

Устройство симметрирования и согласования для сверхширокополосной спиральной антенны

И.Д. Павлов^{1,2}, И.О. Прокаев^{1,2}

¹АО «Центральное конструкторское бюро автоматики»

²Омский государственный технический университет

Аннотация: в настоящей работе исследовано влияние согласующего и симметрирующего устройства на отклонение диаграмм направленности сверхширокополосной спиральной антенны. Определено, что часто применяемое кососрезанное согласующее и симметрирующее устройство вызывает существенные отклонения диаграмм направленности. Предложен вариант согласующего и симметрирующего устройства на отрезках субминиатюрных коаксиальных кабелей и микрополосковой двухпроводной линии применение которого позволяет снизить указанные отклонения в два раза по сравнению со случаем применения кососрезанного согласующего и симметрирующего устройства.

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

1. Введение

В системах радиомониторинга, реализующих амплитудные методы, среди прочих, к антеннам часто предъявляется требование к стабильности положения диаграмм направленности относительно некоторой оси. Как правило эта ось связана с одним из направлений обзора системы мониторинга. От стабильности положения диаграмм направленности относительно указанной оси часто зависит работоспособность системы. Кроме того, многие системы радиомониторинга являются широкополосными [1], [2]. Из этого следует, что антенны, применяемые в этих системах, должны обеспечивать стабильность положения диаграмм направленности относительно некоторой оси в широкой полосе частот.

В настоящей работе рассматривается сверхширокополосная спиральная антенна [3]. Применение указанной антенны требует от нее стабильного положения диаграмм направленности. В работах [4], [5] отмечается, что на отклонение диаграмм направленности, в том числе, оказывает влияние согласующее и симметрирующее устройство. Это необходимо учесть при разработке такого устройства для антенны, рассматриваемой в настоящей работе. Исходя из этого можно сформулировать цель работы – исследовать влияние устройства симметрирования и согласования на стабильность положения диаграмм направленности. Разработать симметрирующее и согласующее устройство, позволяющее достигнуть стабильного положения диаграмм направленности в сверхширокой полосе частот.

2. Разработка конструкции и результаты моделирования

Известно [6], и применяется [7] симметрирующее и согласующее устройство, представляющее из себя переход от коаксиальной линии к двухпроводной (часто применяется микрополосковый вариант такого устройства). Указанное устройство характеризуется относительной конструктивной простотой и очень широкой полосой согласования. Но в работах [2], [4], [5] отмечается, что такое согласующее и симметрирующее устройство не обеспечивает достаточного симметрирования, что может приводить к отклонению диаграмм направленности антенн, которые

возбуждаются этим устройством.

В работах [2], [8] – [11] рассматриваются согласующие и симметрирующие устройства, сформированные на отрезках линий передачи. Основным достоинством устройств этого типа является хорошее симметрирование. Но большинство устройств, описанных в работах [8]-[10], характеризуется диапазоном рабочих частот с коэффициентом перекрытия, не превышающим 10. Антенна, рассматриваемая в настоящей работе, требует симметрирования и согласования в полосе частот с коэффициентом перекрытия 18. Полосу такой ширины может обеспечить только устройство, описанное в [11]. Исходя из этого, представляется целесообразным рассмотреть возможность применения этого устройства в сверхширокополосной спиральной антенне. В [11] рассматривается только согласующее и симметрирующее устройство, подключение его к излучающей структуре не освещено. Подключение такого согласующего и симметрирующего устройства к излучающей структуре рассмотрено в работе [2]. В указанной работе согласующее и симметрирующее устройство выполнено на отрезках субминиатюрного коаксиального кабеля, этим кабелем и осуществляется подключение к излучающей структуре. В качестве исходного варианта будет рассмотрен именно такой способ подключения.

Для электродинамического моделирования были сформированы три варианта. В первом варианте возбуждение спиральной излучающей структуры осуществлялось идеализированным сосредоточенным источником, во втором варианте – кососрезанным согласующим и симметрирующим устройством и в третьем – согласующим и симметрирующим устройством на отрезках субминиатюрного коаксиального кабеля. Указанные варианты схематично показаны на рисунках 1, 2 и 3 соответственно.

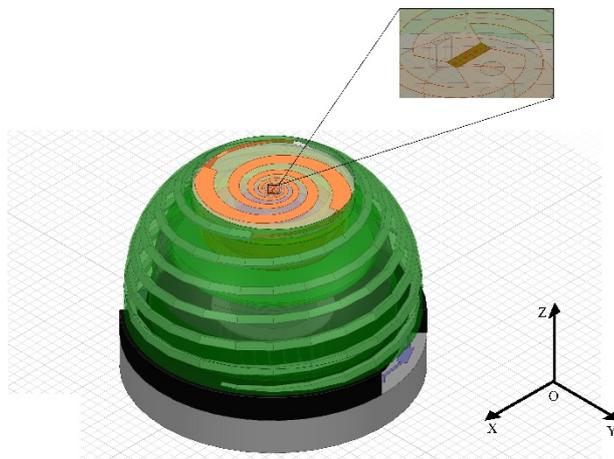


Рисунок 1. Спиральная излучающая структура (общая для всех вариантов) возбуждаемая идеализированным сосредоточенным источником.



