

**Российский государственный университет имени И.
Канта**

Кафедра телекоммуникаций

**Проектирование и расчет антенно-
фидерных устройств (АФУ)**

Лекция №3

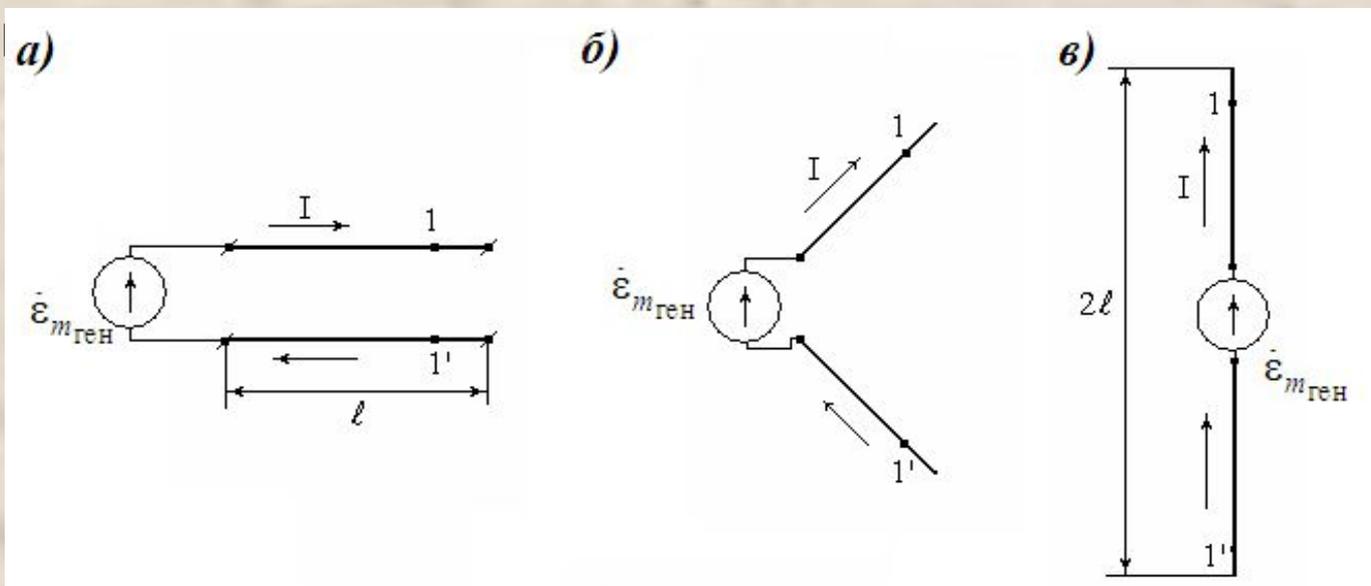
Теория симметричного вибратора

1. Понятие симметричного вибратора

Симметричный и несимметричный вибраторы

относят к открытым проволочным антеннам. Данные антенны состоят из двух линейных проводников, имеющих одну продольную ось симметрии и разделенных небольшим зазором. Эти части вибраторов называют **плечами**. Если плечи имеют одинаковую длину и площадь поперечного сечения и выполнены из одного и того же проводящего материала, то говорят, что вибратор **симметричный**. В

против



ЫМ.

Рисунок 1 – аналогия между симметричным вибратором и отрезком длиной линии без потерь в режиме ХХ

