

Антенно-фидерные устройства и распространение радиоволн

ОСНОВЫ ТЕОРИИ АНТЕНН

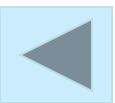
ЛЕКЦИЯ № 8



Излучение систем источников.

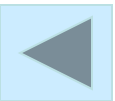
8.1. Решетки излучателей.

Для формирования остронаправленного излучения необходимо применять антенну, размеры которой много больше длины волны. Одной из таких антенн является система излучателей, между которыми распределяется подводимая от генератора мощность. Поля излучения этих источников интерферируют в пространстве, в одних направлениях суммарное поле усиливается, в других ослабляется. Результирующая ДН зависит от расположения излучателей в пространстве, а также от амплитуд и фаз токов в этих источниках. Различают непрерывные и дискретные системы излучателей. Непрерывной называют систему, в которой излучатели размещены непрерывно вдоль линии, поверхности или в объёме.



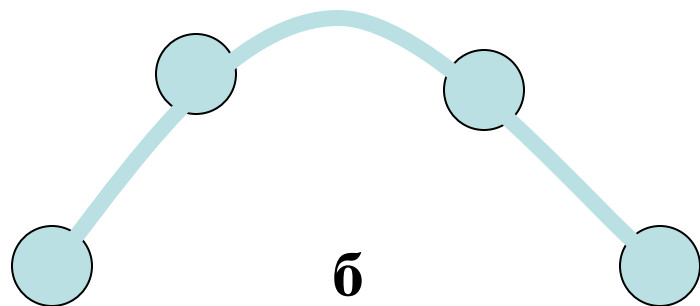
Группа излучателей, расположенных на некотором расстоянии друг от друга образуют дискретную систему, называемую антенной решёткой. Элементом антенной решётки могут быть как один излучатель, например, симметричный вибратор, щелевая антенна, диэлектрические и спиральные антенны, так и сложные антенны, которые сами являются антенными решётками.

Антенные решётки по способу расположения излучателей делятся на линейные, поверхностные, объёмные.

