

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования «Воронежский государственный
университет»

Исследовательская работа на тему:

Исследование зарядовой модели излучения импульсных сигналов

Выполнил

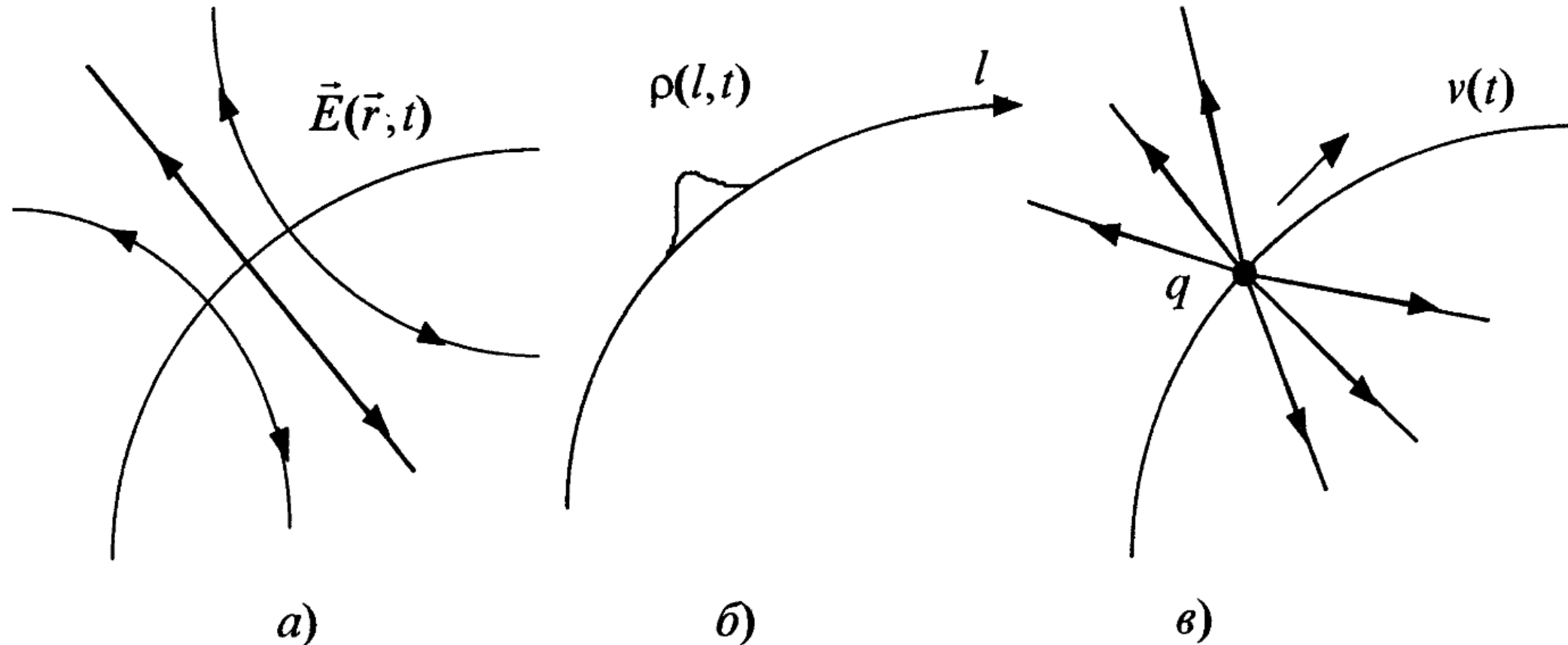
Шаповалов Д.В.

Руководитель

Кретов П.А.

