

менен метод подекадного приближения, дающий все верные цифры результата в пределах заданной погрешности [3, с.89]. Значения относительной погрешности перемножения гармонических сигналов определялись по формуле:

$$\delta = \frac{U_{cp} U_{ид}}{U_{ид}} \cdot 100[\%], \quad (5)$$

где  $U_{ид}$  – среднее значение результата перемножения гармонических сигналов, принимаемое за идеальное и определяемое по формуле (6) с использованием методов численного интегрирования [3, с.105]:

$$U_{ид} = \frac{1}{T_{п}} \int_0^{T_{п}} U_1(t) \cdot U_2(t) dt. \quad (6)$$

Разработанная программная модель позволяет провести полное исследование свойств времяимпульсного перемножителя по мгновенному значению.

В таблице представлены результаты исследования того, как кратность  $k$  между частотами сети  $f_c$  и тактового преобразователя  $f_T$  влияет на методическую погрешность вычисления активной мощности при разных целых кратностях  $k=f_T/f_c$  и при синхронных частотах  $f_c$  и  $f_T$ .

**Зависимость методической погрешности перемножителя  $\delta$  (в процентах) от кратности  $k$  при синхронных частотах  $f_c$  и  $f_T$**

K	2	3	4	5	6	7	8
$\delta, \%$	-8,722	-18,69	-0,004	-0,243	$2 \cdot 10^{-5}$	-0,001	$1,5 \cdot 10^{-5}$

Полученные данные позволяют сделать вывод о том, что высокоточное перемножение синусоидальных сигналов при синхронных частотах  $f_c$  и  $f_T$  можно получить при малом значении кратности  $k$ . Как видно из таблицы 1, уже при  $k=6$  методическая погрешность не превышает  $10^{-4} \%$ . Поскольку при нечетном значении  $k$  погрешность значительно больше, то кратность надо выбирать четной.

#### Литература

1. Скляров В.А. Язык С++ и объектно-ориентированное программирование. – Минск: Вышэйшая школа, 1997.
2. Касаткин А.И. Профессиональное программирование на СИ. Управление ресурсами. – Минск: Вышэйшая школа, 1992.
3. Дьяконов В.П. Справочник по алгоритмам и программам на языке Бейсик для персональных ЭВМ. – М.: Наука, 1987.

## ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ КРУПНОГАБАРИТНЫХ ЗЕРКАЛЬНЫХ АНТЕНН В ЗОНЕ ФРЕНЕЛЯ

**Б. А. Верига, Н. И. Вяхирев**

*Гомельский государственный технический университет  
им. П. О. Сухого, Республика Беларусь*

**В. П. Кудин**

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Измерение параметров крупногабаритных зеркальных антенн встречает определенные трудности, главной из которых является то, что дальняя зона находится на расстоянии в несколько километров или даже десятков километров. Традиционным являет-

ся способ измерения диаграммы направленности (ДН), а также коэффициента усиления (КУ) по измерению внеземных источников [1], в том числе искусственного происхождения. Однако подобный подход требует достаточно точной астрономической информации о параметрах таких источников. Привлекательным является метод фокусировки антенны в зону Френеля [2, 3] с помощью выноса облучателя из фокуса однозеркальной параболической антенны или смещения как облучателя, так и вспомогательного зеркала в случае двухзеркальной системы. К сожалению, конструкции антенн не всегда допускают подобное вмешательство, а если и удастся его совершить, то формально получается уже другая антенна. Тем не менее, на практике ввиду определенной автономности метод фокусировки в ближнюю зону является более предпочтительным.

В данной работе рассчитываются и сопоставляются характеристики сфокусированной в бесконечность и зону Френеля зеркальной системы, приводятся результаты измерения КУ и ДН однозеркальной антенны.

Характеристики зеркальной системы рассчитываются следующим образом. Система полагается и геометрически, и электрически асимметричной. ДН облучателя описывается функцией

$$F_{\text{обл}}(\theta) = \cos^p\left(\frac{\theta}{2}\right),$$

где параметр  $p$  выбирается исходя из заданного уровня облучения края основного зеркала. Облучатель, а в двухзеркальной системе и малое зеркало, могут смещаться вдоль оси системы на заданное расстояние. В геометрикооптическом приближении численно строится лучевая картина. Исходя из закона сохранения энергии в лучевой трубке находится распределение амплитуды поля в раскрыве основного зеркала.

Распределение фазы в том же раскрыве определяется по оптической длине луча. Затем методом физической оптики как интеграл по раскрыву от полученного распределения находится поле системы в заданной точке пространства. Найденное поле зависит от двух координат: осевого расстояния  $R_0$  от вершины основного зеркала и угла  $\theta$ , отсчитываемого от оси системы.

