

Коррекция диаграммы направленности излучения клинотрона с распределенным квазиоптическим выводом энергии

Е. Е. Лысенко, О. Ф. Пишко, С. А. Чурилова

Радиоастрономический институт НАН Украины
61002, Харьков, ул. Краснознаменная, 4

Статья поступила в редакцию 14 марта 2000 г.

В работе показана возможность коррекции диаграммы направленности излучения клинотрона с распределенным квазиоптическим выводом энергии с помощью диэлектрических линз и согласования излучения этого прибора с квазиоптической линией передачи. Измерены потери мощности на корректирующих линзах и при согласовании с лучеводом.

В роботі показано можливість корекції діаграми спрямованості випромінювання клинотрона з розподіленим квазиоптичним виводом енергії за допомогою діелектричних лінз та узгодження випромінювання цього приладу з квазиоптичною лінією передачі. Виміряно втрати потужності на коректуючих лінзах та при узгодженні з променеводом.

Клинотрон с распределенным квазиоптическим выводом энергии – электровакуумный прибор с длительным взаимодействием типа лампы обратной волны, в котором замедляющая система (ЗС) является излучающей апертурой, формирующей диаграмму направленности (ДН) излучения с одним основным лепестком в плоскости, перпендикулярной ее поверхности [1-3]. Это позволяет использовать такой прибор и как эффективный источник электромагнитных колебаний миллиметрового и субмиллиметрового диапазонов длин волн, и как активную антенну с электрическим сканированием ДН излучения. Совмещение в одном приборе генератора и антенны вызывает определенные трудности в получении оптимальных характеристик всего устройства в целом, так как необходимо одновременно обеспечить оптимальные условия для взаимодействия электронного потока с полем ЗС и формирования ДН заданного вида. Эти требования часто являются противоречивыми. Так, например, для получения симметричной ДН необходимо, чтобы размеры излучающей апертуры были примерно одинаковы в Е- и Н-плоскостях. В то же время для уменьшения пускового тока прибора и увеличения выходной мощности необходимо использовать ЗС, длина которых в несколько раз превышает ширину, в результате чего формируется несимметричная ДН излучения с цилиндрическим фазовым фронтом. В Н-плоскости ДН значительно шире, чем в Е-плоскости (рис. 1). В данной работе рассматриваются вопросы коррекции ДН излучения клинотрона с распределенным квазиоптическим выводом энергии и канализации излучения линиями передачи.

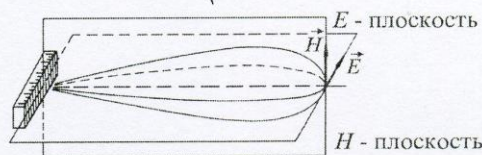


Рис. 1. Схематическое изображение ДН излучения клинотрона

В коротковолновой части миллиметрового и в субмиллиметровом диапазонах длин волн для канализации электромагнитного излучения широко используются квазиоптические линии передачи. Одной из разновидностей таких линий являются полые диэлектрические волноводы – лучеводы [4], представляющие собой цилиндрическую трубу из фенюпласта с внутренним диаметром 20 мм, помещенную в экранирующую металлическую трубу. Диаметр воздушного канала внутри диэлектрика значительно превышает рабочую длину волны, что приводит к ослаблению связи распространяющейся СВЧ волны с диэлектриком и обеспечивает распространение низших типов волн лучевода с малым затуханием и фазовым фронтом близким к плоскому. Для согласования клинотрона с распределенным квазиоптическим выводом энергии с такой линией передачи необходимо преобразовать его ДН в симметричную с плоским фазовым фронтом и угловыми размерами, соответствующими ДН излучения открытого конца лучевода. Очевидно, что согласование в дальней зоне не рационально ни кон-

структивно, ни энергетически, поэтому его следует осуществлять в ближней зоне излучения генератора.

Одним из возможных вариантов является коррекция ДН излучения с помощью линз, выполненных из однородного диэлектрика. В зависимости от требований допускается использование как наружной системы линз, так и линз, расположенных в вакуумной оболочке прибора. При выборе типа линз и их расчете необходимо учитывать следующее: 1) при "качании" основного лепестка целесообразно применять линзы специального профиля, чтобы избежать недопустимых фазовых искажений при смещении облучателя; 2) при согласовании с линией передачи диаметр пятна поля после коррекции не должен превышать диаметр пятна поля лучевода, тогда мощность будет передаваться с минимальными потерями; 3) при размещении линзы в вакуумной оболочке прибора для изготовления линзы должен использоваться вакуумный материал.

