

# Антенные решетки

Лекция 7

# Множитель системы линейной решетки

Дискретные системы состоящие из ряда отдельных излучателей (элементов), представляющие идентичные одинаково ориентированные излучатели.

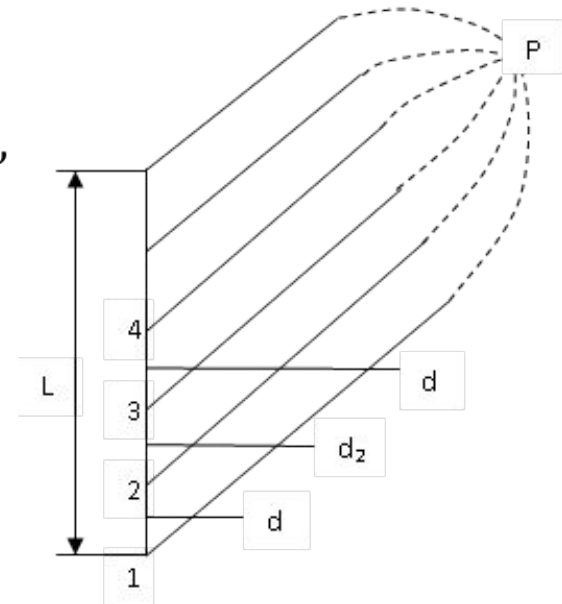
$$f_{\text{сист}}(\theta, \varphi) = \sum A_i e^{j[\varphi_i + k\rho_i \cos\alpha_i]},$$

$$f_{\text{сист}}(\theta, \varphi) = f_N(\theta, \varphi)$$

Рассмотрим линейную решетку

$$k\rho_i \cos\alpha_i = kl_i \cos\theta, \quad l_i = d_1 + d_2 + \dots + d_i$$

$$f_N(\theta, \varphi) = \sum_{i=1}^N A_i e^{j[\varphi_i + kl_i \cos\theta]}$$



Анализ множителя решетки:

- расстояние между элементами одинаковы (эквилидистантные решетки).
- амплитуды токов в излучателях одинаковы

$$I_1 = I_2 = \dots = I_N; A_i = 1$$

- фаза тока от излучателя к излучателю изменяется на постоянную величину

$$\varphi_i = (i - 1)\xi$$

равномерная прямофазная решетка



$$f_N(\theta) = \sum e^{j[(i-1)(kdcos\theta - \xi)]} = \sum e^{j(i-1)\Psi}$$

$$\Psi = kdcos\theta - \xi \text{ - обобщенный угол}$$

$$q = e^{j\Psi} \quad f_N(\theta) = \sum q^{(i-1)}$$

Используя формулу для суммы членов геометрической прогрессии

$$\sum q^{N-1} = 1 + q + q^2 + \dots + q^{N-1} = \frac{1 - q^N}{1 - q},$$

(6)

Получим

$$f_N(\theta) = \frac{1 - e^{jN\Psi}}{1 - e^{j\Psi}}$$

$$f_N(\theta) = \frac{e^{j\frac{N\Psi}{2}} (e^{j\frac{N\Psi}{2}} - e^{-j\frac{N\Psi}{2}})}{e^{j\frac{\Psi}{2}} (e^{j\frac{\Psi}{2}} - e^{-j\frac{\Psi}{2}})} = e^{j\frac{N-1}{2}\Psi} \frac{\sin\frac{N\Psi}{2}}{\sin\frac{\Psi}{2}}$$

фазовая диаграмма

$$\Phi_N(\theta) = \frac{N-1}{2} \Psi = \frac{N-1}{2} (kdcos\theta - \xi)$$

Система излучает сферическую волну. Фазовый центр системы находится в середине.

Амплитудная ДН решетки  $f_N(\theta)$ ,

$$f_N(\theta) = \left| \frac{\sin \frac{N\Psi}{2}}{\sin \frac{\Psi}{2}} \right| = \left| \frac{\sin \frac{N}{2} (kdcos\theta - \xi)}{\sin \frac{1}{2} (kdcos\theta - \xi)} \right|$$

режимы поперечного. излучения -главный лепесток ДН  
направлен вдоль нормали или отклонен от нее на  
некоторый угол.

