

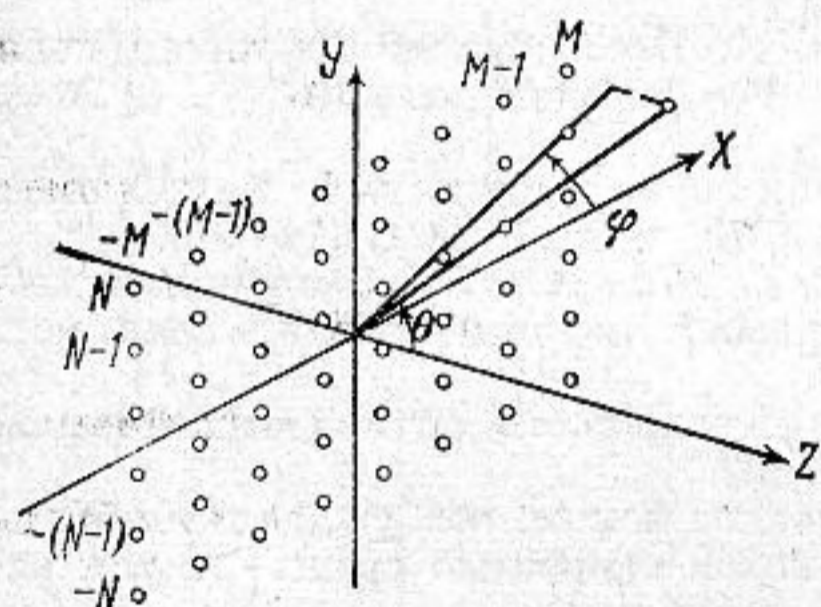
УДК 621.396.677.012

ОБ ОДНОЙ МОДИФИКАЦИИ МЕТОДА ПАРЦИАЛЬНЫХ ДИАГРАММ ДЛЯ СИНТЕЗА СЕКТОРНЫХ ДИАГРАММ НАПРАВЛЕННОСТИ АНТЕННЫХ РЕШЕТОК

Добровольский Ю. Ю., Рубанов И. Л.

Рассмотрена модификация метода парциальных диаграмм, заключающаяся во введении по элементам акустической антенной решетки только фазового распределения. Поиск парциальных диаграмм осуществлялся путем минимизации функционала рассогласования.

Интенсивность акустического излучения антенной решетки в заданный сектор пространства ограничена, как известно, рядом факторов, одним из которых является механическая прочность электроакустических преобразователей. При этом ограничении из множества известных методов синтеза антенных решеток предпочтительными являются фазовые методы, подразумевающие постоянство амплитудного распределения возбуждения. Такие методы позволяют снизить амплитуду колебаний преобразователей



Фиг. 1. Геометрия задачи

до допустимой величины при минимальном увеличении размеров излучающей поверхности антенны. Однако хорошо известный фазовый метод синтеза, основанный на методе стационарной фазы [1], дает удовлетворительные результаты только для антенных решеток, имеющих весьма большие волновые размеры. Хорошие результаты по синтезу секторной диаграммы направленности для решеток относительно малых волновых размеров дает метод парциальных диаграмм [2, 3]. Однако при классическом способе реализации этот метод подразумевает наличие существенно неравно-

мерного амплитудного распределения возбуждения и поэтому он не является оптимальным в указанном выше смысле.

Рассмотрим один из возможных способов реализации секторной диаграммы направленности, являющийся модификацией метода парциальных диаграмм. Предлагаемый нами способ заключается во введении только фазового распределения по элементам антенной решетки в соответствии с некоторым правилом.

Рассмотрим прямоугольную эквидистантную антенную решетку, состоящую из $2N$ горизонтальных рядов, в каждом из которых находится $2M$ слабонаправленных преобразователей (фиг. 1). Пусть в декартовой системе координат XYZ координаты фазовых центров преобразователей $x = \pm(m - 1/2)d$; $y = \pm(n - 1/2)d$; $z = 0$; ($m = 1; \dots, M$; $n = 1; \dots, N$).

