

11. Lin Y. et al. The New Mathematical Model of Motion Compensation for Stepped-Frequency Radar Signal, *Mathematical Problems in Engineering*, 2014, Vol. 2014. Available at: <http://dx.doi.org/10.1155/2014/142482> (дата обращения Accessed 15 October 2014).
12. Liu Y. et al. Velocity estimation and range shift compensation for high range resolution profiling in stepped-frequency radar, *Geoscience and Remote Sensing Letters, IEEE*, 2010, Vol. 7, No. 4, pp. 791-795.
13. Sarkas I. Step Frequency Radar Using Compressed Sensing, *Department of Mathematics of the University of Toronto, Tech. Rep.* 2010. Available at: http://wiki.math.toronto.edu/TorontoMathWiki/images/b/bd/2010_JEB1433_Sarkas_SFR_CS_Report.pdf (Accessed 15 October 2014).
14. Liu Y. et al. Micromotion Characteristic Acquisition Based on Wideband Radar Phase, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 2014, Vol. 52, pp. 3650-3657.
15. Axelsson S. R. J. Analysis of random step frequency radar and comparison with experiments, *Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on*, 2007, Vol. 45, No. 4, pp. 890-904.
16. Huang T. et al. Randomized step frequency radar with adaptive compressed sensing, *Radar Conference (RADAR), 2011 IEEE*, 2011, pp. 411-414.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор К.Е. Румянцев.

Лобач Владимир Тихонович – Южный федеральный университет; e-mail: rts@tgn.sfedu.ru; 347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44; тел.: 88634371637; кафедра радиотехнических и телекоммуникационных систем; зав. кафедрой; к.т.н.

Потипак Михаил Владимирович – e-mail: potipak@sfedu.ru; кафедра радиотехнических и телекоммуникационных систем; к.т.н.; доцент.

Lobach Vladimir Tikhonovich – Southern Federal University; e-mail: rts@tgn.sfedu.ru; 44, Nekrasovsky, Taganrog, 347928, Russia; phone: +78634371637; the department of radio engineering and telecommunication systems; head the department; cand. of eng. sc.

Potipak Michael Vladimirovich – e-mail: potipak@sfedu.ru; the department of radio engineering and telecommunication systems; cand. of eng. sc.; associate professor.

УДК. 621.396.677.3

Ю.В. Юханов, Т.Ю. Привалова, И.В. Мерглолов

ХАРАКТЕРИСТИКИ РАССЕЙНИЯ МНОГОМОДОВОЙ ВОЛНОВОДНОЙ РЕШЕТКИ VAN-АТТА*

Рассматриваются условия максимального расширения углового сектора работы решетки Ван-Атта. Получены приближенные формулы для бистатической и моностатической диаграмм рассеяния таких волноводных решеток с учетом возбуждения и распространения в трактах соединяющих излучатели, как основного, так и высших типов волн. Проанализирован их вклад в рассеянное поле. Дана оценка требуемого числа высших типов волн и условия их распространения для обеспечения максимально широкой моностатической диаграммы. На основе проведенного анализа предложены конструкции многомодовых волноводных решеток Ван-Атта с трактами, обеспечивающими недисперсионную передачу полей между каждой парой излучателей. Показана возможность реализации многомодового режима в трехмерных моделях антенной решетки. Проведен анализ характеристик рассеяния двумерных и трехмерных моделей антенн. Реализована двухэлементная решетка Ван-Атта на основе трехмодовых волноводов, соединенных тремя коаксиальными линиями, с рабочим сектором углов $\pm 45^\circ$ по уровню -3дБ.

Решетка Ван-Атта; одномодовая решетка; многомодовая решетка; моностатическая диаграмма рассеяния; бистатическая диаграмма отражение.

* Результаты, изложенные в статье, получены в рамках выполнения гранта № 8.2461.2014/К.

Yu.V. Yukhanov, T.Yu. Privalova, I.V. Merglodov

SCATTERING CHARACTERISTICS OF MULTIMODE WAVEGUIDE VAN-ATTA ARRAY ANTENNA

This paper examines the conditions of maximum expansion of Van-Atta arrays working angular sector. The approximate formulas were obtained for the bistatic and monostatic scattering diagrams of such waveguide arrays with the excitation and propagation of both basic and higher types of waves in the paths connecting the emitters. Their contribution to the scattered field was analyzed. Estimated the required number of higher types of waves and conditions of their propagation to ensure the widest possible monostatic diagram. On basis of the performed analysis designs of multimode waveguide Van-Atta arrays with paths that provide non-dispersive transmission of fields between each pair of emitters were proposed. The possibility of implementing multimode mode for three-dimensional models of the antenna array is demonstrated. The scattering characteristics of two-dimensional and three-dimensional models of antennas are analyzed. Two-element Van-Atta array based on three-mode waveguides, coupled by three coaxial lines, with $\pm 45^\circ$ working angular sector for the level of -3 dB is implemented.

