

Влияние диэлектрической проницаемости согласующего и симметрирующего устройства сверхширокополосной спиральной антенны на отклонение диаграммы направленности

И.Д. Павлов^{1,2}

¹АО «Центральное конструкторское бюро автоматики» г. Омск

²Омский государственный технический университет ОмГТУ

Аннотация: в настоящей работе исследовано влияние диэлектрической проницаемости подложки микрополоскового согласующего и симметрирующего устройства на отклонение диаграммы направленности антенны, возбуждаемой этим устройством. Определено, что повышение диэлектрической проницаемости подложки до 6 и более позволяет в два раза снизить отклонение диаграммы направленности. Полученный уровень отклонения диаграммы направленности соответствует значениям, получаемым при использовании согласующего и симметрирующего устройства на отрезках субминиатюрного коаксиального кабеля, при том, что микрополосковое устройство значительно проще с точки зрения практической реализации.

Ключевые слова: согласующее и симметрирующее устройство, сверхширокополосная спиральная антенна, диаграмма направленности.

1. Введение

Стабильность положения диаграммы направленности в широкой полосе частот является одним из важных требований в системах радиомониторинга, реализующих амплитудный метод [1], [2]. Под стабильностью в данном случае понимается неизменное (в пределах некоторого допуска) положение диаграммы направленности относительно некоторой оси. Как правило эти оси связаны с направлениями обзора системы радиомониторинга. Поэтому отклонение диаграмм направленности от указанных осей может приводить к повышенным ошибкам или даже потере работоспособности.

Для возбуждения сверхширокополосной спиральной антенны [3], рассматриваемой в настоящей работе, используется согласующее и симметрирующее устройство, являющееся переходом от коаксиальной линии к двухпроводной. Указанное устройство давно известно [4] и широко применяется. Применяются также его микрополосковые варианты [5]. Применение микрополоскового варианта такого устройства представляется более предпочтительным, поскольку он является более простым с точки зрения практической реализации. Исходя из этого можно сформулировать цель работы – исследовать влияние диэлектрической проницаемости материала подложки согласующего и симметрирующего микрополоскового устройства на отклонение диаграммы направленности.

2. Описание конструкции и результаты моделирования

В работе [6] рассматривалась сверхширокополосная спиральная антенна, такая же, как и в настоящей работе. Было исследовано влияние трех различных согласующих и симметрирующих устройств на отклонение диаграммы направленности указанной антенны. Определено, что наименьшего отклонения диаграммы направленности (не более 6 градусов) удастся достичь при использовании согласующего и

симметрирующего устройства, выполненного на отрезках субминиатюрного коаксиального кабеля, и подключенного к антенне через двухпроводную линию в микрополосковом исполнении. Практическая реализация такого устройства вызывает затруднения, связанные с необходимостью размещения внутри корпуса антенны цилиндрического резонатора, размеры которого близки к размерам антенны. Кроме того, монтаж субминиатюрных коаксиальных кабелей внутри корпуса антенны потребует его существенной доработки. Исходя из этого было принято решение исследовать возможность применения микрополоскового варианта согласующего и симметрирующего устройства, который позволит достичь столь же малого отклонения диаграммы направленности.

Первым был рассмотрен вариант, при котором согласующее и симметрирующее устройство было выполнено на фольгированном армированном фторопласте (ФАФ), с диэлектрической проницаемостью 2,2. Общий вид антенны и согласующего и симметрирующего устройства представлены на рисунках 1 и 2 соответственно.

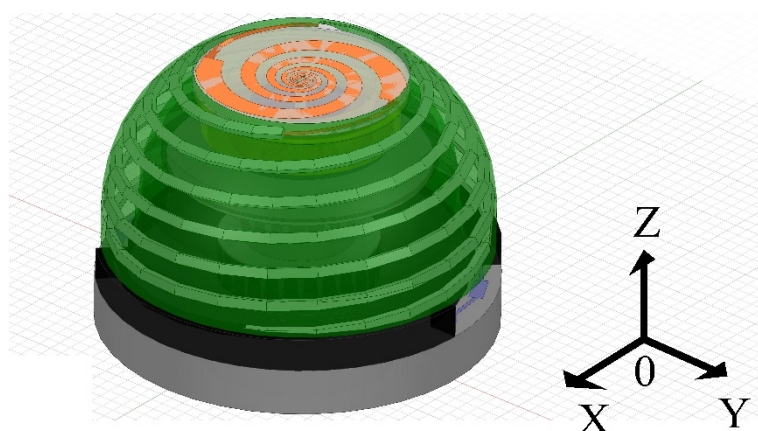


Рисунок 1. Спиральная антенна.

