

АЛГОРИТМ РАСЧЕТА ФАЗОВОГО КОРРЕКТОРА ТРАНСФОРМАТОРА ДИАМЕТРА КВАЗИОПТИЧЕСКОГО ВОЛНОВОДА

А. И. Горошко

*Институт радиофизики и электроники им. А. Я. Усикова НАН Украины,
12, ул. Ак. Проскуры, Харьков, 61085, Украина
E-mail: a_goroshro@ire.kharkov.ua*

Изложен алгоритм расчета рассеивающих апланатических линз, в котором использованы принципы графического метода построения профилей фокусирующих линз. Отмечены основные факторы, влияющие на точность расчетов. Необходимость в рассеивающих линзах возникает при создании устройств для соединения квазиоптических волноводов, отличающихся рабочим диаметром, с малыми потерями основной волны. Ил. 3. Библиогр.: 3 назв.

Ключевые слова: рассеивающая апланатическая линза, квазиоптический волновод.

При изменении рабочего диаметра волновода важной задачей является сохранение характера распределения поля в поперечном сечении при осуществлении фазовой коррекции. Известны методы расчета линз для формирования требуемого распределения поля на апертуре антенны [1, 2]. В нашем случае стоит задача сохранить характер распределения неизменным. Таким свойством обладают линзы (называемые апланатическими), в которых обеспечивается выполнение требований (условия синусов) Аббе [1].

В [3] был предложен графический метод построения профилей апланатических зеркальных и линзовых антенн, преобразующих сферический фронт излучения точечного облучателя, расположенного в фокусе зеркальной (линзовой) антенны, в плоский фронт на выходе зеркала (линзы). Условие синусов выполняется, если все падающие на линзу из фокуса и соответствующие им выходящие из линзы лучи пересекаются на окружности, центр которой лежит в фокусе системы. В нашем случае на линзу падает плоский фронт, который необходимо преобразовать в расходящийся, т. е. необходимо построить профиль линзы с отрицательным фокальным расстоянием.

Рассмотрим, как графический метод, предложенный в [3] распространить на случай определения профиля рассеивающей линзы. Как показано на рис. 1, падающие и соответствующие им выходящие лучи должны пересекаться на окружности, центр которой лежит в фокусе оптической системы (точка F). Фокусное расстояние f .

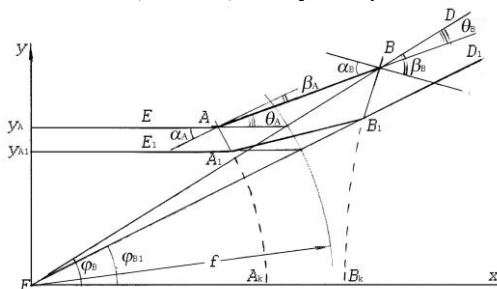


Рис. 1. Построение профилей рассеивающей апланатической линзы

В диэлектрической линзе коэффициент преломления $n > 1$ и точку A следует выбирать внутри указанной окружности на падающем на линзу луче EA . Точку B - на выходе из линзы, - на луче FBD выходящем из фокуса F . Расстояние вдоль оси линзы между точками A и B определяет толщину линзы на границе волновода.

При заданном значении коэффициента преломления линзы n и выбранных положениях точек A и B , используя закон преломления, можно определить положения элементарных преломляющих поверхностей (в точках A и B), обеспечив требуемый путь луча в виде ломаной $EABD$. Значения угла падения α_A в точке A и угла преломления β_B в точке B приобретают в нашем случае, соответственно, следующий вид:

$$\alpha_A = \arctg \frac{n \sin \theta_A}{n \cos \theta_A - 1} \quad (1)$$

$$\beta_B = \arctg \frac{n \sin \theta_B}{n \cos \theta_B - 1} \quad (2)$$

где θ_A - меньший угол между прямыми EA и AB , а θ_B - меньший угол между прямыми AB и BD .

Углы падения α_A и преломления, а следовательно, и нормали к элементарным преломляющим поверхностям в точках A и B , можно построить графическим методом.

Рассмотрим на рис. 2 построение нормали к преломляющей поверхности в точке A .

Строим единичную окружность с центром в точке A и на прямой AB откладываем отрезок AN , длина которого равна n . Из точки N опускаем перпендикуляр на прямую EA (точка P). Соединяем точку N с точкой M , которая получается в результате пересечения единичной окружности с прямой EA . Как видно из рис. 2 и формулы (1) угол NMP равен углу падения α_A . Проведем через точку A прямую $M'AN'$ парал-

лельно MN . Получаем нормаль к профилю преломляющей поверхности в точке A . Таким образом, положение элементарной преломляющей поверхности в точке A определено.

