

Ваганова Анастасия Алексеевна – радиотехнический факультет; студентка.

Grishchenko Sergey Grigorievich – Federal State-Owned Autonomy Educational Establishment of Higher Vocational Education «Southern Federal University»; e-mail: grishchenko@sfnedu.ru; 44, Nekrasovsky, Taganrog, 347928, Russia; phone: +78634371883; the college of radio engineering; dean; cand. of eng. sc.; associate professor.

Kisel' Natalia Nikolayevna – e-mail: dekanat-rtf@tgn.sfnedu.ru; phone: +78634371634; the department of antennas and radio transmitters; professor; cand. of eng. sc.; associate professor.

Vaganova Anastasiya Alekseevna – the college of radio engineering; student.

УДК 621.396.677.3

И.В. Мерглодов

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОНСТРУКЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕМЕНТА ВИВАЛЬДИ НА ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ

В статье приведены материалы исследования влияния конструкционных параметров элемента Вивальди на электродинамические характеристики антенной решетки при неизменности габаритных размеров. Сделан краткий анализ имеющихся конструкций расширяющихся щелевых антенн. Проведены исследования в программном пакете САПР СВЧ Ansoft HFSS. Получены численные результаты для модели, выполненной в виде двух пластин, с экспоненциальным раскрытием и резонаторами эллиптических форм на границе питающей и излучающей частей антенны. Исследовались резонаторы в виде и полного полуэллипса. Рассматривалось влияние коэффициента эллиптичности на характеристики антенной решетки при неизменности размеров оси эллипса, перпендикулярной направлению излучения. Анализ полученных результатов выявил, что форма выреза в виде полного эллипса либо полуэллипса оказывает влияние на частотную характеристику КСВ. В качестве иллюстраций результатов расчета приведены частотные характеристики коэффициентов усиления и коэффициентов стоячей волны, а также угловые зависимости коэффициентов усиления антенных решеток на отдельно взятых частотах.

Антенная решетка; элемент Вивальди.

I.V. Merglodov

RESEARCH OF INFLUENCE STRUCTURAL PARAMETERS OF ELEMENTS VIVALDI ON ITS ELECTRODYNAMIC CHARACTERISTICS OF ANTENNA ARRAY

We have performed an analysis of the influence of some structural parameters of the Vivaldi element on its electrodynamic characteristics of antenna array for constant overall dimensions. Research was performed in SHF CAD system Ansoft HFSS software package. Numerical results were obtained for the model, made in the form of two plates with an exponential aperture and a resonator in the form of semi-ellipse on the boundary between feeding and radiating parts of the antenna. Resonators as semi and full ellipse was investigated. The influence of axial ratio on the performance of the antenna array with constant size axis of the ellipse perpendicular to the direction of radiation was considered. Analysis of the results revealed that the shape of the cutout in the form of the full ellipse or the semi-ellipse affects the VSWR frequency characteristic. The frequency characteristics of the gain and standing wave ratio and also the angular dependence of the gain of antenna arrays on separate frequencies are showed to illustrate the calculation results.

Antenna array; Vivaldi element.

Введение. С развитием измерительной аппаратуры, работающей в области сверхкоротких импульсов, все больше получают распространение исследования параметров антенн и радиолокационных характеристик объектов во временной

области с помощью импульсных сигналов нано- и пикосекундной длительности. Для проведения таких измерений необходима антенна, позволяющая работать без искажений формы импульса в сверх широкой полосе частот. При всем разнообразии типов широкополосных антенн, подходящих образцов, не очень много. Одним из них является расширяющаяся щелевая антенна (РЩА). Она представляет собой расширяющуюся щелевую структуру, причем ее формы подчиняются самым разным законам: линейное расширение, экспоненциальное расширение (антенна Вивальди) [1] и более сложным законам (например, антенна Ферми) [3]. Впервые сверхширокополосные характеристики расширяющихся щелевых антенн продемонстрировал в 1979 г. Гибсон [2] на примере антенны Вивальди. В этой работе было показано, что ширина ДН антенны Вивальди изменялась не значительно в очень широкой полосе частот (более декады) оставаясь при этом симметричной. В этом диапазоне антенна была хорошо согласована. В настоящее время антенна Вивальди имеет три основные категории: копланарная, которая представлена Гибсоном, двухсторонняя и сбалансированная двухсторонняя [4] антенны. Во многом параметры антенны определяются ее конструктивными особенностями. Исследовано [2, 5] влияние аппроксимирующей функции излучающей щели на характеристики антенн. В работе [6] показано влияние простой гребенчатой структуры на внешней части антенны и гребенчатой структуры с нагрузками между гребней. В статье [7] показана зависимость входного импеданса от ширины антенны. Исследовано [8] влияние радиопоглощающего материала на характеристики антенны. В работе [9] рассмотрена зависимость параметров излучателя Вивальди от выреза на внешней стороне питающей и излучающей частей.

