

Поляризационная эффективность излучения крестообразных вибраторов

Б. А. Панченко, Д.В. Денисов

Представлены поляризационные характеристики турникетных излучателей, графики амплитудных диаграмм направленности по основной и кросс-поляризационной составляющим крестообразного вибратора, вибратора с рефлектором и вибратора над проводящим экраном. Определена эффективность по основной поляризации.

Ключевые слова: крестообразный вибратор, диаграмма направленности, основная и кросс-поляризационная составляющие.

1. Введение

Крестообразные вибраторы, формирующие поле круговой поляризации, используются в качестве слабонаправленных одиночных излучателей, облучателей зеркальных и линзовых антенн, элементов антенных решёток. К недостаткам таких антенн можно отнести формирование, наряду с полем основной поляризации (ОП), кросс-поляризационной (КП) составляющей. Образование поля КП снижает эффективность турникетных излучателей, предназначенных для излучения основной поляризации только правого и левого вращения.

2. Диаграммы направленности крестообразных излучателей по основной и кросс-поляризационной составляющим

Турникетный излучатель образован двумя линейными вибраторами, находящимися в пространственной (перпендикулярной друг другу) и временной (у одного из вибраторов сдвиг по фазе на $\pm \frac{\pi}{2}$) квадратуре. [1] Система координат и пример ориентации токов на вибраторах показаны на рис. 1, \mathbf{a}_ϕ , \mathbf{a}_θ – единичные векторы в сферической системе координат.

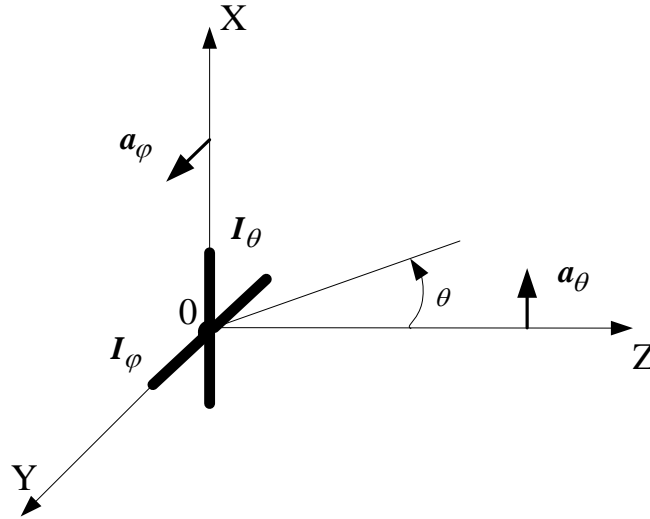


Рис. 1. Ориентация токов на вибраторах в системе координат

На рис. 1 для однозначного определения направления вращения поля нужно руководствоваться выбранным правилом совмещения векторов, излученных разными вибраторами. Например, для ориентации токов на рис. 1 комбинация вибраторов излучает поле левого вращения в правом полупространстве и поле правого вращения в левом полупространстве. Направление вращения в обоих случаях определяется, глядя вслед уходящей волне.

Основной характеристикой турникетных излучателей является диаграмма направленности по ОП и КП.

В качестве исходных формул запишем напряженности электрического поля, порожденные I_φ -ым, и I_θ -ым вибраторами [2]:

Угломестная ориентация элементарного электрического вибратора – $I^e(\mathbf{r}') = I^e(\mathbf{r}')\mathbf{a}_\theta$:

$$\mathbf{E}^\theta = -\frac{iI^e k_0 l Z_0}{4\pi} (\mathbf{a}_\theta \cdot \cos \theta \cos \varphi - \mathbf{a}_\varphi \cdot \sin \varphi) \frac{\exp(-ik_0 r)}{r}. \quad (1)$$

