

УДК 621.372.512

СОГЛАСОВАНИЕ J-АНТЕННЫ В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЯЮЩЕГОСЯ ИМПЕДАНСА

Вей Ян Тан Тхайк, магистрант

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
Институт информационных технологий,
г. Минск, Республика Беларусь

Дубовик И. А. – канд. техн. наук, доцент

Аннотация. Представлены результаты синтеза согласующего устройства для J-антенны, обеспечивающего коэффициент стоячей волны (КСВ) не более 2,5 в условиях изменения импеданса антенного устройства до 40 Ом в рабочем диапазоне частот.

Ключевые слова. Согласование, импеданс, векторный анализатор, коэффициент передачи.

Введение. Современные радиотехнические системы требуют высокой эффективности передачи мощности сигнала, особенно в условиях изменяющегося импеданса нагрузки. J-антенны, широко используемые в комбинированных сейсмических датчиках, подвержены влиянию внешних факторов, таких как попадание инородных предметов (ветки, снег) между излучателем и обвесом, что приводит к значительным изменениям импеданса [1-2]. Это может вызвать снижение уровня передачи мощности и образование "слепых зон" в системе.

Основная часть. Для анализа влияния внешних условий на импеданс J-антенны проведены измерения с использованием векторного анализатора NanoVNA [3]. Исследованы следующие сценарии: штатные условия (антенна в земле); попадание ветки между излучателем и обвесом; попадание снега между излучателем и обвесом; при расположении антенны на дереве. Результаты измерений показаны на рисунке 1.

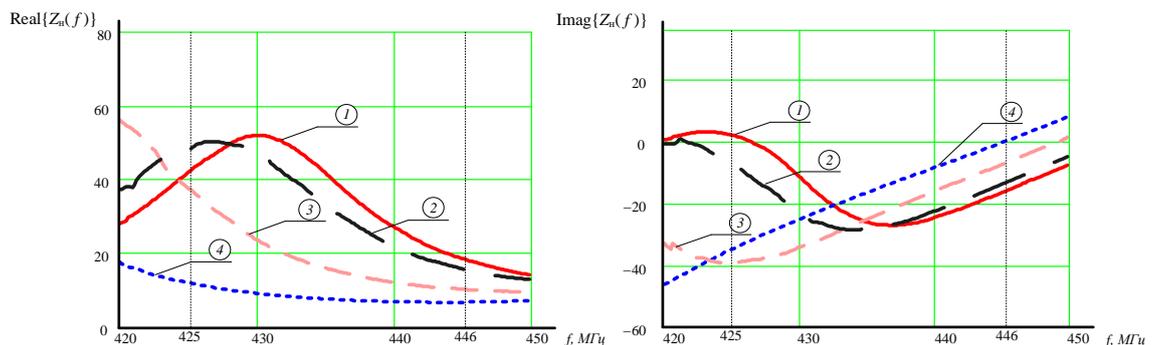


Рисунок 1 – Зависимость импеданса антенного устройства J-антенны установленной:
1 – в землю; 2 – на дереве; 3 – в землю при попадании ветки; 4 – в землю при попадании снега

Анализируя полученные зависимости (рисунок 1), можно сделать вывод о том, что во всем рабочем диапазоне частот имеются отклонения импеданса антенного устройства (АУ) относительно эталонных значений (штатных условий). Следует заметить, что на определенных частотах изменения импеданса АУ весьма значительные (изменение как реальной, так и мнимой составляющей до 40 Ом, что составляет 80% от сопротивления J-антенны равное 50 Ом)). Исходя из этого, уместно оценить влияние изменения импеданса АУ на функцию коэффициента передачи мощности (КПМ). Результаты влияния изменения импеданса на уровень КПМ представлены на рисунке 2.

Проанализировав полученные результаты (рисунок 2), можно сделать вывод о том, что наибольшее негативное влияние наблюдается при попадании снега или ветки между излучателем и противовесом. Это приводит к уменьшению уровня передачи мощности до 0,4 (КСВ = 7), что увеличит потери передающей системы комплекса и уменьшит качество функционирования радиосети. Таким образом, возникает необходимость в расчете согласующей цепи [4], которая обеспечит высокое значение уровня КПМ в изменяющемся импедансе J - антенны.

