

Антенна для радиочастотной идентификации объектов в диссипативной среде

М.И. Сугак¹, С.В. Балландович¹, Г.А. Костиков¹, Ю.Г. Антонов¹, Л.М. Любина¹, В.Э. Платонов²

¹Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ»

²ООО «СВЧ-Радиосистемы»

Аннотация: представлены результаты экспериментального и теоретического исследования двухчастотной антенны, предназначенной для работы в составе системы радиочастотной идентификации объектов, находящихся в среде с потерями. Приведены результаты исследований характеристик антенны при нахождении в средах с различными свойствами.

Ключевые слова: диссипативная среда, PIFA, RFID, антенна

1. Введение

В ряде современных радиотехнических приложений возникает необходимость организации радиоканалов, включающих антенны, располагаемые в приповерхностном слое Земли или в других диссипативных средах [1-5]. Системы управления бурильными установками, передача телеметрической информации, связь с подземными объектами, идентификация объектов в приповерхностном слое – лишь некоторые из них. При проектировании соответствующего радиоканала следует учитывать ряд принципиальных особенностей: существенное увеличение затухания радиосигнала на трассе распространения, ухудшение КПД антенны, изменение условия согласования антенны с питающим трактом в зависимости от характера грунта, отражения сигнала от границы раздела сред (при расположении антенны в воздухе над границей раздела). Диапазон изменения параметров среды весьма широк, и для уверенной оценки работоспособности радиоканала надо отталкиваться от конкретных параметров среды в регионе расположения, причём, принимая во внимание выбранный диапазон частот.

В рамках данной работы была разработана, изготовлена и экспериментально исследована двухчастотная антенна, предназначенная для работы в составе системы радиочастотной идентификации объектов, находящихся в среде с потерями на глубинах до 5 м. Необходимость реализации двухчастотной антенны продиктована возможностью разноса канала передачи и приема и улучшением потенциала системы

2. Конструкция антенны

При определении конструкции антенны метки, располагаемой в диссипативной среде, необходимо учитывать следующие факторы, определяемые условиями её эксплуатации: подверженность длительному воздействию среды, требования к размерам не более $0.35\lambda \times 0.06\lambda \times 0.03\lambda$ на нижней рабочей частоте, расположение вблизи идентифицируемого проводящего объекта. В связи с этим, для реализации RFID-антенны была выбрана двухчастотная антенна, на основе излучателей PIFA (printed inverted F antenna) [6], вид которой представлен на рисунке 1. Пространство между экраном и излучающим элементом заполнено ПВХ с относительной диэлектрической проницаемостью $\epsilon=1.3$. Отметим, что основание PIFA гальванически не связано с металлом объекта размещения, размер зазора при электродинамическом моделировании составляет 5 мм.

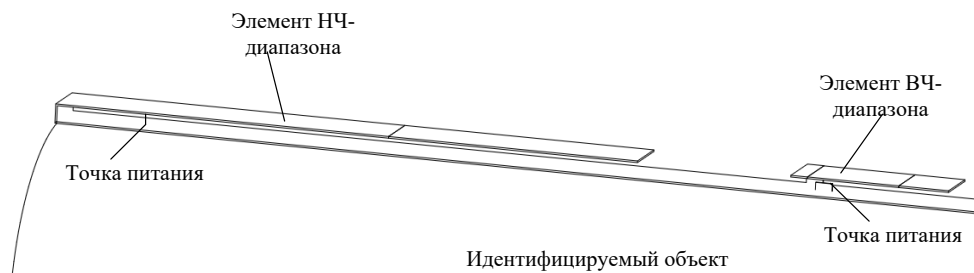


Рисунок 1. Схема антенны-метки, установленной на фантом идентифицируемого объекта.

Предварительный экспериментальный анализ выявил, что относительная диэлектрическая проницаемость почво-грунта и песчаного грунта на Карельском перешейке Ленинградской области находится в диапазоне 4...8 отн.ед а усредненное значение $\tan\delta$ составляет 0,025. Приведенные значения используются при дальнейшем моделировании.

Расчётные частотные зависимости модуля S_{11} для конструкции представленной на рис. 1, полученные в пакете ANSYS Electromagnetics, в обоих частотных диапазонах приводятся на рисунке 2. Параметром на графиках является диэлектрическая проницаемость среды, в которой размещается антенна. Следует отметить, что конструктивно излучатель занимает весь отведенный под него объем, при этом резонансные частоты оказались гораздо ниже требуемых $f/f_{0НЧ} = 1$ и $f/f_{0ВЧ} = 1$. $f_{0НЧ}$ и $f_{0ВЧ}$ - частоты, находящиеся в ДМВ диапазоне и являющиеся центральными частотам НЧ и ВЧ поддиапазонов работы метки. Из приведенных зависимостей видно, что при варьировании диэлектрической проницаемости в выбранных пределах резонансные частоты НЧ и ВЧ излучателей изменяются в относительной полосе около 20%.

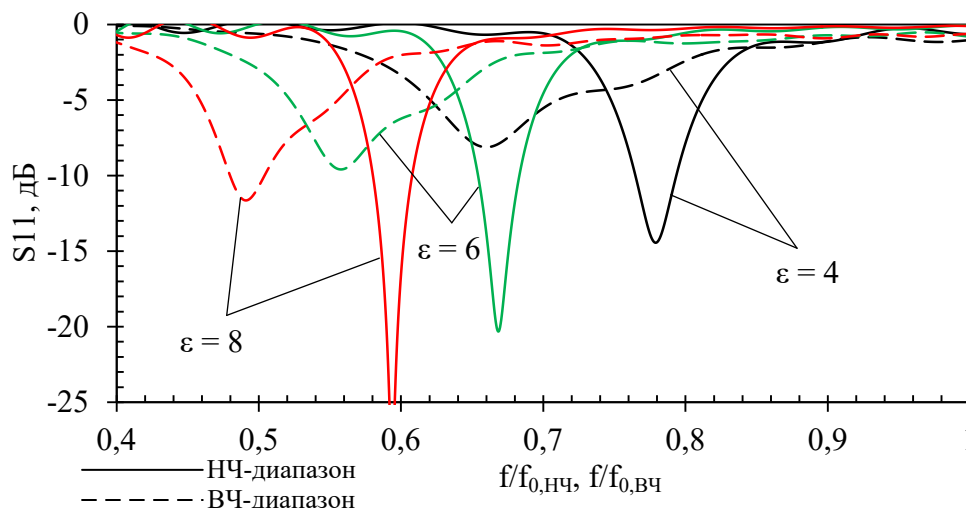


Рисунок 2. Расчётные частотные зависимости S_{11} .

Для повышения рабочих частот и увеличения КПД выполнена модификация конструкции антенны, заключающаяся в уменьшении толщины PIF-элементов при сохранении общей толщины антенны. Такая реализация позволяет увеличить расстояние между диссипативной средой и излучающими элементами и благодаря тому, что излучатели не примыкают к среде с потерями, увеличить их КПД. Частотные зависимости модуля S_{11} для модифицированной антенны, приводятся на рисунке 3.

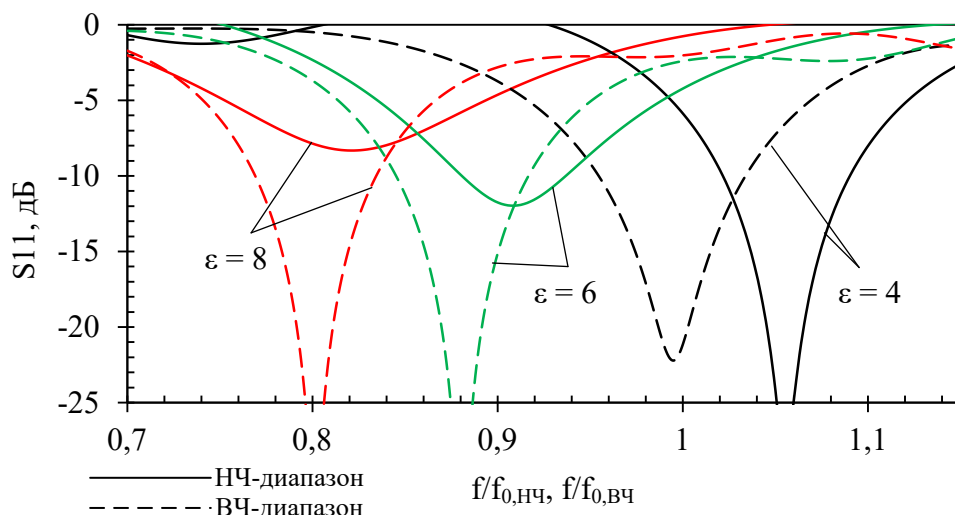


Рисунок 3. Расчётные частотные зависимости S_{11} .

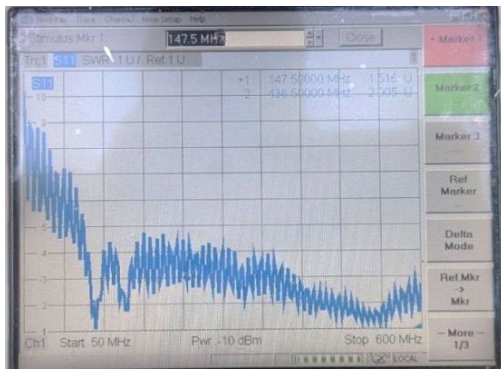
3. Экспериментальное исследование

При изготовлении прототипа, в качестве несущего основания выбраны два слоя вспененного ПВХ. Топология излучателей изготовлена на основе технологии лазерной резки, и состоит из единой детали. Межслойное заполнение излучателя производится силиконовым герметиком. Фотография прототипа приводится на рисунке 4. Питание осуществляется двумя кабелями RG 405 с сопротивлением 50 Ом

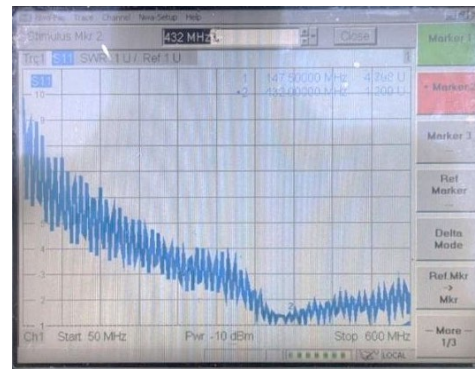


Рисунок 4. Прототип излучателя.

Экспериментальные зависимости КСВ на НЧ и ВЧ входах антенны представлены на рисунке 5 а, б. Излучатель находится в грунте на глубине около 0,5 м, дальнейшее увеличение глубины погружения не приводит к заметному изменению КСВ на входе антенны. Сравнение зависимостей, приведенных на рис.4 и рис. 5 свидетельствует о близости относительной диэлектрической проницаемости экспериментальной среды (суглинок) к 4.



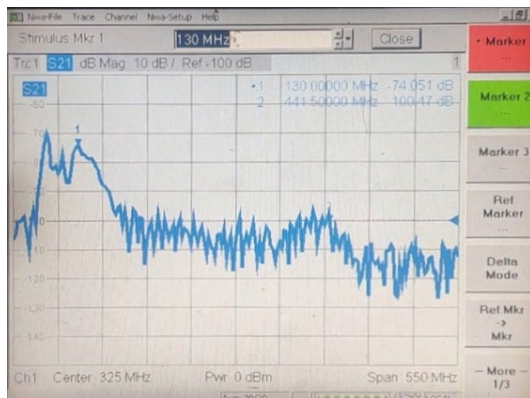
а)



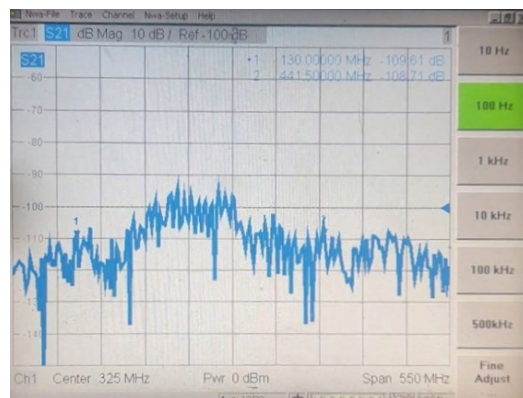
б)

Рисунок 5. Экспериментальные частотные зависимости модуля S_{11} двухчастотной антенны в грунте.

В докладе приводятся и обсуждаются частотные зависимости коэффициента передачи между антенной считывателя и метки при различных глубинах погружения метки в грунт. На рисунке 6 а, б приводятся зависимости модуля коэффициента передачи для глубины погружения 5 м, для НЧ и ВЧ входов антенны, соответственно. Внешний вид траншеи, в которую закладывалась исследуемая антенна, приводится на рисунке 7. В качестве антенн считывателя используются излучатели с КУ около 5 дБ. Из приведенных кривых следует, что в НЧ диапазоне коэффициент передачи в радиоканале почти на 30 дБ выше, чем в ВЧ диапазоне.



а)



б)

Рисунок 6. Экспериментальные частотные зависимости модуля S_{12} двухчастотной антенны.

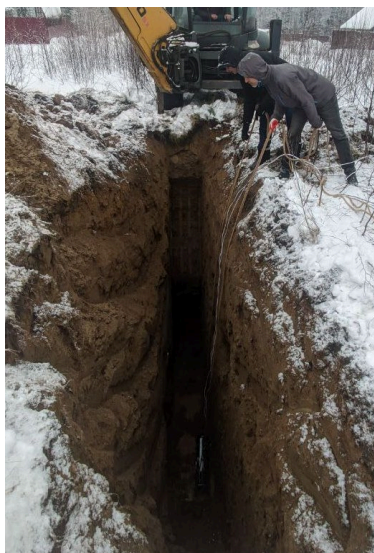


Рисунок 7. Условия эксперимента в открытом грунте.

4. Заключение

Экспериментальное исследование разработанного и изготовленного авторами прототипа двухчастотной RFID-антенны, предназначенного для работы в составе системы радиочастотной идентификации объектов, находящихся в среде с потерями на глубинах до 5 м, и выполненной в виде двух PIFA, показало:

– для улучшения стабильности согласования входов антенны необходимо использовать в конструкции излучателя дополнительный промежуточный слой с низким значением диэлектрической проницаемости.

– для различных типов почв наблюдается некоторый разброс резонансных частот, в связи с чем в дальнейшем необходимо либо обеспечить работу системы в условиях усреднённого грунта, либо предусмотреть возможность оперативной в том числе и автоматической подстройки RFID-антенны под характеристики среды в конкретном месте эксплуатации.

– разница коэффициента передачи для антенны метки, расположенной на глубине 5 метров для ВЧ и НЧ диапазонов составляет около 30 дБ.

Список литературы

1. M. S. Mirmoosa, S. Nordebo and S. A. Tretyakov, Physical Meaning of the Dipole Radiation Resistance in Lossless and Lossy Media: What is the Radiation Resistance of Antennas in Lossy Media // IEEE Antennas and Propagation Magazine. – 2020. – Т. 62. – №4. – С. 75-81.
2. Р. Кинг, Г. Смит Антенны в материальных средах: В 2-х книгах. Пер. с англ. — М.: Мир, 1984.— 824 с.
3. Рекомендации МСЭ-R P.527-4 (06/2017) «Электрические характеристики земной поверхности». URL: https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.527-4-201706-I!!PDF-R.pdf (дата обращения: 25.04.2022).
4. K. Finkenzeller. RFID Handbook: Fundamentals and Applications in Contactless Smart Cards, Radio Frequency Identification and Near-Field Communication. – Wiley, 2003.
5. T. Taga and K. Tsunekawa, Performance Analysis of a Built-In Planar Inverted F Antenna for 800 MHz Band Portable Radio Units // IEEE Journal on Selected Areas in Communications. – 1987. – Т. 5. – №5. – С. 921-929.
6. H. Nakano, Y. Asano and J. Yamauchi, A wire inverted F antenna on a finite-sized EBG material // IWAT 2005. IEEE International Workshop on Antenna Technology: Small Antennas and Novel Metamaterials, 2005.. – 2005. – СС. 13-16.