

УДК 621.396

*В. Н. БЫКОВ*, канд. техн. наук, *В. М. ПОШТАРЕНКО*, канд. техн. наук,  
*В. Г. ТИМОФЕЕВ*

### **ЧИСЛЕННЫЙ МЕТОД КОНСТРУКТИВНОГО СИНТЕЗА БИФОКАЛЬНЫХ ЛИНЗ**

---

Существуют различные подходы к электродинамическому синтезу бифокальных систем: метод фокального синтеза, метод парциальных диаграмм, варьирования формы поверхности, синтез в приближении геометрической оптики. Учитывая специфику миллиметрового диапазона волн, синтез бифокальной линзы целесообразно проводить в приближении геометрической оптики [1; 2].

В работах [2—4] в данном приближении рассматриваются алгоритмы синтеза поверхности бифокальных линз, однако неполное описание этих алгоритмов не позволяет их использовать в практических задачах конструктивного синтеза линз численными методами.



аналогичным образом можно найти координаты  $(x_2, y_2)$  точки пересечения этого луча с внутренней поверхностью линзы. Далее через найденную точку  $(x_2, y_2)$  проведем луч, выходящий из фокуса  $(0, -a)$  и определим координаты пересечения этого луча с внешней поверхностью.

Таким образом, можно записать систему уравнений, определяющих координаты профиля линзы и значения производных по профилю в конечном числе точек. Для лучей, идущих через линзу из фокуса  $(0, -a)$ , система уравнений будет иметь вид

$$\begin{aligned} \sigma_{2k+1} &= \operatorname{arctg} \frac{a + y_{2k}}{x_{2k}}; \\ \beta_{2k+1} &= \operatorname{arcsin} \frac{\sin(\sigma_{2k+1} - \gamma_{2k})}{n}; \\ t_{2k+1} &= \frac{L - \sqrt{(a + y_{2k})^2 + x_{2k}^2} - (c - x_{2k}) \cos \alpha + y_{2k} \sin \alpha}{n - \cos(\beta_{2k+1} + \gamma_{2k} - \alpha)}; \\ x_{2k+1} &= x_{2k} + t_{2k+1} \cdot \cos(\beta_{2k+1} + \gamma_{2k}); \\ y_{2k+1} &= y_{2k} + t_{2k+1} \cdot \sin(\beta_{2k+1} + \gamma_{2k}); \\ \gamma_{2k+1} &= \operatorname{arctg} \frac{n \sin(\beta_{2k+1} + \gamma_{2k}) - \sin \alpha}{n \cos(\beta_{2k+1} + \gamma_{2k}) - \cos \alpha}. \end{aligned} \quad (8)$$

Аналогичным образом запишем систему, описывающую лучи, выходящие из фокуса  $(0, a)$

$$\begin{aligned} \beta_{2k} &= \operatorname{arcsin} \frac{\sin(\alpha + \gamma_{2k+1})}{n}; \\ t_{2k} &= \left[ nL'_{2k} - t_{2k} \cos(\sigma'_{2k} - \beta_{2k} + \gamma_{2k+1}) - \right. \\ &\quad \left. - \sqrt{L_{2k}'^2 - 2L'_{2k} \cdot n \cdot \cos(\sigma'_{2k} - \beta_{2k} + \gamma_{2k+1}) t_{2k} + t_{2k}'^2 (n^2 - \sin(\sigma'_{2k} - \right.} \\ &\quad \left. - \beta_{2k} + \gamma_{2k+1})} \right] (n^2 - 1)^{-1}; \\ x_{2k} &= x_{2k+1} - t_{2k} \cos(\beta_{2k} - \gamma_{2k+1}); \\ y_{2k} &= y_{2k+1} + t_{2k} \sin(\beta_{2k} - \gamma_{2k+1}); \\ \sigma'_{2k} &= \frac{a - y_{2k}}{x_{2k}}; \\ \gamma_{2k} &= \operatorname{arctg} \frac{n \sin(\beta_{2k} - \gamma_{2k+1}) \sin \sigma'_{2k}}{\cos \sigma'_{2k} - n \cos(\beta_{2k} - \gamma_{2k+1})}, \end{aligned} \quad (9)$$

