



РАМОЧНАЯ АНТЕННА С УПРАВЛЯЕМОЙ ПОЛЯРИЗАЦИЕЙ

УДК 621.396.67

В.В. Кеда, А.В. Рубаник, Г.П. Турук, БГУИР, г. Минск

Аннотация

Описана новая конструкция рамочной антенны, в которой реализована возможность управления поляризацией путем возбуждения антенны по двум развязанным входам. Антенна разработана для радара подповерхностного зондирования снежно-ледяного покрова в полярных районах. Достоинства конструкции: широкополосность (по уровню КСВ = 2 имеет относительную полосу пропускания не менее 11 %), малые габариты, высокий КНД (не менее 8 дБ) и низкий уровень излучения с кросс-поляризацией (не более -40 дБ). С использованием численного моделирования, решена задача оптимизации геометрических параметров антенны по минимуму КСВ, в диапазоне 400-440 МГц в фидерной линии с волновым сопротивлением 50, 100, 200 Ом. На основе полученных результатов сделаны выводы о влиянии геометрических параметров антенны на ее электрические параметры и характеристики. Полученные в работе данные должны облегчить процесс оптимизации геометрических параметров антенны разработчиками, желающими использовать описанную конструкцию.

Введение

Применение антенн с управляемой поляризацией в радиолокационной технике позволяет повысить помехозащищенность и возможности радиолокационных систем [1, 2]. В сантиметровом диапазоне (для управления поляризацией) нашли применение антенны в виде ортогонально расположенных вибраторов [3] или щелей [4] с развязанными входами, либо квадратная патч-антенна с переключаемыми входами [4]. Однако названные типы антенн не подходят для использования в радиолокаторах метрового и дециметрового диапазонов волн, работающих в относительной полосе частот более 10 %. Одним из вариантов решения данной проблемы является использование рамочных антенн. Рамочные антенны превосходят вибраторные по своим диапазонным свойствам и КНД. В статьях [5, 6] описаны рамочные антенны, в которых управление поляризацией осуществляется путем переключения их входов, однако не рассмотрена возможность управления их поляризацией путем возбуждения антенны по двум развязанным входам. Кроме того, в указанных антеннах присутствует заметное паразитное излучение с кросс-поляризацией, обусловленное несимметричной конструкцией согласующих элементов относительно Н-плоскости. Управление поляризацией путем возбуждения антенны по двум развязанным входам возможно в шунтовой рамочной антенне [7, 8], однако такая антенна

имеет высокое входное сопротивление, что затрудняет ее согласование.

Целью исследования является разработка новой конструкции рамочной антенны с управляемой поляризацией (управление производится путем возбуждения антенны по двум развязанным входам), лишенной недостатков, присущих описанным в литературе техническим решениям, а также получение закономерностей во влиянии геометрических параметров на ее характеристики и параметры. Результаты должны облегчить процесс оптимизации геометрических параметров антенны разработчиками, желающими использовать описанную конструкцию.

Для достижения заданной цели разработана новая конструкция рамочной антенны и математическая модель для ее исследования. В математической модели использовано уравнение Поклингтона для тока в тонких проводниках [9]. Интегральное уравнение решается методом Галеркина при использовании в качестве базисных и весовых функций – импульсных функций подобластей. На основе математической модели разработана программа численного моделирования, позволяющая рассчитывать характеристики и параметры антенны. Проверка адекватности математической модели проводилась путем сравнения результатов, полученных в разработанной программе с результатами, полученными в программе MMANA, и результатами, полученными в ходе эксперимента. Сравнение данных, полученных с помощью разработанной программы, программы MMANA, и результатов эксперимента не выявило расхождений результатов, превышающих погрешность эксперимента.

С помощью разработанной программы получены зависимости входного сопротивления от параметров геометрии антенны, исследовано влияние параметров геометрии антенны на диапазонные и направленные свойства антенны. На основании результатов моделирования решена задача оптимизации геометрических параметров антенны по минимуму КСВ в диапазоне 400-440 МГц в фидерной линии с волновым сопротивлением 50, 100, 200 Ом. По результатам моделирования сделаны выводы.

