

Антенные решетки

Лекция 7

Множитель системы линейной решетки

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

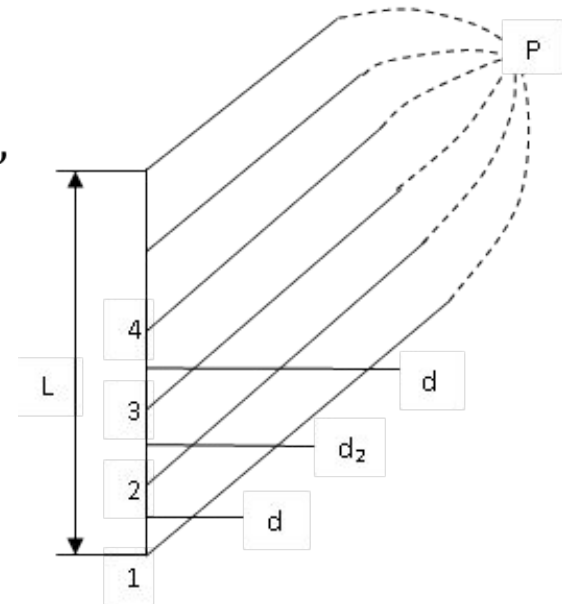
$$f_{\text{сист}}(\theta, \varphi) = \sum A_i e^{j[\varphi_i + k\rho_i \cos\alpha_i]},$$

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

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 (эквидистантные 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



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

$\Psi = kdcos\theta - \xi$ - 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.

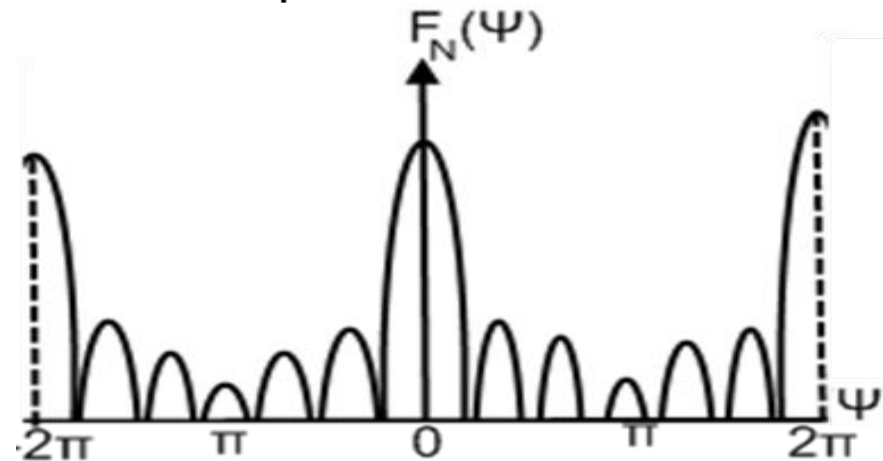
$$\Psi = kdsin\theta - \xi$$

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 (2π)

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

$m=0$ 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 Ψ (область видимости) $kd - \xi \leq \Psi \leq kd + \xi$

