

СВЕРХШИРОКОПОЛОСНАЯ ВЫСОКОЭФФЕКТИВНАЯ СОСТАВНАЯ СПИРАЛЬНАЯ АНТЕННА С РЕЗОНАТОРОМ

Ульянова В.А.¹, Лагутов М.С.²

¹Ульянова Виктория Александровна - студентка специалитета факультета
ФИТЭ, Пензенский государственный университет

²Лагутов Максим Сергеевич – студент специалитета факультета ФИТЭ,
Пензенский государственный университет

г. Пенза, Российская Федерация

Аннотация: в данной статье была рассмотрена высокоэффективная сверхширокополосная (СШП) спиральная антенна с резонаторной опорой. В данной антенне используется равноугольная спираль, заключенная в архимедову спираль. Резонатор спроектирован таким образом, чтобы обеспечить полосу пропускания импеданса (от 350 МГц до 5,5 ГГц).

Ключевые слова: сверхширокополосные антенны; спиральные антенны; спиральные антенны с резонатором.

ULTRA-WIDEBAND HIGH-EFFICIENCY COMPOSITE SPIRAL ANTENNA WITH RESONATOR

Ulyanova V.A.¹, Lagutov M.S.²

¹Ulyanova Viktoriya Alexandrovna - student of the faculty's specialty FITE, Penza
State University

²Lagutov Maxim Sergeevich - student of the faculty's specialty FITE, Penza State
University

Penza, Russian Federation

Abstract: in this article, a highly efficient ultra-wideband (UWB) spiral antenna with a resonator support was considered. This antenna uses an equiangular spiral enclosed in an Archimedean spiral. The resonator is designed in such a way as to provide an impedance bandwidth (from 350 MHz to 5,5 GHz).

Keywords: ultra-wideband antennas; spiral antennas; spiral antennas with resonator.

УДК 62-768

Радары визуализации и обнаружения [1] часто используют узкие импульсы с полосой пропускания от 350 МГц до 5,5 ГГц или более. Им нужны антенны с импедансом и характеристиками излучения, которые должны соответствовать сложным спецификациям сверхширокополосного (СШП) проектирования.

Среди различных типов сверхширокополосных антенн спираль является основным выбором при круговой поляризации [2]. Спиральные антенны могут быть изготовлены на печатных платах, что делает их механически прочными и относительно дешевыми.

С другой стороны, спиральные антенны имеют некоторые недостатки. Они требуют сбалансированной подачи на относительно высокое входное сопротивление. Таким образом, для согласования 50 Ом на вход спирали необходимо специальное устройство, называемое балуном. Толстые подложки с высокой диэлектрической проницаемостью могут снизить входной импеданс спирали за счет более узкого импеданса и ширины полосы пропускания с осевым отношением [3]. Кроме того, разработка спиральной антенны для однонаправленного излучения имеет свою цену. Обычно используются металлические отражатели или полости [4]. Резонатор отрицательно влияет на импеданс и ширину полосы пропускания, а также на симметрию структуры усиления [5]. Это часто смягчается введением поглощающих материалов или структур с электромагнитной запрещенной зоной (EBG) [6]. Решение EBG неосуществимо, когда полоса пропускания импеданса должна превышать соотношение 10:1. С другой стороны, поглотители снижают эффективность излучения, поскольку их потери и без того высоки.

В рассматриваемой конструкции используется составная спираль [7], которая состоит из равноугольной спирали, заключенной в архимедову спираль. Составные спирали представляют собой компромисс между лучшей эффективностью излучения проводника равноугольной спирали и меньшим размером архимедовой спирали. Однако достижение однонаправленного излучения с помощью сложной спирали является сложной задачей. Цилиндрическая полость без поглотителя простой геометрии с приподнятым

центром может обеспечивать однонаправленные диаграммы направленности и очень широкую (16:1) полосу пропускания с импедансом от 350 МГц до 5,5 ГГц, избегая при этом дополнительных потерь. Эффективность от 58% до 78% достигается во всем диапазоне частот, несмотря на недорогую подложку FR-4, тогда как типичная эффективность спиральных антенн с поглощающей подложкой составляет от 40% до 45% [8]. Минимальный AR (в пределах 45° от точки визирования) составляет более 5 дБ в диапазоне от 500 МГц до 5 ГГц. Но с другой стороны, резонатор без поглотителя отрицательно влияет на равномерность усиления и диаграмм направленности, особенно на более высоких частотах.

Предлагаемая антенна состоит из трех основных частей: составной спирали, резонатора и балуна. Конструкция предназначена для правой поляризации. Также в данной антенне используется аналогичная левополяризованная антенна, характеристики которой очень похожи на полосу пропускания импеданса, коэффициента усиления и осевого отношения рассматриваемой антенны.

Участки архимедовой спирали оптимизированы одновременно для наилучшего соответствия импедансу в диапазоне от 500 МГц до 5 ГГц. Оптимизация была сначала применена к спиральной структуре без полости, а затем повторно оптимизирована при наличии полости. Архимедова часть спирали имеет решающее значение для достижения соответствия широкополосного импеданса при сохранении диаметра антенны ниже 360 мм. Это связано с тем, что архимедова форма обеспечивает значительное удлинение спирали по длине рычага в пределах доступного пространства, обеспечивая постепенное затухание тока к концам рычагов. Это постепенное разрушение особенно важно при наличии полости, стенки которой находятся очень близко к концам спиральных рукавов. Это оказывает минимальное влияние на эффективность антенны при использовании подложки FR-4. Вклад материала FR-4 в потери намного больше, чем вклад медных следов, образующих спираль (включая архимедов участок).