Конструкция антенны

Конструкция антенны показана на рисунке 1. Антенна представляет собой модификацию шунтовой рамочной антенны [7, 8], в которой посредством согласующих элементов (рисунок 1 а) достигается понижение ее входного сопротивления и снижение его реактивной составляющей. Управление поляризацией осуществляется путем возбуждения антенны по двум

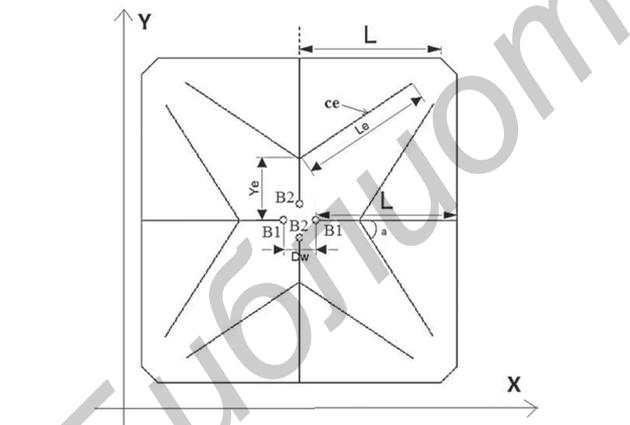


развязанным входам В1 и В2 (рисунок 1 а). По входу В1 возбуждается излучение с горизонтальной поляризацией, по входу В2 – с вертикальной. Для получения однонаправленного излучения антенна дополнена рефлектором (рисунок 1 б). Из рисунка 1 видно, что антенна симметрична относительно плоскости Н, благодаря чему подавление излучения с кросс-поляризацией в главном направлении излучения стремится к бесконечности и определяется лишь точностью изготовления антенны и точностью ее симметрирования.

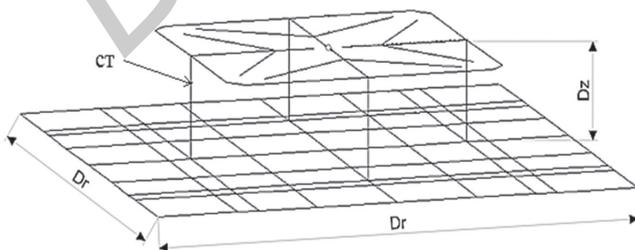
Результаты численного моделирования

Антенна разработана для использования в радаре подповерхностного зондирования, работающего в диапазоне частот 400-440 МГц с горизонтальной (плоскость ХZ) и вертикальной (плоскость YZ) поляризацией, предназначенного для изучения строения снежно-ледяного покрова Антарктиды. Входное сопротивление антенны составляет 100 Ом (антенна запитана двумя противофазно возбужденными коаксиальными кабелями с волновым сопротивлением 50 Ом). Характеристики антенны для случаев возбуждения горизонтальной и вертикальной поляризации одинаковы. Различия заключаются в том, что при смене поляризации плоскости Е и Н меняются местами. Поэтому далее будет рассмотрен только случай возбуждения поля с горизонтальной поляризацией. В этом случае плоскостью Е является плоскость ХZ, плоскостью Н – плоскость YZ.

Было разработано два варианта конструкции антенны, в одном случае стойки СТ (рисунок 1 б) выполнены из металла, во втором – из диэлектрика. На рисунках 2-4 показаны результаты моделирования для первого варианта антенны, на рисунках 5-7 – для второго. Здесь и далее графики ДН по кросс-поляризации пронормированы к максимальному уровню излучения с основной поляризацией. В ходе оптимизации геометрических параметров антенны были получены размеры для первого варианта антенны: L = 129 мм, Le = 117 мм, Ye = 75 мм, a = 66 град., Dw = 30 мм, Dr = 500 мм, Dz = 110 мм; второго – L = 100 мм, Le = 105 мм, Ye = 40 мм, a = 55 град., Dw = 30 мм, Dr = 500 мм, Dz = 75 мм; диаметр элементов обоих вариантов равен 8 мм.



