

Курсовой проект

Пояснительная записка

Тема: Расчет и проектирование ФАР

Делал:
Студент группы 04-318
Гаврилов Алексей Александрович

Принял:
Пономарев Леонид Ильич

Содержание.

Страниц

Содержание

1

Введение

2

Задание

Анализ задания

Электрическая схема ФАР

Расчет геометрии апертуры ФАР

Выбор размеров излучающей апертуры ФАР

Выбор размеров поперечного сечения прямоугольного волновода

Проверка максимальной пропускной мощности волновода

Вычисление шага расположения излучателей

Расчет длин рупорного излучателя

Расчет характеристик прямоугольного волновода.

Амплитудное распределение и диаграммы направленности

Амплитудное распределение

Диаграмма направленности одиночного излучателя

Диаграмма направленности ФАР

Расчет КНД

Расчет КПД, КУ

Расчет устройств ФАР

Расчет делителя мощности

Расчет ферритового фазовращателя

Расчет коаксиального волновода

Расчет коаксиально-волноводного сочленения

Список литературы

1. Введение.

Антенны СВЧ широко применяют в различных областях радиоэлектроники – связи, телевидении, радиолокации, радиоуправлении, радиоэлектронного противодействия, радиотелеметрии и др. Успешное развитие радиоастрономии и освоение космоса во многом связаны с достижениями антенной техники СВЧ. В последние годы намечаются новые области использования антенной техники СВЧ, например для передачи СВЧ-энергии на большие расстояния.

В диапазоне СВЧ антенны создают остронаправленное излучение с шириной луча в единицы и доли градусов и имеют коэффициент усиления, достигающий десятков и сотен тысяч. Это позволяет использовать антенну не только для излучения и приема радиоволн, но и для пеленгации (в радиолокации, навигации, радиоастрономии), борьбы с помехами, обеспечения скрытности работы радиосистемы и для других целей.

В настоящее время широкое распространение получили остронаправленные сканирующие антенны СВЧ. Сканирование позволяет осуществлять обзор окружающего пространства, сопровождение движущихся объектов и определение их угловых координат. Замена слабонаправленных или ненаправленных антенн (например, связанных) остронаправленными сканирующими антеннами позволяет получить не только энергетический выигрыш в системе благодаря возрастанию коэффициента усиления антенны, но и в ряде случаев ослабить взаимное влияние одновременно работающих различных радиотехнических систем, т. е. обеспечить электромагнитную совместимость этих систем. При этом также могут быть улучшены помехозащищенность, скрытность и другие характеристики системы. При механическом сканировании, которое выполняется путем поворота всей антенны, максимальная скорость движения луча в пространстве ограничена и при существующих в настоящее время скоростях летательных аппаратов оказывается недостаточной. Поэтому возникла необходимость в разработке новых типов антенн.

Применение фазированных антенных решеток (ФАР) для создания сканирующих остронаправленных антенн позволяет реализовать высокую скорость обзора пространства и способствует увеличению получаемой информации о распределении источников излучения или отражения электромагнитных волн в окружающем пространстве. Современные устройства СВЧ с электровакуумными или полупроводниковыми приборами и электрически управляемыми средами позволяют не только создать управляемое фазовое распределение в антенной решетке (т. е. осуществить электрическое сканирование), но и произвести первоначальную обработку поступающей информации (суммирование полей, преобразование частот, усиление и т. д.) непосредственно в высокочастотном тракте антенны.

Основные требования к антенным системам СВЧ. Антенно-фидерные устройства должны обеспечить соответствующие: направленность действия, энергетические, частотные и пеленгационные характеристики, характеристики управления и другие общетехнические, эксплуатационные и экономические характеристики.

Требования направленности: действия антенны определяют форму и ширину пространственной диаграммы направленности (в двух главных плоскостях), допустимый уровень боковых лепестков, коэффициент направленного действия (КНД) и поляризационную характеристику антенны. Поляризационная характеристика определяет: поляризацию излучаемых и принимаемых волн, допустимый коэффициент равномерности поляризационного эллипса при использовании волн с вращающейся поляризацией и допустимый уровень кросс-поляризационного излучения при линейной поляризации поля излучения.

Энергетические характеристики передающих и приемных антенн позволяют определить: мощность сигнала на входе приемного устройства; максимально допустимую мощность излучения, при которой обеспечиваются электрическая прочность и допустимый тепловой режим; мощность, требуемую для управления положением луча в пространстве; мощность СВЧ потерь в антенно-фидерном тракте и мощность шумов в приемной антенне. Эти мощности характеризуются, как известно, следующими параметрами: коэффициентом усиления антенны,

коэффициентом полезного действия антенны и используемых устройств СВЧ, шумовой температурой, входным сопротивлением (согласованием в питающем тракте), добротностью антенны и допустимой напряженностью электрического поля.

Частотные свойства антенн характеризуются наибольшим изменением частоты излучаемого (принимаемого) сигнала, при котором основные параметры антенны не выходят за допустимые пределы. Требуемая полоса частот определяется условием одновременного излучения или приема антенной сигнала с заданным спектром частот. Диапазон частот определяется условием работы антенны последовательно во времени на различных частотах рабочего диапазона, т. е. допускает при изменении рабочей частоты радиосистемы синхронное изменение некоторых параметров антенны. Например, в антенной решетке с электрическим сканированием, чтобы сохранить направление луча в пространстве при изменении рабочей частоты передатчика, изменяется фазовое распределение вдоль решетки.