г.Воронеж
2020

Теория зарядовой модели

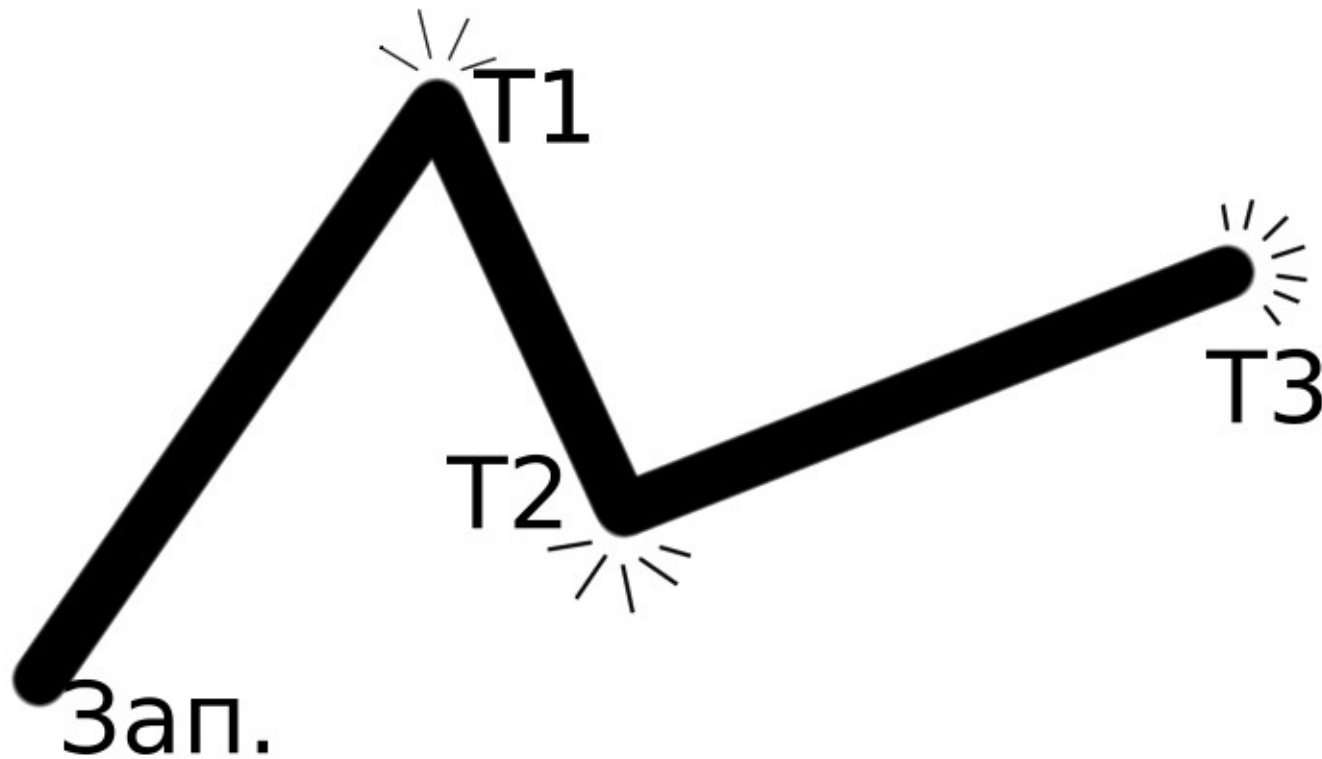


а - силовые линии поля вблизи проводника, возбужденного импульсным сигналом; б - зависимость плотности заряда на проводнике от продольной координаты; в - поле сосредоточенного заряда, заменяющего распределенный.

Зарядовая модель антенны

Источник: Ковалёв И.П., Пономарёв Д.М., Анализ процессов излучения и приёма импульсных сигналов во временной области

Теория зарядовой модели



Излучение происходит при любом изменении скорости.