а) Конструкция рамки



б) Конструкция антенны с рефлектором

Рисунок 1 – Конструкция антенны

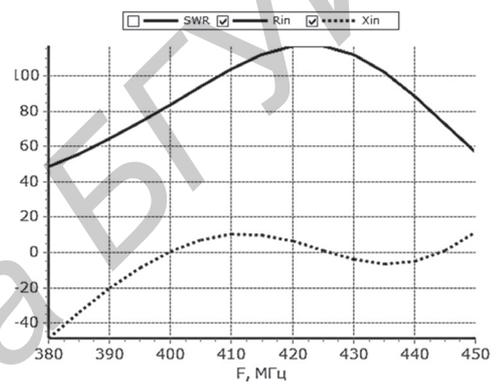


Рисунок 2 – Зависимость входного сопротивления от частоты

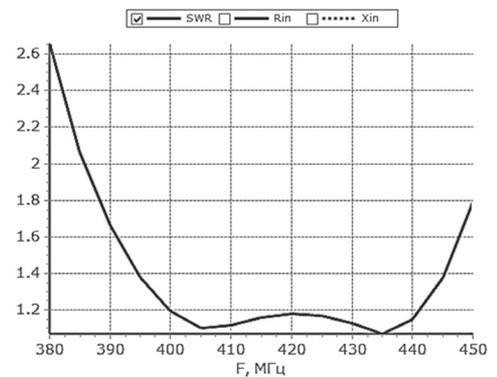


Рисунок 3 – Зависимость КСВ от частоты

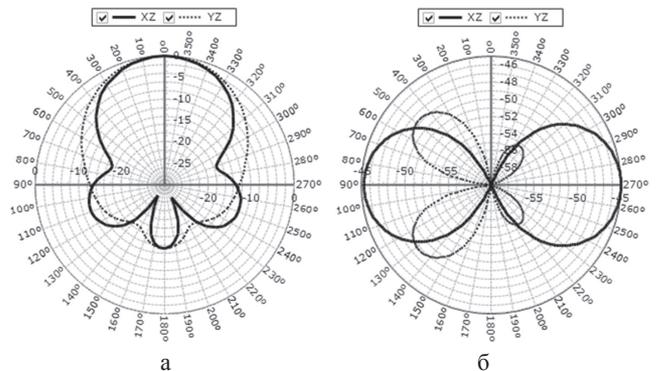


Рисунок 4 – ДН по основной (а) и кросс-поляризации (б) на частоте 420 МГц

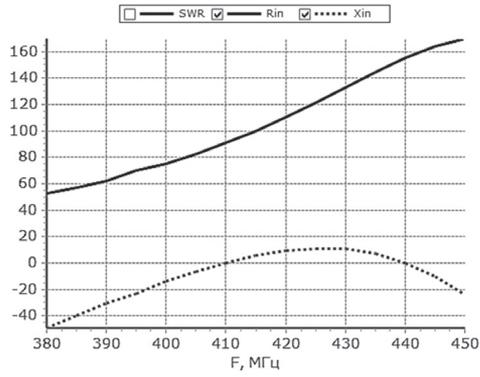


Рисунок 5 – Зависимость входного сопротивления от частоты

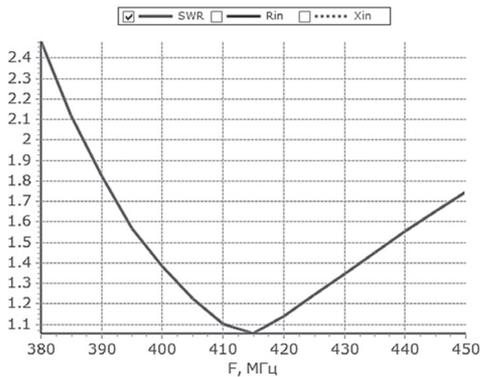


Рисунок 6 – Зависимость КСВ от частоты

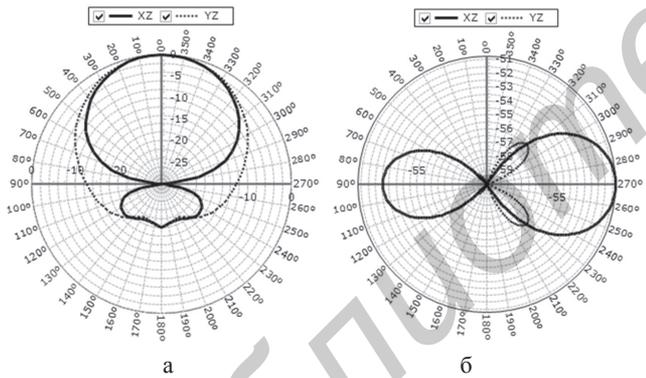


Рисунок 7 – ДН по основной (а) и кросс-поляризации (б) на частоте 420 МГц

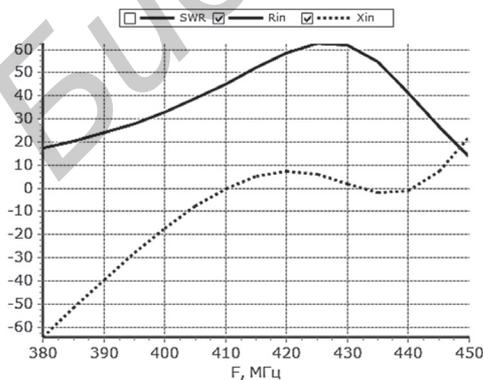


Рисунок 8 – Зависимость входного сопротивления от частоты

