

Лекция 8.

СИСТЕМА СВЯЗАННЫХ ВИБРАТОРОВ

Как меняются диаграммы направленности двух параллельных электрических диполей при изменении расстояния между ними и фазировки токов? Множитель решётки из двух источников определяется выражением:

$$M = \frac{\sin \Psi}{2 \sin \frac{\Psi}{2}} = \cos \frac{\Psi}{2}; \quad \Psi = \frac{2kd}{2} \left(\cos \vartheta - \frac{\Delta \Phi}{kd} \right) = kd \cos \vartheta - \Delta \Phi; \quad (8-1)$$

$$M = \cos \left(\frac{kd}{2} \cos \vartheta - \frac{\Delta \Phi}{2} \right);$$

На рис.8.1 показано изменение множителя комбинирования при изменении фазовых соотношений между токами (по горизонтали), и изменении расстояния между вибраторами (по вертикали).

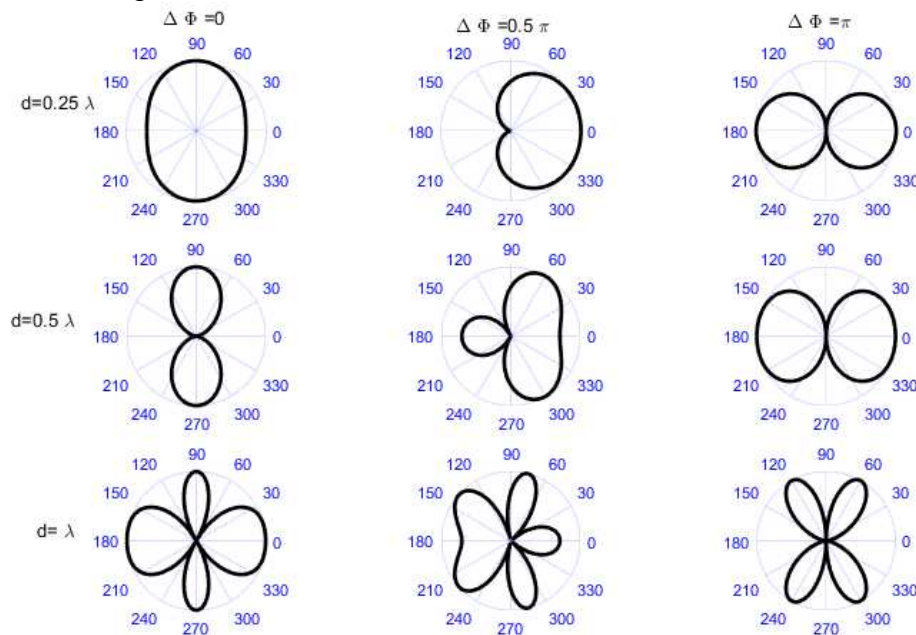


Рис.8.1. Множители комбинирования двух разнесённых источников

Диполи разнесены в горизонтальном направлении ($0^\circ - 180^\circ$), токи в них равны по амплитуде. В левом столбце показаны диаграммы направленности синфазных диполей, в среднем – сфазированных в квадратуре, с отставанием по фазе в нулевом направлении, в правом – противофазных/

При увеличении расстояния между диполями увеличивается количество лепестков в диаграмме направленности. При изменении фазировки с синфазной на противофазную возникают нули диаграммы направленности в направлениях ($90^\circ - 270^\circ$). Квадратурная фазировка приводит к созданию направленной диаграммы направленности в направлении разноса диполей.