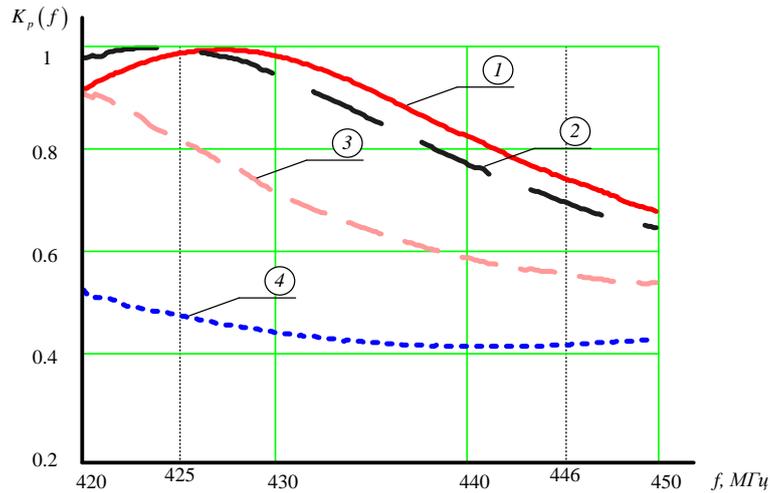


Рисунок 2 – Зависимость функции КПМ антенного устройства J-антенны от частоты, установленной: 1 – в землю; 2 – на дереве; 3 – в землю при попадании ветки; 4 – в землю при попадании снега

Для расчета согласующей цепи было использовано специализированное программное обеспечения (рисунок 3) [4-5], с помощью которого возможно синтезировать согласующие цепи, обеспечивающие минимальное значение инварианта чувствительности с допустимым отклонением уровня КПМ.

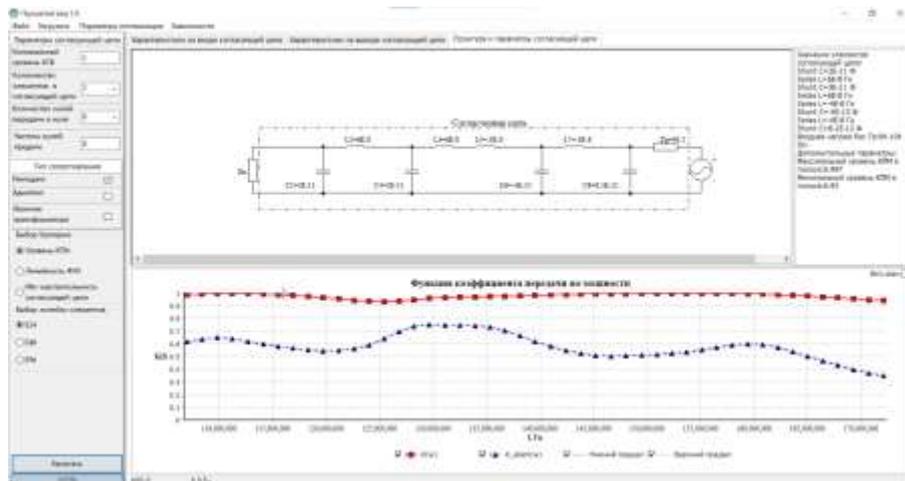


Рисунок 3 – Пример расчета с использованием специализированного программного обеспечения для расчета параметров элементов согласующей схемы

Исходными параметрами для расчета СЦ были: $\epsilon = 0,063$ (уровень неравномерности), значением уровня КПМ не менее 0,75 ($K_{CB} \leq 3$) в различных условиях эксплуатации в рабочей полосе частот $\Delta f = 425\text{--}446$ МГц. Результаты синтеза в виде электрической схемы представлена на рисунке 4.

