

# ИЗЛУЧАТЕЛЬ НА ОСНОВЕ ОДНОПОЛОСКОВОЙ МЕАНДРОВОЙ ЛИНИИ

Г. Г. Грачёв, В. А. Калошин

Институт радиотехники и электроники им. В.А.Котельникова РАН

Получена 12 декабря 2011 г.

**Аннотация:** Предложены и исследованы излучатели на основе отрезка однополосковой ленточной меандровой линии. Рассмотрены излучающие элементы с прямоугольной формой меандра при различной ширине излучателя при фиксированной величине периода и ширины полоска. Теоретическое исследование коэффициента отражения и диаграмм направленности излучения проведено путем численного моделирования методом конечных элементов. Показано существование режима осевого излучения. Результаты моделирования диаграммы направленности излучателя сопоставлены с результатами физического эксперимента.

**Ключевые слова:** однополосковая меандровая линия, монополь, антенна.

**Abstract.** Radiators on the base of singlestrip meandered lines are proposed and investigated. Existence of end-fire mode of radiation in such element is demonstrated. The results are obtained by numerical simulations on the base of FEM and compared with physical experiments data.

**Keywords:** meandered line, radiator.

## Введение

Интерес к однополосковой меандровой линии (ЛМЛ) как к базовой линии передачи УКВ, СВЧ и КВЧ диапазонов обусловлен низкими тепловыми потерями [1-3], высокой устойчивостью ее основной моды к излучению на нерегулярностях [4] и простотой изготовления. Особенности геометрии данной линии передачи позволяют строить на ее основе излучающие элементы, простейшим из которых является монополь, т.е. отрезок ЛМЛ над экраном

(рис.1). В настоящее время меандровая форма проводников широко используется для уменьшения габаритов излучателей монопольного и дипольного типа [5]. Главным недостатком таких излучателей является их слабая направленность.

Целью данной работы является исследование и определение условий существования различных режимов работы меандровых излучателей, в первую очередь режима излучения вдоль оси с целью реализации высокой направленности.

Будем исследовать излучающий элемент с прямоугольной формой меандра и различными величинами ширины  $W$  и длины при фиксированном периоде  $t=15\text{мм}$ , ширине полоска  $w=3,5\text{мм}$  и расстоянии от краёв экранов до первого излома полоска  $l=2\text{мм}$  (рис.1). Для электродинамического моделирования будем использовать метод конечных элементов.

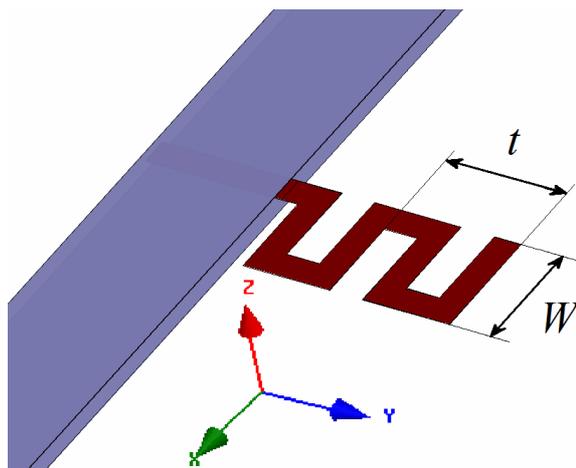


Рис. 1. Модель излучателя на основе ЛМЛ.

### 1. Основные режимы работы меандрового излучателя.

На рис. 2 приведены частотные зависимости величины отражённой мощности в моделях меандровых излучателей возбуждаемых СПЛ с тремя волновыми сопротивлениями: 20 ом, 50 ом и 60 ом, полученные путем численного моделирования. На графике соответствующие кривые показаны красным, синим и зеленым цветом. Можно видеть 4 полосы согласования излучателя с центральными частотами 1,5 ГГц, 3,8ГГц, 5ГГц и 8ГГц. Сначала

рассмотрим хорошо согласованную на нижней частоте модель излучателя, возбуждаемого 50-омной симметричной полосковой линией. Она приведена на рис. 2 синим цветом. Диаграмма направленности меандрового излучателя на этой частоте приведена на рис.3. Красным цветом представлена диаграмма направленности в плоскости меандра (XY), синим - в плоскости ортогональной излучателю (XZ), зелёным - в плоскости YZ.