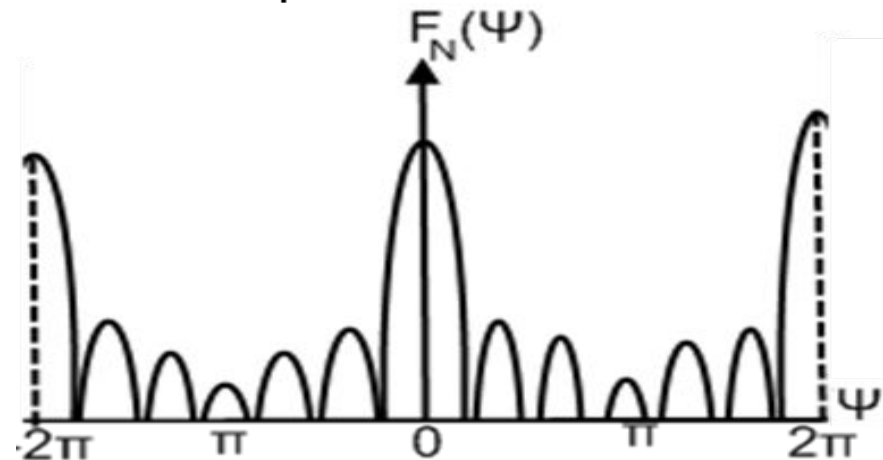
$$\Psi = kdsin\theta - \xi$$

Пусть  $\Psi = 0$ , тогда  $f_N(0) = N$ ,

$$f_N(\theta) = \left| \frac{\sin \frac{N\Psi}{2}}{\sin \frac{\Psi}{2}} \right| = \left| \frac{\sin \frac{N}{2} (kdsin\theta - \xi)}{\sin \frac{1}{2} (kdsin\theta - \xi)} \right|$$

$$F_N(\Psi) = \left| \frac{\sin \frac{N\Psi}{2}}{N \sin \frac{\Psi}{2}} \right|$$

$N=7$



$F_N(\Psi)$ -периодическая функция ( $2\pi$ )

$$\Psi = 2m\pi, \quad m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots \quad \Psi = kd \sin \theta - \xi = 2m\pi \quad (12)$$

$m=0$  нулевой (центральный, главный);

$m=1$  - максимум первого порядка, дифракционный

$$\Psi = \frac{2\pi n}{N}, \quad n = \pm 1, 2, \pm 3, \dots, \text{ или } \sin \theta_{0,n} = \frac{2\pi n \lambda}{N 2\pi d} = \frac{n \lambda}{Nd} \quad (13)$$

$$\psi_\delta \approx \frac{(2n+1)\pi}{N}, \quad n = \pm 1, \pm 2, \dots \quad (14)$$

$$n \neq mN, n \neq mN - 1$$

$$F_\delta \approx \left| \frac{1}{N \sin \left[ \left( n + \frac{1}{2} \right) \frac{\pi}{N} \right]} \right| \quad (15)$$

При  $n \ll N$  можно положить  $\sin \left[ \left( n + \frac{1}{2} \right) \frac{\pi}{N} \right] \approx \left( n + \frac{1}{2} \right) \frac{\pi}{N}$

реальный угол  $\theta \in -\frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{2}$ ,

рабочая область  $\Psi$  (область видимости)  $kd - \xi \leq \Psi \leq kd + \xi$

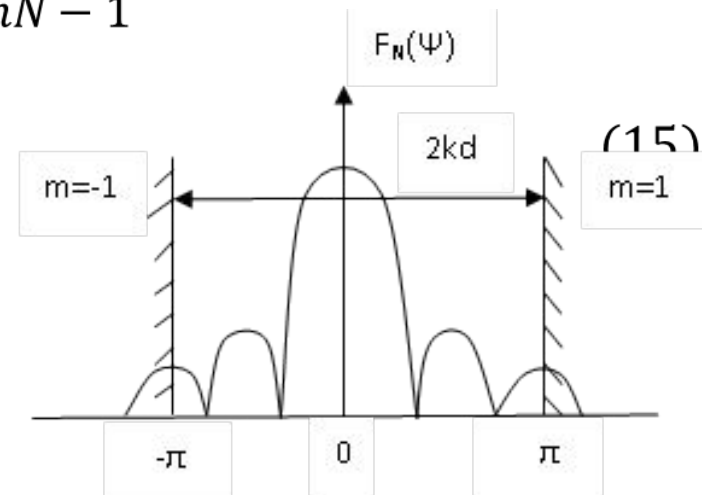


Рис.1

$$F_N(\Psi) \quad N = 5, d = 1,3\lambda, \xi = 0$$

$$\Psi = kd \sin \theta - \xi = 2m\pi, m = 0, \pm 1 \dots$$

$$\sin \theta_m = m \frac{\lambda}{d} + \frac{\xi \lambda}{2\pi d} -$$

правая часть по модулю не больше 1, то лепесток  $m$ -го порядка существует.