Рисунок 2. Кососрезанное согласующее и симметрирующее устройство, используемое для возбуждения спиральной излучающей структуры во втором варианте.

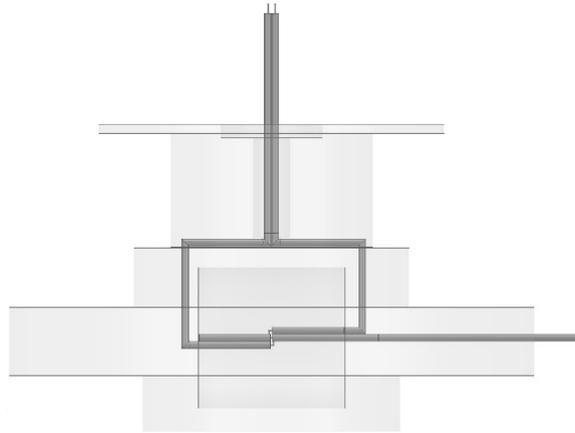


Рисунок 3. Согласующее и симметрирующее устройство на отрезках субминиатюрного коаксиального кабеля, используемое для возбуждения излучающей структуры в третьем варианте.

Для всех указанных вариантов было проведено электродинамическое моделирование в HFSS. В результате моделирования были получены сечения диаграмм направленности в плоскости XOZ и определены отклонения указанных сечений от оси OZ. Отклонения определялись по уровню половинной мощности. Частотные зависимости полученных отклонений приведены на рисунке 4.

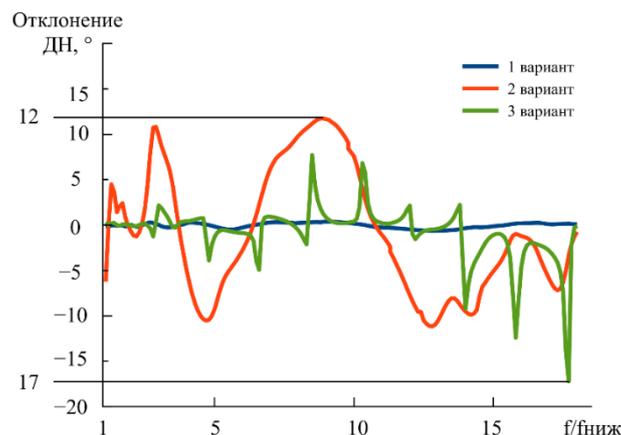


Рисунок 4. Частотные зависимости отклонений диаграмм направленности по уровню половинной мощности для трех рассмотренных вариантов.

Анализируя полученные зависимости можно отметить следующее:

- первый вариант характеризуется наименьшими значениями отклонения диаграмм направленности, это позволяет сделать вывод о том, что устройство симметрирования и согласования оказывает на диаграммы существенное воздействие;
- второй вариант характеризуется максимальным отклонением диаграммы направленности, составляющим 12 градусов, кроме того отклонения диаграмм направленности проявляются практически во всем рабочем диапазоне;
- третий вариант позволяет достичь меньших, по сравнению со вторым, отклонений диаграмм направленности в большей части рабочего диапазона, но пиковое значение составляет 17 градусов, что превышает аналогичный показатель для второго варианта.

Исходя из результатов моделирования, полученных для третьего варианта, можно отметить, что его необходимо доработать, для снижения пикового значения

отклонения диаграммы направленности в верхней части частотного диапазона.

Для этого авторами был предложен четвертый вариант конструкции согласующего и симметрирующего устройства, общий вид которого приведен на рисунке 5.

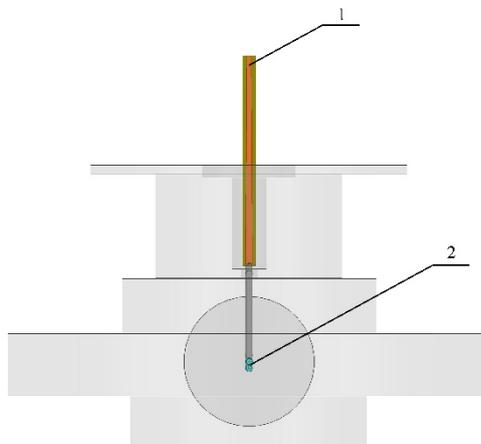


Рисунок 5. Общий вид четвертого варианта согласующего и симметрирующего устройства.