Азимутальная ориентация элементарного электрического вибратора – $I^e(\mathbf{r}') = I^e(\mathbf{r}')\mathbf{a}_\varphi$:

$$\mathbf{E}^\varphi = -\frac{iI^e k_0 l Z_0}{4\pi} (\mathbf{a}_\theta \cdot \cos \theta \sin \varphi + \mathbf{a}_\varphi \cdot \cos \varphi) \frac{\exp(-ik_0 r)}{r}. \quad (2)$$

Для одиночного турникета поле излученного парой вибраторов определяется как векторная сумма полей:

$$\mathbf{E}_\Sigma = \mathbf{E}^\theta \pm j \cdot \mathbf{E}^\varphi. \quad (3)$$

Поле основной поляризации определяется как

$$\mathbf{E}_{\text{ОП}} = \mathbf{E}_\Sigma \cdot (\mathbf{a}_\theta - j \cdot \mathbf{a}_\varphi). \quad (4)$$

Поле кросс-поляризационной составляющей определяется как

$$\mathbf{E}_{\text{КП}} = \mathbf{E}_{\Sigma} \cdot (\mathbf{a}_{\theta} + j \cdot \mathbf{a}_{\phi}). \quad (5)$$

После несложных преобразований получим выражения для диаграмм направленностей по ОП и КП (опущены амплитудные множители, нормировка сделана по полю ОП)

$$F(\theta)_{\text{ОП}} = \frac{1}{2} \cdot (1 + \cos \theta). \quad (6)$$

$$F(\theta)_{\text{КП}} = \frac{1}{2} \cdot (1 - \cos \theta). \quad (7)$$

На рис. 2 показаны графики диаграмм направленности для поля ОП и КП.

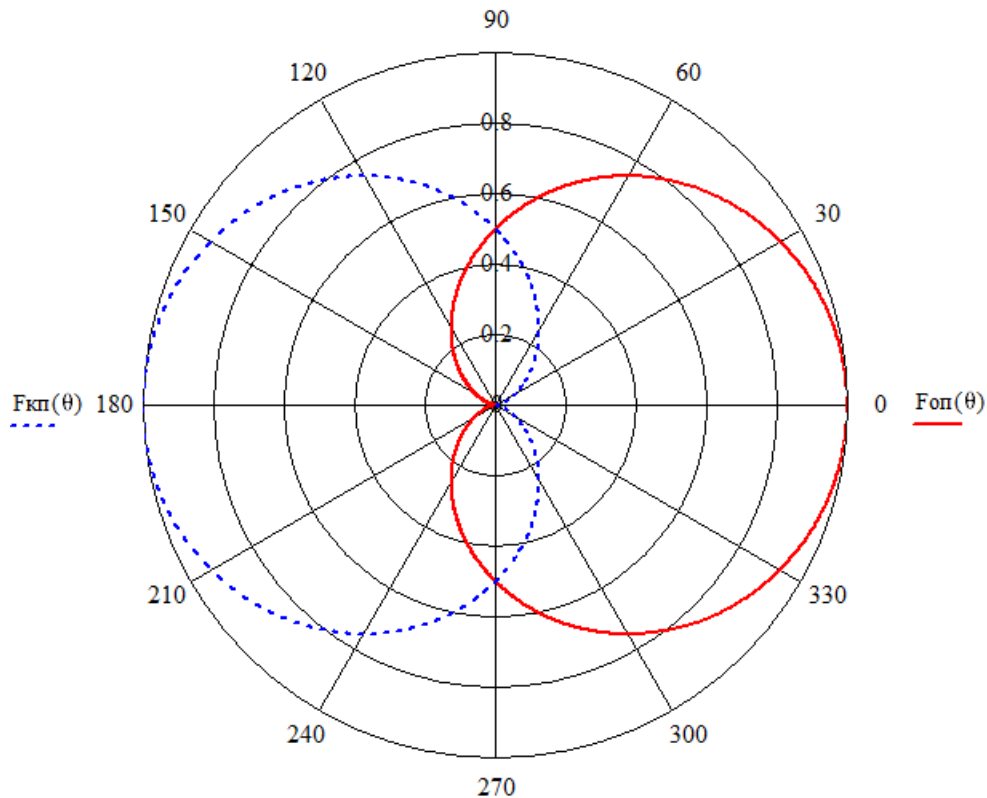


Рис. 2. Графики амплитудных диаграмм направленности по ОП и КП

Недостатком одиночных турникетных излучателей является одновременное излучение в левое и правое полупространства.