Для подавления обратного излучения составная спираль снабжена металлической полостью. Полости отрицательно влияют на широкополосный импеданс антенны, AR и характеристики усиления [9]. Стратегии смягчения включают поглощающие материалы внутри резонатора или концевые резисторы, которые снижают эффективность антенны. В данной антенне используется цилиндрическая полость без поглотителя с приподнятым центром, которую легко изготовить благодаря ее простой геометрии. Это значительно улучшает соотношение передней и задней частей. Составная спираль оптимизирована вместе с резонатором, чтобы сохранить соответствие широкополосного импеданса. Следует отметить, что без резонатора спираль обеспечивает еще более широкую полосу пропускания с импедансом от 300 МГц до 6 ГГц. Однако в случае резонатора согласование импеданса нарушается даже в пределах указанной полосы пропускания от 500 МГц до 5 ГГц, что требует дополнительного цикла оптимизации, в котором параметры спирали и формы резонатора настраиваются одновременно. В основе принципа проектирования лежит отражающая поверхность, где излучаются более высокие частоты [10]. Этот принцип проектирования может быть дополнительно использован для повышения производительности в требуемой полосе пропускания за счет наличия множества приподнятых секций. Однако это увеличивает сложность и, следовательно, затраты на изготовление. Дополнительным преимуществом цилиндра с приподнятым центром является то, что он размещает подающий балун снаружи, таким образом экранируя его от антенны.

Печатный балун предназначен для преобразования несимметричного (коаксиального) питания 50 Ом в сбалансированный порт спирали, имитируемое сопротивление которого варьируется от примерно от $(120 - j10)$ Ом на низких частотах до примерно $(150 + j20)$ Ом на высоких частотах. Он состоит из пяти металлических секций линейной конусности в нижней части и верхней части печатной платы FR-4 толщиной 1,6 мм. Конструкция основана на постепенном переходе от сбалансированного порта к несбалансированному для получения приемлемого соответствия широкополосного импеданса, где более постепенный

переход приводит к более высокой полосе пропускания. Было обнаружено, что этот постепенный переход наиболее эффективно достигается в рамках ограничений физической длины за счет использования секций с различной конусностью. Из-за изменяющегося отношения входного и выходного импедансов от более низких до более высоких частот, структура должна быть настроена путем моделирования внутри всей антенны, спирали и резонатора, чтобы получить оптимальное соответствие импеданса.

Таким образом, была рассмотрена высокоэффективная спиральная антенна с резонаторной опорой, которая обеспечивает: полосу пропускания с импедансом 16:1 (от 350 МГц до 5,5 ГГц, с потерями на отражение 10 дБ, Эффективность значительно превышает 90%, если используются подложки с низкими потерями. Максимальные значения усиления значительно превышают заявленные в литературе для спиралей с резонатором с аналогичной полосой пропускания импеданса. Эффективность также значительно выше, чем обычно сообщается для спиральных антенн с поглощающей подложкой [11]. Эти показатели производительности превосходят описанные спирали с полостями, и они доказывают, что полости без поглотителя с приподнятым центром могут обеспечивать однонаправленный рисунок, в то время как поддержание чрезвычайно широкой полосы пропускания импеданса. С точки зрения AR и точности, предлагаемая конструкция сравнима с существующими спиралями с отражателем без поглотителя. Недостатком полостей без поглотителя являются искажения диаграммы направленности и усиления (рябь, близкая к зрению), которые могут смещать направления максимального и минимального усиления за пределы зрения. Такие искажения приемлемы для применения на близком расстоянии, для которого предназначена антенна.

Список литературы

1. Sachs, J. Handbook of Ultra-Wideband Short-Range Sensing: Theory, Sensors, Applications; Wiley-VCH Verlag and Co. KGaA: Weinheim, Germany, 2012.
2. Nguyen, C.; Han, J. Time-Domain Ultra-Wideband Radar, Sensor and Components; Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, 2014.

3. Taylor, J.D. Ultrawideband Radar: Applications and Design; CRC Press: Boca Raton, FL, USA, 2016.
4. Curtis, W. Spiral antennas. IRE Trans. Antennas Propag. 1960, 8, 289–306.
5. Rumsey, V.H. Frequency Independent Antennas; Academic Press: Cambridge, MA, USA, 1966.
6. Corzine, R.G.; Mosko, J.A. Four-Arm Spiral Antennas; Artech House: Norwood, MA, USA, 1990.
7. DuHamel, R.H.; Chadwick, G.G. Frequency-independent antennas. In Antenna Engineering Handbook, 2nd ed.; Johnson, R.C., Jasik, H., Eds.; McGraw-Hill Book Company: New York, NY, USA, 1984; Chapter 14, pp. 14-16–14-26.
8. Filipovi'c, D.S.; Cencich, T. Frequency-independent antennas. In Antenna Engineering Handbook, 4th ed.; Volakis, J.L., Ed.; Mc-Graw-Hill: New York, NY, USA, 2007; Chapter 13.
9. Nakano, H. Frequency-independent antennas: Spirals and log-periodics. In Modern Antenna Handbook; Balanis, C.A., Ed.; Wiley Online Library: Hoboken, NJ, USA, 2007; Chapter 6.
10. Stutzman, W.L.; Thiele, G.A. Antenna Theory and Design, 3rd ed.; Wiley: Hoboken, NJ, USA, 2013.
11. Balanis, C.A. Antenna Theory: Analysis and Design, 4th ed.; Wiley: Hoboken, NJ, USA, 2013.