

полягає в тому, що поляризація радіохвиль, що випромінюються в такій антені залежить від напрямку випромінювання. Це дозволяє визначити кутові координати цілі по поляризації радіохвиль, що приймаються кінцевою рупорною антеною.

Запропонований прилад дозволяє вимірювати кутові координати цілі з допомогою системи непо-рушних антен, центри апертур яких суміщені в одній точці. Використання суміщених антен дозволяє істотно зменшити розміри антенної системи. Крім того, прилад забезпечує розв'язку передаючих та приймальних антен без громіздкого екрану розв'язки у радіолокаторі безперервного випромінювання, що також зменшує розміри антенної системи.

Технічна суттєвість і принцип дії запропонованого приладу пояснюються фіг 1, 2, 3. На фіг 1 представлена спрощена структурна схема запропонованого радіолокаційного вимірника кутових координат і показаний спрощений ескіз його антенної системи. На фіг 2 представлені розрахункові нормовані діаграми спрямованості антен запропонованого радіолокатора  $F(\delta)$ . На фіг 3 представлена розрахункова залежність відношення амплітуд сигналів на виходах третього і четвертого приймачів  $U_{m2}/U_{m3}$  від куту  $\delta$  між віссю антенної системи і напрямком на ціль.

До складу запропонованого приладу на схемі фіг 1 входять наступні основні елементи:

перша приймальна кінцева рупорна антена 1;

друга приймальна антена 2 у вигляді коаксильної рупорної антени з апертурою кільцевої форми (такий рупор вживлюється коаксильною фідерною лінією і в ньому збуджується хвиля типу TEM),

третя приймальна антена 3 у вигляді коаксильної рупорної антени з апертурою кільцевої форми (розмір кільцевої апертури цієї антени трохи більше, ніж у антени 2),

передаюча антена 4 у вигляді зовнішньої коаксильної рупорної антени з апертурою кільцевої форми,

круглий хвилевід 5 першої приймальної антени,

горизонтальний штир 6 у круглому хвилеводі першої антени,

вертикальний штир 7 у круглому хвилеводі першої антени

коаксильні кабелі 8, що зв'язують штирі 6, 7 з першим і другим приймачами,

коаксильні фідерні лінії 9, що зв'язують другу і третю приймальні антени з третім і четвертим приймачами відповідно,

коаксильна фідерна лінія 10, що зв'язує передаючу антену з передавачем,

передавач 11 (може бути виконаний у вигляді

передавача безперервного сигналу, або у вигляді імпульсного передавача),

перший приймач 12, вхід якого зв'язаний з горизонтальним штирем 6,

другий приймач 13, вхід якого зв'язаний з вертикальним штирем 7,

третій приймач 14, вхід якого зв'язаний з другою приймальною антеною,

четвертий приймач 15, вхід якого зв'язаний з третьою приймальною антеною

обчислювач 16 для обчислення кутових координат цілей по амплітудам сигналів приймачів 12, 13, 14, 15 з допомогою співвідношень (1 - 3)

Нижче пояснюється принцип дії запропонованого приладу і обґрунтовуються його істотні відокремлювальні признаки. Для випромінювання радіохвиль в запропонованому радіолокаторі використовується коаксильна рупорна антена з апертурою кільцевої форми. В такому рупорі збуджується хвиля типу TEM. Така антена не випромінює вздовж вісі антенної системи, але випромінює в інших напрямках. У вертикальній площині антена випромінює радіохвилі вертикальної поляризації, в горизонтальній площині - радіохвилі горизонтальної поляризації, а в інших площинах вектор поляризації поля, що випромінюється збігається з кутом похилу площини. Тобто поляризація радіохвиль, що випромінюються такою антеною, залежить від напрямку випромінювання. Пропонується використати цю властивість коаксильної рупорної антени для визначення однієї з кутових координат цілі по поляризації луна-сигналу, що приймається. Луна-сигнал цілі приймають першою кінцевою рупорною приймальною антеною 1, а кут похилу площини поляризації визначають по відношенню амплітуд сигналів, прийнятих горизонтальним і вертикальним штирями у круглому хвилеводі цієї антени. Так можна визначити одну з кутових координат цілі.

Для визначення другої кутової координати цілі пропонується використати дві концентричні коаксильні рупорні приймальні антени 2, 3 з різними розмірами кільцевих апертур. Діаграма спрямованості такої антени симетрична відносно вісі антени і залежить від розмірів кільцевої апертури. Це дозволяє визначити кут між віссю антени і напрямком на ціль по відношенню амплітуд сигналів, прийнятих антенами 2, 3.

Для доказу можливості практичної реалізації запропонованого технічного рішення нижче приводяться необхідні математичні співвідношення.

Вектор поляризації поля, що випромінюється коаксильною рупорною антеною лежить в площині випромінювання, а її діаграма спрямованості симетрична відносно вісі антени і визначається наступним співвідношенням:

$$F(\delta) = \frac{1 + \cos \delta}{2 \sin \delta} \int_{\varphi=0}^{2\pi} \sin \frac{\pi(R_K + R_H) \sin \delta \cos \varphi}{\lambda} \sin \frac{\pi(R_K + R_H) \sin \delta \cos \varphi}{\lambda} d\varphi, \quad (4)$$

де  $\delta$  - кут між віссю антени і напрямком випромінювання,

$R_H, R_K$  - внутрішній і зовнішній радіуси кільцевої апертури

Співвідношення (4) отримане з геометрії рупорної коаксильної антени з врахуванням того, що в такому рупорі збуджується хвиля типу TEM.

Приклади розрахунку нормованих діаграм спрямованості передаючих і третій коаксильних зав'язаних антен  $F(\delta)$  представлені на фіг 2, де крива 1 побудована для передаючої антени 4,

крива 2 - для другої приймальної антени 2, крива 3 - для третьої приймальної антени 3. Там же для порівняння приведена діаграма спрямованості першої приймальної рупорної кінчної антени 1 (крива 4). Діаграми побудовані в залежності від куту  $\delta$  між віссю антени та напрямком випромінювання. Слідє відзначити, що діаграма спрямованості рупорної кінчної антени 1 при прийомі луна-сигналу цілі, що опромінюється коаксіальною рупорною антеною, також буде симетричною відносно вісі антени. З діаграм фіг.2 видно, що коаксіальні рупорні антени не випромінюють в напрямку вісі антени, але випромінюють в інших напрямках і їхні діаграми спрямованості істотно залежать від розмірів кільцевої апертури. Сектор виміру кутової координати цілі визначається розмірами передаючої антени 4 (в розрахунковому прикладі цей сектор складає  $\delta = \pm 3^\circ$  від вісі антени). Поза цим сектором луна-сигналів цілей не буде. Діаграми спрямованості другій і третьої приймальних антен 2, 3 істотно відрізняються, бо ці антени мають різні розміри. Відношення амплітуд сигналів другій і третьої приймальних антен містить інформацію про кутову координату цілі  $\delta$ . Це можна бачити з графіка на фіг.3, де представлена розрахункова залежність відношення амплітуд сигналів  $U_{m2}/U_{m3}$  на виході третього і четвертого приймачів 14, 15, зв'язаних зі другій 2 і третьою 3 приймальними антенами. Ця залежність розрахована з допомогою співвідношення (3) і свідчить про той, що по відношенню амплітуд цих сигналів можна однозначно визначити кут  $\delta$  цілі у всьому робочому секторі антени, що передає. Розрахунки графіків на фіг.2, 3 проведені для антенної системи з наступними параметрами:

довжина хвилі  $\lambda = 0,05$  м;

внутрішній і зовнішній радіуси апертури передаючої коаксіальної антени  $R_H = 0,35$  м,  $R_K = 1$  м;

внутрішній і зовнішній радіуси апертури другої приймальної коаксіальної антени  $R_{H2} = 0,3$  м  $R_{K2} = 0,35$  м,

внутрішній і зовнішній радіуси апертури третьої приймальної коаксіальної антени  $R_{H3} = 0,15$  м,  $R_{K3} = 0,2$  м;

радіус апертури кінчного рупору першої приймальної антени  $R = 0,15$  м.

розрахунки підтверджують можливість однозначного визначення кутової координати  $\delta$  цілі по відношенню амплітуд напруг сигналів другій і третьої приймальних коаксіальних рупорних антен на виходах приймачів 14, 15 з допомогою трансцендентного рівняння (3), що отримане на основі співвідношення (4). В означеному робочому секторі передаючої антени і це рівняння має єдине рішення.

Іншу кутову координату цілі можна визначити по куту похилу у площини поляризації приймаємого луна-сигналу цілі. Цей кут  $\gamma$  визначають за допомогою першої приймальної кінчної рупорної антени 1 та двох ортогональних штирів 6, 7 у круглому хвилеводі цієї антени. Кут похилу площини поляризаційну визначається відношенням амплітуд напруг  $U_{mГ}$ ,  $U_{mВ}$  сигналу на виходах першого і другого приймачів, зв'язаних з горизонтальним і вертикальним штирями у хвилеводі першої приймальної кінчної рупорної антени, по співвідно-

шенню

$$\gamma = \pm \arctg \frac{U_{mГ}}{U_{mВ}} \quad (5)$$

Знак «+» в співвідношенні (5) беруть у випадку, коли напруги  $U_{Г}$ ,  $U_{В}$  синфазні, а знак «-» - коли вони протифазні. Цей знак вибирають за допомогою обчислювача шляхом порівняння амплітуд суми та різниці напруг  $U_{Г}$ ,  $U_{В}$ .

Азимут  $\beta$  і кут місця  $\Theta$  цілі визначають по співвідношенням (1), (2), що отримані із геометричних співвідношень зв'язку кутових координат  $\beta$ ,  $\Theta$  з координатами  $\delta$ ,  $\gamma$ .

Виконання антенної системи з концентричних коаксіальних рупорних антен і суміщення центрів апертур цих антен вимагається також для забезпечення розв'язки передаючої та приймальних антен. Така розв'язка забезпечена осьюовою симетрією антенної системи, що дозволяє виконати антенну систему без громіздкого екрану розв'язки. Суміщення центрів апертур всіх антен дозволяє істотно зменшити загальні розміри антенної системи.

Штирі 6,7 у круглому хвилеводі першої приймальної антени вимагаються для визначення куту похилу  $\gamma$  площини поляризації радіохвиль, що приймаються, а цей кут містить інформацію про кутові координати цілі.

Таким чином, запропонований прилад може бути практично реалізований, а відзначені вище відокремлювальні признаки є істотними і принципово необхідні для реалізації приладу.

Основні елементи запропонованого приладу на схемі фіг 1 виконані наступним чином. Антенна система виконана із першої приймальної рупорної кінчної антени з круглим хвилеводом і трьох концентричних коаксіальних рупорних антен, зовнішня з яких є передаючою, а дві інших - приймальними. Центри апертур всіх антен суміщені в одній точці. Розміри апертур антен вибирають з заданих вимог до ширини сектору виміру кутових координат. У цьому секторі обертає антенну систему по кутовим координатам не вимагається. Коаксіальні рупорні антени 2, 3 зв'язані з приймачами 14, 15 коаксіальними фідерними лініями 9, конструкція яких ясна з ескізу антени на фіг 1. Така ж коаксіальна фідерна лінія 10 використовується для зв'язку передаючої антени 4 з передавачем 11. У круглому хвилеводі 5 першої приймальної антени 1 встановлені однакові горизонтальний 6 і вертикальний 7 штирі, зв'язані коаксіальними кабелями з приймачами 12, 13. Передавач 11 може бути виконаний з безперервним або з імпульсним сигналом. Приймачі 12, 13, 14, 15 однакові і можуть бути виконані у вигляді супергетеродинних приймачів з загальним гетеродином. Обмеження амплітуд сигналів у приймачах не допустимо. Приймачі та передавач не відрізняються від відповідних елементів прототипу. Обчислювач 16 являє собою мікроЕВМ для рішення трансцендентного рівняння (3) і обчислення кутових координат цілі по співвідношенням (1), (2). Для введення в обчислювач значень амплітуд вихідних напруг приймачів можна використати аналого-цифрові перетворювачі.

Динаміка роботи запропонованого приладу



УКРАЇНА

(19) UA (11) 41532 (13) A

(51) G 01S13/04

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ  
І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ

ОПИС  
ДО ДЕКЛАРАЦІЙНОГО ПАТЕНТУ  
НА ВІНАХІД

видається під  
відповідальність  
власника  
патенту

(54) РАДІОЛОКАЦІЙНИЙ ВИМІРНИК КУТОВИХ КООРДИНАТ

1

2

(21) 99042378  
(22) 27.04.1999  
(24) 17.09.2001  
(46) 17.09.2001, Бюл. № 8, 2001 р.  
(72) Порошин Сергій Михайлович  
(73) Харківський державний політехнічний університет  
(57) Радіолокаційний вимірник кутових координат, що містить передавач, антенну систему та чотири однакових приймача, який відрізняється тим, що антенна система виконана із першої приймально-рупорної конічної антени з круглим хвилеводом і трьох концентричних коаксиальних рупорних антен, зовнішня з яких є передаючою, а дві інших - приймальними, центри апертур всіх антен з'єднані в одній точці, у круглому хвилеводі рупорної конічної приймальної антени встановлені однакові горизонтальний і вертикальний штирі, зв'язані коаксиальними кабелями з першим і другим приймачами відповідно, коаксиальні рупорні приймальні антени зв'язані коаксиальними фідерними лініями із другим і третім приймачами, а передаюча антена зв'язана такою ж лінією з передавачем, виходи всіх приймачів зв'язані з обчислювачем кутових координат цілі які визначають по співвідношенням:

$$\theta = \arcsin \left[ \frac{\sin \delta \cos \theta_0}{\sqrt{1 + \frac{U_{m1}^2}{U_{mB}^2}}} + \cos \delta \sin \theta_0 \right]$$

$$\beta = \pm \arcsin \frac{\frac{U_{m1}^2}{U_{mB}^2} \sin \delta}{\cos \theta \sqrt{1 + \frac{U_{m1}^2}{U_{mB}^2}}}$$