Пространственная диаграмма направленности такой решетки определяется выражением [1]

$$(1) \quad R(\theta, \varphi) = \left| \sum_{m=-M}^M \sum_{n=-N}^N A_{mn} \exp[ikd(\rho_x^m \sin \theta \times \right. \\ \left. \times \cos \varphi + \rho_y^n \sin \theta \sin \varphi) \right],$$

где A_{mn} — амплитудно-фазовое распределение по элементам антенной решетки,

$$\rho_x^m = \begin{cases} m+1/2; & m < 0, \\ m-1/2; & m > 0, \end{cases}$$

$$\rho_y^n = \begin{cases} n+1/2; & n < 0, \\ n-1/2; & n > 0. \end{cases}$$

Предположим, что симметричную секторную диаграмму направленности $R(\theta, \varphi)$ требуется синтезировать в горизонтальной плоскости X, O, Z , так что в этой плоскости она должна приблизиться к функции

$$(2) \quad F(\theta) = \begin{cases} 1; & |\theta| \leq \alpha, \\ 0; & \alpha < |\theta| \leq \pi/2. \end{cases}$$

В соответствии с методом парциальных диаграмм в его классической форме требуемая диаграмма направленности в плоскости XOZ синтезируется с помощью распределения по элементам антенной решетки по оси OX , зависящего только от номера элемента m и не зависящего от номера n , т. е.

$$(3) \quad A_{mn} = A_m = \sum_{i=-L}^L \exp(ikd\rho_x^m \sin \theta_i),$$

где $L \leq E((2M-1)/\lambda)d$, $\sin \theta_i = i\lambda/(2M-1)d$.

Из формулы (3) следует, что в случае рассматриваемого нами симметричного сектора имеет место чисто амплитудное распределение

$$(4) \quad A_m = 1 + 2 \sum_{i=1}^L \cos[kd\rho_x^m \sin \theta_i].$$

Здесь λ — длина волны, $k=2\pi/\lambda$ — волновое число, $E(x)$ — целая часть x .

Рассмотрим далее диаграмму направленности той же антенной решетки при введении по элементам горизонтальных рядов антенной решетки только фазовых линейно изменяющихся распределений

$$(5) \quad A_{mn} = \exp(ikd\rho_x^m \sin \theta_n),$$

где направления главных максимумов парциальных диаграмм, соответствующих n -м горизонтальным рядам решетки, определяются соотношением

$$(6) \quad \sin \theta_n = \sin \theta_i.$$

Путем непосредственной подстановки распределений (4) и (5) в выражение (1) легко убедиться, что в плоскости XOZ , т. е. при $\varphi=0$, введение амплитудного (4) и фазового (5) распределений реализует одинаковые диаграммы направленности.

