



УКРАЇНА

(19) UA (11) 6144 (13) U

(51) 7 H01Q3/12, H01Q3/18, H01Q3/32

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

ОПИС

ДО ДЕКЛАРАЦІЙНОГО ПАТЕНТУ
НА КОРИСНУ МОДЕЛЬвидається під
відповідальність
власника
патенту

(54) СПІРАЛЬНА АНТЕНА

1

2

(21) 20041008164

(22) 08.10.2004

(24) 15.04.2005

(46) 15.04.2005, Бюл. № 4, 2005 р.

(72) Міць Юрій Кирилович, Курбатов Ігор Юрійович

(73) Запорізький державний університет

(57) Спіральна антена, що містить коаксіальний фідер, плоский металевий екран, циліндричний порожнистий корпус з розташованими в ньому двома просторовими однозахідними циліндричними спіралями, які входять одна в одну і мають спільну вісь симетрії, яка відрізняється тим, що

обидві спіралі антени мають 9-15 витків і можуть регулюватися за довжиною, а радіопрозорий корпус виконує функцію спрямування та герметизації, спіральна антена додатково містить автоматичний електромеханічний привід регулювання довжини спіралей, нерухому діелектричну підложку, до якої жорстко закріплені перші нерухомі витки обох спіралей, радіопрозорі підшипник ковзання, мікрогвинт та підстроювальний елемент, до якого жорстко закріплені останні рухомі витки обох спіралей.

Спіральна антена відноситься до галузі радіотехніки, а саме до антенної техніки, що стосується ширококутових антенних ґрат, які містять два та більше елементарних випромінювачі, призначених для формування спеціальних радіопеленгаційних діаграм спрямованості (ДС) в широкій смузі робочих частот.

Аналогом вибрана відома регульована просторова циліндрична спіральна антена [Patent US 5146235, H01Q1/36, Dec.18 1989, Stefan Freise. HELIKAL UNF TRANSMITTING AND/OR RECEIVSNC ANTENNA], яка містить: загальний коаксіальний фідер, плоский металевий екран-диск, радіопрозорий корпус спрямування з розташованою в середині просторовою циліндричною спіраллю з 1-5 витками, що має можливість змінюватися по довжині. Перший виток спіралі жорстко закріплений до корпусу, а останній виток - до підстроювального диска, який переміщуючись по мікрогвинту, змінює довжину спіралі на відповідну величину, що є обов'язковим для підстроювання до відповідної форми головної діаграми спрямованості.

Регулювання довжини спіралі виконують вручну за допомогою механічної системи "гвинт-гайка". Роль гайки виконує підстроювальний диск, до якого жорстко закріплений останній рухомий виток спіралі.

Недоліками аналога є: недостатня кількість витків (від 1 до 5) та незначне змінювання довжини спіралі (до 1/3 від її початкової довжини), що не

дозволяє використовувати таку схему керування для формування широкого кола типових діаграм спрямованості, в тому числі і спеціальних. Така антена призначена для підстроювання стаціонарної ДС до очікуваної, що випромінюється спіраллю в дальній зоні. Це значно знижує можливість використання її в сучасних ширококутових радіотехнічних системах радіонавігації, радіопеленгації, радіоборотьби тощо.

Ознаками, спільними з рішенням, що заявляються, є наявність: коаксіального фідера, металевого екрана, радіопрозорового корпусу, просторової циліндричної спіралі, що регулюється за довжиною.

Прототипом вибрана відома ширококутова циліндрична спіральна антена [Patent JP №4-47484, H01Q21/28, 11/08. СПИРАЛЬНАЯ АНТЕНА. Гидзюцу Кэнкю Кумиай ире Фукуси Кики Кэнкюсю], що містить коаксіальний фідер, два порожніх діелектричних циліндри, які входять один в один і мають спільну вісь симетрії, ортогональну площині металевого екрана.

На зовнішніх поверхнях обох циліндрів навито по одній типовій однозахідній регулярній циліндричній спіралі з однаковими параметрами, а саме:

- кількістю витків, N ;
- довжиною спіралі, L ;
- кутом підйому навитих витків, α ;
- кроком проміж витками, S .