где

$$\sigma'_{2k} = \operatorname{arctg} \frac{a - y_{2k-1}}{x_{2k-1}};$$

$$t_{2k} = \sqrt{(a - y_{2k-1})^2 + x_{2k-1}^2};$$

$$L'_{2k} = L - (c - x_{2k-1}) \cos \alpha - y_{2k-1} \sin \alpha.$$

Здесь  $(x_{2k-1}, y_{2k-1})$  — координаты точек на внешней поверхности линзы, а  $(x_{2k}, y_{2k})$  — координаты точек внутренней поверхности.

На основании системы уравнений (8), (9) составлена программа численного определения конечного числа точек внутреннего и внешнего профиля бифокальной линзы (приведена в конце статьи).

В силу симметрии линзы относительно оси  $X$  расчет профиля достаточно выполнить для одной половины линзы. Так как алгоритм позволяет получить конечное число точек профиля поверхности линзы, удовлетворяющих условию бифокальности, то необходимо найти интерполяционный полином для приближенного определения профиля между расчетными точками. Известно, что при конечном числе узловых точек целесообразно осуществлять кусочно-непрерывную интерполяцию полиномом четной степени. Количество узловых точек выберем равным трем из условия получения частично перекрывающихся сегментов. Кусочно-непрерывная кривая для каждой тройки соседних точек может быть представлена полиномом вида

$$y = a_1 + a_2x^2 + a_3x^4 + a_4x^6 + a_5x^8 + a_6x^{10}, \quad (10)$$

а производная полинома в каждой точке кривой будет равна

$$\frac{dy}{dx} = 2a_2x + 4a_3x^3 + 6a_4x^5 + 8a_5x^7 + 10a_6x^9. \quad (11)$$

Три пары подобных уравнений составляют систему, из которой по известным координатам трех точек и значениям производной в них определяются коэффициенты  $a_1$ — $a_6$ . Для получения «гладкого» перехода между сегментами последние частично перекрываются. Например, точки 1, 2, 3, определяют сегмент 1, точки 2, 3, 4 — сегмент 2 и т. д. Подобный способ интерполяции обеспечивает прохождение кривой через каждую узловую точку с требуемым значением производной.

Однако, профиль поверхности между узловыми точками обычно не удовлетворяет условию бифокальности. Если геометрия линзы такова, что результирующий шаг между узловыми точками больше длины волны, подобный профиль линзы является неприемлемым. Отсюда возникает необходимость исследовать вопрос влияния выбора исходных параметров на характер профиля линзы.

Расчеты показали, что не все линзы с любыми наперед заданными параметрами могут быть реализованы. Практическое значение имеют линзы, форма которых близка к плоско-выпуклой, так другие линзы будут иметь существенно ограниченный диаметр апертуры ( $D$ ) и поверхность большой кривизны. Установлено, что при соблюдении условия ( $F/D - 1,0$ ) необходимого при создании многолучевой антенны, близкие к плоско-выпуклым линзы имеют место в тех случаях, когда величина параметра  $a$  выбирается на основании графиков (рис. 2) при следующих значениях угла  $\alpha$ : кривой 1 соответствует  $\alpha = 10^\circ$ , 2 —  $15^\circ$ , 3 —  $20^\circ$ , 4 —  $25^\circ$ , 5 —  $30^\circ$ .

В качестве аргумента здесь можно использовать как диаметр апертуры, так и фокусное расстояние.

При выборе материала целесообразно обеспечить такой показатель преломления, который позволил бы получить профиль линзы, близкий к плоско-выпуклому при сохранении требуемых геометрических размеров. На рис. 3 представлены зависимости кривизны поверхности и отношения  $(D_{расч}/D_{исх})$  от показателя преломления материала линзы при  $\alpha=20^\circ$ . Показатель кривизны определяется выражением  $\Pi_{кр} = (F - F_0)/F$ , (12), где  $F_0$  —

расстояние от линии, соединяющей фокусные точки, до линии, соединяющей края линзы. Анализ зависимостей показывает, что наиболее приемлемыми являются показатели преломления, близкие к значению  $n=1,6$ . В диапазоне миллиметровых волн из известных материалов такой показатель преломления имеет полистирол.