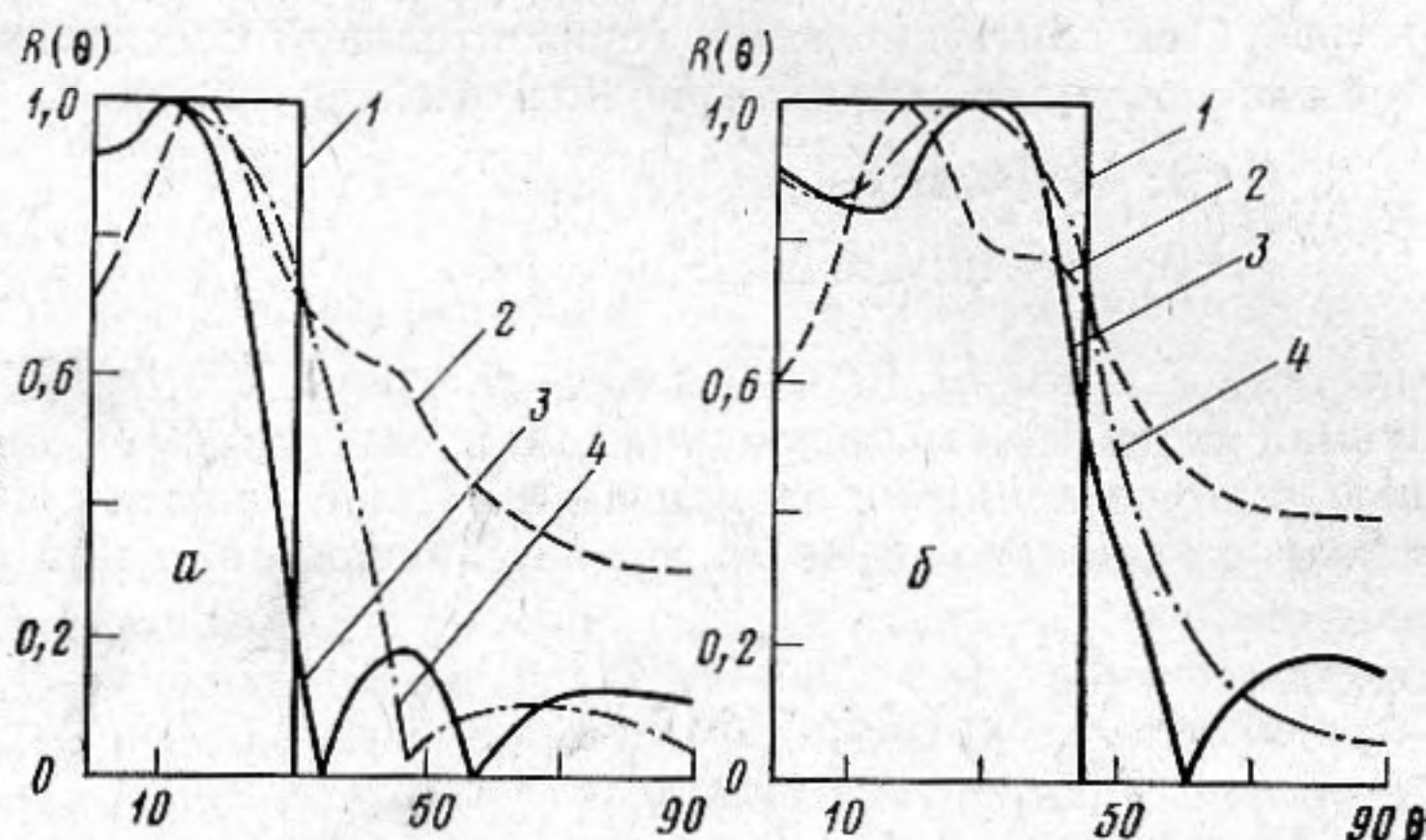
Таким образом, амплитудное распределение (4) может быть заменено аналогичным ему по результатам синтеза диаграммы направленности в плоскости XOZ фазовым распределением (5). Здесь важно отметить, что для использования (5) необходимо, чтобы $N \geq L$.

Результаты сравнения эффективности различных методов синтеза секторных диаграмм направленности для антенной решетки умеренных размеров ($2N=2M=8$, $d/\lambda=0,5$) и двух значений α приведены соответственно на фиг. 2, а и б. Кривая 1 соответствует идеальной секторной диаграмме направленности (функция $F(\theta)$), кривая 2 — синтезированной по методу стационарной фазы и кривая 3 — синтезированной при помощи метода парциальных диаграмм (4) или предложенной модификации (5). Как видно, в случае антенных решеток относительно малых волновых размеров метод стационарной фазы дает существенно худшие результаты.

Как показали результаты численного эксперимента, проведенного на ЭВМ ЕС-1022 для различных антенных решеток при применении метода

