

УДК 621.396.67

Исследование крупно-апертурного излучателя для бортовой антенны диапазона 42.5 – 55.5 ГГц

*Козлов А.М., студент
Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,
кафедра «Радиоэлектронные системы и устройства»*

*Научный руководитель: Хандамиров В.Л., доцент
Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана
main@r11-11.bmstu.ru*

1 Анализ исходных данных для КАИ

Ранее, в ходе курсового проектирования были выяснены требования к КАИ, как электрические, так и конструкторские. КАИ представляет собой систему «волноводная линза + облучатель». В качестве облучателя был выбран открытый конец круглого волновода конечной длины λ . Выбор круглого волновода весьма удобен для формирования двухполяризационного канала или поля произвольной поляризации. Линза сформирована из квадратных волноводов и имеет эллиптический профиль.

Зададимся исходными данными, исходя из требований к КАИ. Требуемая ширина диаграммы направленности по уровню 0.5 равна 5.8° . Диапазон частот – 42.5 – 55.5 ГГц. Длина волны $\lambda = 6.122$ мм. Опираясь на эти данные, выясним параметры антенны.

Диаметр линзы D:

$$D = \frac{\lambda}{2\theta_{0.5p}} \cdot (65 - 70). \quad (1.1)$$

Подставив значения, получим $D = 78.4$ мм.

Диаметр облучателя и сторону квадратного волновода, выясним из справочника [1]. Для данной длины волны подходит круглый волновод диаметром $D_{\text{обл}} = 4.369$ мм и толщиной $t_1 = 0.510$ мм. Сторона квадратного волновода для данной длины волны $a = 4.77$ мм, толщина $t = 1.015$ мм.

Коэффициент преломления линзы n:

$$n = \sqrt{1 - \frac{\lambda^2}{4a^2}} = 0.767. \quad (1.2)$$

Для построения линзы мы должны определить её фокусное расстояние f и толщину d . Для этого смоделируем облучатель в программе CST Microwave Studio 2013 и получим

его диаграмму направленности. По ней мы определим её ширину по уровню 0.1 или -10 дБ.

1.1 Моделирование облучателя

На рисунке 1.1 изображена модель облучателя в виде открытого конца круглого волновода.

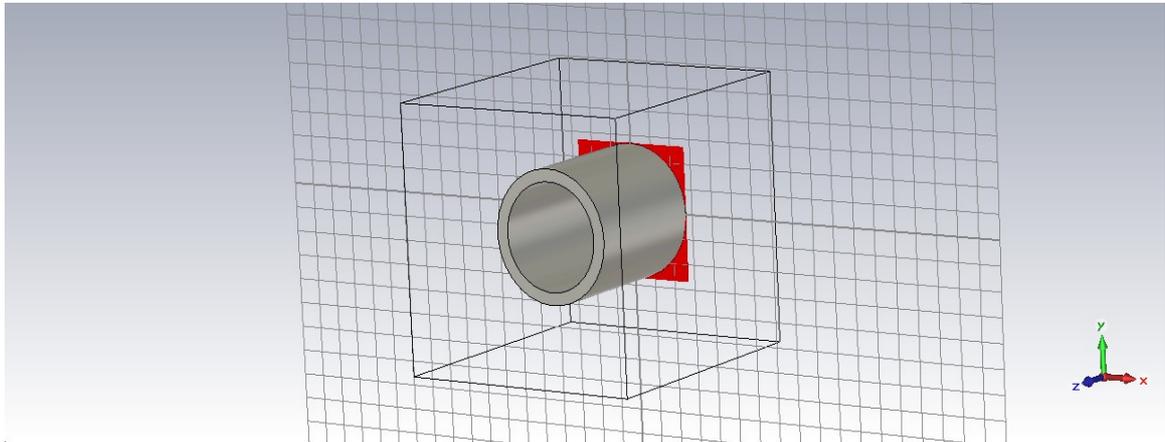


Рис. 1.1. 3D-Модель облучателя

На рисунке 1.2 представлена его полученная диаграмма направленности.