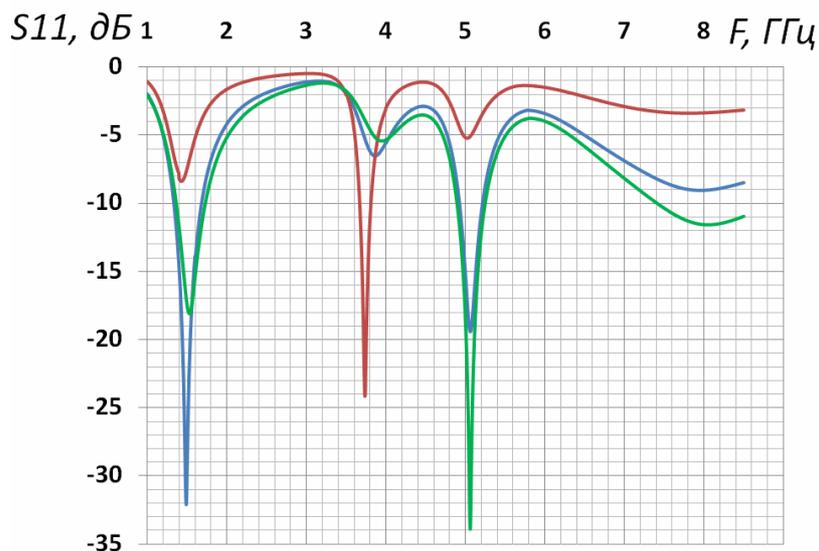


Рис.2. Зависимость коэффициента отражения от частоты.

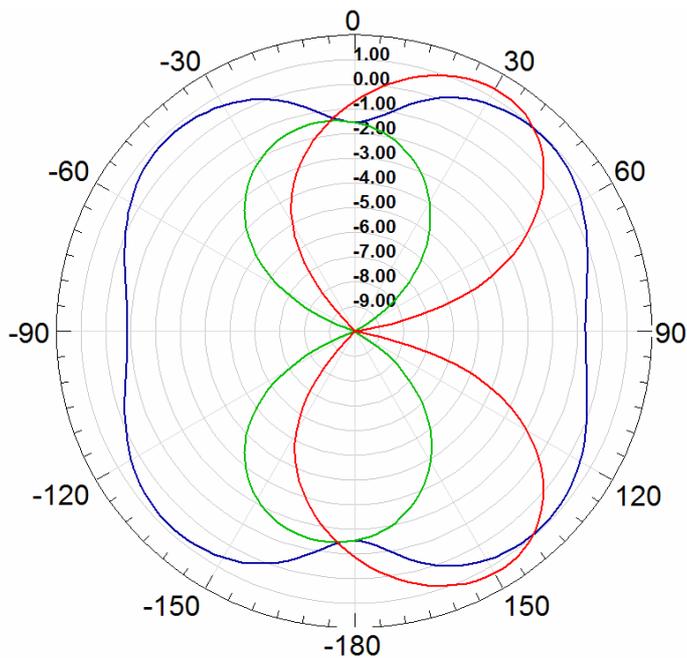


Рис. 3. Диаграмма направленности меандрового излучателя в дБ на частоте 1,5 ГГц.

Как видно из рисунка, в данном режиме излучение слабонаправленное с провалом вдоль оси излучателя, характерное для классического монополя. Данный вид диаграммы обусловлен тем, что на низкой частоте излучатель представляет собой слабо добротный резонатор, все элементы которого находятся в фазе. Поэтому излучают только продольные токи (излучение поперечных токов, периодически меняющих свое направление на противоположное, практически отсутствует).

Во втором режиме работы на частоте 3.8 ГГц волновое сопротивление излучателя близко к 20 Ом. Сечения диаграммы направленности излучателя в этом режиме работы в трех плоскостях приведены на рис. 4 (выбор цвета кривых здесь и далее на рис.5,6, такой же как на рис.3). Как видно на рисунке излучение направлено под углом 30-50° к оси излучателя с усилением 2-3 дБ в прямом и -1дБ в обратном направлении.