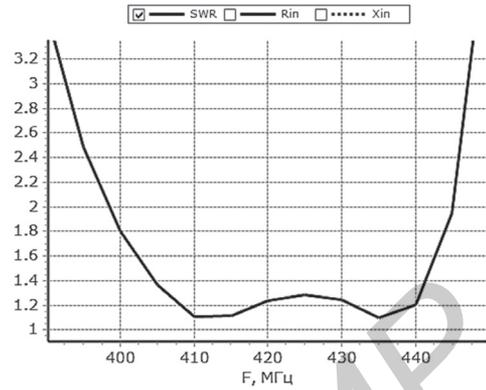


Рисунок 9 – Зависимость КСВ от частоты

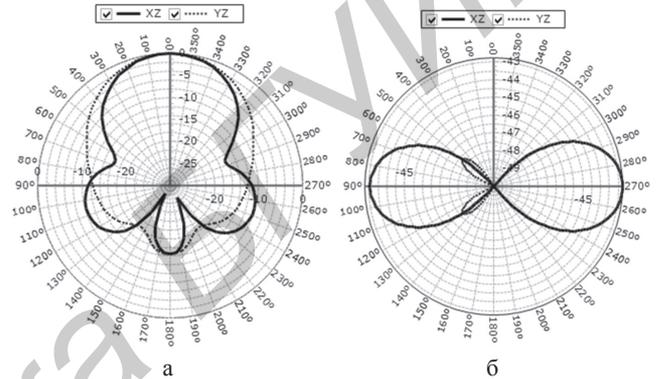


Рисунок 10 – ДН по основной (а) и кросс-поляризации (б) на частоте 420 МГц

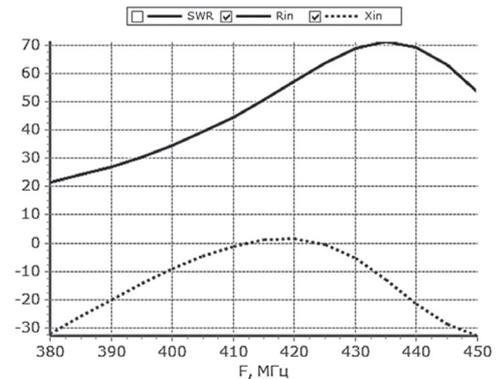


Рисунок 11 – Зависимость входного сопротивления от частоты

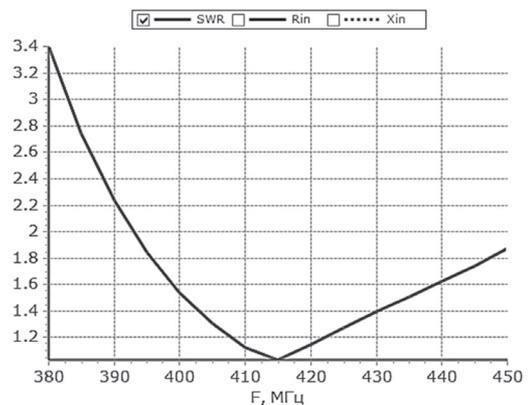


Рисунок 12 – Зависимость КСВ от частоты



Для выявления закономерностей во влиянии размеров антенны на ее характеристики были оптимизированы размеры под различные входные сопротивления. На рисунках 8-10 показаны результаты моделирования варианта антенны с металлическими стойками, оптимизированного под входное сопротивление 50 Ом, на рисунках 11-13 – для антенны без металлических стоек, оптимизированного под такое же входное сопротивление. Размеры первого варианта: $L = 129$ мм, $L_e = 123$ мм, $Y_e = 55$ мм, $a = 57$ град., $D_w = 30$ мм, $D_r = 500$ мм, $D_z = 90$ мм; второго – $L = 100$ мм, $L_e = 120$ мм, $Y_e = 25$ мм, $a = 51$ град., $D_w = 30$ мм, $D_r = 500$ мм, $D_z = 50$ мм. На рисунках 14-16 показаны результаты моделирования варианта антенны с металлическими стойками, оптимизированного под входное сопротивление 200 Ом, на рисунках 17-19 – для антенны без металлических стоек, оптимизированного под волновое сопротивление 200 Ом. Размеры первого варианта: $L = 129$ мм, $L_e = 110$ мм, $Y_e = 105$ мм, $a = 79$ град., $D_w = 30$ мм, $D_r = 500$ мм, $D_z = 110$ мм; второго – $L = 100$ мм, $L_e = 85$ мм, $Y_e = 75$ мм, $a = 75$ град., $D_w = 30$ мм, $D_r = 500$ мм, $D_z = 110$ мм. Диаметр элементов у перечисленных выше антенн равен 8 мм.