де  $\theta$  - кут місця цілі,  
 $\beta$  - азимутальний кут цілі,  
 $\delta$  - кут похилу осі антени до напрямку на цілі, що визначається з наступного трансцендентного рівняння:

$$\int_{\varphi=0}^{2\pi} \frac{\sin \frac{\pi(R_{k2} + R_{m2}) \sin \delta \cos \varphi}{\lambda} \sin \frac{\pi(R_{k2} - R_{m2}) \sin \delta \cos \varphi}{\lambda} d\varphi}{\int_{\varphi=0}^{2\pi} \frac{\sin \frac{\pi(R_{k3} + R_{m3}) \sin \delta \cos \varphi}{\lambda} \sin \frac{\pi(R_{k3} - R_{m3}) \sin \delta \cos \varphi}{\lambda} d\varphi} = \frac{R_{m1} U_{m2}}{R_{m2} U_{m3}}$$

$U_{m1}$ ,  $U_{m2}$  - амплітуди напруг сигналу на виходах першого і другого приймачів, зв'язаних з горизонтальним і вертикальним штирями в хвилеводі першої приймальної конічної рупорної антени відповідно,

$\theta_0$  - кут похилу осі антени до горизонтальної площини,

$R_{k2}$ ,  $R_{m2}$  - внутрішній і зовнішній радіуси кільцевої апертури другої приймальної антени, зв'язаної з третім приймачем,

$R_{k3}$ ,  $R_{m3}$  - внутрішній і зовнішній радіуси кільцевої апертури третьої приймальної антени, зв'язаної з четвертим приймачем,

$\lambda$  - довжина хвилі,

$U_{m2}$ ,  $U_{m3}$  - амплітуди напруг сигналу на виходах третього і четвертого приймачів, зв'язаних із другою і третьою приймальними антенами відповідно

Винахід відноситься до області радіолокації і може бути використаний для виміру кутових координат цілі у радіолокаторах безперервного випромінювання.

Відомий радіолокаційний вимірник кутових координат цілі по максимуму луна-сигналу, що приймається [1, с. 41, рис. 1.24]. Антена вимірника має

вузьку діаграму спрямованості і обертається покутовим координатам. Кутові координати цілі визначають по положенню антени в момент прийому максимального сигналу [1].

Недоліком аналогу є те, що необхідно використовувати антену великих розмірів з вузькою діаграмою спрямованості і обертати таку громіздку

(19) UA (11) 41532 (13) A

антену по кутовим координатам.

Інший недолік аналогу полягає в тому, що в радіолокаторі безперервного випромінювання необхідно забезпечити розв'язку передаючої і приймальної антен за допомогою громіздкого екрану розв'язки і таку громіздку систему утруднено обертати по кутовим координатам.

Як прототип вибраний фазовий радіолокаційний вимірник кутових координат [1]. Прототип містить передаючу антену і рознесену приймальну антенну систему. Кутову координату цілі визначають по зрушенню фаз сигналів в рознесених приймальних антенах. Для виміру двох кутових координат цілі вимагається чотири приймальні антени, дві з яких рознесені по горизонталі, а дві інших - по вертикалі. Крім того вимагаються чотири однакових приймача і два фазометра [1].

Недоліком прототипу є те, що рознесена антенна система громіздка і має великі розміри.

Інший недолік прототипу полягає в тому, що у радіолокаторі безперервного випромінювання необхідно забезпечити розв'язку передаючої та приймальної антен за допомогою громіздкого екрану розв'язки, що також збільшує загальні розміри антенної системи.

В основу винаходу поставлена задача вдосконалення радіолокаційного вимірника кутових координат, в якому за рахунок виконання антенної системи з приймальної рупорної конічної антени і трьох концентричних коаксіальних рупорних антен, зовнішня з яких є передаючою, а дві інших - приймальними, та суміщення центрів апертур всіх антен забезпечують вимір двох координат цілі, зменшення розмірів антенної системи і розв'язку передаючої та приймальних антен без громіздкого екрану розв'язки.

Поставлена задача вирішується тим, що в радіолокаційному вимірникові кутових координат, що містить передавач, антенну систему і чотири однакових приймача, згідно винаходу

антенна система виконана з першої прийма-

$$\frac{\int_{\varphi=0}^{2\pi} \sin \frac{\pi(R_{K2} + R_{H2}) \sin \delta \cos \varphi}{\lambda} \sin \frac{\pi(R_{K2} - R_{H2}) \sin \delta \cos \varphi}{\lambda} d\varphi}{\int_{\varphi=0}^{2\pi} \sin \frac{\pi(R_{K3} + R_{H3}) \sin \delta \cos \varphi}{\lambda} \sin \frac{\pi(R_{K3} - R_{H3}) \sin \delta \cos \varphi}{\lambda} d\varphi} = \frac{R_{H3} U_{m2}}{R_{H2} U_{m3}}; \quad (3)$$

$U_{m\Gamma}$  і  $U_{mB}$  - амплітуди напруг сигналу на виходах першого і другого приймачів, зв'язаних з горизонтальним і вертикальним штирями в хвилеводі першої приймальної конічної рупорної антени відповідно;

$\Theta_0$  - кут похилу вісі антени до горизонтальної площини;

$R_{H2}$ ,  $R_{K2}$  - внутрішній і зовнішній радіуси кільцевої апертури другої приймальної антени, зв'язаної з третім приймачем;

$R_{H3}$ ,  $R_{K3}$  - внутрішній і зовнішній радіуси кільцевої апертури третьої приймальної антени, зв'язаної з четвертим приймачем;

$\lambda$  - довжина хвилі;

$U_{m2}$ ,  $U_{m3}$  - амплітуди напруг сигналу на вихо-

дної рупорної конічної антени з круглим хвилеводом і трьох концентричних коаксіальних рупорних антен, зовнішня з яких є передаючою, а дві інших - приймальними;

центри апертур всіх антен суміщені в одній точці;

у круглому хвилеводі рупорної конічної приймальної антени встановлені однакові горизонтальний і вертикальний штирі, зв'язані коаксіальними кабелями з першим і другим приймачами відповідно,

коаксіальні рупорні приймальні антени зв'язані коаксіальними фідерними лініями зі другим і третім приймачами, а передаюча антена зв'язана такою ж лінією з передавачем,

виходи всіх приймачів зв'язані з обчислювачем кутових координат цілі які визначають по співвідношенням

$$\theta = \arcsin \left[ \frac{\sin \delta \cos \theta_0}{\sqrt{1 + \frac{U_{m\Gamma}^2}{U_{mB}^2}}} + \cos \delta \sin \theta_0 \right]; \quad (1)$$

$$\beta = \pm \arcsin \frac{\frac{U_{m\Gamma}^2}{U_{mB}^2} \sin \delta}{\cos \theta \sqrt{1 + \frac{U_{m\Gamma}^2}{U_{mB}^2}}}, \quad (2)$$

де  $\Theta$  - кут місця цілі,

$P$  - азимутальний кут цілі;

$\delta$  - кут похилу вісі антени до напрямку на ціль, що визначається з наступного трансцендентного рівняння

дах третього і четвертого приймачів, зв'язаних зі другою і третьою приймальними антенами відповідно.