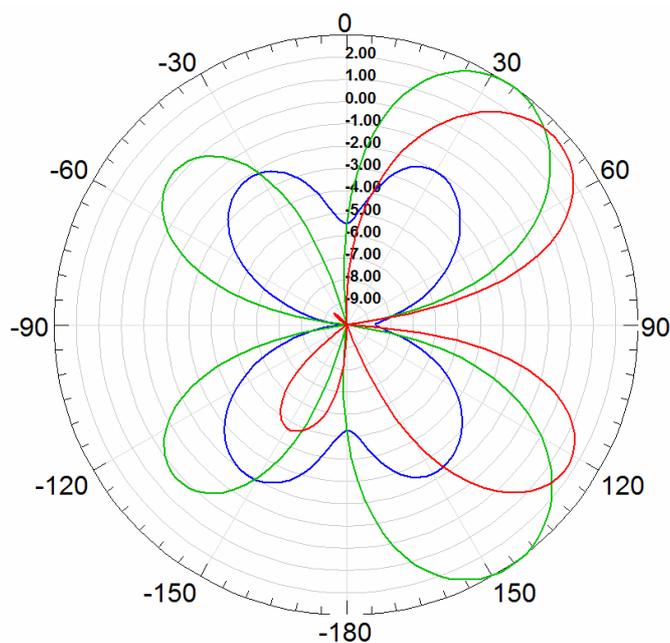


Рис. 4. Диаграмма направленности меандрового излучателя в дБ на частоте 3,8 ГГц.

Третий режим работы (на частоте 5 ГГц) меандрового излучателя характеризуется высокой направленностью излучения (порядка 6-7 дБ) в направлении, близком к оси излучателя (рис. 5). В данном случае имеет место режим бегущей волны.

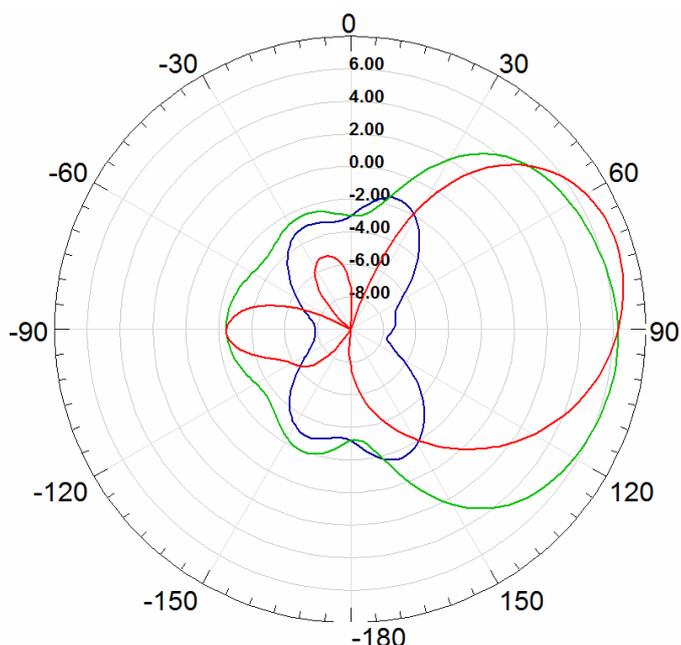


Рис. 5. Диаграмма направленности меандрового излучателя в дБ на частоте 5 ГГц.

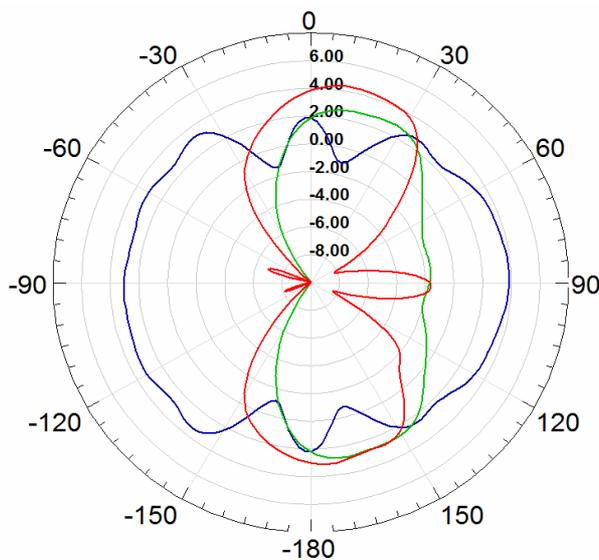


Рис. 6. Диаграмма направленности меандрового излучателя в дБ на частоте 8 ГГц.

Четвертый режим работы (на частоте 8 ГГц) характеризуется более широкой полосой согласования (см. рис. 2). Сечения диаграммы направленности излучения в четвертом режиме излучателя с 60-омной питающей линией представлены на рис. 6. При возбуждении излучателя линией с волновым сопротивлением  $Z=100$  Ом обеспечивается режим

сверхширокополосного согласования (от 7 до 22.5 ГГц по уровню -10 дБ, см. рис. 7). На рис.8 приведены диаграммы направленности меандрового излучателя возбуждённого линией с волновым сопротивлением 100 Ом на частотах – 7, 8, 10, 11 ГГц (на рисунке показаны красным, синим, зелёным и коричневым цветами, соответственно). Сплошные линии на рисунке –  $\theta$ -поляризация в плоскости  $\varphi=0^\circ$ , пунктирные линии -  $\theta$ -поляризация в плоскости  $\varphi=90^\circ$ , штриховые линии -  $\varphi$ -поляризация в плоскости  $\varphi=90^\circ$ .