Array Van Atta; a single-mode array; multimode array; monostatic scatter diagram; bistatic scatter diagram.

С момента своего появления в 1959 г. [1] и по сей день решетки Ван-Атта, в связи с их широкими возможностями по управлению сигналами, находят самое широкое применение в радиолокации, навигации и связи. Постоянно расширяющееся практическое использование решеток Ван-Атта требует углубленного анализа их характеристик излучения и рассеяния с учетом пространственного взаимодействия излучателей, составляющих решетку, возникновения в соединительных линиях передачи высших типов волн и т.д. [7–10].

В работах [2–4] получены строгие и приближенные решения двумерных задач дифракции плоской волны на решетке Ван-Атта из плоских волноводов, элементы которых разделены идеально проводящим или импедансным фланцем (рис. 1).

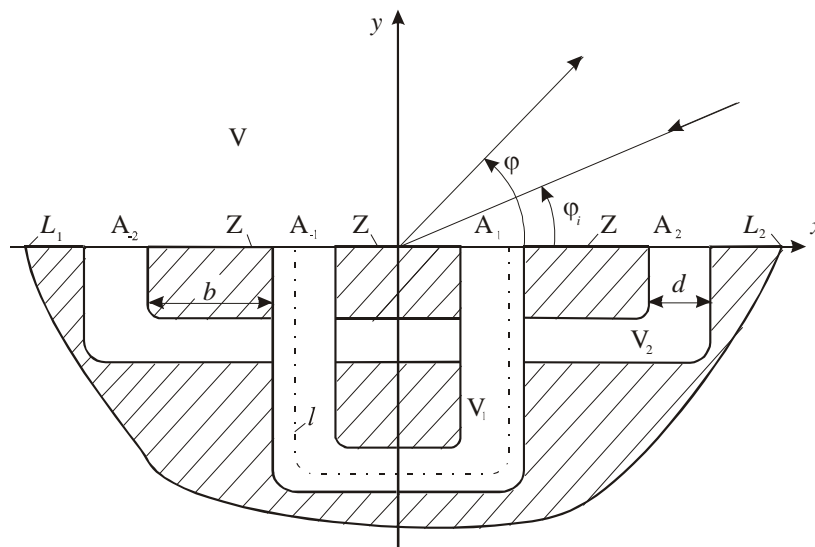


Рис. 1. Двумерная модель решетки Ван-Атта

Приближенное решение задачи для одномодовых плоских волноводов получено с учетом влияния импедансного фланца для одномодовых трактов, соединяющих излучатели. В результате строгого решения задачи в [2, 3, 4, 6] было показано,

что при использовании многомодовых недисперсных волноводов можно добиться значительного расширения моностатической диаграммы рассеяния. При этом было неясно, как практически реализовать передачу всех высших типов волн по соединяющим излучатели трактам с одинаковой фазовой скоростью.

Целью данной работы является условия максимально возможного расширения углового сектора работы решетки Ван-Атта, построенной на многомодовых волноводах. Получить приближенные формулы для моностатической диаграммы рассеяния волноводной решетки Ван-Атта с учетом возбуждения и распространения в соединяющих линиях передачи высших типов волн. Изучить их вклад в рассеянное поле. Показать возможность реализации многомодового режима в трехмерных моделях конструкций АР. Провести анализ характеристик рассеяния двумерных и трехмерных моделей антенн.

1. Одномодовая решетка Ван-Атта. Полученные в [4] приближенные формулы для моностатической диаграммы отражения отличаются от общеизвестных [5] наличием в них дополнительных слагаемых, обусловленных отражением падающей волны непосредственно от раскрытов излучателей решетки Ван-Атта и от фланца (в том числе импедансного Z) (рис. 1), что обычно не учитывается.

Моностатическая диаграмма отражения решетки Ван-Атта с идеально проводящим фланцем ($Z=0$) с волноводными излучателями, соединенными одноמודовыми трактами, в соответствии с [2-4] имеет вид

$$F(\varphi_i) = F_{AR}(\varphi_i) + F_{flan}(\varphi_i), \quad (1)$$

где

$$F_{AR}(\varphi_i) = kdNf_0^2(\varphi_i)e^{-ik_s l} \quad (2)$$

– диаграмма рассеяния антенной решетки (без фланца);

$$F_{flan}(\varphi_i) = kL \sin \varphi_i \frac{\sin[2kL \cos \varphi_i]}{2kL \cos \varphi_i} - kdNf_0^2(\varphi_i) \cos[kh(N+1)\cos \varphi_i] \frac{\sin[khN \cos \varphi_i]}{N \sin[kh \cos \varphi_i]} \quad (3)$$

– диаграмма рассеяния металлической части фланца (фланец минус апертуры $A_{\perp M}$ волноводов $2(L - Nd)$; $2L = L_2 - L_1$ – размер фланца; l – длина трактов, соединяющих N пар апертур A_M и A_{-M} волноводов антенной решетки ($M = 1, 2, \dots, N$); d – размер апертур; $h = d + b$ – период решетки (рис. 1); k_s – коэффициент распространения основной волны в соединяющих апертуры трактах; $k = 2\pi / \lambda$

$$f_0(\varphi_i) = \sin \varphi_i \sin(0.5kd \cos \varphi_i) / (0.5kd \cos \varphi_i) e^{-ik \frac{h}{2} \cos \varphi_i}$$

– диаграмма направленности волновода.