В антенно-фидерных устройствах предъявляется ряд требований к характеристикам сканирования в пространстве (таким, как сектор и время обзора, и др.), требования изменения направленных свойств в процессе работы и переключения антенны с передачи на прием. Эти требования и определяют необходимые характеристики управления антенно-фидерного устройства.

Антенные решетки. Направленность действия простейшей антенны — симметричного вибратора — невысокая. Для увеличения направленности действия уже на первых этапах развития антенной техники применяют систему вибраторов — антенные решетки (АР). В настоящее время антенные решетки наиболее распространенный класс антенн, элементами которых могут быть как слабонаправленные излучатели (металлические и шелевые вибраторы, волноводы, диэлектрические стержни, спирали и т. д.), так и остронаправленные антенны (зеркальные, рупорные и др.).

Применение антенных решеток обусловлено следующими причинами. Решетка из N -элементов позволяет увеличить приблизительно в N раз КИД (и соответственно усиление) антенны по сравнению с одиночным излучателем, а также сузить луч для повышения точности определения угловых координат источника излучения в навигации, радиолокации и других радиосистемах. С помощью решетки удается поднять электрическую прочность антенны и увеличить уровень излучаемой (принимаемой) мощности путем размещения в каналах решетки независимых усилителей высокочастотной энергии. Одним из важных преимуществ решеток является возможность быстрого (безынерционного) обзора пространства за счет качания луча антенны электрическими методами (электрического сканирования). Помехозащищенность радиосистемы зависит от уровня боковых лепестков (УБЛ) антенны, и возможности подстройки (адаптации) его по помеховой обстановке. Антенная решетка является необходимым звеном для создания такого динамического пространственно-временного фильтра или просто для уменьшения УБЛ.

В конструктивном отношении применение антенных решеток позволяет уменьшить продольные размеры (в направлении нормали к плоскости решетки) остронаправленных антенн, а следовательно, и занимаемые ими объемы и использовать для излучения наружную проводящую поверхность объекта.

2 Задание.

Рассчитать и спроектировать фазированную антенную решетку со следующими параметрами:

Длина волны	4,3	См
Требуемая полоса частот:	± 6	%
Ширина диаграммы направленности по уровню 0.707 поля		
В горизонтальной плоскости (θ_g)	7	Градусов
В вертикальной плоскости (θ_v)	45	Градусов
Мощность передатчика в импульсе	1	кВт
Допустимый уровень боковых лепестков	-17	Дб
Сектор электрического сканирования		
В горизонтальной плоскости	± 37	Градусов
В вертикальной плоскости	0	Градусов
Длина линии передач	1	Метр
Минимально-допустимая величина КБВ в линии передач	0.8	
Коэффициент эллиптичности поля в случае вращающейся поляризации	1	

2.1 Анализ задания.

2.2 Электрическая схема ФАР.

3. Расчет геометрии апертуры антенной решетки.