Материалов, посвященных именно этой проблеме, встречается очень мало. Поэтому влияние параметров резонатора на характеристики антенны Вивальди представляет существенный интерес.

Исследование влияния формы резонатора на параметры излучателя. Целью данной работы являются исследования влияния конструкции резонатора элемента антенной решетки на расширение рабочего диапазона частот, преимущественно в низкочастотной области при сохранении минимально допустимых габаритов. Антенная решетка должна обеспечивать необходимую точность результатов измерений как в частотной, так и временной областях. В частности, решетки этого типа будут использованы в составе измерительного стенда, работающего в условиях безэховой камеры центра коллективного пользования «Прикладная электродинамика и антенные измерения» Южного федерального университета, чтобы обеспечить антенные и радиолокационные измерения в диапазоне частот от 0,5 ГГц до 18 ГГц.

Для достижения поставленной цели были проведены численные исследования влияния конструктивных параметров резонатора элемента Вивальди в составе линейной бесконечной антенной решетки (АР). Исследовались ее электродинамические характеристики при неизменности габаритных размеров. Расчеты проводились в программном пакете САПР СВЧ Ansoft HFSS. HFSS-модель элемента АР, взятой за основу [9], показана на рис. 1,а. Приведенные численные результаты получены для бесконечной линейной решетки. Для реализации решетки спроектирован элемент, на кромках которого определены периодические граничные условия Master и Slave, показанные на рис. 1,б.

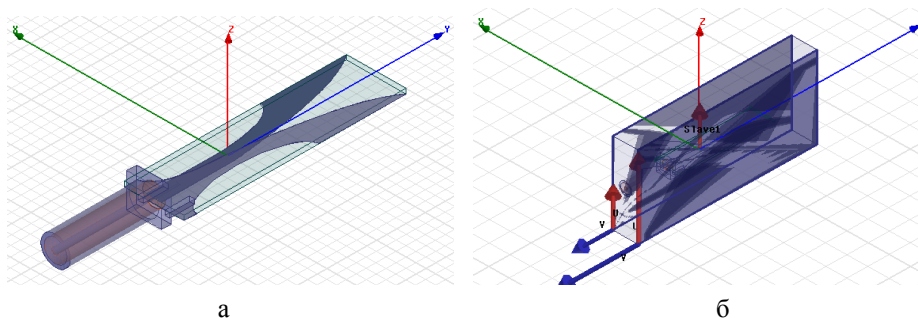


Рис. 1. Основной вид элемента антенной решетки с резонатором в виде полуэллипса

Первая модель выполнена в виде двух пластин с экспоненциальным раскрытием и вырезом в виде полуэллипса на границе питающей и излучающей частей антенны. Одна из осей эллипса совпадает с внешней кромкой пластины. Питание модели осуществляется отрезком коаксиальным кабелем. Пластины разделены слоем диэлектрика Krempel Akaflex KCL с относительной диэлектрической проницаемостью $\varepsilon = 3,4$ и тангенсом угла диэлектрических потерь равным $0,0018$. Толщина диэлектрика составляет 1 мм. В численном эксперименте исследовалось влияние параметров данного выреза, а именно коэффициента эллиптичности, на КСВ в диапазоне частот от $0,5$ ГГц до 20 ГГц для линейной бесконечной решетки. Результаты эксперимента представлены на рис. 2, где частотные характеристики КСВ приведены для различных коэффициентов эллиптичности выреза.