Изложенная процедура реализована для однозеркальной и двухзеркальной систем в среде Mathcad 7 Pro. Входными данными являются геометрия системы и параметр облучателя  $p$ . Выходными характеристиками являются амплитудно-фазовое распределение в раскрыве параболического зеркала, угловая зависимость поля на заданном расстоянии (ДН в зоне Френеля), радиальная зависимость поля.

Анализировалась однозеркальная антенна диаметром  $192\lambda$  ( $\lambda$  – длина волны) и фокусным расстоянием  $68.6\lambda$ . При расчете ДН облучателя выбиралось  $p = 7$ , что обеспечило уровень облучения края зеркала – (13–14)дБ. Исходная антенна фокусировалась на бесконечность, а затем путем выноса облучателя из фокуса в сторону от зеркала на величину  $3.6\lambda$  на расстояние  $R_0 = 2000\lambda$ . Как и следовало ожидать, амплитудное распределение при выносе облучателя меняется слабо, в то время как фазовое становится близким к квадратичному с опережением на краях зеркала.

Угловые зависимости поля в зоне Френеля ( $R_0 = 2000\lambda$ ), а также ДН в дальней зоне приведены на рис. 1.

Прежде всего отметим, что исходная антенна (сфокусированная на бесконечность) в зоне Френеля имеет широкую ДН. Кроме того, ДН сфокусированной антенны в зоне Френеля и ДН исходной антенны в дальней зоне совпадают в области главного лепестка (до уровня –15 дБ) и весьма близки в области боковых лепестков (за исключением области первых боковых лепестков). Отсюда вытекает важный вывод: ДН зеркальной антенны может быть найдена по измерениям в зоне Френеля.

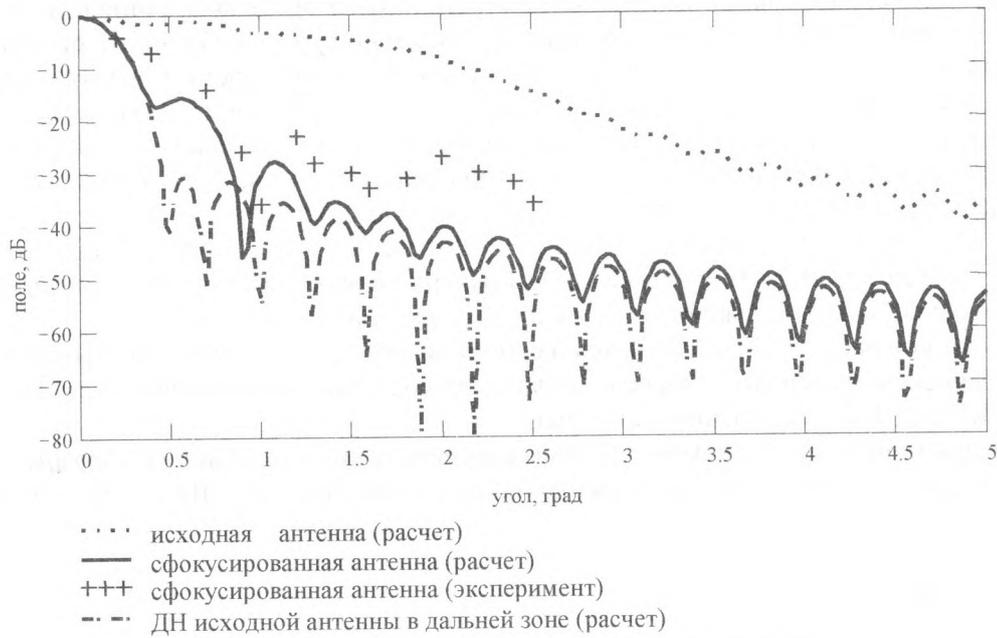


Рис. 1. Диаграмма направленности зеркальной антенны

Рис. 2 иллюстрирует зависимость поля на оси зеркальной системы, умноженного на расстояние до точки наблюдения от этого расстояния. Как видно, фокусировка антенны на конечное расстояние позволяет достаточно точно получить КУ исходной антенны. Кроме того, сплошная кривая дает уменьшение КУ исходной антенны на конечном расстоянии от нее, что может быть использовано при измерениях КУ антенны, не прибегая к ее фокусировке.

