УДК 621.382

ОЦЕНКА ВЗАИМНОГО ВЛИЯНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ МАТРИЦЫ АВТОДИННЫХ КВЧ ДАТЧИКОВ ДЛЯ РАДИОЛОКАЦИИ (INTERFERENCE SPECIFICITY OF ELEMENTS OF THE SELF-HETERODYNE EHF SENSORS MATRIX FOR RADIO LOCATION)

А.П. Люлякин, Е.В. Балзовский, В.П. Якубов, В.И. Юрченко*
A. Lyulyakin, E. Balzovsky, V. Yakubov, V. Yurchenko

Томский государственный университет
*ОАО «НИИПП», г. Томск
E-mail: tduty5@mail.ru

Для сканирования объектов, скрытых за радио прозрачными диэлектриками (одежда, упаковка), предложено использовать матрицу приемо-передатчиков (автодинов) на слаботочных диодах Ганна миллиметрового диапазона. Излучение элементов матрицы некоррелированно, каждый элемент является датчиком амплитуды отраженной волны. Для плотного заполнения матрицы необходимо изучить взаимное влияние датчиков и выявить факторы уменьшения их взаимодействия при одновременном опросе и оцифровке измерительных данных. Приведены результаты теоретического исследования и численного моделирования симметричной патч-антенны, содержащей два плеча треугольной формы, между которыми установлен диод Ганна. Установлено, что антенна имеет полосу пропускания не более 1,5% при центральной частоте (45-55) ГГц. Расчет поля в близи антенны показал, что наибольшее влияние оказывают торцевые кромки антенны, поэтому предпочтительнее располагать антенны в узлах треугольной сетки. При расстояниях до четырех длин волн на резонансной частоте уровень переизлученного поля не опускается ниже -40 дБ. Это не позволяет располагать антенны, имеющие одинаковые резонансные частоты на малом расстоянии друг от друга и опрашивать их одновременно. Предлагается использовать в составе матрицы набор антенн, отличающихся длиной плеч и значением резонансной частоты, и располагать их рядом. При этом антенны, имеющие одинаковые резонансные частоты, будут расположены на расстоянии, исключающем взаимодействие. Такой подход позволит увеличить скорость опроса автодинных датчиков в составе плотной решетки.
(To scan hidden objects behind the radio transparent dielectrics (clothing, packaging), it is suggested to use the matrix of transceivers (autodynes) based on low-power millimeter-wave Gunn diodes. The radiation elements are non-correlated, each element is a sensor of amplitude of the reflected wave. For filling the matrix of sensors it is necessary to study the mutual influence of the sensors and to find the way to reduce interaction between them when several sensors acts simultaneously. The results of numerical modeling of symmetrical antenna comprising two triangular patches are presented. It has been set that the antenna has a bandwidth of less than 1,5% at a center frequency of 45 to 55 GHz. Calculation of the electric field strength near the antenna shows that the largest mutual interference is at the edges of the antenna. The way to reduce this interaction is the location of the antennas at the nodes of triangular grid. At distances up to four wavelengths at the resonant frequency the level the induced field does not drop below -40 dB. This prevents positioning of the antenna with the same resonant frequency by a small distance from each other. It is proposed to use the set of antennas with different length of arms and resonant frequencies. Thus the antennas having the same resonance frequency, will be located far enough to exclude interaction. This approach will increase the speed survey of autodyne sensors.)

Ключевые слова:
Автодин, диод Ганна, микрополосковая антенна, миллиметровое излучение, резонансная частота.
(Self-heterodyne systems, Gunn diode, patch antenna, millimeter wave sensor, resonant frequency)

Для обеспечения безопасности людей при проведении массовых мероприятий, а также для потокового сканирования грузов на логистических центрах необходимы безопасные, быстродействующие и недорогие системы, позволяющие бесконтактно обнаруживать и определять опасные объекты размером от единиц до десятков сантиметров, скрытые под одеждой, в транспортной таре или за другими оптически непрозрачными препятствиями. Радиоволновые методы обнаружения скрытых объектов [1], несомненно, более безопасны

методов, использующих рентгеновское излучение, однако для обеспечения разрешающей способности в несколько миллиметров требуется измерение как амплитуды, так и фазы отраженного сигнала в широком диапазоне частот, что определяет сложность и высокую стоимость измерительного оборудования. В то же время, использование недорогих узкополосных приемо-передатчиков СВЧ диапазона, размещенных в плотно заполненной матрице и регистрирующих только амплитуду отраженного сигнала, позволяет создать портативные сканирующие системы [2]. Для повышения разрешающей способности таких сканеров предлагается использовать автодинные датчики миллиметрового диапазона на слаботочных диодах Ганна.