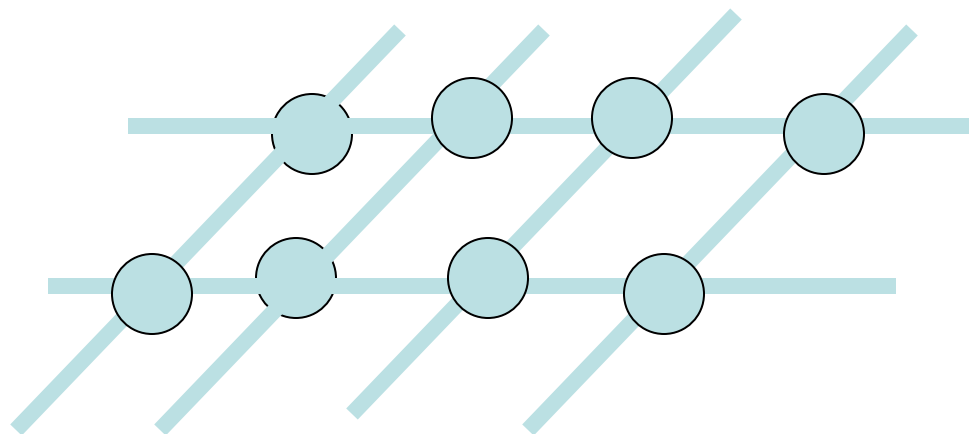




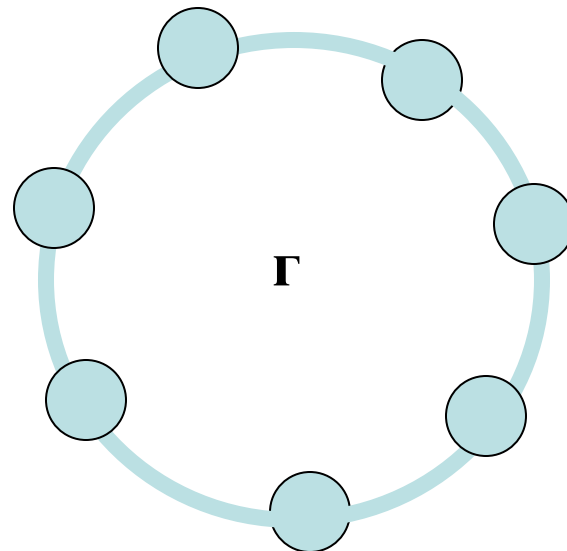
а



б



в



г

Рис. 8.1

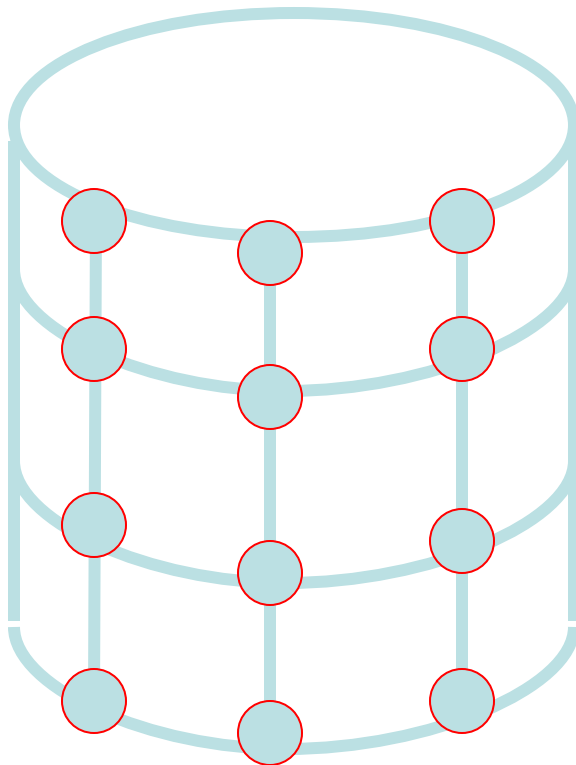
а - прямолинейные,

б - дуговые,

в - поверхностные,

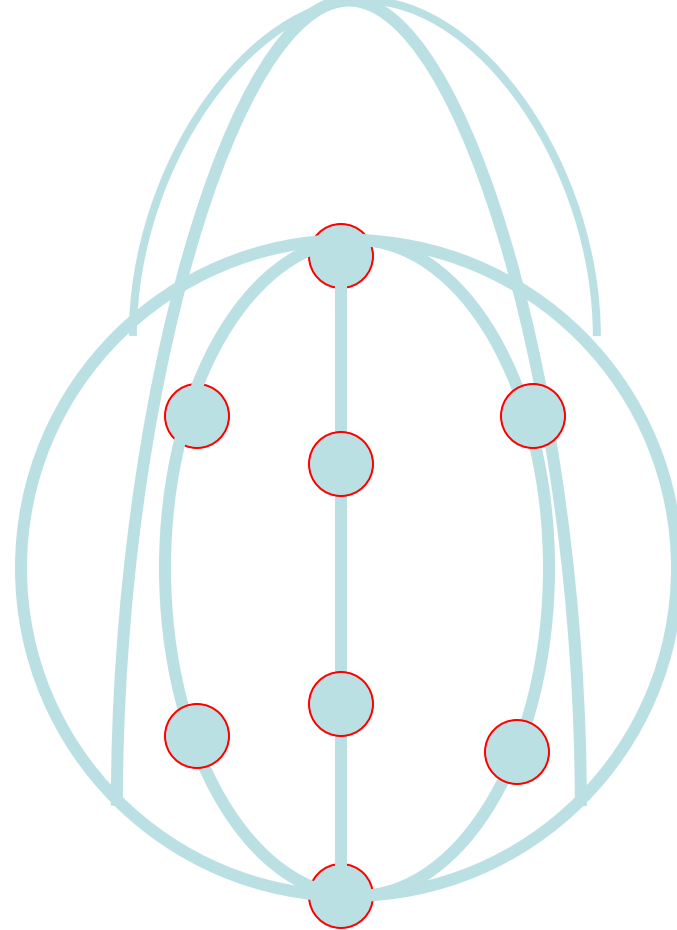
г - кольцевые,





д

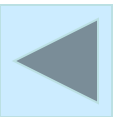