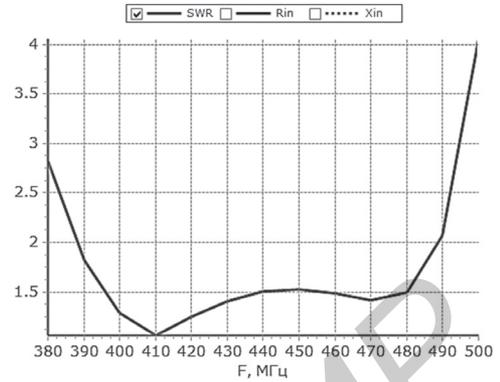


Рисунок 15 – Зависимость КСВ от частоты

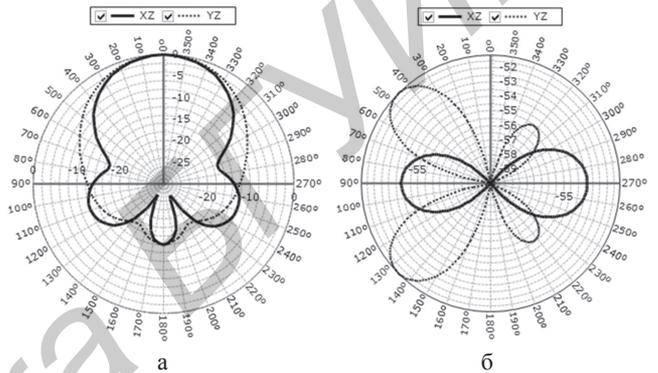


Рисунок 16 – ДН по основной (а) и кросс-поляризации (б) на частоте 420 МГц

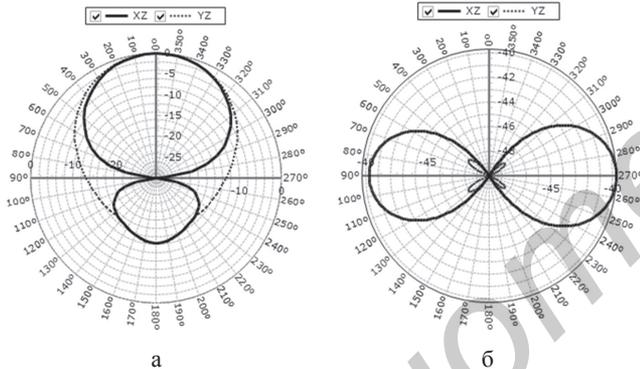


Рисунок 13 – ДН по основной (а) и кросс-поляризации (б) на частоте 420 МГц

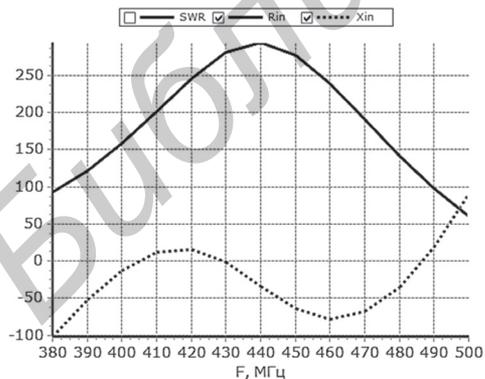


Рисунок 14 – Зависимость входного сопротивления от частоты

Для удобства анализа влияния геометрических параметров на входное сопротивление $R_{вх}$, КНД и относительную полосу частот Δf (по уровню КСВ < 2) результаты расчета электрических параметров представлены в виде таблиц 1 и 2.

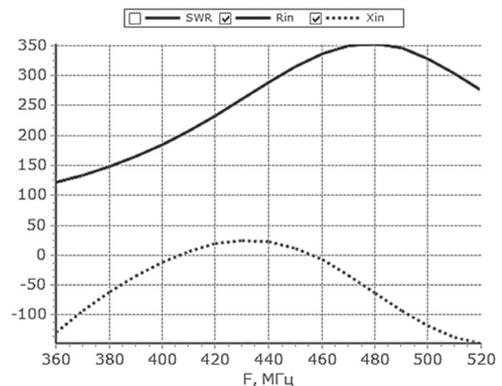


Рисунок 17 – Зависимость входного сопротивления от частоты

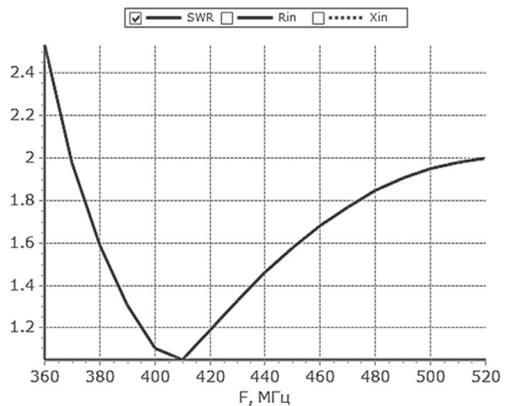


Рисунок 18 – Зависимость КСВ от частоты



Таблица 1 – Параметры антенн с металлическими стойками

Rвх, Ом	L, мм	Le, мм	Ye, мм	а, град.	Dw, мм	Dг, мм	Dz, мм	КНД, дБ	Δf, %
50	129	123	55	57	30	500	90	8.5	11
100	129	117	75	66	30	500	110	8.6	15
200	129	110	105	79	30	500	110	8.6	22

Таблица 2 – Параметры антенн с диэлектрическими стойками

Rвх, Ом	L, мм	Le, мм	Ye, мм	а, град.	Dw, мм	Dг, мм	Dz, мм	КНД, дБ	Δf, %
50	100	120	25	51	30	500	50	8.3	13
100	100	105	40	55	30	500	75	8.5	16
200	100	85	75	75	30	500	110	8.4	33