Схематичная модель излучения поля

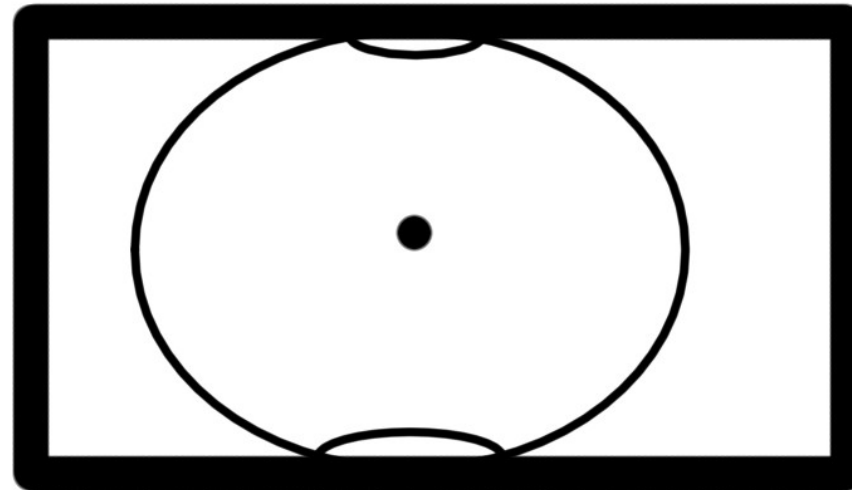
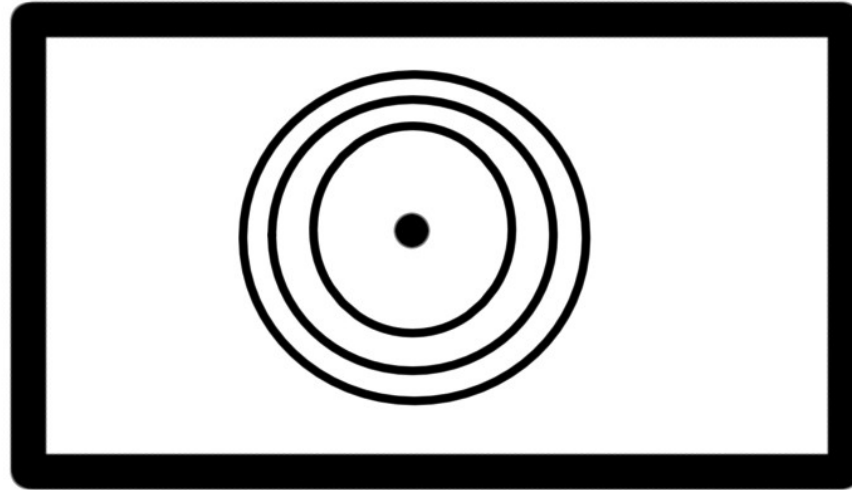
Проблема одномерности

$$\vec{E} = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 |\vec{r} - \vec{r}_0(\tau)|^2 (1 - \vec{n} \cdot \vec{\beta})^3} \times$$

$$\times \left[(\vec{n} - \vec{\beta})(1 - \beta^2) + |\vec{r} - \vec{r}_0(\tau)| \left(\vec{n} \frac{\dot{\vec{\beta}}}{c} \right) (\vec{n} - \vec{\beta}) - |\vec{r} - \vec{r}_0(\tau)| (\vec{n}(\vec{n} - \vec{\beta})) \frac{\dot{\vec{\beta}}}{c} \right]$$

Уравнение электрического поля,
излучаемое сосредоточенным зарядом

Проблема одномерности



Схематичное отображение
распространения сосредоточенного заряда
на двумерной ячейке проводника

Уравнения Максвелла

Уравнения Максвелла

$$\nabla \cdot \mathbf{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0} \qquad \nabla \cdot \mathbf{B} = 0$$

$$\nabla \times \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} \qquad c^2 \nabla \times \mathbf{B} = \frac{\mathbf{j}}{\epsilon_0} + \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t}$$

Их решения

$$\mathbf{E} = -\nabla \phi - \frac{\partial \mathbf{A}}{\partial t}$$

$$\mathbf{B} = \nabla \times \mathbf{A}$$

$$\phi(1, t) = \int \frac{\rho(2, t - r_{12}/c)}{4\pi\epsilon_0 r_{12}} dV_2$$

$$\mathbf{A}(1, t) = \int \frac{\mathbf{j}(2, t - r_{12}/c)}{4\pi\epsilon_0 c^2 r_{12}} dV_2$$

