

УДК 621.396.6:621.391.827

МЕТОДИКА РАСЧЕТА УГЛОВ ОРИЕНТАЦИИ АНТЕНН ПЕРЕДАТЧИКА И ПРИЕМНИКА ПОМЕХИ ПРИ АНАЛИЗЕ ЭМС РЭС

О.И. КОРОЛЬКОВА, В.М. КОЗЕЛ, К.Л. ГОРБАЧЕВ

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
П.Бровки, 6, Минск, 220013, Беларусь

Поступила в редакцию 18 июня 2012

Изложена методика расчета углов ориентации антенны передатчика и приемника помехи, а также расчета истинного разностного угла, получена зависимость ошибки вычисления значений разностного угла при использовании приближенной формулы расчета.

Ключевые слова: азимут, угол места, профиль трассы, разностный угол.

Введение

В настоящее время, когда разрабатывается и вводится в эксплуатацию все больше радиоэлектронных средств, достаточно остро стоит проблема нехватки частотного ресурса. Исходя из этого, возникает задача обеспечения электромагнитной совместимости нескольких систем, работающих в совмещенной полосе частот. Важной составляющей этой задачи является прогнозирование возможных помех между этими системами. Приведенная ниже методика расчета играет значительную роль для определения условий нормального функционирования радиоэлектронных средств в совмещенных полосах частот.

Методика расчета азимута направления от передатчика на приемник помехи

Для расчета азимута α_{TX} (по часовой стрелке относительно истинного севера) направления от передатчика помехи на приемник помехи используется следующая формула [1]:

$$\alpha_{TX} = \arccos\left(\frac{\sin(\varphi_{RX}) - \sin(\varphi_{TX}) \cdot \cos(\theta)}{\cos(\theta) \cdot \cos(\varphi_{TX})}\right), \text{ если } \psi_{TX} - \psi_{RX} \leq 0.$$

$$\alpha_{TX} = 360 - \arccos\left(\frac{\sin(\varphi_{RX}) - \sin(\varphi_{TX}) \cdot \cos(\theta)}{\sin(\theta) \cdot \cos(\varphi_{TX})}\right), \text{ если } \psi_{TX} - \psi_{RX} > 0,$$

$$\theta = \arccos(\sin(\varphi_{TX}) \cdot \sin(\varphi_{RX}) + \cos(\varphi_{TX}) \cdot \cos(\varphi_{RX}) \cdot \cos(\psi_{TX} - \psi_{RX})),$$

где $\varphi_{RX}, \varphi_{TX}$ – широта расположения передатчика и приемника помехи соответственно; ψ_{TX}, ψ_{RX} – долгота расположения передатчика и приемника помехи соответственно.

Расстояние между передатчиком и приемником помехи d может быть рассчитано как $d = 6371000 \cdot \theta$.

Далее необходимо рассчитать разность азимутов направления от передатчика на приемник помехи и ориентации антенны передатчика помехи $\Delta\alpha_{TX}$ (по часовой стрелке от азимута ориентации антенны на азимут направления на приемник):

$$\Delta\alpha_{TX} = \alpha_{TX} - \alpha_{TX0},$$

где α_{TX0} – азимут антенны передатчика помехи.

Величина $\Delta\alpha_{TX}$ может принимать значения $0^\circ \dots 360^\circ$.

Методика расчета угла места направления от передатчика помехи на приемник помехи

Угол места направления от передатчика на приемник помехи определяется с помощью методики, изложенной в [1]. Угол места линии, соединяющей две точки на профиле трассы, определяется из прямоугольного треугольника с учетом отличия горизонтали передатчика от горизонтали трассы за счет «выгибания» земли (знак угла места отрицательный при наклоне антенны к земле): $\theta_i = -\theta'_i - \theta''_i$, где θ'_i вычисляется по формуле:

$$\theta'_i = \arctg \left[\frac{h_{TX} + h_{ATX} - h_i + h_{ei}}{d_i} \right] \approx \frac{h_{TX} + h_{ATX} - h_i + h_{ei}}{d_i},$$

где h_{ei} вычисляется следующим образом: $h_{ei} = \frac{d_i \cdot (d - d_i)}{2 \cdot R_{eq}}$,

θ''_i вычисляется по формуле: $\theta''_i = \arctg \left[\frac{\partial}{\partial d_i} (h_{ei}) \right]$ – для $d_i = 0$,

допустимо вычисление по приближенной формуле: $\theta''_i \approx \frac{d}{2R_{eq}}$,

где h_i – высота i -й точки профиля над уровнем моря с учетом местных предметов; h_{ei} – высота «выгибания» земли в i -й точке профиля, формула взята из [2]; h_{TX} – высота точки расположения передатчика помехи над уровнем моря (высота 0-й точки профиля); h_{ATX} – высота подвеса антенны передатчика помехи над уровнем земли; d_i – расстояние от передатчика помехи до i -й точки профиля; d – расстояние между передатчиком и приемником помехи; R_{eq} – эквивалентный радиус Земли.