В частности для нулевого главного  $\max$  ( $m=0$ ) имеем

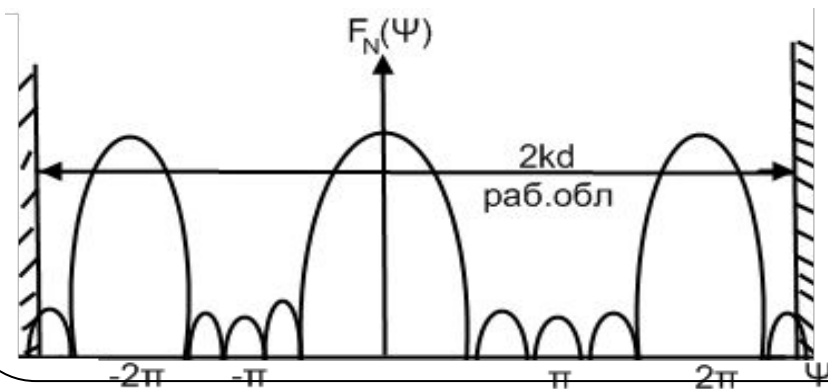
$$\sin \theta_0 = \frac{\xi \lambda}{2\pi d}$$

$\max$  существует если  $\left| \frac{\xi \lambda}{2\pi d} \right| \leq 1$

$$\sin \theta_m = m \frac{\lambda}{d} + \sin \theta_0$$

При  $\xi > 0$  ( $\sin \theta_0 > 0$ ) рабочий участок смещается влево от начала координат. главный лепесток, соответствует  $m=-1$ ,

Его положение



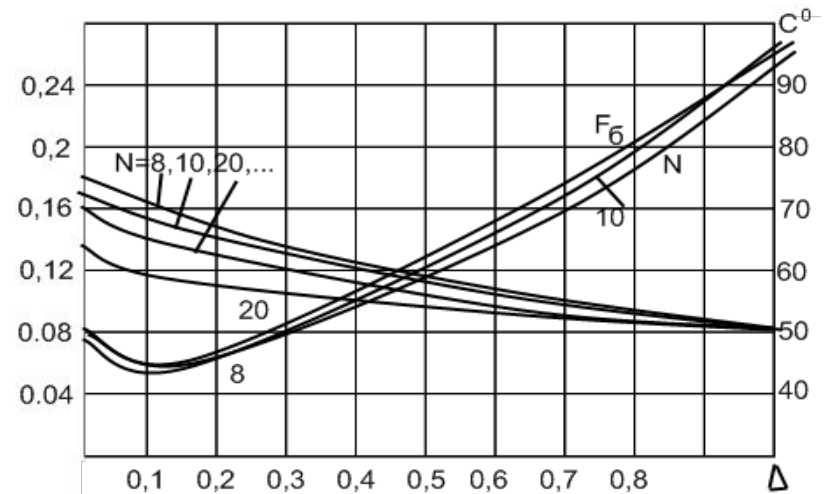
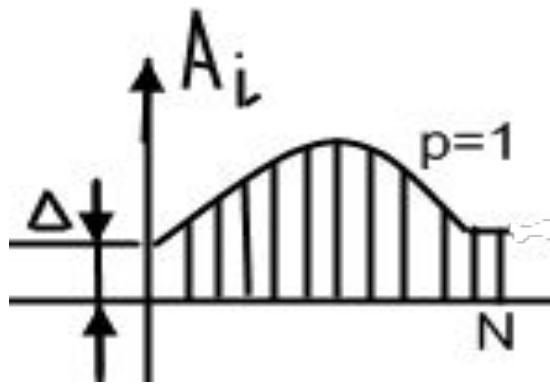
$$\sin \theta_{-1} = -\frac{\lambda}{d} + \sin \theta_0$$

$$N = 5, d = 0,5\lambda, \xi = 0$$

## Решетки со спадающим АР

$$A_j = \Delta + (1 - \Delta) \sin^p \left( \frac{i - 1}{N - 1} \pi \right)$$

$$i = 1, 2, \dots, N; p = 1, 2, \dots$$



при  $N \gg 1$  в равномерном АР ( $\Delta = 1$ )  $\Rightarrow 2\theta_{0,5p}^0 \approx 51 \frac{\lambda}{L}$ , с УБЛ  $F_{61} \approx 22\%$ .

