

Изобретение относится к области радиотехники, в частности, антенной техники и может быть использовано в радиотехнических системах различного назначения для излучения или приема несинусоидальных импульсных сигналов очень короткой длительности (порядка 1 нс и менее).

Известна вибраторная антенна, из двух вибраторов, в которой один из вибраторов экранирован плоским металлическим экраном и экраном, выполненным из поглощающего радиоволны материала. Длина вибратора  $L$  такой антенны  $L < c \Delta T$ , а расстояние  $d$  от вибратора до плоскости металлического экрана  $d \ll c \Delta T$ . Такая антенна облучает одну полусферу пространства, а излучение в другой полусфере экранировано двумя экранами и практически отсутствует.

Максимум излучения такой антенны прототипа направлен по нормали к плоскости металлического экрана в полусферу, неэкранированную экранами. Запитка излучающего вибратора антенны осуществлена с двух концов с помощью проводников, связывающих вибратор с генератором тока. Излучение соединительных проводников экранировано экраном из поглощающего материала.

Известно, что плотность мощности  $P$  радиоволн, излучаемых коротким вибратором длиной  $L < c \Delta T$  в свободном пространстве в плоскости, перпендикулярной вибратору, в дальней зоне определяется следующим выражением [1]

$$P = Z_0 \left( \frac{L}{4\pi r c} \right)^2 \left( \frac{di}{dt} \right)^2. \quad (1)$$

где  $Z_0 = 377 \text{ Ом}$  - волновое сопротивление свободного пространства;

$L$  - длина вибратора;

$c = 3 \times 10^8 \text{ м/с}$  - скорость света;

$r$  - дальность от вибратора до точки наблюдения;

$i$  - ток в вибраторе;

$t$  - время.

Для антенны-прототипа производная  $di/dt$  приближенно равна

$$\frac{di}{dt} = \frac{I}{\Delta T}, \quad (2)$$

где  $I$  - амплитуда импульса тока питающего антенну генератора;

$\Delta T$  - длительность фронта импульса тока.

Отсюда следует, что антенна излучает только на интервалах времени, соответствующих фронту импульса тока в вибраторе.

Импульс радиоволн, отраженных от плоскости металлического экрана, запаздывает относительно импульса поля прямой волны в плоскости, перпендикулярной вибратору, на время  $\Delta T$ , равное

$$\Delta t = \frac{2 d \cos \beta}{c}, \quad (3)$$

где  $d$  - расстояние от вибратора до плоскости металлического экрана;

$\beta$  - угол, отсчитываемый от нормали к экрану в плоскости, перпендикулярной вибратору.

Амплитуды импульсов поля прямой и отраженной от экрана волн примерно одинаковы, а направление векторов напряженности электрического поля этих волн противоположное. Поэтому при  $L \ll c \Delta T$  отраженная от экрана волна будет частично подавлять прямую волну. С учетом этих замечаний и выражений (1), (2), (3) можно записать следующее выражение для средней за период  $T$  плотности мощности  $P_{cp}$ , излучаемой антенной-прототипом, в точке наблюдения в плоскости, перпендикулярной вибратору:

$$P_{cp} = \frac{\pi \times 2 \Delta t}{T} = \frac{Z_0}{c T} \left( \frac{L I}{4 \pi r c \Delta T} \right)^2 \times 4 d \cos \beta. \quad (4)$$

Это соотношение справедливо при

$$d < \frac{c \Delta T}{2 \cos \beta}. \quad (5)$$

Отсюда следует, что нормированная диаграмма направленности антенны-прототипа по средней за период мощности в плоскости, перпендикулярной вибратору, определяется выражением

$$F(\beta) = \cos \beta, \quad (6)$$

а ширина диаграммы направленности по половинной мощности будет  $2 \Delta \beta = 120^\circ$ ; где  $\beta$  - азимутальный угол, отсчитываемый от нормали к экрану в плоскости, перпендикулярной вибратору.

Из выражения (4) следует, что увеличить мощность в направлении максимального излучения в антенне-прототипе можно путем увеличения расстояния  $d$  от вибратора до металлического экрана. Однако это потребует значительного увеличения размеров металлического экрана, так как в противном случае возрастет нежелательное излучение в заднюю полусферу.

Отсюда возникает техническая задача: попытаться увеличить излучаемую антенной мощность в направлении максимального излучения, не увеличивая расстояние  $d$ , размеры вибратора и экрана, при прежних параметрах питающего антенну импульсного генератора тока  $I$ ,  $\Delta T$ ,  $T$ , сохранив, по возможности, прежнюю диаграмму направленности антенны  $F(\beta)$ .