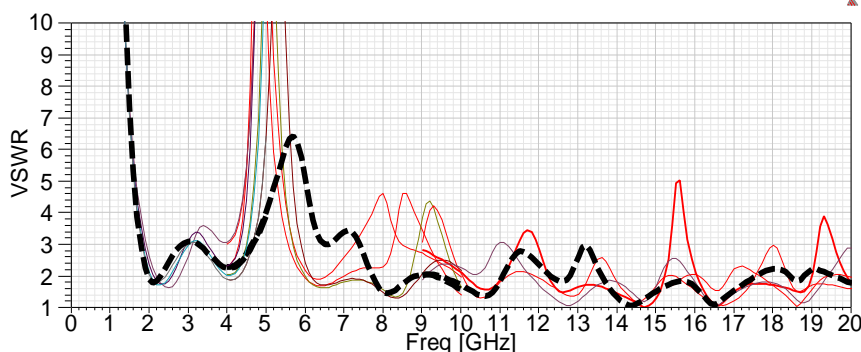


Рис. 2. Частотная характеристика КСВ-антенны и ДН-антенны для варианта с вырезом в виде полукруглости

Пунктирной кривой показана характеристика КСВ для выреза с коэффициентом эллиптичности 3 . Остальные характеристики КСВ приведены для вырезов, имеющих коэффициенты эллиптичности от $0,5$ до 3 с шагом $0,5$. Из рисунка видно, что наилучший результат для выреза коэффициента эллиптичности 3 . При значительном снижении среднего значения КСВ, расширение диапазона в области низких частот не происходит. Диаграммы направленности решетки с вырезом в виде полуэллипса с коэффициентом эллиптичности 3 на частотах $1, 5, 9$ и 18 ГГц изображены на рис. 5,б,г,е,з соответственно в плоскостях Е (сплошная кривая) и Н (пунктирная кривая).

Во второй модели за основу взята та же конструкция элемента антенной решетки [9], в котором сделан вырез в виде полного эллипса на границе питающей и излучающей частей антенны. Вырез не доходит до кромки антенны. На внешней части пластины выполнен дополнительный прямоугольный вырез длиной 2,25 мм, симметричный относительно границы излучающей и питающей частей антенны, примыкающих к резонатору. Исследования проводились аналогично предыдущим в диапазоне частот 0,5÷20 ГГц, при изменении коэффициента эллиптичности от 0,5 до 3 с шагом 0,5. Для примера, общий вид, описанной выше модели с коэффициентом эллиптичности, равным 3, показан на рис. 3.

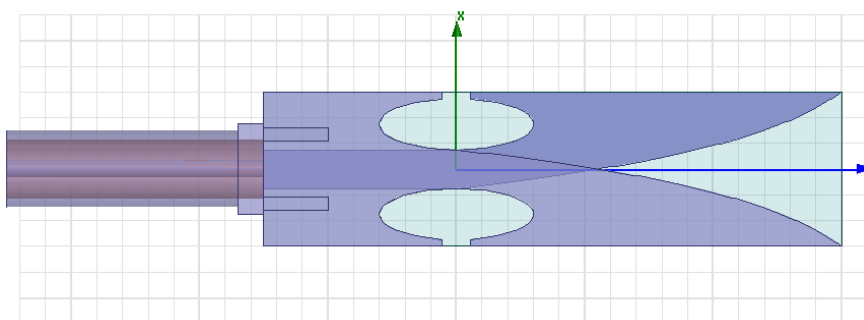


Рис. 3. Основной вид элемента с резонатором в виде полного эллипса с коэффициентом эллиптичности 3

Результаты расчетов представлены на рис. 4, где приведены частотные характеристики для варианта с наилучшим КСВ (кривая 1, коэффициент эллиптичности выреза равен 3). Также на данном рисунке для сравнения представлена частотная характеристика КСВ модели 1 с резонатором в виде полуокружности (кривая 2). Остальные кривые, рассчитанные для модели 2, с параметрами выреза от 0,5 до 3 с шагом 0,5, не приведены. Диаграммы угловой зависимости коэффициента усиления антенной решетки на частотах 1, 5, 9 и 18 ГГц в плоскостях Е (сплошная кривая) и Н (пунктирная кривая) показаны на рис. 5,а,в,д,ж соответственно.