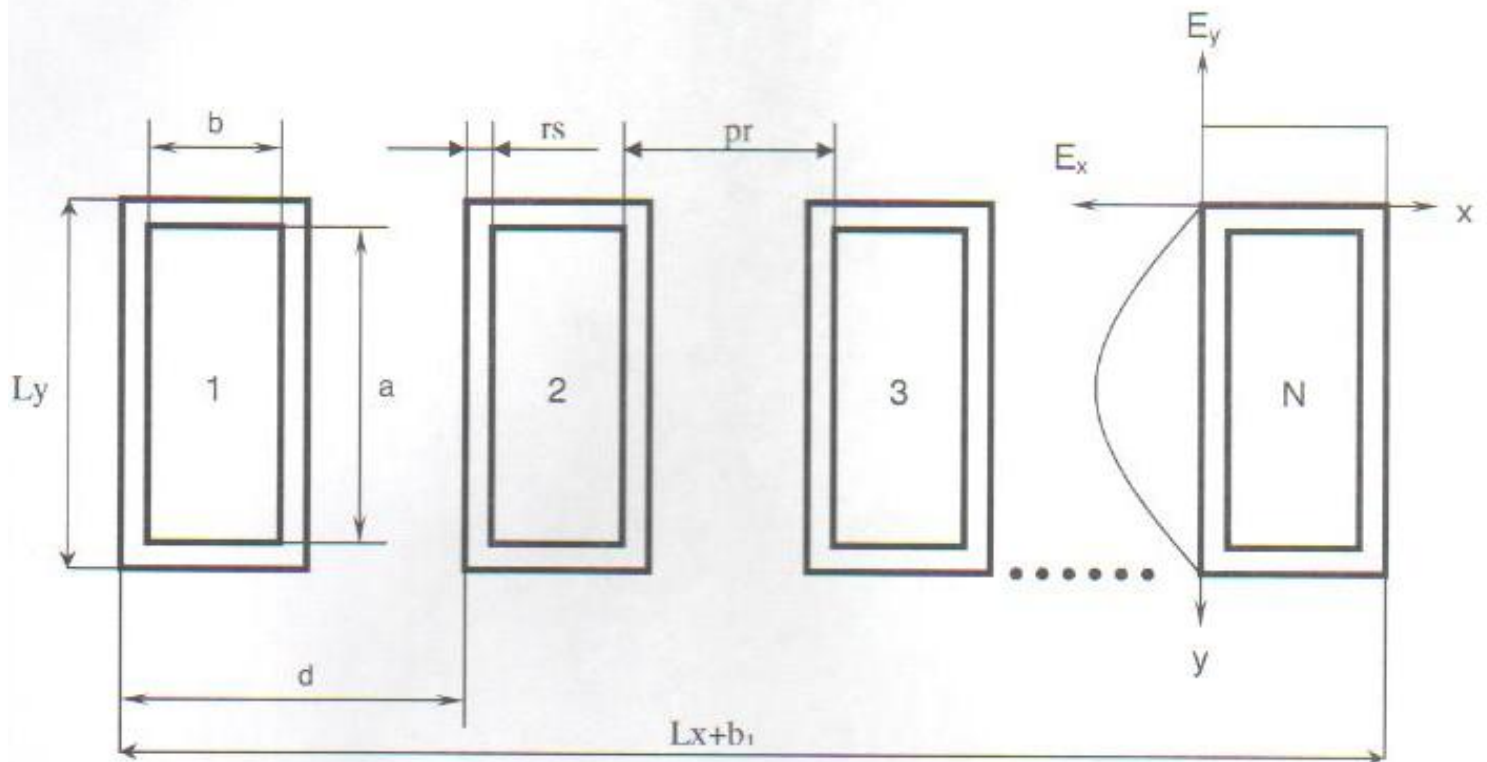


Рис.1. Излучающая апертура АР.

3.1 Выбор размеров излучающей апертуры:

L_x - размер решетки по горизонтали

L_y - размер решетки по вертикали

a_1 и b_1 - размеры волноводов с учетом толщины стенок

a_r и b_r - размеры излучателя (излучающего рупора).

r_s - толщина стенки

Зададимся уровнем боковых лепестков, возьмем меньшее значение, чем заданное на 6 дБ, т.е. -23 дБ. Для этого УБЛ по таблице 2.1 [1], выберем косинусоидальное распределение амплитуды тока, и соответствующие коэффициенты для расчета размеров ФАР.

По заданной ширине ДН в главных плоскостях определяем геометрические размеры антенной решетки:

$$\lambda := 43 \text{ (мм)} \quad \text{- рабочая длина волны}$$

$$\theta_v := 45 \quad \text{- ширина ДН на уровне половинной мощности в вертикальной плоскости}$$

$$\theta_g := 7 \quad \text{- ширина ДН на уровне половинной мощности в горизонтальной плоскости}$$

По УБЛ = -19 дБ находим по таблице 2.1 [1] соотношения для расчетов размеров:

$$n := 1 \quad \text{КИП} \quad v := 0.81$$

$$L_y := \frac{68.5 \cdot \lambda}{\theta_v} \quad L_y = 65.456 \quad \text{(мм)}$$

$$L_x := \frac{68.5 \cdot \lambda}{\theta_g} \quad L_x = 420.786 \quad \text{(мм)}$$

3.2 Выбор размеров поперечного сечения прямоугольного волновода.

Поперечное сечение прямоугольного волновода представлено на рис. 2. Для него критическая длина волны определяется соотношением

$$\lambda_{кр} = 2 / \sqrt{(m/a)^2 + (n/b)^2}$$

Решение однородных волновых уравнений может быть получено в виде:

Для Н-волн

$$H_z = H_0 \cos(m\pi x/a) \cos(n\pi y/b) e^{-ik_z z},$$

Для Е-волн

$$E_z = E_0 \sin(m\pi x/a) \sin(n\pi y/b) e^{-ik_z z},$$

где H_0 , E_0 - амплитуда соответствующих продольных составляющих. Индексы m и n определяют количество вариаций поля на стенках a и b волновода соответственно. Основной волной в прямоугольном волноводе является волна H_{10} . Для нее $m=1$, $n=0$, поэтому

$$\lambda_{кр} = 2a, \quad \lambda_e = \lambda / \sqrt{1 - (\lambda/2a)^2}$$

$$k_z = k \sqrt{1 - (\lambda/2a)^2}$$

При выборе размеров поперечного сечения волновода с основной волной исходят из условий, при которых волна H_{10} находится в докритическом режиме, а высшие типы волн, в частности H_{20} и H_{01} , находятся в закритическом режиме. Из этих условий следуют неравенства:

$$0.5\lambda < a < \lambda; \quad b < 0.5\lambda$$

Практические формулы для выбора размеров поперечного сечения волновода имеют вид

$$0.6\lambda < a < 0.9\lambda; \quad b \cong 0.5a$$

$$a := 0.6 \cdot \lambda \quad a = 25.8 \quad (\text{мм})$$

$$b := 0.5 \cdot a \quad b = 12.9 \quad (\text{мм})$$

По справочнику находим наиболее подходящий размер стандартного волновода:

По справочнику:

$$\text{Внутренние} \quad a := 34.85 \quad (\text{мм}); \quad b := 15.8 \quad (\text{мм})$$

Толщина стенок: $rs := 1.65$

$$\text{Внешние} \quad a_1 := a + 2rs \quad b_1 := b + 2rs$$

$$a_1 = 38.15 \quad (\text{мм}) \quad b_1 = 19.1 \quad (\text{мм})$$

Выбор размера b снизу ограничен величиной пробивного напряжения. При неограниченном уменьшении этого размера может наступить электрический пробой. Максимальная (предельная) мощность, пропускаемая волноводом с волной H_{10} , определяется соотношением

$$P_{\max} = ab E_{\max}^2 \sqrt{1 - (\lambda/2a)^2} / (480\pi k_{св}) \quad [\text{Вт}],$$

где $E_{\max} = 30000$ В/см - напряженность электрического поля, при которой происходит пробой в воздухе, $k_{св}$ - коэффициент связи, равный 1/КБВ.