Конструктивное исполнение несимметричного вибратора

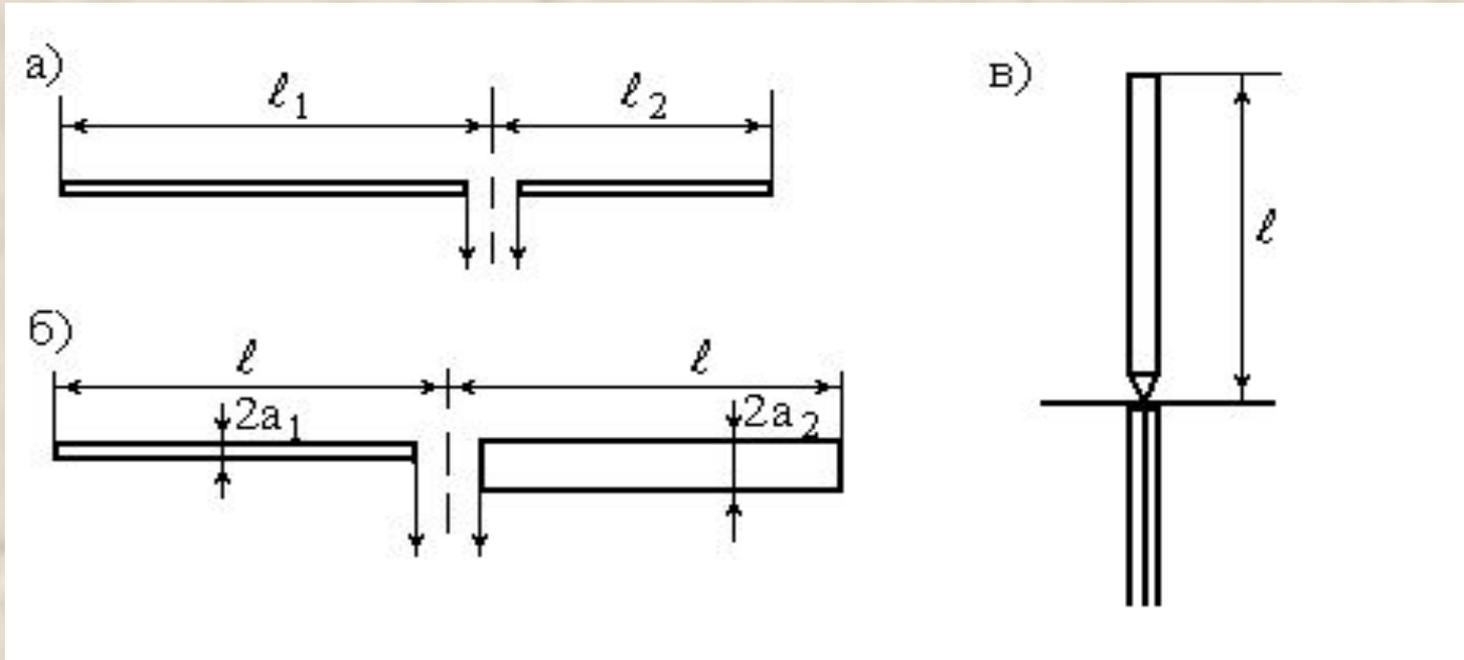


Рисунок 2 - Несимметричные вибраторы

а) – несимметричный вибратор со смещенными клеммами;

б) – разноплечий вибратор;

в) – несимметричный вибратор над экраном конечных размеров

Амплитудное распределение тока и напряжения вдоль симметричного вибратора

$$\begin{cases} I_m(z) = I_{m\Pi} \sin[k(\ell - |z|)] \\ U_m(z) = \pm U_{m\Pi} \cos[k(\ell - |z|)] \end{cases}$$

где $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ - волновое число;

$I_{m\Pi}$ и $U_{m\Pi}$ - максимальные значения тока и напряжения в стоячей волне, которые являются значениями амплитуд тока и напряжения в пучности, координата отсчитывается от середины

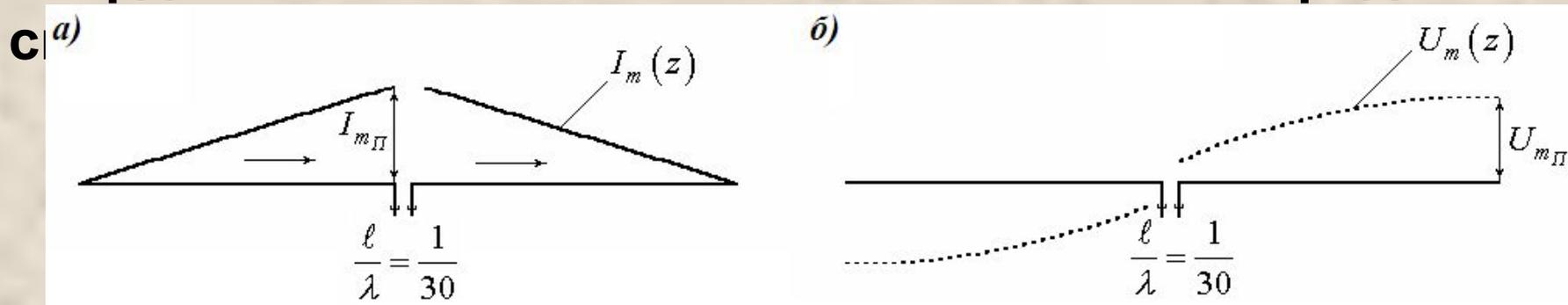


Рисунок 3 – Амплитудные распределения тока и напряжения на симметричном вибраторе малой длины

