначно. Кроме того, в спиральной ЗС β_φ почти не зависит от частоты в довольно широком диапазоне частот. Это обстоятельство требует детального анализа возбуждения в ЛБВ наряду с основной также и волны на удвоенной частоте при использовании спиральной ЗС.

На основе выше предложенного метода разработана программа, рассчитывающая таблицы удельного сопротивления связи на первой и второй гармониках основной частоты $R_{s1}(\beta_\varphi)$, $R_{s2}(\beta_\varphi)$, а также шага спирали $d(\beta_\varphi)$ при различных β_φ . Такой подход позволяет вводить в программу расчета ЛБВ поправки, полученные из сопоставления с экспериментальными данными.

Задача повышения КПД спиральных ЛБВ особенно актуальна, когда требуется выходная мощность больше 0,5 кВт. Если учесть, что предел выходной мощности спиральной ЛБВ-О в непрерывном режиме, определяемый сложностью системы охлаждения, составляет 2...5 кВт, то можно ориентировочно оценить наиболее интересный для спиральных ЛБВ диапазон рабочих напряжений: $2 < U_0 < 12$ кв. и, соответственно, диапазон изменения фазовой скорости замедленной волны: $0,07 < \beta_\varphi < 0,2$. Существенно ограничивающим КПД фактором является паразитное влияние волны, возбуждаемой в спиральной ЛБВ-О на удвоенной частоте, так как в спектре тока сгруппированного пучка амплитуда второй гармоники сравнима с первой. Основным критерием возбуждения паразитной волны на удвоенной частоте является отношение удельных сопротивлений связи на удвоенной и основной частотах $p_{12} = R_{s2}/R_{s1}$ [3].

Для выяснения изменения дисперсионных характеристик вдоль ЛБВ-О с нерегулярной ЗС были выполнены расчеты их зависимостей от β_φ ($0,07 < \beta_\varphi < 0,22$) для спирали с фиксированной геометрией при различных λ .

В заключение отметим, что данный метод обладает всеми достоинствами (простота, быстродействие) и недостатками, присущими методу спирально проводящего цилиндра. Поэтому полученные качественные характеристики следует тщательно сопоставлять с имеющимся экспериментальным материалом.

Список использованных источников:

1. Кураев А. А., Навроцкий А. А., Сеницын А. К. Спиральная ЛБВ с диэлектрической корректировкой замедления // КрыМиКо 2009.
2. Сеницын А. К., Навроцкий А. А. Расчет дисперсионных характеристик спиральной замедляющей системы // Радиотехника и электроника. — 1995. — т.40. — № 11.
3. Навроцкий А. А., Сеницын А. К. Дисперсионные характеристики нерегулярной спиральной замедляющей системы ЛБВ-О // Радиотехника и электроника. 1995. — вып. 11.