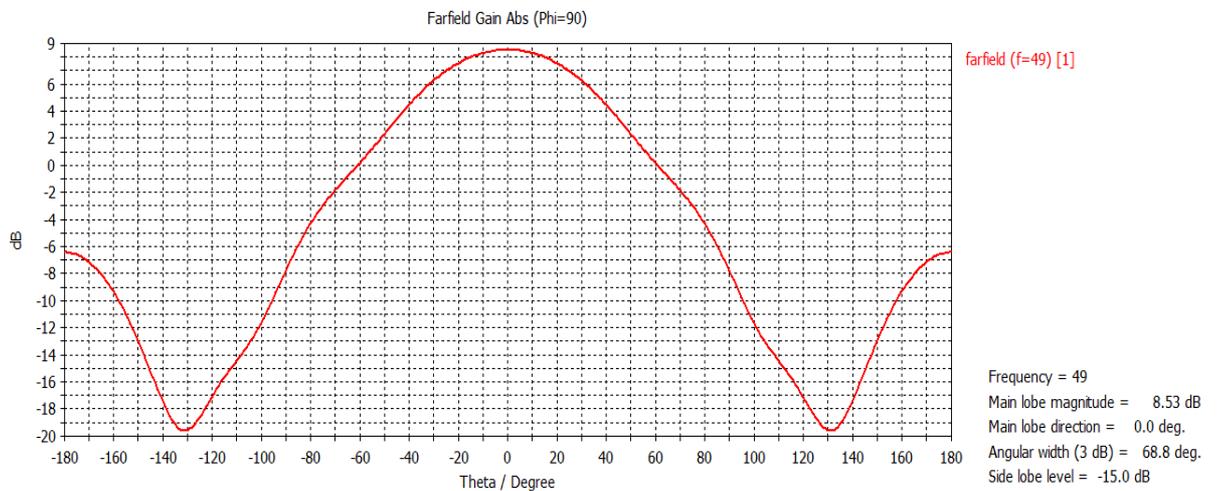


Рис. 1.2. Диаграмма направленности облучателя

Из рисунка 1.3 мы можем видеть, что на уровне -10 дБ ширина диаграммы направленности облучателя $\psi_{0.1p} = 68^\circ$

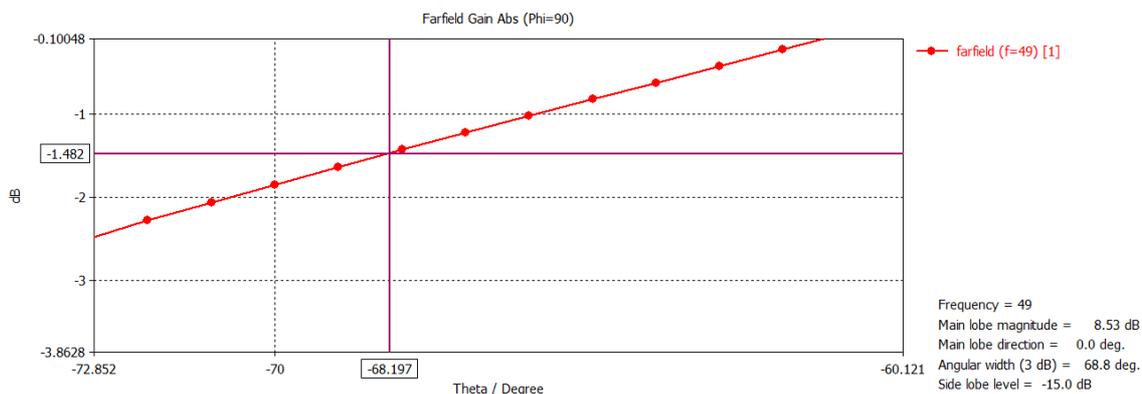


Рис. 1.3. Ширина диаграммы направленности облучателя по уровню -10 дБ

1.2 Расчет волноводной линзы

Таким образом, по полученным данным в пункте 1.1, найдем подходящую ширину линзы по формуле[2]:

$$d = \frac{D}{(1-n)} \cdot \operatorname{tg}(\psi_{0.1p}) = 33.234 \text{ мм} . \quad (1.3)$$

Дальше, определим фокусное расстояние f по формуле [2]:

$$f = \frac{D}{2 \operatorname{tg}(\psi_{0.1p})} + d = 119.68 \text{ мм} . \quad (1.4)$$

Т.к линза является ускоряющей ($n < 1$), то она имеет эллиптический профиль.

