

09

©1995

ИМИТАЦИЯ ФАЗИРОВАННОЙ АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ ИМПУЛЬСНЫХ РЕЛЯТИВИСТСКИХ СВЧ ГЕНЕРАТОРОВ

*В.Д.Селемир, Б.В.Алегин, А.Е.Дубинов, Н.В.Степанов,
О.А.Шамро, К.В.Шибалко*

При разработке фазированных антенных решеток (ФАР) важно заранее знать характеристики их излучения: коэффициент усиления, качество сложения парциальных волн от отдельных излучателей и т.д., однако теоретически рассчитать эти характеристики чаще всего не удастся. Поэтому прибегают к экспериментальным методам, когда поле излучения ФАР моделируется с помощью одного излучателя (СВЧ генератора), помещенного в так называемый имитатор ФАР [1,2].

В последнее время получили развитие мощные ФАР с релятивистскими СВЧ генераторами в качестве своих элементов [3]. Обычно такие генераторы представляют собой дорогостоящие устройства, выполненные на основе высокоточных ускорителей электронов. Поэтому предварительное исследование одиночного СВЧ генератора в имитаторе ФАР особенно актуально.

Имитатор ФАР обычно представляет собой сверхразмерный волновод с зеркальными стенками и излучателем на оси. Форма поперечного сечения волновода определяет элементарную ячейку моделируемой ФАР.

Принцип действия имитатора сходен с принципом действия калейдоскопа и основан на многократных отражениях электромагнитной волны от стенок волновода, при которых формируется бесконечное поле изображений (рис. 1). Поэтому сигнал, регистрируемый приемником, будет идентичен сигналу от бесконечной идеально синфазной ФАР.

В реальном случае мы имеем дело с излучателем, диаграмма направленности которого практически сосредоточена в некотором конусе, ось которого совпадает с осью излучателя. В этом случае моделируется ФАР с конечным количеством элементов решетки.

Особенностью имитации импульсной ФАР, когда длительность импульса излучателя сравнима с временем распространения сигнала до приемника, является неизохронность прихода парциальных сигналов. Это приводит к динамической перестройке суммарного сигнала, проявляющейся, например, в затягивании его заднего фронта.

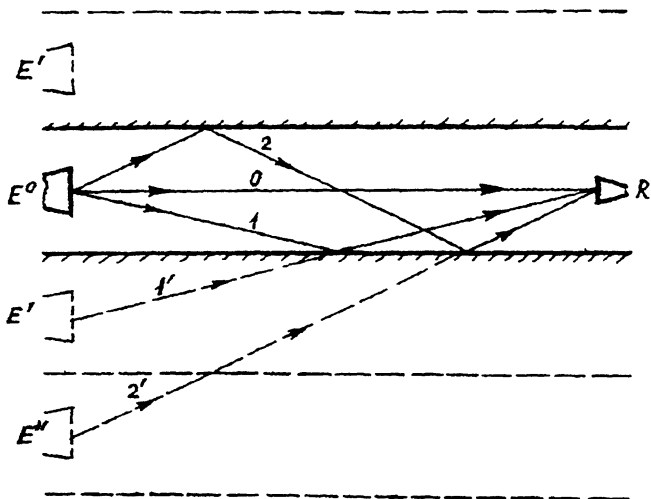


Рис. 1. Схема имитатора ФАР.

Эффекты динамической перестройки легко учесть в приближении геометрической оптики. При этом неизохронность прихода парциальных сигналов соответствует кажущейся волне возбуждения элементов ФАР, движущейся со скоростью

$$v = c \cdot y \cdot (L^2 + y^2)^{-1/2}, \quad (1)$$

где L — расстояние между генератором и приемником, c — скорость света, y — поперечная координата ($y = nD$, D — период решетки, n — номер изображения). Тогда суммарный сигнал можно записать в виде

$$p(t) = \sum_{n=0}^{\infty} p_0 \left\{ t - (1/c) \left[(L^2 + n^2 D^2)^{-1/2} L \right] \right\} \frac{g_n f_E(\varphi) f_R(\varphi)}{1 + (nD/L)^2} R^n(\varphi), \quad (2)$$

