

УДК 621.372

С.В. Костылев (5 курс, каф.РФ); Э.Ф. Зайцев, к.т.н., проф.

МЕТОДЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ИНТЕГРАЛЬНЫХ ЛИНЕЙНЫХ ИФАР С РУПОРОМ

ABSTRACT: Investigation of the new modification of linear IPA is presented. The theoretical model IPA with metal horn is proposed. Calculations of an electric field in the port of the horn, pattern diagram of the antenna at different frequencies and ferrite magnetization using the approximate method of waveguide propagation in the horn are performed.

Работа посвящена анализу процессов в интегральной фазированной антенной решетке с ферритовым управлением (ИФАР). Основу ИФАР с рупором (рис.1) составляет структура феррит-диэлектрик-феррит (ФДФ): одна из ферритовых пластин (нижняя) с наружной стороны металлизирована. Ферритовые слои намагничиваются навстречу друг другу в направлении касательном поверхности слоев и перпендикулярном диэлектрической пластине. Для этого между ферритовыми слоями по обе стороны диэлектрической пластины расположены провода, через которые пропускается постоянный ток. Наиболее простым и дешевым видом является линейная ИФАР. Она обеспечивает электрическое сканирование лучом по одной угловой координате (в H -плоскости), ширина луча в этой плоскости составляет обычно $2-4^\circ$. По другой угловой координате (в E -плоскости) типичная ширина луча $80-100^\circ$. Часто требуется антенна с одномерным сканированием, но с более узким лучом в E -плоскости. Для этого используется линейная ИФАР с E -секториальным рупором, сужающим диаграмму направленности (ДН) до $15-20^\circ$, а при облучении такой антенной цилиндро-параболического зеркала - до $1-2^\circ$.

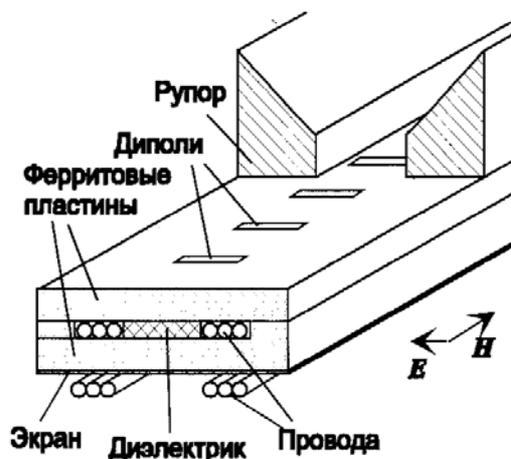


Рис. 1

Для этого используется линейная ИФАР с E -секториальным рупором, сужающим диаграмму направленности (ДН) до $15-20^\circ$, а при облучении такой антенной цилиндро-параболического зеркала - до $1-2^\circ$.

В существующей теории ИФАР без рупора [1] задача построения ДН состоит из нескольких частей (так называемая 'внутренняя' и 'внешняя' задачи). С целью исследования характеристик антенны в присутствии рупора в работе рассматривается 'внешняя' модельная задача, а именно: находится электрическое поле линейки диполей в горловине рупора (E_ϕ), через поле E_ϕ — распределение $E(x,y)$ и $H(x,y)$ на апертуре и на их основе — ДН антенны. В работе используется один из методов расчета ДН, в основе которого лежит предположение, что зависимость поля $E(x,y)$ от продольной координаты в раскрытии такая же как в горловине рупора.

Модель ИФАР с рупором представляет собой ФДФ-структуру, расположенную между вертикальными проводящими стенками, расстояние между параллельными стенками начального участка рупора $a < \lambda/2$ (рис. 2), так что в нем распространяющейся является только самая низшая мода T -типа, также предполагается, что высота этого участка h достаточна для затухания всех высших мод (т.е. по крайней мере $h > \lambda/2$), отражение от горловины рупора пренебрежимо мало. В использованной системе координат ось Z направлена параллельно стенкам, ось X — вдоль оси структуры, угол ϑ отсчитывается от оси Z в плоскости ZX .

Расчет поля E_ϕ проводился следующим образом: на основании известного распределения тока по диполям и условия по высоте начального участка было выполнено суммирова-

ние полей от всех диполей на высоте h над ФДФ-структурой в секторе углов, определяемом длиной антенны. Распространение электромагнитной волны в рупоре описывается в предположении, что зависимость электрического поля от координаты x на выходе рупора такая же, как на его входе (при $r=r_1$). Уменьшение амплитуды за счет расхождения волны в рупоре учитывается множителем $(r_1/R)^{1/2}$, наличие квадратичной фазовой ошибки по координате y — множителем $\exp(jk(R-r_1))$. ДН антенны рассчитывается по известной [2] формуле как интеграл от распределения поля на апертуре.

