

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 ОО < 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

индуктивности с номиналами 0,64; 4,5 и 13,8 нГн, изготовленных на подложке из арсенида галлия. Показано, что размещение ЭП над топологией катушки позволяет достичь заданного значения индуктивности при меньшей занимаемой площади.

Ключевые слова: катушка индуктивности, номинал индуктивности, электромагнитный поглотитель, резонанс, арсенид галлия, миниатюризация.

В современной пассивной высокочастотной электронике планарные катушки индуктивности находят широкое применение в различных устройствах, таких как фильтры, колебательные контуры, системы беспроводной передачи энергии и т.д. [1]. Одним из ключевых требований при проектировании таких катушек на кристалле является обеспечение заданной индуктивности при минимальной площади, поскольку размер обмотки напрямую определяет массогабаритные показатели всего устройства.

Традиционно для увеличения индуктивности планарных катушек прибегают к наращиванию числа витков, что увеличивает занимаемую площадь на кристалле [2]. Из-за этого поиск методов, позволяющих достичь требуемой индуктивности при меньшей площади катушки, представляет собой актуальную задачу. В работе [3] показано, что размещение магнитных материалов в непосредственной близости от обмотки позволяет увеличить индуктивность без изменения геометрии катушки, однако применяемые материалы отличаются сложностью и высокой стоимостью изготовления.

Более доступной альтернативой может быть электромагнитный поглотитель (ЭП) – композитный материал на основе магнитного и диэлектрического наполнителя [4]. Ранее ЭП широко использовался преимущественно как средство подавления электромагнитных помех и экранирования корпусов электронных устройств [5], тогда как его влияние на характеристики планарных катушек индуктивности и, в частности, на возможность уменьшения их площади не исследовался. Целью работы является исследование влияния ЭП на характеристики планарных катушек индуктивности и возможность уменьшения их площади без изменения номинала индуктивности.

На рис. 1 представлены 3 исследуемые конфигурации планарных катушек индуктивности. Все катушки имеют прямоугольную форму проводника (ширина 15, высота 5 мкм). Они отличаются числом витков и внутренним радиусом. Используются номиналы: $L_1 = 0,64$ нГн, $L_2 = 4,5$ нГн и $L_3 = 13,8$ нГн. В качестве подложки использован арсенид галлия (GaAs) толщиной 100 мкм. В качестве ЭП принят материал марки ЗИПСИЛ 601-РПМ-01 (толщина ЭП – 50 мкм).

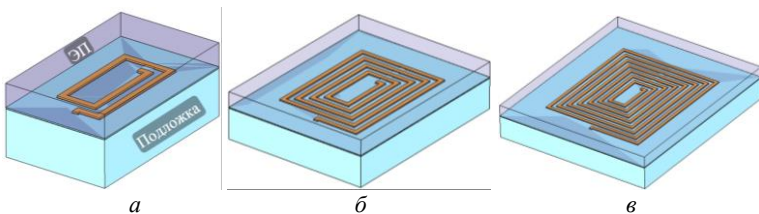


Рис. 1. Трехмерный вид катушек индуктивности с ЭП: L_1 (а), L_2 (б) и L_3 (в)

На рис. 2 представлены частотные зависимости номинала катушек без ЭП и с ним, а в таблице приведена занимаемая ими площадь.

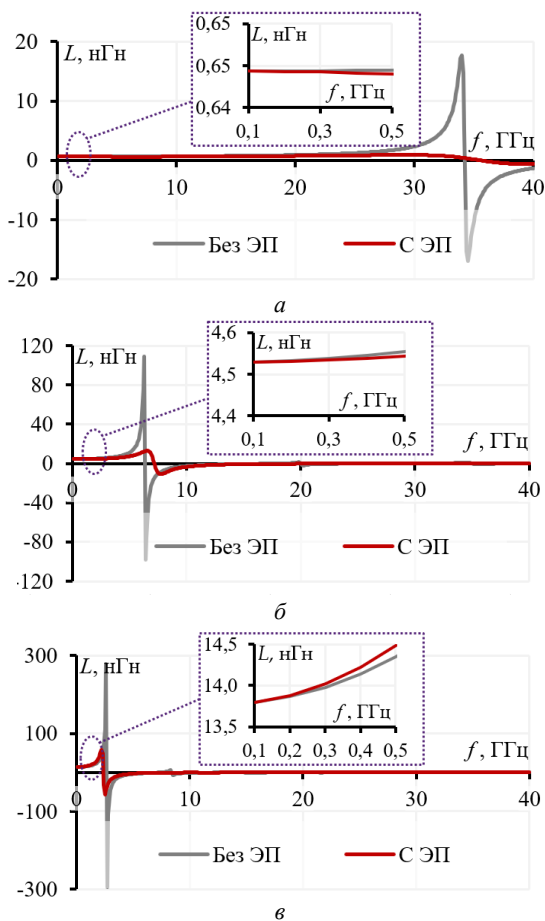


Рис. 2. Частотные зависимости номинала катушек для L_1 (а), L_2 (б) и L_3 (в)

Значения занимаемой площади (мм²) для исследуемых катушек

Конфигурация	Катушка L_1	Катушка L_2	Катушка L_3
Без ЭП	0,032	0,13	0,29
С ЭП	0,023	0,098	0,24

Видно, что использование ЭП позволило уменьшить занимаемую площадь для катушки L_1 в 1,4 раза, для катушки L_2 – в 1,3 раза, а для катушки L_3 – в 1,2 раза. Таким образом, способ уменьшения площади более эффективен при малых значениях индуктивностей.

Исследование выполнено в рамках проекта FEWM-2024-0005 Минобрнауки России.

ЛИТЕРАТУРА

1. High frequency analysis and optimization of planar spiral inductors used in microelectronic circuits / C. Pacurar, V. Topa, A. Giurgiuman et al. // Electronics. – 2021. – Vol. 10, No. 23. – P. 2897.
2. Planar elliptical inductor design for wireless implantable medical devices / M. Farooq, B. Amin, A. Elahi et al. // Bioengineering. – 2023. – Vol. 10, No. 2. – P. 151.
3. Review of on-chip inductor structures with magnetic films / D.S. Gardner, G. Schrom, F. Paillet et al. // IEEE Transactions on Magnetics. – 2009. – Vol. 45, No. 10. – P. 4760–4766.
4. Патент № 2847781 С1 Российская Федерация, МПК H01P 3/08, H05K 1/02. Устройство подавления электромагнитных помех на основе дифференциальной линии передачи с магнитодиэлектрическим покрытием: заявл. 12.02.2025; опубл. 15.10.2025 / С.В. Власов, В.А. Трубоченинов, Е. Жечев.
5. Zhechev Y.S. New technique for improving modal filter performance by using an electromagnetic absorber / Y.S. Zhechev, A.H. Adnan, K.P. Malygin // IEEE Access. – 2022. – Vol. 10. – P. 86663–86670.