где $p_0(t)$ — сигнал с одного генератора в свободном пространстве, $f_E(\varphi)$ и $f_R(\varphi)$ — диаграммы направленности антенн генератора и приемника соответственно, нормированные так, чтобы $f_E(0)f_R(0) = 1$, $R(\varphi)$ — коэффициент отражения электромагнитной волны стенкой имитатора, $\varphi = \arctg(nD/L)$, $g_n = 1$ при $n = 0$ и $g_n = 2$ в остальных случаях. Согласно (2), возможна имитация лишь конечной ФАР, размер которой определяется угловыми характеристиками антенн $f_E(\varphi)$ и $f_R(\varphi)$.

В экспериментах по натурной имитации ФАР элементом решетки (излучателем) являлся импульсный СВЧ генератор типа виркатор [4]. Его характеристики излучения следующие: выходная мощность более 100 МВт, длина волны

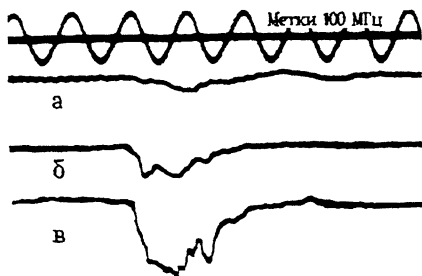


Рис. 2. Осциллограммы огибающихся СВЧ сигналов.

излучения 3 см, длительность импульса 20 нс, поляризация круговая, диаграмма направленности имеет двухлепестковый профиль с эффективным углом полураствора 18° .

Виркатор помещался в середину плоского волновода с металлическими стенками длиной 3000 мм, расстояние между которыми составляло 720 мм. В качестве приемника использовался расположенный в отрезке волновода 23×10 мм полупроводниковый детектор, аналогичный описанному в [5]. Отрезок волновода приемника возбуждался с помощью приемной антенны с диаграммой направленности, лежащей в 22° угле полураствора по уровню 0.5. Сам приемник располагался на $L = 3000$ мм от излучателя.

В такой конфигурации осуществляется имитация конечной линейной ФАР с периодом $D = 720$ мм, длина которой и количество элементов в ней определяются в основном диаграммой направленности виркатора.

Результаты имитации представлены на рис. 2, где приведены осциллограммы огибающих СВЧ сигналов: *а* — для одного генератора в свободном пространстве; *б* — для генератора, расположенного вдоль одной отражающей поверхности (генератор + одно изображение); *в* — для генератора в имитаторе.

Расчеты по формуле (2) и анализ осциллограмм рис. 2 показывают, что основной вклад в излучение оказывают лишь $N = 2n + 1 = 7$ генераторов моделируемой ФАР, а уширение сигнала не превышает $\Delta t(1/c)((L^2 + n^2 D^2)^{1/2} - L) = 3$ нс.

Эти результаты свидетельствуют о возможности натурального моделирования ФАР с помощью лишь одного генератора. Разумеется, такая имитация возможна и для излучателей ИК и оптического диапазонов.

Список литературы

- [1] Hannan P.W., Meier P.J., Balfour M.A. // IEEE Trans. Antenna Propagat. 1963. N 11. P. 715-717.
- [2] Wheeler H.A. Phased-array antennas. Eds. Dedham. Mass. Artech house, 1970. P. 132-148.
- [3] Levine J.S., Aiello N., Benford J., Harteneck B. // J. Appl. Phys. 1991. V. 70. N 5. P. 2838-2848.
- [4] Рухадзе А.А., Столбецов С.Д., Тараканов В.П. // Радиотехника и электроника. 1992. Т. 37. В. 3. С. 385-396.
- [5] Райзер М.Д., Цопн Д.Э. // Радиотехника и электроника. 1975. Т. 20. В. 8. С. 1691-1693.

Поступило в Редакцию
7 октября 1994 г.