Допустимая передаваемая мощность определяется как

$$P_{\text{дон}} = (1/3..1/5) P_{\max}$$

Рассчитаем рабочую частоту:

$$c := 3 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}} \quad \text{-Скорость света в вакууме}$$

$$f_0 := \frac{c}{\lambda \cdot 10^{-3}} \quad f_0 = 6.977 \times 10^9 \quad (\text{Гц})$$

$$W_0 := 120\pi \quad (\text{Ом}) \quad \text{-волновое сопротивление в вакууме}$$

3.3 Проверка максимальной пропускной мощности волновода:

$$E := 3000 \left(\frac{\text{В}}{\text{мм}} \right) \quad E - \text{значение, при превышении которого происходит пробой}$$

$$k_{\text{бв}} := 0.8 \quad ; \quad k_{\text{св}} := \frac{1}{k_{\text{бв}}} \quad k_{\text{св}} = 1.25$$

$$P_{\text{max}}(\lambda) := a \cdot b \cdot E^2 \cdot \frac{\sqrt{1 - \left(\frac{\lambda}{2 \cdot a} \right)^2}}{480 \cdot \pi \cdot k_{\text{св}}} \quad P_{\text{max}}(\lambda) = 2.069 \times 10^6 \quad (\text{Вт})$$

$$P_{\text{доп}}(\lambda) := \frac{1}{5} \cdot P_{\text{max}}(\lambda) \quad P_{\text{доп}}(\lambda) = 4.138 \times 10^5 \quad (\text{Вт})$$

$$P_{\text{имп}} := 1 \cdot 10^3 \quad (\text{Вт})$$

$$\frac{P_{\text{доп}}(\lambda)}{P_{\text{имп}}} = 413.824$$

Проверим в заданной полосе частот:

$$\lambda_1 := \lambda \cdot (1 - \Delta F_{\%}) \quad \lambda_1 = 40.42 \quad (\text{мм})$$

$$\lambda_2 := \lambda \cdot (1 + \Delta F_{\%}) \quad \lambda_2 = 45.58 \quad (\text{мм})$$

$$\frac{P_{\text{доп}}(\lambda_1)}{P_{\text{имп}}} = 428.368$$

$$\frac{P_{\text{доп}}(\lambda_2)}{P_{\text{имп}}} = 397.799$$

Это нам показывает, что допустимая мощность в сотни раз больше подаваемой, и что в заданной полосе частот не будет электрического пробоя.

3.4 Вычисление шага расположения излучателей.

При использовании прямоугольной сетки дифракционные максимумы высших порядков отсутствуют, если расстояние между излучателями меньше либо равно d . Этот максимальный шаг определяется выражением:

$$dx \leq \frac{\lambda}{\sin(\theta_{x \max}) + 1}; \quad dy \leq \frac{\lambda}{\sin(\theta_{y \max}) + 1}$$

Определение шага размещения излучателей:

$\theta_x := 0_{gs}$ - сектор сканирования (градусов) по горизонтали

$\theta_y := 0$ - сектор сканирования (градусов) по вертикали

Условие отсутствия дифракционных максимумов высших порядков:

$$dx_{\max} := \frac{\lambda}{\sin(\theta_x \cdot \text{deg}) + 1} \quad dx_{\max} = 26.845 \quad (\text{мм})$$

$$dy_{\max} := \frac{\lambda}{\sin(\theta_y \cdot \text{deg}) + 1} \quad dy_{\max} = 43 \quad (\text{мм})$$

Возьмем шаг, равный ширине узкой стенки волновода:

$$l := b_1 = 19,1 (\text{мм})$$

Найдем число излучателей

$$N := \frac{Lx + b_1}{d}$$

Вычислив, получили:

$$N = 23.035,$$

возьмем целое

число излучателей $N = 23$.

Найдем расстояние между волноводами, расположенными вдоль линии:

$$pr := (d - b_1), \quad pr = 0 \quad (\text{мм})$$

3.5 Расчет длины рупорного излучателя.

Линейная решетка состоит из одного ряда волноводов, раскрыв ее апертуры (по оси y) совпадает с размером волновода $a = 36,5 \text{ мм}$ [рис. 1]. Это противоречит размеру рассчитанной нами эквивалентной решетки, требуемой для реализации требуемой ДН и УБЛ. Размер эквивалентной решетки по оси y составляет $65,456 \text{ мм}$. Для избежания данного расхождения устанавливаем рупор плоскости H . Е-секториальный рупор рассчитывается аналогично, взяв $bp = b + pr$.

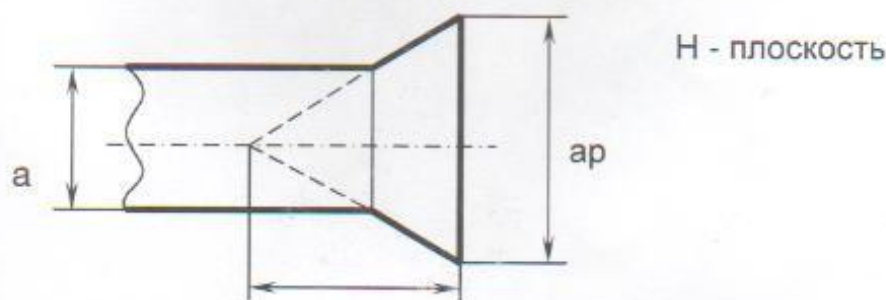


рис. 2. Излучающий рупор

$$\text{Длина рупора в плоскости } H \text{ определяется: } R_H = \frac{a_p^2}{3 \cdot \lambda} = 33.213 \quad [\text{мм}]$$

3.6 Расчет характеристик прямоугольного волновода.