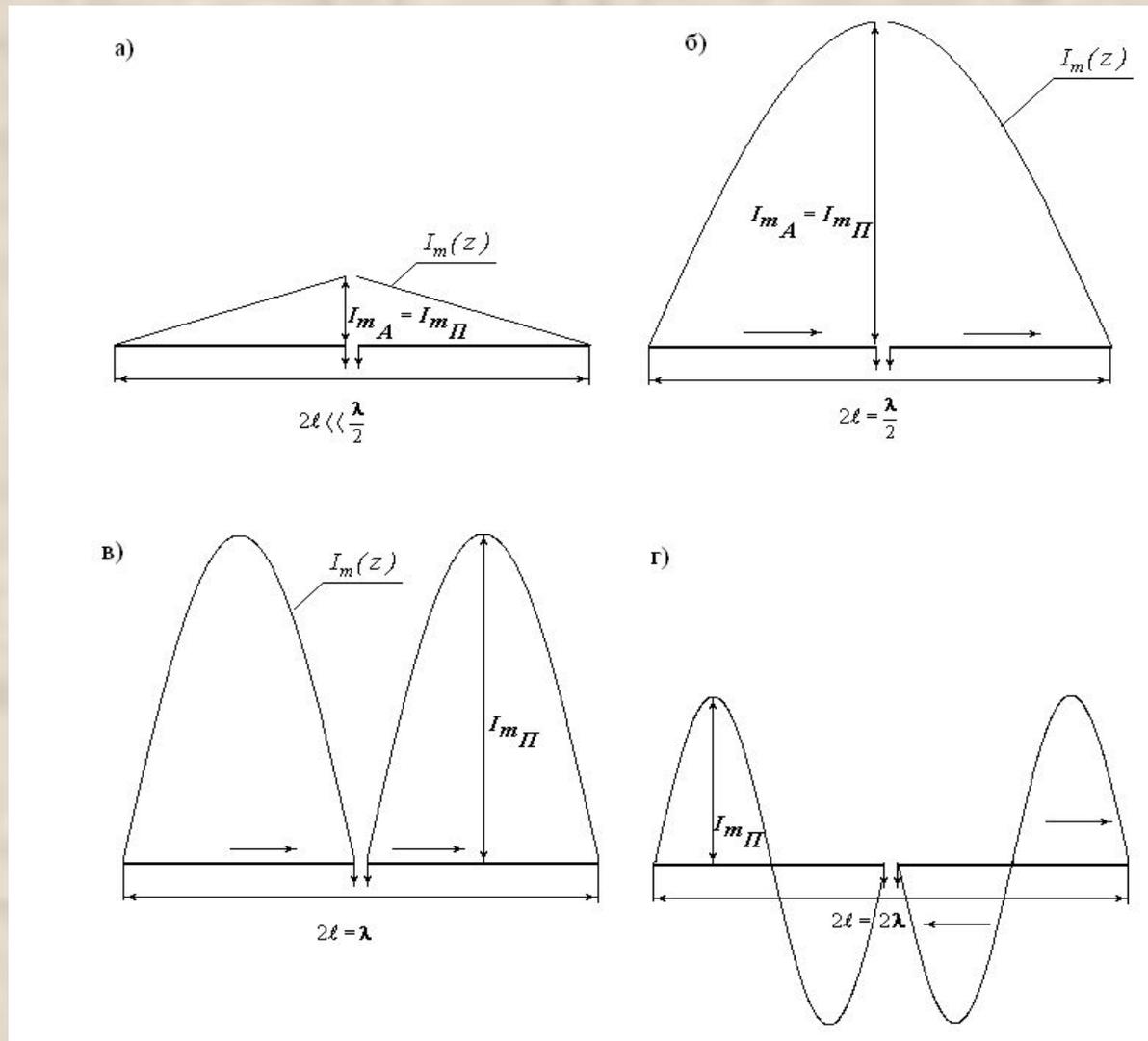


Рисунок 4 – Амплитудные распределения тока вдоль симметричного вибратора произвольной длины

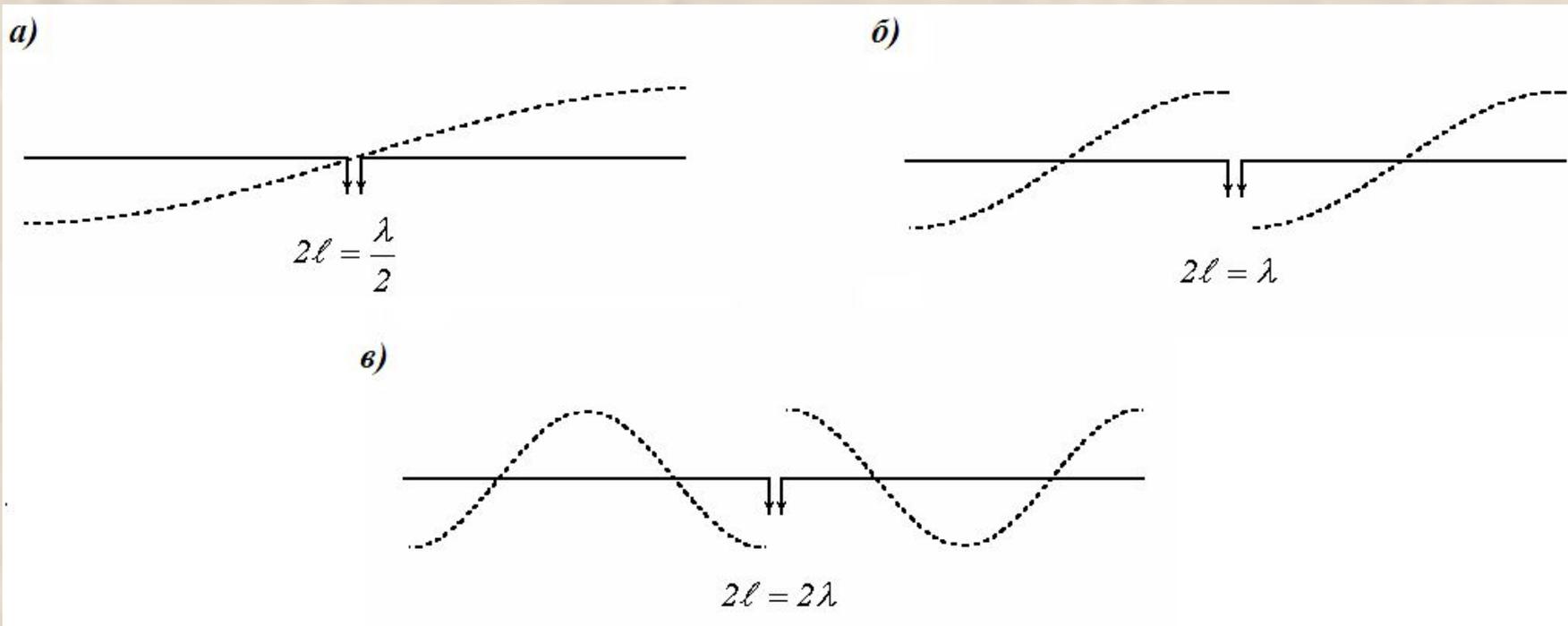


Рисунок 5 – Амплитудные распределения заряда вдоль симметричного вибратора произвольной длины

