

Антенно-фидерные устройства и распространение радиоволн

ОСНОВЫ ТЕОРИИ АНТЕНН

ЛЕКЦИЯ № 7

Приёмные антенны и
их параметры



7. Приемные антенны и их радиотехнические параметры

7.1. Общие вопросы приема электромагнитных волн.

Процесс приёма заключается в преобразовании радиоволн, пришедших к приёмной антенне, в направленную электромагнитную волну, воздействующую на входное устройство приёмника:

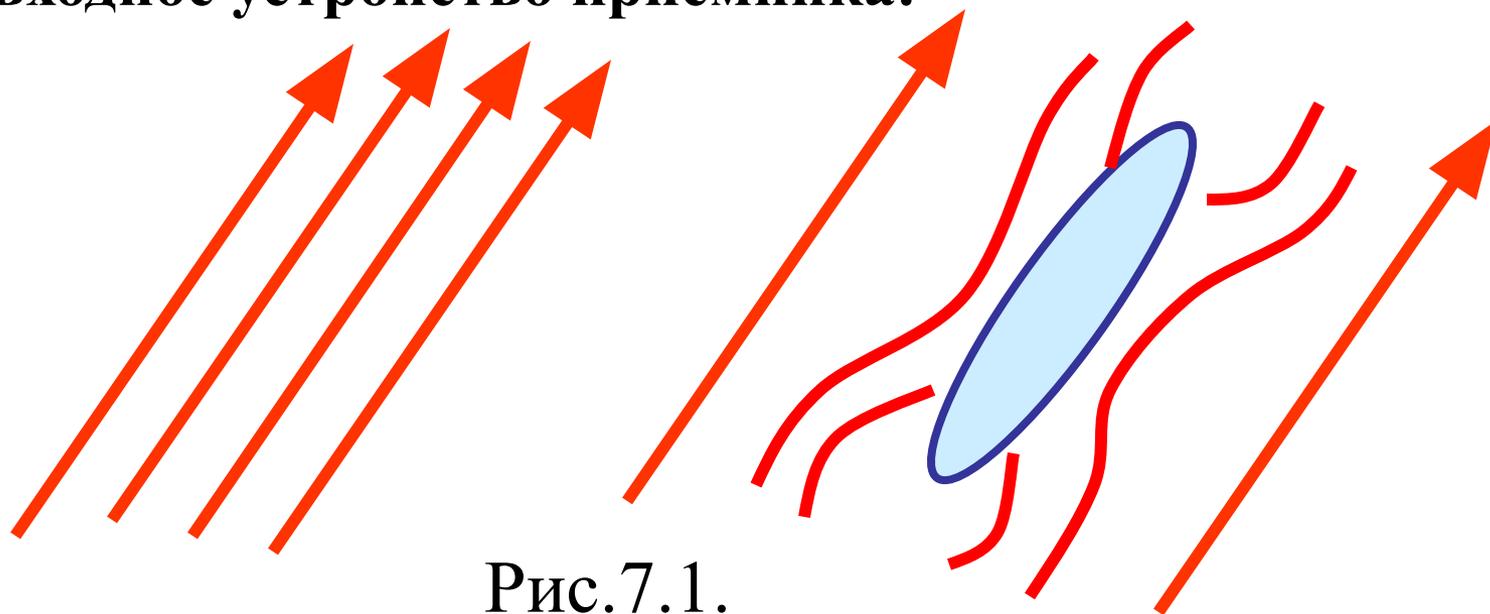


Рис.7.1.

Поместим в поле электромагнитной волны металлическое тело. В каждой точке на поверхности металлического тела должно выполняться граничное условие: $E_{\tau} = 0$.

Результирующее поле можно рассматривать как результат суперпозиции первичного поля и вторичного поля, излучённого поверхностными токами, протекающими по поверхности металлического тела:

$$E_{\tau} = E_{\tau}' + E_{\tau}'' = 0$$

Вторичное поле распространяется во все стороны от тела т. е. происходит процесс переизлучения энергии. Если к рассматриваемому телу подключить волновод, то наведённые токи возбудят колебания в нём. Энергия вторичных токов расходуется на создание вторичного поля и на создание в фидерной линии направленных волн.

Способ отбора энергии в приёмник зависит от диапазона волн и назначения антенны. Различают: 1) электрический способ, т. е. фидер включён в разрыв антенны; 2) магнитный способ, когда применяется рамка; 3) электромагнитный, когда подключаются волноводы.

Эквивалентная схема приёмной антенны:

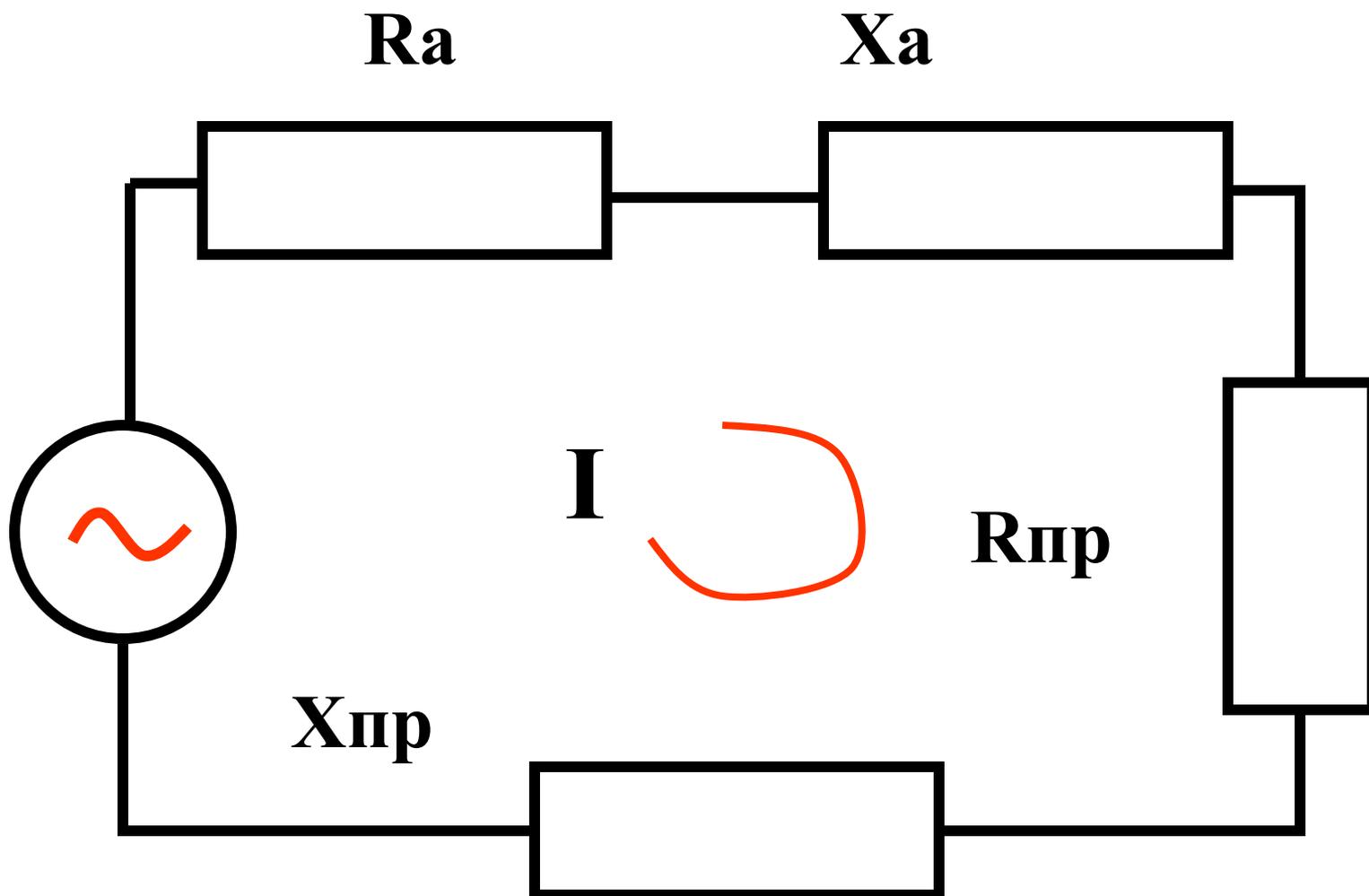


Рис. 7.2

Для цепи, подключаемой к приёмной антенне, антенна является генератором с ЭДС ε и внутренним комплексным сопротивлением:

$$Z_a = R_a + X_a,$$

X_a - характеризует реактивное поле стоячих волн,

R_a - характеризует переизлучаемую мощность и мощность потерь в короткозамкнутой антенне,

ε - определяется напряженностью поля приходящей волны, поляризацией волны и конструкцией приёмной антенны.

Приёмник характеризуется комплексным сопротивлением:

$$\mathbf{Z}_{\text{пр}} = \mathbf{R}_{\text{пр}} + \mathbf{X}_{\text{пр}}$$

Комплексной амплитудой тока :

$$\mathbf{I} = \boldsymbol{\varepsilon} / (\mathbf{Z}_{\text{а}} + \mathbf{Z}_{\text{пр}}) \quad (7.1)$$

7.2. Основные параметры приемной антенны

- 1) Внутреннее сопротивление.**
- 2) ДН приёмной антенны по напряжению - зависимость амплитуды ЭДС на клеммах антенны от направления прихода плоской электромагнитной волны.**
- 3) КНД приёмной антенны характеризует направленные свойства антенны и определяется в сравнении с изотропной антенной.**
- 4) КПД приёмной антенны - отношение мощности, отдаваемой антенной в нагрузку к мощности, которую бы отдавала антенна в случае без потерь.**
- 5) Коэффициент усиления приёмной антенны определяется также как и КНД, но с учётом потерь энергии в антенне.**

6) Действующая длина определяется, как коэффициент, имеющий размерность длины и связывающий между собой амплитуду напряжения электрического поля приходящей волны и ЭДС на клеммах антенны.

7) Эффективная площадь приёмной антенны - коэффициент, имеющий размерность площади и связывающий между собой величину вектора Пойтинга приходящей волны и мощности, выделяемой в согласованной нагрузке.

Мощность в приёмнике:

$$P_{\text{пр}}(\Theta, \phi) = PA_{\text{э}}(\Theta, \phi) \quad (7.2)$$

$A_{\text{э}}(\Theta, \phi)$ - эффективная площадь антенны.

$$\begin{aligned}
 P_{\text{пр}}(\Theta, \phi) &= P_{\text{про}} F^2(\Theta, \phi) \\
 A_{\text{э}}(\Theta, \phi) &= A_{\text{э max}} F^2(\Theta, \phi) \quad (7.3)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_{\text{про}} &= \Pi A_{\text{э max}} \\
 A_{\text{э max}} &= P_{\text{про}} / \Pi = 240\pi P_{\text{про}} / E^2
 \end{aligned}$$

Эффективная площадь определяется для направления максимального приёма.

Для апертурных антенн вводится коэффициент использования поверхности равный отношению эффективной площади к геометрической площади раскрыва:

$$V = A_{\text{э}} / S$$

8) Рабочий диапазон частот определяется как полоса частот, в которой все параметры антенны не выходят из заданных пределов.

9) Эффективная шумовая температура антенны - при приёме слабых сигналов диапазона СВЧ по аналогии с источниками теплового шума.

7.3. Принцип взаимности и его применение для расчета параметров приемных антенн

Он применим для среды, обладающей линейчатыми свойствами, при этом сторонние источники ЭДС должны быть исключены из рассматриваемой области. Рассмотрим две произвольно направленные в пространстве антенны 1 и 2. Будем считать известными параметры этих антенн в режиме передачи: входные сопротивления, ДН, действующие длины, КПД, КНД.

1) Включим антенну 1 на передачу, для чего подключим генератор с ЭДС. Антенна 1 создаёт поле излучения, напряжённость которого у антенны 2 есть E_{21} , во 2-ой антенне в результате будет протекать ток I_{21} .

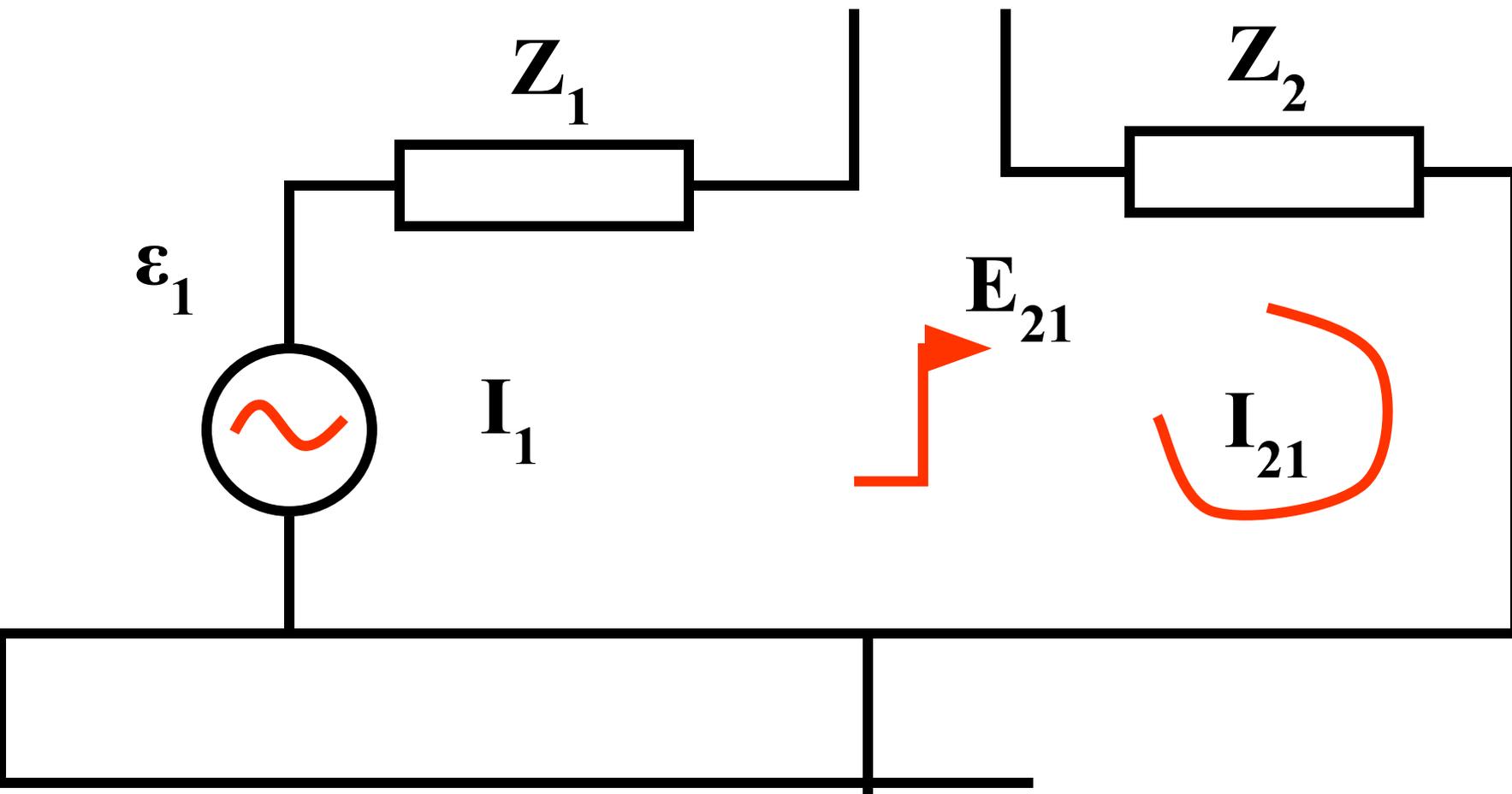


Рис. 7.3



2) Включим теперь антенну 2 на передачу. В цепи антенны 1 возникает ток I_{12} .

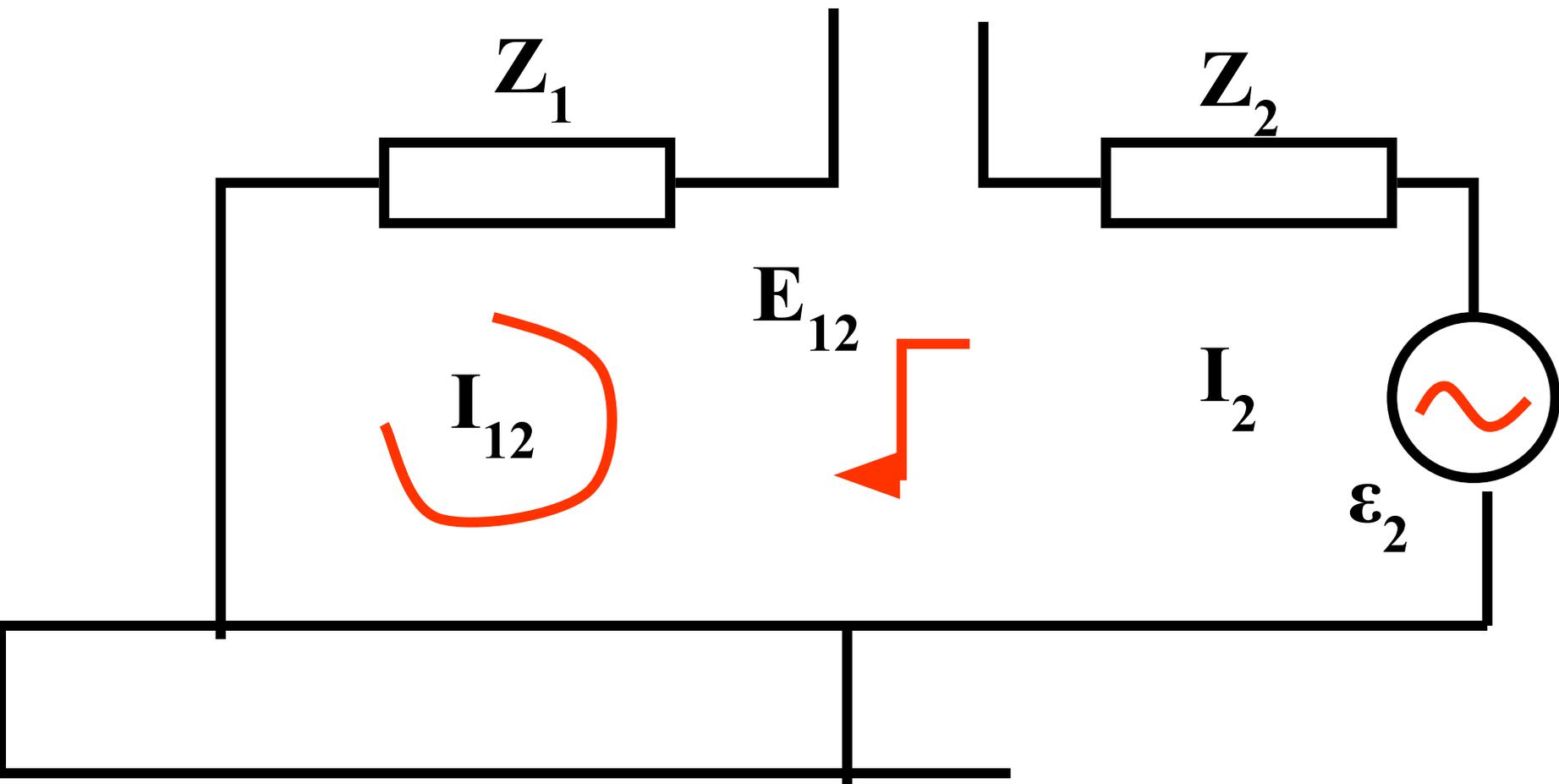


Рис. 7.4



Для двух рассмотренных антенн и промежуточной линейной среды выполняется принцип взаимности:

$$\frac{\mathcal{E}_1}{I_{21}} = \frac{\mathcal{E}_2}{I_{12}} \quad (7.4)$$

В цепи 1-ой антенны выполняется закон Ома:

$$I_1 = \frac{\mathcal{E}_1}{Z_1 + Z_{A1}}$$



Антенна 1 в режиме передачи создаёт напряжённость электрического поля:

$$E_{21} = i \frac{30kl_d I_1}{r} * \quad (7.5)$$

$$F_1(\Theta, \varphi) \exp(-ikr)$$

r - расстояние между антеннами; θ и ϕ - углы, определяющие направление к антенне 2, относительно оси антенны 1.

Определив ток из формулы 7.5 и подставив его в предыдущую формулу получим:



$$\varepsilon_1 = i \frac{E_{21}(Z_1 + Z_{A1})}{30kl_{d1}F_1(\Theta, \varphi)} * \quad (7.6)$$

$$* \frac{r}{\exp(-ikr)}$$



Включив антенну 2 на передачу получим:

$$\mathcal{E}_2 = i \frac{E_{12}(Z_2 + Z_{A2})}{30kl_{d2}F_2(\Theta, \varphi)} * * \frac{r}{\exp(-ikr)} \quad (7.7)$$



Подставим полученные значения ЭДС в равенство принципа взаимности и соберём слева все величины, относящиеся к антенне 1, а справа к антенне 2, в результате имеем:

$$\begin{aligned} & \frac{I_{12} (Z_1 + Z_{A1})}{E_{12} l_{d1} F_1 (\Theta, \varphi)} = \\ & = \frac{I_{21} (Z_2 + Z_{A2})}{E_{21} l_{d2} F_1 (\Theta, \varphi)} \end{aligned} \quad (7.8)$$



Выражение в левой части не зависит ни от одной величины из правой. Параметры антенны 1 не зависят от параметров антенны 2. Т. о. слева и справа стоят независимые величины, это даёт основания заключить, что каждая из них равна одной и той же постоянной N:

$$\frac{I_{np} (Z + Z_A)}{El_d F(\Theta, \varphi)} = N \quad (7.9)$$

где E - напряженность поля в режиме приема; I_{np} - ток в цепи антенны в режиме приема; Z - сопротивление подключенной к клеммам антенны; Z_A - входное сопротивление антенны в режиме передачи; l_d , $F(\Theta, \varphi)$, действующая длина и КНД определяются в режиме передачи.



$$I_{np} = \frac{NEI_{\delta} F(\Theta, \varphi)}{Z_A + Z} \quad (7.9)$$

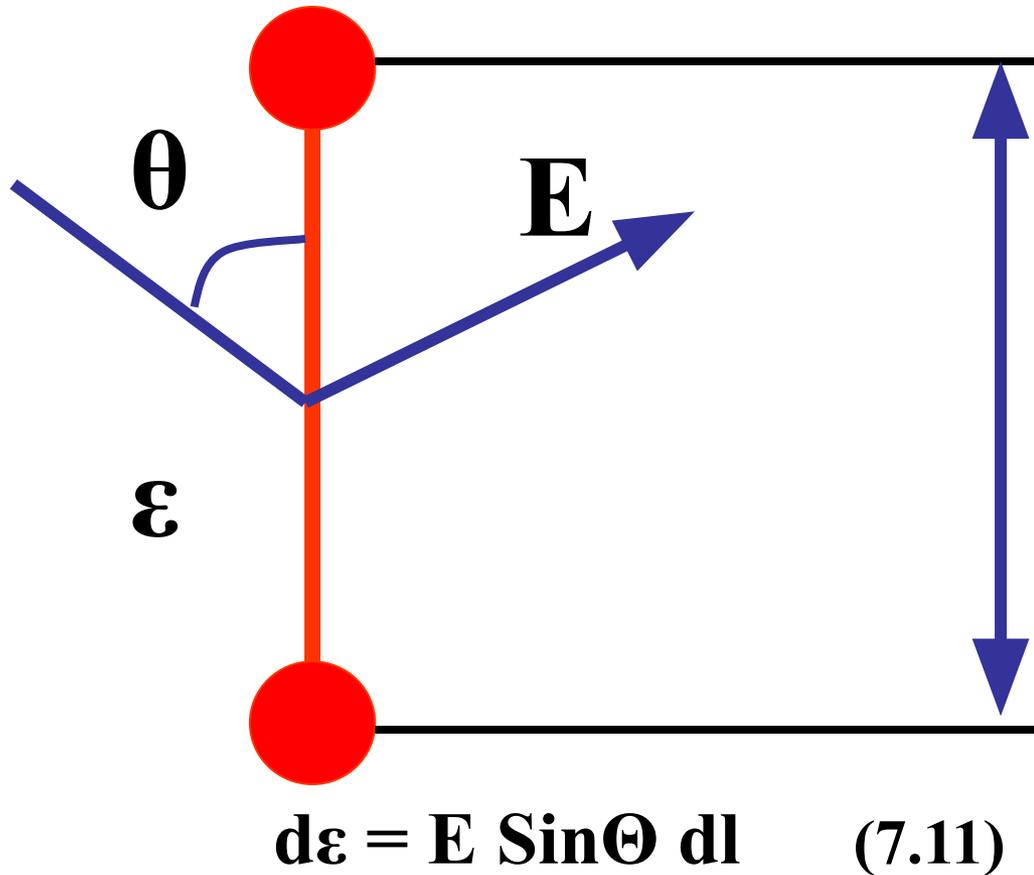
Из эквивалентной схемы следует, что числитель соотношения 7.9 представляет собой ЭДС генератора:

$$\varepsilon = NEI_{\delta} F(\Theta, \varphi) \quad (7.10)$$

Z_A - внутренне сопротивление приемной антенны;
 Z - сопротивление приемника, подключенного к клеммам антенны.



Т. к. выражение 7.10 справедливо для любой антенны, определим N для диполя Герца. Пусть линейно поляризованная электромагнитная волна с амплитудой напряжённости электрического поля E падает углом θ на



диполь Герца, лежащий в плоскости поляризованной волны. ЭДС, наведённая на элементарном участке пропорциональна проекции напряжённости электрического поля на ось диполя.

Рис. 7.5

Полная ЭДС:

$$\varepsilon = EI_1 \sin \Theta \quad (7.12)$$

Для диполя Герца:

$$I_d = I_1, F(\Theta, \phi) = \sin \Theta.$$

$$\varepsilon = EI_d F(\Theta, \phi) \quad (7.13)$$

Сравним формулы 7.10 и 7.13 - получается, что $N = 1$.

Т. о. действующая длина антенны в режиме приёма равна действующей длине в режиме передачи, а ДН в режиме приёма совпадает с ДН в режиме передачи.