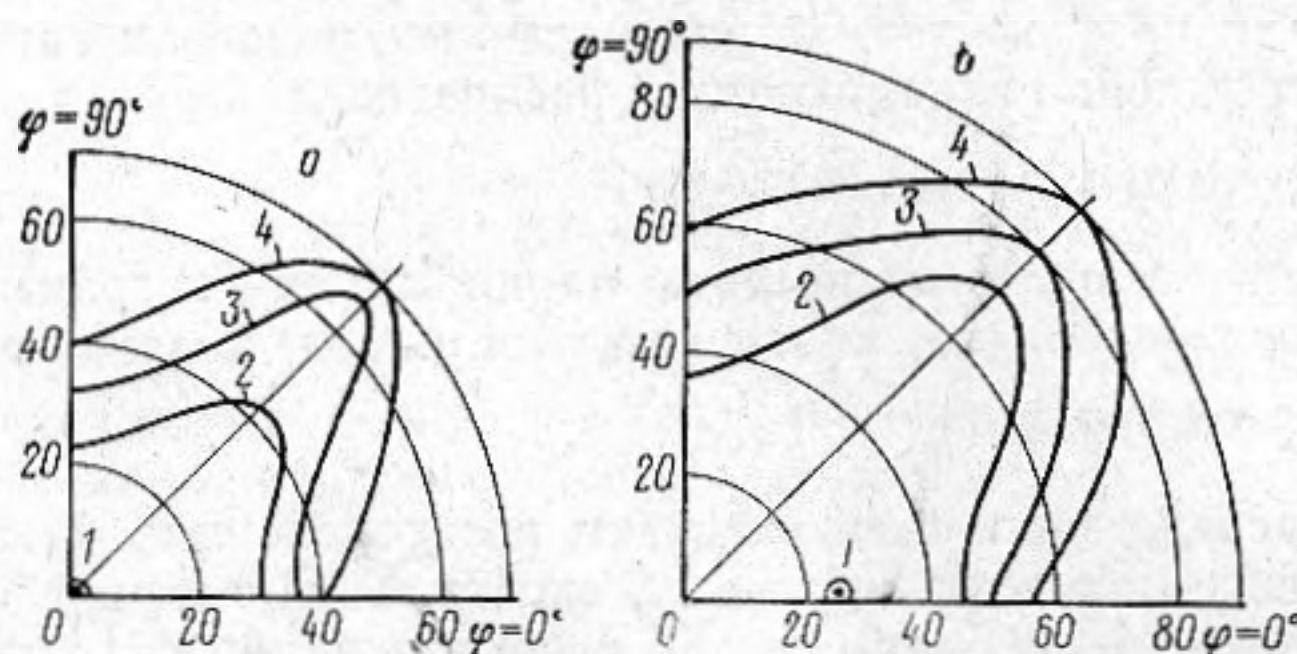
парциальных диаграмм или его модификации, предлагаемой нами, лучшее приближение реализуемой диаграммы направленности $R(\theta, \varphi)$ к идеальной — функции $F(\theta)$ достигается, если $N > L$, причем углы θ_n определяются не из условия (3), а путем минимизации функционала рассогласования.

$$(7) \quad q = \int_0^{\pi/2} |R(\theta, 0) - F(\theta)|^2 \sin \theta d\theta.$$



Фиг. 2. Секторные диаграммы направленности, синтезированные с помощью различных методов $a - \alpha = \pi/6$, $b - \alpha = \pi/4$

Нами для минимизации функционала q был применен метод динамического программирования [4], заключающийся в направленном многошаговом переборе фаз в области Ω , причем нами была выбрана $\Omega \in [0, 2\pi]$. Следует отметить, что целевая функция задачи q не является строго сепарабельной по искомым величинам $\{\theta_n\}$, в связи с чем найденный экстре-



Фиг. 3. Рельеф пространственной диаграммы направленности $a - \alpha = \pi/6$, $b - \alpha = \pi/4$, $1 - R(\theta) = 1$, $2 - 0,7$; $3 - 0,5$; $4 - R(\theta) = 0,3$

мум может не являться глобальным, а носить характер локального оптимума.