$$\gamma_{\text{phase}} := \sqrt{1 - \left(\frac{\lambda}{2 \cdot a}\right)^2} \quad \text{- замедление фазовой скорости в волноводе}$$

$$\gamma_{\text{group}} := \frac{1}{\gamma_{\text{phase}}} \quad \text{- замедление групповой скорости волн в волноводе}$$

Это следует из известного соотношения для волновода $v_{\text{ф}} v_{\text{г}} = c^2$ или $\gamma_{\text{ф}} \gamma_{\text{г}} = 1$.

$$v_{\text{phase}} := \frac{c}{\sqrt{1 - \left(\frac{\lambda}{2 \cdot a}\right)^2}} \quad v_{\text{phase}} = 3.812 \times 10^8 \quad \left(\frac{\text{м}}{\text{с}}\right)$$

- фазовая скорость

$$\alpha := 8.686 \cdot R_s \cdot \frac{\left[1 + \left(\frac{\lambda}{2a}\right)^2 \cdot 2 \cdot \frac{b}{a}\right]}{W_0 \cdot b \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{\lambda}{2 \cdot a}\right)^2}} \quad R_s := \frac{0.047}{\sqrt{\lambda}} \quad \text{для меди}$$

$$\alpha = 1.786 \times 10^{-5} \quad \left(\frac{\text{дБ}}{\text{мм}}\right)$$

- затухание в волноводе

$$\alpha \cdot 1000 = 0.018 \quad \left(\frac{\text{дБ}}{\text{м}}\right)$$

4. Амплитудное распределение и диаграммы направленности.

4.1 Амплитудное распределение.

Амплитудное распределение выбрано из таблицы 2.1 [1] исходя из заданного уровня боковых лепестков: $q = -23$ дБ. В данном случае для такого УБЛ можно использовать «косинусоидальное» распределение или «косинус на пьедестале». В данном случае они совпадают.

Косинусоидальное

$$E_x(x) := \left(\cos \left(\pi \cdot \frac{x}{b} \right) \right)^n$$

$$E_y(y) := \left(\cos \left(\pi \cdot \frac{y}{ap} \right) \right)^n$$

Косинус на пьедестале:

здесь $n=1$

$$A_x(x) := \left(\cos \left(\pi \cdot \frac{x}{b} \right) \right)^n$$

$$A_y(y) := \left(\cos \left(\pi \cdot \frac{y}{ap} \right) \right)^n$$



4.2 Диаграмма направленности одиночного излучателя.

По горизонтали: $F_{ГО}(\theta) := \cos(\theta \cdot \text{deg}) \cdot \frac{\sin \left(180 \cdot \text{deg} \cdot b \cdot \frac{\sin(\theta \cdot \text{deg})}{\lambda} \right)}{k \cdot b \cdot \frac{\sin(\theta \cdot \text{deg})}{2}} + (\theta = 0)$

Выражения для диаграмм выведенные для одиночных излучателей



Выражения для ДН одиночного излучателя в виде волновода и Н-секториального рупорного излучателя.

$$F_{\text{вор}}(\theta) := \frac{(1 + \cos(\theta \cdot \text{deg}))}{2} \cdot \frac{\sin\left(\left(k \cdot a \cdot \frac{\sin(\theta \cdot \text{deg})}{2}\right)\right)}{\frac{a \cdot k}{2} \cdot \sin(\theta \cdot \text{deg})} + (\theta = 0) \quad \text{— рупора}$$

$$F_{\text{во}}(\theta) := \cos(\theta \cdot \text{deg}) \cdot \frac{\cos\left(\pi \cdot a \cdot \frac{\sin(\theta \cdot \text{deg})}{\lambda}\right)}{1 - \left(k \cdot a \cdot \frac{\sin(\theta \cdot \text{deg})}{\pi}\right)^2} \quad \text{— волновода}$$



4.3 Диаграмма направленности ФАР.

Для построения ДН ФАР, как произведение множителя решетки на ДН одиночного излучателя, введем обобщенные угловые координаты.

$$u_x(\theta) := k \cdot \frac{d \cdot \sin(\theta \cdot \text{deg})}{2}$$

$$u_{x1}(\theta, \theta_{sc}) := k \cdot d \cdot (\sin(\theta \cdot \text{deg}) - \sin(\theta_{sc} \cdot \text{deg}))$$

$$u_y(\theta) := k \cdot \frac{a \cdot \sin(\theta \cdot \text{deg})}{2}$$

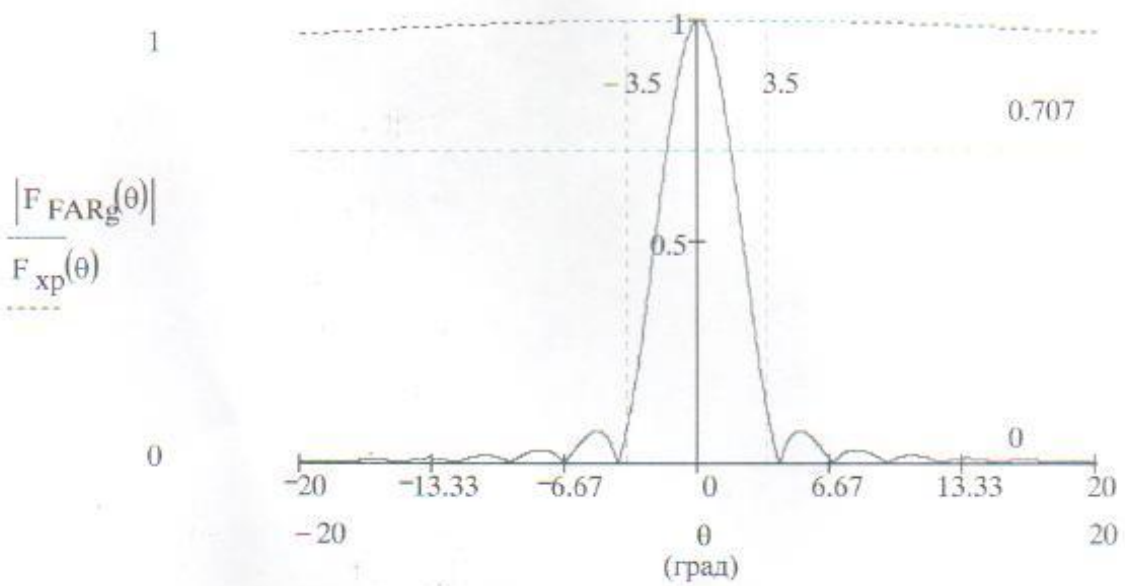
$$u_{y1}(\theta, \theta_{sc}) := k \cdot a \cdot (\sin(\theta \cdot \text{deg}) - \sin(\theta_{sc} \cdot \text{deg}))$$

