

ПРИМЕНЕНИЕ АППРОКСИМАЦИИ ОПТИМАЛЬНОЙ ТОКОВОЙ СЕТКОЙ К АНТЕННЕ С КРУГОВОЙ ПОЛЯРИЗАЦИЕЙ

С.Б. Чинь, аспирант

г. Томск, ТУСУР, каф. ТУ, trinh.x.2213-2025@e.tusur.ru

Аппроксимация оптимальной токовой сеткой (АОТС) впервые применяется к спиральной антенне осевого режима с круговой поляризацией диапазона 2–3 ГГц, реализованной на основе проводной сетки. Исследуется влияние разрежения на радиотехнические характеристики антенны. Показано, что АОТС снижает массу в 1,59 раза при сохранении основных характеристик исходной антенны.

Ключевые слова: антенна, круговая поляризация, аппроксимация оптимальной токовой сеткой, спиральная антенна.

В работе [1] предложена аппроксимация оптимальной токовой сеткой (АОТС) для уменьшения массы антенн из проводной сетки (ПС) при сохранении их основных характеристик. Масса уменьшается удалением из сетки проводов, в которых нормированный модуль тока ниже заданного допуска удаления элемента сетки (ДУЭС). Несмотря на развитие АОТС [2, 3], её применение к антеннам с круговой поляризацией (КП) ранее не рассматривалось. Широко используется спиральная антенна осевого режима, характеризующаяся простой геометрией, высокой направленностью и потенциально широкой полосой согласования [4]. Между тем всегда есть приложения такой антенны, для которых актуально уменьшение ее массы или парусности. В связи с этим целью данной работы является применение АОТС к спиральной антенне с КП.

Спроектирована спиральная антенна для диапазона частот 2–3 ГГц (рис. 1, *а*), состоящая из 5 витков с углом намотки $11,83^\circ$, диаметром спирали 41 мм и диаметром провода 3 мм. Спираль расположена над квадратной ПС с размерами 185×185 мм. При моделировании длина каждого сегмента равна длине ребра ячейки ПС (13 мм). Кроме того, для согласования с трактом 50 Ом использован трансформатор с формой прямоугольного треугольника с размерами $14 \times 48,3$ мм.

АОТС применена на частоте 2,45 ГГц (рис. 1, *б, в*) с ДУЭС = 20, 30% (что уменьшило массу антенны в 1,23 и 1,59 раза) и нормировкой модуля тока в каждом сегменте относительно среднего модуля тока [2]. Характеристики исходной и разреженных антенн, полученные методом моментов в TUSUR.EMC [5], приведены на рис. 2.

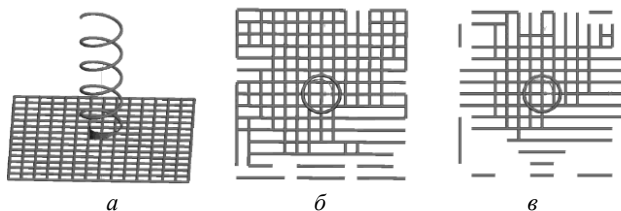


Рис. 1. Исходная (а) и разреженные антенны при ДУЭС = 20 (б), 30 (в), %

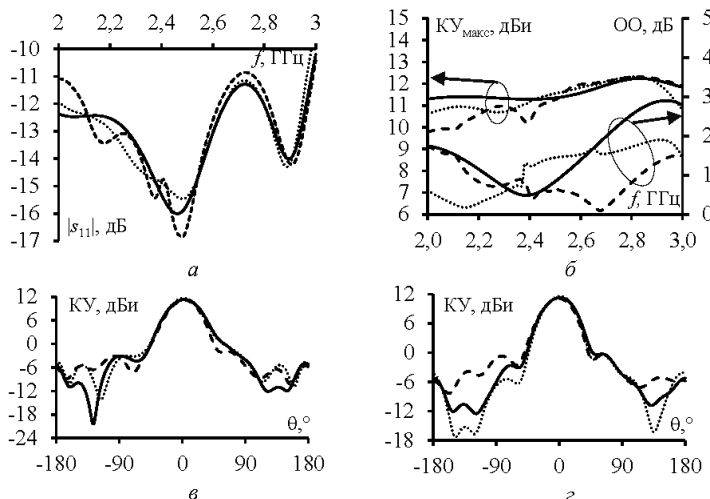


Рис. 2. Частотные зависимости $|s_{11}|$ (а); $KУ_{\text{макс}}$ и ОО (б) и ДН в плоскостях $\varphi = 0^\circ$ (в); 90° (г) для исходной (—) и разреженных антенн с ДУЭС = 20 (· ·), 30% (— —)