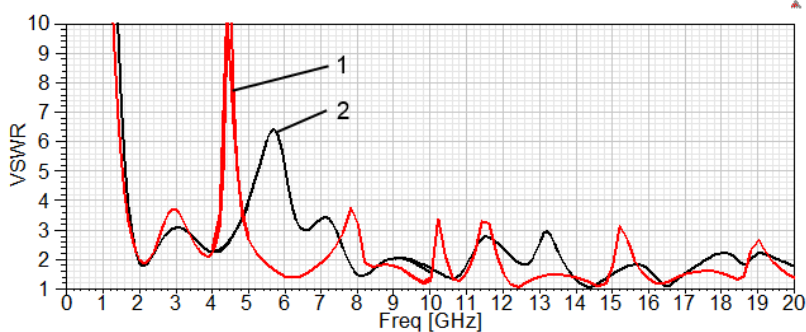


Рис. 4. Сравнительные частотные характеристики КСВ антенной решетки

Из графиков (см. рис. 4) видно, что результаты расчетов данной модели в высокочастотной области (7÷20 ГГц) отличаются от предыдущей модели не значительно. В низкочастотной области (0,5÷7 ГГц) КСВ решетки элементов с резонаторами в виде полного эллипса имеют узкий пик чуть более 10 на частоте примерно 4,5 ГГц. А у решетки с элементами в виде полуэллипса пик КСВ меньше (примерно 6,4 на 5,6 ГГц), но при этом он более широк.

