



ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИ

УКРАЇНА

(19) UA

(11) 100916

(13) U

(51) МПК

H01Q 13/02 (2006.01)

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки: **u 2015 02690**

(22) Дата подання заявки: **24.03.2015**

(24) Дата, з якої є чинними
права на корисну
модель: **10.08.2015**

(46) Публікація відомостей
про видачу патенту: **10.08.2015, Бюл.№ 15**

(72) Винахідник(и):

**Сахацький Віталій Дмитрович (UA),
Водолажська Ольга Юріївна (UA)**

(73) Власник(и):

**ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ
АВТОМОБІЛЬНО-ДОРОЖНІЙ
УНІВЕРСИТЕТ,**

вул. Петровського, 25, м. Харків, 61002
(UA),

**Сахацький Віталій Дмитрович,
Полтавський шлях, 119, кв. 38, м. Харків,
61064 (UA),**

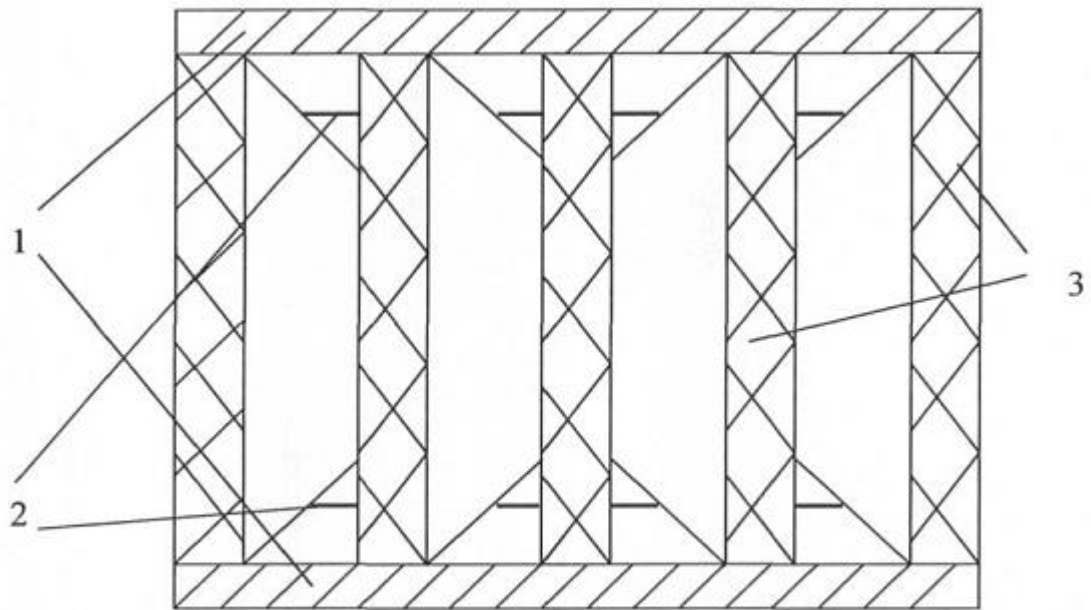
**Водолажська Ольга Юріївна,
вул. Зарічна, 4, м. Харків, 61040 (UA)**

(54) НАДШИРОКОСМУГОВА ТЕМ-РУПОРНА АНТЕНА ДЛЯ СИСТЕМ ВИЯВЛЕННЯ ОБ'ЄКТІВ ЗА ПОВЕРХНЕЮ НЕПРОЗОРОГО СЕРЕДОВИЩА

(57) Реферат:

Надширокосмугова ТЕМ-рупорна антена для систем виявлення об'єктів за поверхнею непрозорого середовища містить ТЕМ-рупор з трапецеїдальних металевих пластин з подвійним зламом твірної. Між металевими пластинами в області останнього зламу твірної встановлена решітка з рівнобедрених трикутних діелектричних пластин товщиною d і періодом розташування T так, щоб площа пластин була паралельна E -площині і бічним сторонам ТЕМ-рупора, основа трикутних пластин лежить у площині апертури рупора і поперечні розміри основи решітки дорівнюють розмірам апертури антени, кут при вершинах діелектричних пластин дорівнює куту між трапецеїдальними площинами рупора, основи яких утворюють його апертуру.