2. Поле излучения симметричного

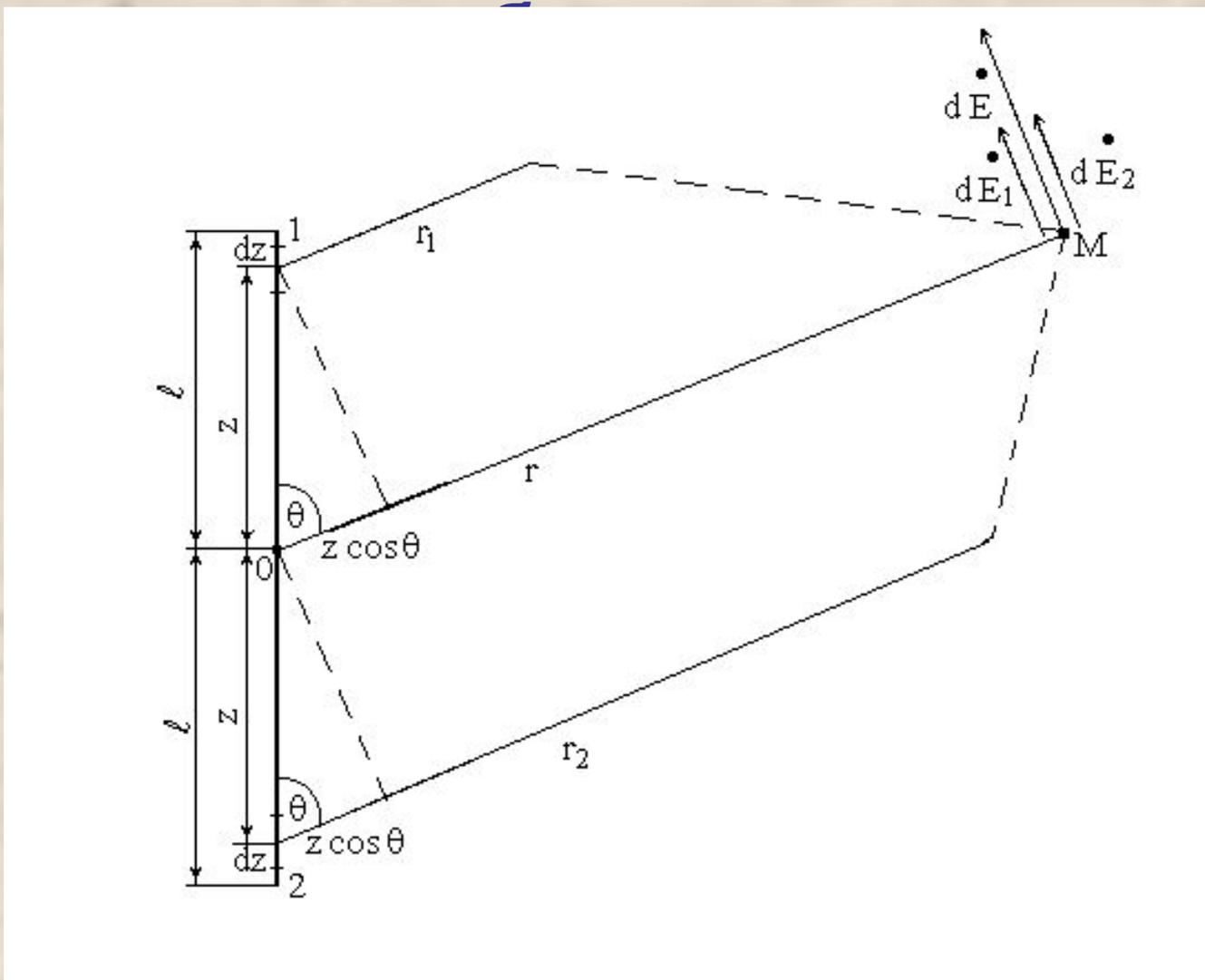


Рисунок 6 - К определению поля излучения вибратора

Поле от двух элементарных отрезков dz в точке

М:

$$dE = j30k I_m(z) dz \sin \theta \left[\frac{e^{-jr_1k}}{r_1} + \frac{e^{-jr_2k}}{r_2} \right] e_\theta$$

Расстояния от первого и второго отрезков до точки М:

$$r_1 = r - z \cos \theta \quad \text{и} \quad r_2 = r + z \cos \theta$$

$$dE = j \frac{30k I_m(z)}{r} dz \cdot e^{-jkr} \sin \theta \left[e^{jkz \cos \theta} + e^{-jkz \cos \theta} \right] e_\theta$$

$$= j \frac{60 I_m(z) k e^{-jkr}}{r} \sin \theta dz \cos(kz \cos \theta) e_\theta$$

Просуммируем все поля в точке М, в

результате получим:

$$E = \int_0^{\ell} dE = e_\theta \frac{j60k \cdot e^{-jkr}}{r} \sin \theta \cdot \int_0^{\ell} I_m(z) \cos[kz \cos \theta] dz$$