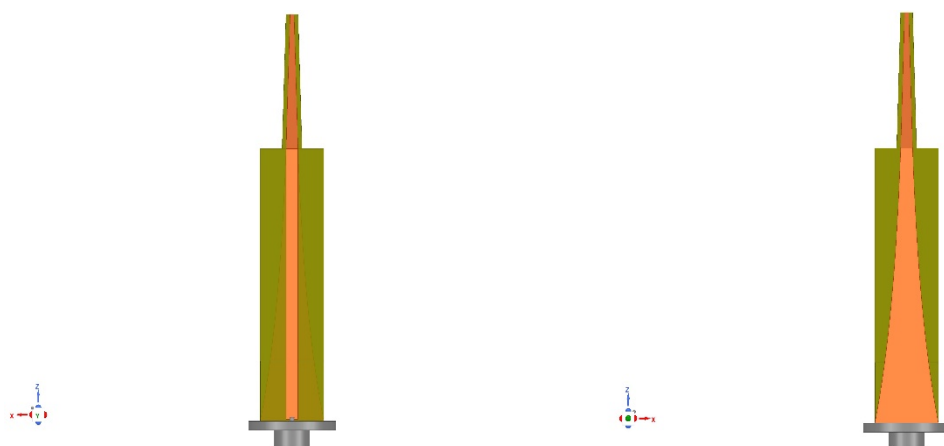


Рисунок 2. Микрополосковое согласующее и симметрирующее устройство на подложке из ФАФ.

Для указанного варианта согласующего и симметрирующего устройства было выполнено электродинамическое моделирование. В результате моделирования были сформированы сечения диаграммы направленности в плоскости XOZ и получены отклонения этих сечения от оси OZ . Отклонения были определены по уровню

половинной мощности.

Частотная зависимость указанных отклонений приведена на рисунке 3. Также на рисунке 3 приведена частотная зависимость отклонений диаграммы направленности для случая, когда антенна возбуждается через кососрезанный переход от коаксиальной к двухпроводной линии

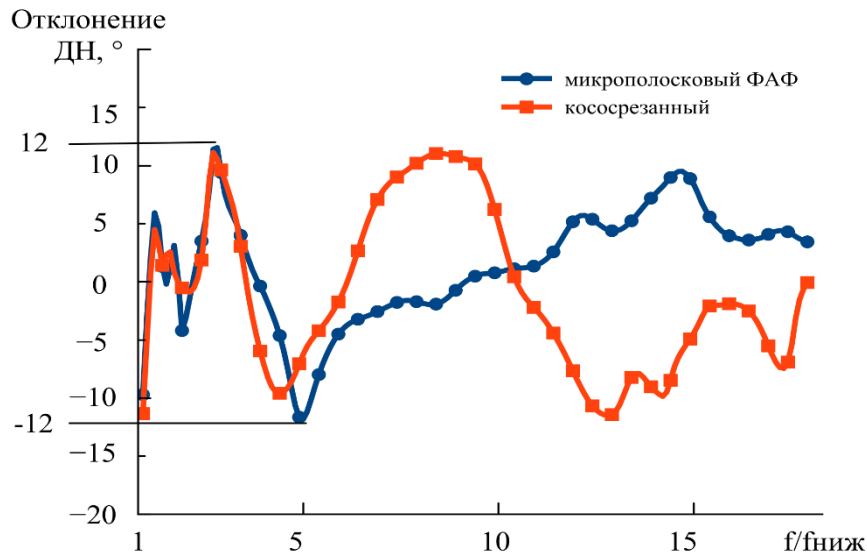


Рисунок 3. Частотная зависимость отклонений диаграммы направленности для двух рассмотренных вариантов согласующих и симметрирующих устройств.

Исходя из зависимостей, приведенных на рисунке 3, можно отметить, что максимальные значения отклонений диаграммы направленности для обоих случаев практически не отличаются. Отличаются только области частотного диапазона в которых указанные значения находятся.

Оба рассмотренных варианта характеризуются отклонениями диаграмм направленности большими чем при использовании согласующего и симметрирующего устройства на отрезках субминиатюрного коаксиального кабеля. Учитывая это, необходимо исследовать возможность уменьшения отклонения диаграммы направленности. Одним из способов уменьшить отклонение диаграммы направленности может являться увеличение диэлектрической проницаемости подложки согласующего и симметрирующего устройства в микрополосковом исполнении.

Были рассмотрены четыре варианта:

- исходный, материал подложки ФАФ, диэлектрическая проницаемость 2,2;
- материал с диэлектрической проницаемостью 3;
- материал с диэлектрической проницаемостью 6,1;
- материал с диэлектрической проницаемостью 10,2.

Для каждого из указанных материалов было проведено электродинамическое моделирование и получены отклонения диаграммы направленности по уровню половинной мощности.

Частотные зависимости полученных отклонений диаграммы направленности приведены на рисунке 4.