Автодинный датчик представляет собой автоколебательную систему, в которой диод Ганна является одновременно и генератором колебаний, и усилителем принятого излучения [3]. Отраженное от зондируемых объектов электромагнитное поле вызывает изменение тока, протекающего через диод. Частота колебаний определяется собственной частотой диода и резонансной частотой антенны. Для плоского печатного исполнения наиболее подходящими являются микрополосковые антенны с треугольными плечами [4], резонансные частоты которых можно задавать, варьируя размеры электродов антенны в небольших пределах.

Для создания матрицы автодинных датчиков с наиболее плотным заполнением возможно расположением элементов в узлах прямоугольной (рис. 1а) или треугольной (рис. 1б) сетки. Для обеспечения максимального быстродействия сканера следует опрашивать наибольшее количество датчиков одновременно. Однако датчики расположены близко, поэтому необходимо оценить их взаимное влияние и подобрать расстояние допустимого взаимодействия в случае, когда все элементы идентичны и работают на одной частоте.

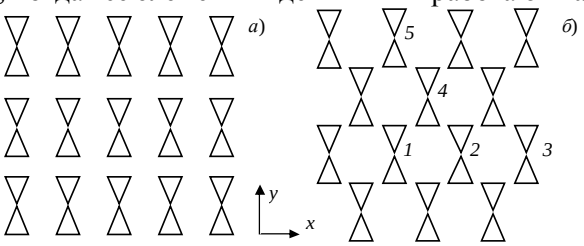

Рис. 1. Расположение датчиков матрицы

Антенна датчика представляет собой симметричную микрополосковую антенну (рис. 2) с треугольными плечами 1 и 2, выполненными печатным способом (или способом напыления) на пластине СВЧ диэлектрика 3 толщиной 0,25 мм, в нижней части покрытой металлом. Бескорпусной диод 4 монтируется с обеспечением контакта с плечами антенны. Предполагается, что цепи питания диода, регистрации и оцифровки будут расположены на одно- или многослойной текстолитовой плате внизу антенны.

Расчетный коэффициент отражения от входа антенны при волновом сопротивлении 50 Ом и диэлектрической проницаемости подложки 3.8 приведен на рис. 3. Полоса согласования по уровню -10 дБ не превышает 1,5% от центральной частоты, значение которой можно задавать в пределах 45-55 ГГц выбором длины плеча антенны.

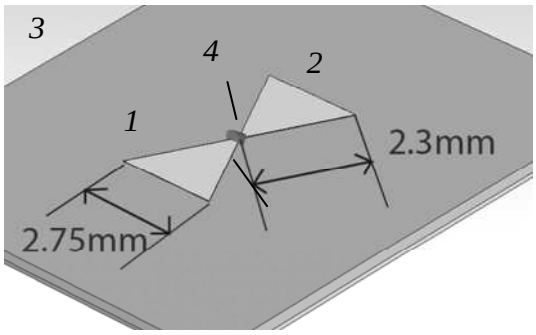

Рис. 2. Геометрия антенны

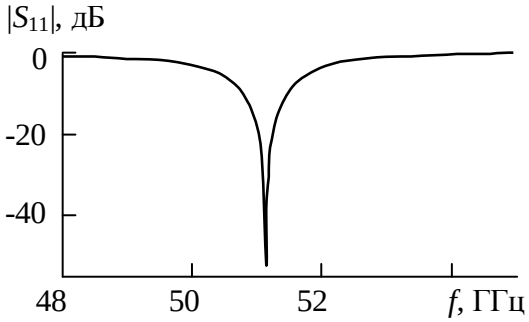

Рис. 3. Отражение от входа антенны

Диаграммы направленности антенны на резонансной длине волны λ = 5,9 мм в двух плоскостях приведены на рис. 4. Ширина главного лепестка Е-плоскости составляет 51 градус, а в Н-плоскости 79 градусов. Коэффициент усиления антенны равен 9,7дБ.

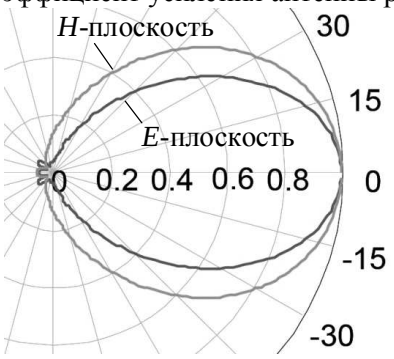

Рис. 4. Диаграммы направленности антенны

Для оценки поведения поля было проведено моделирование одиночной антенны и антенны в составе матрицы излучателей. На рис. 5 представлены зависимости модуля напряженности электрического поля $|E|$ при увеличении расстояния R от центра одиночной антенны вдоль координатных осей (штриховые кривые). Поскольку невозможно определить электрическое поле непосредственно на поверхности плеча антенны или в центре антенны (там находится источник энергии), то была проведена нормировка на значение поля $|E_{max}|$, рассчитанное на расстоянии 2,3 мм (0,4λ) от центра антенны по оси z (в направлении излучения). Это расстояние определяет радиус сферы, в которую вписана антенна датчика.