Таким образом, недостатком прототипа является то, что отраженная от металлического экрана волна частично подавляет прямую волну и излучаемая мощность в направлении максимального излучения сравнительно мала.

В основу изобретения поставлена задача увеличения мощности, излучаемой в направлении максимального излучения, при прежних размерах антенны и прежних параметрах питающего антенну импульсного генератора тока, сохранив, по возможности, прежнюю ширину диаграммы направленности антенны.

Решение этой задачи достигается благодаря тому, что в устройстве-прототипе, содержащем проволочный вибратор, длина которого  $L$  меньше произведения скорости света  $c$  на длительность фронта  $\Delta T$  импульса тока, питающего вибратор, плоский металлический экран, удаленный от вибратора на расстояние  $d \ll c \Delta T$ , и экран из

поглощающего материала, экранирующий излучение проводников, соединяющих концы вибратора с импульсным генератором тока, металлический экран выполнен в виде сетки проводов, параллельных вибратору.

При этом расстояние  $b$  между проводами и диаметр  $d_0$  проводов сетки целесообразно выбрать таким образом, чтобы параметр сетки

$$\chi = \frac{2b}{c\Delta T} \ln \frac{b}{\pi d_0}, \quad (7)$$

находился в интервале  $2 < \chi < 3$ .

Техническая сущность и принцип действия предложенного устройства поясняются чертежом на фиг.1 и графиками на фиг.2. На фиг.1 схематически представлен чертеж предложенной антенны (главный вид и вид сверху в разрезе). На фиг.2а представлен график зависимости от параметра сетки  $\chi$  отношения  $P_{\text{макс}}/P_{\text{макс.прот.}}$  максимальной средней за период плотности мощности предложенной антенны, излучаемой в направлении нормами к экрану, соответствующей плотности мощности прототипа при прочих равных условиях, а на фиг.2б представлен график зависимости от того же параметра  $\chi$  отношения  $2\Delta\beta/\Delta\beta_{\text{прот.}}$  ширины диаграммы направленности предложенной антенны по половинной мощности в плоскости, перпендикулярной вибратору, к соответствующей ширине диаграммы направленности прототипа.

В состав предложенного устройства входят следующие элементы: проволочный вибратор 1 длиной  $L < c\Delta T$ ; металлический проволочный экран 2, в виде сетки проводов диаметром  $d_0$ , параллельных вибратору, с расстоянием между проводами  $b$ , удаленный от вибратора на расстояние  $d \ll c\Delta T$ ; соединительные проводники 3, соединяющие концы вибратора 1 с импульсным генератором тока, питающим антенну; экран из поглощающего радиоволны материала 4, экранирующий излучение соединительных проводников 3.

Принцип действия предложенной антенны поясняется следующим. Для увеличения плотности мощности в направлении нормали к экрану при  $\beta = 0^\circ$  желательно, чтобы экран почти не отражал радиоволны в этом направлении, а для сохранения прежней ширины диаграммы направленности требуется, чтобы экран отражал радиоволны в других направлениях при больших значениях угла  $\beta$  так же, как и экран прототипа. Это можно обеспечить, если выполнить экран в виде сетки проводов, параллельных вибратору, так, как описано выше.

Известно, что коэффициент отражения радиоволн от проволочной сетки параллельных проводов в плоскости, перпендикулярной проводам, определяется следующим соотношением

$$R = \frac{-1}{\sqrt{1 + \chi^2 \cos^2 \beta}}, \quad (8)$$

где  $\chi$  - параметр сетки, определяемый выражением (7).

Выражение (8) получено из более общего

выражения для частного случая несинусоидальных импульсных сигналов.

Для сплошного плоского металлического экрана прототипа коэффициент отражения радиоволн в плоскости, перпендикулярной вибратору, равен  $R = -1$  и не зависит от угла  $\beta$ , то есть выражение (8) справедливо и в этом случае, но при значении параметра  $\chi = 0$ .

Для экрана предложенной конструкции в виде сетки параллельных проводов и подходящем выборе значения параметра сетки  $\chi$ , зависящего от расстояния между проводами  $b$  и диаметра проводов  $d_0$ , коэффициент отражения будет мал при  $\beta = 90^\circ$  и близок к -1 при  $\beta \rightarrow \pm 90^\circ$ . То есть экран предложенной конструкции обеспечивает указанные выше отражательные свойства.