Уравнение профиля [2]:

$$r(z) = \sqrt{(n^2 - 1) \cdot z^2 + 2 \cdot (n - 1) \cdot f \cdot z}, \quad (1.5)$$

где $r(z)$ – радиус вектор в пространстве из центра координат к точке на поверхности линзы;

z – высота точки на поверхности линзы в пространстве;

f – фокусное расстояние линзы;

n – коэффициент преломления линзы.

На рисунке 1.4 показан профиль эллиптической линзы для данных значений её основных параметров.

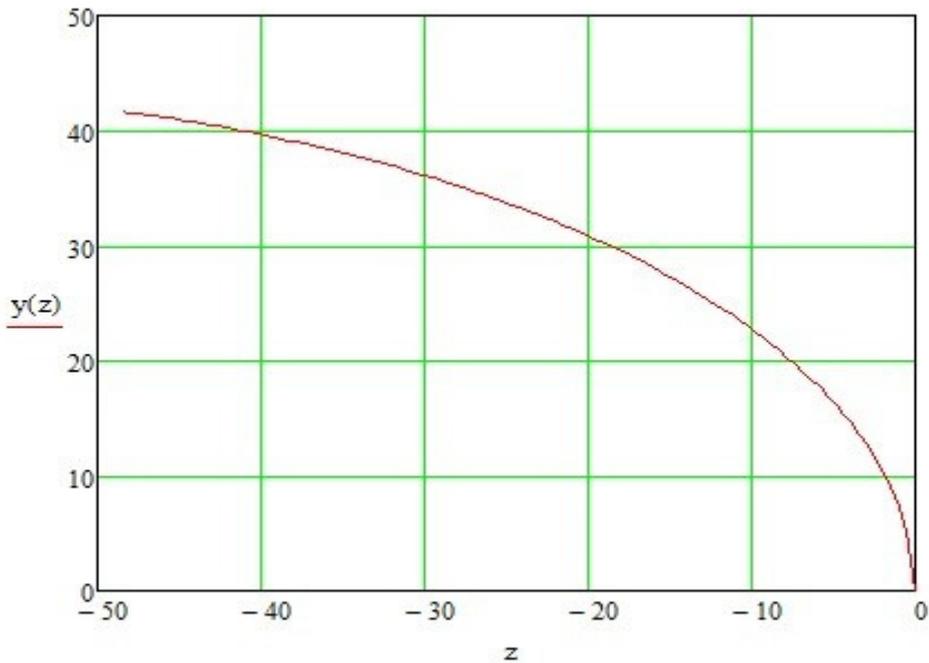


Рис. 1.4. Профиль эллиптической линзы

Для построения линзы, требуется определить расположение в координатных осях XYZ квадратных волноводов, их центры и высоты. Координаты центров мы получим из таблицы значений $X(Y)$, исходя из размеров волноводов.

Таблица 1

Координаты $X(Y)$ центров волноводов

$X(Y)_i$
$3 \cdot \frac{a}{2} + 3 \cdot t$
$5 \cdot \frac{a}{2} + 5 \cdot t$
$7 \cdot \frac{a}{2} + 7 \cdot t$
$9 \cdot \frac{a}{2} + 9 \cdot t$
$11 \cdot \frac{a}{2} + 11 \cdot t$

Для расчета высоты одного волновода, мы должны, зная координаты его центра, посчитать для него радиус вектор $r(z)$, подставить его в формулу (1.5) и найти по ней z .

Формула для расчета радиус вектора $r(z)$:

$$r(z) = \sqrt{x^2 + y^2} \quad (1.6)$$

По формуле (1.6) получим таблицу значений $r(z)$ для каждого волновода, в зависимости от сочетания x и y .

Таблица 2

Значения $r(z)$

$r_{i,0}$	$r_{i,1}$	$r_{i,2}$	$r_{i,3}$	$r_{i,4}$	$r_{i,5}$
10.752	14.425	19.825	25.894	32.255	38.766
17.337	19.825	24.042	29.248	35.005	41.082
24.042	25.894	29.428	33.658	38.766	44.331
30.788	32.255	35.005	38.766	43.275	48.323
37.554	38.766	41.082	44.331	48.323	52.892

Зная значения $r(z)$ для каждого волновода, можно определить высоту z , подставляя $r(z)$ в уравнение (1.5). Запишем результаты в виде таблицы.