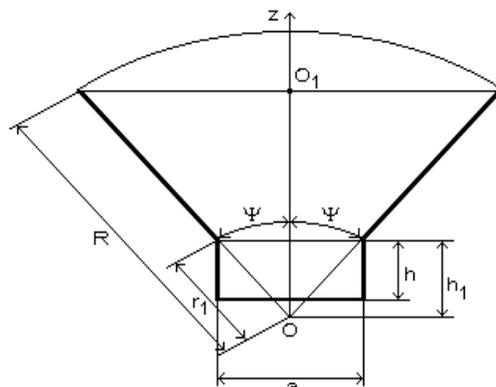


Рис. 2

Результаты. Расчеты проведены в среде Mat-Lab для типичной ФДФ-структуры в полосе частот 32...36 ГГц и намагниченностей $m=0...0,6$. На рис. 3 приведены ДН для $f=33$ ГГц, $m=0,2$ (параметр m равен отношению технической намагниченности феррита к намагниченности насыщения). Расчет ДН проводился двумя способами — по полю и по мощности. Вычисления показывают, что при переходе от обычной антенны к антенне с рупором положение луча в пространстве и его ширина в Н-плоскости не меняется, в то же время ширина луча в Е-плоскости существенно уменьшается (для $f=33$ ГГц, $m=0,2$ до 6°). На ДН, рассчитанных по мощности, происходит небольшое изменение уровня боковых лепестков; ДН, рассчитанные по полю, в области крайних боковых лепестков отличаются от ДН по мощности, что связано с учетом излучения диполей только в области апертуры.

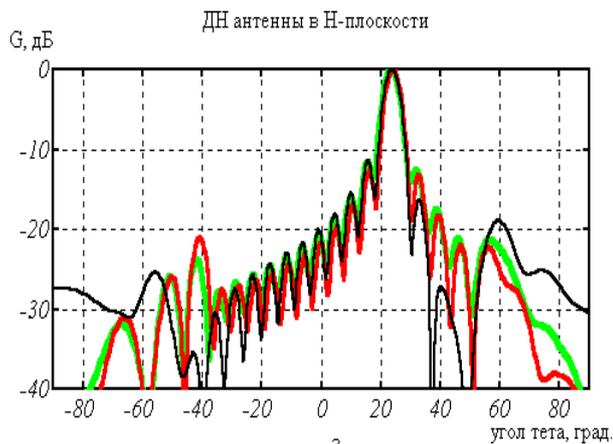


рис. 3

$f=33$ ГГц, $m=0,2$

- антенна с рупором, расчет по полю
- антенна с рупором, расчет по токам
- антенна без рупора

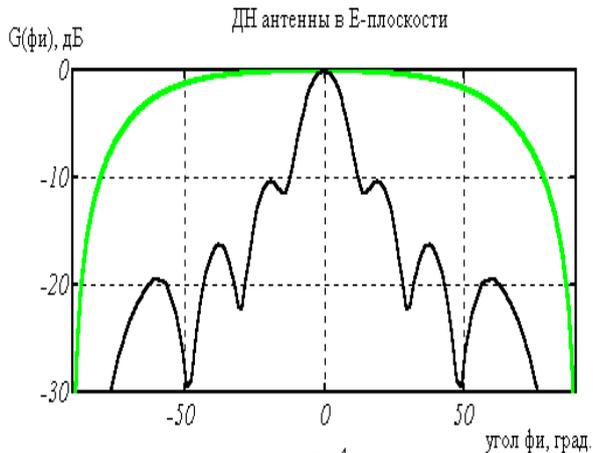


рис. 4

- антенна с рупором $f=33$ ГГц, $m=0,2$
- антенна без рупора

Заключение. В настоящей работе исследовано влияние рупора на характеристики ИФАР. Были получены формулы и численные результаты, показывающие, что применение рупора позволяет существенно уменьшить ширину луча антенны в Е-плоскости, и тем самым увеличить коэффициент усиления антенны. В то же время сохраняются все остальные характеристики ИФАР, такие как ширина луча в Н-плоскости, уровень боковых лепестков и другие.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Zaitsev E. F., Yavon Y. P., Komarov Y. A., Guskov A. B., Kanivets A. Yu. MM-wave Integrated Phased Arrays with Ferrite Control.// IEEE Transactions on Antennas and Propagation.
2. Фрадин А. Э. Антенно-фидерные устройства, М., Связь, 1977.