$$\theta_i = \frac{h_i + h_{ei} - h_{TX} + h_{ATX}}{d_i} - \frac{d}{2 \cdot R_{eq}} = \frac{h_i - h_{TX} + h_{ATX}}{d_i} + \frac{d_i \cdot (d - d_i)}{d_i \cdot 2 \cdot R_{eq}} - \frac{d}{2 \cdot R_{eq}} =$$

$$\frac{h_i - (h_{TX} + h_{ATX})}{d_i} - \frac{d_i}{2 \cdot R_{eq}}.$$

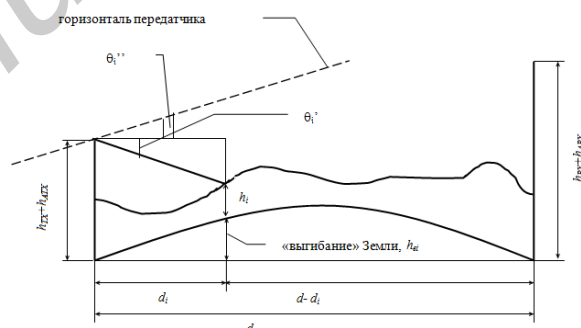


Рис. 1. Взаимное расположение передатчика и приемника помехи с учетом рельефа местности

Далее определяется наличие прямой видимости между антеннами передатчика и приемника помехи. Если линия визирования между антеннами передатчика и приемника помехи не пересекает профиль трассы с учетом местных предметов, то трасса считается трассой прямой видимости. По методике, изложенной в [1] угол места θ_{TX} линии визирования между антеннами передатчика и приемника помехи не должен быть меньше угла места θ_i линии визи-

рования между антенной передатчика помехи и каждой точкой профиля трассы с учетом местных предметов:

$$\theta_{TX} \geq \theta_{\max},$$

$$\text{где } \theta_{\max} = \max_{i=1}^{n-1} \theta_i, \quad (1)$$

$$\theta_i = \frac{h_i - (h_{TX} + h_{ATX})}{d_i} - \frac{d_i}{2 \cdot R_{eq}}.$$

Угол места линии визирования между антеннами передатчика и приемника помехи определяется по следующей формуле:

$$\theta_{TX} = \frac{h_{RX} + h_{ARX} - h_{TX} + h_{ATX}}{d} - \frac{d}{2 \cdot R_{eq}}, \quad (2)$$

где n – общее число точек профиля трассы, 0-я точка соответствует точке расположения передатчика помехи, n -я точка – точке расположения приемника помехи; h_i – высота i -й точки профиля над уровнем моря с учетом местных предметов; h_{TX} – высота точки расположения передатчика помехи над уровнем моря (высота 0-й точки профиля); h_{ATX} – высота подвеса антенны передатчика помехи над уровнем земли; h_{RX} – высота точки расположения приемника помехи над уровнем моря (высота n -й точки профиля); h_{ARX} – высота подвеса антенны приемника помехи над уровнем земли; d_i – расстояние от передатчика помехи до i -й точки профиля; d – расстояние между передатчиком и приемником помехи; R_{eq} – эквивалентный радиус Земли, берется медианное значение.

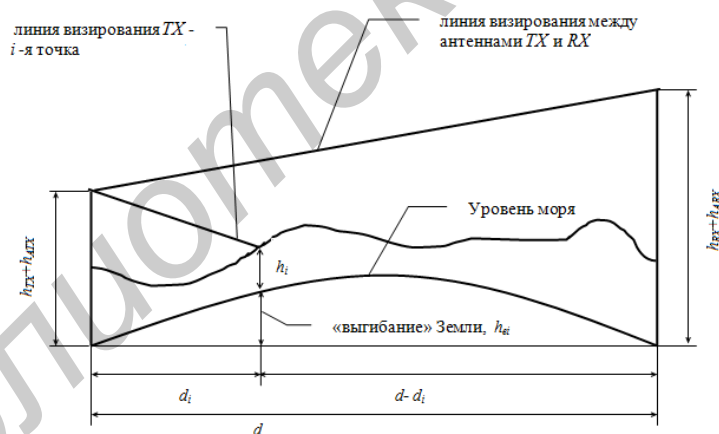


Рис. 2 Расположение передатчика и приемника помехи для определения прямой видимости

Если трасса между передатчиком и приемником помехи открытая, то угол места антенны передатчика γ_{TX} :

$$\gamma_{TX} = \theta_{TX} = \frac{h_{RX} + h_{ARX} - h_{TX} + h_{ATX}}{d} - \frac{d}{2 \cdot R_{eq}},$$

где θ_{TX} – угол места, полученный по формуле (2).

