

Я. Щадыло<sup>1</sup>, А. Лиске<sup>2</sup>, И. Горчынский<sup>1</sup>, Н. Гресь<sup>1</sup>, И. Тепляков<sup>2</sup>

<sup>1</sup> – Национальная академия Сухопутных войск имени гетмана Петра Сагайдачного, Львов

<sup>2</sup> – Национальный университет «Львовская политехника», Львов

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЩЕЛЕВОЙ РОМБИЧЕСКОЙ АНТЕННЫ ДЛЯ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ВОЕННЫХ ДОРОГ

*В данной работе исследована щелевая ромбическая антенна (ЩРА) во временной области. Обсуждаются условия для получения излучения в направлении нормали к поверхности антенны. Предложенная модель может быть использована для задач мониторинга территории, при проектировании систем радиолокационной съемки и дистанционного зондирования в области сверхвысоких частот.*

*Ключевые слова:* щелевая ромбическая антенна, электромагнитное моделирование, анализ во временной области, военная дорога

### ВСТУПЛЕНИЕ

Разработка новейших излучателей электромагнитной энергии, которые характеризуются небольшими размерами и высокой скоростью передачи данных, для использования в системах дистанционного зондирования и мониторинга военных дорог позволит увеличить разрешение таких систем. Применение в технологии планарных излучателей диэлектрических подложек с высоким значением  $\epsilon$  приводит к значительному уменьшению длины волны в таких структурах, а также их размеров. Исследование электродинамических свойств излучающих структур на основе щелевых линий передачи (ЩЛП) представляет собой актуальную проблему, поскольку служит основой для создания новых миниатюрных излучателей с заданными параметрами [1-3].

Существует несколько подходов к анализу антенн на основе ЩЛП [4]. Анализ во временной области является эффективным для решения высокочастотных проблем, в которых структура соразмерна с длиной волны. Решатели во временной области вычисляют распространения электромагнитных волн в дискретные моменты времени в дискретных местах структуры. Решатель переходных процессов может получить решение электродинамического анализа моделируемого устройства в широкой полосе частот на основании всего одного вычисления.

### 1. Формулировка задачи исследования

Вычисления временных сигналов осуществлялось с помощью CST Microwave Studio для ЩРА, изображенной на рис. 1. Слой диэлектрика расположен близко к металлической пластины со щелью. Структура имеет один порт, подсоединяемый к ЩЛП в точках 1-2. Диэлектрическая проницаемость диэлектрика  $\epsilon_r = 3.5$ . Длина одной стороны ромба выбрана  $L_s = \lambda_s/2$ , где  $\lambda_s$  - длина волны в ЩЛП. Размер металлической пластины составляет  $\lambda_s \times \lambda_s$ . Относительная ширина ЩЛП:  $w/\lambda_s = 0.015$ . Относительная высота диэлектрической подложки:  $t/\lambda_s = 0.015$ .

Интеграл электрического поля в сечении щели равен напряжению между краями щели в этом сечении.

Щелевая линия является короткозамкнутой в точках 3-4. Напряжение в ЩЛП на линейных участках I и II синфазно с напряжением на участках соответственно III и IV.