д - цилиндрические,

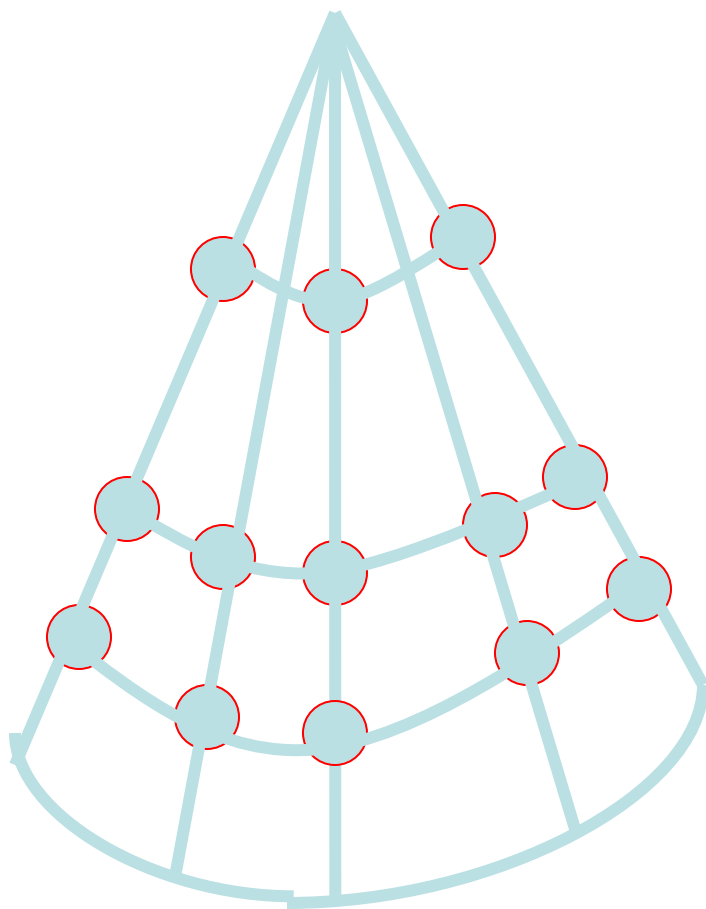


е

е - сферические,

Рис. 8.2

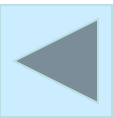




Ж

Рис. 8.2

Ж - конические.



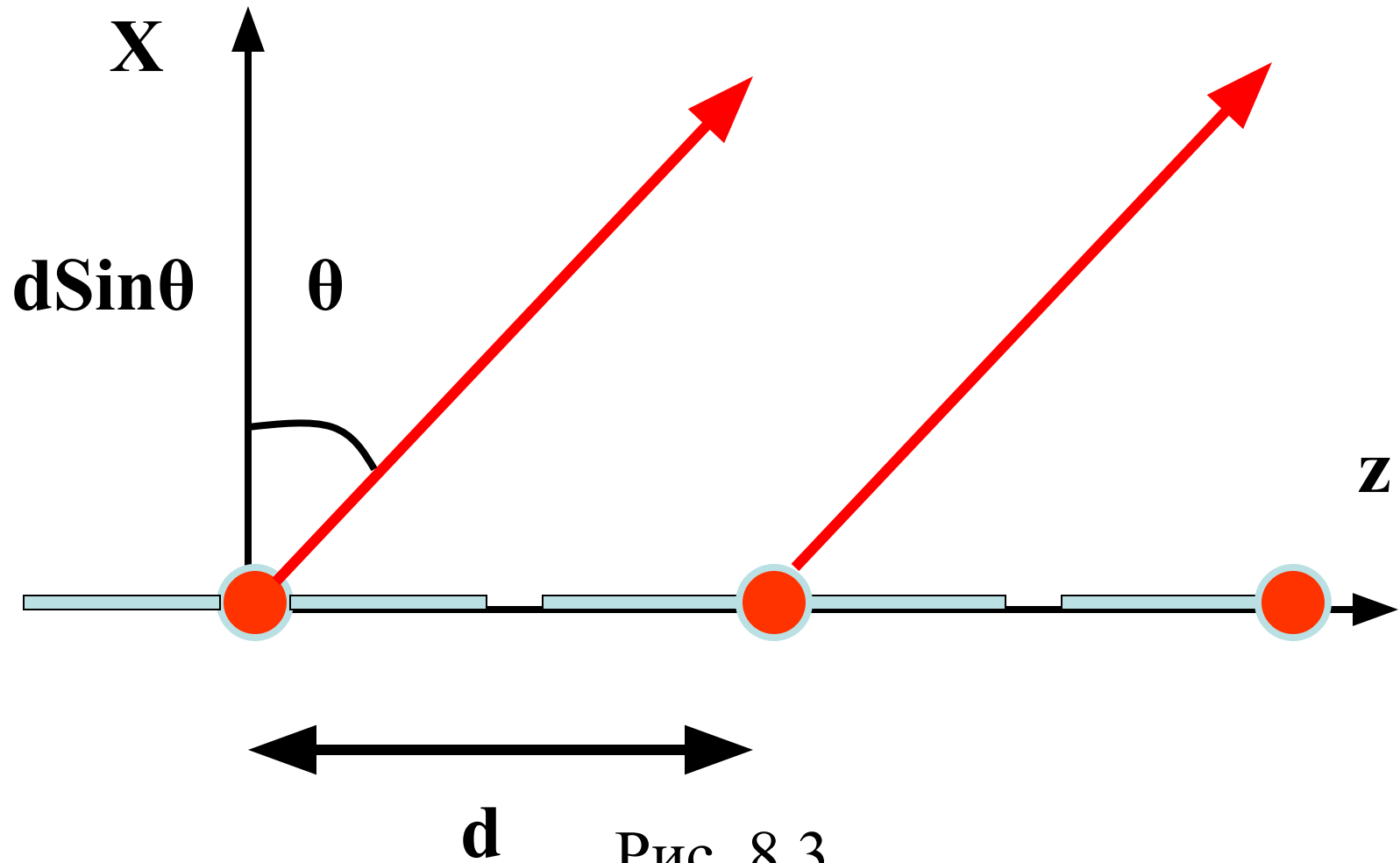
Решётки бывают эквидистантными когда расстояние между соседними излучателями одинаково.

