

Двухоктавные антенные решетки с электронным сканированием

Фазовращатель – основной элемент управления движением луча.

Линия задержки – частотно-независимый элемент управления движением луча.

Способы частотно-пространственного сканирования

- Последовательное частотное и последовательное пространственное;
- Полночастотное и последовательное пространственное.

Широкополосный фазовращатель

- мостовые схемы с отражательными ячейками;
- на фильтрах ФНЧ и ФВЧ.

Линии задержки

- на переключаемых линиях передачи;
- оптико-электронные преобразователи;
- на транзисторных ключах.

Широкополосный излучатель АР

- Одиночный излучатель Вивальди;
- Двухполяризационная решетка излучателей Вивальди.

Для обеспечения синфазности волны, излученной в направлении, заданном углом θ , нужно, чтобы управляемые линии обеспечили задержки проходящих через них волн.

Если расстояние между соседними излучателями l_0 и излучение решетки идет в направлении, отклоненном на угол θ по отношению к нормали к решетке излучателей, то луч, от излучателя с номером p при распространении в свободном пространстве будет задержан отношению к излучателю с нулевым номером на временной интервал:

$$\tau_p = \frac{l_0 \cdot p}{v_{ph}} \cdot \sin \theta \quad (1)$$

где v_{ph} – фазовая скорость волны в свободном пространстве, L – размер апертуры (расстояние между крайними излучателями), τ_p – это время отставания волны при прохождении в свободном пространстве под углом θ_0 .

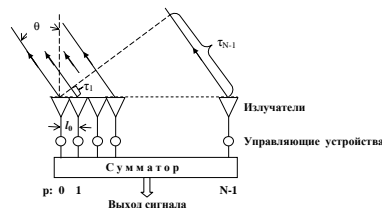


Рисунок 1

Задержка во времени может быть однозначно сопоставлена со сдвигом фазы волны:

$$\varphi_p = \omega \tau_p \quad (2)$$

где ω - круговая частота излученной волны.

Просуммируем комплексные амплитуды волн в дальней зоне.

$$\Phi(\theta) = \sum_{p=0}^{N-1} I_p \exp[i(k l_0 \sin \theta - \varphi_0) \cdot p] \quad (3)$$

где I_p амплитуда тока в p -ом излучателе, k волновое число излученной волны.

$$k = \frac{\omega}{v_{ph}} \quad (4)$$

Подставим (1) и (2) в (3). Получим ДН антенной решетки:

$$\Phi(\theta) = \sum_{p=0}^{N-1} I_p \exp\left[i \cdot \frac{\omega l_0}{v_{ph}} \left(\sin \theta - \frac{v_{ph} \tau_0}{l_0}\right) \cdot p\right] \quad (5)$$

Используя формулу для суммы геометрической прогрессии, найдем сумму (5). Отбросив зависимость фазы волны в дальней зоне от угла, получим выражение для диаграммы направленности решетки излучателей:

$$\Phi(\theta) = \frac{\sin \left[\frac{\omega l_0}{2v_{ph}} \cdot \left(\sin \theta - \frac{v_{ph} \tau_0}{l_0} \right) \cdot N \right]}{\sin \left[\frac{\omega l_0}{2v_{ph}} \cdot \left(\sin \theta - \frac{v_{ph} \tau_0}{l_0} \right) \right]} \quad (6)$$

Максимум излучения получается в направлении θ_0 :

$$\sin \theta_0 = \frac{v_{ph} \tau_0}{l_0} \quad (7)$$

Направление максимума излучения не зависит от частоты

В антенных решетках с фазовым сканированием используют широкополосный фазовращатель, например, 2-11 ГГц.

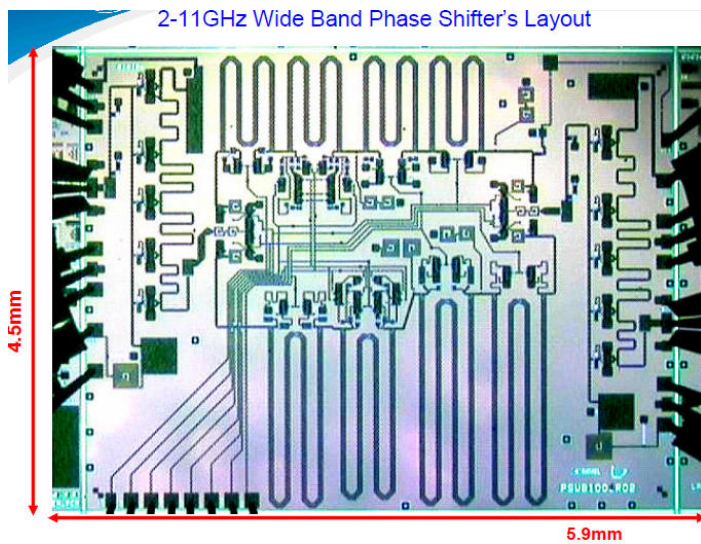


Рисунок 2

Сканирование с помощью линий задержки.