Первое слагаемое в формуле (1) (формула (2)) соответствует полю, переизлученному N парами волноводов с фазой, противоположной фазе принятого сигнала. Оно отражает основное свойство решетки Ван-Атта – переотражать принятую волну в обратном направлении и занимает относительно широкий сектор углов, обусловленный направленными свойствами волновода. Амплитуда его kdN пропорциональна суммарной апертуре волноводов. С целью его расширения углового сектора необходимо выбирать как можно меньший размер волновода, увеличивая число их пар $N = L/h$.

Второе слагаемое в соотношении (1) (формула(3)) имеет резко осциллирующий характер, обусловленный наложением ДН плоскости (первое слагаемое в (3)) и решетки (второе слагаемое в (3)).

В направлении нормали к плоскости решетки ($\varphi_i = 90^\circ$) его амплитуда $F_{flan}(\pi/2) = kbN$ определяется размером межэлементной части металлического фланца bN . В зависимости от длины трактов l быстро осциллирующая составляющая $F_{flan}(\varphi_i)$ складывается или вычитается с медленно меняющейся диаграммой $F_{AR}(\varphi_i)$, искажая её.

На рис. 2 и 3 приведены моностатические диаграммы отражения пятиэлементной ($N = 5$) решетки Ван-Атта с параметрами $d = 0,4\lambda$; $l = 10,5\lambda$. Рис. 2 соответствует межволноводному расстоянию $b = 0,1\lambda$ ($h = d + b = 0,5\lambda$), а рис. 3 – нулевому межволноводному расстоянию $b = 0$. На обоих рисунках кривые 1 соответствуют $F(\varphi_i) = F_{AR}(\varphi_i) + F_f(\varphi_i)$, кривые 2 – $F_{AR}(\varphi_i)$, а кривые 3 – $F_f(\varphi_i)$. В первом случае (см. рис. 2) период решетки составляет $\lambda/2$, что приводит к появлению в направлениях $\varphi_i = 0$ и $\varphi_i = 180^\circ$ дифракционных лепестков. Даже устремляя межволноводное расстояние к нулю (см. рис. 3), не удастся полностью избавиться от составляющей $F_f(\varphi_i)$. Она обращается в ноль только в направлении нормали к решетке ($\varphi_i = 90^\circ$), в остальных направлениях $F_f(\varphi_i)$ уменьшается, но не исчезает.

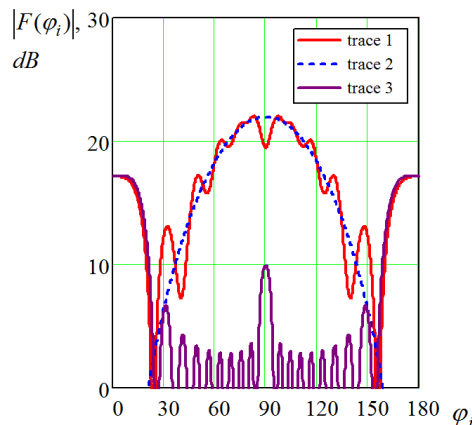


Рис. 2. Моностатическая диаграмма рассеяния $b = 0,1\lambda$ ($d = 0,4\lambda$; $h = 0,5\lambda$)

Как показывает анализ приведенных рис. 2 и см. рис. 3, конструкции решеток Ван-Атта следует выбирать с минимальным расстоянием между апертурами излучателей: $b \rightarrow 0$ и $h < 0,5\lambda$. Однако это не всегда можно сделать. Например, если в плоскости вектора напряженности электрического поля размер апертуры волновода может удовлетворять таким условиям $d < \lambda/3$, то в плоскости вектора напряженности магнитного поля он всегда больше половины длины волны – $d \geq 0,7\lambda$. Для решетки Ван-Атта ($N = 5$) с параметрами $d = 0,7\lambda$; $b = 0$; $l = 10,5\lambda$ моностатические диаграммы отражения приведены на рис. 4.