Линейно-фазные решётки - это решётки, в которых фазы токов изменяются по линейному закону.

Если фазы токов в излучателях одинаковы, то антенная решётка называется синфазной.



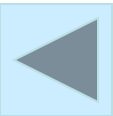
8.2. Равномерная линейная антенная решетка



Считаем:

- 1) Излучателями являются симметричные вибраторы.**
- 2) Токи в излучателях одинаковы по амплитуде.**
- 3) Фаза тока в каждом последующем излучателе отстаёт от фазы тока в предыдущем на ψ , т. е. изменяется по линейному закону. Т. е. имеем равноамплитудную, линейно-фазную, прямолинейную решётку.**
- 4) Точка наблюдения находится на расстоянии $r \gg d$, тогда направления на точку наблюдения от всех излучателей будут параллельными.**

Найдём результирующее поле в дальней зоне:



$$E_2 = E_1 \exp [i(kd \sin \Theta - \psi)] \quad (8.1)$$

где Θ - угол между нормалью к оси решетки и точкой наблюдения;

$kd \sin \Theta$ - пространственный сдвиг фаз между полями соседних излучателей.

Решётка состоит из n - элементов. Тогда поле n -го элемента:

$$E_n = E_1 \exp [i(n-1)(kd \sin \Theta - \psi)]$$



Поле первого излучателя:

$$E_1 = i \frac{60 I_n}{r} \frac{\cos(kl \sin \Theta) - \cos kl}{\cos \Theta} * \exp(-ikr) \quad (8.2)$$

Результирующее поле:

$$\begin{aligned} \mathbf{E} &= \mathbf{E}_1 + \mathbf{E}_2 + \dots + \mathbf{E}_n = \\ &= \mathbf{E}_1 \{1 + e^{i(kd \sin \Theta - \psi)} + \dots + e^{i(n-1)(kd \sin \Theta - \psi)}\} \quad (8.3) \end{aligned}$$

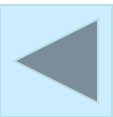
(8.3) - геометрическая прогрессия.



$$E = E_1 \sum_{p=1}^{p=n} \exp i(p-1)(kd \sin \Theta - \psi) \quad (8.4)$$

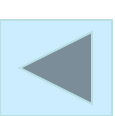
Если $I_1 \neq I_2 \neq I_n$, то:

$$E = E_1 \sum_{p=1}^{p=n} \frac{I_p}{I} \exp i(p-1)(kd \sin \Theta - \psi) \quad (8.5)$$



Сумма геометрической прогрессии:

$$\begin{aligned} E &= E_1 \frac{q^n - 1}{q - 1} = \\ &= E_1 \frac{e^{in(kd \sin \Theta - \psi)} - 1}{e^{i(kd \sin \Theta - \psi)} - 1} \end{aligned} \quad (8.6)$$



q - знаменатель прогрессии.

Делаем преобразование:

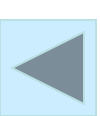
$$E = E_1 \frac{e^{in(kd \sin \Theta - \psi)/2}}{e^{i(kd \sin \Theta - \psi)/2}} * \\ * \frac{e^{in(kd \sin \Theta - \psi)/2} - e^{-in(kd \sin \Theta - \psi)/2}}{e^{i(kd \sin \Theta - \psi)/2} - e^{-i(kd \sin \Theta - \psi)/2}} \\ (8.7)$$



$$E = E_1 e^{i(n-1)u} \frac{e^{inu} - e^{-inu}}{e^{iu} - e^{-iu}} \quad (8.8)$$

Тогда результирующее поле в дальней зоне:

$$E = i \frac{60 I_n}{r} \frac{\cos(kl \sin \Theta) - \cos kl}{\cos \Theta} * \frac{\sin\{n/2 (kd \sin \Theta - \psi)\}}{\sin\{1/2 (kd \sin \Theta - \psi)\}} e^{i(n-1)u} e^{(-ikr)} \quad (8.9)$$