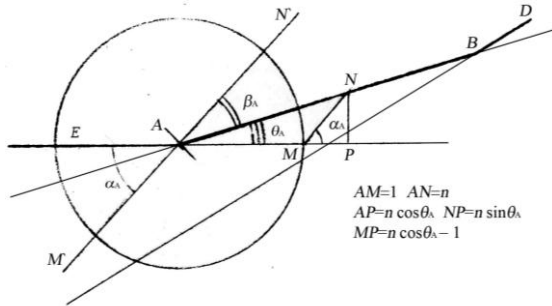


Рис. 2. Графическое построение нормали $M'N'$ и угла падения α_A в точке A .

Построение нормали в точке B показано на рис. 3.

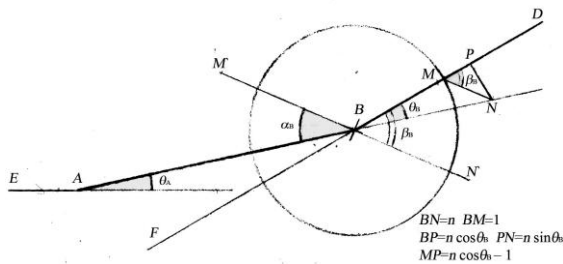


Рис. 3. Графическое построение нормали MN' и угла преломления β_B в точке B

Строим единичную окружность с центром в точке B и на продолжении прямой AB откладываем отрезок BN , длина которого равна n . Из точки N опускаем перпендикуляр на прямую BD (точка P). Соединяем точку N с точкой M . Как видно из рис. 3. и формулы (2) угол NMP равен углу преломления β_B .

Во всех остальных точках $A_1, A_2, A_k, B_1, B_2, B_k$, определение углов падения и преломления производится так же, как и в точках A и B . В результате построения получим приближенную форму профилей преломляющих поверхностей апланатической линзы. В отличие от построения профиля собирающей линзы [3], при построении профиля рассеивающей линзы для расчетных точек освещенной стороны определяются углы падения, а для теневой - углы преломления.

Касательные к поверхности линзы в точках A и B перпендикулярны к прямым $M'N'$ в этих точках. Продолжая касательные к профилям линзы в точках A и B до пересечения в точках A_1 и B_1 со следующими, падающим на линзу лучом и соответствующим ему лучом, выходящим из

фокуса F , получим траекторию соседнего луча. Определив в точках A_1 и B_1 углы падения и преломления, с помощью формул (1) и (2) или путем геометрического построения, получим касательные к профилям линзы в точках A_1 и B_1 . Для нахождения положения последующих точек профиля линзы продолжим построение таким же образом.

В результате построения получим ломаные $AA_1A_2A_3...A_k, BB_1B_2B_3...B_k$, аппроксимирующие профиль линзы, которая удовлетворяет как условию синфазности, так и условию синусов. Это обеспечит минимальное искажение характера поля при прохождении линзы. Очевидно, аппроксимация профиля линзы будет тем точнее, чем меньше шаг Δy .

Координаты и профиль линзы в точках A_k и B_k определяются следующими рекуррентными соотношениями:

$$x_{A_k} = x_{A(k-1)} + \Delta y \operatorname{tg} \alpha_{A(k-1)};$$

$$y_{A_k} = y_{A(k-1)} - \Delta y;$$

$$x_{B_k} = x_{B(k-1)} - y_{B(k-1)} \left(1 - \frac{\operatorname{tg} \varphi_{B_k}}{\operatorname{tg} \varphi_{B(k-1)}} \right) \times \frac{\cos \varphi_{B_k} \sin(\beta_{B(k-1)} - \varphi_{B(k-1)})}{\cos(\beta_{B(k-1)} - \varphi_{B(k-1)} + \varphi_{B_k})};$$

$$y_{B_k} = y_{B(k-1)} - y_{B(k-1)} \left(1 - \frac{\operatorname{tg} \varphi_{B_k}}{\operatorname{tg} \varphi_{B(k-1)}} \right) \times$$

$$\frac{\cos \varphi_{B_k} \cos(\beta_{B(k-1)} - \varphi_{B(k-1)})}{\cos(\beta_{B(k-1)} - \varphi_{B(k-1)} + \varphi_{B_k})},$$

где θ_{A_k} - меньший угол между падающим и преломленным лучами в точках A_k равен

$$\theta_{A_k} = \operatorname{arctg} \frac{y_{B_k} - y_{A_k}}{x_{B_k} - x_{A_k}};$$

α_{A_k} - угол падения в точках A_k

$$\alpha_{A_k} = \operatorname{arctg} \frac{n \sin \theta_{A_k}}{n \cos \theta_{A_k} - 1};$$