Выражение для множителя направленности по раскрытию с обобщенными угловыми координатами (где θ_{sc} - угол отклонения направления луча от нормали (будем использовать максимальный угол сканирования по горизонтали)):

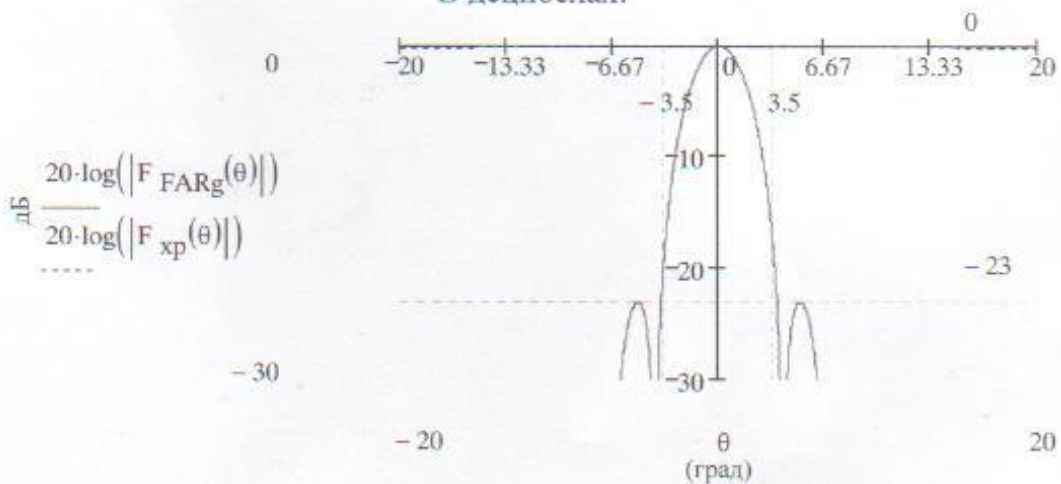
$$F_{ar}(\theta, \theta_{sc}) := \frac{\cos(N \cdot u_{x1}(\theta, \theta_{sc}))}{1 - 4 \cdot \frac{(N \cdot u_{x1}(\theta, \theta_{sc}))^2}{\pi^2}}$$

Для направления луча по нормали к решетке:

$$F_{FARg}(\theta) := F_{ar}(\theta, 0) \cdot F_{ro}(\theta)$$

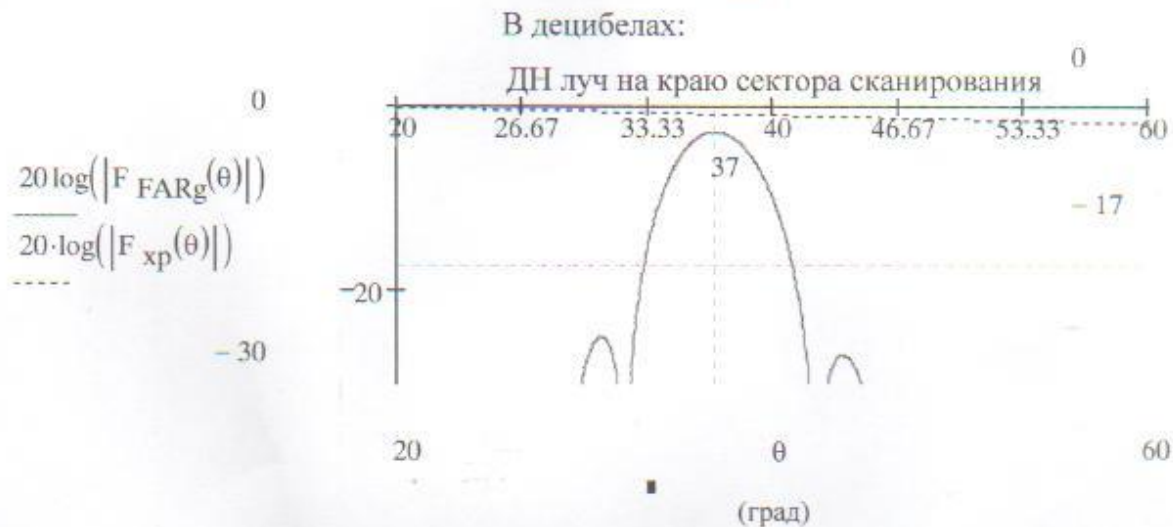
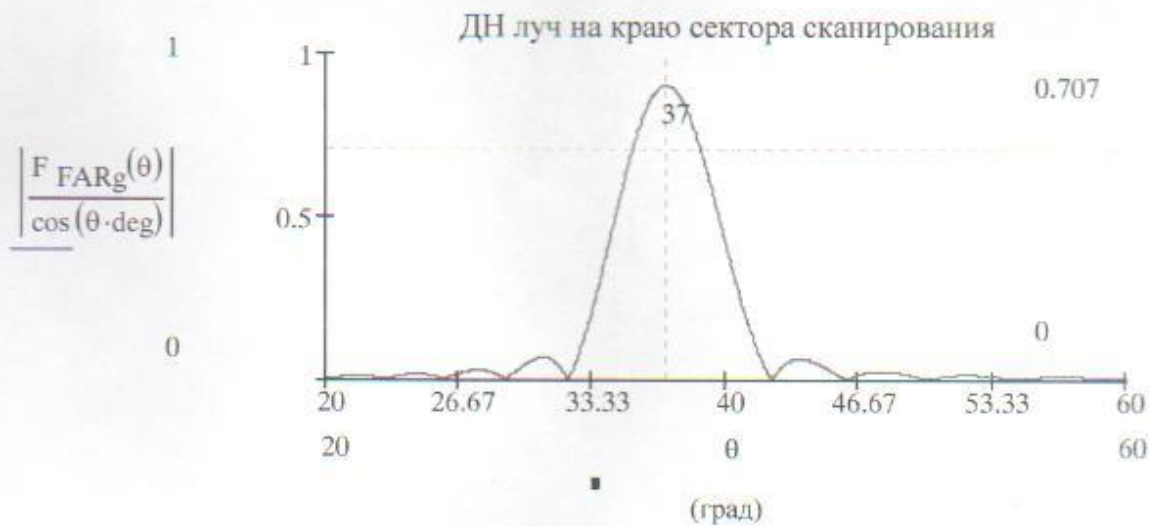