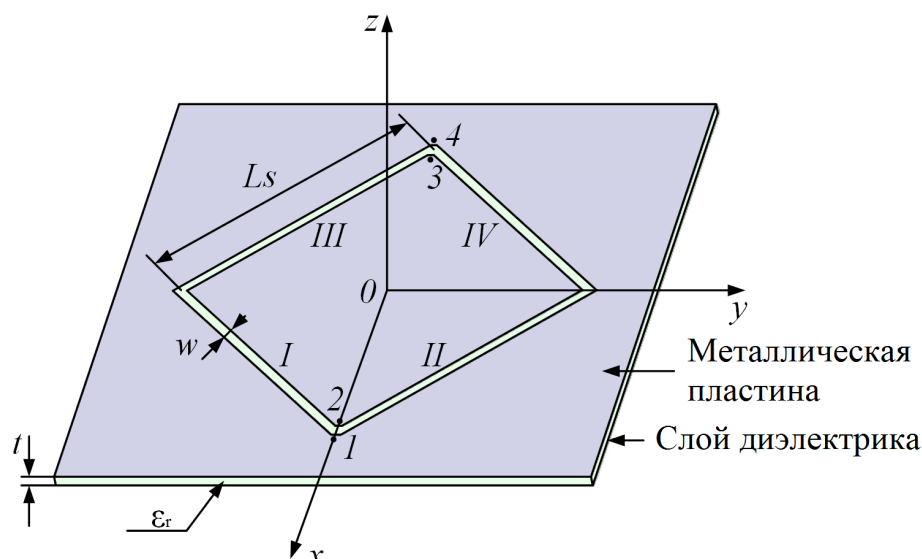


Рис. 1. Модель щелевой ромбической антенны

Происходит излучение электромагнитной волны двух линейных поляризаций - вертикальной и горизонтальной (рис. 2, а). В дальней зоне в направлении нормали наблюдается излучение вертикально поляризованной электромагнитной волны. Горизонтальные компоненты  $E_h$  линейных участков I и III взаимно компенсируют компоненты  $E_h$  участков II и IV, при этом кроссполяризованное горизонтальное излучение в направлении нормали отсутствует (рис. 2, б).

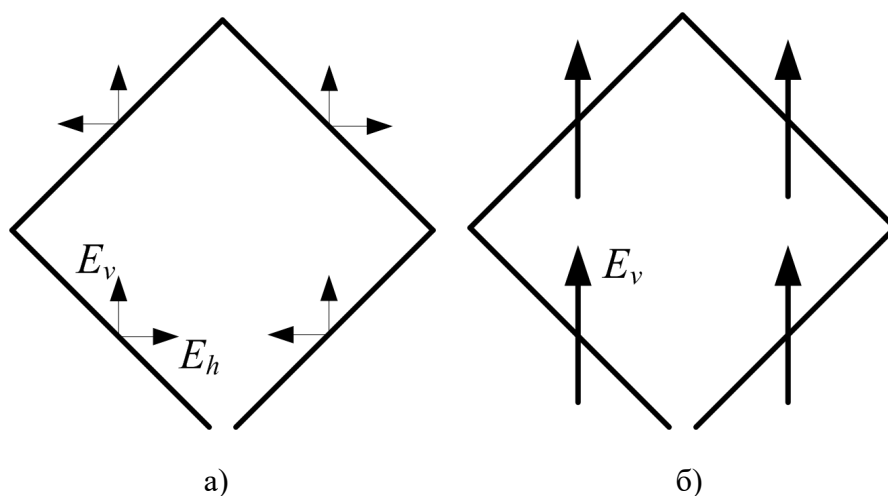


Рис. 2. Щелевая ромбическая антенна в виде решетки четырех вертикальных диполей

## 2. Результаты компьютерного моделирования во временной области

Метод исследования переходных процессов требует разбиения вычислительной области на подобласти. Доступны три различных типа подобластей: шестигранная, тетраэдральная и поверхностная.

Электромагнитная энергия подается на структуру и с нее с помощью одного порта, на котором контролируются напряжения и токи входных и выходных сигналов.

Моделирование выполнялось со следующими параметрами. Сетка состоит из 76000 шестигранных ячеек. Предел точности в установившемся режиме: -30 дБ.

Входной  $s_1(t)$  и выходной  $s_2(t)$  сигналы в исследуемой структуре при длительности сигнала возбуждения  $\Delta t = 7.109$  нс показаны на рис. 3.