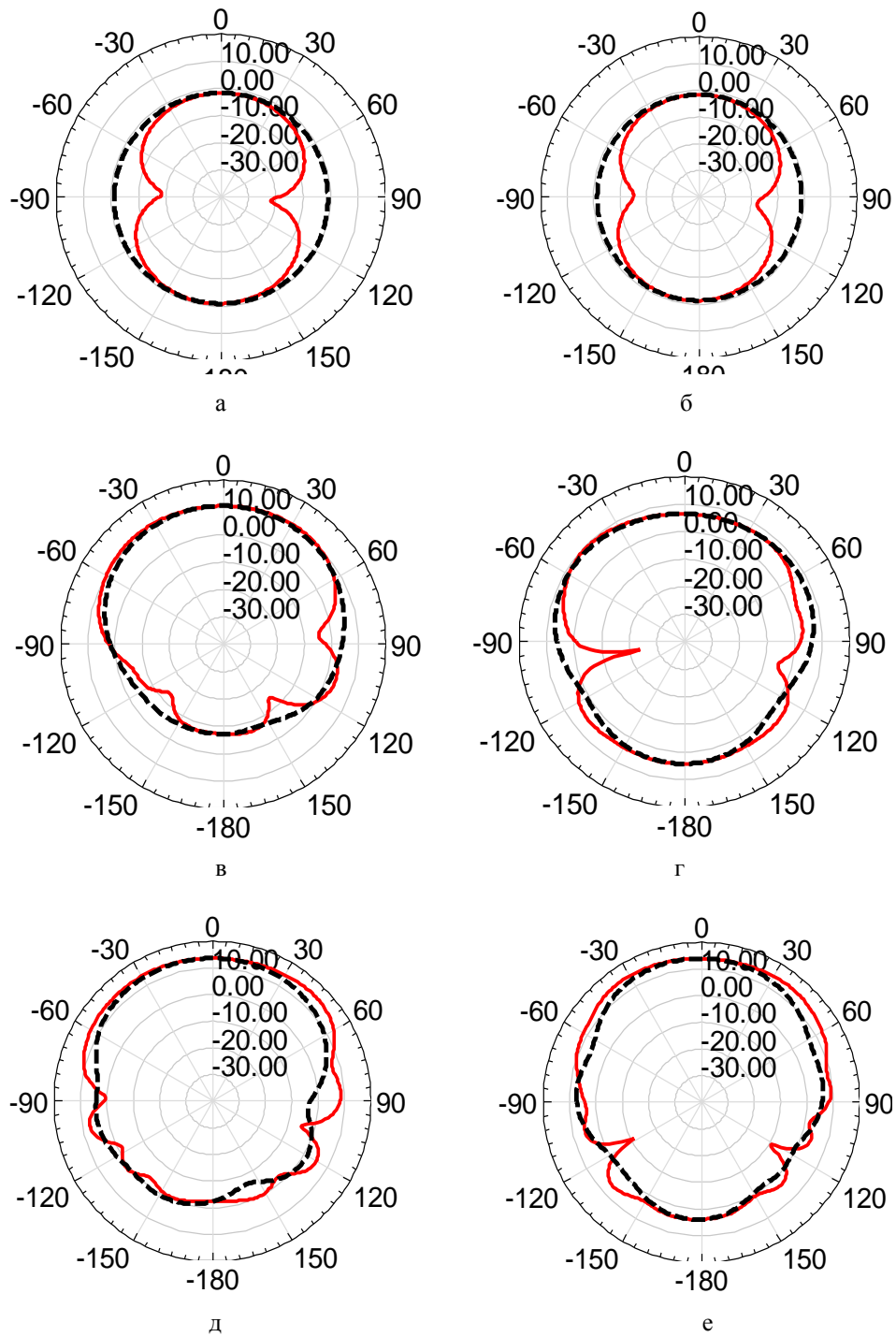


Рис. 5. Диаграммы угловой зависимости коэффициента усиления

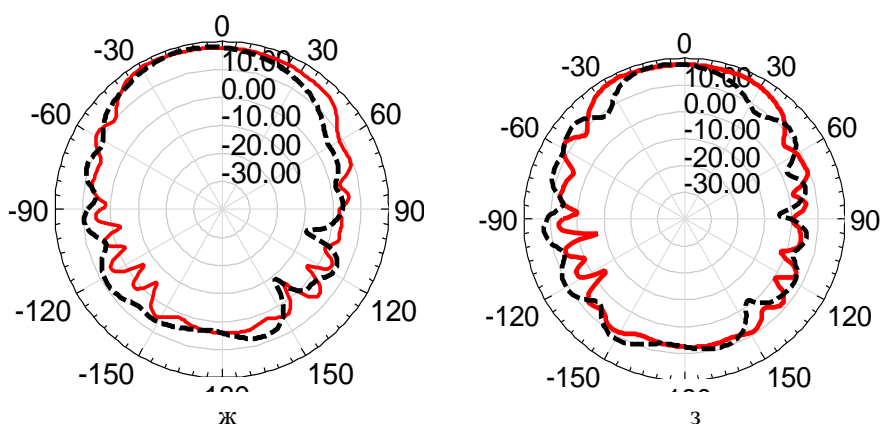


Рис. 5. Окончание

Из графиков (см. рис. 4) видно, что результаты расчетов данной модели в высокочастотной области (7÷20 ГГц) отличаются не значительно. В низкочастотной области (0.5÷7 ГГц) КСВ решетки элементов с резонаторами в виде полного эллипса имеют узкий пик чуть более 10 на частоте примерно 4,5 ГГц. А у решетки с элементами в виде полуэллипса пик КСВ меньше (примерно 6,4 на 5,6 ГГц), но при этом он более широк.

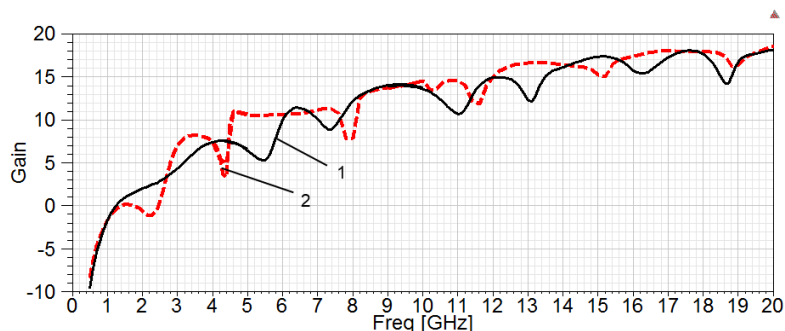


Рис. 6. Частотная зависимость коэффициента усиления

На рис. 6 приведены частотные зависимости коэффициента усиления рассмотренных выше моделей. Частотная характеристика коэффициента усиления (КУ) модели с резонатором в виде полуэллипса показана кривой 1, кривая 2 – иллюстрирует КУ модели с резонатором в виде полного эллипса. Из графиков видно, что проведенные исследования значительного влияния на коэффициент усиления оказывает не значительное влияние.