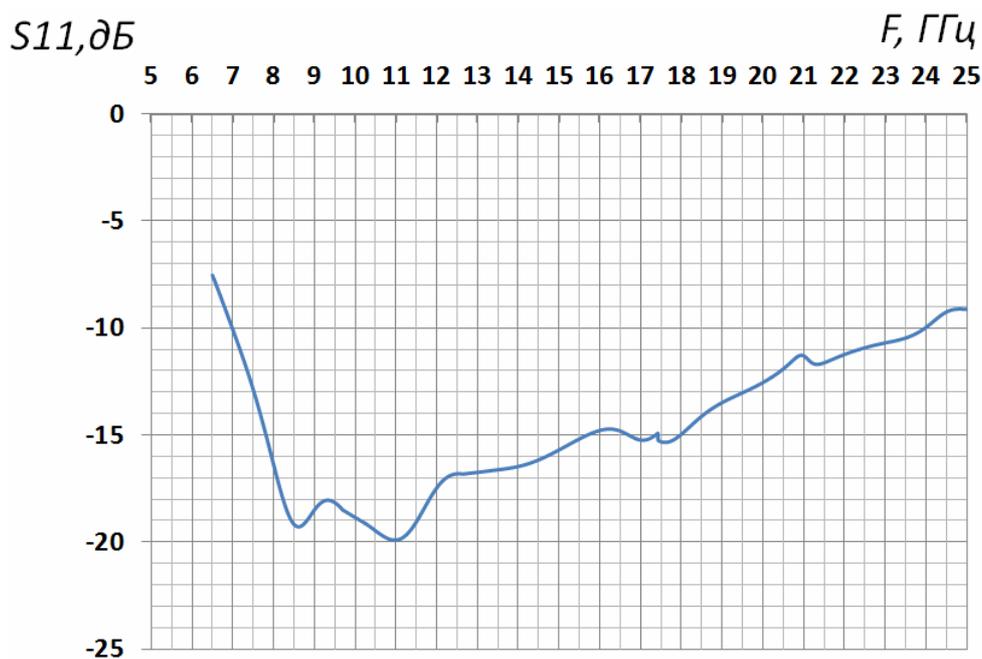


Рис. 7. Зависимость коэффициента отражения от частоты излучателя, возбуждённого 100-омной линией.

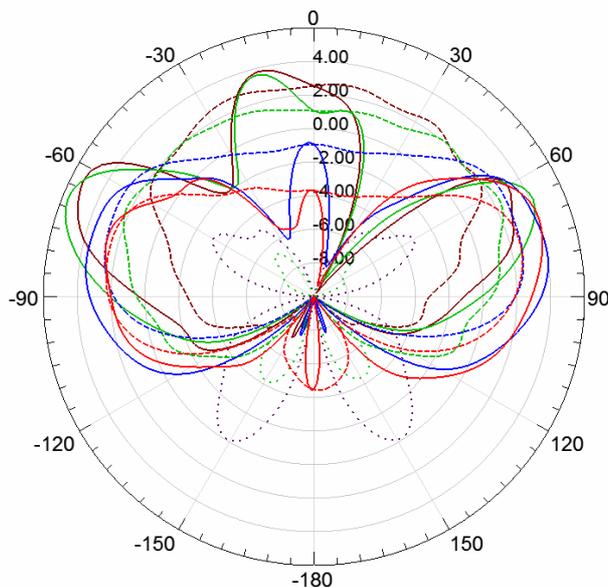


Рис. 8. Диаграммы направленности меандрового излучателя, возбуждённого линией с волновым сопротивлением 100 Ом.