UA 100916 U



Фиг. 1

Корисна модель належить до радіотехніки і може бути використана в надширокопasmових (НШС) радіолокаційних системах підповерхневого зондування та в системах біорадіолокації.

Відомі НШС ТЕМ-рупорні антени [1,2]. Вони являють собою рупорні антени без бічних стінок, усередині яких створюється поперечна електромагнітна (ТЕМ) хвиля. Ці антени використовуються як самостійні приймально-передавальні антени та опромінювачі дзеркальних антен в системах радіолокації, в високочастотних георадарах, біорадіолокаційних системах пошуку людей в завалах та їх виявлення за непрозорими стінами. Перевагою таких антен є висока ефективність і спрямованість випромінювання (великий коефіцієнт посилення і коефіцієнт спрямованої дії).

До недоліків антен слід віднести великі габарити і неузгодженість вихідного опору антени з вхідним опором середовища, в якому або за яким розташований контрольований об'єкт, що знижує ефективність роботи радіолокаційної системи в цілому.

Відома малогабаритна НШС-рупорно-мікросмужкова антена [3], яка при мінімальній висоті має максимальний коефіцієнт підсилення. Технічний результат досягається за рахунок того, що в антені об'єднуються позитивні якості двох різних типів антен: мікросмужкової антени і рупора. Антена сконструйована як комбінація мікросмужкового дискового випромінювача і металевого екрана рефлектора у вигляді фрагмента конічного рупора. Така комбінація двох типів антен дозволяє отримати оптимальний розподіл поля в апертурі антени, що збігається з розподілом поля в подібній, але більш високій рупорній антені конічної форми.

Недоліком антени є її неузгодженість із середовищем поширення радіохвиль, якщо антена розташовується безпосередньо на поверхні цього середовища, що обмежує її використання в системах виявлення об'єктів за непрозорою поверхнею.

Відома НШС-рупорна антена [4]. Вона являє собою ТЕМ-рупор, у якого простір між провідними пластинами повністю заповнене діелектриком. Такий рупор має великий коефіцієнт посилення і за рахунок підбору діелектричної проникності діелектрика його можна узгодити з непрозорим середовищем.

Недоліком антени є той факт, що узгодження антени і підвищення ефективності її використання можна здійснити тільки для одного виду непрозорого середовища. Це, наприклад, може бути тільки цегляна стіна або тільки асфальтове покриття. З іншими середовищами антена буде не узгоджена.

Найбільш близьким по технічній суті до пристрою, що заявляється, є рупорна антена у вигляді ТЕМ-рупора з подвійним зломом твірної [5]. Уздовж осі антени за межами її апертури в Е-площині розташована прямокутна діелектрична пластина з фторопласту, яка своєю вузькою гранню примикає до апертури рупора. Подвійний злам твірної рупора дозволяє зменшити габарити антени [6], а за рахунок концентрації поля поблизу діелектричної пластини забезпечується зменшення її ширини діаграми спрямованості передусім у Н-площині і тим самим зростає її коефіцієнт підсилення.

Недоліком антени є неможливість її узгодження з непрозорим середовищем, якщо діелектричні параметри середовища будуть змінюватися.

В основу корисної моделі поставлена задача забезпечити максимальну передачу потужності випромінювання передавального пристрою від антени в середовище, яке зондується, з метою збільшення дальності виявлення об'єкта за поверхнею середовища.

Задача вирішується за рахунок того, що в надширокопasmовій ТЕМ-рупорній антені для систем виявлення об'єктів за поверхнею непрозорого середовища, яка містить ТЕМ-рупор з трапецеїдальних металевих пластин з подвійним зломом твірної, між металевими пластинами в області останнього зламу твірної встановлена решітка з рівнобедрених трикутних діелектричних пластин товщиною d і періодом розташування T так, щоб площина пластин була паралельна Е-площині і бічним сторонам ТЕМ-рупора, основа трикутних пластин лежить у площині апертури рупора і поперечні розміри основи решітки рівні розмірам апертури антени, кут при вершинах діелектричних пластин дорівнює куту між трапецеїдальними площинами рупора, основи яких утворюють його апертуру, при цьому період решітки T в апертурі рупора визначається з рівня

$$T = d \epsilon_r \text{cp} (\epsilon_r - 1) / \epsilon_r (\epsilon_r \text{cp} - 1), \quad (1)$$

де ϵ_r - відносна діелектрична проникність трикутних пластин,

$\epsilon_r \text{cp}$ - відносна діелектрична проникність непрозорого середовища в місці його контакту з антеною.

Суть корисної моделі пояснюється кресленнями фіг. 1 ... фіг. 3, на яких представлена конструкція запропонованого пристрою. На фіг. 1 зображений вид спереду, на фіг. 2 - вид зверху, на фіг. 3 - вид збоку.

Надширокопasmова ТЕМ-рупорна антена являє собою дві металеві пластини 1 трапецеїдальної форми. Основи трапецій лежать у площині апертури антени, а вершини

трапецій утворюють горловину рупора. Площини пластин в горловині рупора розташовані під кутом α один до одного. При певній від горловини рупора відстані відбувається стрибкоподібне збільшення кута між площинами пластин (злам твірної рупора 2). Новий кут між площинами пластин θ стає більше кута α . Далі на певній відстані від першого зламу твірної відбувається другий злам твірної рупора, при цьому новий кут між площинами пластин β стає більше кута θ . Всередині рупора періодично з періодом $T < \lambda_{\min}$, де $\lambda_{\min}$ - мінімальна довжина хвилі робочого діапазону антени, встановлюються паралельно бічним сторонам ТЕМ-рупора і його Е-площини пластини 3 з НВЧ-діелектрика з відносною діелектричною проникністю ϵ_r і товщиною d . Площина пластин має форму рівнобедреного трикутника з кутом при вершині рівному β і основою, яка дорівнює розмірам апертури ТЕМ-рупора в площині Е.

ТЕМ-рупорна антена для систем виявлення об'єктів за поверхнею непрозорого середовища працює в такий спосіб. Між металевими пластинами 1 ТЕМ-рупорної антени поширюється електромагнітна хвиля, яка у міру просування її до апертури антени наближається до плоскої хвилі. Злами твірної 2 дозволяють зменшити висоту антени. Діелектричні пластини 3 трикутної форми забезпечують концентрацію поля хвилі уздовж осі антени, що дозволяє збільшити коефіцієнт спрямованої дії антени, а також плавну зміну хвильового опору рупора при поширенні в ньому хвилі таким чином, щоб в області апертури антени цей опір дорівнював хвильовому опору середовища подальшого поширення хвилі. При заданій товщині і діелектричній проникності пластин узгодження вихідного опору антени і вхідного опору будь-якого середовища подальшого поширення хвилі забезпечується за рахунок зміни періоду розташування діелектричних пластин.

Викладене має таке теоретичне обґрунтування. У системах виявлення об'єктів за непрозорим середовищем при розташуванні приймально-передавальної антени над цим середовищем виникає потужний, відбитий від поверхні середовища, сигнал передавача. Таке явище знижує ефективність вимірювальної системи в цілому. Тому приймально-передавальну антену прикладають безпосередньо до поверхні середовища [2]. У цьому випадку виникає необхідність узгодження антени з середовищем поширення радіохвиль. В [7] показано, що модуль коефіцієнта відбиття від апертури рупора для різних типів рупорних антен визначається рівнянням

$$\Gamma = \frac{1 - \gamma/\kappa}{1 + \gamma/\kappa}, \quad (2)$$

де $\kappa = 2\pi/\lambda$ - хвильове число у середовищі поширення,

$\gamma = 2\pi/\lambda_v$ - постійна поширення у хвилеводі, поперечний переріз якого дорівнює розмірам апертури рупора,

λ - довжина хвилі в середовищі поширення,

λ_v - довжина хвилі у хвилеводі.

З рівняння (2) випливає, що коефіцієнт відбиття $\Gamma = 0$ (рупор

злагоджений з середовищем поширення хвилі) за умови $\lambda = \lambda_v$.

З іншого боку відбиток від апертури хвилеводу з хвильовим опором W буде відсутній, якщо хвильовий опір Z середовища, який примикає до хвилеводу, задовольняє рівнянню [8]

$$W = Z. \quad (3)$$

Рупорні антени проектується таким чином, щоб розмір апертури антени забезпечував формування в ньому хвилі максимально наближенні до плоскої, що забезпечує виконання умови $\lambda = \lambda_v$ і рівняння (3). Для плоскої хвилі хвильовий опір середовища поширення хвиль [8]

$$Z = \sqrt{\mu_a / \epsilon_a}, \quad (4)$$

а для хвилеводу, в якому поширюється плоска хвиля

$$W = \sqrt{\mu_v / \epsilon_v}, \quad (5)$$

де μ_a і ϵ_a , μ_v і ϵ_v - магнітні та діелектричні проникності відповідно середовища поширення хвилі і речовини, яка заповнює хвилевід.

Тому можна вважати, що для немагнітних середовищ і речовин рівняння (3) виконується, якщо $\epsilon_a = \epsilon_v$.

Відомо [9], що решітка з діелектричних плоских пластин товщиною d і періодом розташування T , який набагато менше довжини хвилі падаючої на решітку, за умови, що вектор E напруженості електричного поля лежить у площині пластин, може бути представлена як

$$\varepsilon_{\text{эф}} = \varepsilon_r / [\varepsilon_r - (\varepsilon_r - 1)d/T]. \quad (6)$$

З рівняння (6) випливає, що змінюючи період розташування діелектричних пластин в ТЕМ-рупорній антені можна забезпечити узгодження антени з різними непрозорими середовищами, в яких або за якими знаходиться об'єкт контролю.

Якщо відома відносна діелектрична проникність непрозорого середовища $\varepsilon_{\text{р ср}}$, то для заданої товщини пластин d і їх відносної діелектричної проникності ε_r необхідний період розташування пластин T знаходиться з рівняння

$$T = d\varepsilon_{\text{р ср}}(\varepsilon_r - 1) / \varepsilon_r(\varepsilon_{\text{р ср}} - 1). \quad (7)$$

Якщо діелектрична проникність середовища невідома, то необхідний період T в робочому діапазоні частот антени знаходять за виміряним при різних значеннях T мінімальним значенням коефіцієнта стоячої хвилі напруги (КСХН) в тракті живлення антени.

В роботі [10] наведені значення дійсних і уявних частин відносної діелектричної проникності для безлічі будівельних матеріалів, різних видів ґрунту, льоду, снігу та інших речовин. Аналізуючи наведені дані, можна помітити, що для більшості матеріалів та речовин їх уявна частина відносної діелектричної проникності набагато менше дійсної частини. Для діапазону НВЧ її значення $\varepsilon_i < 5$. Тому використання як діелектричних пластин такого НВЧ діелектрика як "Флан", забезпечує можливість практичного застосування запропонованої корисної моделі для безлічі видів непрозорих середовищ.

Кріплення пластин до металевих площин ТЕМ-рупора можна здійснювати, наприклад, за допомогою болтів, виконаних з того ж матеріалу, що і діелектричні пластини. Останні вкручуються в пластину через отвори в металевих площинах рупора. Визначивши, як зазначено вище, для різних середовищ місце розташування діелектричних пластин в рупорі і виконавши відповідні для болтового з'єднання отвори в металевих площинах ТЕМ-рупора, можна на практиці для конкретного середовища встановлювати в антені необхідний період розташування пластин та забезпечити її погоджений з зондуючим середовищем режим роботи. Геометричні розміри ТЕМ-рупора з подвійним зломом твірної можна у першому наближенні розрахувати за допомогою методики, описаної в [11].

Ефективність роботи запропонованої корисної моделі перевірена експериментально на лабораторному макеті ТЕМ-рупорної антени для найменш сприятливого для практики випадку, коли діелектрична пластина виконана не з НВЧ діелектрика, а з органічного скла. У цьому випадку діелектрик має високе значення уявної частини діелектричної проникності, що погіршує узгодження рупорної антени з трактом її живлення від НВЧ генератора.

Розмір апертури і горловини макету ТЕМ-рупорної антени в площині E становили 90 мм і 3 мм, а в площині H - 135 мм і 5 мм відповідно. Кут $\alpha = 18^\circ$, кут $\theta = 25^\circ$ і кут $\beta = 35^\circ$, площини рупора були виконані з міді. Загальна висота антени – 190 мм. Основа трикутної рівнобедреної діелектричної пластини була рівною 90 мм, кут при вершині трикутника відповідав куту $\beta = 35^\circ$, її товщина $d = 3$ мм. Антена своєю апертурою примикала до стіни лабораторії, в якій проводився експеримент. Стіна виконана з червоної цегли і покрита шаром штукатурки. Ступінь узгодженості антени зі стіною будівлі оцінювалася за результатами вимірювання КСХН в коаксіальному тракті, за яким до антени від генератора, який входив в комплект вимірювача КСХН, підводилася енергія НВЧ. При вимірах використовувався вимірювач КСХН панорамний типу Р2-58, робочий діапазон якого 3,2...5,64 ГГц. Досліджувана антена включалася як навантаження в схему вимірювача КСХН. Горловина ТЕМ-рупорної антени безпосередньо з'єднувалася з коаксіальним кабелем того ж типу, що й кабелі, які входять до комплексу вимірювача Р2-58. Тому вимірювання КСХН здійснювалося в погодженому з генератором НВЧ тракту живлення антени. У цьому випадку основними неоднорідностями, які впливали на КСХН, були області горловини ТЕМ-рупора і його апертури. Результати вимірювань представлені на фіг. 4. На фіг. 4 (крива 1) показана залежність КСХН від частоти генератора, коли апертура антени лежала в площині стіни і в антені не було діелектричних пластин.

Кривою 2 показана аналогічна залежність, коли в антені були встановлені діелектричні пластини з періодом розташування $T = 10$ мм.

Наведені на фіг. 4 криві показують, що при відсутності в антені діелектричних пластин в діапазоні частот від $f_{\text{MIN}} = 3,8$ ГГц до $f_{\text{MAX}} = 4,4$ ГГц $\text{КСХН} \leq 2,2$, а при їх наявності - $\text{КСХН} \leq 1,5$ в цьому ж діапазоні частот. Слід зазначити, що $\text{КСХН} \leq 1,5$ є типовим для робочого діапазону частот ТЕМ-рупорних антен. Так як смуга частот $\Delta f = (f_{\text{MAX}} - f_{\text{MIN}}) \geq 500$ МГц, то досліджуваний

лабораторний макет антени відповідав антенам, які придатні для роботи в НШС передавальних пристроях [12].

Аналіз отриманих результатів вимірювання показує, що неоднорідність в горловині рупора в даному діапазоні частот не має вирішального впливу на КСХН, так як він змінюється тільки при установці в антену діелектричних пластин. Слід зазначити, що робочий діапазон антени можна було б збільшити за рахунок вирішення питання узгодження вхідного опору антени в її горловині з вихідним опором тракту живлення, але необхідності в цьому не було, так як ефективність використання діелектричних пластин була наочно продемонстрована і в зазначеному вище діапазоні частот. На підставі проведеного експерименту можна зробити висновок, що запропонована корисна модель дійсно забезпечує узгодження антени з непрозорим середовищем, що виражається в зменшенні КСХН в тракті живлення антени внаслідок зменшення потужності відбитого від стіни випромінювання, яке розповсюджується по антенно-хвильовому тракту в бік генератора. Зменшення КСХН забезпечує збільшення тієї частини потужності генератора, котра проходить в непрозорі середовище поширення хвиль і дозволяє збільшити дальність дії системи виявлення об'єктів за поверхнею непрозорого середовища.

Запропонована корисна модель може використовуватися в високочастотних георадарах, в радіолокаційних системах виявлення в землі снарядів і мін як в металевих, так і пластмасових корпусах, трубопроводів і електричних кабелів в стінах приміщень і під землею поверхнею, в системах контролю якості автодорожніх покриттів, в біорадіолокаційних системах виявлення людей в завалах і за стінами приміщень.

Джерела інформації:

1. Вопросы подповерхностной радиолокации. Коллективная монография. /Под ред. А.Ю. Гринев.- М.: Радиотехника, 2005. - 416 с.
2. Биорадиолокация: монография /Абрамов А.В. и др.; под ред. А.С. Бугаева, СИ. Ивашова.- М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010. – 396 с.
3. Патент RU 2289873 С2 (Россия), МПК H01Q 13/02 Ультраширокополосная компактная рупорно-микрополосковая антенна с высокой направленностью /Крылов К.С., Мун В., Ли Х., Чанг Д.; заявитель и патентообладатель САМСУНГ ЭЛЕКТРОНИКС К_о, ЛТД (KR), Корпорация С1 (KR). - № 2004130779/09; заяв. От 21.10.2004; Опубл. 10.04.2006
4. Lei Wentai, Su Yi. A UWB Impulse Subsurface Imaging Radar //2005 IEEE International Symposium on Microwave, Antenna, Propagation and EMC Technologies for Wireless Communications Proceedings p.p. 1356-1360.
5. Сахацкий В.Д. Модифицированный сверхширокополосный излучатель в автоматических системах поиск и сопровождения цели //Восточно-европейский журнал передовых технологий.- 2007. - № 5/2 (24). - с. 33-36.
6. Сахацкий В.Д., Карюк А.П. ТЕМ-рупорная антенна с двойным изломом образующей //Восточно-европейский журнал передовых технологий.- 2007. - № 5/2 (24). - с. 31-33.
7. Антенны и устройства СВЧ. Расчет и проектирование антенных решеток и их излучающих элементов /Под ред. Д.И. Воскресенского. - М.: Сов. Радио, 1972. - 320 с.
8. Гольдштейн Л.Д., Зернов Н.В. Электромагнитные поля и волны. - М.: Сов. Радио, 1971, 664 с.
9. Стоянов С.В., Шевченко В.А. Эффективные параметры квазидиэлектриков //Радиотехника и электроника. - 1987. - Т. 32. - № 9. - с. 1973-1976.
10. Вязьмитинов И.А., Мирошниченко Е.И., Сытник О.В., Результаты исследований ослабления энергии электромагнитных волн оптически непрозрачными преградами //Радиофизика и электроника, - 2007. - № 2. - с. 426-434.
11. Тимофеева Н.А. Рупорная антенна с изломом образующей //Радиотехника. - 1975. - № 9. - с. 33-39.
12. Иммореев И., Судаков А. Сверхширокополосные и узкополосные системы связи. Совместная работа в общей полосе частот. //Электроника, Наука, Технология, Бизнес - 2003. - № 2. - с. 34-37.

ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

Надширокосмугова ТЕМ-рупорна антена для систем виявлення об'єктів за поверхнею непрозорого середовища, яка містить ТЕМ-рупор з трапецеїдальних металевих пластин з подвійним зламом твірної, яка **відрізняється** тим, що між металевими пластинами в області останнього зламу твірної встановлена решітка з рівнобедрених трикутних діелектричних пластин товщиною d і періодом розташування T так, щоб площа пластин була паралельна E -

- площині і бічним сторонам TEM-рупора, основа трикутних пластин лежить у площині апертури рупора і поперечні розміри основи решітки дорівнюють розмірам апертури антени, кут при вершинах діелектричних пластин дорівнює куту між трапецеїдальними площинами рупора, основи яких утворюють його апертуру, при цьому період решітки T в апертурі рупора визначається з рівняння
- $$T = d \epsilon_{r \text{ ср}} (\epsilon_r - 1) / \epsilon_r (\epsilon_{r \text{ ср}} - 1),$$
- де ϵ_r - відносна діелектрична проникність трикутних пластин,
 $\epsilon_{r \text{ ср}}$ - відносна діелектрична проникність непрозорого середовища, в місці його контакту з антеною.

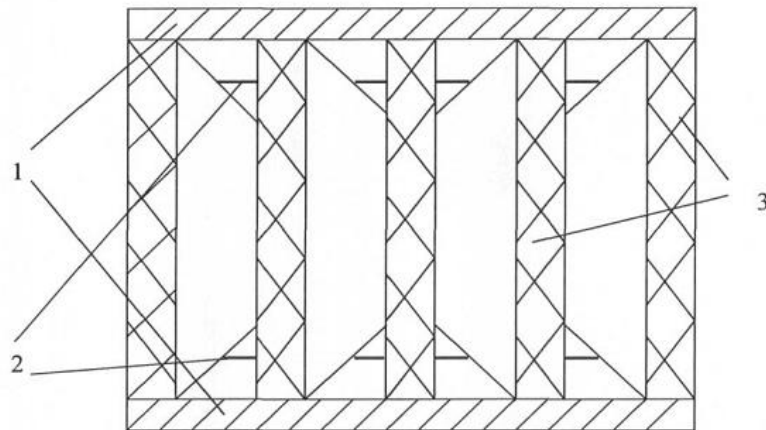


Fig. 1

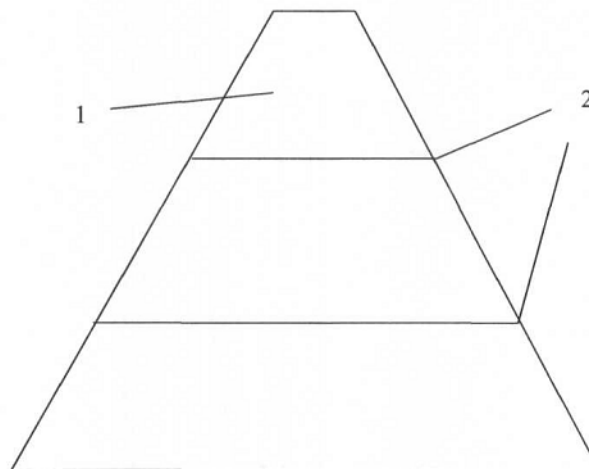


Fig. 2

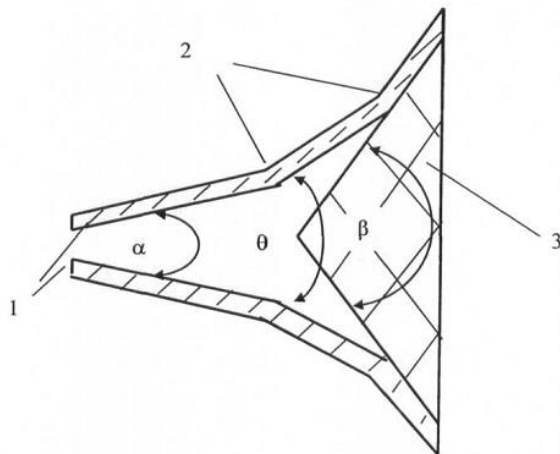


Fig. 3

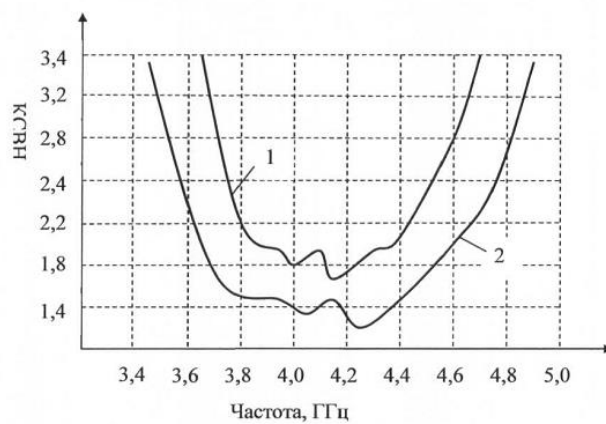


Fig. 4

Комп'ютерна верстка І. Скворцова

Державна служба інтелектуальної власності України, вул. Василя Липківського, 45, м. Київ, МСП, 03680, Україна

ДП "Український інститут інтелектуальної власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601