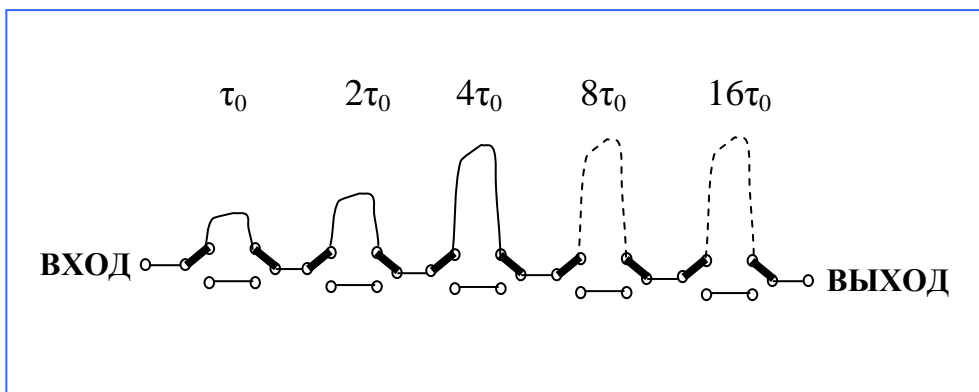


Рисунок 3

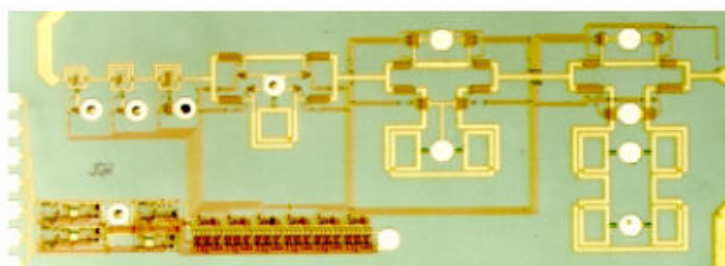


Figure 6: Photograph of the 6-bit True-Time Delay ($4.0 \times 1.4 \text{ mm}^2$).

Рисунок 4

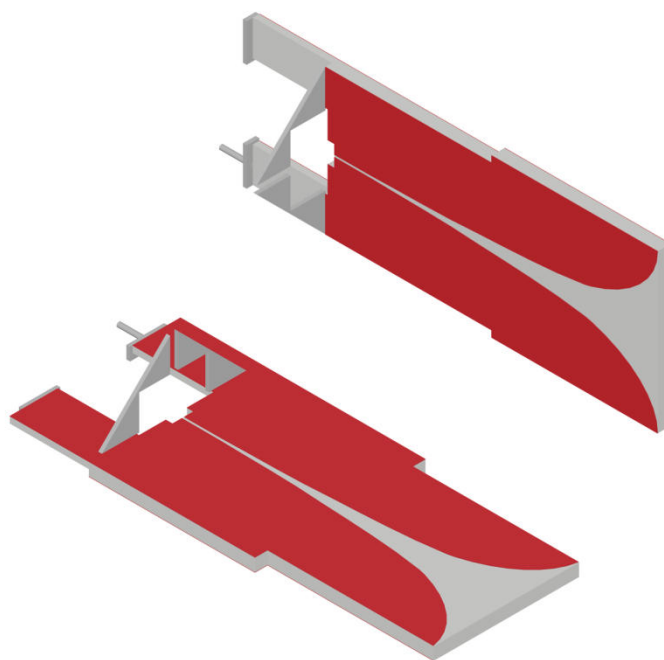


Рисунок 5

Выводы по докладу:

1. Показаны основы построения сканирующей широкополосной антенной решетки. Приведены аналитические выражения для сканирующего луча, позволяющие спроектировать линии задержки и определить их параметры.
2. Промоделирован излучатель Вивальди, работающий в частотной полосе две октавы и позволяющий обеспечить двухполяризационную работу антенны.
3. На базе линий задержки и излучателей Вивальди можно спроектировать двухоктавную двухполяризационную антенную решетку, например, для диапазона 1-4 ГГц.
4. С помощью трех апертур можно создать сканирующую по пространству во всем частотном диапазоне 1-64 ГГц одновременно антенную решетку, состоящую из расположенных рядом трех антенн: 1-4 ГГц, 4-16 ГГц, 16-64 ГГц.

Библиографический список

1. Вендик, О.Г., М.Д. Парнес. Антенны с электрическим сканированием (Введение в теорию): – М.: Сайнс-Пресс, 2002. – 232 с.
2. John G. Willms, Aziz Ouacha, Lex de Boer, Frank E. van Vliet. A WIDEBAND GAAS 6-BIT TRUE-TIME DELAY MMIC EMPLOYING ON-CHIP DIGITAL DRIVERS.