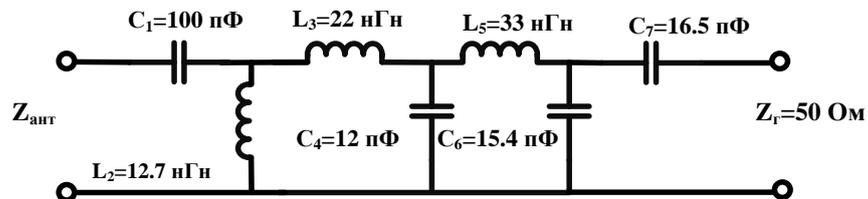


Рисунок 4. – Электрическая схема СЦ

Проверка работоспособности синтезированной СЦ было выполнено путем моделирования в AWR Microwave Studio 14 [6]. Итоговая зависимость КПМ от частоты для различных условий обстановки представлена на рисунке 5.

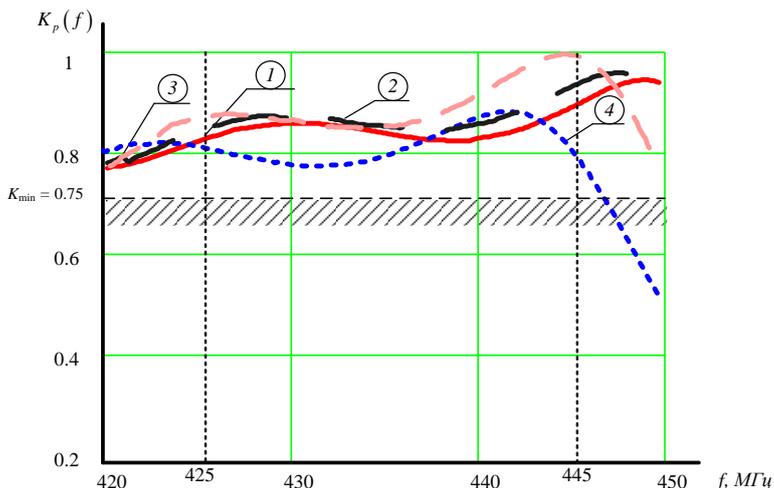


Рисунок 5 – Зависимость функции КПМ антенного устройства J-антенны с синтезированным СУ от частоты, установленной: 1 – в землю; 2 – на дереве; 3 – в землю при попадании ветки; 4 – в землю при попадании снега

Анализируя полученные результаты, можно сделать вывод о том, что синтезированное с помощью разработанной методики СУ обеспечивает требуемое значение уровня КПМ АУ при нахождении его в различных условиях обстановки (попадании инородных предметов на антенну), так при отклонении импеданса J-антенны до 25 Ом (50 % от номинального значения) $K_p(f) \geq 0,8$. Исходя из полученных результатов, можно убедиться в том, что отклонение во всем рабочем диапазоне частот составляют не более 25 % от максимального значения уровня КПМ ($K(f) = 1$).

На основе рассчитанного согласующего устройства изготовлен макет, представленный на рисунке 6. Макет согласующего устройства был реализован с помощью SMD элементов из ряда стандартных номиналов E 24 фирмы «Murata Manufacturing» [7] с номиналами: C_1 – 100 пФ, L_2 – 13 нГн, L_3 – 22 нГн, C_4 – 12 пФ, L_5 – 33 нГн, C_6 – 15,2 пФ, C_7 – 16,4 пФ.



Рисунок 6 – Снимок синтезированного согласующего устройства

Для проверки полученных результатов были проведены экспериментальные исследования, в ходе которых выполнены измерения коэффициента стоячей волны АУ в наихудших случаях в рамках проведенного эксперимента (при попадании ветки и снега между излучателем и обвесом). В качестве примера на рисунке 7 представлены снимки экспериментальных исследований, выполняемых в лесном массиве.



Рисунок 7 – Измерение уровня КСВ J-антенны при попадании снега или ветки между излучателем и обвесом

Результаты экспериментальных исследований представлены на рисунке 8 в виде зависимости КСВ J-антенны от частоты, где сплошной линией отображается зависимость функции КСВ J-антенны совместно с синтезированным согласующим устройством, а штриховой – без него.