Для формирования однонаправленного излучения может быть использована решётка из двух идентичных излучателей, разнесённых на $\frac{\lambda}{4}$ и возбуждаемых со сдвигом по фазе на $+\frac{\pi}{2}$ (режим рефлектора) и $-\frac{\pi}{2}$ (режим директора). Приведём формулы для расчёта диаграмм

направленности по ОП и КП поляризации в случае, когда второй турникет является рефлектором (расстояние между экраном и антенной $\frac{\lambda}{4}$):

$$F(\theta)_{\text{ОП}} = \frac{1}{2} \cdot (1 + \cos(\theta)) \cdot \cos \left[\frac{\pi}{4} \cdot (1 - \cos(\theta)) \right]; \quad (8)$$

$$F(\theta)_{\text{КП}} = \frac{1}{2} \cdot (1 - \cos(\theta)) \cdot \cos \left[\frac{\pi}{4} \cdot (1 - \cos(\theta)) \right]. \quad (9)$$

На рис. 3 приведены графики амплитудных диаграмм направленности для ОП и КП двух турникетов, работающих в режиме рефлектора.

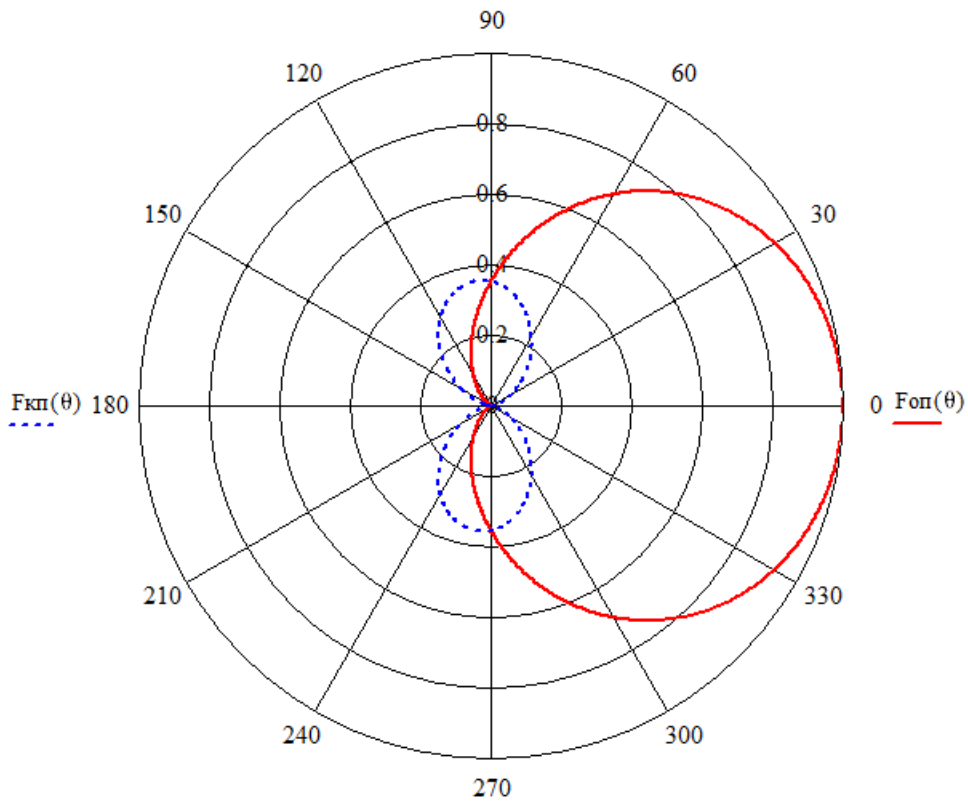


Рис. 3. Диаграммы направленности крестообразного вибратора с рефлектором по ОП и КП

Из графиков на рис. 2 и 3 видно, что определённая доля мощности непроизводительно тратится на образование кросс-поляризации. Этот факт необходимо учитывать при оценке КПД антенн, функционирующих в режиме круговой поляризации заданного вращения.