Знак «+» в співвідношенні (2) беруть у випадку, коли амплітуда суми вихідних напруг третього і четвертого приймачів більше амплітуди різниці цих напруг, а знак «-» беруть у протилежному випадку. Таку перевірку знаку виконує обчислювач по вихідним напругам цих приймачів на проміжній частоті.

У запропонованому приладі можна використовувати як імпульсний передавач, так і передавач безперервного випромінювання.

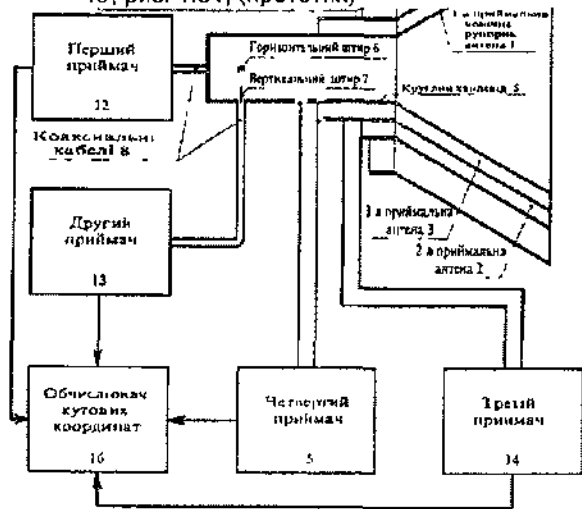
Принцип дії приладу заснований на використанні властивості коаксіальної рупорної антени з хвилею типу TEM і кільцевою апертурою, який

здійснюється слідуючим чином. Передавач 11 з передаючою антеною 4 випромінюють зондуєчий сигнал у секторі знаходження цілі. Поляризація радіохвиль, що випромінюються залежить від напрямку випромінювання. Приймальні антени 1,2,3 приймають луно-сигнал цілі, поляризація якого несе інформацію про кутові координати цілі. Приймачі 12, 13, 14, 15 посилюють сигнали, що приймаються і перетворюють їх на проміжну частоту. Вихідні напруги приймачів використовують для визначення двох кутових координат цілі за допомогою обчислювача 16 по співвідношенням (1 - 3). Прямий сигнал передавача не влучає в приймальні антени зважаючи на осьову симетрію антенної системи

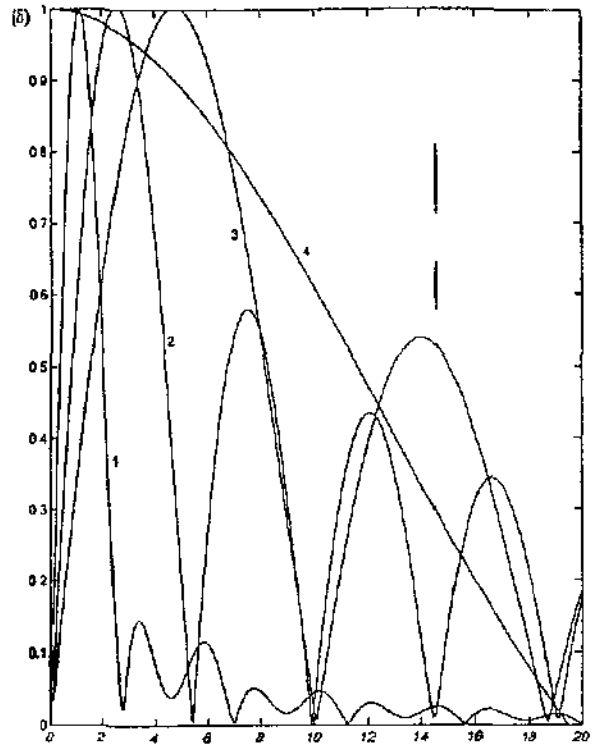
Таким чином, запропонований прилад вирішує поставлену задачу, усуває відзначені недоліки аналогу та прототипу, забезпечує вимір двох кутових координат цілі і дозволяє значно зменшити розміри антенної системи, а також забезпечує розв'язку передаючої та приймальних антен без громіздкого екрану розв'язки

Джерела інформації

1. Педак А. М., Баклашов П. И и др. Справочник по основам радиолокационной техники. Под редакцией В. В. Дружинина - М. Воениздат, 1967. - С. 48, рис. 1.31, (прототип)