(19) UA (11) 6144 (13) U

Конструктивно спіралі антени відрізняються лише радіусами навивки. Спіраль з більшим радіусом навивки a_2 розташована на поверхні більшого циліндра, а спіраль з меншим радіусом навивки a_1 - відповідно на поверхні меншого циліндра.

Перша спіраль, що має більший радіус навивки a_2 призначена для роботи антени на низьких частотах робочого діапазону, а друга спіраль, з меншим радіусом навивки a_1 - для роботи на більш високих частотах робочого діапазону. Отриманий коефіцієнт перекриття робочого діапазону $K_H = 3,3$ ще недостатній щодо роботи широкосмужової апаратури.

Спільними з прототипом ознаками є наявність: коаксіального фідера, плоского металевих екрана, діелектричного циліндричного порожнього корпусу, з двома просторовими регулярними однозакінченими циліндричними спіралями, які входять одна в одну і мають спільну вісь симетрії.

Недоліками прототипу є те, що обидві дротові регулярні просторові циліндричні спіральні антени мають стаціонарні механічні та геометричні параметри, тому їх поля випромінювання також залишаються стаціонарними (нерегульованими) і кожна спіраль формує в дальній зоні лише свою, окрему незалежну стаціонарну діаграму спрямованості у вузькій та в нерегульованій смузі робочих коливань. Це значно знижує можливість використання такої спіральної антени в сучасних радіотехнічних системах, які потребують більш широкосмужових та мобільних антен з регульованими характеристиками та параметрами випромінювання.

В основу корисної моделі поставлено задачу розробити спіральну антену, яка шляхом використання двох різних за радіусом навивки спіралей, дозволяє отримати широкую та регульовану смугу робочих коливань, а також можливість автоматично формувати будь-яку наперед задану діаграму спрямованості в дальній зоні випромінювання.

Запропонована спіральна антена може формувати, в дальній зоні, серед усіх ДС і три відомі класичні радіопеленгаційні, а саме:

- ДС у формі "тора" (для встановлення факту існування в ефірі відомого або невідомого випромінювання);
- ДС з гострим "максимумом" по осі симетрії (для вимірювання пеленгу на випромінювач);
- ДС у формі "воронки" з гострим "мінімумом" сигналу по осі симетрії (для точного вимірювання пеленгу на випромінювач та його координат).

Суттєвими ознаками спіральної антени, що заявляється, є наявність:

- коаксіального фідера;
- плоского металевих екрана;
- нерухомої діелектричної підложки, до якої жорстко закріплені перші нерухомі витки обох спіралей;
- радіопрозорового циліндричного порожнього корпусу спрямування та герметизації;
- двох просторових циліндричних спіралей, які входять одна в одну і мають спільну вісь симетрії, з різними радіусами навивки витків a_1 та a_2 , що

мають від 9 до 15 витків і змогу регулюватися за довжиною;

- радіопрозорового мікрогвинта підстройки антени;
- радіопрозорового рухомого підстроювального елемента, до якого жорстко закріплені останні рухомі витки обох спіралей;
- радіопрозорового підшипника ковзання;
- автоматичного електромеханічного приводу регулювання.

Відмінними від прототипу ознаками є те, що обидві циліндричні просторові спіралі антени виконані з 9-15 витками (спіралі можуть мати рівну кількість витків) і регулюються за довжиною, а корпус виконаний радіопрозоровим і виконує функцію спрямування та герметизації, спіральна антена додатково містить автоматичний електромеханічний привод регулювання довжини спіралей, нерухому діелектричну підложку, до якої жорстко закріплені перші нерухомі витки обох спіралей, радіопрозорові підшипник ковзання, мікрогвинт та підстроювальний елемент, до якого жорстко закріплені останні рухомі витки обох спіралей.

Спіральна антена складається: з коаксіального фідера 1, автоматичного електромеханічного приводу регулювання 2, металевих екрана 3, нерухомої діелектричної підложки 4, до якої жорстко закріплені перші нерухомі витки спіралей 5 та 6, що розташовані в середині порожнього радіопрозорового циліндричного корпусу спрямування та герметизації 7, радіопрозорового підшипника ковзання 8, в якому обертається радіопрозоровий мікрогвинт 9, по якому може пересуватися радіопрозоровий підстроювальний елемент 10 разом з останніми рухомими витками спіралей 4, 5.