Таблица 3 Значения z для каждого волновода

X Y0	X Y1	X Y2	X Y3	X Y4	X Y5
2.105	3.84	7.458	13.335	22.339	37.115
5.623	7.458	11.308	17.634	27.591	45.639
11.308	13.335	17.634	24.884	37.115	-
19.928	22.339	27.591	37.115	61.501	-
33.644	37.115	45.639	-	-	-

2 Моделирование КАИ в CST Microwave Studio 2013

Теперь, зная все параметры волноводов (положения их центров и высоты), мы можем построить линзу.

На рисунке 2.1 показана модель волноводной линзы и облучателя из пункта 1.2.

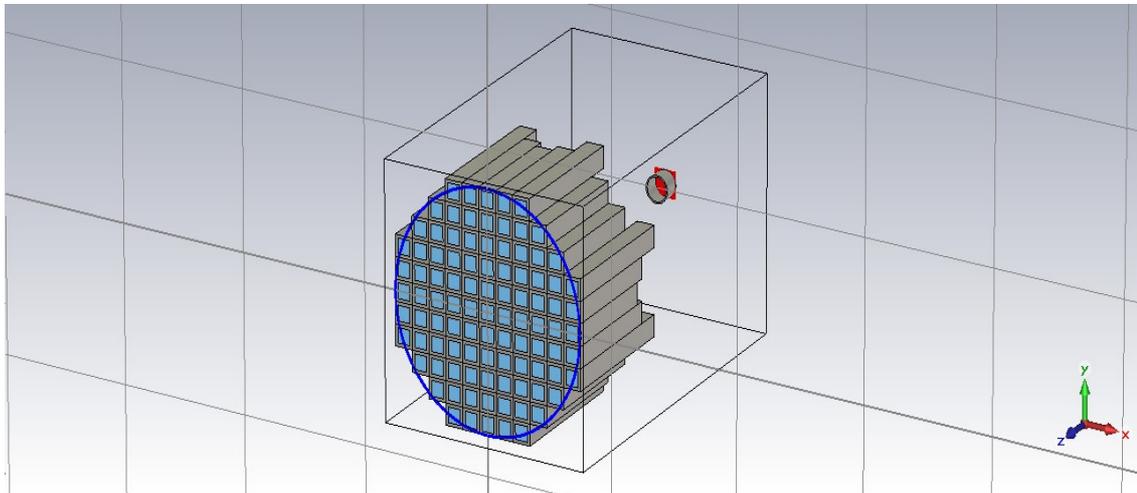


Рис. 2.1. 3D-модель волноводной линзы

На рисунках 2.2 – 2.3 представлены виды спереди и слева соответственно.