Вывод. В ходе проведенных исследований было выявлено, что форма выреза в виде полного эллипса либо полуэллипса, расположенного на границе питающей и излучающей частей элемента Вивальди линейной антенной решетки, не оказывает значительного влияния на частотную характеристику КСВ в высокочастотной области. В низкочастотной области элементы Вивальди с резонатором в виде полного эллипса дают узкий высокий пик КСВ (4,5 ГГц). Для элементов Вивальди с резонаторами в виде полуэллипса этот пик смещается выше по частоте (5,6 ГГц), размывается и величина его становится меньше примерно в двое. Выбор модели зависит от условий эксплуатации решетки.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Li Bian, Qun Wu, Jia-Hui Fu.* Optimization Design and Parameter Determination for Vivaldi UWB Antenna // Proceedings of ISAP2007 – Niigata, Japan, 2007. – P. 692-695.
2. *Gibson P.J.* The Vivaldi aerial // Proc. 9th European Microwave Conf. – Brighton (UK), 1979. – P. 101-105.
3. *Sato H., Takagi Y., Wagatsuma Y., Mizuno K., Sawaya K.* Time domain characteristics of broadband antipodal fermi antenna and its application to through-wall imaging // Proceedings OF ISAP2005 – SEOUL, KOREA, 2005. – P. 387-390.
4. *Bayat A.R., Mirzakhani R.* A Parametric Study and Design of the Balanced Antipodal Vivaldi Antenna (BAVA) // PERS Proceedings – Moscow, Russia, 2012. – P. 778-782.
5. <http://etd.lib.metu.edu.tr/upload/12610492/index.pdf>.
6. <http://www.ieee.cz/mtt/soutez07/Nevrly.pdf>.
7. Eloy de Lera Acedo, Enrique Garcia, Vicente González-Posadas, José Luis Vázquez-Roy, Rob Maaskant, Daniel Segovia. Study and Design of a Differentially Fed Tapered Slot Antenna Array // Antennas and Propagation, IEEE Transactions on. On page(s): 1, Jan. 2010. – Vol. 58, Issue. – P. 68-78.
8. *Yukhanov Yury V., Semenikhin Andrey I., Privalova Tatiana Y., Semenikhina Diana V.* Wide-band radiators of scanning antenna array // Antenna Technology and Applied Electromagnetics (ANTEM), 2012 15th International Symposium on Toulouse Digital Object Identifier: 10.1109/ANTEM.2012.6262339 Publication Year: 2012, Page(s): 1-5 IEEE Xplorer.
9. Xianming Qing, Zhi Ning Chen, Michael YanWah Chia. Parametric Study of Ultra-Wideband Dual Elliptically Tapered Antipodal Slot Antenna // Hindawi Publishing Corporation International Journal of Antennas and Propagation Volume 2008, Article ID 267197, 9 p. doi:10.1155/2008/267197.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор В.Н. Шевченко.

Мерглов Илья Владимирович – ФГАОУ ВПО «Южный федеральный университет», центр коллективного пользования «Прикладная электродинамика и антенные измерения»; e-mail: airpu@tgn.sfedu.ru; 347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44; тел. 88634371733; кафедра антенн и радиопередающих устройств; аспирант.

Merglodov Il'ya Vladimirovich – FGAOU VPO "Southern Federal University" Center of collective use "Applied Electromagnetics and Antenna Measurement"; e-mail: airpu@tgn.sfedu.ru; 44, Nekrasovskiy, Taganrog, 347928, Russia; phone: +78634371733; the department of antennas and radio transmitters; postgraduate student.

УДК 537.872.31

В.В. Демшевский

ПАДЕНИЕ ПЛОСКОЙ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ВОЛНЫ НА БЕСКОНЕЧНУЮ ДВУМЕРНУЮ МИКРОПОЛОСКОВУЮ РЕШЕТКУ С НЕСТАЦИОНАРНЫМИ НЕЛИНЕЙНЫМИ НАГРУЗКАМИ

Рассмотрено обобщение решения задачи возбуждения плоской монохроматической ЭМ волной бесконечной периодической микрополосковой решетки, в которой между полосками включены нелинейные нагрузки, параметры которых меняются во времени.

Нестационарность нагрузки может быть реализована, например, путем подачи управляющего напряжения на нее по цепям питания.

Решение задачи методом интегральных уравнений основывалось на использовании леммы Лоренца и ГУ непрерывности касательных составляющих векторов полей, а также НГУ на поверхностях НН. С помощью теоремы Флоке и формулы суммирования Пуассона, бесконечная СНИУ сводилась к системе нелинейных интегральных уравнений относительно неизвестных плотностей магнитных токов на одном периоде решетки. Для численного решения СНИУ применялся метод моментов. Рассмотрен случай гармонического изменения параметров НН.