Экспериментальные исследования проводились в двухмиллиметровом диапазоне длин волн. Исследование характеристик клинотрона с распределенным квазиоптическим выводом энергии показало, что угловые размеры ДН излучения по нулевому уровню мощности составляют ~ 53° в Н-плоскости и ~ 12° в Е-плоскости, что соответствует ширине ЗС 5 мм и длине 20 мм, соответственно. В полосе перестройки прибора порядка 5% угол излучения изменяется в пределах ±10° от нормали к поверхности ЗС [3]. При таком изменении угла для коррекции достаточно использовать апланатические линзы. В общем случае апланатические линзы должны иметь специальную форму профилей освещенной и теневой сторон. Однако расчет [5,6] показывает, что для случая коэффициента преломления материала $n = 1.6$ профиль сторон линзы значительно упрощается. Если одну сторону линзы сделать плоской, то профиль другой стороны может быть выполнен в виде дуги окружности. Подробно исследовалась возможность формирования симметричной ДН. Рассматривались два варианта коррекции:

1. Две цилиндрические линзы, расположенные друг за другом так, что их образующие взаимно перпендикулярны, корректируют последовательно диаграмму в Н- и Е-плоскости и формируют квазиплоский фронт излучения прибора.

2. Диаграмма в Н-плоскости корректируется с помощью цилиндрической линзы так, чтобы ширина в обеих плоскостях была одинакова, а затем с помощью сферической линзы формируется квазиплоский фронт.

Используемые в экспериментах линзы представлены на рис. 2. L_1 и L_2 – цилиндрические линзы, предназначенные для коррекции ДН в Н- и Е-плоскости соответственно, L_3 – сфери-

ческая линза. Линзы изготавливались из фторопласта-4 ($n = 1.44$). Был проведен расчет плоско-выпуклых апланатических линз, а затем выпуклая сторона линзы аппроксимирована дугой окружности. Радиус кривизны для линзы L_1 $R_{кр} = 15$ мм, фокусное расстояние $f = 34$ мм и толщина $h = 10$ мм; для L_2 $R_{кр} = 25$ мм, $f = 55$ мм, $h = 5$ мм. Линза L_3 рассчитывалась для случая $f/D = 1$ (D – раскрыв линзы), $f=D=25$ мм, $h \sim 6.0$ мм. Для определения вида и ширины ДН прибора в Е- и Н-плоскостях и влияния на нее линз по методике, описанной в [3], на различных расстояниях от излучающей апертуры снимались разрезы поля с корректирующими линзами и без них. Разрезы поля в обоих случаях имели вид, аналогичный приведенному в [3], т. е. представляли собой гладкие кривые с одним максимумом, что свидетельствует о формировании ДН с одним основным лепестком. На рис. 3 представлена

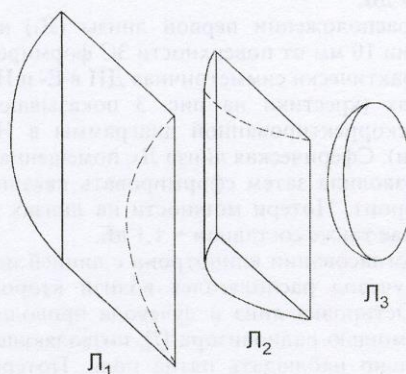


Рис. 2. Вид корректирующих апланатических линз

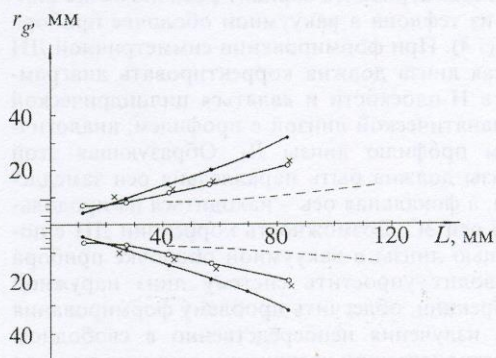


Рис. 3. Экспериментальная зависимость ширины ДН излучения от расстояния до ЗС до и после коррекции. (•) – ширина ДН в Н-плоскости до коррекции, (◦) – в Е-плоскости до коррекции, (×) – в Н-плоскости после коррекции цилиндрической линзой, (---) – ширина ДН в Е- и Н-плоскостях после коррекции двумя взаимно перпендикулярными цилиндрическими линзами

