

ной 5,5 %, т. е. уменьшилась в 1,6 раза. Для кинескопа 23ЛК9Б с более плоским экраном в первом случае $\gamma=28\%$, а во втором — 23,5 %, т. е. уменьшение γ произошло всего в 1,2 раза.

Следовательно, упрощенными формулами для x , u_k и i_k можно пользоваться только применительно к кинескопам, у которых $R_0/R_3 \ll 1$. Для индикаторных ЭЛТ расчеты нужно производить по уточненным выражениям, используя ЭВМ.

Синтез управляющих сигналов с учетом дисторсии и параметров ОС может быть выполнен и для специальных электромагнитных разверток подобно тому, как это сделано применительно к линейной развертке. Общая схема метода представляется следующей.

1. Для заданного закона перемещения луча $x(t)$ (типа электромагнитной развертки) при выбранной ЭЛТ оцениваются искажения развертки за счет дисторсии: определяется ошибка отклонения $\gamma = (x - x')/x$ как функция угла отклонения, причем отклонение рассчитывается по приближенной (8) из [1] или уточненной (7) формуле. Если в формулу (8), или в более точное выражение (7) при $\sin \alpha = Ni$, подставить $i \sim x(t)$, можно получить зависимость ошибок отклонения от времени аналогично (11) из [1] для линейной развертки.

2. Если искажения окажутся неприемлемыми, по формулам (12) из [1] или (8) находится форма отклоняющего тока $i(t)$ для коррекции дисторсии при заданном отклонении $x(t)$.

3. Определяются управляющие сигналы $u_k(t)$ и $i_k(t)$ по формулам (1) и (4) при подстановке в них $i_L = i(t)$.

4. При необходимости вводится аппроксимация управляющих сигналов и дается оценка получающимся при этом искажениям.

5. Разрабатываются способы формирования управляющих и входных сигналов, т. е. схемы генераторов напряжения развертки специальной формы и усилителей тока развертки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Красногоровый Б. Н. — Вестн. Белорусского ун-та. Сер. 1, физ., мат. и мех., 1982, № 3, с. 12.
2. Расчет элементов импульсных радиотехнических устройств / Под ред. Ю. М. Казаринова. — М., 1963.
3. Красногоровый Б. Н. Проектирование и расчет элементов индикаторных устройств. — Минск, 1971.

Поступила в редакцию
26.06.89.

Кафедра ЭММ

УДК 621.396

Г. П. ЛИЧКО

ОБ УМЕНЬШЕНИИ УГЛОВЫХ ДИСКРЕТОВ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДИАГРАММ НАПРАВЛЕННОСТИ АНТЕНН ПО ИЗМЕРЕНИЯМ В БЛИЖНЕЙ ЗОНЕ

Одним из алгоритмов восстановления диаграмм направленности (ДН) антенн с помощью ЭВМ по измерениям амплитудно-фазового распределения (АФР) поля в ближней зоне на плоскости является дискретное преобразование Фурье (ДПФ), вычисляемое с применением алгоритма быстрого преобразования Фурье (БПФ). При использовании ДПФ угловые дискреты $\Delta\theta$ и $\Delta\varphi$ восстановления ДН, однозначно связанные с пространственными частотами U , V , зависят от длин M , N входного массива F , полученного при фиксированных шагах дискретизации АФР. Во многих случаях большая величина угловых дискретов восстановления ДН затрудняет как определение параметров ДН остронаправленных антенн, например, направление максимума ДН, ширину главного лепестка по половинной мощности, так и графический вывод ДН с автомати-

ческим определением параметров ДН. Возникает задача получения дополнительных точек в пространственном спектре АФР.

Пусть необходимо увеличить разрешение в $Q_1 \cdot Q_2$ раз по пространственным частотам U, V в заданной полосе частот, обеспечивая тем самым уменьшение $\Delta\theta$ и $\Delta\varphi$. Известны алгоритмы увеличения разрешения пространственных частот путем осуществления ДПФ дополненной нулями до длины $Q_1 \cdot M \cdot Q_2 \cdot N$ матрицы F результатов измерений АФР или путем многократного осуществления ДПФ матрицы $F(m, n)$, умноженной на фазовые множители

$$e^{j \left(\frac{2\pi}{MQ_1} mq_1 + \frac{2\pi}{NQ_2} nq_2 \right)} \quad \begin{matrix} q_1 = 0, 1, 2, \dots, Q_1 - 1 \\ q_2 = 0, 1, 2, \dots, Q_2 - 1 \end{matrix}$$

Эти алгоритмы приводят соответственно или к выполнению БПФ матрицы длиной $Q_1 \cdot M \cdot Q_2 \cdot N$ или к выполнению $Q_1 \cdot Q_2$ раз БПФ матрицы длиной $M \cdot N$.

При обработке больших массивов результатов измерений АФР, находящихся во внешнем запоминающем устройстве (ВЗУ) ЭВМ и превосходящих по объему емкость оперативной памяти ЭВМ применение указанных алгоритмов неэффективно из-за малого быстродействия, обусловленного многократным обменом информацией с ВЗУ.

Приведем более эффективные алгоритмы увеличения разрешения пространственных частот при обработке больших массивов результатов измерений АФР.

Эффективность этих алгоритмов обеспечивается за счет уменьшения области пространственных частот, в которой производится увеличение разрешения, и уменьшения обмена информацией с ВЗУ. Суть первого алгоритма, упомянутого в [1], в следующем.