## 2. Исследование характеристик излучателя в зависимости от геометрических размеров.

Зависимости характеристик излучателей от геометрических размеров исследованы для режима бегущей волны с высокой направленностью излучения вдоль оси. На рис. 9 представлены частотные зависимости величины отражённой мощности для трёх моделей излучателей с ширинами меандра  $w=10\text{мм}$ ,  $15\text{мм}$  и  $17\text{мм}$  возбуждаемых СПЛ с волновыми сопротивлениями соответствующими наилучшему согласованию в режиме осевого излучения –  $110$ ,  $60$  и  $50$  Ом, соответственно. На рис. 9 эти зависимости показаны зелёным, красным и синим цветом. Как видно из графиков, модели с более широким меандром и, соответственно, меньшим волновым сопротивлением, обладают более узкой относительной полосой согласования  $\frac{\Delta F}{F_{res}}$ , равной  $0,22$ ;  $0,07$  и  $0,05$ , соответственно. Здесь  $\Delta F$  – полоса пропускания излучателя на уровне  $-10\text{дБ}$ ,  $F_{res}$  – резонансная частота. Диаграммы направленности этих излучателей приведены на рис. 10 зеленым ( $w = 10\text{мм}$ ), красным ( $15\text{мм}$ ) и синим ( $17\text{мм}$ ) цветами резонансных частотах  $7,55$  ГГц,  $5,05$  ГГц и  $4,49$  ГГц соответственно. Сплошными линиями представлены сечения диаграмм в плоскости меандра (XY), пунктирными линиями - в плоскости ортогональной излучателю (XZ), штриховыми линиями - в плоскости YZ.

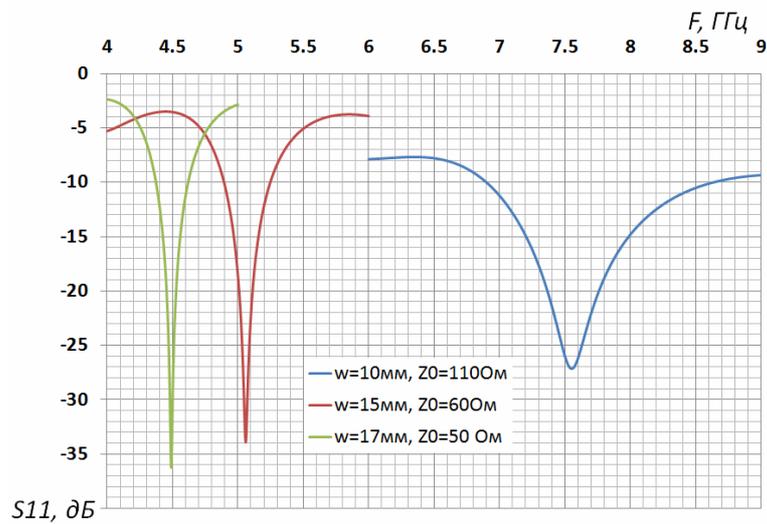


Рис. 9. Зависимость коэффициента отражения от частоты в режиме осевого излучения.

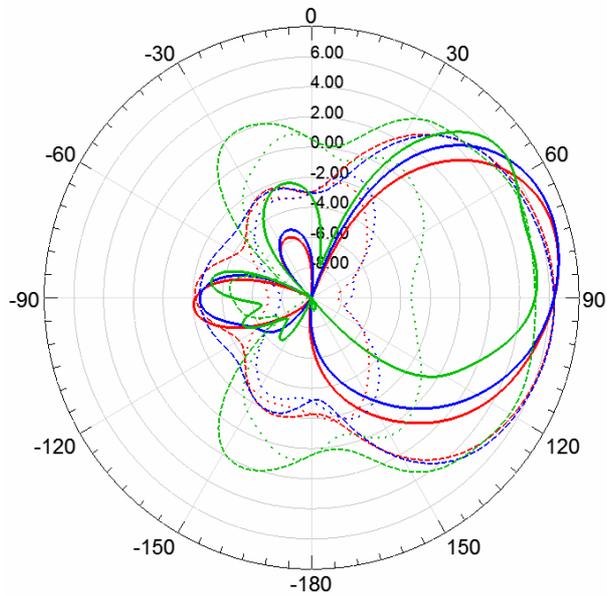


Рис. 10. Диаграммы направленности меандровых излучателей бегущей волны.

Как видно из рис. 10, усиление излучателя с увеличением ширины меандра падает.

### 3. Исследование характеристик излучателя с экраном.

На рис. 11. показана модель излучающего элемента на базе ЛМЛ, возбуждаемого при помощи СПЛ с экраном. Частотная зависимость

отражённой мощности в такой модели приведена на рис. 12 синей линией. Отметим, что при ширине меандра  $w=19\text{мм}$  излучатель с экраном согласуется с СПЛ с  $Z_0 = 9 \text{ Ом}$ . Для сравнения приводится характеристика модели аналогичной исследованной выше с шириной меандра  $w=19\text{мм}$ , то есть с волновым сопротивлением в режиме бегущей волны  $Z_0=50 \text{ Ом}$ .