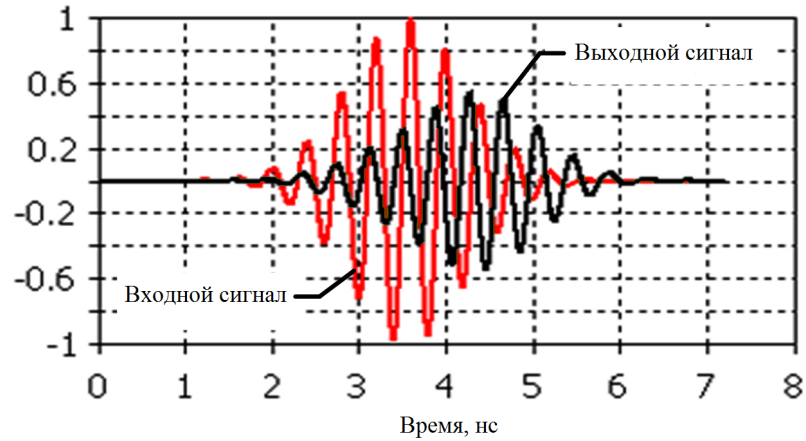


Рис. 3. Входной и выходной сигналы во временной области,  $\Delta t = 7.109$  нс

На рис. 4-6 представлены полученные графики  $S_{11}$  в диапазоне частот при следующей продолжительности сигнала: 7; 71; 355 нс.

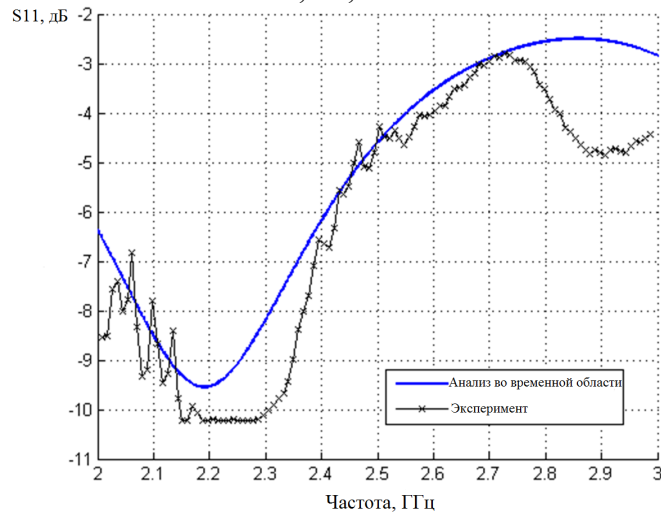


Рис. 4. Обратные потери  $S_{11}$  щелевой ромбической антенны,  $\Delta t = 7.109$  нс,  $F_{рез} = 2.19$  ГГц

На рис. 4 результаты математического моделирования сравниваются с экспериментальными данными.

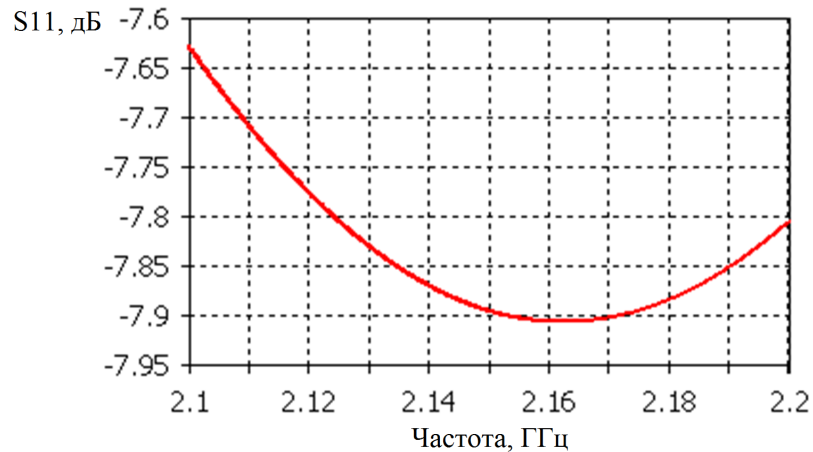


Рис. 5. Обратные потери  $S_{11}$  щелевой ромбической антенны,  $\Delta t = 71$  нс,  $F_{рез} = 2.162$  ГГц