ширина ДН r_g до и после коррекции, L – расстояние до ЗС. Ширина ДН излучения до коррекции в Н-плоскости показана на рисунке точками, в Е-плоскости – кружочками. В случае коррекции ДН при помощи двух цилиндрических линз L_1 располагалась на расстоянии $L = 25$ мм от поверхности ЗС так, что образующая линзы была параллельна оси замедления. При этом в Н-плоскости формировался практически не расходящийся фронт волны, в Е-плоскости L_1 слабо влияла на вид и ширину ДН. Линза L_2 , расположенная за L_1 так, что ее образующая перпендикулярна оси замедления, корректировала ДН в Е-плоскости. На расстоянии $h \sim 114$ мм от поверхности ЗС ДН в обеих плоскостях имела одинаковую ширину и квазиплоский фронт (пунктир на рис. 3). Потери мощности на линзах оценивались путем измерения мощности генерации квазиоптическим калориметром непосредственно на выходе клинотрона и после прохождения линз и составили ~ 1.1 дБ.

При расположении первой линзы (L_1) на расстоянии 10 мм от поверхности ЗС формировалась практически симметричная ДН в Е- и Н-плоскостях (крестики на рис. 3 показывают ширину скорректированной диаграммы в Н-плоскости). Сферическая линза L_3 , помещенная за L_1 , позволила затем сформировать квазиплоский фронт. Потери мощности на линзах в этом случае также составили ~ 1.1 дБ.

При согласовании клинотрона с линией передачи лучевод располагался вблизи второй линзы. Юстировка линз и лучевода проводилась с помощью радиовизора [7], позволяющего визуально наблюдать пятна поля. Потери мощности при согласовании клинотрона с лучеводом длиной 100 мм составляли $\sim 3-4$ дБ.

Рассматривался вариант расположения линзы из тефлона в вакуумной оболочке прибора (рис. 4). При формировании симметричной ДН такая линза должна корректировать диаграмму в Н-плоскости и являться цилиндрической апланатической линзой с профилем, аналогичным профилю линзы L_1 . Образующая этой линзы должна быть параллельна оси замедления, а фокальная ось – находиться на продольной оси ЗС. Возможность коррекции ДН с помощью линзы в вакуумной оболочке прибора позволит упростить систему линз наружной коррекции, облегчить проблему формирования ДН излучения непосредственно в свободном пространстве при увеличении длины волны или изменении конструкции прибора, при котором увеличивается расстояние между поверхностью ЗС и вакуумным уплотнением, прозрачным для СВЧ излучения [3].

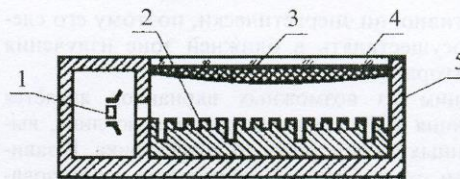


Рис. 4. Схема прибора с линзой: 1 – электронно-оптическая система, 2 – замедляющая система, 3 – линза, 4 – вакуумное уплотнение (слюда), 5 – корпус

Таким образом, проведенные исследования показывают, что задача формирования ДН заданного вида может быть решена путем коррекции ДН прибора при помощи системы линз необходимой формы и вида. В соответствии с требованиями к виду ДН рассчитывается кривизна поверхности, фокусное расстояние и толщина линз.

Литература

1. Клинотрон. Под ред. А. Я. Усикова. Киев, Наукова думка, 1992, 200 с.
2. S. Churilova, O. Pishko, K. Schuenemann, and D. Vavriv. Conference digest. Twenty fourth international conference on infrared and millimeter waves. Monterey, California, September 6-10, 1999, USA, TI-E10.
3. Е. Е. Лысенко, О. Ф. Пишко, С. А. Чурилова. Радиофизика и радиоастрономия. 1999, 4, №1, с. 13-19.
4. Электроника и радиофизика миллиметровых и субмиллиметровых радиоволн. Под ред. А. Я. Усикова. Киев, Наукова думка, 1986, 368 с.
5. А. П. Дорохов. Расчет и конструирование антенно-фидерных устройств. Харьков, Из-во ХГУ, 1960, 450 с.
6. Е. Г. Зелкин, Р. А. Петрова. Линзовые антенны. Москва, Сов. радио, 1974, 280 с.
7. А. П. Бажулин, Е. А. Виноградов, Н. А. Ирисова, С. А. Фридман. Письма в ЖЭТФ. 1968, 8, в. 4, с. 261-263.

Correction of Radiation Directional Pattern of the Clinotron with Distributed Quasioptical Power Output

Ye. Ye. Lysenko, O. F. Pishko, S. A. Churilova

The correction possibility of the radiation directional pattern of the clinotron with distributed quasioptical power output by means of the dielectric lens is shown in the work. The questions of matching the clinotron radiation with the quasioptical transmission line are also studied. The power losses in the correct lenses and on the matching are measured.