В направлении оси y поле убывает медленнее, чем вдоль оси x. Возможно, происходит возбуждение поверхностной волны, которая распространяется вдоль оси y. Датчики, работающие на близких частотах, нельзя располагать на расстоянии менее 5λ друг от друга оси плеча антенны.

Проведено моделирование работы антенны в составе матрицы датчиков. Расположение элементов приведено на рис. 1б, в пронумерованных датчиках расположены порты с волновым сопротивлением 50 Ом для определения S-параметров.

Модуль напряженности электрического поля при изменении расстояния от центра антенны 1 представлен сплошными кривыми на рис. 5. Установлено, что за исключением областей расположения антенн скорость убывания поля слабо зависит от наличия или отсутствия соседних элементов матрицы.

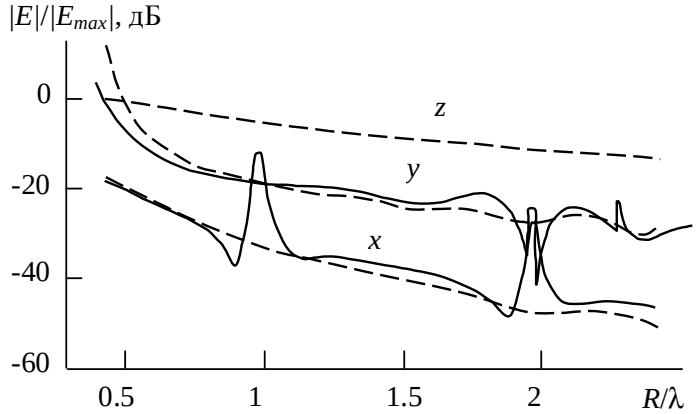

Рис. 5. Зависимость модуля напряженности электрического поля от расстояния вдоль координатных осей

Для контроля развязки между антеннами рассчитаны коэффициенты передачи, показывающие, какая доля мощности выделится в нагрузке соседних антенн при подведении единичной мощности на вход антенны 1. Недостаточная развязка между антеннами 1 и 2 ниже резонансной частоты может быть вызвана нескомпенсированными токами, текущими по

боковым ребрам антенн. Сильное взаимодействие между антеннами 1-4 и 1-5 на частотах выше резонансной частоты обусловлено емкостной связью между торцами антенн.

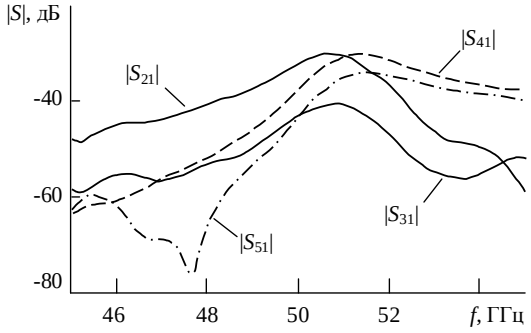

Рис. 6. Развязка между антеннами

Моделирование одиночной антенны и матрицы антенн показало, что на резонансной частоте развязка между соседними антеннами едва достигает -30 дБ на расстоянии 4λ. Поскольку величина поля, наведенного в точках расположения соседних датчиков велика, для повышения скорости опроса автодинных датчиков необходимо использовать литерную систему: соседние датчики должны работать на разных частотах (литерах) в пределах набора из 5-10 частот. Возможно, за счет узкой полосы пропускания, удастся снизить взаимное влияние «разноименных» датчиков при одновременном их опросе. Опрос «одноименных» датчиков необходимо производить в разные интервалы времени.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Якубов В. П., Шипилов С. Э., Суханов Д. Я., Клоков А. В. Радиоволновая томография: достижения и перспективы. – Томск: Изд-во НТЛ, 2014. – 264 с.
2. Федянин И. С., Кузьменко И. Ю., Шипилов С. Э., Якубов В. П. Радиовидение с использованием микроволновых доплеровских датчиков. // Известия высших учебных заведений. Физика. – 2012. – Т. 55. – № 9. – С. 220-221.
3. Юрченко А. В., Юрченко В. И., Воторопин С. Д. Автодинные датчики в измерительной технике. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009. – 128 с.
4. Люлякин А.П., Трубачев А.А., Юрченко В.И. Подбор архитектуры активных микрополосковых антенн КВЧ диапазона для автодинных датчиков КВЧ-диапазона // Известия высших учебных заведений. Физика. – 2012. – Т. 55. – №9/2. – С. 66-67.

Сведения об авторах:
Люлякин А. П.: аспирант кафедры радиофизики Томского государственного университета.
Балзовский Е. В.: доцент кафедры радиофизики Томского государственного университета.
Якубов В. П.: заведующий кафедрой радиофизики Томского государственного университета;.
Юрченко В. И.: ОАО «НИИПП», г. Томск.