

# **ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ПОЛЯ И ВОЛНЫ**

**Практическое занятие №3**

**РАСЧЕТ И АНАЛИЗ  
ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ  
ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ИЗЛУЧАТЕЛЕЙ**

- **Основные расчетные формулы:**

- 1. Составляющие электромагнитного поля элементарного электрического вибратора в сферической системе координат

- $$E_{m\theta} = -i \frac{I_m \lambda k^2}{4\pi\omega\epsilon_a} \sin\theta \left( 1 - \frac{1}{k^2 r^2} - \frac{i}{kr} \right) \frac{e^{-ikr}}{r}, \quad (3.1)$$

- $$E_{m_r} = i \frac{I_m \lambda k}{2\pi\omega\epsilon_a} \cos\theta \left( 1 + \frac{i}{kr} \right) \frac{e^{-ikr}}{r^2}, \quad (3.2)$$

- $$H_{m\psi} = -i \frac{I_m \lambda k}{4\pi} \sin\theta \left( 1 - \frac{i}{kr} \right) \frac{e^{-ikr}}{r}, \quad (3.3)$$

- где  $I_m$  – амплитуда тока;  $\lambda$  – длина элементарного вибратора,  $k$  – волновое число;  $\theta$  – угол между осью вибратора и направлением на точку наблюдения;  $r$  – расстояние до точки наблюдения.

- 2. Составляющим электромагнитного поля элементарного электрического вибратора в сферической системе координат в ближней зоне (приближение  $kr \ll 1$ )

- $$\vec{E}_{m\theta} = i \frac{I_m \vec{k}}{4\pi\omega\epsilon_a r^3} \sin \theta, \quad \vec{E}_{m_r} = -\frac{I_m \vec{k}}{2\pi\omega\epsilon_a r^3} \cos \theta, \quad \vec{H}_{m\psi} = -\frac{I_m \vec{k}}{4\pi r^2} \sin \theta. \quad (3.4)$$

- 3. Составляющие электромагнитного поля элементарного электрического вибратора в сферической системе координат в дальней зоне (приближение  $kr \gg 1$ )

- $$\vec{E}_{m\theta} = i \frac{I_m \vec{k}^2}{4\pi\omega\epsilon_a r} \sin \theta e^{-ikr}, \quad \vec{H}_{m\psi} = i \frac{I_m \vec{k}}{4\pi r} \sin \theta e^{-ikr}. \quad (3.5)$$

- 4. Мощность излучения элементарного электрического вибратора

- $$P_{\Sigma} = \frac{I_m^2 \vec{k}^2 k^3}{12\pi\omega\epsilon_a} = 40\pi^2 I_m^2 \left(\frac{l}{\lambda}\right)^2. \quad (3.6)$$

- 5. Сопротивление излучения элементарного электрического вибратора

- $$P_{\Sigma} = \frac{\mu_0^2 k^3}{6\pi\omega\epsilon_0} = 80\pi^2 \left(\frac{l}{\lambda}\right)^2, \quad (3.7)$$

- в свободном пространстве

- $$R_{\Sigma} = 20(\mu_0 k)^2 \approx 800 \left(\frac{\mu_0}{\lambda}\right)^2. \quad (3.8)$$

- 6. Составляющие электромагнитного поля элементарной рамки в сферической системе координат в дальней зоне

- $$E_{m_{\psi}} = \frac{I_m S k}{4\pi} \omega \mu_0 \sin \theta \frac{e^{-ikr}}{r}, \quad H_{m_{\theta}} = -\frac{I_m S k^2}{4\pi} \sin \theta \frac{e^{-ikr}}{r}, \quad (3.9)$$

- где  $S$  – площадь рамки,  $\theta$  угол между нормалью к плоскости рамки и направлением на точку наблюдения.

- 1. Рассчитать амплитуду напряженности электрического поля вертикально расположенного элементарного вибратора в точке расположения воздушного судна (ВС) на расстоянии при горизонтальной дальности  $r_r = 100$  м. Определить мощность излучения и сопротивления излучения, если  $I_m$  — амплитуда тока при частоте  $f = 80$  МГц. Вибратор находится в воздухе.