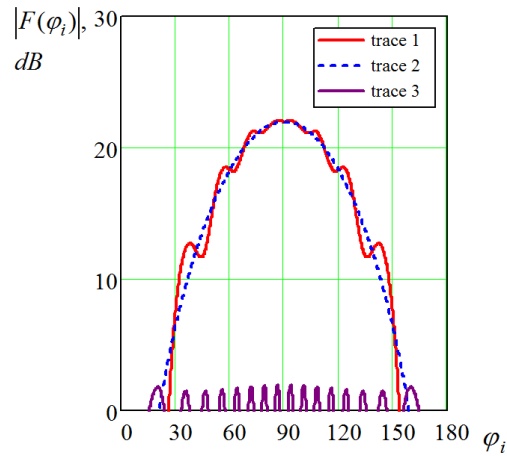


Рис. 3. Моностатическая диаграмма рассеяния $b = 0$ ($h = d = 0,4\lambda$)

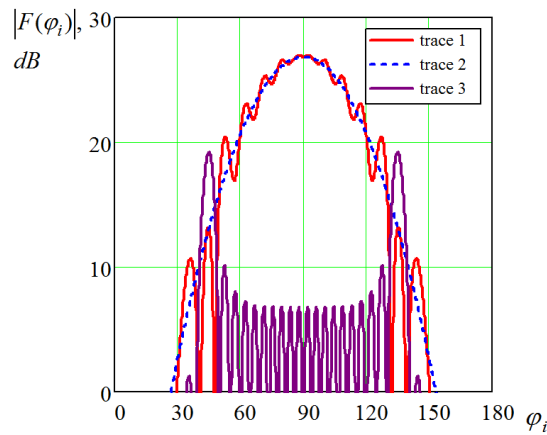


Рис. 4. Моностатическая диаграмма рассеяния $b = 0$ ($h = d = 0,7\lambda$)

Как видим, в этом случае основная составляющая $F_{AR}(\varphi_i)$ диаграммы рассеяния ещё больше искажается появлением дифракционных лепестков.

Заданный уровень (kdN) отраженного сигнала решетки Ван-Атта можно, в принципе, обеспечить и одной парой излучателей с размером раскрыва Nd . Однако в этом случае в предположении, что в тракте распространяется только основной тип волны, ширина диаграммы сужается и соответственно уменьшается рабочий сектор углов АР.

Увеличить размер апертур $A_{\pm M}$ излучателей и одновременно не сузить моностатическую RCS можно, если в приемной апертуре создавать поле с линейным набегом фазы $e^{ikx \cos \varphi_i}$, а в переизлучающей инвертировать его $-e^{-ikx \cos \varphi_i}$. Вероятно, это можно реализовать в решетке Ван-Атта при распространении в соединяющих трактах одновременно нескольких мод [2-4].

Рассмотрим возможность создания такой решетки.

2. Многомодовая решетка Ван-Атта. Пусть в элементах решетки Ван-Атта (рис. 1), расположенной на идеально проводящей плоскости и состоящей из N – пар идентичных излучателей в виде плоских волноводов с размерами апертур $d > \lambda$, в линиях передачи в виде плоскопараллельных волноводов V_n ($n = 1 \dots N$) одинаковой длины l могут распространяться N_T -волн.

Рассмотрим приближенное решение задачи. При этом пренебрегаем взаимодействием электромагнитного поля между апертурами $A_{\pm M}$ через верхнее полупространство $y > 0$ (см. рис. 1). Векторы напряженностей электрического поля в апертурах $A_{\pm M}$ связанных волноводов можно найти из следующей системы уравнений Фредгольма 1-го рода:

$$\int_{A_M} E_x^{(M)}(x') \left[H_z^{M(M)}(x, x') + H_z^u(x, x') \right] dx' + \int_{A_{-M}} E_x^{(-M)}(x') H_z^{M(-M)}(x, x') dx' = (4)$$

$$= -2e^{ikx \cos \varphi_i}, x \in A_M;$$

$$\int_{A_M} E_x^{(M)}(x') H_z^{M(-M)}(x, x') dx' + \int_{A_{-M}} E_x^{(-M)}(x') \left[H_z^{M(M)}(x, x') + H_z^u(x, x') \right] dx' = (5)$$

$$= -2e^{ikx \cos \varphi_i}, x \in A_{-M},$$

где

$$H_z^{M(M)}(x, x') = -\frac{k}{d} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{\varepsilon_n}{ik_n \operatorname{tg} k_n l} \cos \gamma_n x' \cos \gamma_n x;$$

$$H_z^{M(-M)}(x, x') = -\frac{k}{d} \sum_{n=0}^{\infty} \varepsilon_n \frac{\varepsilon_n}{ik_n \sin k_n l} \cos \gamma_n x' \cos \gamma_n x;$$

$$H_z^u(x, x') = -\frac{k}{2} H_0^2(k|x-x'|); \gamma_n = \frac{n\pi}{d}.$$

Тогда, представляя $E_x^{(\pm M)}(x')$ в апертурах в виде разложения по трактовым волнам

$$E_x^{(\pm M)}(x')(x') = \sum_{n=0}^{N_T} \Omega_n^{(\pm M)} \varepsilon_n \cos \gamma_n x', \quad (6)$$