Двумерное БПФ вводится посредством последовательного осуществления одномерных БПФ над строками и столбцами исходной матрицы. Следовательно, осуществляя одномерные БПФ над строками матрицы F , дополненными необходимым числом нулевых отсчетов для получения заданного разрешения по пространственной частоте U , и записывая в ВЗУ лишь интересующие области пространственных частот по U , имеем возможность изменять разрешение и по другой пространственной частоте V . Для этого предлагается протранспонировать записанную в ВЗУ матрицу с использованием алгоритма быстрого транспонирования, представленного в [2]. Осуществляя одномерное БПФ полученных строк с их дополнением нулями до длины, обеспечивающей необходимое разрешение по V , имеем решение исходной задачи. Для данного алгоритма при $L \cdot I$ точках с увеличенным разрешением требуется I одномерных БПФ длиной $Q_1 \cdot M$, L одномерных БПФ длиной $Q_2 \cdot N$ и одно транспонирование матрицы длиной $I \cdot N$. Следовательно, этот алгоритм эффективнее известных алгоритмов. В случае, если память ЭВМ не позволяет производить одномерные БПФ большой длины, например, для мини-ЭВМ, представляется эффективным следующий алгоритм. Запишем двумерное ДПФ в виде

$$f(i, l) = \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} F(m, n) \cdot W_1^{im} \cdot W_2^{ln}. \quad (1)$$

Используя подстановку в (1) выражений $im = \frac{m^2 + i^2 - (i-m)^2}{2}$, $ln = \frac{n^2 + l^2 - (l-n)^2}{2}$ после преобразований имеем

$$f(i, l) = W_1^{\frac{i^2}{2}} \cdot W_2^{\frac{l^2}{2}} \cdot \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} g(m, n) \cdot R(i-m, l-n), \quad (2)$$

где

$$g(m, n) = F(m, n) \cdot W_1^{-\frac{m^2}{2}} \cdot W_2^{-\frac{n^2}{2}} \quad (3), \quad R(m, n) = W_1^{-\frac{m^2}{2}} \cdot W_2^{-\frac{n^2}{2}}. \quad (4)$$

Представляя W_1, W_2 в виде $W_1 = e^{j \frac{2\pi}{M_1}}$, $W_2 = e^{j \frac{2\pi}{N_1}}$ и умножая АФР на множители $e^{jU_1 \cdot m}$, $e^{jV_1 \cdot n}$, где U_1 и V_1 — пространственные частоты, определяющие начало области с увеличенным разрешением, $M_1 > M$, $N_1 > N$ — числа, определяющие необходимый дискрет по пространственным частотам, будем иметь возможность получить произвольное разрешение в заданной области пространственных частот с помощью соотношений (2) — (4). Так как $R(m, n)$, определяемое (4), представляет собой двумерный массив неограниченной длины, для вычисления (2) необходимо применение секционированной свертки. Осуществляя ее с использованием алгоритма БПФ и применяя для вычисления (3), (4) рекуррентные соотношения, получим, что для приведенного алгоритма необходимо двукратное БПФ больших массивов длиной $2M \times 2N$ при $L \leq M+1$, $I \leq N+1$, осуществление которых возможно при памяти, достаточной для запоминания лишь двух строк с использованием алгоритма, представленного в [2].

Координаты максимума ДН

Массив	m	n	$\theta_{\max}$, град.	$\varphi_{\max}$, град.
128 * 128	1	6	11,39	18,43
256 * 256	1	10	9,16	11,30
512 * 512	1	20	9,03	5,71
1024 * 1024	0	39	8,76	0
2048 * 2048	0	65	7,29	0

Для иллюстрации эффективности представленных алгоритмов приведем решение практической задачи. Ставилась задача определения направления максимума ДН и вывода области главного лепестка с увеличенным разрешением остронаправленной антенной решетки с максимумом излучения, смещенным относительно перпендикуляра к плоскости измерений АФР. Массив результатов измерений АФР длиной 128×128 отсчетов записан на магнитном диске.

В таблице представлены координаты m, n в номерах отсчетов максимума ДН и соответствующие угловые координаты $\varphi_{\max}$ в дальней зоне, полученные при последовательном увеличении значений Q_1, Q_2 , иллюстрирующие необходимость увеличения разрешения пространственных частот в большое число раз для определения координат максимума ДН. Полное решение поставленной задачи для $Q_1=16, Q_2=16$, при $L=128, I=128$ осуществлено для ЭВМ ЕС-1022 за 17 мин с использованием первого алгоритма и 18 мин с помощью второго алгоритма.

Таким образом, приводимые алгоритмы обладают большим быстродействием при обработке больших массивов результатов измерений АФР, а увеличение разрешения пространственных частот позволило существенно уточнить направление максимума ДН.

Следовательно, в данной работе приведены два алгоритма увеличения разрешения пространственных частот, пригодные для применения в случае обработки больших массивов результатов измерений АФР, эффективность которых показана на экспериментальных данных.

ЛИТЕРАТУРА

1. Joy E. B., Leach W. M., Rodrique G. P., Paris D. T. — IEEE Trans. Antennas and Propagation, 1978, v. AP-26, № 3, p. 379.
2. Eklund J. O. — IEEE Trans. Computers, 1972, v. c-22, № 7, p. 801.