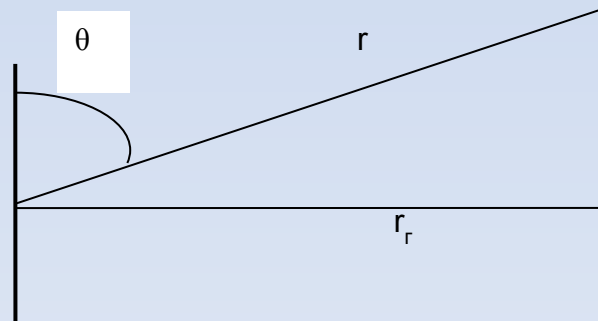
- Решение:  $r = 200$  м,  $\lambda = 3,75$  м,
- Поскольку  $kr = \frac{2\pi}{\lambda} r = \frac{2\pi}{3,75} \cdot 200 \gg 1$  точка наблюдения расположена в дальней зоне
- Так как ВС находится на некоторой высоте (рис.3.1), можно найти угол между осью вибратора и направлением на точку наблюдения:  $\theta = \arcsin \frac{r}{r_r} = \arcsin(0,5) = 30^\circ$

- Поэтому

$$|E_m| = \frac{I_m k^2}{4\pi\omega\epsilon_a r} \sin\theta = \frac{60\pi I_m}{\lambda r} \sin\theta = \frac{60\pi \cdot 0,5 \cdot 0,5}{3,75 \cdot 200} \cdot 0,5 = 31,4 \frac{\text{мВ}}{\text{м}}.$$

- Мощность излучения

$$P_\Sigma = \frac{I_m^2 k^3}{12\pi\omega\epsilon_a} = \frac{I_m^2 \omega \sqrt{\epsilon_a \mu_a} (2\pi)^2}{12\pi\omega\epsilon_a (\lambda)^2} = \frac{0,25 \cdot 400}{3,75^2} = 1,77 \text{ Вт}.$$



- Рисунок 3.1

- Сопротивление излучения

$$R_{\Sigma} = 20(\beta k)^2 = 80\pi^2 \left( \frac{\beta}{\lambda} \right)^2 = \frac{800 \cdot 0,25}{3,75^2} = 14,2 \text{ Ом.}$$

- 2. На расстоянии 30 км от радиостанции максимальная амплитуда напряженности электрического поля вибратора Герца, входящего в состав антенной системы, равна  $10^{-5}$  В/м. Определить мощность излучения вибратора Герца.

• Решение:

- Из условия элементарности вибратора выбираем, что

- Тогда мощность излучения можно определить по формуле  $P_{\Sigma} = \frac{Z I_m^2}{2} = 40\pi \left(\frac{\lambda}{4\pi}\right)^2 I_m^2$ .

- В свою очередь,  $|E_{m\theta}| = \frac{I_m \lambda}{4\pi\omega\epsilon_a r} \sin\theta = \frac{I_m \lambda}{4\pi\epsilon_a \omega r} \cdot \frac{2\pi}{\lambda} \cdot \omega\sqrt{\epsilon_a\mu_a} \cdot \sin\theta = \frac{I_m \lambda}{2\lambda r} Z \sin\theta$ ,

- где  $Z$  – волновое сопротивление среды. Тогда  $\frac{I_m \lambda}{2} = \frac{|E_{m\theta}|}{Z}$ :

$$\theta = \frac{\pi}{2}$$

- Следовательно,  $\frac{\pi}{2}$  при в воздухе ( $Z = 120$  Ом)



$$P_{\Sigma} = \frac{160\pi^2 |\vec{E}_{m\theta}|^2 r^2}{(120\pi)^2} = \frac{160 (10^{-5})^2 (30 \cdot 10^3)^2}{120^2} = 0,001 \text{ Вт.}$$

- 3. Квадратная рамка с размером сторон 30 см при запитке ее на излучение создаст максимальную амплитуду напряженности электрического поля В/м на расстоянии 7 км. Определить ток в рамке, если  $\lambda = 6$  м.