получим выражения для $E_x^{(\pm M)}(x')$:

$$E_x^{(M)} = \sum_{n=0}^{\infty} \varepsilon_n \frac{k_n}{k} \cos \gamma_n x \left(e^{ik(x_M - d/2) \cos \varphi_i} f_n(\varphi_i) - e^{-ik(x_M - d/2) \cos \varphi_i} f_n^*(\varphi_i) e^{-ik_n l} \right); \quad (8)$$

$$E_x^{(-M)} = \sum_{n=0}^{\infty} \varepsilon_n \frac{k_n}{k} \cos \gamma_n x \left(e^{ik(x_M - d/2) \cos \varphi_i} f_n(\varphi_i) e^{-ik_n l} - e^{-ik(x_M - d/2) \cos \varphi_i} f_n^*(\varphi_i) \right). \quad (9)$$

Для моностатических диаграмм рассеяния получим следующее выражение:

$$F(\varphi_i) = F_{AR}(\varphi_i) + F_{flan}(\varphi_i),$$

где

$$F_{AR}(\varphi_i) = kdNe^{-ikd \cos \varphi_i} \sin^2 \varphi_i \sum_{n=0}^{\infty} \varepsilon_n \frac{k_n}{k} f_n(\varphi_i) f_n^*(\varphi_i) e^{-ik_n l}; \quad (10)$$

$$F_{flan}(\varphi_i) = kL \sin \varphi_i \frac{\sin[2kL \cos \varphi_i]}{2kL \cos \varphi_i} - \sin^2 \varphi_i \frac{kd}{2} e^{-ikd \cos \varphi_i} \frac{\sin[khN \cos \varphi_i]}{\sin[kh \cos \varphi_i]} \times \\ \times \left(e^{-ikhN \cos \varphi_i} \sum_{n=0}^{\infty} \varepsilon_n \frac{k_n}{k} \left(f_n^*(\varphi_i) \right)^2 + e^{ikhN \cos \varphi_i} \sum_{n=0}^{\infty} \varepsilon_n \frac{k_n}{k} \left(f_n(\varphi_i) \right)^2 \right), \quad (11)$$

где

$$f_m(\varphi_i) = \frac{1}{d} \int_0^d e^{ikx \cos \varphi_i} \cos \gamma_m x dx; \quad f_m^*(\varphi_i) = \frac{1}{d} \int_0^d e^{-ikx \cos \varphi_i} \cos \gamma_m x dx.$$

Поскольку каждая из мод распространяется в волноводе со своей скоростью $v_n = c / \sqrt{k^2 - \gamma_n^2}$ (c – скорость света), то в процессе распространения по волноводу V_M ($M = 1 \dots N$) фронт падающей волны существенно искажается. Чтобы инвертировать его без искажений ($e^{ikx \cos \varphi_i} \Rightarrow e^{-ikx \cos \varphi_i}$), необходимо обеспечить недисперсное распространение всех типов волн.

Пусть, например $k_n = k$ ($v_n = c$), тогда выражения (8)-(11) примут вид:

$$E_x^{(M)}(x) = e^{ik(x_M - d/2) \cos \varphi_i} e^{ikx \cos \varphi_i} - e^{-ik(x_M - d/2) \cos \varphi_i} e^{-ikl} e^{-ikx \cos \varphi_i}; \quad (12)$$

$$E_x^{(-M)}(x) = e^{ik(x_M - d/2) \cos \varphi_i} e^{-ikl} e^{ikx \cos \varphi_i} - e^{-ik(x_M - d/2) \cos \varphi_i} e^{-ikx \cos \varphi_i}; \quad (13)$$

$$F_{AR}(\varphi_i) = kdN \sin^2 \varphi_i e^{-ikl}; \quad (14)$$

$$F_f(\varphi_i) = kL \sin \varphi_i \frac{\sin[2kL \cos \varphi_i]}{2kL \cos \varphi_i} - \\ - kd \sin^2 \varphi_i \cos(kh(N+1) \cos \varphi_i) \frac{\sin[kd \cos \varphi_i]}{kd \cos \varphi_i} \frac{\sin[khN \cos \varphi_i]}{\sin[kh \cos \varphi_i]}. \quad (15)$$

Таким образом, как и ожидалось, недисперсные линии передачи в многомодовом режиме в процессе передачи сигнала от принимающей апертуры к излучающей осуществляют (формулы (12) и (13)) инвертирование фронта падающей волны без искажений. Это, в свою очередь, обеспечивает такой решетке Ван-Атта максимально широкую моностагическую диаграмму отражения (14).