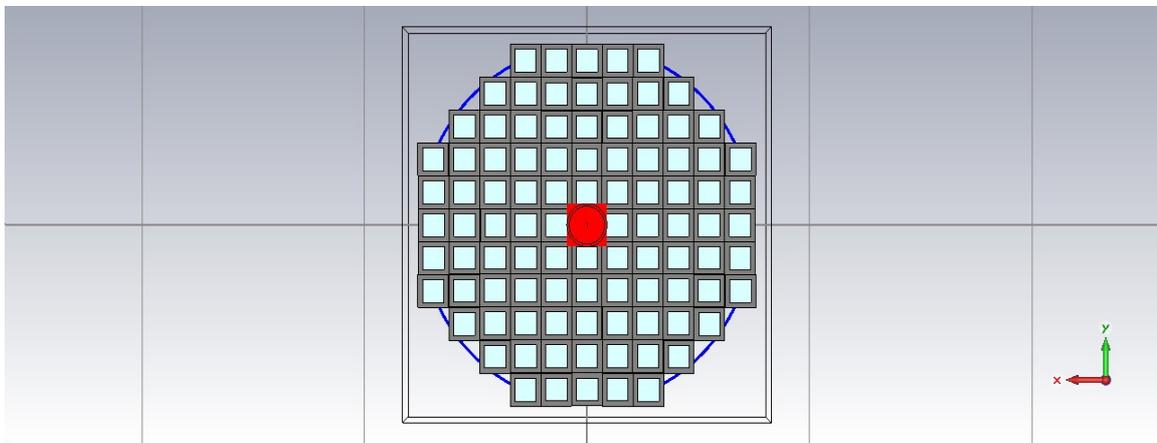


Рис. 2.2. Волноводная линза, вид спереди

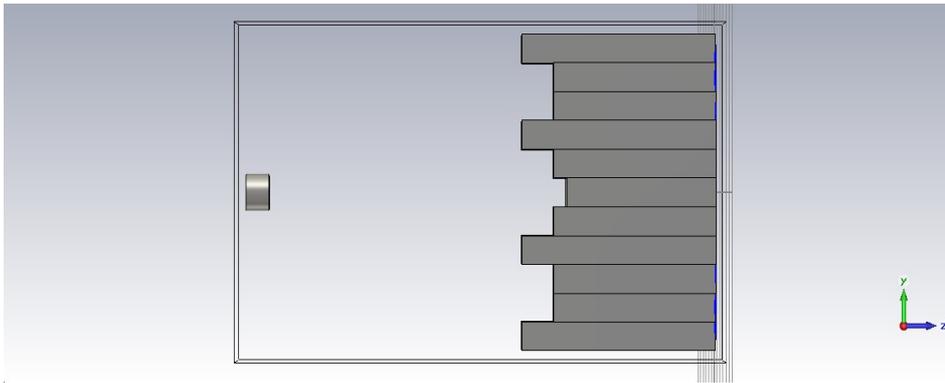


Рис. 2.3. Волноводная линза, вид слева

С помощью программы CST Microwave Studio 2013 была рассчитана диаграмма направленности для данной линзы (рисунок 2.4 – 2.6).