Амплитуда напряженности электрического поля симметричного вибратора

$$E_m(\theta) = \frac{60 I_{m_A}}{r \sin k\ell} \frac{\cos(k\ell \cos \theta) - \cos(k\ell)}{\sin \theta}$$

Нормированная амплитудная характеристика направленности симметричного вибратора произвольной

$$F(\theta) = \frac{E_m(\theta)}{E_{m_{max}}(\theta)} = \frac{\overset{\text{длины}}{\cos(k\ell \cos \theta) - \cos k\ell}}{(1 - \cos k\ell) \sin \theta} \text{ при } 2\ell < \frac{5\lambda}{4}$$

амплитудные характеристики направленности короткого симметричного вибратора

$$f(\theta) = \frac{(k\ell)^2}{2} \sin \theta \quad \text{и} \quad F(\theta) = \sin \theta$$

Нормированная ДН полуволнового вибратора:

$$F(\theta) = \frac{\cos\left(\frac{\pi}{2} \cos \theta\right)}{\sin \theta}$$

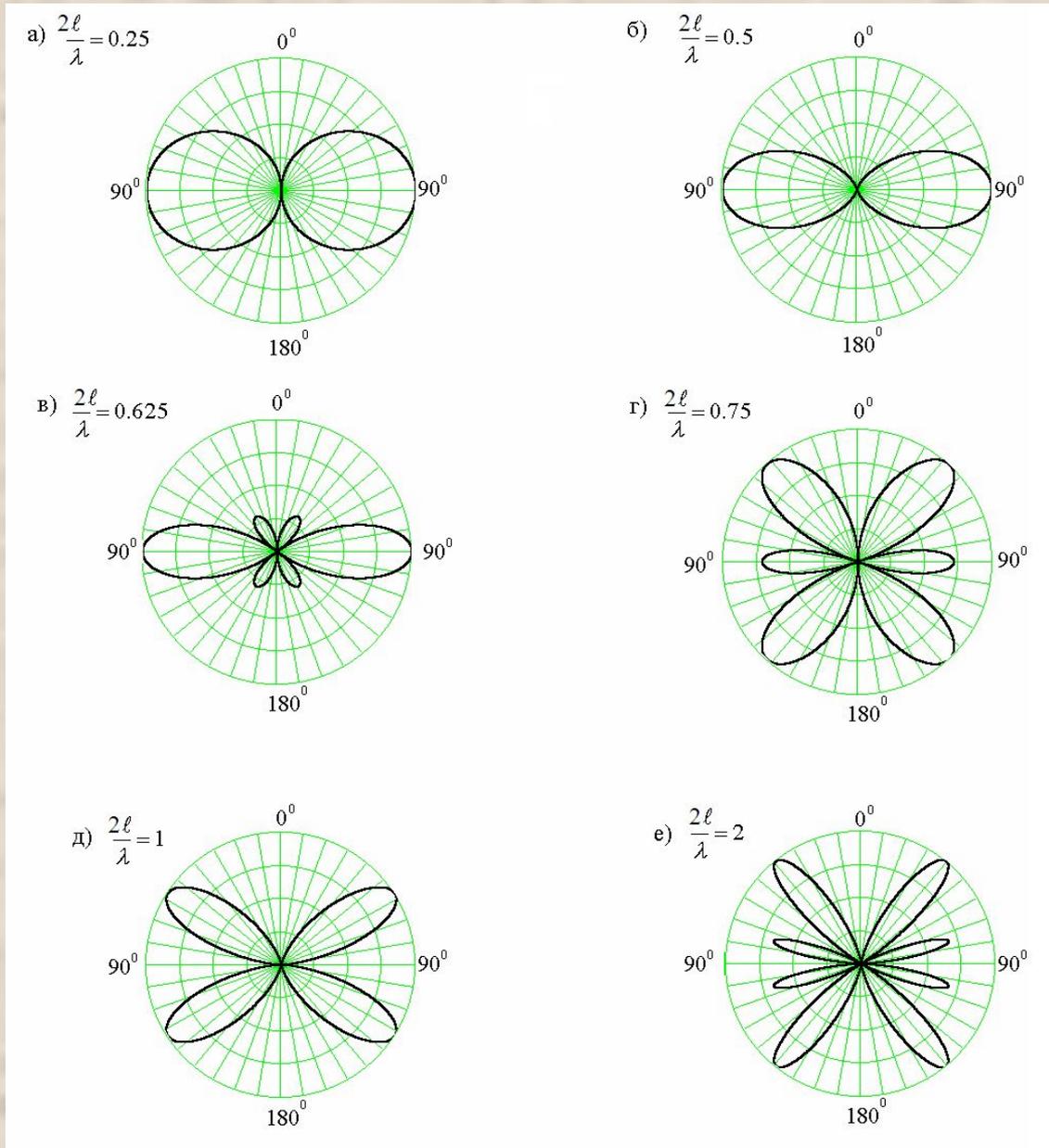


Рисунок 7 – Нормированные ДН симметричного вибратора

Выводы:

- 1. При длине вибратора, много меньшей половины длины волны, ДН в плоскости, содержащей вибратор, имеет два лепестка с направлениями максимального излучения, перпендикулярными продольной оси симметрии вибратора и направлениями нулевого излучения вдоль оси вибратора.**
- 2. С приближением длины вибратора к половине длины волны ширина ДН уменьшается.**
- 3. При длине вибратора, большей половины длины волны, но меньшей длины волны, в ДН появляются боковые лепестки.**
- 4. С приближением длины вибратора к длине волны происходит рост относительного уровня боковых лепестков и уменьшение величины поля в направлениях главного излучения.**

3. Действующая длина симметричного вибратора

Комплексная амплитуда электрического поля для диполя Герца определена выражением

$$\dot{E}_m = j \frac{30k dz \dot{I}_m}{r} e^{-jkr} F(\theta, \varphi)$$

где dz – геометрическая длина диполя Герца.