В качестве примера на рис. 5 приведены ДР с параметрами $d = 4\lambda$; $b = 0$; $l = 10,5\lambda$; $N = 5$ при недисперсной (кривая 1) и дисперсной (кривая 2) линиях передачи.

Как видим, многомодовая решетка с недисперсными линиями имеет существенно лучшую диаграмму. Для обеспечения такого же уровня отраженного сигнала в одномодовой решетке потребует в десять раз большего количества излучателей с $d = 0,4\lambda$.

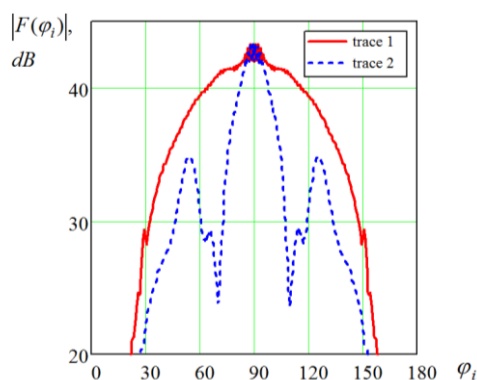


Рис. 5. Моностатическая диаграмма рассеяния многомодовой решетки Ван-Атта

Остается выяснить, как практически реализовать передачу всех высших типов волн по соединяющим излучатели трактам с одинаковой фазовой скоростью.

3. 3D-модель многомодовой решетки Ван-Атта. Ниже сделана попытка соединить преимущества многомодовых волноводов и одномодовых линий передачи, включенных между ними. Исследования проводились в пакете Ansoft HFSS для трехмерных моделей решеток Ван-Атта с одномодовыми и многомодовыми волноводными излучателями (рис. 6).

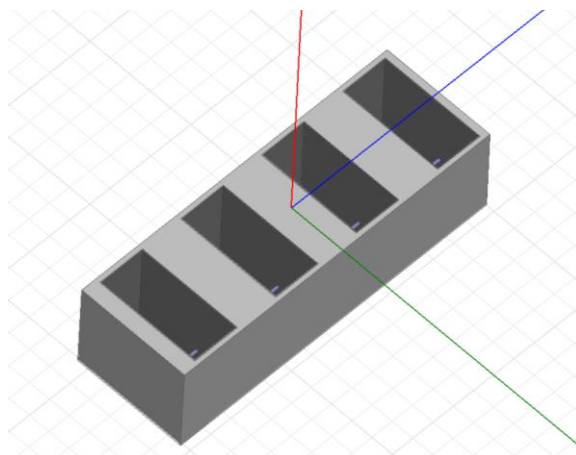


Рис. 6. Трехмерная модель решетки Ван-Атта

На примере прямоугольного волновода сечения 23×69 мм длиной 100 мм показано (рис. 7), что падающая под углом 45° плоская электромагнитная волна, проходя через него, практически полностью разрушает свою фазовую структуру.

Если многомодовые волноводы, отступив от апертур на расстояние, на котором фаза принятого сигнала ещё остается линейной, соединить некоторым количеством одномодовых волноводов, то можно передать сигнал без существенных фазовых искажений по всей длине волновода в переизлучающую апертуру.

На рис. 8 показана картина поля, передаваемая по волноводу 23×69 мм длиной 100 мм, который на расстоянии по 10 мм от апертур переходит в 12 волноводов сечением $23 \times 5,75$ мм.

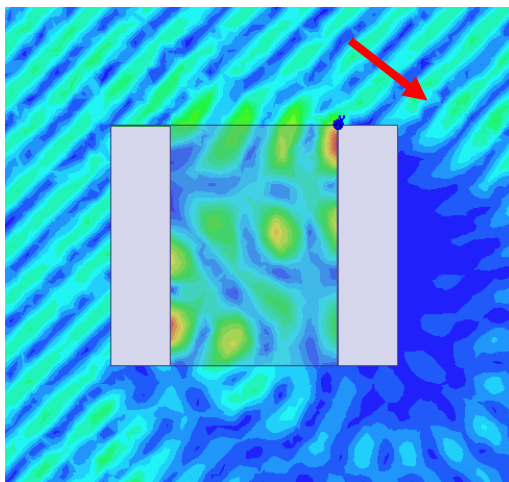


Рис. 7. Структура волны в волноводе

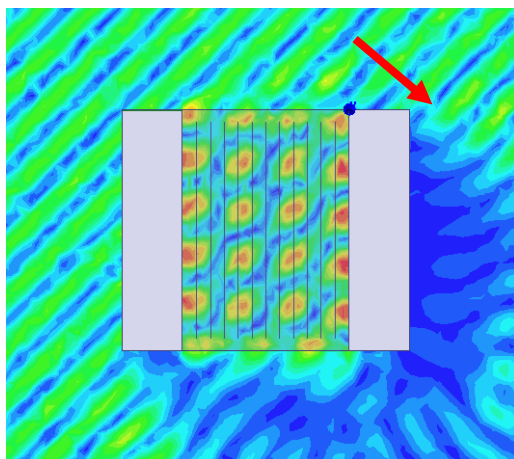


Рис. 8. Структура волны в волноводе

Как видим, в такой конструкции фаза принятого поля практически без искажения передается к нижней апертуре. Таким образом, подобную конструкцию можно использовать при создании решеток Ван-Атта.