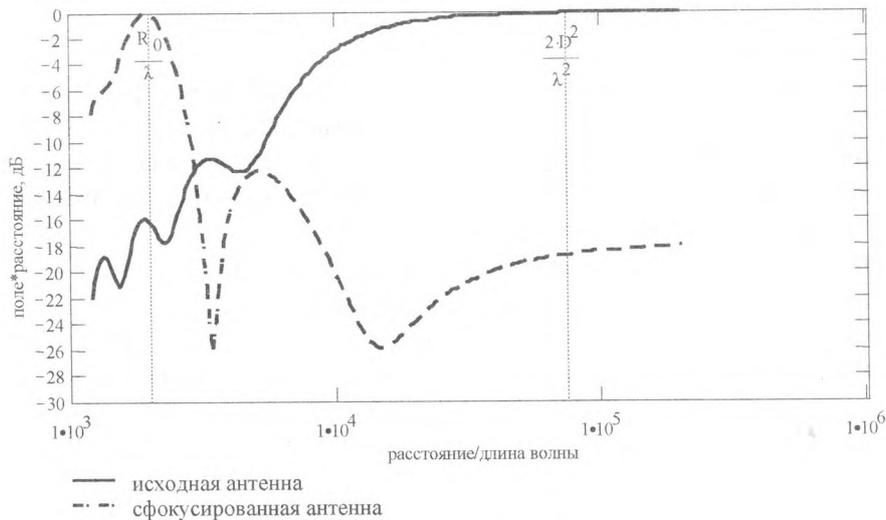


Рис. 2. Радиальные зависимости излучаемого поля

Экспериментально исследовались коэффициент усиления и диаграмма направленности однозеркальной антенны при расстоянии до вспомогательной передающей антенны  $R_0 = 2000\lambda$ , то есть в 40 раз меньшем расстоянии до дальней зоны. Исследуемая антенна при этом работала в приемном режиме. КУ измерялся методом сравнения с эталонной антенной, в качестве которой использовалась измерительная антенна П6-23А. Измерения выполнялись как для антенны, сфокусированной на конечное расстояние, так

и для исходной антенны. В последнем случае к полученному результату добавлялась поправка, взятая из рис. 2. КУ антенны, полученные двумя методами, равны, соответственно, 52.7 дБ и 51.8 дБ, то есть весьма близки друг к другу.

Экспериментальная ДН антенны приведена на рис. 1 и неплохо согласуется с расчетной.

Исследование двухзеркальной системы дало аналогичные результаты.

Таким образом, измерение коэффициента усиления зеркальной системы с достаточной для практики точностью может быть выполнено не фокусируя ее в ближнюю зону. Расстояние между передающей и приемной антеннами при этом может быть уменьшено до 40 раз по сравнению с расстоянием до дальней зоны.

### Литература

1. Цейтлин Н.М. Антенная техника и радиоастрономия. – М.: Сов. Радио, 1976.
2. Фрадин А.З., Рыжков Е.В. Измерение параметров антенно-фидерных устройств.– М.: Связь, 1972.
3. Методы измерений характеристик антенн СВЧ / Под ред. Н.М. Цейтлина.– М., Радио и связь, 1985.

## СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ВЫХОДНОГО НАПРЯЖЕНИЯ ИНВЕРТОРОВ С ШИМ

Э. М. Виноградов, С. Н. Кухаренко, И. В. Осипенко  
Гомельский государственный технический университет  
им. П. О. Сухого, Республика Беларусь

Существует ряд электрических нагрузок, предъявляющих повышенные требования к качеству потребляемой электрической энергии. Данное требование относится к нагрузкам, содержащим однофазные асинхронные двигатели, индуктивно-емкостные ограничители и формирователи тока. Понятие качества относится к форме напряжения, которое должно быть максимально приближено к синусоидальному. Ухудшение формы выходного напряжения также неблагоприятно сказывается на работе силовых ключей инвертора.

Известны методы формирования синусоидального напряжения из определенного числа импульсов за период и последующим восстановлением огибающей посредством индуктивно-емкостного фильтра [1,2]. Ограниченное число импульсов приводит к необходимости увеличения реактивной мощности фильтра и, соответственно, потере передаваемой энергии, росту материалоемкости. Современная элементная база и схемные решения позволяют в тысячи раз увеличить частоту модулирующего сигнала без существенного роста динамических потерь. Такие качественные изменения приводят к необходимости изменения подхода в проектировании и анализе устройств с широтно-импульсной модуляцией (ШИМ) сигналов.

В преобразователях постоянного напряжения в переменное с гармоническим законом выходного напряжения наиболее часто используются импульсные режимы аппроксимации. При этом из входного напряжения формируются импульсы постоянной амплитуды  $E$  и переменной скважности. Классически считается, что длительность импульса можно определить из условия равенства действующих значений напряжения сигнала  $u(t)$  на промежутке времени  $\Delta t = t_{i+1} - t_i$  и длительности импульса  $\tau_i$  на этом промежутке:

$$\int_{t_i}^{t_{i+1}} u^2(t) dt = E^2 \tau_i. \quad (1)$$

Для сигнала  $u(t) = U_0 \sin \Omega t$ , где  $\Omega$  – частота огибающей выходного напряжения, длительность импульса может быть определена из выражения:

$$\tau_i = \frac{u_0^2}{E^2} \sin^2 \left( \Omega \frac{t_i + t_{i+1}}{2} \Delta t \right). \quad (2)$$