- Решение

- Так как 
$$|E_{m\psi}| = \frac{I_m S k}{4\pi r} \omega \mu_a \sin \theta = \frac{I_m S}{4\pi r} \cdot \frac{2\pi \omega \mu_a}{\lambda} = \frac{I_m S \pi Z}{\lambda^2 r} \sin \theta,$$

- то 
$$I_m = \frac{|E_{m\psi}| \lambda^2 r}{S \pi Z \sin \theta}.$$

- Поэтому, при  $\theta = \frac{\pi}{2}$  и  $Z = 120\pi$  Ом получим

$$I_m = \frac{|E_{m\psi}| \lambda^2 r}{S \pi Z} = \frac{8 \cdot 10^{-4} \cdot 6^2 \cdot 7 \cdot 10^3}{120\pi \cdot (0,3)^2 \pi} = 1,89 \text{ А.}$$

- 4. Два одинаковых элементарных электрических вибратора, питающихся синфазно, расположены вдоль прямой линии. Расстояние между их центрами равно  $d$ . Найти суммарную диаграмму направленности.

- Решение

$$E_{m\theta} = i \frac{I_m \lambda k^2}{4\pi\omega\epsilon_a} \cdot \frac{e^{-ikr}}{r} \cdot \sin\theta = A \cdot \sin\theta e^{-ikr}.$$

- Для дальней зоны

- Для верхнего вибратора (рисунк 3.2)

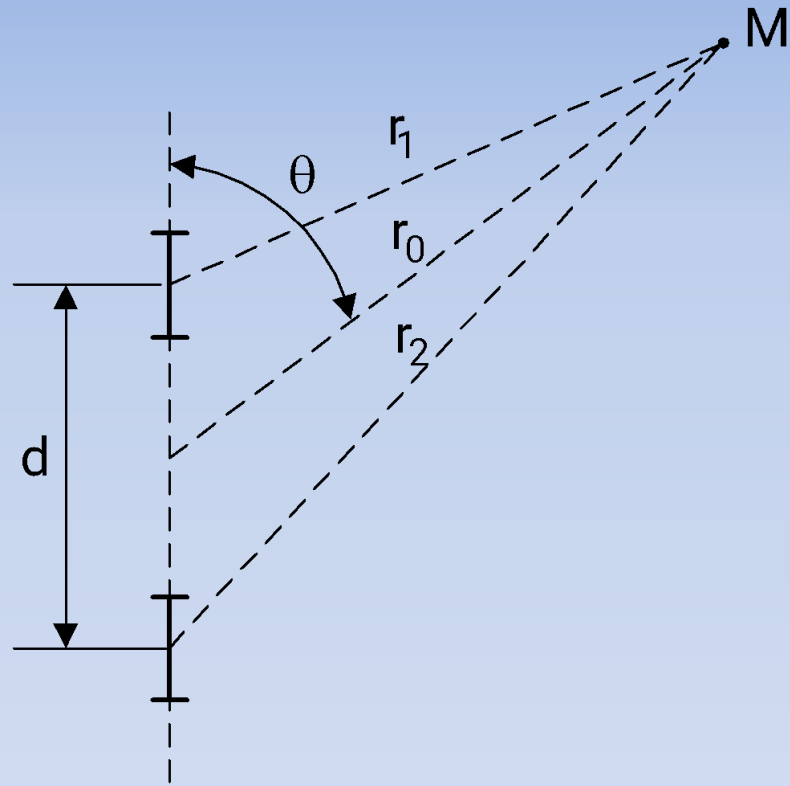
$$E_{m\theta}^B = A_B e^{ik\left(\frac{d}{2}\cos\theta\right)} \sin\theta,$$

- для нижнего

$$E_{m\theta}^H = A_H e^{-ik\left(r_0 + \frac{d}{2}\cos\theta\right)} \sin\theta.$$

$$r_0 \gg d, r_0 \gg \lambda.$$

- Здесь учтено, что

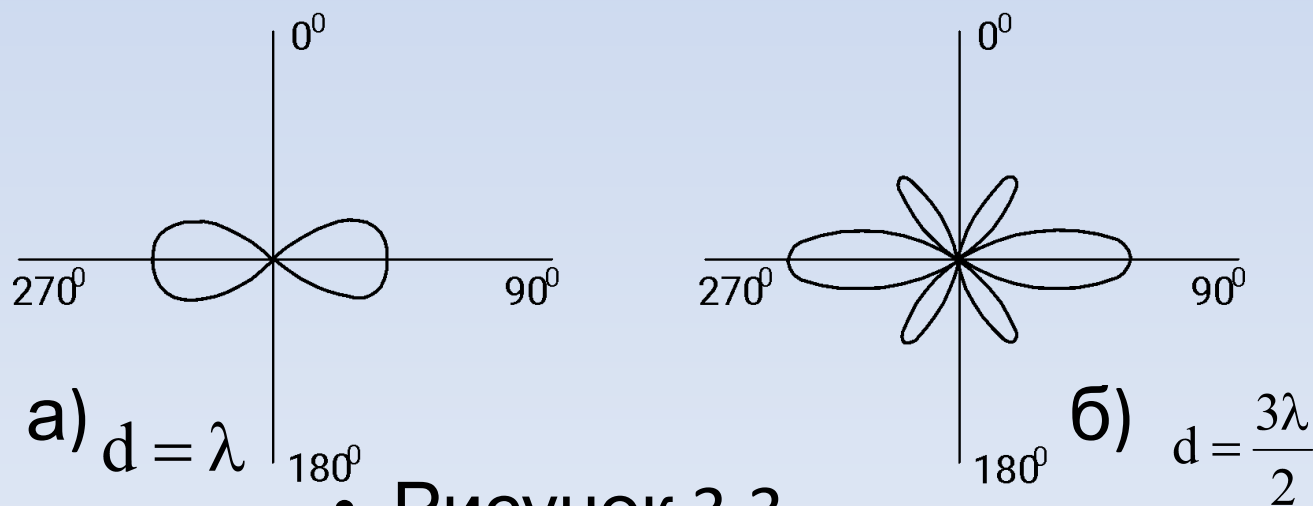


- Рисунок 3.2.

- Считая далее,  $A_H \approx A_B \approx A$ , что и для больших получим  $r_1 \approx r_2 \approx r_0$ ,
- Поэтому выражение для нормированной диаграммы

$$\bar{E}_{m\theta} = \bar{E}_{m\theta}^H + \bar{E}_{m\theta}^B = A \left( e^{\frac{-ikd}{2} \cos \theta} + e^{\frac{ikd}{2} \cos \theta} \right) e^{-ikr_0} \sin \theta = A e^{-ikr_0} \cdot 2 \cos \left( \frac{kd}{2} \cos \theta \right) \sin \theta.$$

- В полярных координатах она имеет вид, представленный на рисунке 3.3.



• Рисунок 3.3.

- Анализ результирующей диаграммы направленности показывает, что она имеет немонотонный характер. Знание особенностей ДН позволяет грамотно выбирать варианты применения антенных систем.



- **Контрольные вопросы:**

1. Объясните физическую сущность явления излучения.
2. Какой излучатель называют элементарным?
3. Назовите границы ближней, промежуточной и дальней зон вибратора. Каковы свойства поля в каждой из зон?
4. Что такое мощность излучения?
5. В чем суть принципа эквивалентных токов?
6. Что называется сопротивлением излучения? Какова практическая значимость этой величины?
7. Дайте определение диаграммы направленности?
8. Почему элементарную рамку называют элементарным магнитным диполем?
9. Изобразите вид диаграммы направленности элементарного электрического диполя (вибратора), элементарной рамки, источника Гюйгенса.
10. Сформулируйте принцип Гюйгенса.