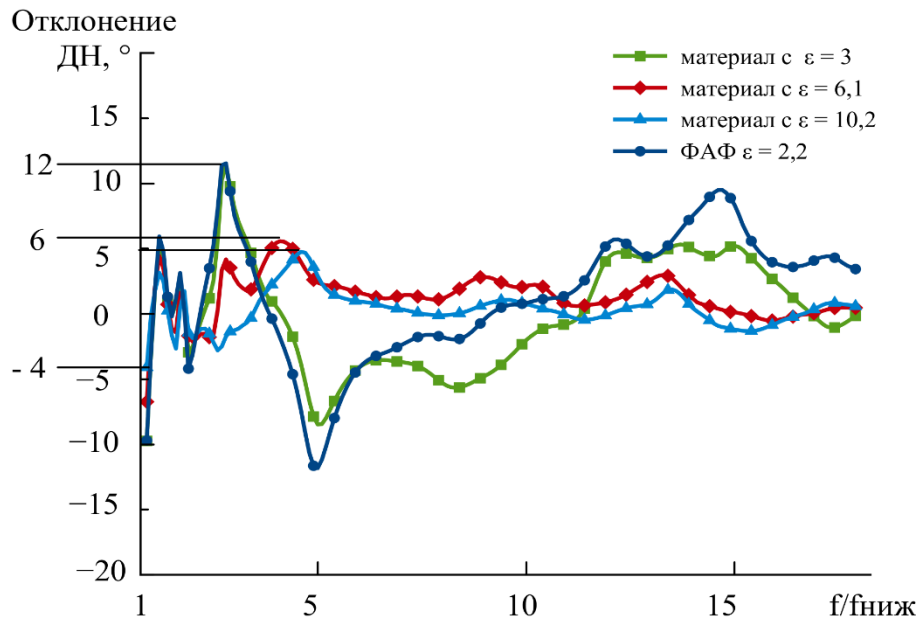


Рисунок 4. Частотные зависимости отклонений диаграммы направленности по уровню половинной мощности для четырех вариантов с различной диэлектрической проницаемостью подложки.

Основываясь на зависимостях, приведенных на рисунке 4, можно сделать общий вывод о том, что повышенная диэлектрическая проницаемость материала подложки согласующего и симметрирующего устройства позволяет уменьшить отклонение диаграммы направленности. Кроме того, можно отметить, что существенного (в два раза) снижения отклонения диаграммы направленности удастся достичь при повышении значений диэлектрической проницаемости до 6 и выше. Основной эффект наблюдается в нижней и верхней третях рабочего диапазона, а также на нижней границе.

3. Заключение

Результаты проведенного электродинамического моделирования микрополосковых согласующих и симметрирующих устройств с различной диэлектрической проницаемостью подложки позволяют сделать следующий основной вывод. Увеличение диэлектрической проницаемости подложки позволяет уменьшить отклонение диаграммы направленности антенны. Причем двукратное уменьшение отклонения диаграммы направленности наблюдается при увеличении диэлектрической проницаемости до 6 и более.

Наблюдаемый эффект можно объяснить уменьшением длины волны в диэлектрике и снижением влияния проводящего корпуса, в котором согласующее и симметрирующее устройство размещено внутри антенны.

Кроме того, важно отметить, что применение микрополоскового согласующего и симметрирующего устройства позволяет достичь меньших значений отклонения диаграммы направленности (максимально значение 5 градусов) по сравнению с согласующим и симметрирующим устройством на отрезках субминиатюрного коаксиального кабеля (максимальное значение 6 градусов [6]) при существенно более простой практической реализации.

Список литературы

1. Baker D. E., Toit du J.B. A compact 1 to 18 GHz planar spiral antenna for interferometer and other direction-finding applications // IEEE-APS Topical conference on antennas and propagation in wireless communications (APWC). – 2012 – 02-07 september. Cape Town, South Africa. – p. 1016-1019
2. Eren Akkaya, Filiz Gunes. Ultrawideband, high performance, cavity-backed Archimedean spiral antenna with Phelan balun for direction finding and radar warning receiver applications // International journal of RF and microwave computer-aided engineering. – 2021. – vol. 31. – p. 1-18.
3. Пат. 2687895 РФ, МПК H01Q 11/08. Сверхширокополосная спиральная антенна / Д.Д. Кохнюк, (РФ) И.А. Боровик, (РФ) Я.В. Федоров, (РФ) С.В. Захаров, (РФ) А.В. Иванов, (РФ) В.И. Чеботарев, (РФ) С.Д. Сиберт, (РФ). - № 268795; заявл. 27.03.18; опубл. 16.05.19. бюл. № 15. – 8 с.
4. Duncan J.W., Minerva V.P. 100:1 Bandwidth balun transformer // Proceedings of the IRE. – 1960 – vol. 48. – p. 156-164.
5. Song Lizhong, et al. A conformal conical Archimedean spiral antenna for UWB // Chinese journal of electronics. – 2015 – vol. 24. – p. 402-407.
6. Павлов И.Д., Прокаев И.О. Устройство симметрирования и согласования для сверхширокополосной спиральной антенны // Электроника и микроэлектроника СВЧ – 2024 – Т. 1. – С. 314-318.