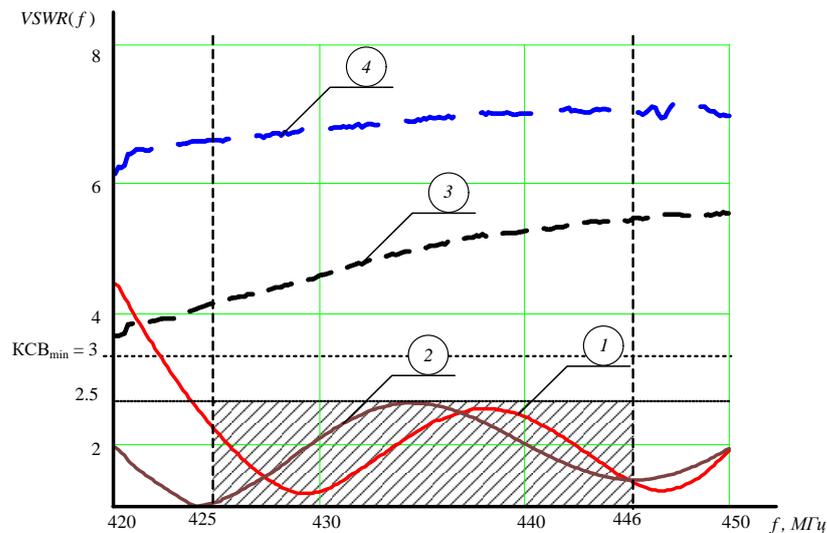


Рисунок 8 – Зависимость КСВ J-антенны от частоты: 1 – с синтезированным СУ при попадании снега; 2 – с синтезированным СУ при попадании ветки; 3 – при попадании ветки; 4 – при попадании снега

Таким образом, исходя из полученных результатов (рисунок 8), можно сделать вывод о том, что синтезированное СУ обеспечивает уменьшение степени влияния вариаций импеданса нагрузки на уровень передачи мощности (КПМ, КСВ) J-антенны вызванного попаданием инородных предметов между излучателем и обвесом, о чем свидетельствует значение $КСВ \leq 2,5$ в рабочем диапазоне частот.

Заключение.

Разработанное согласующее устройство позволяет значительно улучшить устойчивость J-антенны к изменению импеданса, вызванному внешними факторами. Это обеспечивает надежную работу радиосети в различных условиях эксплуатации.

Список использованных источников:

1. Быстроразвертываемый сигнализационный комплекс нового поколения «Паук» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.ruqrz.com/dvuhdiapazonnaya-j-antenna-na-vysokochasta/>. – Дата доступа: 10.04.2025.
2. Двухдиапазонная J-антенна на высокочастотные СВ диапазоны [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.demeres.com/>. – Дата доступа: 10.04.2025.
3. Обзор векторного анализатора цепей NanoVNA [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://radiochief.ru/radio/obzor-vektornogo-analizatora-tsepej-nanovna>. – Дата доступа: 10.04.2025.
4. Дубовик, И. А., Бойкачев, П. В., Исаев, В. О. Комплексный критерий синтеза широкополосных согласующих устройств на основе инварианта чувствительности // И.А. Дубовик, П.В. Бойкачев, В.О. Исаев // Республиканская научно-техническая конференция «Информационные радиосистемы и радиотехнологии 2020». – Минск: БГУИР, 2020. – С. 41–44.
5. Дубовик, И. А., Бойкачев, П. В., Исаев, В. О., Дмитренко, А. А. Методы синтеза согласующих цепей для широкополосных радиотехнических устройств с нестабильным импедансом нагрузки. Доклады БГУИР. 2021;19(1):61-69
6. Guide to MWO: NI AWR Design Environment v14 Edition. El Segundo, CA; 2018
7. Chip inductors (chip coils) // Murata manufacturing [Electronic resource] Mode of access: <https://www.murata.com/products/catalog/pdf/>. – Date of access: 10.04.2025.

UDC 621.372.512

MATCHING J-ANTENNA UNDER CHANGING IMPEDANCE CONDITIONS

Wei Yan Thanh Thaik, master's student

Institute of Information Technologies of the Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics,
Minsk, Republic of Belarus

Dubovik I. A. – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Annotation. The results of the synthesis of a matching device for a J-antenna are presented, ensuring a standing wave ratio (SWR) not exceeding 2.5 under conditions of antenna impedance variation up to 40 ohms within the operating frequency range.

Keywords. Matching, Impedance, Vector Analyzer, Transmission Coefficient, gain.