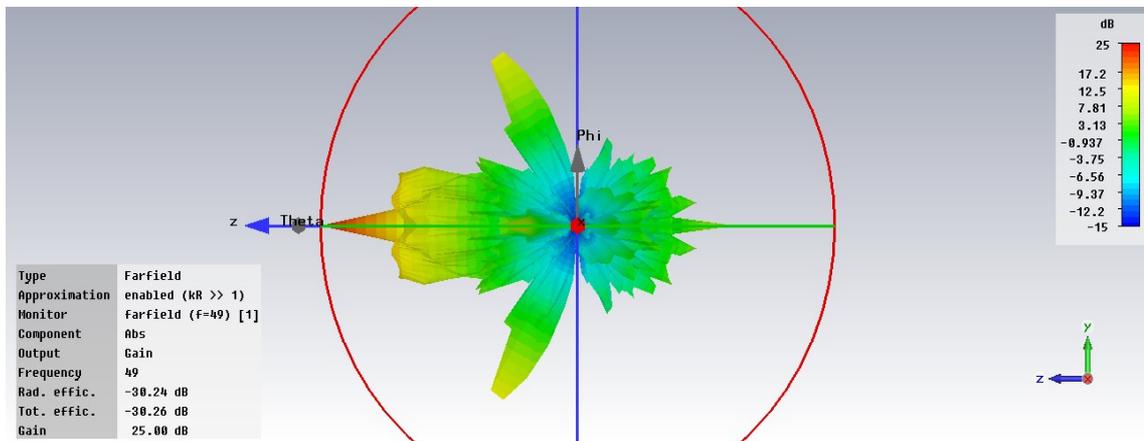


Рис. 2.4.3-D диаграмма направленности волноводной линзы

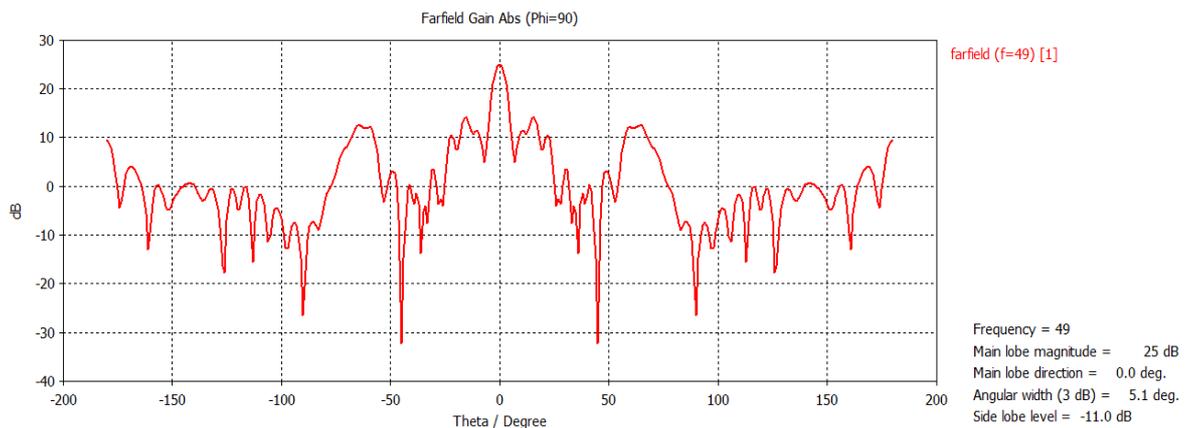


Рис. 2.5. Диаграмма направленности волноводной линзы в декартовой системе координат

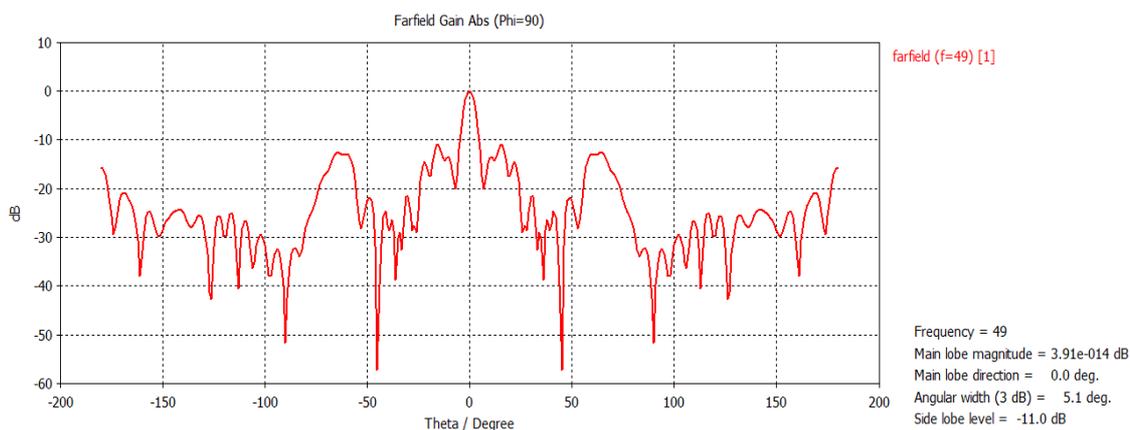


Рис. 2.6. Нормированная диаграмма направленности волноводной линзы

Из полученных диаграмм направленности можно сделать вывод, что линза нуждается в доработке. В первую очередь, проследим, как меняется диаграмма направленности, если изменять фокусное расстояние линзы. Для этого мы возьмем фокусное расстояние $f = 103.44$ мм, и сделав аналогичные пункту 1 расчеты, построим диаграмму направленности (рисунок 2.7)