По аналогии комплексная амплитуда электрического поля для любой линейной проволочной антенны может быть определена выражением

$$\dot{E}_m = j \frac{30k \ell_{\text{д}} \dot{I}_m}{r} e^{-jkr} F(\theta, \varphi)$$

где $\ell_{\text{д}}$ - действующая длина линейной проволочной антенны.

Амплитуда напряженности электрического поля, создаваемого диполем Герца и любой линейной проволочной антенной $60k \frac{I_m}{r}$ задаются выражениями $E_{m_{max}} = \frac{60k I_m}{r}$ и $E_{m_{max}} = \frac{60k I_{m\Pi}}{r}$

где $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ - волновое число, рад/м;

$I_m; I_{m\Pi}$ - величина тока и амплитуда тока в пучности в диполе Герца и линейной

dz - длина диполя Герца; проволочной антенне соответственно;

l_D - действующая длина линейной проволочной антенны;

r - расстояние от излучающей антенны до

Таким образом, действующая длина линейной проволочной антенны есть коэффициент пропорциональности между максимальным значением амплитуды напряженности электрического поля,

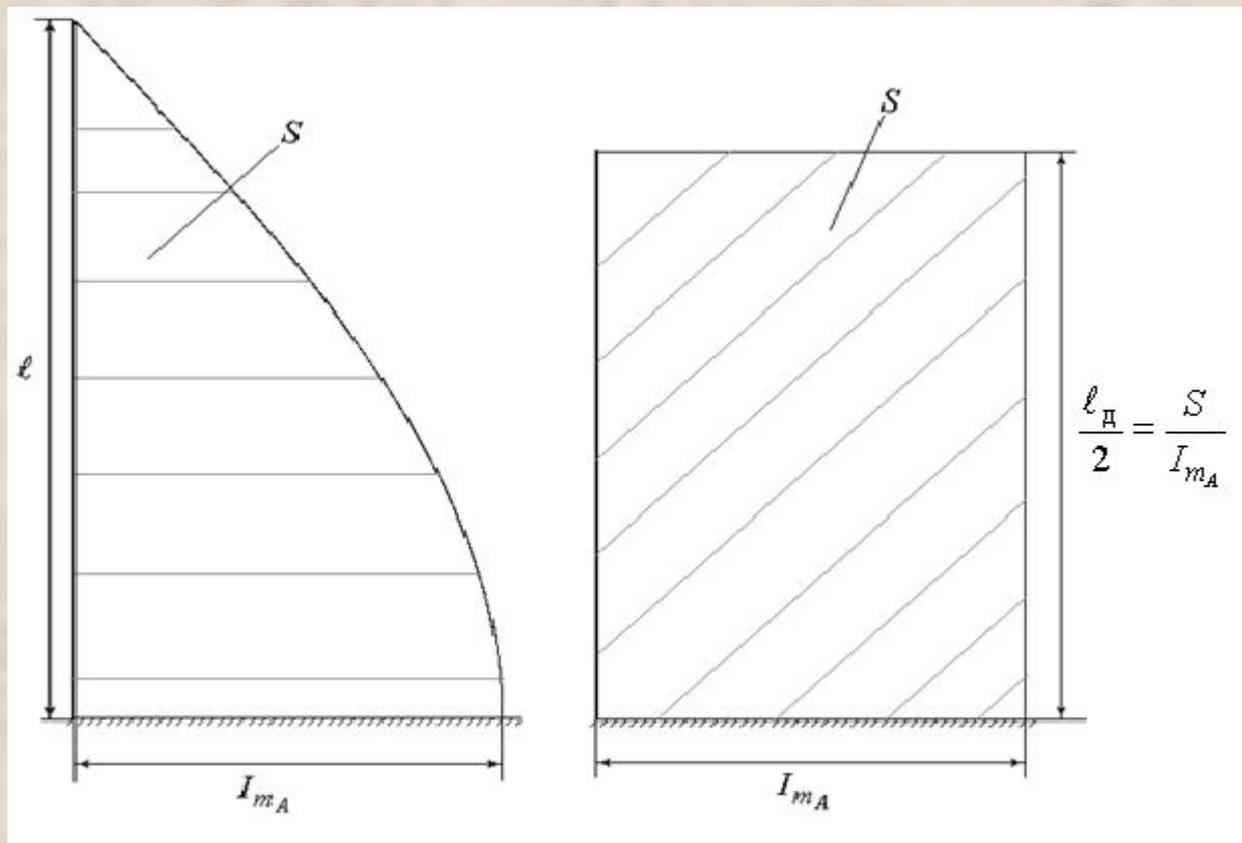


Рисунок 8 – Геометрический способ определения действующей длины

Для симметричного вибратора действующая длина может быть рассчитана как

$$\ell_{\text{д.А}} = \frac{2}{k} \cdot \frac{1 - \cos k\ell}{\sin k\ell} = \frac{\lambda}{\pi} \operatorname{tg} \left(\frac{k\ell}{2} \right), \quad \ell \leq \frac{\lambda}{4}$$

$$\ell_{\text{Дп}} = \frac{2}{k} \cdot (1 - \cos k\ell) = \frac{2\lambda}{\pi} \sin^2 \left(\frac{k\ell}{2} \right), \quad \ell > \frac{\lambda}{4}$$