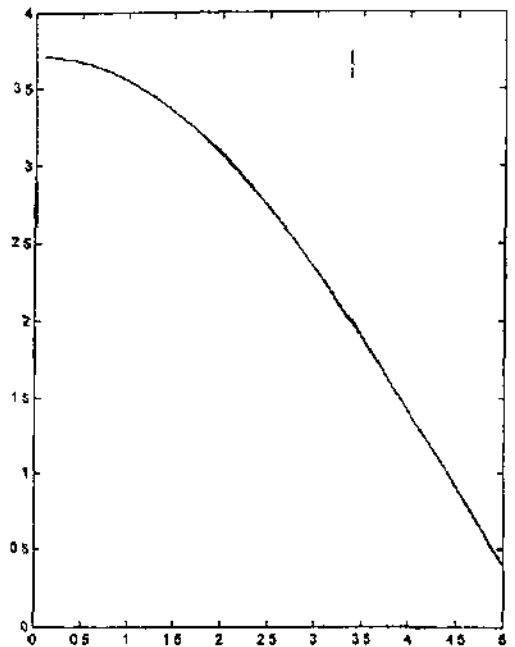


Фиг 1



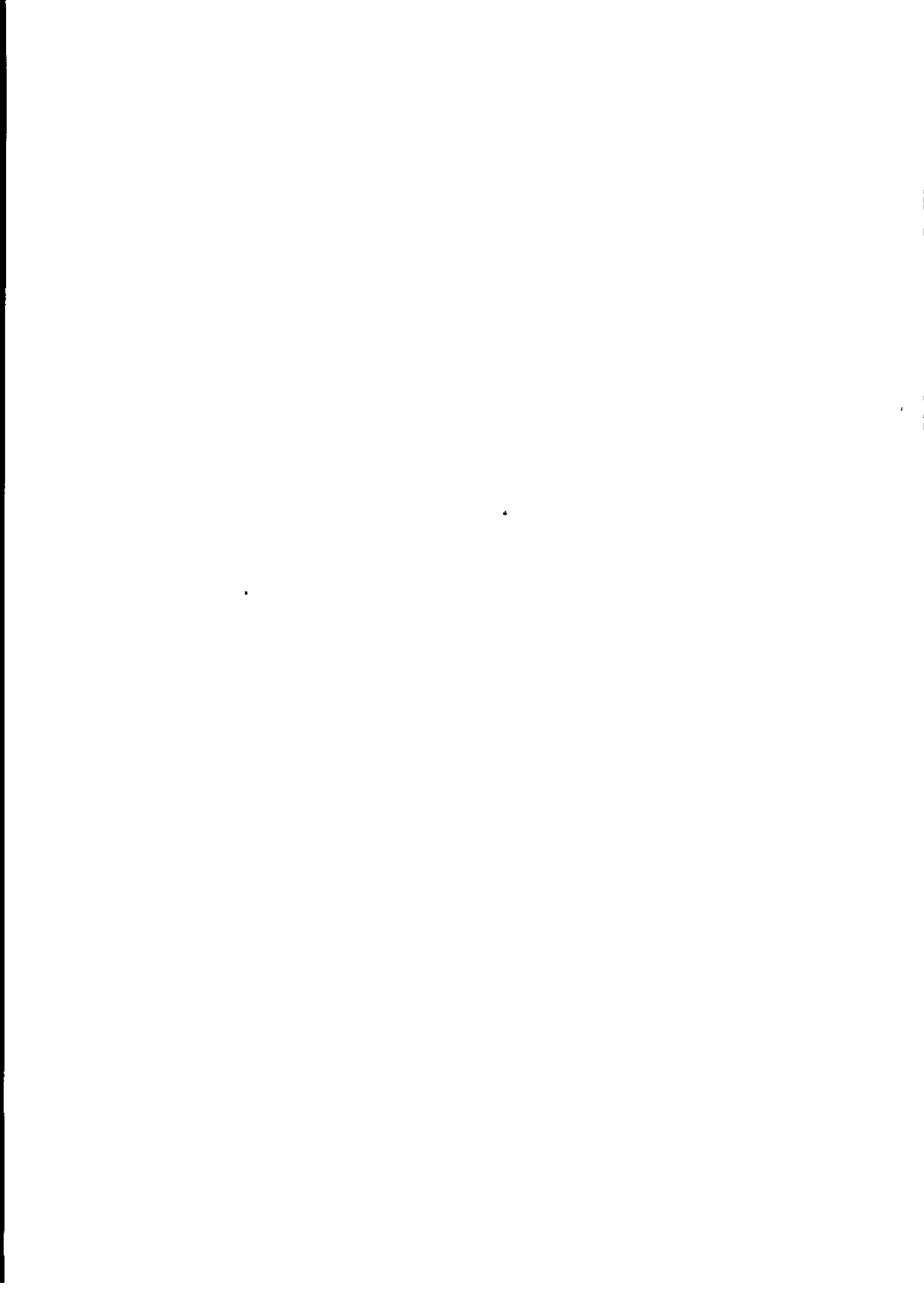
б, град  
Фиг 2

Um2/Um3



б, град

Фиг 3





УКРАЇНА

(19) UA (11) 41532 (13) A

(51) B G01S13/04

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ  
І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ

ОПИС  
ДО ДЕКЛАРАЦІЙНОГО ПАТЕНТУ  
НА ВИНАХІД

видається під  
відповідальністю  
власника  
патенту

(54) РАДІОЛОКАЦІЙНИЙ ВИМІРНИК КУТОВИХ КООРДИНАТ

1

2

(21) 99042378  
(22) 27.04.1999  
(24) 17.09.2001  
(46) 17.09.2001, Бюл. № 8, 2001 р.  
(72) Порошин Сергій Михайлович  
(73) Харківський державний політехнічний університет  
(57) Радіолокаційний вимірник кутових координат, що містить передавач, антенну систему та чотири однакових приймача, який відрізняється тим, що антенна система виконана із першої приймальної рупорної конічної антени з круглим хвилеводом і трьох концентричних коаксиальних рупорних антен, зовнішня з яких є передаючою, а дві інших - приймальними, центри апертур всіх антен з'єднані в одній точці, у круглому хвилеводі рупорної конічної приймальної антени встановлені однакові горизонтальний і вертикальний штирі, зв'язані коаксиальними кабелями з першим і другим приймачами відповідно, коаксиальні рупорні приймальні антени зв'язані коаксиальними фідерними лініями із другим і третім приймачами, а передаюча антена зв'язана такою ж лінією з передавачем, виходи всіх приймачів зв'язані з обчислювачем кутових координат цілі які визначають по співвідношенням.

$$\beta = \pm \arcsin \frac{\frac{U_{m1}^2}{U_{mB}^2} \sin \delta}{\cos \theta \sqrt{1 + \frac{U_{m\Gamma}^2}{U_{mB}^2}}}$$

де  $\theta$  - кут місця цілі,  
 $\beta$  - азимутальний кут цілі,  
 $\delta$  - кут похилу осі антени до напрямку на цілі, що визначається з наступного трансцендентного рівняння

$$\int_{\varphi=0}^{2\pi} \frac{\sin \frac{\pi(R_{k2} + R_{H2}) \sin \delta \cos \varphi}{\lambda} \sin \frac{\pi(R_{k2} - R_{H2}) \sin \delta \cos \varphi}{\lambda} d\varphi}{\int_{\varphi=0}^{2\pi} \frac{\sin \frac{\pi(R_{k1} + R_{H1}) \sin \delta \cos \varphi}{\lambda} \sin \frac{\pi(R_{k1} - R_{H1}) \sin \delta \cos \varphi}{\lambda} d\varphi} = \frac{R_{H1} U_{m2}}{R_{H2} U_{m3}}$$

$U_{m\Gamma}$ ,  $U_{mB}$  - амплітуди напруг сигналу на виходах першого і другого приймачів, зв'язаних з горизонтальним і вертикальним штирями в хвилеводі першої приймальної конічної рупорної антени відповідно,

$\theta_0$  - кут похилу осі антени до горизонтальної площини,

$R_{H2}$ ,  $R_{k2}$  - внутрішній і зовнішній радіуси кільцевої апертури другої приймальної антени, зв'язаної з третім приймачем,

$R_{H3}$ ,  $R_{k3}$  - внутрішній і зовнішній радіуси кільцевої апертури третьої приймальної антени, зв'язаної з четвертим приймачем,

$\lambda$  - довжина хвилі,

$U_{m2}$ ,  $U_{m3}$  - амплітуди напруг сигналу на виходах третього і четвертого приймачів, зв'язаних із другою і третьою приймальними антенами відповідно

$$\theta = \arcsin \left[ \frac{\sin \delta \cos \theta_0}{\sqrt{1 + \frac{U_{m\Gamma}^2}{U_{mB}^2}}} + \cos \delta \sin \theta_0 \right]$$

Винахід відноситься до області радіолокації і може бути використаний для виміру кутових координат цілі у радіолокаторах безперервного випромінювання.