В качестве примера на рис. 9 приведена нормированная моностатическая диаграмма рассеяния в плоскости вектора \mathbf{H} решетки Ван-Атта с одной парой волноводных излучателей размером 50×10 мм на частоте 10,8 ГГц. Волноводы вплотную прилегают друг к другу, их разделяет стенка, толщиной 1 мм. В таких волноводах может распространяться три типа волн H_{10} , H_{20} и H_{30} . В качестве недисперсных линий передачи выбраны три коаксиальные линии, расположенные внутри металлического бокса, обрамляющего волноводы.

Как видим, даже такая простая конструкция из одной пары трехмодовых излучателей позволяют реализовать моностатическую диаграмму рассеяния с сектором углов $\pm 45^\circ$ по уровню -3 дБ.

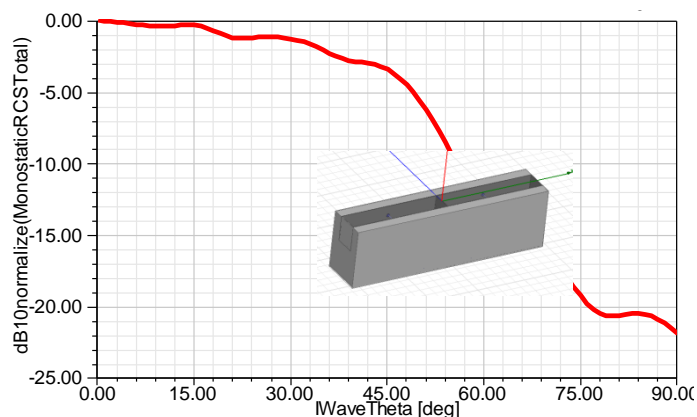


Рис. 9. Моностатическая диаграмма рассеяния

Выводы. Получены приближенные формулы для моностатической диаграммы рассеяния (Monostatic diagram of Radar Cross-Section) волноводной решетки Ван-Атта с учетом возбуждения и распространения в соединяющих излучатели трактах как основного, так и высших типов волн. Изучен их вклад в рассеянное поле. Получены условия обеспечения максимально широкой моностатической диаграммы (14) (Monostatic diagram of Radar Cross-Section). На примере расчета в пакете Ansoft HFSS характеристик рассеяния решетки показана возможность реализации двухэлементной решетки Ван-Атта на основе трехмодовых волноводов, соединенных тремя коаксиальными линиями, с рабочим сектором углов $\pm 45^\circ$ по уровню -3дБ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Van Atta L.C. Electromagnetic Reflector", USPatent No. 2908002, Oct. 1959.
2. Привалова Т.Ю., Юханов Ю.В. Рассеяние плоской волны на двумерной модели решетки Ван-Атта // Антенны. – 2007. – № 5. – С. 24-30.
3. Привалова Т.Ю., Синявский Г.П., Юханов Ю.В. Анализ характеристик рассеяния двумерной решетки Ван-Атта // Электромагнитные волны и электронные системы. – 2007. – № 5. – С. 58-65.
4. Privalova T.Y., Yukhanov A.Y., Yukhanov Y.V. Plane wave scattering on Van-Atta electromagnetic reflector// Electromagnetics in Advanced Applications (ICEAA), 2011 International Conference on. DOI: 10.1109/ICEAA.2011.6046309. Publication Year: 2011. – P. 347-350.
5. Кобак В.О. Радиолокационные отражатели. – М.: Сов. радио, 1975. – 248 с.
6. Юханов Ю.В., Привалова Т.Ю. Двумерная решетка Ван-Атта на основе многомодовых плоских волноводов // Материалы Всероссийской научной конференции «Проблемы совершенствования и управления развитием межведомственной системы вооружения РЭБ». – Воронеж, ноябрь 26-28, 2007. – С. 55-59.
7. Leong K. M. K. H., R.Y. Miyamoto and T. Itoh. Moving forward in retrodirective antenna arrays // IEEE Potentials. – 2003. – Vol. 22, No. 3. – P. 16-21.
8. Shiroma W.A., Miyamoto R.Y., Shiroma G.S. et al. Progress in retrodirective arrays for wireless communications // IEEE Topical Conference on Wireless Communication Technology. – 2003. – P. 80-81.
9. Roque J.D., B.T. Murakami, S.S. Sung, et al. Progress in self-steering antennas for small-satellite networks // Space 2004 Conference and Exhibit. – 2004. – P. 1-7.
10. Goshi D.S., K. M. K.H. Leong, and T. Itoh. Recent advances in retrodirective system technology // IEEE Radio and Wireless Symp. – 2006. – P. 459-462.