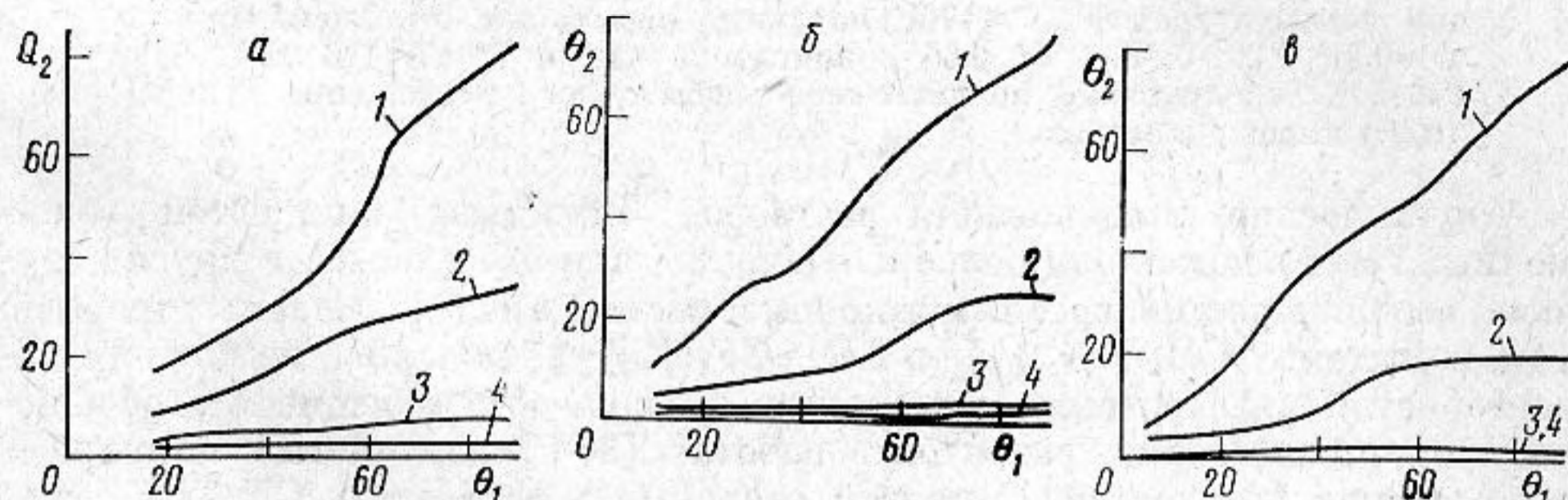
На фиг. 2 кривая 4 соответствует секторной диаграмме направленности, синтезированной с помощью предлагаемой модификации метода парциальных диаграмм при минимизации функционала рассогласования (7). Как видно, предлагаемая модификация позволяет синтезировать диаграмму направленности с меньшими отклонениями от идеальной секторной, чем два других метода.

Особенностью предлагаемой модификации метода парциальных диаграмм является то, что введение фазового распределения (5), обеспечивающего формирование требуемой секторной диаграммы в плоскости XOZ одновременно приводит к некоторой деформации пространственной

диаграммы направленности. В качестве примера такой деформации на фиг. 3 показан рельеф пространственной диаграммы направленности антенной решетки $2N=2M=8$, $d/\lambda=0,5$ для двух синтезируемых растворов.

Степень деформации пространственной диаграммы направленности можно оценить с помощью фиг. 4, на которой показана зависимость раствора на уровне 0,7 сечения пространственной диаграммы направленности плоскостью YOZ θ_2 от раствора на том же уровне в сечении плоскостью XOZ θ_1 для антенной решетки с периодом $d=0,5\lambda$. Как видно, при превышении величины $2N$ над $2M$ зависимость $\theta_2(\theta_1)$ становится менее выраженной.

Таким образом, предлагаемая модификация метода парциальных диаграмм позволяет удовлетворительно синтезировать секторные диаграммы



Фиг. 4. Расчетная связь растворов θ_1 и θ_2 а — $M=3$, б — 5, в — 10; 1 — $N/M=1$; 2 — 2; 3 — 5; 4 — $N/M=10$

направленности антенных решеток сравнительно малых волновых размеров при постоянном амплитудном распределении, что дает возможность оптимального использования излучающей антенной решетки в условиях прочностных ограничений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Смартышев М. Д. Направленность гидроакустических антенн. Л.: Судостроение, 1973.
2. Зелкин Е. Г. Построение излучающей системы по заданной диаграмме направленности. М.—Л.: Госэнергоиздат, 1963.
3. Сканирующие антенные системы СВЧ. Пер. с англ./ Под ред. Маркова Г. Т., и Чаплина А. Ф. Т. 1. М.: Сов. радио, 1966.
4. Габзалилов Г. Ф., Крупицкий Э. И. Дискретный фазовый синтез антенной решетки методом динамического программирования.— Радиотехника и электроника, 1974, т. 19, № 5, с. 946—954.

Поступила в редакцию
30.VII.1980