

ЛИТЕРАТУРА

1. Rowland C. H. Covert Channels in the TCP/IP Protocol Suite. First Monday, Peer Reviewed Journal on the Internet, 1997, 2(5). DOI:10.5210/fm.v2i5.528.
2. Jankowski B. PadSteg: Introducing Inter-Protocol Steganography / B. Jankowski, W. Mazurczyk, K. Szczypiorski. – Telecommun Syst, 2011.
3. Zander S. A survey of covert channels and countermeasures in computer network protocols / S. Zander, G. Armitage, P. Branch – IEEE Commun. Surv. Tutorials, 2007 – № 3, С. 44–57.
4. Урбанович П. П., Калоша И.В., Шутько Н.П. Использование скрытых каналов для передачи информации на основе стенографических методов в стеке протоколов TCP/IP. – Сборник статей V Международной научно-технической конференции "Минские научные чтения-2022", Минск, 07–09.12.2022 г.: в 3 т. Т. 2. – Минск: БГТУ, 2022. – С. 393–398.
5. Галушка В.В. Сетевая стеганография на основе ICMP-инкапсуляции / С.Б. Петренкова, Я.В. Дзюба, В.А. Панченко –Инженерный вестник Дона, 2018. – № 4 (51) – 107 с.
6. Белкина, Т.А. Аналитический обзор применения сетевой стеганографии для решения задач информационной безопасности / Т.А. Белкина. – Молодой ученый, 2018. – № 11 (197) – С. 36-44.

УДК 621.396

ЛИНЗА ЛЮНЕБЕРГА КАК ЭЛЕМЕНТ ОБЕСПЕЧЕНИЯ СТРАТЕГИЧЕСКОГО ПРЕИМУЩЕСТВА И БЕЗОПАСНОСТИ НА ЗЕМЛЕ, НА ВОДЕ И В ВОЗДУХЕ

В.Г. ЛУГИН¹, И.В. ВОЙТОВ¹, Н.В. ЛУГИН²

¹Белорусский государственный технологический университет,

²Белорусский государственный университет
Минск, Беларусь

В современной технике, радиолокационных и телекоммуникационных комплексах, системах космической и наземной связи используется большое количество высоконаправленных антенн, которые применяются в радионавигации, радиолокации, радиопротиводействии. Наиболее распространенные типы высоконаправленных антенн:

зеркальные антенны, фазированные антенные решетки (ФАР), антенны на основе поверхностных гребенчатых структур, а также плоские линзовые антенны.

Указанные высоконаправленные антенные системы, несмотря на высокую эффективность, имеют принципиальные ограничения на диапазон рабочих частот, коэффициент усиления и диапазон углов сканирования без применения специальных устройств. В качестве альтернативы традиционным высоконаправленным антеннам может выступать линза Люнеберга (ЛЛ), лишённая перечисленных недостатков, и обладающая рядом принципиальных преимуществ. Антенна на базе ЛЛ позволяет осуществлять сканирование лучей практически в любом диапазоне углов, путем перемещения малого облучателя вдоль поверхности. В силу своей сферически-симметричной конструкции, линза способна формировать несколько независимых диаграмм направленности одновременно, что позволяет обеспечить реализацию устойчивой связи по произвольным направлениям в пространстве. Сферические линзовые антенны имеют малое аэродинамическое сопротивление, что позволяет устанавливать их на движущиеся высокоскоростные объекты и обеспечивать их связь со спутниками и другими устройствами связи, находящимися на большом угловом расстоянии.

Теоретические принципы работы линзы Люнеберга впервые описал немецкий математик Рудольф Карл Люнеберг в 1944 г. ЛЛ представляет собой сферу с градиентным изменением показателя преломления и размещенным на ее поверхности облучателем.

Предложенная конструкция за счет радиально-неоднородной среды позволяет сконцентрировать поле, излучаемое от слабонаправленного источника в требуемом направлении. Показатель преломления линзы от центра к внешнему радиусу изменяется от $\sqrt{2}$ в центре, до единицы на краю, по закону:

$$n(r) = \sqrt{\varepsilon'(r)} = \sqrt{2 - (r/a)^2},$$

где: ε' – относительная диэлектрическая проницаемость материала линзы;

r – радиальная координата в сферической или цилиндрической системе координат;

a – внешний радиус линзы.

Вид этой формулы говорит о том, что если коэффициент преломления сферического тела меняется от $\sqrt{2}$ в центре, до единицы на краю, то это тело преломляет падающие на него лучи таким образом, что они выходят из сферы параллельно своему диаметру. Схема прохождения лучей показана на рисунке 1.