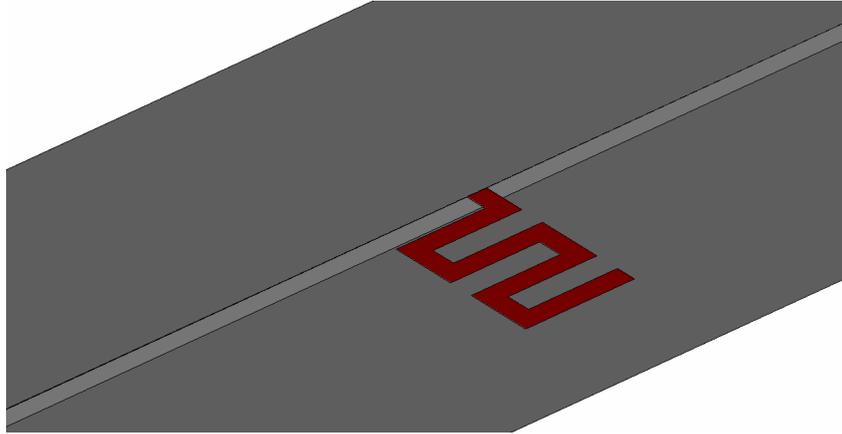


Рис. 11. Модель излучателя на основе ЛМЛ с проводящим экраном.

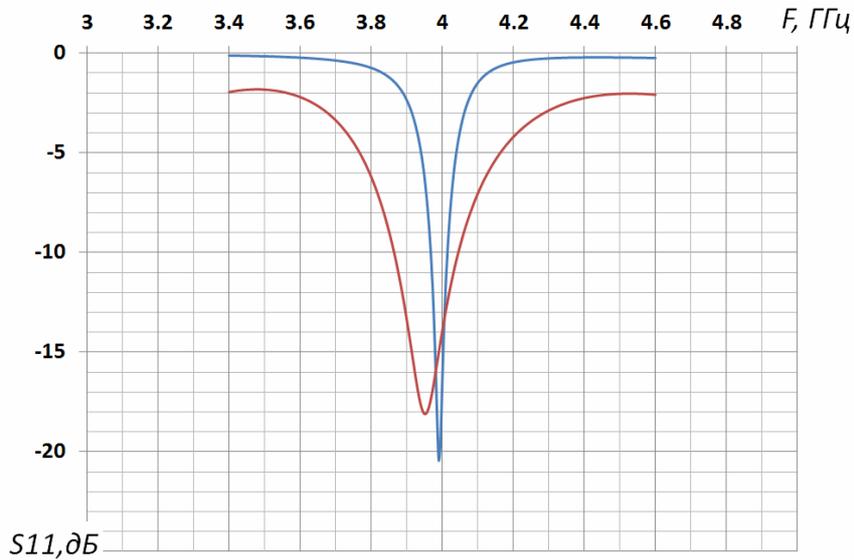


Рис. 12. Зависимость коэффициента отражения от частоты.

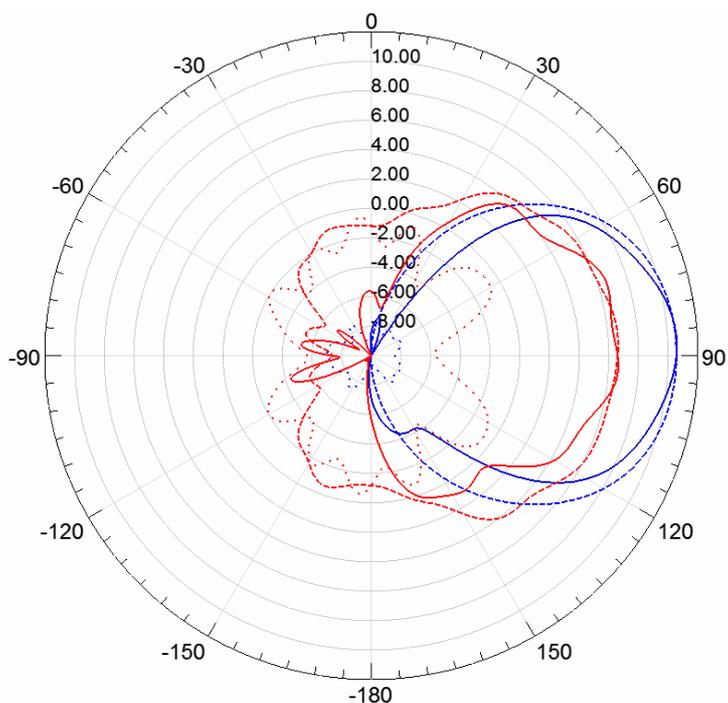


Рис. 13. Диаграммы направленности меандрового излучателя с экраном и без экрана.

