

СКАНИРУЮЩЕЕ УСТРОЙСТВО ОПТИЧЕСКОГО ТИПА

О.В. Минин

Институт прикладных физических проблем

Введение

На разработку систем построения изображений когерентно-оптического типа существенным образом влияют требования по быстродействию и практическое назначение устройства [1-2]. В устройствах радиовидения миллиметрового и субмиллиметрового диапазона длин волн, предназначенных для контроля трехмерного объема в реальном времени, применение механических сканирующих систем вряд ли возможно по требованиям быстродействия [2]. В тоже время в ряде систем, где требования работы в реальном времени не играют решающей роли, например, при досмотре багажа, писем, контроля подлинности купюр и т.п. [2], применение механических сканирующих систем может быть целесообразно. Ниже рассмотрен один из вариантов сканирующей системы оптического типа, предназначенной для работы в миллиметровом диапазоне длин волн.

Принцип работы сканирующей системы

Из всех возможных систем механического сканирования диаграммой направленности миллиметровой антенны диэлектрический двухклиновый сканер наилучшим образом вписывается в конструкцию антенны [3]. На рис. 1 схематически представлен двухклиновый сканер, рис. 1а и 1б иллюстрируют, соответственно, максимальное и нулевое отклонение луча. На рис. 1в показаны принятые обозначения углов для случая максимального отклонения, т.е. ϑ_3 ϑ_{\max} , где ϑ – отклонение от оси антенны.

Соотношения между углами определяются формулами:

$$\begin{aligned} \sin(\vartheta_1 - \delta) &= n \sin \delta, \\ \sin(\vartheta_2 - \delta) &= \frac{1}{n} \sin(\vartheta_1 - \delta), \\ \sin \vartheta_3 &= n \sin \vartheta_2. \end{aligned} \quad (1)$$

При $n\delta \ll 1$ для оценок можно пользоваться формулой:

$$\vartheta = 2\delta(n - 1),$$

где n – коэффициент преломления материала диэлектрика, δ – угол при вершине клина.

Если клинья вращать на углы φ_1 и φ_2 , то направление волнового вектора будет отклоняться на углы ϑ и ψ , где ψ – отклонение в плоскости, перпендикулярной оси антенны (азимутальный угол). Примем $\varphi_1 = \varphi_2 = 0$ – соответствует рис. 1б, при этом $\vartheta = 0$. Обозначим единичные волновые векторы в различных областях преломляющей системы \vec{r}_i в соответствии с рис. 1в. Преломление «луча» описы-

вается системой уравнений (векторная форма закона Снеллиуса):

$$\begin{aligned} n(\vec{r}_2 \times \vec{M}) &= (\vec{r}_1 \times \vec{N}), \\ n(\vec{r}_2 \times \vec{z}_0) &= (\vec{r}_3 \times \vec{z}_0), \end{aligned} \quad (2)$$

где: \vec{N} – единичная нормаль наклонной поверхности клина 2 (верхний клин рис. 1); \vec{z}_0 – единичный вектор оси.

Примем следующий порядок обозначений направляющих углов для \vec{r}_i и \vec{N} :

$$\vec{r}_1(\vartheta_1, \psi_1); \vec{r}_2(\vartheta_2, \psi_2); \vec{r}_3(\vartheta_3, \psi_3); \vec{N}(\delta, \varphi_2).$$

Очевидно, что $\sin(\vartheta_1 + \delta) = n \sin \delta$, $\psi_1 = \varphi_1$.