Уравнения Максвелла и их решения

Источник: Фейнман Р.Ф., Фейнмановские лекции по физике, том 2, глава 21

Потенциалы Лиенара-Вихерта

$$\phi(1, t) = \int \frac{\rho(2, t - r_{12}/c)}{4\pi\epsilon_0 r_{12}} dV_2$$

$$\mathbf{A}(1, t) = \int \frac{\mathbf{j}(2, t - r_{12}/c)}{4\pi\epsilon_0 c^2 r_{12}} dV_2$$

Потенциалы Лиенара-Вихерта

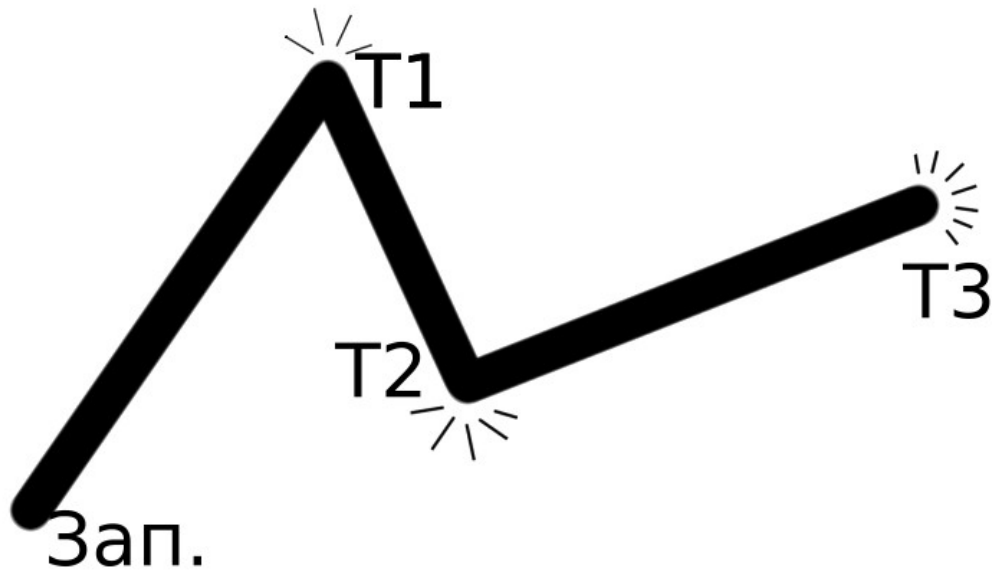
Источник: Фейнман Р.Ф., Фейнмановские лекции по физике, том 2, глава 21

Итоговая формула для вычисления электрического поля

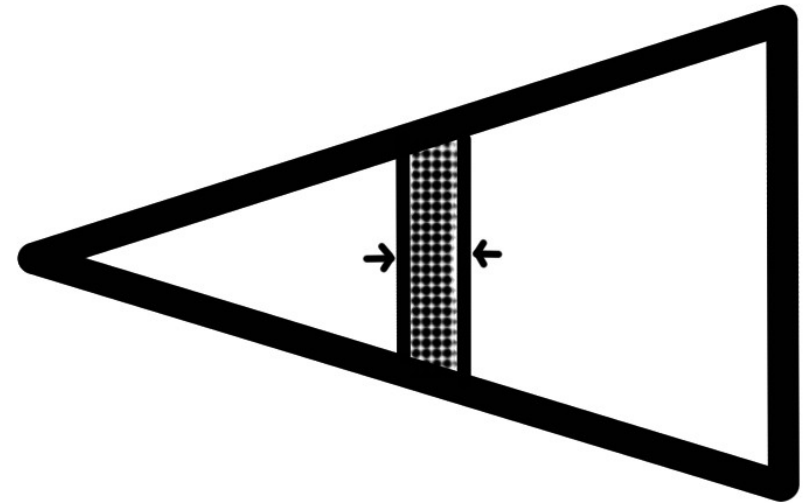
$$\begin{aligned} \vec{E} = & \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{1}{|\vec{r} - \vec{r}_0(\tau)|^2 (1 - \vec{n} \cdot \vec{\beta})^3} q(\tau) \times \\ & \times \left[\vec{n} - \vec{\beta}(\vec{\beta}^2 + (1 - \vec{n} \cdot \vec{\beta})) + \frac{\dot{\vec{\beta}}}{c} |\vec{r} - \vec{r}_0(\tau)| (1 - \vec{n} \cdot \vec{\beta}) + (\vec{r} - \vec{r}_0(\tau))(\vec{n} + \vec{\beta}) \right] + \\ & + \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{1}{|\vec{r} - \vec{r}_0(\tau)|^2 (1 - \vec{n} \cdot \vec{\beta})^3} \dot{q}(\tau) (\vec{n} + \vec{\beta}) \frac{1}{c} |\vec{r} - \vec{r}_0(\tau)| (1 - \vec{n} \cdot \vec{\beta}) \end{aligned}$$