Действующая длина полуволнового вибратора может быть рассчитана как

$$\ell_{\text{ДА}} = \frac{\lambda}{\pi} \approx 0.64 \cdot (2\ell)$$

Действующая длина короткого в сравнении с длиной волны вибратора равна половине геометрической длины антенны

4. Сопротивление излучения и входное сопротивление симметричного вибратора

Для расчета сопротивления излучения существует два метода: метод интегрирования вектора Пойнтинга и метод наводимых Э.Д.С. В обоих случаях сопротивление излучения определяется по формуле

$$R_{\Sigma} = \frac{P_{\Sigma}}{I^2}$$

Предполагается, что рассматриваемая антенна располагается в свободном пространстве, мысленно окружается сферой большого радиуса, после чего определяется поток мощности электромагнитных волн, проходящих через указанную сферу в свободное пространство. Так как потери в среде отсутствуют, то этот поток мощности и определяет собою мощность излучения:

$$\text{где } \Pi = \frac{\vec{E} \cdot \vec{E}^*}{120\pi} = \frac{|\vec{E}|^2}{120\pi} = \frac{E^2}{120\pi} \quad \text{— численное значение вектора Пойнтинга;}$$

E – действующее значение напряженности электрического поля;

S - площадь сферической поверхности ;

dS – элементарная площадка данной сферы.

Мощность излучения антенны будет определяться выражением

$$P_{\Sigma} = \frac{1}{120\pi} \int_S \frac{E_m^2}{2} dS$$

где E_m - амплитудное значение напряженности электрического поля.

Для тонкого симметричного вибратора амплитудное значение напряженности электрического поля зависит от меридионального угла и определено в виде

$$E_m(\theta, \varphi) = \frac{60I_m \frac{\cos(k\ell \cos \theta) - \cos(k\ell)}{\sin \theta}}{r \sin k\ell} = \frac{60I_m}{r} f(\theta, \varphi)$$

Подставляя последнее выражение в предыдущее, получаем:

$$P_{\Sigma} = \frac{15I_m^2}{\pi} \int_{\varphi=0}^{2\pi} \int_{\theta=0}^{\pi} \left[\frac{\cos(k\ell \cos \theta) - \cos(k\ell)}{\sin \theta} \right]^2 \sin \theta d\varphi d\theta$$

Производя интегрирование, оцениваем мощность излучения тонкого симметричного вибратора, а после деления на квадрат амплитуды тока в пучности имеем следующее выражение для сопротивления излучения в пучности

$$R_{\Sigma \pi} = 30 \left\{ (Si(4k\ell) - 2Si(2k\ell)) \sin 2k\ell + \right. \\ \left. + (C + \ln k\ell + Ci(4k\ell) - 2Ci(2k\ell)) \cos 2k\ell + 2(C + \ln 2k\ell - Ci(2k\ell)) \right\}$$

где C - постоянная Эйлера; Ci и Si - интегральные синус и косинус.