В качестве примера использования изложенного метода конструктивного синтеза бифокальной линзы был проведен расчет профиля со следующими значениями исходных параметров: угол сканирования  $\alpha=20^\circ$ , показатель преломления  $n=1,59$  (полистирол), отношение  $(F/D=1,0)$  при  $D=292$  мм,  $a=120$  мм,  $T=46$  мм. Результирующий профиль, имеющий низкий показатель кривизны  $\Pi_{кр}=0,08$ , представлен на рис. 4.

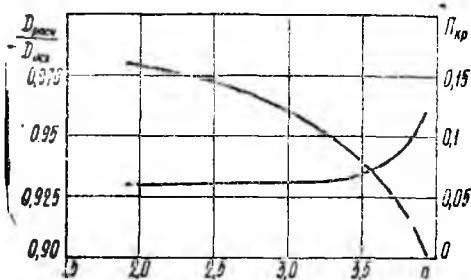


Рис. 3

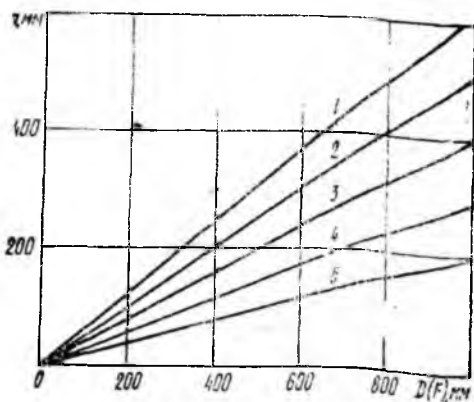


Рис. 2

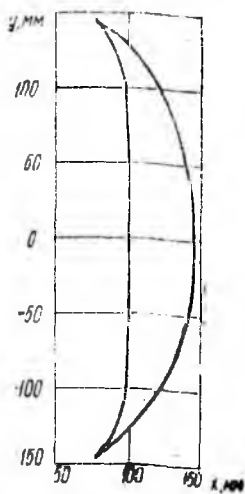


Рис. 4

Таким образом, предложенный численный метод позволяет осуществить конструктивный синтез бифокальной линзы по требуемым исходным параметрам:

FTN,B

```

PROGRAM BIFOK
COMMON/INP/AF,ALR,RC1,BL,C
COMMON/OUT/X(200),Y(200),GAM(200),BET(200)
READ(1,*)F
READ(1,*)AL
ALR=AL*0.017453
AF+SQRT(F**2*(TAN(ALR)**2+0.25*SIN(ALR)**2))
WRITE(6,106)AF
106 FORMAT(5X,"A=",G12.5)
READ(1,*)AF
READ(1,*)RC1
C=F**2
BL=AF/SIN(ALR)+(C-F)*COS(ALR)
X(1)=F
Y(1)=0.
GAM(1)=0.
K=1
3 L=K+2
CALL CHET(L)
K=K+1
M=L+1
CALL NECHET(L,FR)
WRITE(6,100)L,X(L),Y(L),M,X(M),Y(M)
100 FORMAT(15,2X,2G12.6,2X,15,2X,2G12.6)
Q=SIN(ALR)+SIN(GAM(L))
IF(Y(M).GT.Y(M-2)) GOTO 3
D=Y(M-2)**2,
T0=X(2)-F
PKR=(F-X(L))/F
AP=D/F
WRITE(6,102)F,AF,D,RC1,T0,AL,PKR,AP
102 FORMAT(/2X,"F=",G12.5,2X,"A=",G12.5,2X,"D=",G12.5,2X,"N=",G12.5,
*2X,"T=",G12.5,2X,"ALFA =",G12.5,2X,"PKR=",G12.5,2X,"AP=",G12.5)
END
SUBROUTINE CHET(L)
COMMON/INP/AF,ALR,RC1,BL,C
COMMON/OUT/X(200),Y(200),GAM(200),BET(200)
DIMENSION RF(200),RC(200),SIG(200),T(200),BET0(200),W(200)
RF(L)=SQRT((AF+Y(L-1))*(AF+Y(L-1))+X(L-1)*X(L-1))
RC(L)=(C-X(L-1))*COS(ALR)-Y(L-1)*SIN(ALR)
SIG(L)=ATAN(AF+Y(L-1))/X(L-1)
BET0(L)=SIN(SIG(L)-GAM(L-1))/RC1
BET(L)=ATAN(BET0(L)/SQRT(1.-BET0(L)**2))
T(L)=(BL-RF(L)-RC(L))/(RC1-COS(BET(L)+GAM(L-1)-ALR))
W(L)=ABS(T(L))
X(L)=X(L-1)+T(L)*COS(BET(L)+GAM(L-1))
Y(L)=Y(L-1)+T(L)*SIN(BET(L)+GAM(L-1))
GAM(L)=ATAN((RC1*SIN(BET(L)+GAM(L-1))-SIN(ALR))/
*(RC1*COS(BET(L)+GAM(L-1))-COS(ALD)))
RETURN
END
SUBROUTINE (NECHET(L,FR)
COMMON/INP/AF,ALR,RC1,BL,C
COMMON/OUT/X(200),Y(200),GAM(200),BET(200)
DIMENSION RF(200),RC(200),SIG(200),T(200),BET0(200),
*W(200),TET(200),CR(200),T1(200),TNT(200)
RF(L+1)=SQRT((AF-Y(L))* (AF-Y(L))+X(L)*X(L))
RC(L+1)=(C-X(L))*COS(ALR)+Y(L)*SIN(ALR)
BET0(L+1)=SIN(GAM(L)+ALR)/RC1
BET(L+1)=ATAN(BET0(L+1)/SQRT(1.-BET0(L+1)**2))

```

```

TET(L+1)=ATAN((AF-Y(L))/X(L))
TNT(L+1)=BET(L+1)-GAM(L)-TET(L+1)
CR(L+1)=BL-RC(L+1)
T1(L+1)=CR(L+1)*2-2.*CR(L+1)*RC1*RF(L+1)COS(TNT(L+1))+
*(RC1*2-SIN(TNT(L+1))*2)*RF(L+1)*2
T(L+1)=(CR(L+1)*RC1-RF(L+1)*COS(TNT(L+1))-SQRT(T1(L+1)))/
*(RC1*2-1.)
W(L+1)=ABS(T(L+1))
X(L+1)=X(L)-T(L+1)*COS(BET(L+1)-GAM(L))
Y(L+1)=Y(L)+T(L+1)*ABS(SIN(BET(L+1)-GAM(L)))
SIG(L+1)=ATAN((AF-Y(L+1))/X(L+1))
GAM(L+1)=ATAN((RC1*SIN(BET(L+1)-GAM(L))-SIN(SIG(L+1)))/
*(COS(SIG(L+1))-RC1*COS(BET(L+1)-GAM(L))))
RETURN
END
END□

```

**Список литературы:** 1. Андреев Г. А., Потапов А. А. Формирование радиолокационных изображений на сантиметровых и миллиметровых волнах // Зарубеж. радиоэлектроника. 1989. № 6. С. 3—34. 2. Кинбер Б. Е., Классен В. И., Стеблин В. И. Теория трехмерных бифокальных антенн // Радиотехника и электроника. 1983. Т. 28, № 8. С. 1509—1517. 3. Зелкин Е. Г., Петрова Р. А. Линзовые антенны. М., 1974. 280 с. 4. Peebles A. L. A Dielectric Bifocal Lens for Multibeam Antenna Application // IEEE Trans. on Antennas and Propagation. 1988. Vol. 36, № 5. P. 599—606.

*Поступила в редколлегию 12.02.90*