Обертання мікрогвинта 9, що здійснюється за допомогою крокового двигуна автоматичного електромеханічного приводу регулювання 2, змушує підстроювальний елемент 10 пересуватися по мікрогвинту 9, змінюючи тим самим довжину спіралей на відповідну величину. Цим досягається найбільш ефективне формування будь-яких відповідних та наперед заданих ДС, а також регулювання смуги робочих коливань залежно від довжини спіралі.

Змінювання довжини спіралей L відбувається в інтервалі від мінімальної початкової довжини L^{\min} (при стиснутих витках), до максимальної довжини L^{\max} спіралі (при максимально розтягнутих витках).

Довжину спіралі L_i , яка відповідає за формування очікуваної ДС в інтервалі від L^{\min} до L^{\max} , можна знайти з рівняння

$$L_i = (N_i - 1)S_i, \quad (1)$$

де L_i - довжина спіралі, що відповідає ДС, [м];

N_i - кількість витків спіралі;

S_i - крок між витками спіралі, L_i [м].

Спіральна антена виконана так, що її обидві спіралі можуть мати різні початкові (стартові) довжини. Довжину спіралі в будь-якому стані можна розрахувати за формулою:

$$L_i = L_{i_0} \pm \Delta L_i \quad (2)$$

де L_i - довжина спіралі, [м];

L_{i_0} - початкова (стартова) довжина спіралі, [м];

$\pm \Delta L_i$ - прирощення довжини спіралі, [м].

Враховуючи те, що зміна довжин спіралей L_1 , L_2 відбувається зі зміною кроків S_1 та S_2 між витками обох спіралей, останні можна розрахувати:

$$S_i = S_{i_0} \pm \Delta S_i = \frac{L_i \pm \Delta L_i}{N_i}; \quad (3)$$

де S_i - крок між витками спіралі, [м];

S_{i_0} - початковий (стартовий) крок між витками спіралі, [м];

$\pm \Delta S_i$ - прирощення кроку між витками спіралі, [м].

Будь-яке прирощення кроку між витками до необхідного можна розрахувати з рівняння:

$$\Delta S_i = 2\pi a_i \operatorname{tg} \alpha_i \quad (4)$$

де α_i - радіус навивки витків спіралі, [м];

α_i - кут підйому навивки витків спіралі, який формується залежно від довжини спіралі, [град].

Змінювання довжини спіралі дозволяє не тільки формувати будь-яку наперед задану діаграму спрямованості, але й дозволяє змінювати (регулювати) ширину смуги робочих довжин хвиль.

Максимальну та мінімальну робочі довжини хвиль смуги для будь-якої однозахідної просторової циліндричної спіралі антени можна розрахувати з рівнянь:

$$\lambda_i^{\max} = \frac{S_i^{\min}}{0,65 \operatorname{tg} \alpha_i^{\min}} \text{ та } \lambda_i^{\min} = \frac{S_i^{\max}}{1,4 \operatorname{tg} \alpha_i^{\max}}, \quad (5)$$

де λ_i^{\max} , λ_i^{\min} - максимальна та мінімальна робоча довжина хвиль спіралі, [м];

S_i^{\max} , S_i^{\min} - максимальний та мінімальний крок між витками спіралі, [м];

α_i^{\max} , α_i^{\min} - максимальний та мінімальний кут підйому витка, що формується залежно від довжини спіралі L_i , [град];

0,65 та 1,4 - коефіцієнти формування максимальної та мінімальної довжини хвилі спіралі.

Смугу робочих частот будь-якої просторової однозахідної циліндричної спіралі, можна розрахувати:

$$f_i^{\max} = \frac{c}{\lambda_i^{\min}} \text{ та } f_i^{\min} = \frac{c}{\lambda_i^{\max}}, \quad (6)$$

де c - швидкість світла, $\left[\frac{\text{м}}{\text{с}} \right]$;

f_i^{\max} , f_i^{\min} - максимальна та мінімальна робоча частота смуги НВЧ-коливань спіралі, [МГц];

Рівняння (6) дозволяє розрахувати смугу робочих частот ΔF не тільки для окремої циліндрич-

ної просторової спіралі, але і для спіральної антени в цілому:

$$\Delta F = f_i^{\max} - f_i^{\min}. \quad (7)$$

На підставі рівнянь (6, 7) можна розрахувати коефіцієнт перекриття антеною діапазону по час-

тоті K_i^n як для окремої спіралі, так і для спіральної антени в цілому, який має вигляд:

$$K_i^n = \frac{f_i^{\max}}{f_i^{\min}}. \quad (8)$$

Спіральна антена, що заявляється, працює таким чином: енергія надвисокої частоти (НВЧ) по загальному коаксіальному фідеру 1 проходить крізь екран 3 та діелектричну нерухому підложку 4, одразу на обидві спіралі 5 та 6, які формують, незалежно одна від одної, свої особисті поля випромінювання в дальній зоні, які потім утворюють одну загальну ДС, залежно від довжини спіралей L_i .

Для формування спіральною антеною відповідної діаграми спрямованості, змінюють довжини обох спіралей 5 та 6 шляхом обертання мікрогвинта 9, який призводить до пересування підстроювального елемента 10 на відповідну довжину разом з останніми рухомими витками спіралей 5 та 6. Якщо є необхідність перейти на другу, будь-яку ДС, відповідно змінюють довжини обох спіралей. Змінювання довжини одразу двох спіралей дозволяє отримати не тільки широке коло будь-яких форм сумарних діаграм спрямованості, але і можливість змінювати в декілька разів робочу смугу НВЧ-коливань антени.

На Фіг.1 зображена спіральна антена з максимальною довжиною спіралей L_i^{\max} , тобто з максимальним кроком між витками спіралі S_i^{\max} .

На Фіг.2 показана сумарна діаграма спрямованості в дальній зоні у відносних координатах $F_i(\theta)/F_{i\max}(\theta)$, де $F_i(\theta)$ - амплітуда поля випромінювання в дальній зоні, залежно від кута спостереження $F_{i\max}(\theta)$ - максимальна амплітуда поля в дальній зоні. Крива 1 - теоретична; крива 2 - експериментальна.

Приклад конкретного виконання.

Обидві спіралі сформованої спіральної антени виконані з матеріалу сталі Ст.65Г з подальшою термічною обробкою для збільшення пружності спіралей. Для зниження хвильового опору поверхня сталевих дроту покрита тонким шаром срібла. Діаметр дроту, з якого зроблені спіралі - 1,6мм. Максимальна довжина спіралей в розтягнутому стані - 0,09м.

1. Характеристики циліндричної просторової спіралі антени з меншим радіусом навивки ($a_1 = 0,01 \pm 0,001$ м) та кількістю витків спіралі, $N_1 = 11$.

1.1. При стиснутих витках до їх доторкання:

- кут підйому навивки витків,

$$\alpha_i^{\min} = 5 \pm 0,5 \text{ град}; \operatorname{tg} \alpha_i^{\min} = 0,0875;$$

- мінімальний крок між витками,

$$S_i^{\min} = 2\pi a_i \operatorname{tg} \alpha_i^{\min} = 2\pi 0,010 \times 0,0875 = 0,0055 \text{ [м];}$$

- максимальна довжина хвилі, що випромінює спіраль,

$$\lambda_i^{\max} = \frac{S_i^{\min}}{0,65 \operatorname{tg} \alpha_i^{\min}} = \frac{0,0055}{0,65 \cdot 0,0875} = 0,097 \text{ [м];}$$

- відповідно до цієї довжини хвилі, мінімальна робоча частота, що випромінює спіраль, становить:

$$f_i^{\min} = \frac{300}{\lambda_i^{\max}} = \frac{300}{0,097} = 3090 \text{ [МГц].}$$

1.2 При максимально розтягнутих витках:

- кут підйому навивки витків,

$$\alpha_i^{\max} = 25 \pm 0,5 \text{ град; } \operatorname{tg} \alpha_i^{\max} = 0,466;$$

- максимальний крок між витками,

$$S_i^{\max} = 2\pi a_i \operatorname{tg} \alpha_i^{\max} = 2\pi 0,01 \times 0,466 = 0,029 \text{ [м];}$$

- мінімальна довжина хвилі, що випромінюється спіраллю,

$$\lambda_i^{\min} = \frac{S_i^{\max}}{1,4 \operatorname{tg} \alpha_i^{\max}} = \frac{0,029}{1,4 \times 0,466} = 0,044 \text{ [м];}$$

- максимальна частота, що випромінює спіраль

$$f_i^{\max} = \frac{300}{\lambda_i^{\min}} = \frac{300}{0,044} = 6818 \text{ [МГц]}$$

1.3. Коефіцієнт перекриття K_i^{n1} діапазону робочих частот спіраллю з меншим радіусом навивки витків

$$K_i^{n1} = \frac{f_i^{\max}}{f_i^{\min}} = \frac{6818}{3090} = 2,2.$$

2. Характеристики циліндричної просторової спіральної антени з більшим радіусом навивки, $a_2 = 0,02 \pm 0,001 \text{ [м]}$ та кількістю витків спіралі, $N_2 = 9$.

2.1. Параметри спіралі з максимально стиснутими витками:

- кут підйому навивки витків,

$$\alpha_i^{\min} = 5 \pm 0,5 \text{ град; } \operatorname{tg} 5^\circ = 0,0875;$$

- мінімальний крок між витками,

$$S_i^{\min} = 2\pi a_i \operatorname{tg} \alpha_i^{\min} = 2\pi 0,02 \times 0,0875 = 0,011 \text{ [м];}$$

- максимальна довжина хвилі, що випромінює спіраль

$$\lambda_i^{\max} = \frac{S_i^{\min}}{0,65 \operatorname{tg} \alpha_i^{\min}} = \frac{0,011}{0,65 \times 0,0875} = 0,193 \text{ [м];}$$

- мінімальна частота, що випромінює спіраль

$$f_i^{\min} = \frac{300}{\lambda_i^{\max}} = \frac{300}{0,193} = 1554 \text{ [МГц].}$$

2.2. Параметри спіралі при максимально розтягнутих витках:

- кут підйому навивки витків,

$$\alpha_i^{\max} = 15 \pm 0,5 \text{ град; } \operatorname{tg} 15^\circ = 0,2679;$$

- максимальний крок між витками,

$$S_i^{\max} = 2\pi a_i \operatorname{tg} \alpha_i^{\max} = 2\pi 0,02 \times 0,2679 = 0,034 \text{ [м];}$$

- мінімальна довжина хвилі, що випромінює спіраль

$$\lambda_i^{\min} = \frac{S_i^{\max}}{1,4 \operatorname{tg} \alpha_i^{\max}} = \frac{0,034}{1,4 \times 0,2679} = 0,09 \text{ [м];}$$

- максимальна частота, що випромінює спіраль,

$$f_i^{\max} = \frac{300}{\lambda_i^{\min}} = \frac{300}{0,09} = 3333 \text{ [МГц].}$$

2.3. Коефіцієнт перекриття K_i^{n2} діапазону по частоті спіраллю з більшим радіусом навивки витків

$$K_i^{n2} = \frac{f_i^{\max}}{f_i^{\min}} = \frac{3333}{1554} = 2,14.$$

2.4. Ширина смуги коливань антени

$$\Delta f = f_i^{\max} - f_i^{\min} = 6818 - 1554 = 5264 \text{ [МГц].}$$

2.5. Коефіцієнт перекриття робочого діапазону частот антени з двома спіралями, K_i^A :

$$K_i^A = K_i^{n1} K_i^{n2} = 2,2 \times 2,14 = 4,7.$$

Отриманий коефіцієнт перекриття по діапазону робочих частот антени, що заявляється, перевищує прототип в 1,4 рази, що підтверджує доцільність запропонованого рішення.

Спіральна антена, що заявлена, має такі геометричні параметри:

- діаметр екрана антени $D_a = 0,155 \pm 0,002 \text{ м;}$

- довжина $L = 0,251 \pm 0,002 \text{ м;}$

- вага антени $Q = 1,9 \pm 0,05 \text{ г.}$

Динамічне формування характеристик та параметрів зовнішнього поля випромінювання підтверджується формулою (9) [Кюн Р. Микроволновые антенны. Пер. с нем. под ред. проф. Долуханова. -Л.: "Судостроение", 1974. С.423], аргументом в якій є крок між витками спіралей, а саме S_i :

$$F(\theta) = \frac{\sin \left[\frac{\pi N_i S_i}{\lambda_0} (n_z - \cos \theta) \right]}{n_z \sin \left[\frac{\pi S_i}{\lambda_0} (n_z - \cos \theta) \right]}, \quad (9)$$

де $F(\theta)$ - розподіл потенціалу поля випромінювання в дальній зоні залежно від кута спостереження,

$$\theta, \left[\frac{\text{А}}{\text{М}} \right];$$

θ - кут спостереження, [град];

N_i - кількість витків спіралі;

S_i - крок між витками спіралей, [м];

$$n_z = \varphi_i \frac{\lambda_i}{2\pi S_i} - \text{коефіцієнт;}$$

$$\varphi_i = \frac{2\pi l_i}{\lambda_0} \frac{c}{v_i} - \text{різниця фаз струму в сусідніх ви-}$$

тках, [град];

λ_i - довжина хвилі в спіралі, [м];

l_i - довжина витка спіралі, [м];

c - швидкість світла, $\left[\frac{\text{м}}{\text{с}}\right]$;

v_i - швидкість хвилі в проводі спіралі, $\left[\frac{\text{м}}{\text{с}}\right]$;

λ_0 - довжина хвилі у вільному просторі, [м].

З рівняння (9), для заявленої спіральної антени розраховано розподіл поля випромінювання в дальній зоні з потенціалами $F_i(\theta)$, залежно від кута спостереження θ . Показаний на Фіг.2 графік

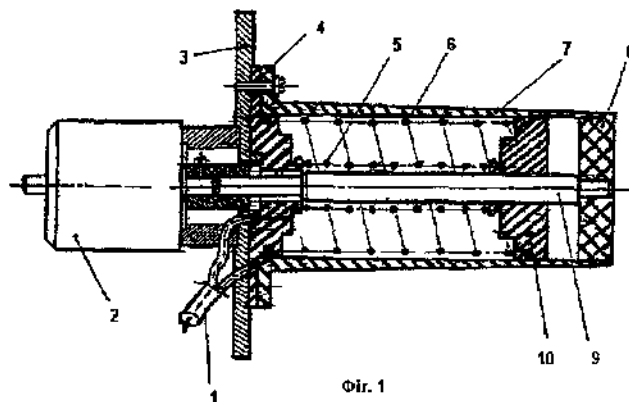
розподілу поля випромінювання обох спіралей в дальній зоні відносно його максимального значення $F_{\max}(\theta)$ свідчить, що механічні параметри спіралей формують зовнішнє поле випромінювання з двома максимумами з кутами спостереження $\theta = \pm 40$ град. При цьому ширина ДС на рівні 0,5 потужності приблизно дорівнює 160 градусів.

Автоматичний електро механічний привод регулювання 2 містить кроковий електричний двигун та пульт керування (на Фіг.1 не позначено).

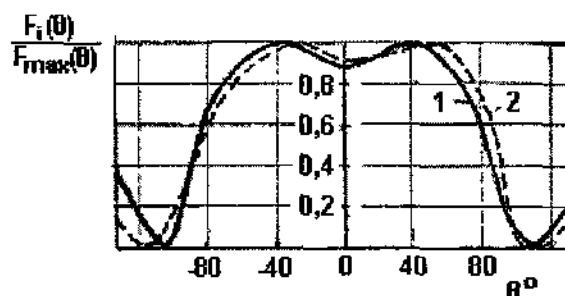
Для підстройки антени на відповідну діаграму спрямованості потрібно лише декілька секунд.

Спіральна антена, що заявляється як корисна модель, може бути використовувана мобільними системами радіозв'язку, радіокерування, радіоастрономії, радіовимірювань радіорозвідки, радіоборьби, радіонавігації.

Заявлена спіральна антена відповідає критеріям корисної моделі.



Фіг. 1



Фіг. 2