Відомий радіолокаційний вимірник кутових координат цілі по максимуму луна-сигналу, що приймається [1, с. 41, рис. 1.24]. Антена вимірника має

вузьку діаграму спрямованості і обертається покутовим координатам. Кутові координати цілі визначають по положенню антени в момент прийому максимального сигналу [1].

Недоліком аналогу є те, що необхідно використовувати антену великих розмірів з вузькою діаграмою спрямованості і обертати таку громіздку

UA (11) 41532 (13) A

антену по кутовим координатам.

Інший недолік аналогу полягає в тому, що в радіолокаторі безперервного випромінювання необхідно забезпечити розв'язку передаючої і приймальної антен за допомогою громіздкого екрану розв'язки і таку громіздку систему утруднено обернути по кутовим координатам.

Як прототип вибраний фазовий радіолокаційний вимірник кутових координат [1]. Прототип містить передаючу антену і рознесену приймальну антенну систему. Кутову координату цілі визначають по зрушенню фаз сигналів в рознесених приймальних антенах. Для виміру двох кутових координат цілі вимагається чотири приймальні антени, дві з яких рознесені по горизонталі, а дві інших - по вертикалі. Крім того вимагаються чотири однакових приймача і два фазометра [1].

Недоліком прототипу є те, що рознесена антенна система громіздка і має великі розміри.

Інший недолік прототипу полягає в тому, що у радіолокаторі безперервного випромінювання необхідно забезпечити розв'язку передаючої та приймальної антен за допомогою громіздкого екрану розв'язки, що також збільшує загальні розміри антенної системи.

В основу винаходу поставлена задача вдосконалення радіолокаційного вимірника кутових координат, в якому за рахунок виконання антенної системи з приймальної, рупорної конічної антени і трьох концентричних коаксіальних рупорних антен, зовнішня з яких є передаючою, а дві інших - приймальними, та суміщення центрів апертур всіх антен забезпечують вимір двох координат цілі, зменшення розмірів антенної системи і розв'язку передаючої та приймальних антен без громіздкого екрану розв'язки.

Поставлена задача вирішується тим, що в радіолокаційному вимірникові кутових координат, що містить передавач, антенну систему і чотири однакових приймача, згідно винаходу

антенна система виконана з першої прийма-

$$\frac{\int_{\varphi=0}^{2\pi} \sin \frac{\pi(R_{K2} + R_{H2}) \sin \delta \cos \varphi}{\lambda} \sin \frac{\pi(R_{K2} - R_{H2}) \sin \delta \cos \varphi}{\lambda} d\varphi}{\int_{\varphi=0}^{2\pi} \sin \frac{\pi(R_{K3} + R_{H3}) \sin \delta \cos \varphi}{\lambda} \sin \frac{\pi(R_{K3} - R_{H3}) \sin \delta \cos \varphi}{\lambda} d\varphi} = \frac{R_{H3} U_{m3}}{R_{H2} U_{m2}}; \quad (3)$$

$U_{m1}$  і  $U_{m2}$  - амплітуди напруг сигналу на виходах першого і другого приймачів, зв'язаних з горизонтальним і вертикальним штирями в хвилеводі першої приймальної конічної рупорної антени відповідно;

$\Theta_0$  - кут похилу вісі антени до горизонтальної площини;

$R_{H2}$ ,  $R_{K2}$  - внутрішній і зовнішній радіуси кільцевої апертури другої приймальної антени, зв'язаної з третім приймачем;

$R_{H3}$ ,  $R_{K3}$  - внутрішній і зовнішній радіуси кільцевої апертури третьої приймальної антени, зв'язаної з четвертим приймачем;

$\lambda$  - довжина хвилі;

$U_{m2}$ ,  $U_{m3}$  - амплітуди напруг сигналу на вихо-

дній рупорної конічної антени з круглим хвилеводом і трьох концентричних коаксіальних рупорних антен, зовнішня з яких є передаючою, а дві інших - приймальними;

центри апертур всіх антен суміщені в одній точці;

у круглому хвилеводі рупорної конічної приймальної антени встановлені однакові горизонтальний і вертикальний штирі, зв'язані коаксіальними кабелями з першим і другим приймачами відповідно;

коаксіальні рупорні приймальні антени зв'язані коаксіальними фідерними лініями зі другим і третім приймачами, а передаюча антена зв'язана такою ж лінією з передавачем;

виходи всіх приймачів зв'язані з обчислювачем кутових координат цілі які визначають по співвідношенням

$$\theta = \arcsin \left[ \frac{\sin \delta \cos \theta_0}{\sqrt{1 + \frac{U_{m1}^2}{U_{m2}^2}}} + \cos \delta \sin \theta_0 \right]; \quad (1)$$

$$\beta = \pm \arcsin \frac{\frac{U_{m1}^2}{U_{m2}^2} \sin \delta}{\cos \theta \sqrt{1 + \frac{U_{m1}^2}{U_{m2}^2}}}; \quad (2)$$

де  $\Theta$  - кут місця цілі;

$P$  - азимутальний кут цілі;

$\delta$  - кут похилу вісі антени до напрямку на ціль, що визначається з наступного трансцендентного рівняння

дах третього і четвертого приймачів, зв'язаних зі другою і третьою приймальними антенами відповідно.

Знак «+» в співвідношенні (2) беруть у випадку, коли амплітуда суми вихідних напруг третього і четвертого приймачів більше амплітуди різниці цих напруг, а знак «-» беруть у протилежному випадку. Таку перевірку знаку виконує обчислювач по вихідним напругам цих приймачів на проміжній частоті.

У запропонованому приладі можна використувати як імпульсний передавач, так і передавач безперервного випромінювання.

Принцип дії приладу заснований на використанні властивості коаксіальної рупорної антени з хвилею типу TEM і кільцевою апертурою, який



полягає в тому, що поляризація радіохвиль, що випромінюються в такій антені залежить від напрямку випромінювання. Це дозволяє визначити кутові координати цілі по поляризації радіохвиль, що приймаються кінчною рупорною антеною.