Уравнение электрического поля,
излучаемое сосредоточенным зарядом с
учётом п – мерности антенны

Многомерность

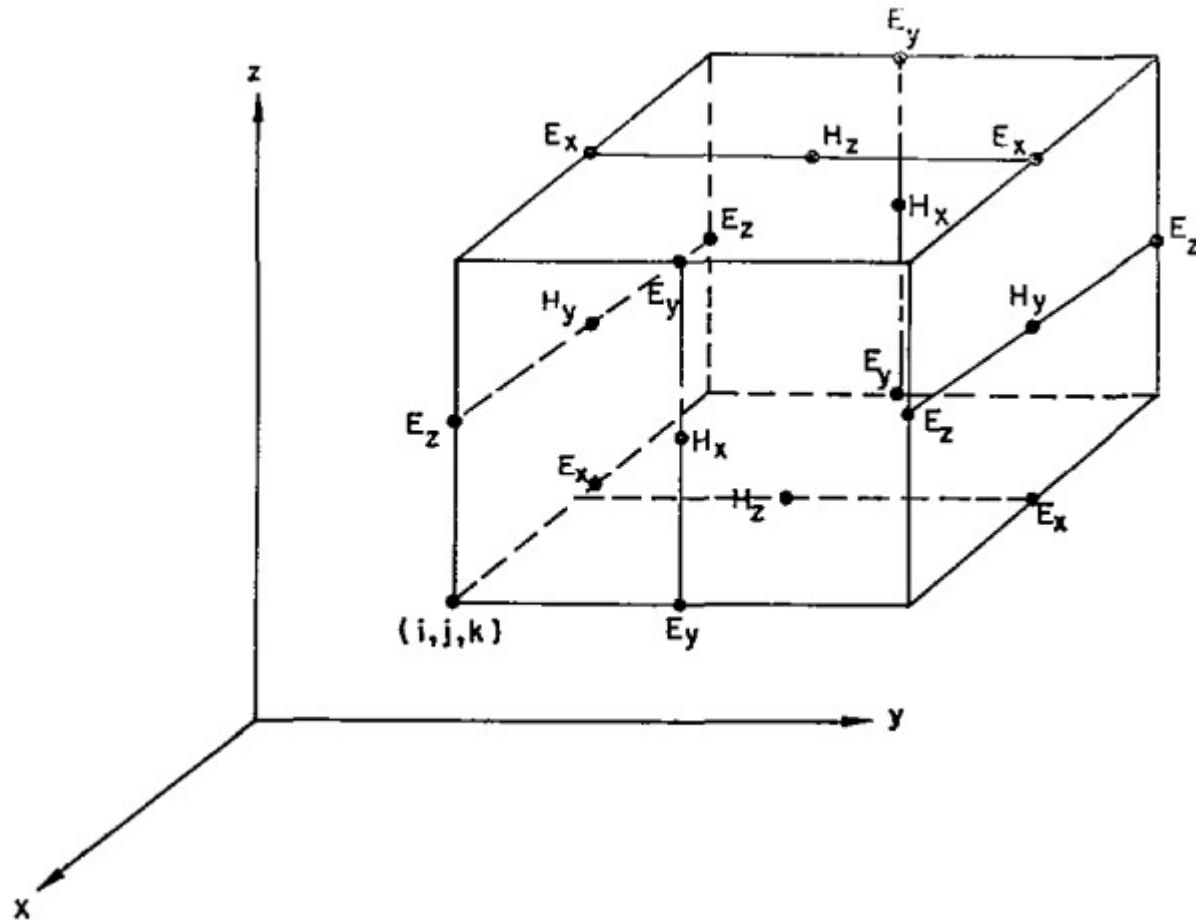


Распространение не постоянного сгустка



Распространение переменного сгустка

Конечно-разностный метод во временной области



Модель предложенная Кейном Йи

Источник: Kane S. Yee, Numerical Solution of Initial Boundary Value Problems Involving Maxwell's Equations in Isotropic Media