На рис. 13 синими линиями приведены диаграммы направленности излучателя с экраном. Сплошными линиями представлены сечения диаграмм в плоскости меандра (XY), пунктирными линиями - в плоскости, ортогональной излучателю (XZ), штриховыми линиями - в плоскости YZ. Для сравнения красными линиями на том же рисунке приведены диаграммы направленности излучателя без экрана.

Из рис. 12 видно, что наличие направляющего экрана приводит к сильному сокращению относительной полосы пропускания излучателя, по уровню -10дБ с 5% до 1,2%. Однако, как можно видеть из рис. 13, введение экрана привело к существенному увеличению направленности, в результате чего коэффициент усиления возрастает с 6,3дБ до 10,3дБ.

### 3. Экспериментальное исследование.

Экспериментально исследовался меандровый излучатель, возбуждаемый СПЛ с волновым сопротивлением 50 Ом. Ширина меандра была выбрана

равной  $w=19\text{мм}$  из условия наилучшего согласования с измерительным прибором при работе излучателя в режиме бегущей волны. Схема эксперимента представлена на рис. 14. В качестве измерительной антенны использовалась сверхширокополосная поликоническая антенна [6]. В качестве измерительного прибора – анализатор цепей HP 8720C.

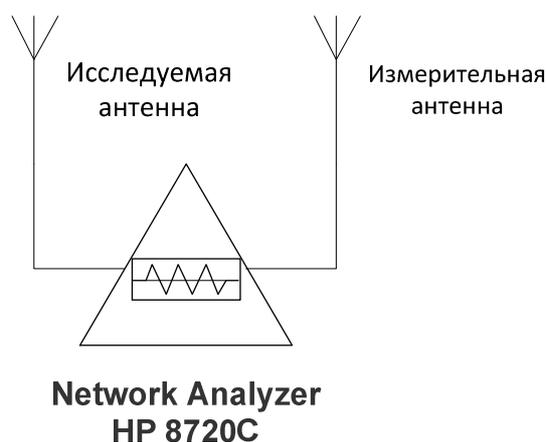


Рис. 14. Схема экспериментального исследования меандрового излучателя.

На рис. 15 красной линией показана частотная зависимость измеренной величины коэффициента отражения для меандрового излучателя, возбужденного 50-омной линией. Для сравнения, синей линией показана аналогичная характеристика, полученная численно. Как можно видеть на рисунке, число резонансных провалов в частотных характеристиках коэффициента отражения не совпадает. На экспериментальной кривой имеются дополнительные резонансные провалы, которые можно объяснить присутствием неучтенных в численной модели неоднородностей (например, место пайки коаксиального кабеля).

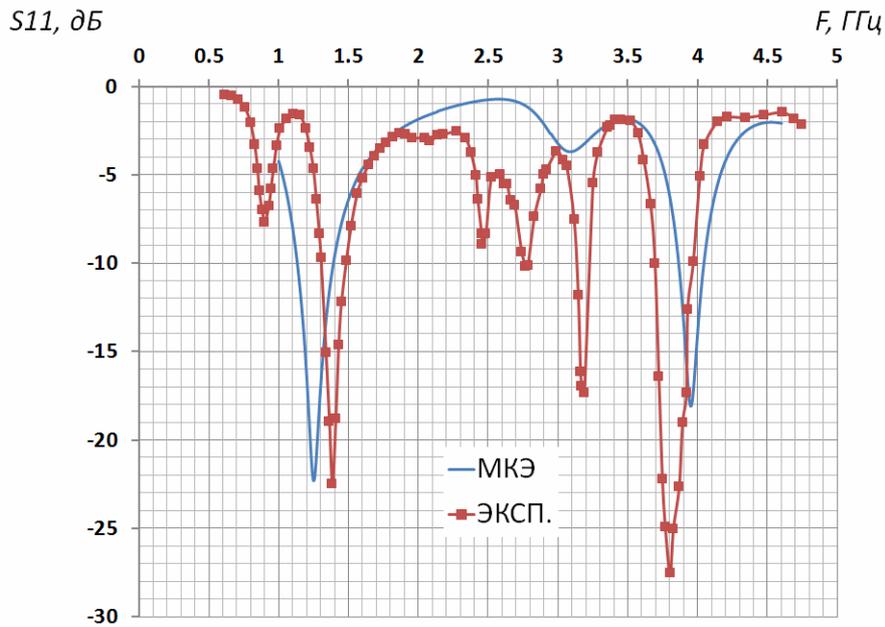


Рис.15. Зависимость коэффициента отражения от частот.