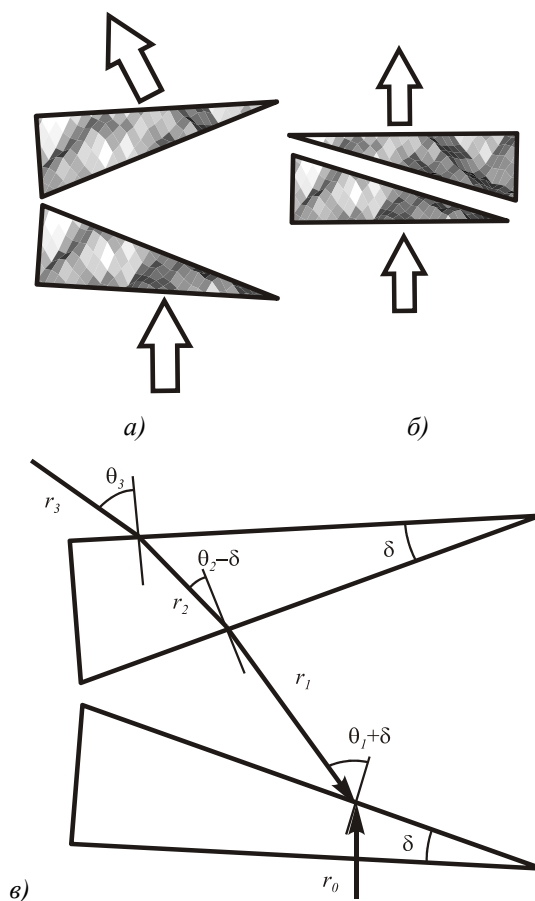


Рис. 1. Оптическая схема сканера

Решение системы уравнений (2) имеет вид:

$$\begin{aligned} n \sin \vartheta_2 \sin \psi_2 + n \cos \vartheta_2 \operatorname{tg} \delta &= \\ = \sin \vartheta_1 \sin \psi_1 + \cos \vartheta_1 \sin \vartheta_2 \operatorname{tg} \delta, \\ n \sin \vartheta_2 \cos \psi_2 + n \cos \vartheta_2 \operatorname{tg} \delta &= \\ = \sin \vartheta_1 \cos \psi_1 + \cos \vartheta_1 \cos \vartheta_2 \operatorname{tg} \delta, \\ \sin \vartheta &= n \sin \vartheta_2, \quad \psi = \psi_2. \end{aligned} \quad (3)$$

Для уменьшения веса и инерционности клина целесообразно провести его зонирование. Зонирование клина иллюстрирует рис. 2. Условием зонирования является равенство $\Delta = \lambda_0$, где λ_0 – средняя длина волны. Исходя из этого равенства, в соответствии с обозначениями на рис. 2, имеем:

$$\begin{aligned} D &= \frac{\lambda_0}{\sin \vartheta_1}; & H &= \frac{\lambda_0 \sin \delta}{\sin \vartheta_1}, \\ h &= \frac{\lambda_0 \operatorname{tg} \delta}{\sin \vartheta_1}; & \sin(\vartheta_1 + \delta) &= n \sin \delta. \end{aligned} \quad (4)$$

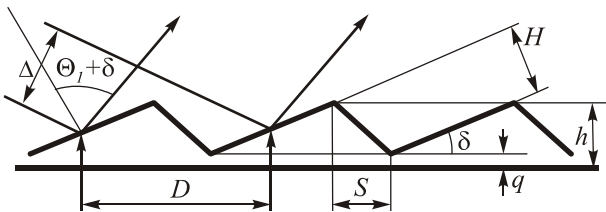


Рис. 2. Схема зонирования.

Толщина зонированного клина равна сумме толщин «технологической подложки» q и клина h , т.е. $d \approx \lambda_0 / (n-1) + q$. Форма ступенек, изображенная на рис. 2, более технологична пилообразной формы. Протяженность паразитного участка клина S , где нарушаются условия преломления, и поле является дифракционным, имеет примерно ту же величину, что и пила: $n \operatorname{tg} \delta$. Для улучшения согласования клина с воздухом и уменьшения френелевских потерь на отражение, возможно нанесения согласующего покрытия на поверхность клина. Согласующее покрытие накладывается на плоские поверхности, что также увеличивает технологичность его изготовления.

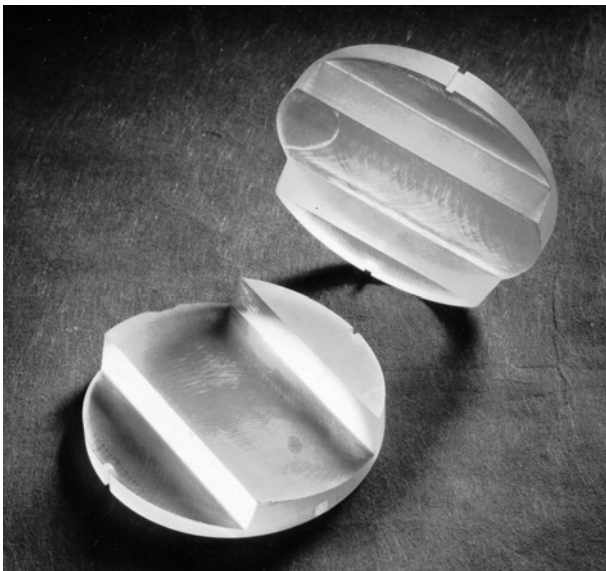


Рис. 3. Зонированные клинья сканирующего устройства

Управление направлением основного лепестка диаграммы направленности антенны с помощью пары диэлектрических клиньев имеет ряд преимуществ,