REFERENCES

1. *Van Atta L.C.* Electromagnetic Reflector”, USPatent No. 2908002, Oct. 1959.
2. *Privalova T.Yu., Yukhanov Yu.V.* Rasseyaniye ploskoy volny na dvumernoy modeli reshetki Van-Atta [Scattering of a plane wave on a two-dimensional grid model Van-Atta], *Antenny* [Antenna], 2007, No. 5, pp. 24-30.
3. *Privalova T.Yu., Sinyavskiy G.P., Yukhanov Yu.V.* Analiz kharakteristik rasseyaniya dvumernoy reshetki Van-Atta [The analysis of the characteristics of the scattering of two-dimensional lattice van Atta], *Elektromagnitnye volny i elektronnye sistemy* [Electromagnetic waves and electronic systems], 2007, No. 5, pp. 58-65.
4. *Privalova T.Y., Yukhanov A.Y., Yukhanov Y.V.* Plane wave scattering on Van-Atta electromagnetic reflector// Electromagnetics in Advanced Applications (ICEAA), 2011 International Conference on. DOI: 10.1109/ICEAA.2011.6046309. Publication Year: 2011, pp. 347-350.
5. *Kobak V.O.* Radiolokatsionnye otrazhateli [Radar Reflectors]. Moscow: Sov. radio, 1975, 248 p.
6. *Yukhanov Yu.V., Privalova T.Yu.* Dvumernaya reshetka Van-Atta na osnove mnogomodovykh ploskikh volnovodov [A two-dimensional lattice Van-Atta-based multimode planar waveguides], *Materialy Vserossiyskoy nauchnoy konferentsii «Problemy so-vershenstvovaniya i upravleniya razvitiem mezhvedomstvennoy sistemy vooruzheniya REB»* [Materials of all-Russian scientific conference "problems of improving the management and development of the interagency weapon systems EW"]. Voronezh, noyabr' 26-28, 2007, pp. 55-59.
7. *Leong K. M. K. H., R.Y. Miyamoto and T. Itoh.* Moving forward in retrodirective antenna arrays, *IEEE Potentials*, 2003, Vol. 22, No. 3, pp. 16-21.
8. *Shiroma W.A., Miyamoto R.Y., Shiroma G.S. et al.* Progress in retrodirective arrays for wireless communications, *IEEE Topical Conference on Wireless Communication Technology*, 2003, pp. 80-81.
9. *Roque J.D., B.T. Murakami, S.S. Sung, et al.* Progress in self-steering antennas for small-satellite networks, *Space 2004 Conference and Exhibit*, 2004, pp. 1-7.
10. *Goshi D.S., K. M. K.H. Leong, and T. Itoh.* Recent advances in retrodirective system technology, *IEEE Radio and Wireless Symp.*, 2006, pp. 459-462.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор Д.Д. Габриэлян.

Юханов Юрий Владимирович – Южный федеральный университет центр коллективного пользования «Прикладная электродинамика и антенные измерения»; e-mail: airpu@tgn.sfedu.ru; 347928, Таганрог, пер. Некрасовский, 44; тел.: 88634371733; кафедра антенн и радиопередающих устройств; зав. кафедрой; д.т.н.; профессор.

Мерглов Илья Владимирович – e-mail: airpu@tgn.sfedu.ru; кафедра антенн и радиопередающих устройств; аспирант.

Привалова Татьяна Юрьевна – Южный федеральный университет; e-mail: tatyana.privalova@gmail.com; 344090, г. Ростов-на-Дону, ул. Зорге, 5; тел.: 88632975327; кафедра общей физики; к.ф.-м.н.; доцент.

Yukhanov Yuriy Vladimirovich – Southern Federal University. Center of collective use "Applied Electromagnetics and Antenna Measurement"; e-mail: airpu@tgn.sfedu.ru; 44, Nekrasovskiy, Taganrog, 347928, Russia; phone: +78634371733; the department of antennas and radio transmitters; head of department; dr. of eng. sc.; professor.

Merglodov Il'ya Vladimirovich – e-mail: airpu@tgn.sfedu.ru; the department of antennas and radio transmitters; postgraduate student.

Privalova Tat'yana Yur'evna – Southern Federal University; e-mail: tatyana.privalova@gmail.com; 5, Sorge, street, Rostov-on-Don, 344090, Russia; phone: +78632975327; the department of general physics; cand. of phis.-math. sc.; associate professor.