На рисунке 5 показаны следующие позиции: 1 – отрезок двухпроводной линии в микрополосковом исполнении с плавно изменяющимся волновым сопротивлением. В месте присоединения субминиатюрных коаксиальных кабелей волновое сопротивление указанного отрезка составляло 100 Ом, в месте присоединения излучающей структуры – 130 Ом, 2 – симметрирующее устройство, аналогичное устройству третьего варианта.

Для четвертого варианта также были определены значения отклонений диаграмм направленности. Частотная зависимость указанных отклонений приведена на рисунке 6. Также на рисунке 6 приведена частотная зависимость отклонений диаграмм направленности для третьего варианта.

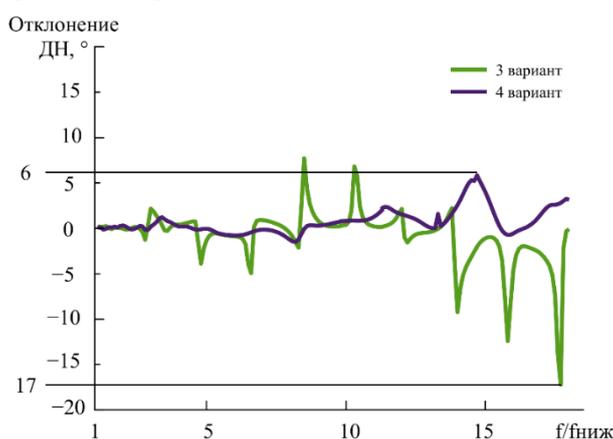


Рисунок 6. Частотные зависимости отклонений диаграмм направленности по уровню половинной мощности для третьего и четвертого вариантов.

Исходя из приведенных на рисунке 6 зависимостей можно сделать вывод о том, что введение в конструкцию отрезка двухпроводной линии в микрополосковом исполнении позволило снизить максимальное отклонение диаграмм направленности до 6 градусов. Кроме того, можно отметить, что четвертый вариант характеризуется в два раза меньшим максимальным отклонением диаграмм направленности по сравнению со вторым вариантом.

3. Заключение

Результаты проведенного электродинамического моделирования и сравнения различных согласующих и симметрирующих устройств позволяют сделать следующие выводы:

- согласующее и симметрирующее устройство оказывает существенное воздействие на отклонение диаграмм направленности антенны;

- согласующее и симметрирующее устройство, выполненное на отрезках линий передачи, позволяет достичь уменьшения отклонения диаграмм направленности (в рассмотренном случае в два раза по сравнению с кососрезанным согласующим и симметрирующим устройством);

- способ соединения согласующего и симметрирующего устройства с излучающей структурой также оказывает влияние на отклонение диаграмм направленности. В рассмотренном случае применение двухпроводной линии в микрополосковом исполнении вместо субминиатюрных коаксиальных кабелей позволило снизить пиковое значение отклонения диаграмм направленности с 17 до 6 градусов.

Подводя общий итог работы важно отметить, что несмотря на лучшие результаты в части стабильности положения диаграмм направленности согласующие и симметрирующие устройства на отрезках линий передачи конструктивно сложнее кососрезанных согласующих и симметрирующих устройств. Кроме того, с помощью кососрезанных согласующих и симметрирующих устройств можно достичь более широкой полосы рабочих частот. Учитывая это, согласующее и симметрирующее устройство на отрезках линии передачи имеет смысл выбирать в том случае, если от антенны требуется высокая стабильность положения диаграмм направленности.

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. Dong Sik Woo, Young-Ki Cho, Kang Wook Kim. Balance analysis of microstrip-to-CPS baluns and its effects on broadband antenna performance // International journal of antennas and propagation. – 2013 – vol. 2013. – p. 1-9.
5. Hisamatsu Nakano, et al. A wideband circularly polarized conical beam from a two-arm spiral antenna excited in phase // IEEE Transactions on antennas and propagation. – 2011 – vol. 59. – p. 3518-3525.
6. Duncan J.W., Minerva V.P. 100:1 Bandwidth balun transformer // Proceedings of the IRE. – 1960 – vol. 48. – p. 156-164.
7. Song Lizhong, et al. A conformal conical Archimedean spiral antenna for UWB // Chinese journal of electronics. – 2015 – vol. 24. – p. 402-407.
8. Puglia K.V. Electromagnetic simulation of some common balun structures // IEEE Microwave magazine. – 2002. – vol. 3. – p. 56-61.
9. Chao-Hsiung Tseng, Yu-Chih Hsiao. A new broadband marchand balun using slot-coupled microstrip lines // IEEE Microwave and wireless components letters. – 2010. – vol. 20. – p. 157-159.
10. Zhan Xu, Leonard MacEachern. Optimum design of wideband compensated and uncompensated Marchand baluns with step transformers // IEEE Transactions on microwave theory and techniques – 2009. – vol. 57. – p. 2064-2071.
11. Richard Phelan H. A wide-band parallel-connected balun // IEEE Transactions on microwave theory and techniques – 1970. – vol. 18. – p. 259-263.