Приведём формулы для расчёта диаграмм направленности по ОП и КП поляризации в случае, когда турникет расположен над проводящим экраном (расстояние между экраном и антенной $\frac{\lambda}{4}$):

$$F(\theta)_{\text{ОП}} = \frac{1}{2} \cdot (1 + \cos \theta) \cdot \sin \left[\frac{\pi}{2} \cdot (\cos \theta) \right]; \quad (10)$$

$$F(\theta)_{\text{КП}} = \frac{1}{2} \cdot (1 - \cos \theta) \cdot \sin \left[\frac{\pi}{2} \cdot (\cos \theta) \right]. \quad (11)$$

На рис. 4 приведены графики диаграмм направленности для турникета над экраном.

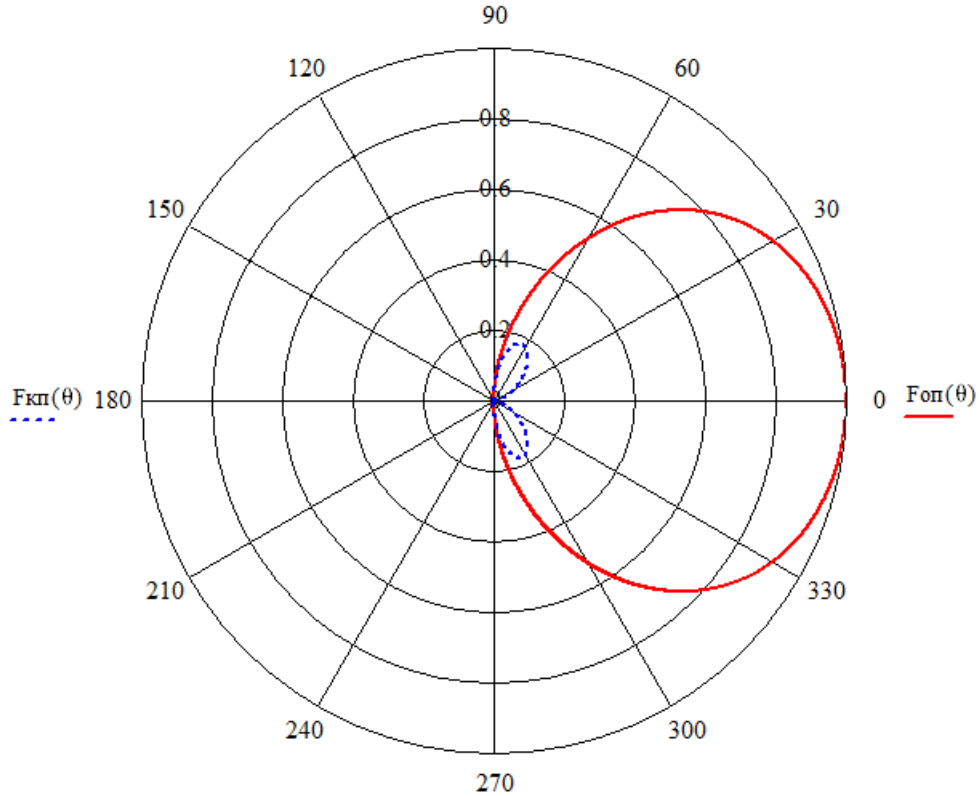


Рис. 4. Диаграммы направленности турникета над проводящим экраном по полю ОП и КП