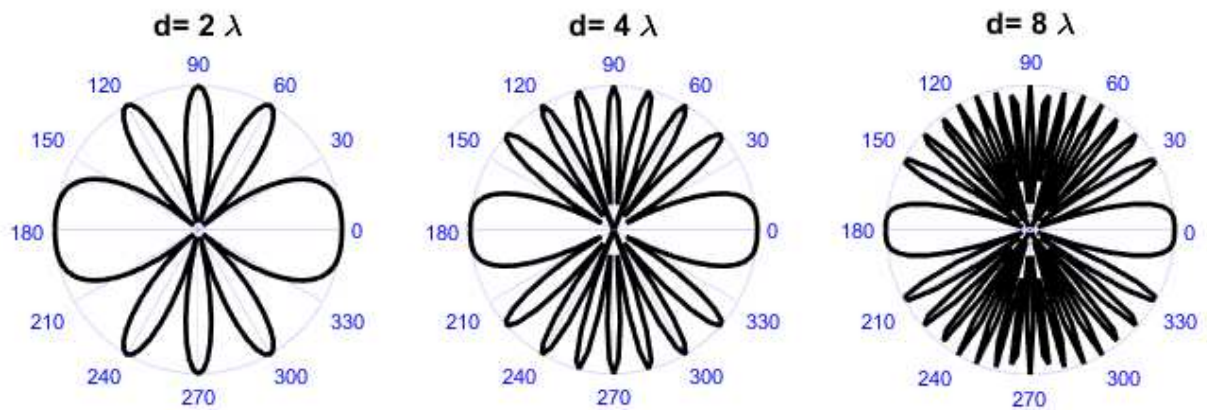


Рис.8.2. Диаграммы направленности двух синфазных источников

На рис.8.2 помещены диаграммы направленности синфазных диполей, разнесённых по горизонтали на значительные (в длинах волн) расстояния. Мы видим, чем дальше разнесены диполи, тем более изрезанной становится зона интерференции диаграммы направленности и более узкими главные лепестки.

До сих пор мы задавали в антенных решётках распределение токов между элементами по своему желанию. На практике задать желаемое амплитудно-фазовое распределение токов в системе излучающих элементов не так-то просто. Этому мешает электродинамическая связь элементов посредством излучаемых полей. Рассмотрим два параллельных вертикальных электрических вибратора, разнесённых по горизонтали на некоторое расстояние. Питающее напряжение подведём только к одному из них. Задача состоит в определении влияния пассивного вибратора на диаграмму направленности системы элементов. Для этой системы вибраторов можно записать уравнения Кирхгофа, подобно уравнениям для двух связанных контуров:

$$\begin{cases} z_{11}I_1 + z_{12}I_2 = U_1 \\ z_{21}I_1 + z_{22}I_2 = U_2 \end{cases} \quad (8-2)$$

Коэффициенты Z_{ij} в этой системе уравнений – собственные и взаимные сопротивления, зависят как от размеров вибраторов, так и от их взаимного расположения.

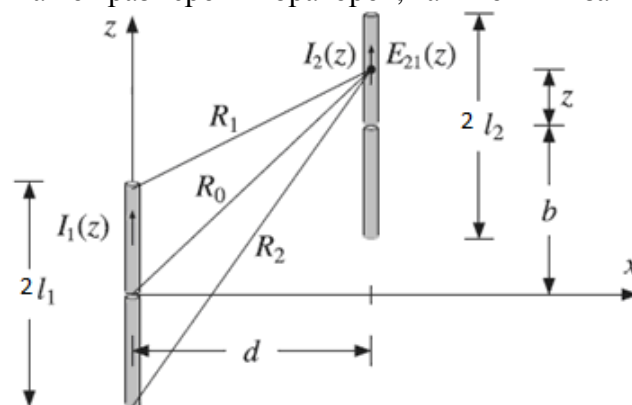


Рис. 8.3. Параллельные вибраторы

Собственные сопротивления Z_{11}, Z_{22} – это входные сопротивления соответствующих уединённых вибраторов. Взаимные сопротивления – это отношения наведённого напряжения на входе одного вибратора, вызванного излучением токов другого вибратора, к току на входе этого вибратора. Собственные и взаимные сопротивления можно выразить

в виде интегралов от токов вдоль оси вибраторов, если, конечно, известны распределения токов вдоль вибраторов. Для вибраторов, близких к полуволновым, можно пользоваться синусоидальным распределением тока, обнулённого на концах вибраторов.

$$I(z) = I_0 \frac{\sin(k(l - |z|))}{\sin(kl)}$$

Данная формула была получена в одной из предыдущих лекций, в ней l – длина плеча вибратора.

Напряжение, наведенное током первого вибратора на входе второго вибратора (рис.8.3) можно выразить следующим образом:

$$V_{21} = -\frac{1}{I_{02}} \int_{-l_2}^{l_2} E_{z21}(z) I_2(z) dz, \quad (8-3)$$

где наведенное поле $E_{z21}(z)$ в приближении дальней зоны рассчитывается по формулам:

$$E_{z21}(z) \approx \frac{i w_0}{2\lambda} \frac{\exp(-ikR(z))}{R(z)} \int_{-l}^l \sin^2 \vartheta' \exp(ikz' \cos \vartheta') I_{1z}(z') dz';$$

$$R(z) = \sqrt{d^2 + z^2}; \quad \cos \vartheta' = (z - z') / \sqrt{d^2 + (z - z')^2}; \quad \sin \vartheta' = d / \sqrt{d^2 + (z - z')^2}$$

а взаимное сопротивление выражается формулой:

$$Z_{21} = \frac{V_{21}}{I_{01}} = -\frac{1}{I_{01} I_{02}} \int_{-l_2}^{l_2} E_{z21}(z) I_2(z) dz \quad (8-4)$$

Знаки минус в формулах (8-3) и (8-4) появились оттого, что наведенное напряжение как бы создаёт на поверхности вибратора касательное электрическое поле, компенсирующее действие $E_{z21}(z)$, чтобы результирующее касательное поле на поверхности проводника было равно нулю. Величина Z_{21} не зависит от величин токов в центрах вибраторов, а определяется только формой распределения этих токов. Из теоремы взаимности следует равенство: $Z_{21} = Z_{12}$. На рис. 8.4 приведены графики взаимного сопротивления двух одинаковых вибраторов, разнесённых на расстояние d . Расчёт основан на выражениях (8-3, 8-4).

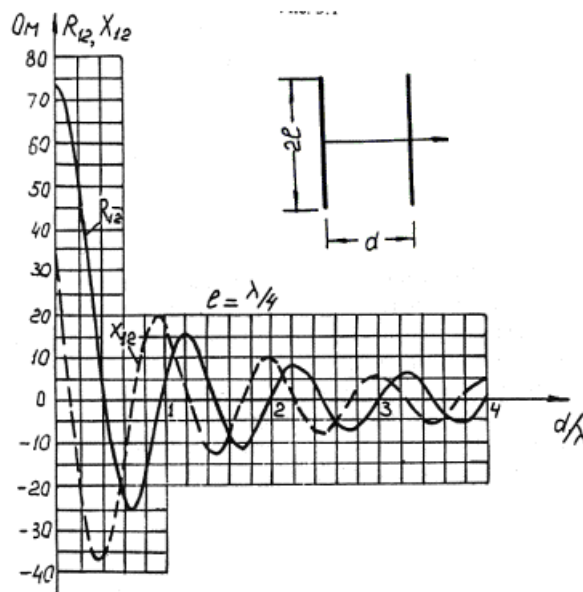


Рис. 8.4 Взаимные сопротивления

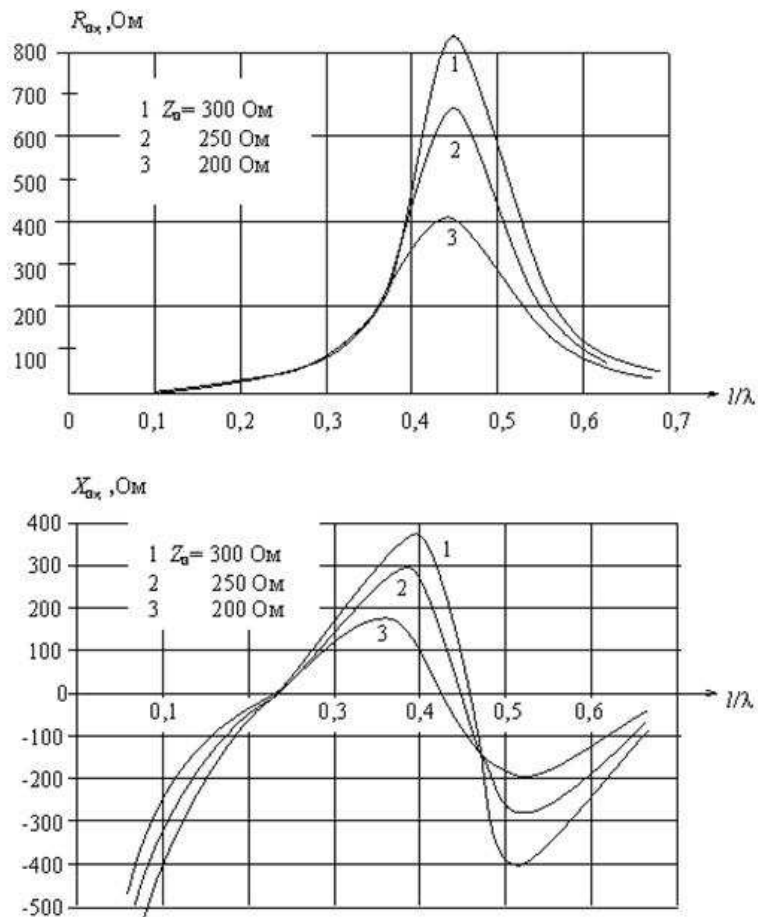


Рис.8.4а Собственное сопротивление вибратора

(Последующий материал более подробно: УМК «Антенны и устройства СВЧ», Антенны. Часть 1, Глава 4, Раздел 4.2, стр.108-112)

Из материала начала лекции следует, что форма диаграммы направленности множителя решётки двух вибраторов зависит от расстояния между ними и разности фаз токов в точке питания, а также от соотношения амплитуд токов. Что будет в том случае, когда один из вибраторов активный, а другой пассивный. Уравнения (8-2) примут вид:

$$\begin{cases} z_{11}I_1 + z_{12}I_2 = U \\ z_{21}I_1 + z_{22}I_2 = 0 \end{cases} \quad (8-5)$$

Из второго уравнения записанной системы можно определить:

$$I_2 = -\frac{z_{21}}{z_{22}}I_1 \quad (8-6)$$

Таким образом, добиться нужного соотношения амплитуд и фаз между токами активного и пассивного вибраторов можно регулируя отношение Z_{21}, Z_{22} с использованием их зависимостей от длины вибраторов и расстояния между ними.

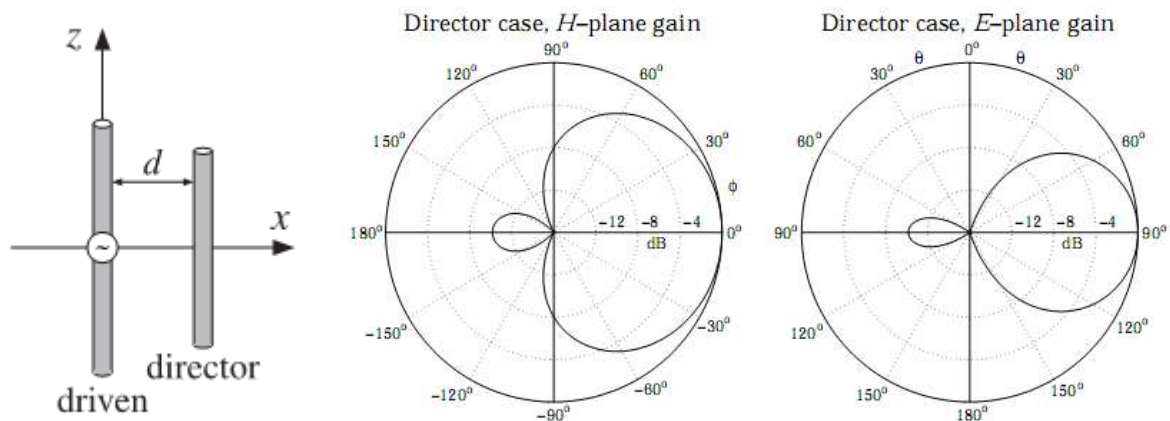


Рис. 8.5 Диаграммы направленности директорной антенны

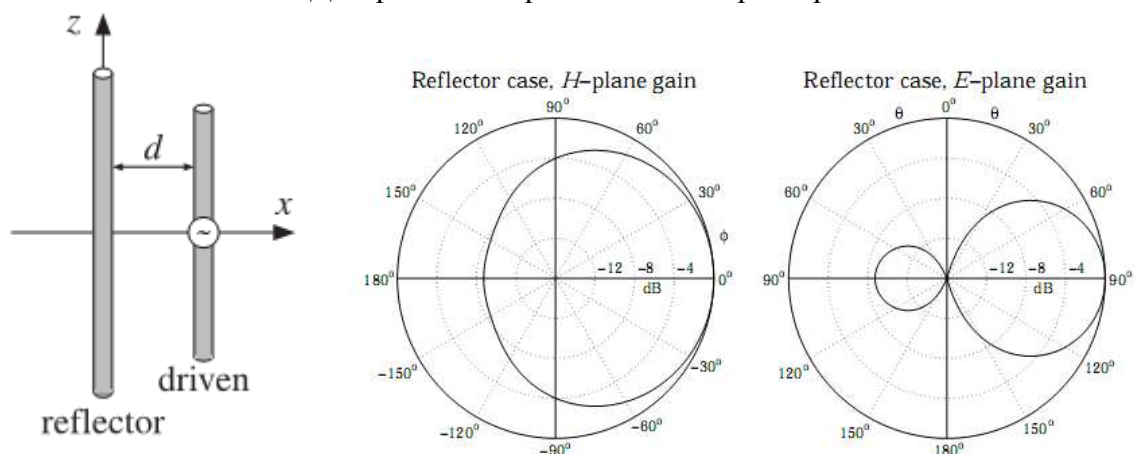


Рис. 8.6. Диаграммы направленности рефлекторной антенны

(Современный подход к расчёту связанных антенн может быть основан на методе интегрального уравнения, использования программ электродинамического моделирования -HFSS, CST, FEKO)

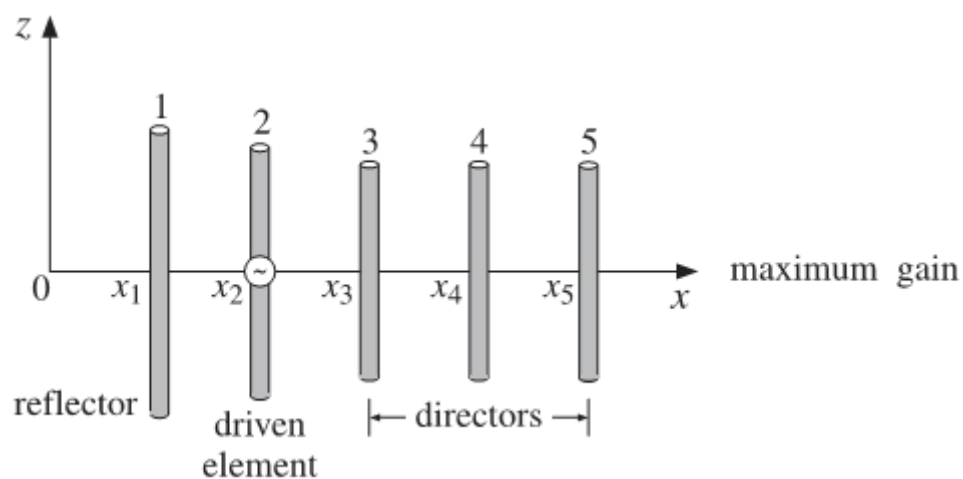


Рис. 8.7. Антенна «волновой канал» - Уда-Яги



Вибратор Пистолькорса

В качестве активного элемента в антенне Уда-Яги обычно используют вибратор Пистолькорса, который называют также петлевым вибратором или шлейф-вибратором. -(Его входное сопротивление, особенности питания)

Взаимная связь элементов в антенных решётках

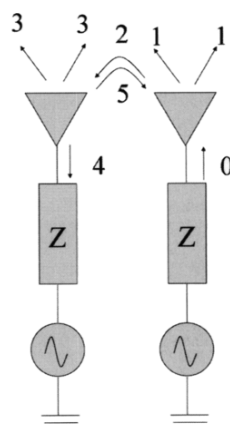


Рис8.8 Взаимная связь двух элементов антенной решётки в режиме передачи
Симметрирующие устройства