угол преломления в точках A_k $\beta_{A_k} = \alpha_{A_k} - \theta_{A_k}$; проверка правильности вычисленных углов α_{A_k}

$$\text{и } \beta_{A_k} \frac{\sin \alpha_{A_k}}{\sin \beta_{A_k}} = n;$$

угол, под которым из фокуса линзы F видна точка B_k $\varphi_{B_k} = \operatorname{arc} \sin \frac{y_{A_k}}{f}$;

меньший угол между падающим и преломленным лучами в точках B_k $\theta_{B_k} = \varphi_{B_k} - \theta_{A_k}$;

угол преломления в точках B_k

$$\beta_{Bk} = \arctg \frac{n \sin \theta_{Bk}}{n \cos \theta_{Bk} - 1};$$

угол падения в точках B_k $\alpha_{Bk} = \beta_{Bk} - \theta_{Bk}$;

проверка правильности вычисленных углов α_{Bk}

и β_{Bk} $\frac{\sin \beta_{Bk}}{\sin \alpha_{Bk}} = n$.

Система координат и обозначения углов показаны на рис. 1-3.

Профили поверхностей линзы существенно зависят от значения коэффициента преломления (см. (1) и (2)). Поэтому значение n желательно задавать с точностью до четвертого знака после запятой.

Положение точек A и B зависит от конструктивных параметров. Точка A располагается на падающем на линзу луче, дальнем от оси линзы.

Поэтому $y_A = \frac{D_1}{2}$ (D_1 - диаметр линзы). Точка B располагается на соответствующем ему, уходящем из линзы луче; φ_B - угол, образованный пересечением продолжения этого луча с осью линзы. Эти параметры определяют фокусное расстояние линзы $f = \frac{D_1}{2 \sin \varphi_B}$.

При выборе положения точек A и B на соответствующих лучах приближение точки A к окружности радиусом f приведет не только к возможности уменьшения толщины линзы (а, следовательно, к уменьшению потерь в ней), но и к усилению асимметрии преломляющих поверхностей линзы. Возрастет вероятность того, что расчет не даст положительного результата ($\beta_{B(k-1)}$ окажется меньше чем $\varphi_{B(k-1)}$, что будет свидетельствовать об изменении знака кривизны поверхности линзы). Целесообразно сместить точку A влево на величину, равную половине предполагаемой толщины линзы от точки пересечения луча на $\frac{D_1}{2}$ с окружностью радиусом f . При этом x_A будет равно $x_A = f \cos(\arcsin \frac{D_1}{2f}) - \frac{m}{2}$, а $x_B = x_A + m$, где m заданная толщина линзы на стенке волновода $y_B = x_B \operatorname{tg} \varphi_B$.

После определения профиля линзы необходимо убедиться в том, что толщина линзы на оси волновода не является резонансной на рабочей частоте.

Общим недостатком расчета по рекуррентным соотношениям является суммирование ошибок в процессе расчета.

Выводы. Полученные рекуррентные соотношения в сочетании с отмеченными основными факторами, влияющими на точность расчетов, позволяют определить профиль рассеивающей апланатической линзы с достаточной для практики точностью.

1. Зелкин Е. Г., Петрова Р. А. Линзовые антенны. - М.: Сов. радио, 1974. - 278 с.
2. Корнблит С. СВЧ оптика. Оптические принципы в приложении к конструированию СВЧ антенн / Пер. с англ. под ред. О. П. Фролова. - М.: Связь, 1980. - 360 с.
3. Пономарев Н. Г. Графический метод построения профилей апланатических антенн // Радиотехника и электроника. - 1961. - 6, № 2. - С.214-220.

ALGORITHM CALCULATION OF PHASE CORRECTOR TRANSFORMER OF QUASI OPTICAL WAVEGUIDE DIAMETER

A. I. Goroshko

Diverging aplanatic lens calculation algorithm has been described. In it has used principals of graphical method development of profiles of focusing lens. Main factors affected on accuracy of calculation have shown. Diverging lens are needed at the development of a devices for connecting quasi-optical waveguides which has working diameter with low losses of primary wave.

Key words: aplanatic lens, quasi-optical waveguide

АЛГОРИТМ РОЗРАХУНКУ ФАЗОВОГО КОРЕКТОРА ТРАНСФОРМАТОРА КВАЗІОПТИЧНОГО ХВИЛЕВОДА

A. I. Горошко

Викладено алгоритм розрахунку розсіювальних апланатичних лінз, в якому використано принципи графічного методу побудови профілів фокусуєчих лінз. Відзначені основні фактори, які визначають точність розрахунків. Потреба в розсіювальних лінзах виникає при створенні пристроїв для сполучення квазіоптичних хвилеводів, які відрізняються робочим діаметром та які забезпечують малі втрати основної хвилі.

Ключові слова: розсіювальна апланатична лінза, квазіоптичний хвилевід.

Рукопись поступила 19 апреля 2007 г.