Полученное соотношение запишем в виде:

$$E = A F_1(\Theta, \phi) F_c(\Theta, \phi) e^{i\psi(\Theta)} e^{-ikr},$$

где $A = 60 I_n / r$ - амплитудный множитель;

$F_1(\Theta, \phi)$ - характеристика направленности симметричного вибратора;

$F_c(\Theta, \phi)$ - множитель системы,

$\psi(\Theta)$ - фазовая характеристика направленности антенны.

Множитель системы - характеристика направленности линейной системы, состоящей из n ненаправленных излучателей, расположенных и возбуждённых также, как и реальные излучатели.



Характеристика направленности антенной решётки:

$$F_1(\Theta, \phi) F_c(\Theta, \phi) e^{i\psi(\Theta)} = F(\Theta, \phi)$$

Окончательно:

$$E = i \frac{60 I_n}{r} \frac{\cos(kl \sin \Theta) - \cos kl}{\cos \Theta} * \frac{\sin\{n/2 (kd \sin \Theta - \psi)\}}{\sin\{1/2 (kd \sin \Theta - \psi)\}} \quad (8.10)$$



Максимальное значение результирующее поля:

$$E_{\max} = nE_1$$

Множитель системы равен:

$$F_c = \frac{\sin\{n/2 (kd\sin\Theta - \psi)\}}{n\sin\{1/2 (kd\sin\Theta - \psi)\}} \quad (8.11)$$



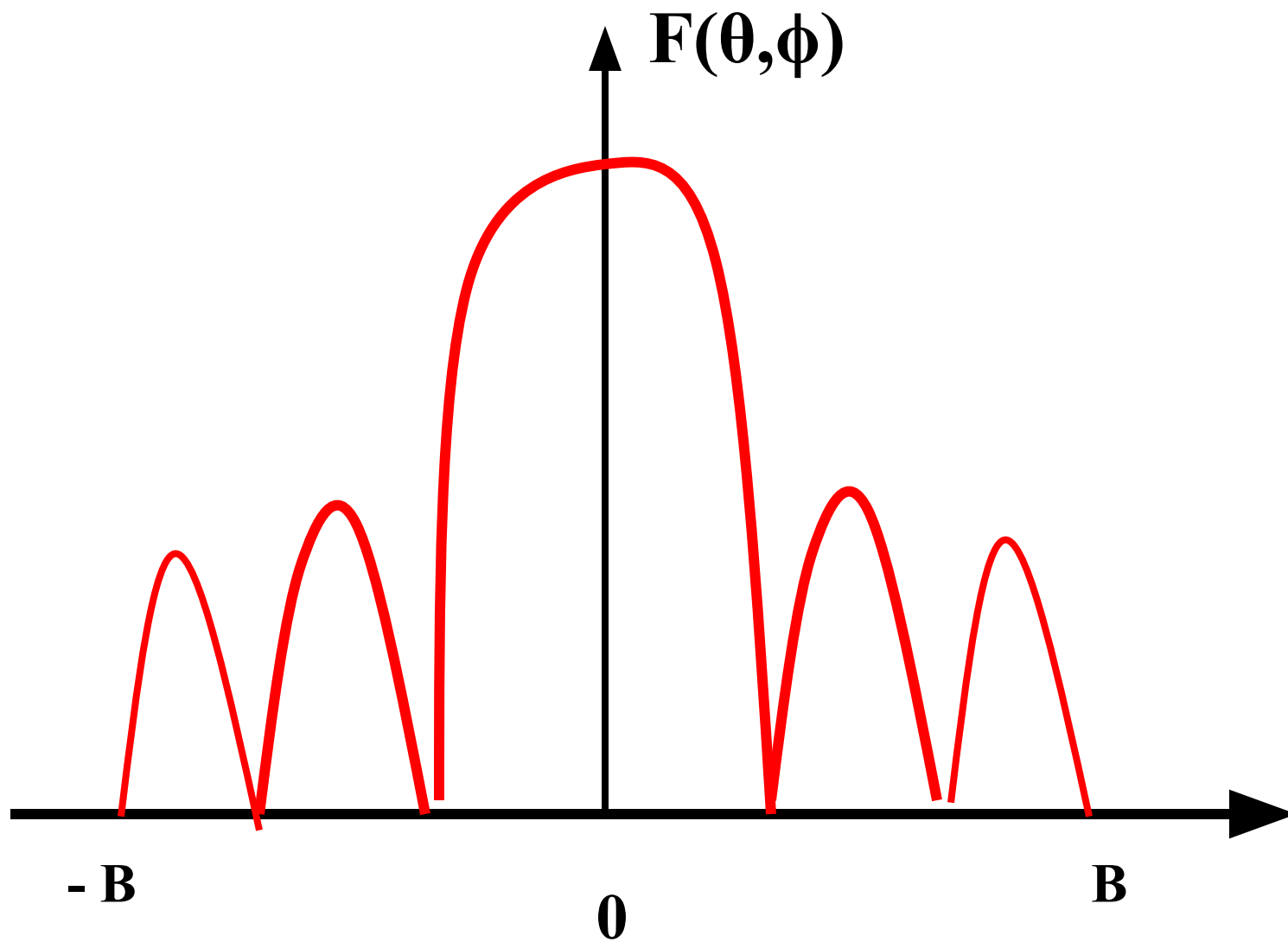
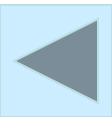