Если трасса между передатчиком и приемником помехи закрытая, то угол места антенны передатчика γ_{TX} равен углу места радиогоризонта передатчика:

$$\gamma_{TX} = \theta_{\max}, \text{ где } \theta_{\max} \text{ – угол места, полученный из (1)}$$

Затем рассчитывается разность углов места направления от передатчика на приемник помехи и ориентации антенны передатчика помехи $\Delta\gamma_{TX}$: $\Delta\gamma_{TX} = \gamma_{TX} - \gamma_{TX0}$.

Методика расчета разностного угла

Рассчитывается истинный разностный угол Δ между направлением от передатчика на приемник помехи и ориентации антенны передатчика помехи по методике [1]:

$$\Delta\Delta = \arccos \cos(\gamma_{TX0}) \cdot \cos(\gamma_{TX}) \cdot \cos(\alpha_{TX} - \alpha_{TX0}) + \sin(\gamma_{TX0}) \cdot \sin(\gamma_{TX}) ,$$

$$\Delta = \Delta\Delta , \text{ если } \Delta\alpha = 0^\circ \dots 180^\circ ,$$

$$\Delta = 360^\circ - \Delta\Delta , \text{ если } \Delta\alpha = 180^\circ \dots 360^\circ .$$

Для истинного разностного угла целесообразно применять точную формулу из [1], а не упрощенную из [2], поскольку последняя дает существенную ошибку при выходе/приходе помехи в задней полуплоскости диаграммы направленности антенны по отношению к ориентации антенны передатчика/приемника помехи.

Точная формула для разностного угла из [1]:

$$\Delta 1 = \arccos \cos(\gamma_{TX0}) \cdot \cos(\gamma_{TX}) \cdot \cos(\alpha_{TX} - \alpha_{TX0}) + \sin(\gamma_{TX}) .$$

Приближенная формула для разностного угла из [2]:

$$\Delta 2 = \arccos \cos(\gamma_{TX} - \gamma_{TX0}) \cdot \cos(\alpha_{TX} - \alpha_{TX0}) = \arccos \cos(\Delta\gamma_{TX}) \cdot \cos(\Delta\alpha_{TX}) .$$

При малом разностном угле:

$$\alpha_{TX0} = 0^\circ , \alpha_{TX} = 25^\circ , \gamma_{TX0} = -5^\circ , \gamma_{TX} = -3^\circ , \Delta 1 = 25,017^\circ , \Delta 2 = 25,075^\circ .$$

При большом разностном угле:

$$\alpha_{TX0} = 0^\circ , \alpha_{TX} = 180^\circ , \gamma_{TX0} = 3^\circ , \gamma_{TX} = -5^\circ , \Delta 1 = 180^\circ , \Delta 2 = 170^\circ .$$

График зависимости приведен на рисунке.

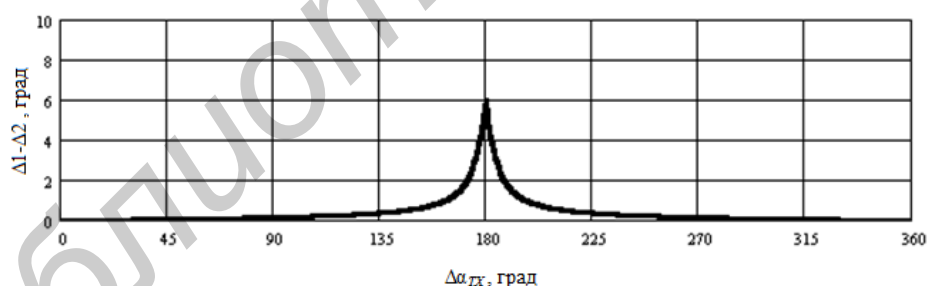


Рис. 3. Зависимость ошибки вычисления разностного угла при использовании приближенной формулы от ориентации антенны передатчика/приемника помехи.

Заключение

В ходе работы была изложена методика расчета углов ориентации антенн передатчика и приемника помехи, а также разностного угла, получена зависимость ошибки его вычисления при использовании приближенной формулы расчета, из которой видно, что при приходе/выходе помехи в задней полуплоскости приближенная формула дает существенную ошибку.

CALCULATION METHODS OF ORIENTATION ANGLES OF TRANSMITTER AND NOISE RECEIVER ANTENNAS IN ANALYSIS OF ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY

O.I. KOROLKOVA, V.M. KOZEL, K.L. GORBACHEV

Abstract

The calculation methods of the orientation angles of the transmitter and the noise receiver antennas, and also calculation of the true incremental angle are explained, dependence of a computation error of the incremental angle values is received, when using the approximate calculation formula .

Список литературы

1. Recommendation ITU-R P.452-11 «Prediction procedure for the evaluation of microwave interference between stations on the surface of the Earth at frequencies above about 0.7 GHz».
2. Agreement on the co-ordination of frequencies between 29.7 MHz and 39.5 GHz for the fixed service and the land mobile service. – Berlin, 14 September 2001.