Для обоснования подходящего выбора параметров проволочной сетки (расстояния между проводами  $b$ , диаметра проводов  $d_0$  и параметра сетки  $\chi$  были) проведены расчеты зависимостей  $P_{\text{макс.}}/P_{\text{макс.прот.}}$  и  $2\Delta\beta/\Delta\beta_{\text{прот.}}$  от параметра сетки  $\chi$  для частичного варианта антенны при значении параметров  $\Delta T = 1 \text{ нс}$ ,  $d = 0,02 \text{ м}$ . Результаты расчетов представлены на графиках фиг.2а,б. При этом значение параметра сетки  $\chi = 0$  соответствует сплошному металлическому экрану (то есть прототипу), а значение  $\chi = \infty$  соответствует случаю отсутствия металлического экрана. Штриховыми линиями на этих графиках помечены предельные значения, к которым стремятся зависимости при  $\chi \rightarrow \infty$ .

Расчеты показали, что при увеличении параметра сетки  $\chi$  возрастает плотность мощности  $P_{\text{макс.}}$  в направлении нормали к экрану, но также увеличивается ширина диаграммы направленности  $2\Delta\beta$  в плоскости, перпендикулярной вибратору. Из графиков фиг.2а, б видно, что в этом случае целесообразно выбрать значение параметра сетки  $\chi$  в интервале  $2 < \chi < 3$ . При этом выигрыш плотности мощности будет не менее 3 раз, а ширина диаграммы направленности возрастет незначительно не более 15%. Выбрав параметр сетки  $\chi$  можно подобрать подходящие значения расстояния между проводниками и диаметра проводов  $b$  с помощью соотношения (7).

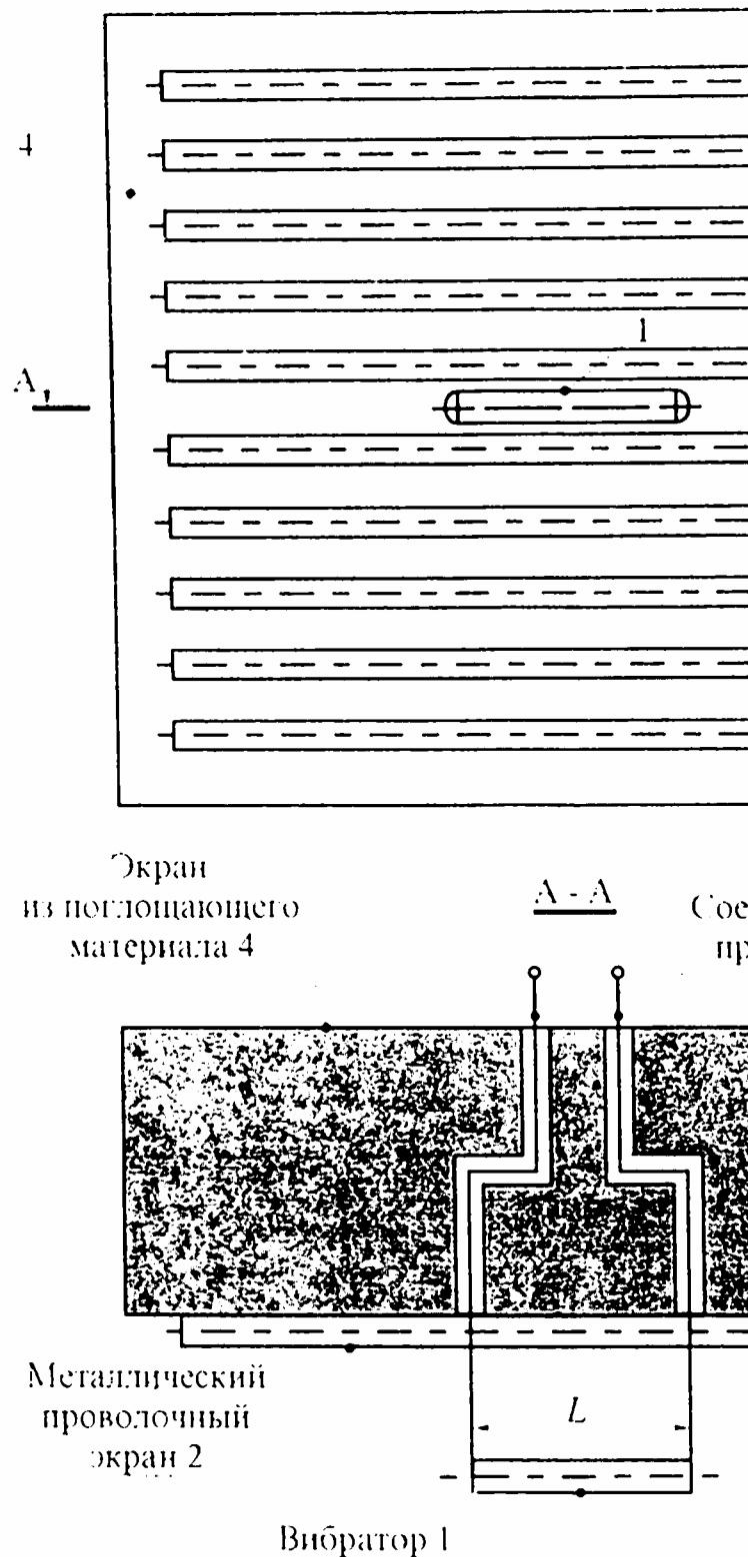
Перечисленные выше элементы предложенного устройства на фиг.1 выполнены следующим образом. Вибратор 1 выполнен из тонкого хорошо проводящего провода. Длина вибратора  $L \ll c\Delta T$ . Концы вибратора 1 связаны проводниками 3 с импульсным генератором тока (или приемником при приеме сигналов). Металлический проволочный экран 2 удален от вибратора 1 на расстояние  $d \ll c\Delta T$  и выполнен из тонких проводов, параллельных вибратору.