Рис. 8.4



Вывод:

1) Направление главных лепестков определяется из условия: $\varphi = 2m\pi$, $m = 0, 1, 2, \dots$ - порядок лепестка.

2) Направление боковых лепестков $\varphi = (2m+1)\pi/n$, $m=1, 2, 3, \dots$

3) Направления, в которых излучение отсутствует (нули ДН) $\varphi = 2m\pi/n$ ($m = rn$, r - целое число).

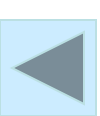


8.3. Синфазная антенная решетка

$$E = E_1 \frac{\sin\{n/2 kd \sin\Theta\}}{\sin\{1/2 kd \sin\Theta\}} \quad (8.12)$$

Диаграмма направленности:

$$F(\Theta) = \frac{E}{E_{\max}} = \frac{\cos(kl \sin\Theta) - \cos kl}{\cos\Theta} * \frac{\sin\{n/2 kd \sin\Theta\}}{n \sin\{1/2 (kd \sin\Theta)\}} \quad (8.13)$$



Направление нулевого излучения:

$$\sin \Theta_{on} = \frac{N\lambda}{nd} \quad (8.14)$$

**Направление максимального излучения
боковых лепестков:**

$$\frac{n}{2} kd \sin \Theta_{\max} = \frac{(2N + 1)\pi}{2} \quad (8.15)$$

$$\sin \left[\frac{n}{2} kd \sin \Theta_{\max} \right] = 1$$



Направление первого нулевого излучения:

$$\sin \Theta_0 = \frac{\lambda}{nd} \quad (8.16)$$

d - шаг решётки.

При $\lambda/nd \ll 1$, ширина главного лепестка:

$$2\Theta_0 = \frac{2\lambda}{nd} \quad [\text{рад}]$$

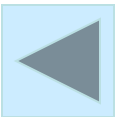


Диаграмма направленности:

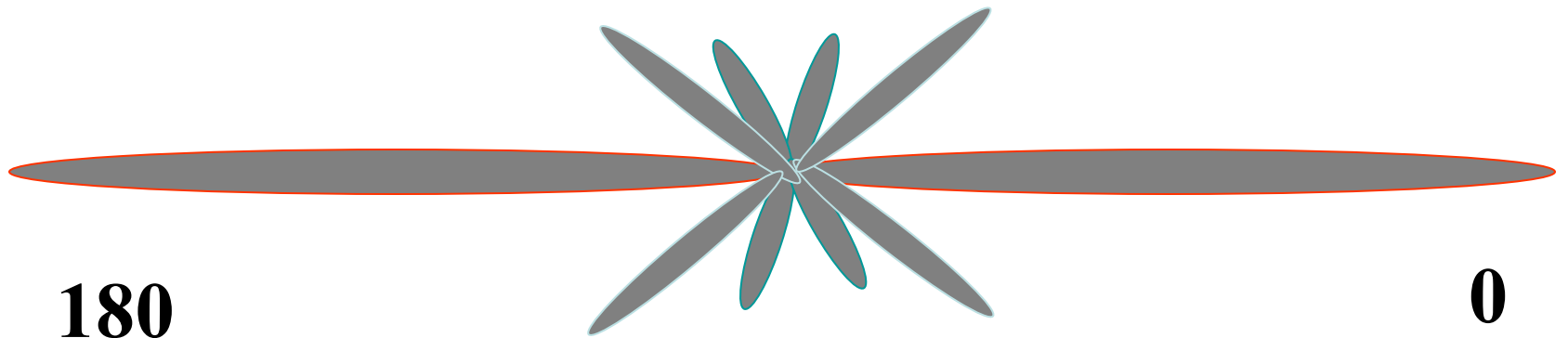
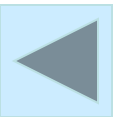


Рис. 8.5



Уровень боковых лепестков.

