



Задание 11-3. Фазированная антенная решетка – глаза радиолокационной системы

Небольшая справка:

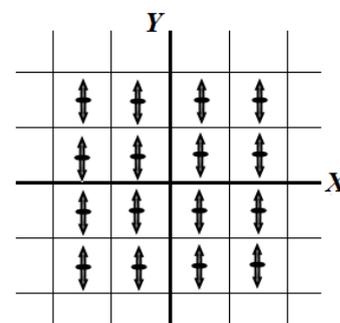
Отдельный радиотехнический узел «Ганцевичи» (Барановичи)», находящийся в 48 км юго-восточнее города Барановичи. Узел является войсковой частью Воздушно-космических сил России и оснащен стационарной цифровой радиолокационной станцией дециметрового диапазона типа «Волга». «Волга» обеспечивает слежение за ракетными пусками вероятного противника на дальности до 4800 км и наблюдение за космическими объектами миллиметровых размеров на любой из орбит. С

помощью «Волги» осуществляются обнаружение баллистических ракет и космических объектов и контроль над районами патрулирования подлодок стран НАТО в Европе, Северной Атлантике и Норвежском море. Объект входит в систему раннего предупреждения о ракетном нападении и замыкается, в конечном счете, на так называемый «ядерный чемоданчик» президента России.

На фотографии показана эта радиолокационная станция (восхититесь ее размерами). Самое поразительное в ее работе то, что сама антенна неподвижна, а посылаемый ею луч может направляться в различных направлениях. Цель данного задания разобраться в принципе работы такого устройства. Подробное описание станции засекречено, поэтому используемая в данной работе модель может отличаться от реальной.

Общее описание и теоретическое введение.

1. Антенна станции представляет собой плоскую квадратную решетку. Длину стороны каждой квадратной ячейки обозначим d . В центре каждой ячейки расположен дипольный излучатель радиоволн. Все источники являются монохроматическими и когерентными. Длина волны излучения равна $\lambda = 40$ см. Введем систему координат в плоскости антенны XU (см. рис.). Будем считать, что оси дипольных излучателей ориентированы вдоль оси U . С помощью электроники и соответствующего программного обеспечения можно регулировать фазу колебаний каждого излучателя.



2. Для одиночного излучателя зависимость интенсивности излучения от угла θ между нормалью к оси излучателя и направлением излучения (такая зависимость называется индикатрисой излучения) описывается функцией

$$I = I_0 \cos^2 \theta \quad (1)$$

График этой функции в полярных координатах показан на рисунке. Далее величину I_0 считайте известной.



3. При выполнении данного задания вам необходимо суммировать волны, излучаемые всеми излучателями (рассчитывать результат интерференции волн). Следует считать, что расстояние до точки в которой происходит суммирование колебаний значительно больше размеров антенны.

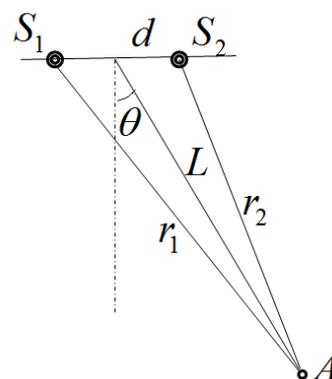
4. Докажите формулу, которая во многом является основой дальнейших расчетов.

Пусть расстояние между двумя источниками S_1 и S_2 равно d . Точка A , в которой происходит сложение волн, испущенных источником, равно L , и эта точка находится в направлении, задаваемом углом θ (см. рис.).

Покажите, что разность расстояний от источников до рассматриваемой точки при $L \gg d$ определяется по формуле

$$\Delta r = r_1 - r_2 = d \sin \theta. \quad (2)$$

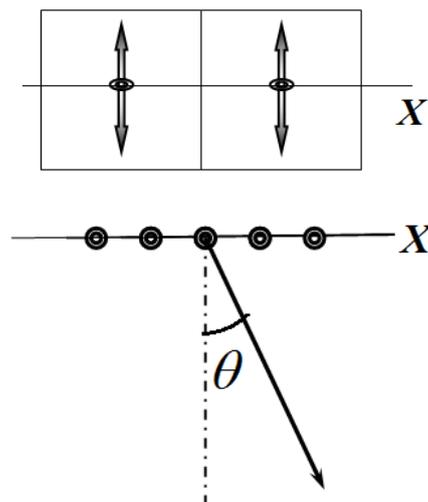
В дальнейшем используйте эту формулу.



Часть 1. Два излучателя.

Рассмотрим два соседних излучателя решетки расположенных вдоль оси X решетки. Требуется рассчитать излучение в плоскости перпендикулярной осям излучателей в зависимости от угла θ между нормалью к плоскости излучателей и направлением, в котором рассчитывается интенсивность излучения. Понятно, что рассматриваемый диапазон углов θ : от $-\frac{\pi}{2}$ до $+\frac{\pi}{2}$. Так антенна излучает только в одну сторону.

На следующем рисунке показан этот угол (вид сверху). Здесь изображено несколько (N) излучателей, чтобы этот же рисунок был пригоден для следующей части задачи, в этой части $N = 2$.

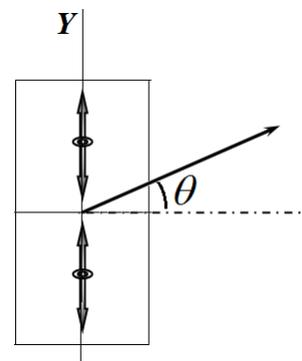


1.1 Найдите зависимость $I(\theta)$ интенсивности излучения двух излучателей от угла θ , если разность фаз колебаний на источниках равна $\Delta\varphi = 0$.

1.2 Найдите значения углов θ , для которых интенсивность излучения будет максимальна.

1.3 Укажите, при каком максимальном значении расстояния между излучателями d , зависимость $I(\theta)$ будет иметь только один максимум.

1.4 Ответьте на вопросы 1.1-1.3 для двух излучателей расположенных вдоль оси Y .



Часть 2. Цепочка излучателей.

Рассмотрим одномерную цепочку из N излучателей, расположенных вдоль оси X . Расстояние между соседними излучателями равно $d = 0,80\lambda$. Сначала будем считать, что все излучатели колеблются в одной фазе.

- 2.1 Укажите направление (или направления) в которых интенсивность излучения цепочки максимальна. Чему равна эта максимальная интенсивность?
2.2 Найдите угловую ширину $\Delta\theta$ луча локатора, в пределах которого излучается основная доля энергии.

Подсказка. В качестве предельного значения угла следует брать направление, в котором интенсивность становится равной нулю.

Теперь будем считать, что между колебаниями соседних излучателей создается одинаковая разность фаз $\Delta\varphi$.

- 2.3 Найдите значения углов θ в направлении, которых интенсивность излучения будет максимальна.
2.4 Рассчитайте чему равна угловая ширина луча радара, если его максимальная интенсивность направлена под углом θ_0 .
2.5 Определите, по какому временному закону $\Delta\varphi(t)$ должна изменять разность фаз между колебаниями соседних излучателей, чтобы луч радара поворачивался с постоянной угловой скоростью ω .

- 2.6 Квадратная антенна содержит $N \times N$ излучателей, каждый из которых создает интенсивность I_0 . Чему равна максимальная интенсивность излучения всей антенны?