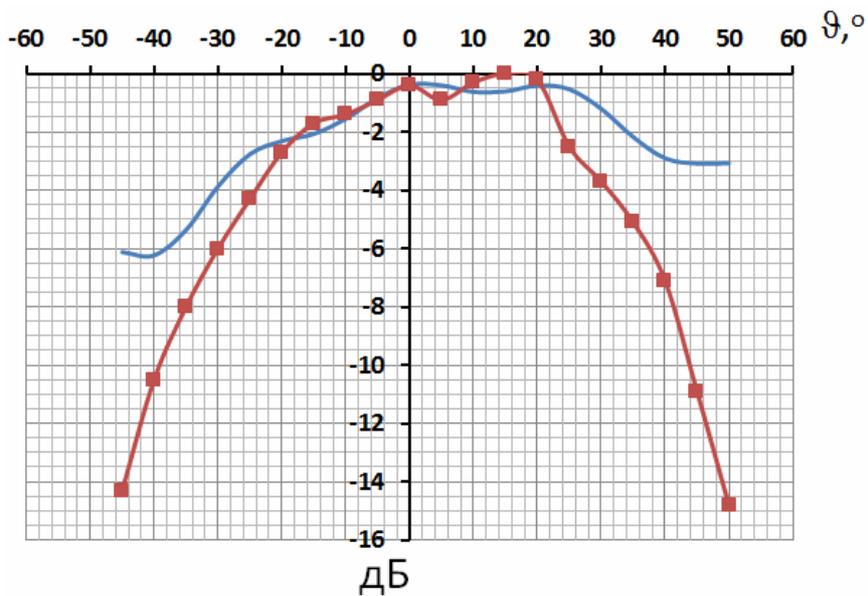


Рис. 16. Нормированная диаграмма направленности меандрового излучателя в режиме бегущей волны на частоте 4 ГГц.

На рис. 16 красной линией приведены результаты измерения диаграммы направленности меандрового излучателя, возбуждённого СПЛ с волновым сопротивлением 50 Ом, в режиме бегущей волны. Синей линией приводится диаграмма направленности, полученная численным методом. Для удобства сравнения, диаграммы приведены в нормированном виде. Как видно из

рисунка, вблизи оси излучателя, при  $-20^\circ < \theta < 20^\circ$  графики совпадают с точностью 0,5дБ, однако с увеличением угла  $\theta$  разница между экспериментальными и расчётными данными увеличивается.

### Заключение

В работе исследован монополь на основе меандровой линии. Теоретически и экспериментально показано существование режима осевого излучения с достаточно высокой направленностью (6 дБ) при малых электрических размерах излучателя (0.4x0.25 длины волны). Теоретически показано возможность повышения усиления до 10 дБ при использовании экрана.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект №10-07-00709-а).

### Литература

1. *Арсеньева Е.М, Калинин В.И., Калошин В.А.* Новые типы линий для радиосвязи в УКВ и СВЧ диапазонах. Труды III Всероссийской конференции «Радиолокация и радиосвязь», Москва, 2009. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://jre.cplire.ru/jre/library/3conference/pdffiles/pd007.pdf>.
2. *Арсеньева Е.М, Калинин В.И., Калошин В.А.* Исследование дисперсионных характеристик поверхностной волны в однопроводниковой меандровой линии. [Электронный ресурс] // Журнал радиоэлектроники. - 2011. – №1. - Режим доступа: (<http://jre.cplire.ru/jre/jan11/4/text.pdf>).
3. *Грачёв Г.Г., Калошин В.А.,* Базовые элементы интегральных схем СВЧ и КВЧ диапазонов на основе ленточной меандровой линии передачи, Труды V Всероссийской конференции «Радиолокация и радиосвязь», Москва, 2011.

4. *Грачёв Г.Г., Калошин В.А.* Исследование делителей мощности на основе меандровых линий. [Электронный ресурс] // Журнал Радиоэлектроники. – 2011. - №12 – Режим доступа: <http://jre.cplire.ru/jre/dec11/15/text.html>.
5. *Juan G. Estrada, Carlos I. Paez,* Design Formulas for a Meandered Dipole. *Antennas & Propagation Mag.*, 2011, Vol.53, No. 3, pp. 147-148.
6. *Калошин В.А., Мартынов Е.С., Скородумова Е.А.,* Исследование характеристик поликонической антенны в широкой полосе частот, РЭ. 2011.,Т.56. №9. С.1094–1098.