Параметры проволочной сетки  $b, d$  выбирают в соответствии с приведенными выше рекомендациями. Экран из поглощающего материала 4 экранирует излучение проводников, соединяющих вибратор 1 с импульсным генератором тока, и выполнен из широкополосного поглощающего радиоволны материала. Такие материалы известны и широко применяются в

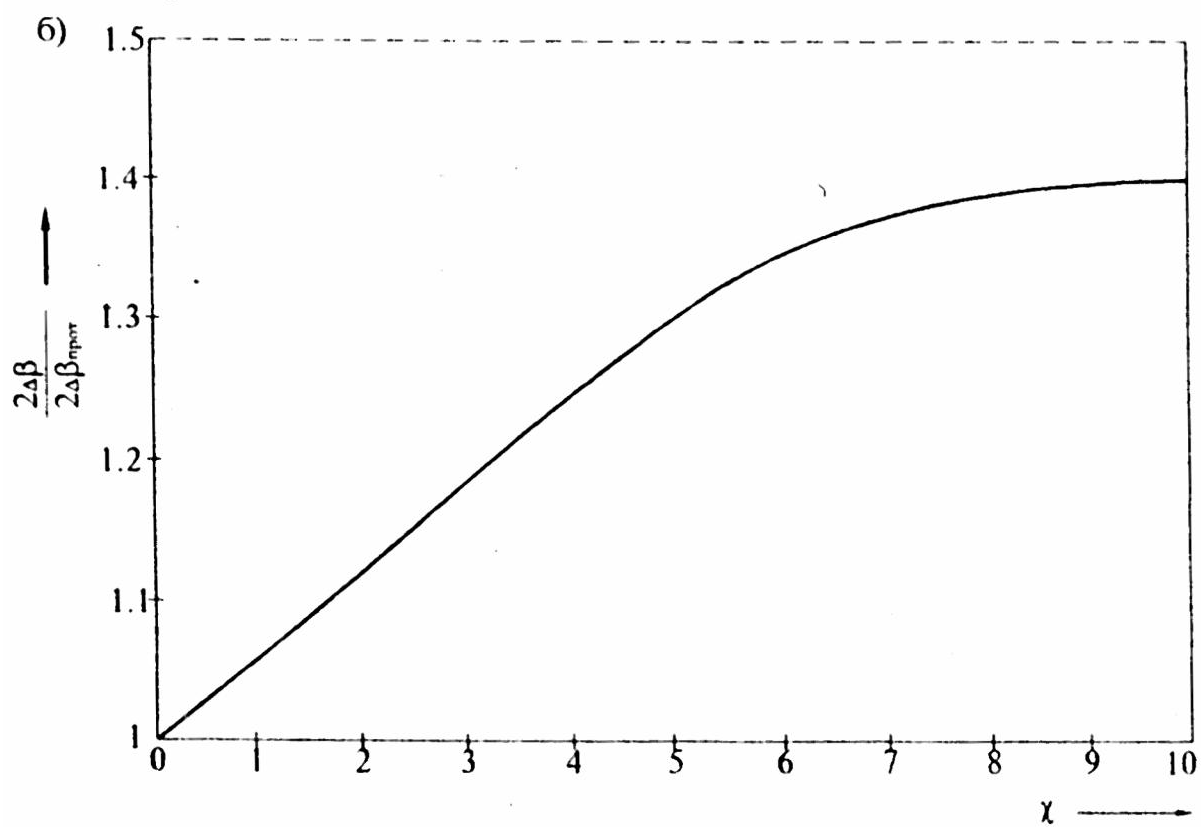
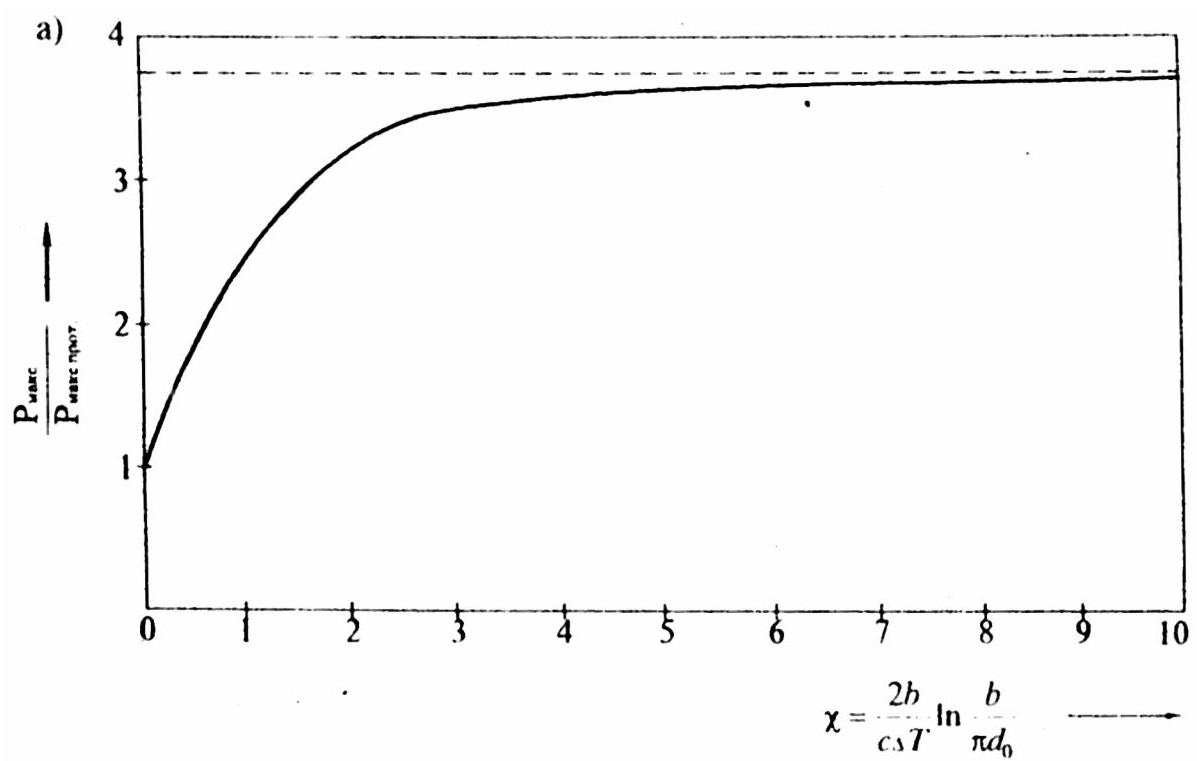
радиотехнике.

Динамика работы предложенного устройства осуществляется следующим образом. Вибратор 1 запитывается с двух концов по соединительным проводникам 3 током в виде видеоимпульсов сравнительно большой длительности  $T$  и с очень короткой длительностью фронта импульса  $\Delta T$ . Излучение радиоволн осуществляется в интервалы времени, соответствующие длительности фронта импульса тока  $\Delta T$ . Экран из поглощающего материала 4 экранирует излучение соединительных проводников 3. При излучении в направлении нормали  $(\varphi = 0^\circ)$  к металлическому проволочному экрану 2 радиоволны почти не будут отражаться от этого экрана в этом направлении и не будут подавлять поле прямой волны, что способствует увеличению плотности излучаемой мощности в этом направлении. При излучении в других направлениях (при больших значениях угла  $\varphi$ ) радиоволны будут отражаться от экрана 2 и будут подавлять поле прямых радиоволн, что способствует сохранению прежней (как у прототипа) ширины диаграммы направленности антенны.

Таким образом, предложенная антенна позволяет втрое увеличить излучаемую плотность мощности в направлении нормали к экрану по сравнению с прототипом при прочих равных условиях.



Фиг. 1



Фиг. 2