Сравнение исчисленных данных полученных импульсным методом и методом конечных разностей

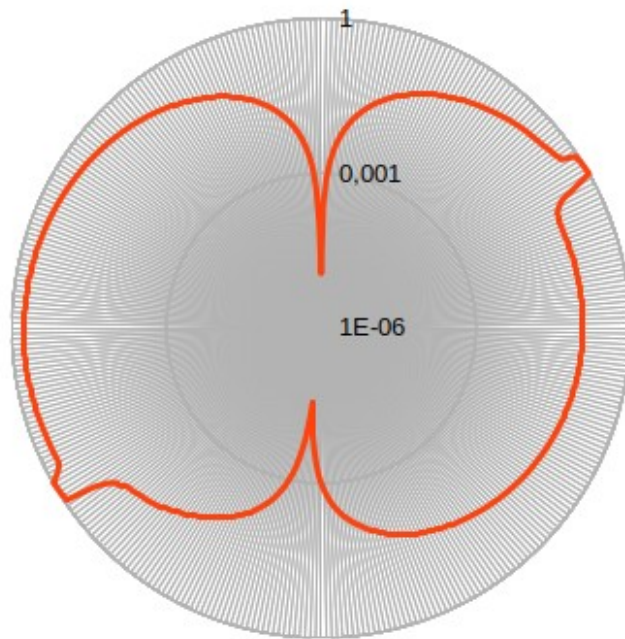


Диаграмма направленности антенны типа
“Бабочка”

Вычислено при помощи полученных
формул

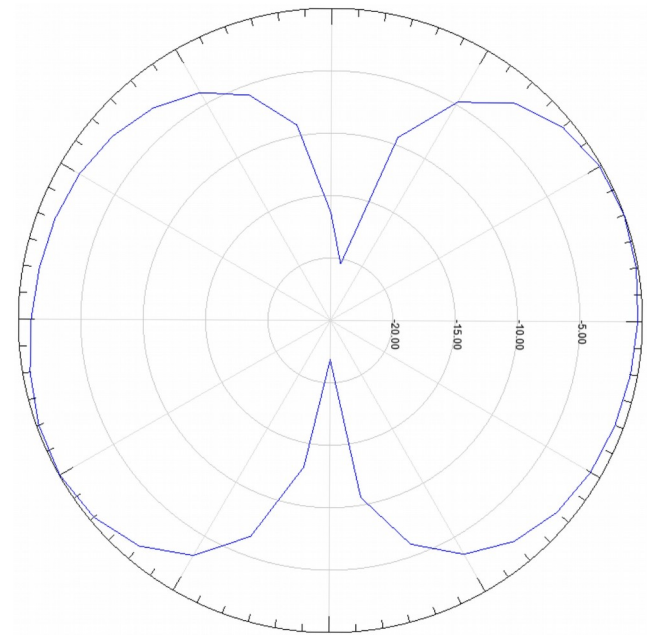


Диаграмма направленности типа “Бабочка”

Источник: <http://www.deepace.net>, антенна
DEEPACE UWB-4 1.8GHz~9GHz
Omnidirectional Antenna