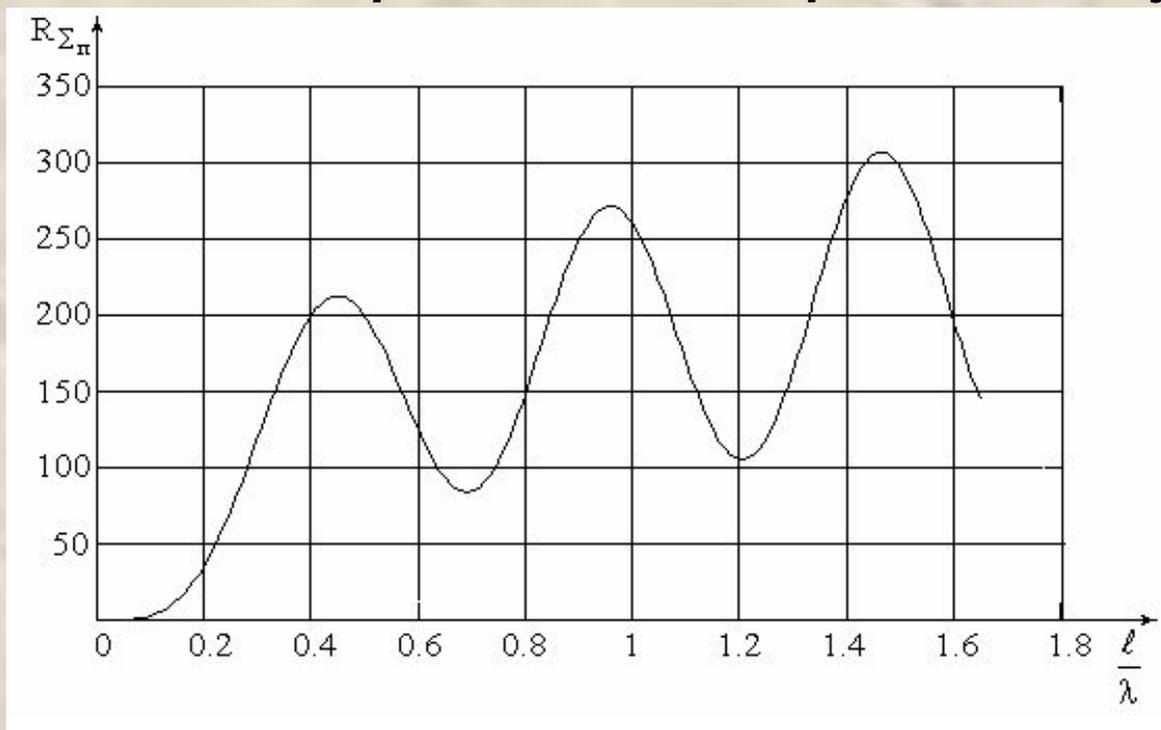


Рисунок 9 – График зависимости сопротивления излучения в пучности от относительной длины плеча вибратора

Входное сопротивление симметричного вибратора носит комплексный характер и складывается из двух составляющих: активной и реактивной

$$R_A = \frac{R_{\Sigma\Pi}}{\frac{R_{\Sigma\Pi}^2}{\rho^2} + \sin^2 k\ell} \quad \text{и} \quad X_A = -\frac{\rho \sin 2k\ell}{2 \frac{R_{\Sigma\Pi}^2}{\rho^2} + \sin^2 k\ell}$$

где $\rho = 120 \left[\ln \left(\frac{2\ell}{a} \right) - 1 \right]$ - волновое сопротивление симметричного вибратора;

ℓ - длина одного плеча симметричного вибратора;

a - радиус проводника, из которого изготовлен вибратор.

Графики зависимостей активной и реактивной составляющих входного

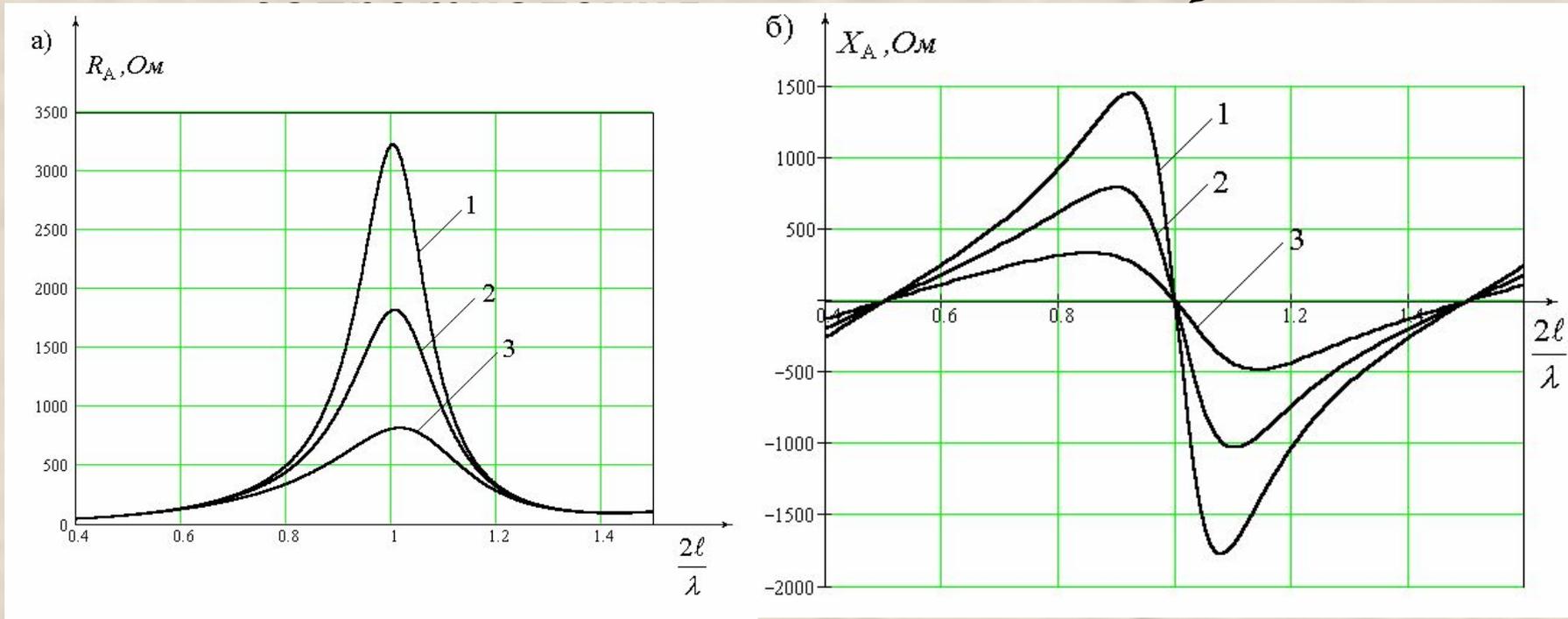


Рисунок 10 - Зависимость активной (а) и реактивной (б) составляющих входного сопротивления симметричного вибратора от отношения $\frac{2\ell}{\lambda}$

Кривая 1 соответствует вибратору с волновым сопротивлением 800 Ом;

Кривая 2 соответствует вибратору с волновым сопротивлением 600 Ом;

Кривая 3 соответствует вибратору с волновым сопротивлением 400 Ом;