При cos-м АР ( $\Delta = 0$ )  $2\theta_{0,5p}^0 \approx \frac{\lambda}{L}$ , а  $F_{61} \approx 7\%$ .

Главный лепесток становится ассиметричным и расширяется. Если решетка имеет несколько главных max, это приводит к уменьшению КНД антенны, возникновению ложного пеленга, снижению помехозащищенности системы.

## Условие единственности главного лепестка

Выполнение условия для  $m$ -го лепестка

$$|\sin\theta_m| \leq 1, \text{ а}$$

для  $m=-1$  и  $m=\pm 1$  главных лепестков это условие не выполнялось, т.е.

$$(m + 1) \frac{\lambda}{d} + \frac{\xi\lambda}{2\pi d} = \sin\theta_m + \frac{\lambda}{d} \geq 1, \quad (20^a)$$

$$(m - 1) \frac{\lambda}{d} + \frac{\xi\lambda}{2\pi d} = \sin\theta_m - \frac{\lambda}{d} \leq -1 \quad (20^b)$$

Если  $\sin\theta_m > 0$ , то труднее обеспечить выполнение неравенства (20<sup>b</sup>),

если  $\sin\theta_m < 0$ ,

$$\frac{d}{\lambda} \leq \frac{1}{1 + |\sin\theta_m|} \quad (21)$$

условие единственности  $m$ -го лепестка.

Допустимые расстояния между элементами решетки:

- для синфазной решетки

$$(\sin\theta_m = \sin\theta_0 = 0) d \leq \lambda;$$

- для решетки осевого излучения

$$(\sin\theta_m = 1) d \leq \frac{\lambda}{2};$$

-переход к неэквидистантным решеткам



## Неэквидистантные решетки

Расстояния между излучателями неодинаковы. ДН решеток имеет лишь единичный максимум.

Разность хода лучей  $\delta$  от  $2^x$  соседних излучателей

$$\delta = d \sin \theta$$

Если  $d > \lambda$ ,  $\rightarrow \theta (\delta = \lambda)$ , т.е. поле этих излучений в направлении  $\theta$ , складывается в фазе

Угол  $\theta_1$ , находится из условия

$$\sin \theta_1 = \frac{\lambda}{d}$$

в направлении  $\theta_1$  получается дифр *max.* поля

Если  $d_i > \lambda \rightarrow \theta_i$  ( $\sin \theta_i = \frac{\lambda}{d_i}$ ) «размазывание» дифр-х *max.*

**«разряженные» решетки**-малое число излучателей,  $2\theta_{0,5}$  зависит от  $L$  и мало чувствительна к степени заполнения апертуры.

**«разрежение»** решетки сопровождается  $\uparrow$  среднего уровня боковых лепестков. УБЛ  $\sim$  обратно числу оставшихся в решетке излучателей.

$\Delta f$  и  $\theta_m$  в неэкв. решетки  $>$   $\Delta f$  и  $\theta_m$  эквид. решетки

КНД

$$L \rightarrow L_{\text{ЭКВ}} = Nd$$

$D \approx \frac{2L}{\lambda} = 2Nd \frac{d}{\lambda}$  в режиме поперечного и наклонного излучений

$D \approx \frac{4L}{\lambda} = 4N \frac{d}{\lambda}$  в режиме осевого излучения

$D_{\text{ОПТ}} \approx 8 \frac{L}{\lambda} = 8N \frac{d}{\lambda}$  в режиме осевого излучения с оптимально замедленной фазовой скоростью

$$\beta_{\text{ОПТ}} = 1 + \frac{\lambda}{2Nd}, d < \frac{\lambda}{2}$$

Неэквидистантные решетки используют в качестве приемных, т.к.

- имеют большие размеры.
- число элементов  $N$  оказывается при эквидистантном их расположении значительно больше.

Использование неэквидистантных разреженных решеток представляется особенно перспективным.