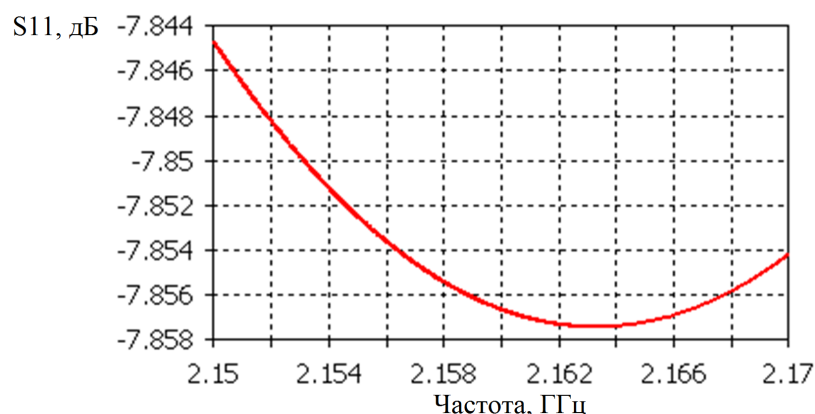


Рис. 6. Обратные потери S11 щелевой ромбической антенны,  $\Delta t = 355$  нс,  $F_{res} = 2.163$  ГГц

Как видно на рис. 4-6, увеличение продолжительности сигнала возбуждения влияет на полученное значение резонансной частоты  $F_{рез}$ .

Диаграмма направленности ЩРА для вертикально поляризованного сигнала в плоскости  $XOZ$  изображена на рис. 7.

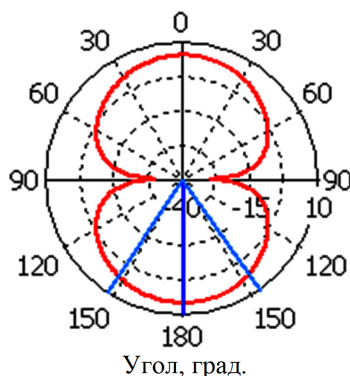


Рис. 7. Диаграмма направленности щелевой ромбической антенны

Получены следующие результаты на частоте 2.4 ГГц: усиление = 5.5 dBi, направление главного лепестка =  $179.0^\circ$ , ширина главного лепестка по уровню -3 dB =  $68.4^\circ$ .

## ВЫВОДЫ

Таким образом, сформулированы требования к щелевой антенне, предназначенной для использования в системах дистанционного зондирования и мониторинга военных дорог, для получения излучения в направлении нормали. Данные требования заключаются в том, что сторона ромба должна составлять половину длины волны в щелевой линии. Проанализирована щелевая антенна ромбической формы во временной области, путем компьютерного моделирования получены обратные потери в диапазоне частот 2..3 ГГц, а также диаграмма направленности в дальней зоне на резонансной частоте, которая составляет 2.163 ГГц. Результаты численного моделирования сравниваются с результатом физического эксперимента.

## Список литературы

1. Chu L.J., "Physical limitations on omni-directional antennas", J. Appl. Phys, vol. 19, pp. 1163–1175, Dec. 1948.
2. Wheeler H.A., "Small antennas", IEEE Trans. Antennas Propagat, vol. AP-23, pp. 462–469, July 1975.
3. McLean J.S., "A reexamination of the fundamental limits on the radiation Q of electrically small antennas", IEEE Trans. Antennas Propagat, vol. 44, No. 5, pp. 672–676, May 1996.
4. Liske O.M., "Comparison of computational electromagnetic tools for design and simulation of slot rhombic antenna", Proc. International Conf. The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics, Polyana Svalyava, Ukraine, pp. 114-115, 23-25 Feb. 2011.