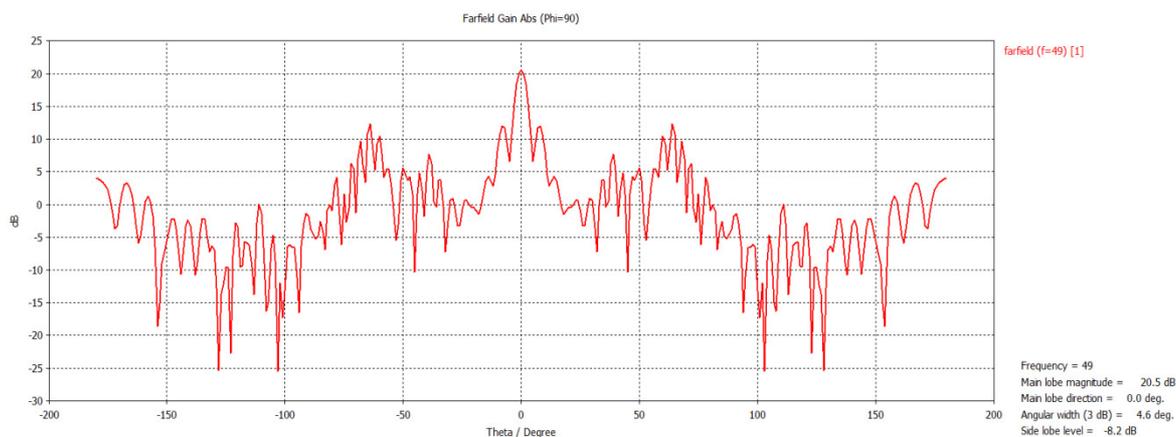


Рис. 2.7. Диаграмма направленности волноводной линзы для $f = 103.44$ мм

Мы видим (рисунок 2.7), что коэффициент усиления упал, и уровень боковых лепестков увеличился.

Для уменьшения бокового лепестка, попробуем изменить диаметр облучающего волновода до начала распространения высших типов волн. Полученная при этом диаграмма направленности для $f = 119.68$ мм.

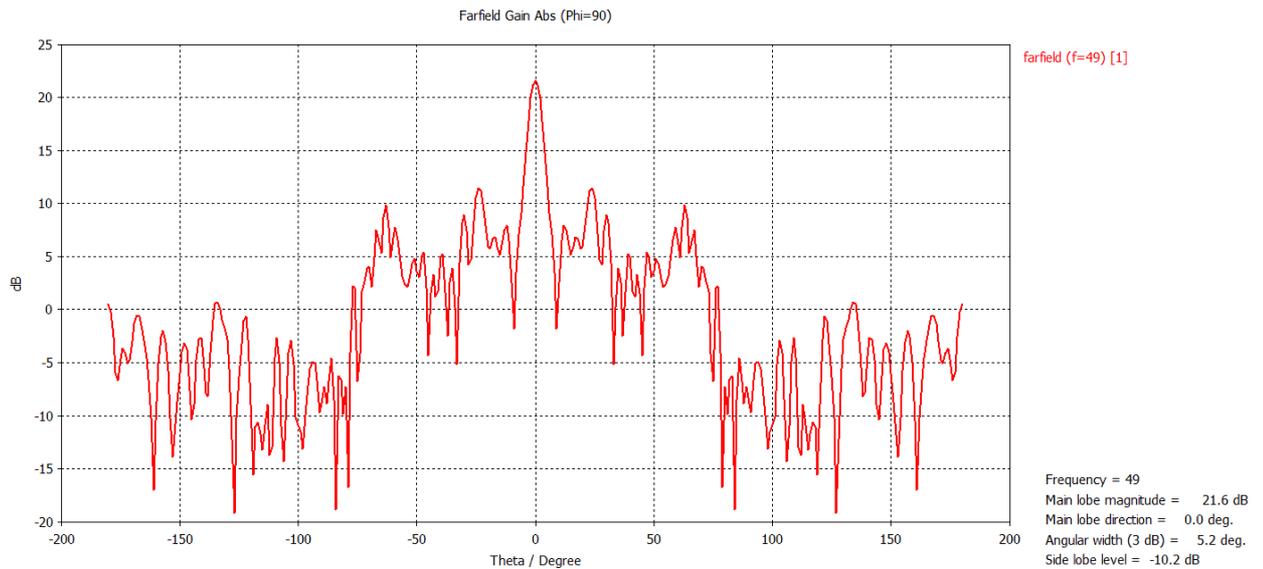


Рис. 2.8. Диаграмма направленности для диаметра облучателя
2.5 мм и фокусного расстояния 119.68 мм

Боковые лепестки уменьшились, но коэффициент усиления не доходит до требуемого значения 25 дБ.

Список литературы

1. Варламов Р.Г. Справочник конструктора РЭА. Компоненты, механизмы, надежность. М.: Радио и связь, 1985. 375 с.
2. Жук М.С., Молочков Ю.Б. Проектирование линзовых сканирующих широкодиапазонных антенн и фидерных устройств. М: Энергия, 1973. 440 с.