В рассматриваемой полосе частот коэффициент отражения $|s_{11}|$ удовлетворяет условию $|s_{11}| < -10$ дБ и остается близким к исходному (см. рис. 2, а). При ДУЭС = 30% на резонансной частоте 2,45 ГГц наблюдается небольшое улучшение: $|s_{11}| \approx -16,7$ при 16 дБ у исходной антенны. Максимальные коэффициенты усиления ($KУ_{\text{макс}}$) исходной и разреженных антенн на частоте 2,45 ГГц (см. рис. 2, б) очень близки ($\approx 11,2$ дБи). В диапазоне 2–2,5 ГГц после АОТС $KУ_{\text{макс}}$ ниже примерно на 1 дБ, чем до АОТС, что вполне приемлемо.

Для антенн с КП важно осевое отношение (ОО) (см. рис. 2, б) в направлении максимального излучения ($\theta = 0^\circ$): обе разреженные структуры дают $ОО < 3$ дБ во всем диапазоне частот. При ДУЭС=30% ОО меньше в диапазоне 2,4–3,0 ГГц, чем у исходной антенны, а при ДУЭС = 20% ОО заметно выше (примерно на 1 дБ) на центральной

частоте, вероятно, из-за нарушения исходной симметрии структуры после АОТС. Диаграммы направленности (ДН) разреженных и исходной антенн в плоскостях $\varphi = 0^\circ$ и 90° (см. рис. 2, в, г) также в целом довольно близки. Примечательно, что для $\varphi = 90^\circ$ (см. рис. 2, г) при ДУЭС = 20% значительно (на 6 дБ) уменьшаются минимумы КУ при $\theta \approx \pm 135^\circ$, что очень полезно. Однако при ДУЭС = 30% эти минимумы, наоборот, увеличиваются. Это объяснить пока трудно, но причиной может быть фаза токов удаленных проводов.

Таким образом, АОТС спиральной антенны осевого режима существенно уменьшила ее массу, сохранив основные характеристики. Так, в диапазоне 2–3 ГГц $|s_{11}| < -10$ дБ, а $OO < 3$ дБ. При этом масса антенны ниже в 1,23 и 1,59 раза при ДУЭС = 20, 30% соответственно. Полученные результаты открывают возможности применения модификаций АОТС к спиральным и другим антеннам с КП.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России по проекту FEWM-2024-0005.

ЛИТЕРАТУРА

1. Alhaj Hasan A.F. Wire-grid and sparse MoM antennas: Past evolution, present implementation, and future possibilities / A.F. Alhaj Hasan, M.T. Nguyen, S.P. Kuksenko, T.R. Gazizov // *Symmetry*. – 2023. – Т. 15, № 2. – С. 378.
2. Nguyen M.T. Generating sparse wire-grid antennas using maximum current-based optimal current grid approximation / M.T. Nguyen, A.F. Alhaj Hasan, T.R. Gazizov // *IEEE Open Journal of Antennas and Propagation*. – 2025.
3. Alhaj Hasan A.F. Novel MoM-based Approaches for Generating Wire-grid Sparse Antenna Structures / A.F. Alhaj Hasan, M.T. Nguyen, T.R. Gazizov // 2023 IEEE 24th Int. Conf. of Young Professionals in Electron Devices and Materials (EDM). – Altai Republic (Russia), June 29–July 3, 2023. – С. 570–576.
4. Kraus J.D. The Helical Antenna // *Proceedings of the IRE*. – March 1949. – Vol. 37, No. 3. – P. 263–272.
5. TUSUR.EMC system [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://emc.tusur.ru/talगतsoftware/>, свободный (дата обращения: 18.02.2026).

УДК 621.318.4

ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОГЛОТИТЕЛЯ НА ПЛОЩАДЬ ПЛАНАРНЫХ КАТУШЕК ИНДУКТИВНОСТИ

В.А. Трубченинов, С.В. Власов, аспиранты

*Научный руководитель Е.С. Жечев, доцент каф. СВЧуКР, к.т.н.
г. Томск, ТУСУР, каф. СВЧуКР, slava.trubcheninov@mail.ru*

Исследована возможность миниатюризации планарных катушек индуктивности СВЧ-диапазона с применением электромагнитного поглотителя (ЭП). Представлены результаты сравнения 3 катушек