В децибелах:



Диаграммы для луча в положении на краю сектора сканирования

$$F_{FARg}(\theta) := F_{ar}(\theta, 37) \cdot F_{ro}(\theta)$$



Диаграммы показывают, что требуемый УБЛ соблюдается, а при максимальном требуемом отклонении луча ДН незначительно расширяется.

4.4 Расчет коэффициента направленного действия антенны.

Рассчитаем КНД антенны в направлении главного максимума излучения (для числа излучателей равного 21):

$$D(\theta_{sc0}) := 4 \cdot \pi \cdot S \cdot \frac{\nu}{\lambda^2}$$

где площадь раскрытия апертуры антенны $S = L_x \cdot L_y = 2.625 \cdot 10^4 \text{ (мм}^2\text{)}$, коэффициент использования поверхности антенны $\nu = 0,81$

Вычислив, $D = 144,53$

4.4 Расчет КПД, КУ антенны.

КПД антенны рассчитывается из соотношения:

$$\eta := e^{-2 \cdot \alpha \cdot l} \cdot |1 - |\Gamma||, \text{ где}$$

$$\Gamma := \frac{\sqrt{1 - \left(\frac{\lambda}{2 \cdot a}\right)^2} - 1}{1 + \sqrt{1 - \left(\frac{\lambda}{2 \cdot a}\right)^2}}$$

Γ – коэффициент отражения волны в волноводе,
 α – затухание в волноводе

a – размер широкой стенки волновода

$l_{изл}$ – длина излучателя волновода, принимаемая 5 см

Находим $\Gamma = -0,119$; КПД = 0,879.

Коэффициент усиления антенны находится как произведение КПД на КНД:

$$КУ = \eta \cdot D = 0,879 \cdot 144,53 = 127,207$$

5. Расчет устройств ФАР.

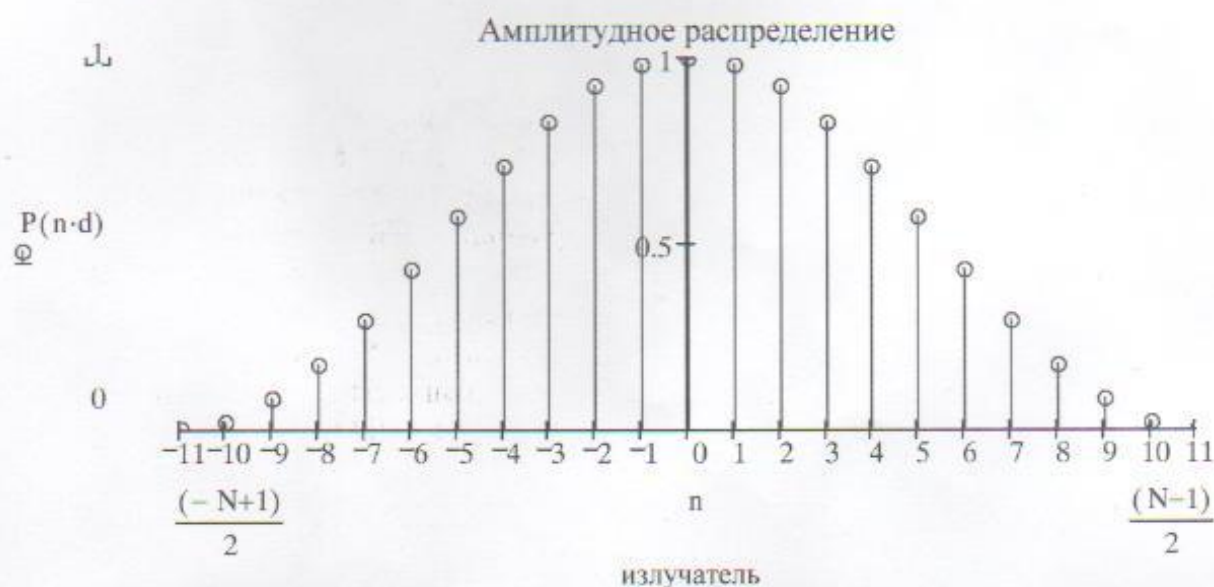
Для получения требуемого амплитудного распределения на излучателях и соответствующей пространственной диаграммы направленности ФАР необходим делитель мощности и фазовращатели. В качестве делителя мощности выбираем полосковый делитель мощности смешанного типа. В качестве фазовращателей (ФВ) выбираем невзаимные ферритовые ФВ. Мощность от источника к делителю мощности (ДМ) подводится через коаксиальный волновод. А от ДМ к волноводу коаксиальным кабелем.