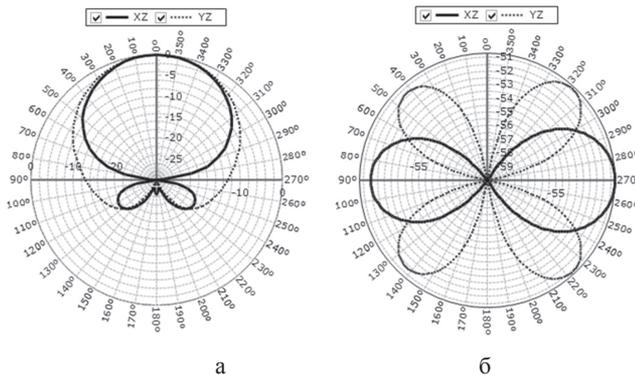


Рисунок 19 – ДН по основной (а) и кросс-поляризации (б) на частоте 420 МГц

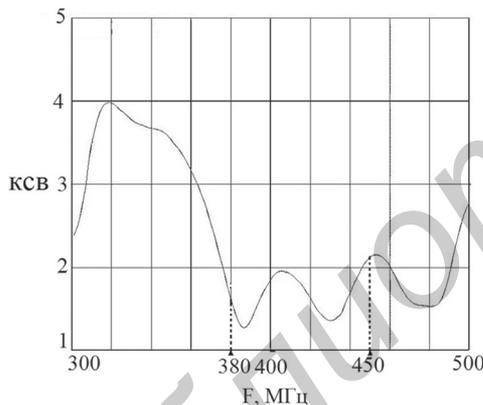


Рисунок 20 – Результаты измерения КСВ

Из результатов моделирования видно, что вариант с металлическими стойками обладает большим боковым излучением, чем вариант с диэлектрическими стойками. Это обусловлено тем, что по стойкам протекает ток. Поэтому при использовании антенны в качестве отдельного излучателя вариант с диэлектрическими стойками предпочтительнее, по этой причине в качестве антенны радара подповерхностного зондирования был выбран вариант на диэлектрических стойках. Кроме того, чем ближе согласующие элементы расположены к центру антенны (параметр Ye), тем ниже входное сопротивление; чем ниже входное сопротивление антенны, тем она узкополоснее. КНД антенны практически не зависит от входного сопротивления, под которое разработана антенна, и при

указанных в статье размерах L и Dг составляет не менее 8 дБ. Кроме того, моделирование показало, что в диапазоне частот 400 - 440 МГц (при указанных выше размерах) форма диаграммы направленности почти не зависит от частоты, а уровень излучения с кросс-поляризацией не превышает -40 дБ; с уменьшением размеров рефлектора рабочий диапазон антенны сужается. Предварительное макетирование антенны показало: диапазон частот, в котором достигается КСВ < 2 (рисунок 20), практически совпадает с расчетным (рисунок 6), различия в значениях КСВ не критичны и вызваны погрешностями расчета и измерения характеристик антенны.

Заключение

Проведенное исследование показывает, что разработанная антенна довольно широкополосна (по уровню КСВ < 2 имеет относительную полосу пропускания более 11 %), обладает малыми размерами, высоким КНД и низким уровнем излучения с кросс-поляризацией (не более -40 дБ). Полученные зависимости электрических параметров и характеристик антенны от параметров геометрии антенны могут быть использованы разработчиками при конструировании антенн описанной конструкции. Решена задача оптимизации геометрических параметров антенны по минимуму КСВ, в диапазоне 400-440 МГц в фидерной линии с волновым сопротивлением 50, 100, 200 Ом.

Разработанная антенна может быть использована в качестве самостоятельной антенны в системах радиолокации и радиосвязи, а также в качестве излучателя в антенных решетках.

Литература:

1. Канарейкин, Д.Б. Поляризация радиолокационных сигналов / Д.Б. Канарейкин, Н.Ф. Павлов, В.А. Потехин. – М.: – Сов. Радио. – 1966. – 439 с.
2. Справочник по радиолокации: в 4 т. / Под ред. М. Скольника – М.: – Сов. Радио. – 1976.
3. Mailloux, Robert J. Phased Array Antenna Handbook / Robert J. Mailloux. – Artech house. – 2005. P. 515.
4. Debatosh, Guha. Microstrip and Printed Antennas: new trends, techniques, and applications / Debatosh Guha, Yahia M.M. Antar. – John Wiley & Sons, Inc. – 2011. – P. 959.



5. Yurtsev, O., Sadovsky, I. and Ptashinsky, G. Frame Loop with Switchable Polarization // IX International Conference on Antenna Theory and Techniques. Proceedings. Odessa, Ukraine, 2013. P. 361-363.

6. Кеда, В.В. Рамочная антенна с переключаемой поляризацией / В.В. Кеда, Ю.Ю. Бобков, О.А. Юрцев // Физика и технические приложения волновых процессов: материалы XIII междунар. науч.-техн. конф., Казань, 21 – 25 сентября 2015 г. / Под общей редакцией В.А. Неганова и Г.А. Морозова. – Казань: ООО «Новое знание». – С. 60

7. Ротхаммель, К. Антенны (11-е издание): в 2 т. / К. Ротхаммель, А. Кришке. – М.: Данвел, 2007.

8. Григоров, И.Н. Практические конструкции антенн / И.Н. Григоров. – М.: ДМК Пресс, 2005. – 352 с.

9. Вычислительные методы в электродинамике // Под ред. Р. Митры. М. 1977. – С. 494.

Abstract

The new construction of the loop antenna in which possibility of control of polarization by excitement of the antenna on two isolated inputs is realized is described. The antenna is developed for radar of subsurface sounding of a snow-ice cover in polar areas. Design advantages: a broadbandness (on the SWR = 2 level not less than 11 %), small dimensions, high directive gain (not less than 8 dB) and low level of radiation with cross-polarization (no more than –40 dB). Using numerical modeling, the problem of optimization of geometrical parameters of the antenna of SWR minimum, in the range of 400 - 440 MHz in the feeding line with a wave resistance of 50, 100, 200 Ohms is solved. The results received in work have to facilitate process of optimization of geometrical parameters of the antenna by the developers wishing to use the described design.

Поступила в редакцию 1.02.2016 г.

ТРЕБОВАНИЯ К НАУЧНЫМ СТАТЬЯМ, ПУБЛИКУЕМЫМ В РАЗДЕЛЕ «РЕЦЕНЗИРУЕМЫЕ СТАТЬИ»

1. Научная статья – законченное и логически цельное произведение по раскрываемой теме – должна соответствовать одному из следующих научных направлений: информационные технологии и системы, оптоэлектроника, микро- и наноэлектроника, приборостроение.

2. Объем научной статьи не должен превышать 0,35 авторского листа (14 тысяч печатных знаков, включая пробелы между словами, знаки препинания, цифры и другие), что соответствует 8 страницам текста, напечатанного через 2 интервала между строками (5,5 страницы в случае печати через 1,5 интервала).

3. Статьи в редакцию представляются в двух экземплярах на бумаге формата А4 (220092, г. Минск, проспект Пушкина, 33, помещ. 612), а также в электронном виде (e-mail: sadov@bsu.by). К статье прилагаются сопроводительное письмо организации за подписью руководителя и акт экспертизы. Статья должна быть подписана всеми авторами.

Статьи принимаются в формате doc, rtf, набранные в текстовом редакторе Word, включая символы латинского и греческого алфавитов вместе с индексами. Каждая иллюстрация (фотографии, рисунки, графики, таблицы и др.) должна быть представлена отдельным файлом и названа таким образом, чтобы была понятна последовательность ее размещения. Фотографии принимаются в форматах tif или jpg (300 dpi). Рисунки, графики, диаграммы принимаются в форматах tif, cdr, eps или jpg (300 dpi, текст в кривых). Таблицы принимаются в форматах doc, rtf или Excel.

4. Научные статьи должны включать следующие элементы: аннотацию; фамилию и инициалы автора (авторов) статьи, ее название; введение; основную часть, включающую графики и другой иллюстративный материал (при их наличии); заключение; список цитированных источников; индекс УДК; аннотацию на английском языке.

5. Название статьи должно отражать основную идею выполненного исследования, быть по возможности кратким, содержать ключевые слова, позволяющие индексировать данную статью.

6. Аннотация (100–150 слов) должна ясно излагать содержание статьи и быть пригодной для опубликования в аннотациях к журналам отдельно от статьи.

В разделе «Введение» должен быть дан краткий обзор литературы по данной проблеме, указаны не решенные ранее вопросы, сформулирована и обоснована цель работы.

Основная часть статьи должна содержать описание методики, аппаратуры, объектов исследования и подробно освещать содержание исследований. Полученные результаты должны быть обсуждены с точки зрения их научной новизны и сопоставлены с соответствующими известными данными. Основная часть статьи может делиться на подразделы (с разъяснительными заголовками).

Иллюстрации, формулы, уравнения и сноски, встречающиеся в статье, должны быть пронумерованы в соответствии с порядком цитирования в тексте.

В разделе «Заключение» должны быть в сжатом виде сформулированы основные полученные результаты с указанием их новизны, преимуществ и возможностей применения.

Список цитированных источников располагается в конце текста, ссылки нумеруются согласно порядку цитирования в тексте. Порядковые номера ссылок должны быть написаны внутри квадратных скобок (например: [1], [2]).

В соответствии с рекомендациями ВАК Республики Беларусь от 29.12.2007 г. №29/13/15 научные статьи аспирантов последнего года обучения публикуются вне очереди при условии их полного соответствия требованиям, предъявляемым к рецензируемым научным публикациям.