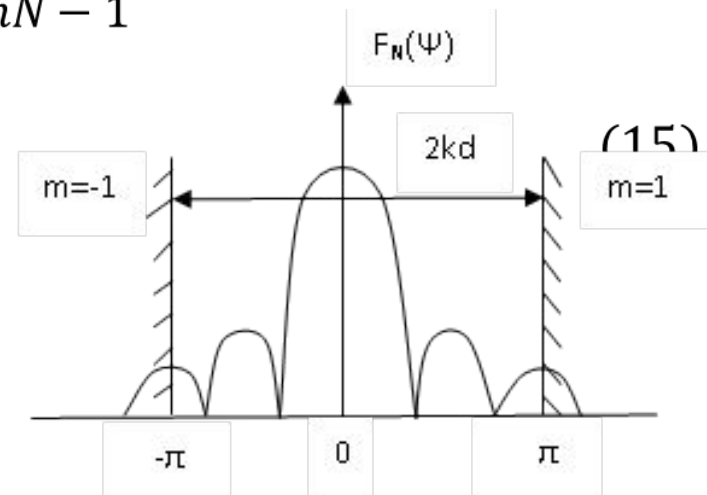


Рис.1

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

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

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

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

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

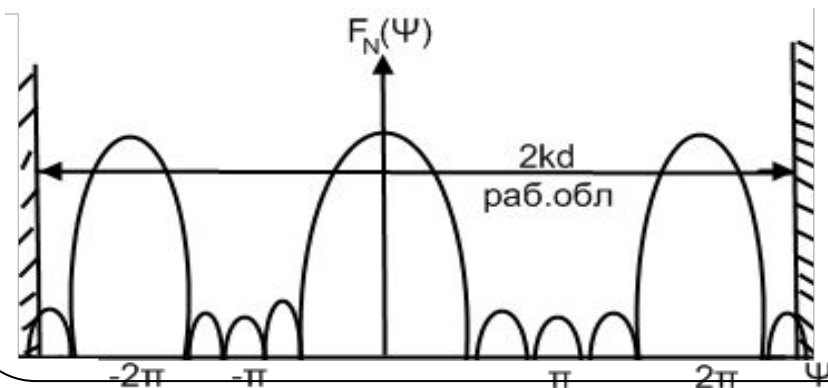
$$\sin \theta_0 = \frac{\xi \lambda}{2\pi d}$$

\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



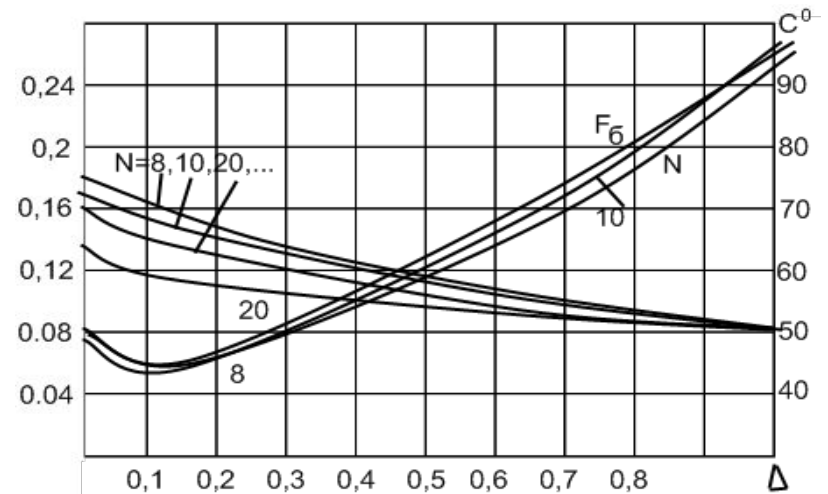
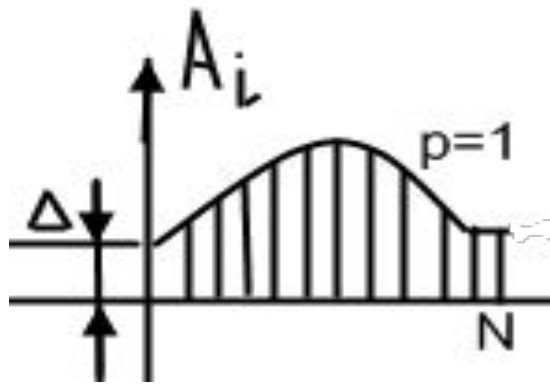
$$\sin \theta_{-1} = -\frac{\lambda}{d} + \sin \theta_0$$

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

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^b),

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 δ от 2^x соседних излучателей

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

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

Угол θ_1 , находится из условия

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

в направлении θ_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.

Δf и θ_m в неэкв. решетки $>$ Δf и θ_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.