3. Эффективность излучения поля заданной поляризации в секторе углов

Потери на излучение, связанное с полем нежелательной поляризации в некотором конусе углов θ_0 или во всём полупространстве, могут характеризоваться коэффициентом потерь α , который определяется как отношение мощности, излученной полем КП, к суммарной мощности, излученной антенной

$$\alpha = \frac{\int_0^{2\pi} \int_0^{\theta_0} |\mathbf{E}_{\text{КП}}(\theta, \varphi)|^2 \sin \theta d\theta d\varphi}{\int_0^{2\pi} \int_0^{\theta_0} (|\mathbf{E}_{\text{ОП}}(\theta, \varphi)|^2 + |\mathbf{E}_{\text{КП}}(\theta, \varphi)|^2) \sin \theta d\theta d\varphi}. \quad (12)$$

Например, коэффициент эффективности γ определяется как $\gamma = 1 - \alpha$ для турникетного излучателя, образованного двумя линейными вибраторами, коэффициент потерь во всём

полупространстве ($\theta_0 = \frac{\pi}{2}$) составят $\alpha = 0.125$. В том случае, когда используется решётка из двух элементов, разнесённых на $\frac{\lambda}{4}$ (режим рефлектора), поляризационные потери во всём полупространстве ($\theta_0 = \frac{\pi}{2}$) составят $\alpha = 0.112$. Для турникетного излучателя, расположенного над проводящим экраном (на расстоянии $d = \frac{\lambda}{4}$), коэффициент паразитной кросс-поляризационной составляющей поля $\alpha = 0.065$. Для других вариантов излучения поля круговой поляризации коэффициент потерь в правом от антенны полупространстве для трёх видов турникетных излучателей приведён в табл. 1.

Таблица 1. Значение коэффициента потерь α для турникетных вибраторов

θ_0	Коэффициента потерь α		
	Крестообразная щель в экране	Два турникета в режиме рефлектора	Турникет над проводящим экраном
30°	0.0016	0.0016	0.0016
45°	0.008	0.008	0.008
60°	0.026	0.026	0.024
90°	0.125	0.112	0.065

Для турникета в режиме рефлектора и над проводящим экраном расстояние между элементом решётки и экраном $d = \frac{\lambda}{4}$.

4. Заключение

В работе результаты получены для элементарных электрических излучателей для того, чтобы формулы носили простой вид. Используемые чаще других на практике полуволновые вибраторы имеют практически такие же диаграммы направленности, как и элементарный вибратор в плоскостях E и θ . В плоскости E ширина диаграммы направленности двух антенн отличается на два градуса, в плоскости H диаграммы направленности одинаковы. Расчёты показывают, что эффективность излучения по полю ОП для элементарных излучателей в свободном пространстве составляет 0.875, а для полуволнового вибратора эта величина составляет 0.879.

Литература:

1. Г.Т. Марков. «Антенны». Изд-во «Госэнергоиздат» М. 1960, 534 с.
2. Б.А. Панченко. «Рассеяние и поглощение электромагнитных волн неоднородными сферическими телами». Изд-во «Радиотехника» М. 2012, 300 с.

Статья поступила в редакцию 22.01.2013

Панченко Борис Алексеевич

Автор 270 научных работ и 5 монографий, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой общепрофессиональных дисциплин технических специальностей УрТИСИ ФГОБУ ВПО «СибГУТИ» (620109, Екатеринбург, ул. Репина, 15) тел. (343) 359-91-16,
e-mail: valbor@mail.ur.ru

Денисов Дмитрий Вадимович

Выпускник УрТИСИ ФГОБУ ВПО «СибГУТИ», аспирант кафедры общепрофессиональных дисциплин технических специальностей УрТИСИ ФГОБУ ВПО «СибГУТИ» (620109, Екатеринбург, ул. Репина, 15) тел. (343) 359-91-16,
e-mail: denisov.dlv@gmail.com

Polarization efficiency of cross dipoles radiation**B. Panchenko, D. Denisov**

Polarization characteristics of turnstile emitters, amplitude patterns graphs directed to cross-shaped and cross polarization dipole's main components, dipoles with a reflector and dipole above conducting shield are presented. Efficiency of the basic polarization is calculated.

Keywords: cross-shaped dipole, the radiation pattern, main cross polarization components.