5.1 Расчет делителя мощности.

Квадрат амплитудного распределения соответствует распределению мощности, между излучателями. Для расчета коэффициентов деления мощности (в процентах) продискретизируем амплитудное распределение ФАР, с частотой дискретизации равной шагу между излучателями.

$$E_x(x) := \cos\left(\pi \cdot \frac{x}{Lx}\right)$$

$$P(x) := E_x(x)^2$$



Наибольшая мощность будет подаваться через центральный излучатель. Распределение мощности будет симметрично по обеим сторонам относительно центрального излучателя, это в дальнейшем упростит расчет.

Исходя из полученного распределения, видим что на крайние излучатели почти не приходится мощность (менее 0,001 Вт), ими пренебрегаем, а приходящуюся им мощность раскидываем по соседним.

№	P	№	P
1	0,0021	12	0,98
2	0,080	13	0,921
3	0,174	14	0,828
4	0,294	15	0,708
5	0,43	16	0,572
6	0,572	17	0,43
7	0,708	18	0,294
8	0,828	19	0,174
9	0,921	20	0,080
10	0,98	21	0,0021
11	1		

Из распределения получим коэффициенты, записанные в таблице 1.

Ниже приводится синтезированная схема делителя мощности и расчет процентного и количественного соотношения деления мощностей.

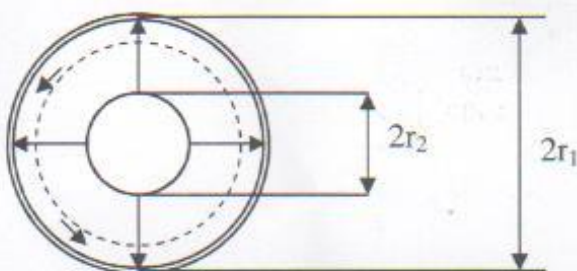
Римскими цифрами обозначены номера узлов, арабскими номера излучателей.

5.3 Расчет коаксиального волновода.

Основная волна в коаксиальном волноводе Т-волна.

Чтобы все высшие типы волн находились в закритическом режиме, необходимо выполнения условия:

$$\pi(r_1+r_2) < \lambda$$



Пунктиром обозначены линии магнитного поля, сплошными стрелками- линии электрического поля.

Отношение радиусов выберем из условия минимальных потерь: $r_1/r_2 = 3.6$

$$r_1 = 11.355 \text{ (мм)}$$

$$r_2 = 3.154 \text{ (мм)}$$

Волновое сопротивление для Т-волны определяется формулой:

$$W_{\text{koaks}} := 138 \cdot \frac{\log\left(\frac{r_1}{r_2}\right)}{\sqrt{\epsilon_r}} \quad W_{\text{koaks}} = 76.77 \text{ (Ом)}$$

Максимальная мощность, передаваемая по коаксиальному волноводу в режиме бегущей волны, определяется:

$$P_{\text{koaksMAX}} := E^2 \cdot r_2^2 \cdot \frac{\ln\left(\frac{r_1}{r_2}\right)}{120 \cdot 10^3} \quad P_{\text{koaksMAX}} = 955.699 \text{ (Вт)}$$

Допустимая мощность, равная $0.2 \cdot P_{\text{koaksMAX}}$

$$P_{\text{koaksDOP}} = 191.14 \text{ (Вт)}$$

5.4 Расчет коаксиально-волноводного сочленения.

Полосковый делитель имеет коаксиальный вход и на фазовращатели (как отрезки волноводов) подается также через коаксиальный волновод. Возбуждение прямоугольного волновода (волны H_{10}) осуществляется продолжением центральной жилы коаксиального волновода, скрученным в петлю (петлевой возбуждатель).

Положение штыря вдоль стенки a : Петля по середине: $a/2 = 34,85/2 = 17,425$ мм.

Расстояние до коротко замыкающей стенки берут $\lambda/4 = 21,5$ мм. (Это расстояние позволяет гасить волну, отраженную от КЗ стенки):

В данном переходе могут возникнуть волны высших типов, (например H_{30}), для того чтобы она резко затухала (уменьшения ее амплитуды в N раз), выбираем расстояние l_2 следующим образом:

$$l_2 := \frac{\log(N)}{\sqrt{\left(\frac{3 \cdot \lambda}{2 \cdot a}\right)^2 - 1}}$$

Для $N = 10$ раз получим, что $l_2 > 0,642$ мм. Возьмем l_2 , равное 5 мм.

5.2 Расчет ферритового фазовращателя.

Используем невзаимный ферритовый дискретный фазовращатель с тороидальным сердечником, расположенный внутри полого волновода. Полупроводниковые фазовращатели рассчитаны на сравнительно небольшие мощности, целесообразнее использование ферритовых.

Конструкция: