

Лекция 3. СИММЕТРИЧНЫЙ ВИБРАТОР В СВОБОДНОМ ПРОСТРАНСТВЕ

Учебные вопросы

1. Методика расчета проволочных антенн.
2. Распределение тока и заряда вдоль вибратора.
3. Поле излучения симметричного вибратора.
4. Электрические характеристики симметричного вибратора.

1. Методика расчета проволочных антенн

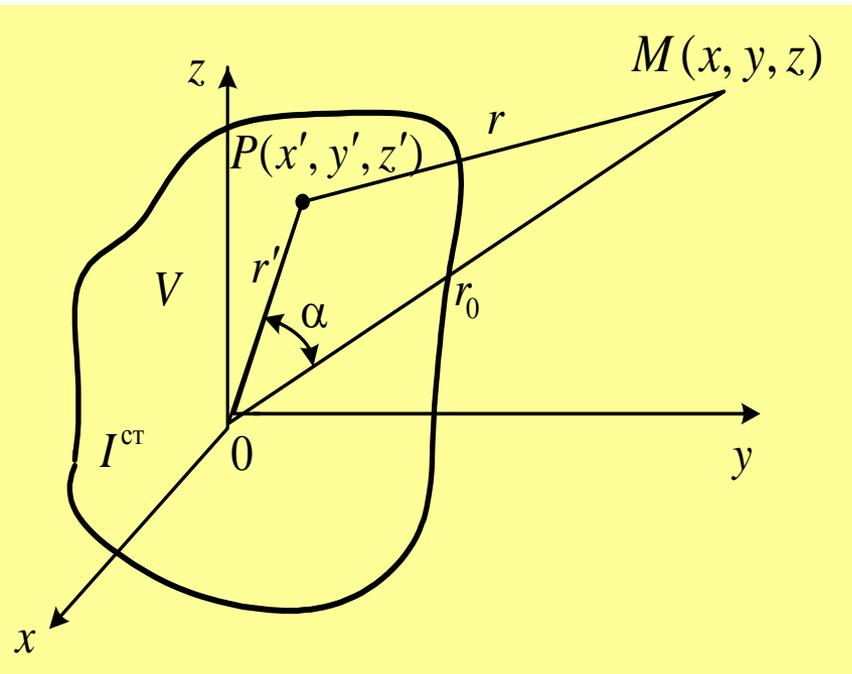
Для определения поля излучения **любой антенны** необходимо знать распределение тока или поля на её поверхности. В строгой постановке этой задачи требуется найти распределение тока по проводникам или поля на антенне. Такая задача очень сложная.

Существует более простой, но менее точный метод.
Можно также представить антенну в виде совокупности элементарных излучателей (ЭИ) и просуммировать их поля с учетом взаимного расположения ЭИ на самой антенне.

$$E(\theta, \varphi) = \int_{S_A} dE_{\text{ЭИ}}.$$

Расчет ЭМ поля антенны в дальней зоне

№3



Антенну представляют в виде системы элементарных излучателей, например ЭЭД. Он излучает неоднородную сферическую волну.

Множитель сферической волны:

$$e^{-ikr} / r.$$

Амплитудный множитель

$$1 / r = \text{const.}$$

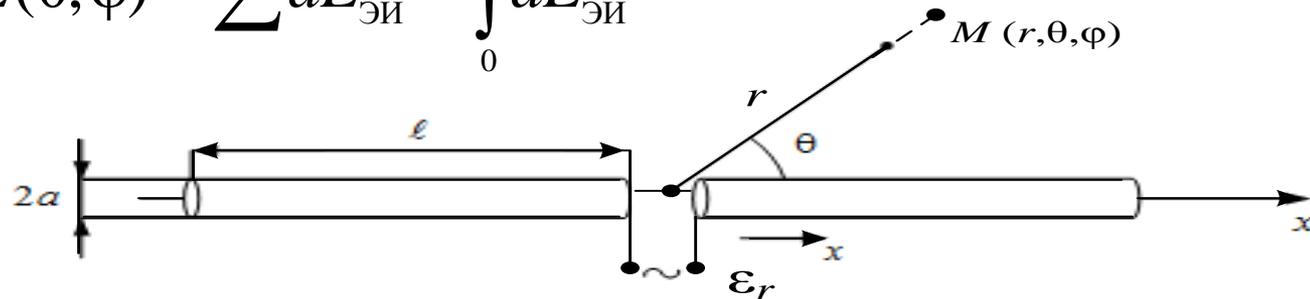
При определении ЭМП антенн наиболее важной является **дальняя зона**, где амплитудный множитель не зависит от расположения ЭИ на антенне.

Учитывается только **набег фаз**. Показателе экспоненты (фазовый множитель) аппроксимируется выражением $r \approx r_0 - r' \cos \alpha.$

В проволочных антеннах ЭИ являются ЭЭД, которые распределены вдоль линии провода, поэтому интеграл линейный.

$$E(\theta, \varphi) = \sum dE_{\text{ЭИ}} = \int_0^l dE_{\text{ЭИ}}$$

Симметричный вибратор



Вдоль ЭЭД ток имеет одинаковую амплитуду и фазу. Однако в симметричном вибраторе распределенные ЭИ будут иметь разные амплитуды и фазы тока и зарядов.

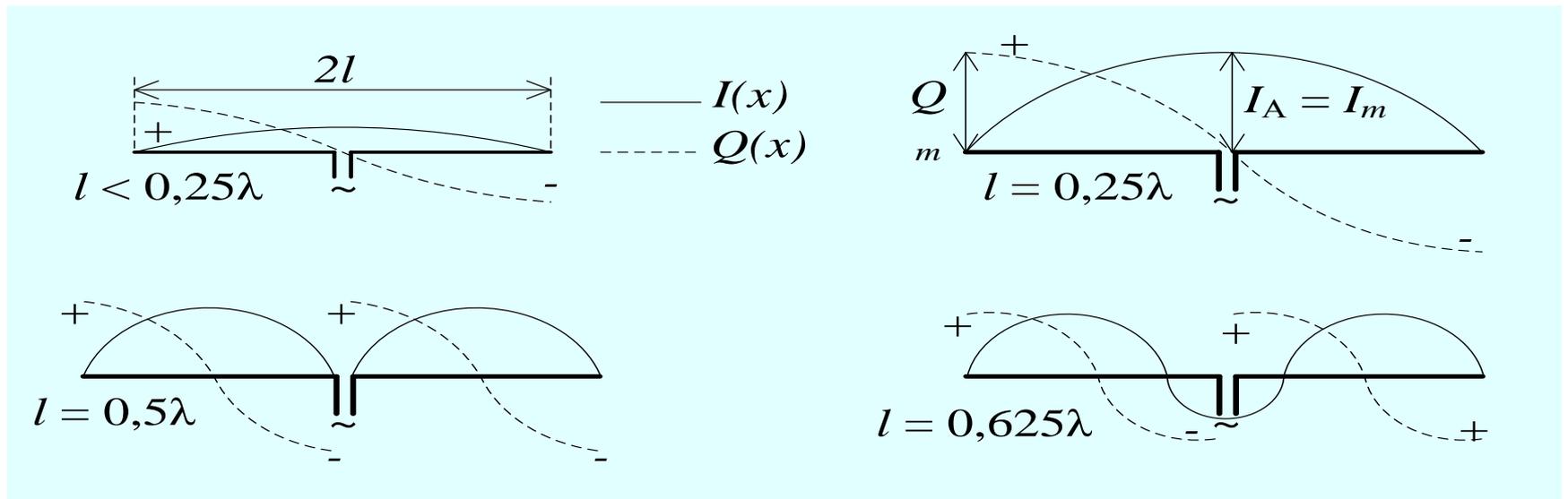
В 2-х проводной линии распределение тока аппроксимируется синусоидальным законом.

Ток в конце разомкнутой линии всегда равен нулю.

В первом приближении это можно применить и для **симметричного вибратора**.

2. Распределение тока и заряда вдоль вибратора

Расчеты **проволочных антенн**, основанные на **синусоидальном** распределении тока, как в однородной длинной линии без потерь. Это дает хорошее совпадение с экспериментальными данными распределения тока.



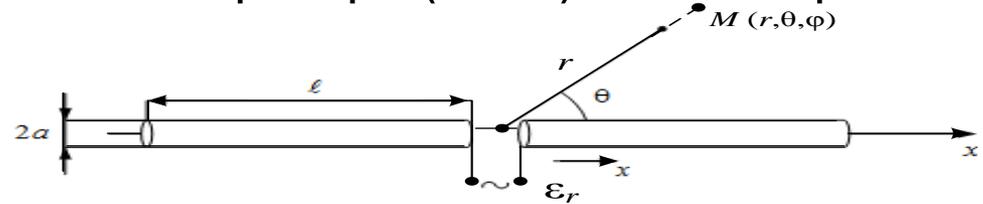
$$I(x) = I_m \sin k(l \mp x) = I_A \frac{\sin k(l \mp x)}{\sin(kl)},$$

$$Q(x) = \mp Q_m \cos k(l \mp x) = \frac{I_A}{ic} \frac{\cos k(l \mp x)}{\cos(kl)}.$$

Входное сопротивление симметричного вибратора

№6

На входных зажимах симметричного вибратора ($x = 0$) ток и напряжение выражаются просто:



$$I_A = I_m \sin(kl); \quad U_A = -i\rho I_m \cos(kl).$$

$$Z_A = \frac{U_A}{I_A} = -i\rho \operatorname{ctg}(kl) = iX_A.$$

Волновое сопротивление линии

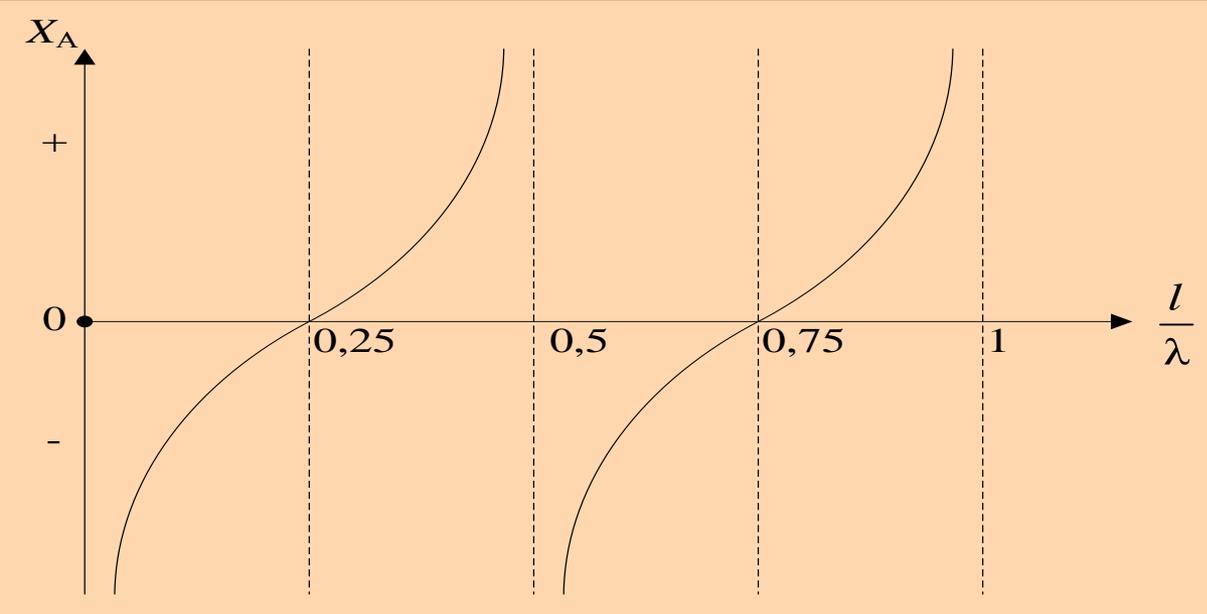
$$\rho_{\text{л}} = \rho = \sqrt{\frac{L_1}{C_1}} = \frac{1}{C_1} \sqrt{\epsilon_0 \mu_0}$$

ρ – волновое сопротивление вибратора

$$\rho \approx 120 \left[\ln \left(\frac{l}{a} \right) - 1 \right].$$

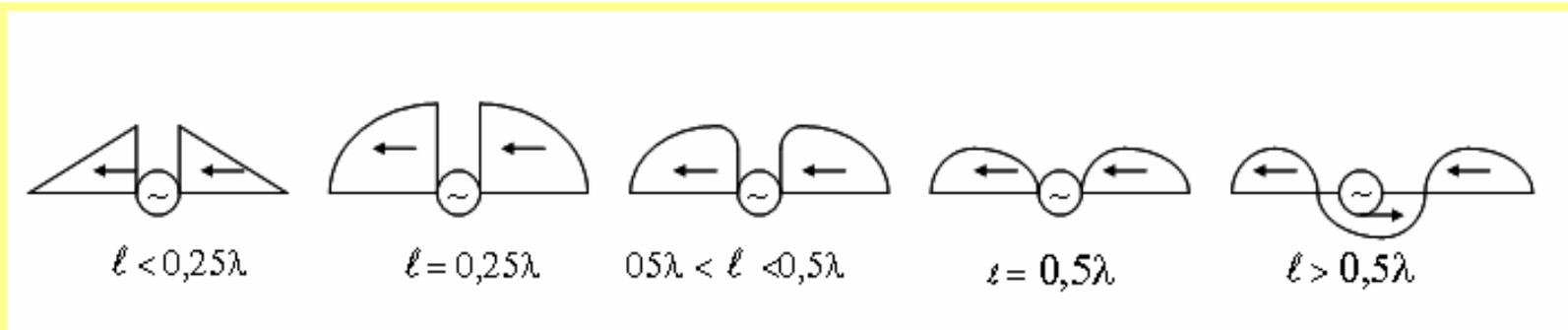
Режимы работы симметричного вибратора

№7



Резонансная длина полуволнового вибратора, когда $X_A = 0$, с учетом укорочения равна

$$l_{\text{рез}} = \frac{\lambda}{4} \left[1 - \frac{85}{\pi\rho} \right].$$



Удлинение

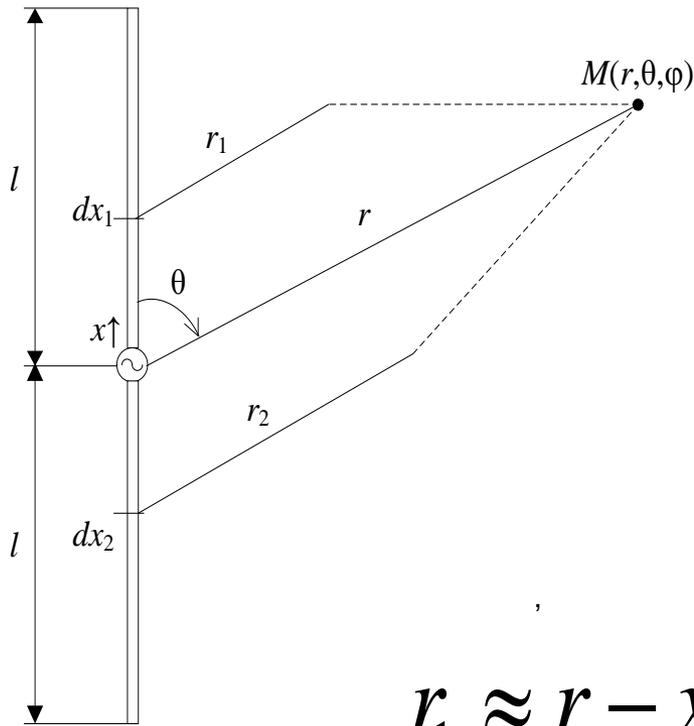
Полуволновый вибратор

Укорочение

Волновой вибратор

Большое укорочение

3. Поле излучения симметричного вибратора



ЭМ поле 2-х элементов (ЭИ):

$$\left. \begin{aligned} dE_1 &= i30klI(x) \sin \theta \frac{e^{-ikr_1}}{r_1} dx_1 \\ dE_2 &= i30klI(x) \sin \theta \frac{e^{-ikr_2}}{r_2} dx_2 \end{aligned} \right\}$$

$$r_1 \approx r - x \cos \theta \quad r_2 \approx r + x \cos \theta$$

$$E(\theta) = \int_{x=0}^l dE(\theta) = i30k \sin \theta \frac{e^{-ikr}}{r} \int_{x=0}^l I(x) \left[e^{+ikx \cos \theta} + e^{-ikx \cos \theta} \right] dx$$

$I(x) = I_m \sin k(l - x)$, при $0 \leq x \leq l$ - распределение тока.

$$e^{-ikr_n} / r_n, \quad \frac{1}{r_1} \approx \frac{1}{r_2} \approx \frac{1}{r} \quad - \text{ амплитудный множитель.}$$

$$-ikr_n \quad - \text{ фазовый множитель.}$$

ЭМ поле симметричного вибратора:

$$E(\theta) = i60I_m \frac{e^{-ikr}}{r} \left[\frac{\cos(kl \cos \theta) - \cos(kl)}{\sin \theta} \right]$$

$$I_m = \frac{I_A}{\sin(kl)} \quad - \text{ амплитуда тока в пучности (в максимуме).}$$

4. Электрические характеристики симметричного вибратора

Множитель напряженности поля, который зависит от углов θ и φ , называют характеристикой (функцией) направленности симметричного вибратора.

В плоскости вектора H , поле не зависит от угла φ .
В плоскости вектора E , поле зависит от угла θ .

$$f_E(\theta) = \frac{\cos(kl \cos \theta) - \cos(kl)}{\sin \theta}$$

$$f_H(\theta) = 1$$

$$F_E(\theta) = \frac{\cos(kl \cos \theta) - \cos(kl)}{[1 - \cos(kl)] \sin \theta}$$

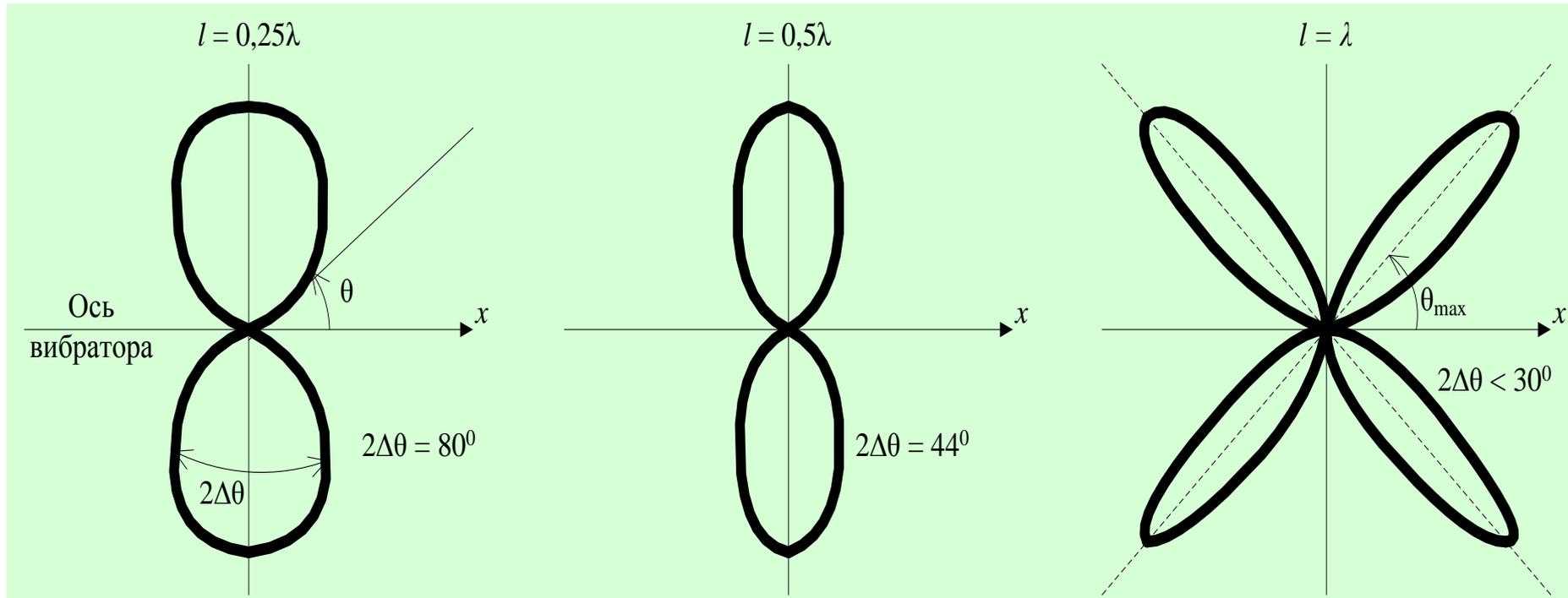
- нормированная ХН.

при $l \leq 0,625\lambda$

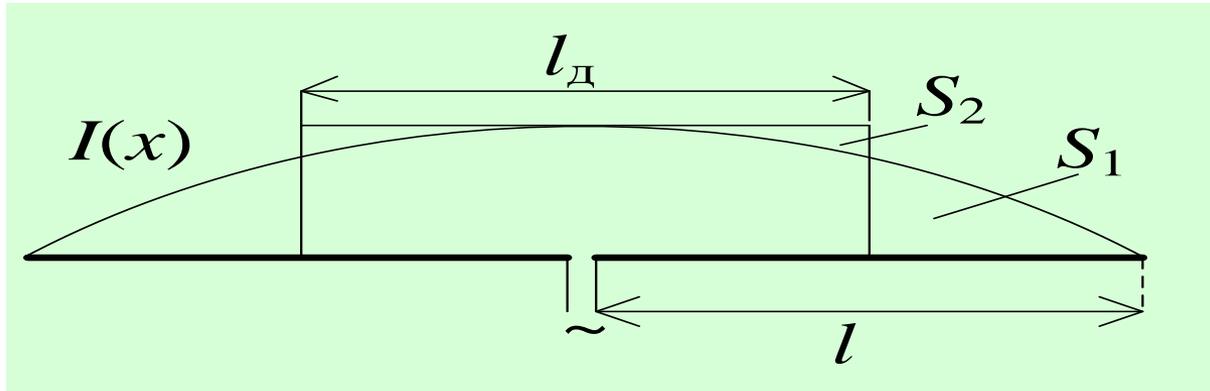
Диаграммы направленности (ДН) в плоскости вектора E

№11

ДН симметричных вибраторов нагляднее представлять в полярной системе координат.



Ширина главного лепестка ДН симметричного вибратора изменяется в пределах от 90 до 30 град. при $l = (0 \text{ до } 0,625)\lambda$.



$$S = l_{\text{д}} I_{\text{А}} = 2 \int_0^l I(x) dx = 2 \int_0^l I_m \sin(kx) dx$$

$$l_{\text{д}} = \frac{2}{k} \operatorname{tg} \left(\frac{kl}{2} \right) \text{ при } l < 0,5\lambda.$$

Для полуволнового вибратора

$$l_{\text{д}} = \frac{2}{k} = \frac{\lambda}{\pi}.$$

Сопротивление излучения

$$P_{\Sigma} = \frac{1}{2} I_m^2 R_{\Sigma n} = \frac{1}{2} I_A^2 R_{\Sigma A} \quad R_{\Sigma A} = 20 (kl_0)^2 \approx 800 \left(\frac{l_D}{\lambda} \right)^2.$$

Входное сопротивление

$$Z_A = R_{\Sigma A} + iX_A = 80\pi^2 \left(\frac{l}{\lambda} \right)^2 - i\rho \operatorname{ctg}(kl), \quad l < 0,25\lambda.$$

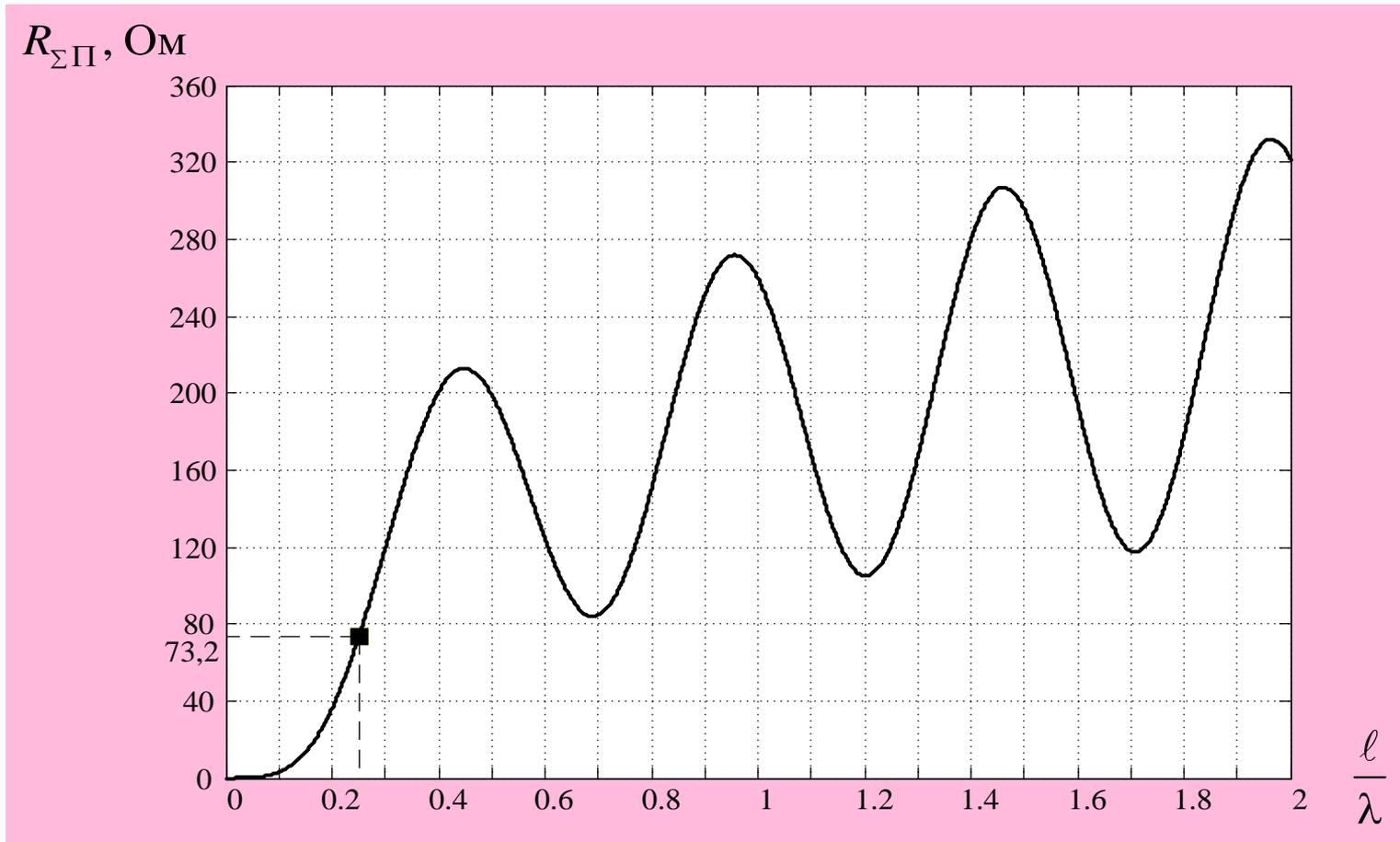
$$Z_A = \frac{R_{\Sigma n}}{\sin^2(kl)} - i\rho \operatorname{ctg}(kl), \quad l < 0,5\lambda.$$

$$Z_A = 73,1 + i42,5;$$

$$l = 0,25\lambda.$$

График зависимости сопротивления излучения

№14



$$Z_A = \frac{R_{\Sigma\Pi}}{\sin^2(kl)} - i\rho \operatorname{ctg}(kl) \quad l < 0,5\lambda.$$

КНД характеризует степень концентрации мощности излучения в определенном направлении.

$$D_{max} = \frac{120}{R_{\Sigma n}} (1 - \cos kl)^2 = \frac{120}{R_{\Sigma n}} f^2(\theta, \varphi)_{max}.$$

**Полуволновый вибратор ($l = 0,25\lambda$) имеет КНД $D_{max} = 1,64$.
Элементарный излучатель в виде диполя имеет $D_{max} = 1,5$.
Волновой вибратор имеет $D_{max} = 2,4$.**

Максимальный КНД симметричного вибратора в экваториальной плоскости будет при $l = 0,625\lambda$ $D_{max} = 3,1$. В этих значениях КНД не учитывается толщина вибратора ($a \ll \lambda$). Реальный КНД незначительно возрастает при увеличении радиуса a .

- 1. Симметричный вибратор** с длиной плеча $l < 0,25\lambda$ имеет комплексное входное сопротивление емкостного характера. Полуволновый вибратор с учетом укорочения резонансный и его входное сопротивление $R_A \approx 75 \text{ Ом}$.
2. Симметричный вибратор с длиной плеча $0,25\lambda < l < 0,5\lambda$ имеет комплексное сопротивление индуктивного характера. Волновой симметричный вибратор ($l = 0,5\lambda$) имеет чисто активное сопротивление **200 Ом**.
3. Одиночный **симметричный вибратор** обладает слабой направленностью, его максимальный КНД не более **3,1** в свободном пространстве.
ДН симметричного вибратора широкая и имеет два и более лепестков.