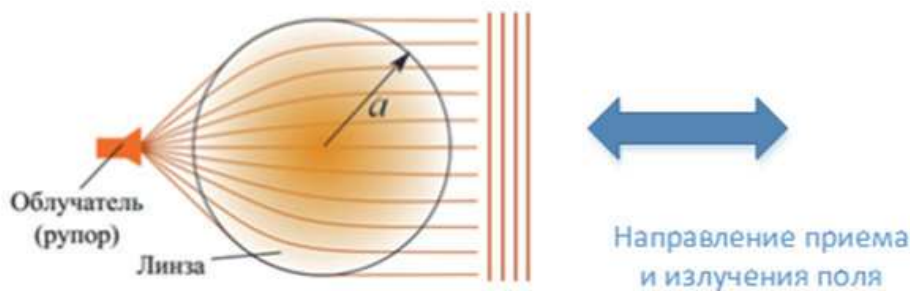


Рис. 1. Схема прохождения лучей через линзу Лüneберга

Изменение показателя преломления линзы Лüneберга от центра к ее поверхности носит непрерывный характер. Чаще всего плавный закон изменения диэлектрической проницаемости заменяют ступенчатым, следовательно, неоднородную структуру на слоистую. Создание таких линзовых антенн сталкивается с рядом проблем, связанных с получением материалов с необходимым значением диэлектрической проницаемости и поиском оптимального способа изготовления линзы. Существуют два различных подхода к проектированию: использование слоев с одинаковой толщиной или использование слоев с фиксированным значением показателя преломления и, соответственно, различными толщинами слоев.

Обычно линза Лüneберга изготавливаются из нескольких слоёв сферических оболочек, каждая из которых имеет одинаковый показатель преломления. Это приводит к разности фаз в апертуре, которая зависит от количества используемых слоёв. Чем больше слоёв, тем ближе к идеальной ЛЛ, но тем сложнее процесс её изготовления и выше стоимость. Кроме того, из-за зазоров и соединений между слоями возникают дополнительные разности фаз, что сделает слишком большое количество слоёв нецелесообразным.

В научных работах на эту тему все сходятся во мнении, что чем больше слоев, тем более точно описывается закон Лüneберга, но это же и усложняет конструкцию. Опытным путем установлено, что коэффициент усиления антенны и диаграмма направленности практически не меняются с увеличением количества слоев более шести.

В данной работе было решено использовать разбиение линзы на шесть слоев с равным шагом по толщинам слоев. Слои изготавливаются из диэлектрического материала, с соответствующей диэлектрической проницаемостью. Каждый слой состоит из двух симметричных полусфер. Структура такой линзы представлена на рисунке 2.



Рис. 2. Структура линзы Люнеберга

Такая структура позволяет линзе Люнеберга фокусировать перехваченные электромагнитные волны. Когда плоская волна падает на линзу, она фокусируется на другом конце диаметра, перпендикулярном волновому фронту. Аналогично, размещение облучателя в этой точке генерирует плоскую волну на апертуре сферической антенны, которая затем излучается. При использовании антенны с линзой Люнеберга простое перемещение облучателя по поверхности сферы позволяет сканировать луч на 360° .

Линзовый рефлектор Люнеберга представляет собой сферическую линзу Люнеберга, половина (или часть) поверхности которой покрыта металлическим отражающим слоем. Этот линзовый рефлектор фокусирует перехваченные электромагнитные волны и отражает их обратно с высоким коэффициентом усиления, что обеспечивает большую эффективную площадь отражения. Эффективная площадь отражения для линзы Люнеберга пропорциональна квадрату частоты и четвертой степени размера. И может быть в сотни раз больше, чем у металлической сферы того же диаметра.

Сферические линзовые отражатели на основе ЛЛ обладают следующими преимуществами:

- Компактные и лёгкие, они обеспечивают чрезвычайно высокую эффективность отражения и широкий угол обзора.

- Они недороги, просты в установке и обслуживании, имеют длительный срок службы и не требуют источника питания.

- Поскольку они не излучают электромагнитное излучение, они не представляют опасности для персонала или оборудования и устойчивы к электромагнитным помехам, что обеспечивает очень низкий уровень отказов и чрезвычайно высокую надёжность.

Сферические отражатели на базе линзы Люнеберга имеют большие перспективы применения, в первую очередь в следующих областях:

На земле: их можно устанавливать на водных путях, в портах, аэропортах и других местах в качестве навигационных и маркировочных устройств, а также использовать для маскировки военной техники, станций, мостов и других сооружений.

На воде: их можно устанавливать на рыболовных судах, кораблях, спасательных плотках и других плавсредствах для увеличения дальности и вероятности обнаружения радаров, тем самым предотвращая столкновения и облегчая спасательные работы. Их также можно использовать в районах морской разведки, на строительных площадках и военных испытательных полигонах в качестве предупреждающих знаков для приближающихся судов.

В воздухе: их можно устанавливать на самолетах, ракетах и беспилотных летательных аппаратах для увеличения эффективной площади отражения и идентификации радиолокационными станциями, а также при постановке ложных целей для радиоэлектронного противодействия.