по сравнению с зеркальными механическими и электронными сканерами:

1. хорошая конструктивная сочетаемость с облучателем и линзой антенны;
2. реализация сканирования при сравнительно простом приводе вращения клина, наиболее просто реализуется спиральное сканирование;
3. высокая технологичность изготовления клиньев и линз сканера;
4. при соответствующем выборе диэлектрического материала обеспечиваются малые потери и высокая надежность сканера;
5. применение согласующих слоев обеспечивает малый уровень кроссполяризации.

Для достижения высоких электродинамических параметров при угле сканирования порядка 30° целесообразно использовать клинья из диэлектрического материала с коэффициентом преломления $n \approx (3-4)$. Внешний вид зонированных клиньев показан на рис. 3.

Результаты экспериментальных исследований сканера

В экспериментальной установке применялся рупорный облучатель, дополненный фазовым корректором в виде четырехуровневой зонной пластины [2] с фокусным расстоянием 150 м. Фазовый корректор помещался вблизи грани входного клина сканера. Исследования проводились на длине волны 8 мм, применялись две пары клиньев с углами 6° и 15° . Материал диэлектрика – оргстекло с показателем преломления 1,59. Схема экспериментальной установки показана на рис. 4.

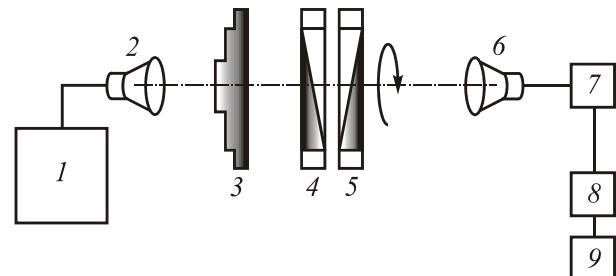


Рис. 4. Схема экспериментальной установки:
1 – генератор СВЧ, 2 – излучающий рупор,
3 – дифракционный фазовый корректор,
4, 5 – диэлектрические клинья с возможностью вращения,
6 – приемный рупор, 7 – каретка,
8 – детектор, 9 – индикатор

Рупорный облучатель (2) помещался в фокусе фокусирующего корректора (3). Расстояние от сканера до приемного рупора 6 составляло около 700 мм при апертуре сканера 100 мм. Установка элементов и юстировка осуществлялись с помощью лазерного луча. Проверка работы сканера заключалась в оценке отклонения максимума излучения от оси. Оценка положения максимума уточнялась методом вилки при перемещении кареткой (7) приемного рупора (6) в

направлении, перпендикулярном оптической оси. Линейное сканирование осуществлялось вращением клиньев с одинаковой скоростью в противоположных направлениях. Полуширина диаграммы направленности системы составляла около $2,5\text{--}3^\circ$.

Оценка уровня кроссполяризации проводилась путем взаимного поворота на 90° рупоров (2) и (6). При различных взаимных поворотах клиньев уровень кроссполяризации не превышал величину -12 дБ для клина с углом 6 градусов и -8 дБ для клина с углом 15° . При этом не принималось мер по согласованию волновых импедансов клиньев и уменьшению облучения краев клиньев и оправы.

Была проведена оценка возможности совмещения сканера с моноимпульсным облучателем путем изучения возможности смещения максимума излучения на величину около $2,5^\circ$ (ширину диаграммы направленности) за счет поперечного смещения облучателя в фокусе. Эксперименты показали возможность применения разработанного сканирующего

устройства в системах с моноимпульсным облучателем.

Таким образом, в работе кратко рассмотрено сканирующее устройство оптического типа на основе двух зонированных вращающихся клиньев. Показано, что применение такого сканирующего устройства позволяет механическим путем осуществить двумерное спиральное сканирование диаграммой направленности антенны в миллиметровом диапазоне длин волн.

Литература

1. Минин И.В., Минин О.В. Методы радиовидения в системах борьбы с терроризмом // Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2003. 132с
2. Минин И.В., Минин О.В. Дифракционная квазиоптика и ее применения // Новосибирск: СибАГС, 1999. 308 с.
3. Griffiths H.D., Khan M.R. Antenna beam steering technique using dielectric wedges // IEE Proc. Vol. 136, Pt. H. N 2, April 1989. P. 126-131.