Направление максимума:

$$\sin \Theta_{\max N} = \frac{2N+1}{2} \frac{\lambda}{nd} \quad (8.17)$$

Максимум излучения бокового лепестка:

$$E_{\max} = \frac{E_1}{\sin \left(\frac{(2N+1)\pi}{2} \right)}$$



Уровень бокового лепестка:

$$\xi_n = \frac{1}{n \operatorname{Sin}\left(\frac{2N+1}{n} \frac{\pi}{2}\right)} \quad (8.18)$$

$$\xi_n = \frac{1}{(2N+1)\pi} \quad (8.19)$$

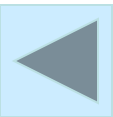
При больших L/λ :

$$D = \frac{2L}{\lambda}$$





Рис. 8.6



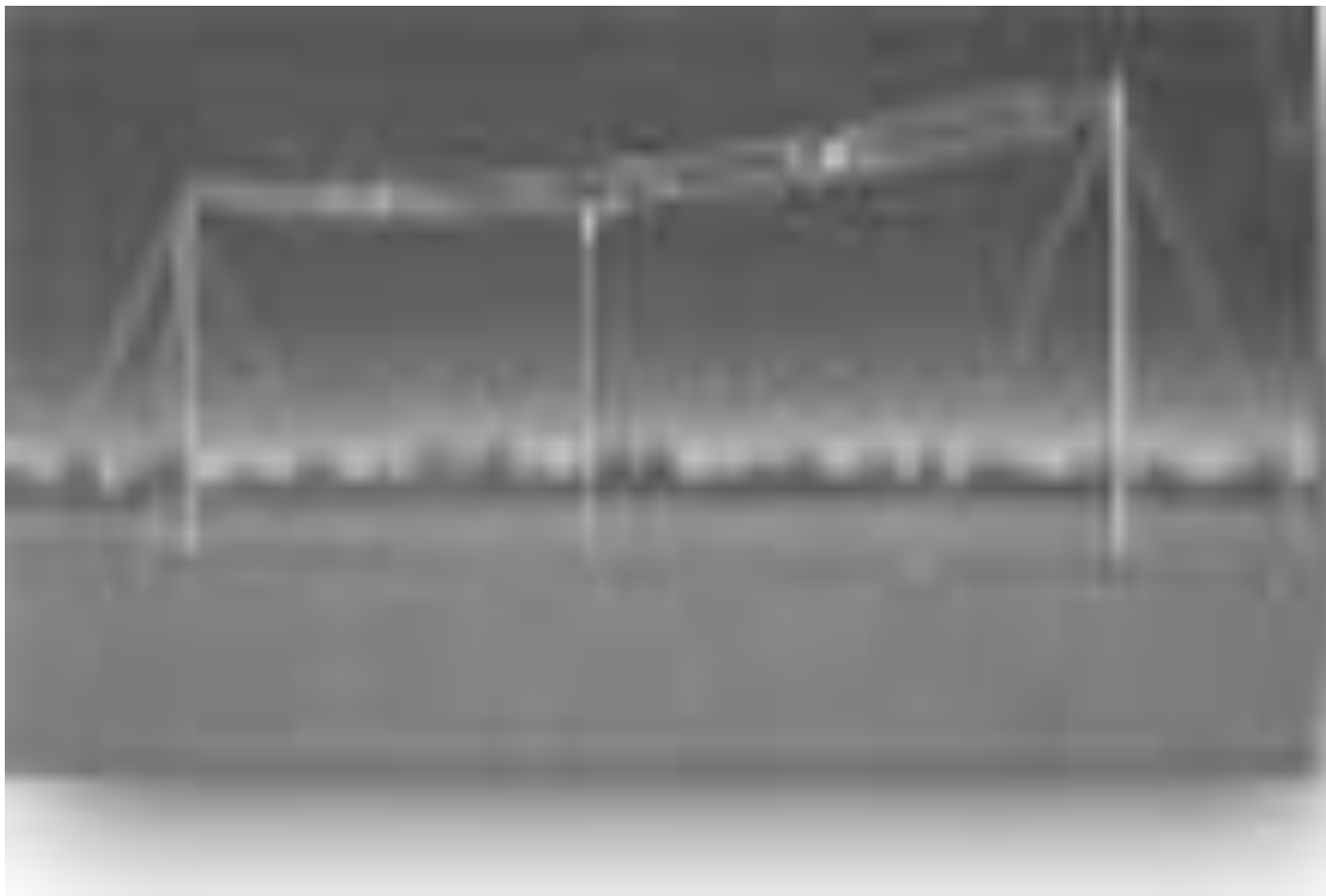


Рис. 8.7



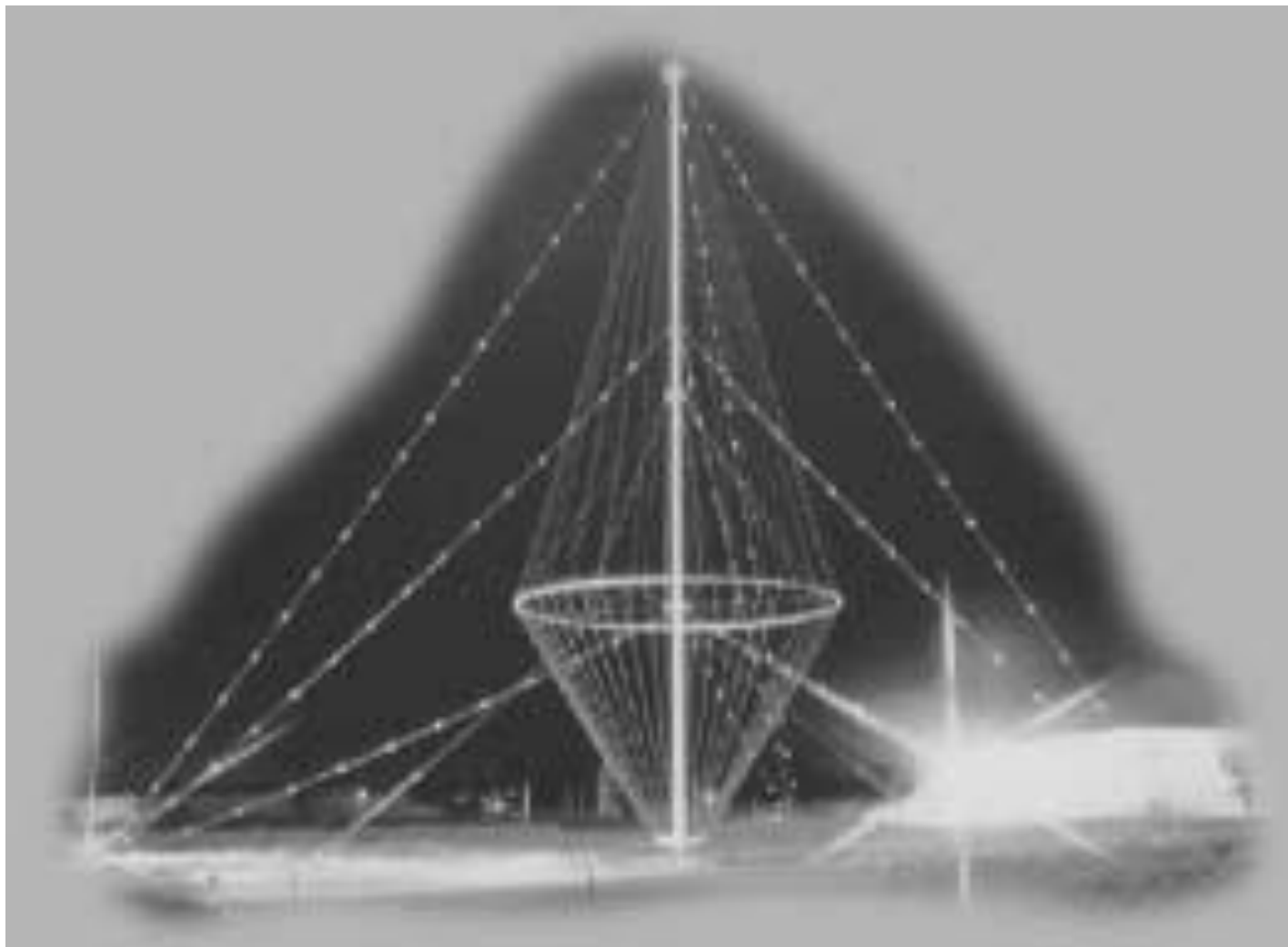


Рис. 8.8

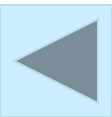




Рис. 8.9