Запропонований прилад дозволяє вимірювати кутові координати цілі з допомогою системи неповернутих антен, центри апертур яких суміщені в одній точці. Використання суміщених антен дозволяє істотно зменшити розміри антенної системи. Крім того, прилад забезпечує розв'язку передаючих та приймальних антен без громіздкого екрану розв'язки у радіолокаторі безперервного випромінювання, що також зменшує розміри антенної системи.

Технічна суттєвість і принцип дії запропонованого приладу пояснюються фіг.1, 2, 3. На фіг.1 представлена спрощена структурна схема запропонованого радіолокаційного вимірника кутових координат і показаний спрощений ескіз його антенної системи. На фіг.2 представлені розрахункові нормовані діаграми спрямованості антен запропонованого радіолокатора  $F(\delta)$ . На фіг.3 представлена розрахункова залежність відношення амплітуд сигналів на виходах третього і четвертого приймачів  $U_{\text{пз2}}/U_{\text{пз3}}$  від куту  $\delta$  між віссю антенної системи і напрямком на ціль.

До складу запропонованого приладу на схемі фіг.1 входять наступні основні елементи:

перша приймальна кінчна рупорна антена 1;  
друга приймальна антена 2 у вигляді коаксимальної рупорної антени з апертурою кільцевої форми (такий рупор вживлюється коаксимальною фідерною лінією і в ньому збуджується хвиля типу TEM);

третя приймальна антена 3 у вигляді коаксимальної рупорної антени з апертурою кільцевої форми (розмір кільцевої апертури цієї антени трохи більше, ніж у антени 2);

передаюча антена 4 у вигляді зовнішньої коаксимальної рупорної антени з апертурою кільцевої форми;

круглий хвилевід 5 першої приймальної антени;

горизонтальний штир 6 у круглому хвилеводі першої антени;

вертикальний штир 7 у круглому хвилеводі першої антени;

коаксимальні кабелі 8, що зв'язують штирі 6, 7 з першим і другим приймачами;

коаксимальні фідерні лінії 9, що зв'язують другу і третю приймальні антени з третім і четвертим приймачами відповідно;

коаксимальна фідерна лінія 10, що зв'язує передаючу антену з передавачем;

передавач 11 (може бути виконаний у вигляді

передавача безперервного сигналу, або у вигляді імпульсного передавача);

перший приймач 12, вхід якого зв'язаний з горизонтальним штирем 6;

другий приймач 13, вхід якого зв'язаний з вертикальним штирем 7;

третій приймач 14, вхід якого зв'язаний зі другою приймальною антеною;

четвертий приймач 15, вхід якого зв'язаний з третьою приймальною антеною;

обчислювач 16 для обчислення кутових координат цілей по амплітудам сигналів приймачів 12, 13, 14, 15 з допомогою співвідношень (1 - 3).

Нижче пояснюється принцип дії запропонованого приладу і обґрунтовуються його істотні відокремлювальні признаки. Для випромінювання радіохвиль в запропонованому радіолокаторі використовується коаксимальна рупорна антена з апертурою кільцевої форми. В такому рупорі збуджується хвиля типу TEM. Така антена не випромінює вздовж вісі антенної системи, але випромінює в інших напрямках. У вертикальній площині антена випромінює радіохвилі вертикальної поляризації, в горизонтальній площині - радіохвилі горизонтальної поляризації, а в інших площинах вектор поляризації поля, що випромінюється збігається з кутом похилу площини. Тобто поляризація радіохвиль, що випромінюються такою антеною, залежить від напрямку випромінювання. Пропонується використати цю властивість коаксимальної рупорної антени для визначення однієї з кутових координат цілі по поляризації луна-сигналу, що приймається. Луна-сигнал цілі приймають першою кінчною рупорною приймальною антеною 1, а кут похилу площини поляризації визначають по відношенню амплітуд сигналів, прийнятих горизонтальним і вертикальним штирями у круглому хвилеводі цієї антени. Так можна визначити одну з кутових координат цілі.

Для визначення другої кутової координати цілі пропонується використати дві концентричні коаксимальні рупорні приймальні антени 2, 3 з різними розмірами кільцевих апертур. Діаграма спрямованості такої антени симетрична відносно вісі антени і залежить від розмірів кільцевої апертури. Це дозволяє визначити кут між віссю антени і напрямком на ціль по відношенню амплітуд сигналів, прийнятих антенами 2, 3.

Для доказу можливості практичної реалізації запропонованого технічного рішення нижче приводяться необхідні математичні співвідношення.

Вектор поляризації поля, що випромінюється коаксимальною рупорною антеною лежить в площині випромінювання, а її діаграма спрямованості симетрична відносно вісі антени і визначається наступним співвідношенням

$$F(\delta) = \frac{1 + \cos \delta}{2 \sin \delta} \int_{\varphi=0}^{2\pi} \sin \frac{\pi(R_K + R_H) \sin \delta \cos \varphi}{\lambda} \sin \frac{\pi(R_K + R_H) \sin \delta \cos \varphi}{\lambda} d\varphi, \quad (4)$$

де  $\delta$  - кут між віссю антени і напрямком випромінювання,

$R_H, R_K$  - внутрішній і зовнішній радіуси кільцевої апертури.

Співвідношення (4) отримане з геометрії рупо-

рної коаксимальної антени з врахуванням того, що в такому рупорі збуджується хвиля типу TEM.

Приклади розрахунку нормованих діаграм спрямованості передаючої, другої і третьої коаксимальних зв'язаних антен  $F(\delta)$  представлені на фіг.2, де крива 1 побудована для передаючої антени 4,

крива 2 - для другої приймальної антени 2, крива 3 - для третьої приймальної антени 3. Там же для порівняння призведена діаграма спрямованості першої приймальної рупорної конічної антени 1 (крива 4). Діаграми побудовані в залежності від куту  $\delta$  між віссю антени та напрямком випромінювання. Слідє відзначити, що діаграма спрямованості рупорної конічної антени 1 при прийомі луна-сигналу цілі, що опромінюється коаксіальною рупорною антеною, також буде симетричною відносно вісі антени. З діаграм фіг.2 видно, що коаксіальні рупорні антени не випромінюють в напрямку вісі антени, але випромінюють в інших напрямках і їхні діаграми спрямованості істотно залежать від розмірів кільцевої апертури. Сектор виміру кутової координати цілі визначається розмірами передаючої антени 4 (в розрахунковому прикладі цей сектор складає  $\delta = \pm 3^\circ$  від вісі антени). Поза цим сектором луна-сигналів цілей не буде. Діаграми спрямованості другій і третьої приймальних антен 2, 3 істотно відрізняються, бо ці антени мають різні розміри. Відношення амплітуд сигналів другій і третьої приймальних антен містить інформацію про кутову координату цілі  $\delta$ . Це можна бачити з графіка на фіг.3, де представлена розрахункова залежність відношення амплітуд сигналів  $U_{m2}/U_{m3}$  на виході третього і четвертого приймачів 14, 15, зв'язаних зі другій 2 і третьою 3 приймальними антенами. Ця залежність розрахована з допомогою співвідношення (3) і свідчить про той, що по відношенню амплітуд цих сигналів можна однозначно визначити кут  $\delta$  цілі у всьому робочому секторі антени, що передає. Розрахунки графіків на фіг.2, 3 проведені для антенної системи з наступними параметрами:

довжина хвилі  $\lambda = 0,05$  м,

внутрішній і зовнішній радіуси апертури передаючої коаксіальної антени  $R_H = 0,35$ м,  $R_K = 1$ м,

внутрішній і зовнішній радіуси апертури другої приймальної коаксіальної антени  $R_{H2} = 0,3$ м  $R_{K2} = 0,35$ м;

внутрішній і зовнішній радіуси апертури третьої приймальної коаксіальної антени  $R_{H3} = 0,15$ м,  $R_{K3} = 0,2$ м;

радіус апертури конічного рупору першої приймальної антени  $R = 0,15$ м

розрахунки підтверджують можливість однозначного визначення кутової координати  $\delta$  цілі по відношенню амплітуд напруг сигналів другій і третьої приймальних коаксіальних рупорних антен на виходах приймачів 14, 15 з допомогою трансцендентного рівняння (3), що отримане на основі співвідношення (4). В означеному робочому секторі передаючої антени і це рівняння має єдине рішення.

Іншу кутову координату цілі можна визначити по куту похилу у площині поляризації приймачем луна-сигналу цілі. Цей кут  $\psi$  визначають за допомогою першої приймальної конічної рупорної антени 1 та двох ортогональних штирів 6, 7 у круглому хвилеводі цієї антени. Кут похилу площини поляризаційну визначається відношенням амплітуд напруг  $U_{m\Gamma}$ ,  $U_{mB}$  сигналу на виходах першого і другого приймачів, зв'язаних з горизонтальним і вертикальним штирями у хвилеводі першої приймальної конічної рупорної антени, по співвідно-

шенню

$$\gamma = \pm \arctg \frac{U_{m\Gamma}}{U_{mB}} \quad (5)$$

Знак «+» в співвідношенні (5) беруть у випадку, коли напруги  $U_{\Gamma}$ ,  $U_B$  синфазні, а знак «-» - коли вони протифазні. Цей знак вибирають за допомогою обчислювача шляхом порівняння амплітуд суми та різниці напруг  $U_{\Gamma}$ ,  $U_B$

Азимут  $\beta$  і кут місця  $\Theta$  цілі визначають по співвідношенням (1), (2), що отримані із геометричних співвідношень зв'язку кутових координат  $\beta$ ,  $\Theta$  з координатами  $\delta$ ,  $\psi$ .

Виконання антенної системи з концентричних коаксіальних рупорних антен і суміщення центрів апертур цих антен вимагається також для забезпечення розв'язки передаючої та приймальних антен. Така розв'язка забезпечена осью симетрії антенної системи, що дозволяє виконати антенну систему без громіздкого екрану розв'язки. Суміщення центрів апертур всіх антен дозволяє істотно зменшити загальні розміри антенної системи.

Штирі 6,7 у круглому хвилеводі першої приймальної антени вимагаються для визначення куту похилу  $\psi$  площини поляризації радіохвиль, що приймаються, а цей кут містить інформацію про кутові координати цілі.

Таким чином, запропонований прилад може бути практично реалізований, а відзначені вище відокремлювальні признаки є істотними і принципово необхідні для реалізації приладу.

Основні елементи запропонованого приладу па схемі фіг.1 виконані наступним чином. Антенна система виконана із першої приймальної рупорної конічної антени з круглим хвилеводом і трьох концентричних коаксіальних рупорних антен, зовнішня з яких є передаючою, а дві інших - приймальними. Центри апертур всіх антен суміщені в одній точці. Розміри апертур антен вибирають з заданих вимог до ширини сектору виміру кутових координат. У цьому секторі обертають антенну систему по кутовим координатам не вимагається. Коаксіальні рупорні антени 2, 3 зв'язані з приймачами 14, 15 коаксіальними фідерними лініями 9, конструкція яких ясна з ескізу антени на фіг.1. Така ж коаксіальна фідерна лінія 10 використовується для зв'язку передаючої антени 4 з передавачем 11. У круглому хвилеводі 5 першої приймальної антени 1 встановлені однакові горизонтальний 6 і вертикальний 7 штирі, зв'язані коаксіальними кабелями з приймачами 12, 13. Передавач 11 може бути виконаний з безперервним або з імпульсним сигналом. Приймачі 12, 13, 14, 15 однакові і можуть бути виконані у вигляді супергетеродинних приймачів з загальним гетеродином. Обмеження амплітуд сигналів у приймачах не допустимо. Приймачі та передавач не відрізняються від відповідних елементів прототипу. Обчислювач 16 являє собою мікроЕВМ для рішення трансцендентного рівняння (3) і обчислення кутових координат цілі по співвідношенням (1), (2). Для введення в обчислювач значень амплітуд вихідних напруг приймачів можна використати аналого-цифрові перетворювачі.

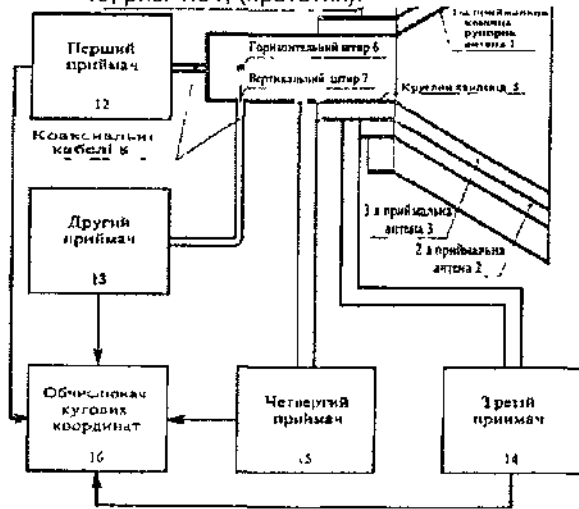
Динаміка роботи запропонованого приладу

здійснюється наступним чином. Передавач 11 з передаючою антеною 4 випромінюють зондуєчий сигнал у секторі знаходження цілі. Поляризація радіохвиль, що випромінюються залежить від напрямку випромінювання. Приймальні антени 1,2,3 приймають луно-сигнал цілі, поляризація якого несе інформацію про кутові координати цілі. Приймачі 12, 13, 14, 15 посилюють сигнали, що приймаються і перетворюють їх на проміжну частоту. Вихідні напруги приймачів використовують для визначення двох куткових координат цілі за допомогою обчислювача 16 по співвідношенням (1 - 3). Прямий сигнал передавача не влучає в приймальні антени зважаючи на осьову симетрію антенної системи

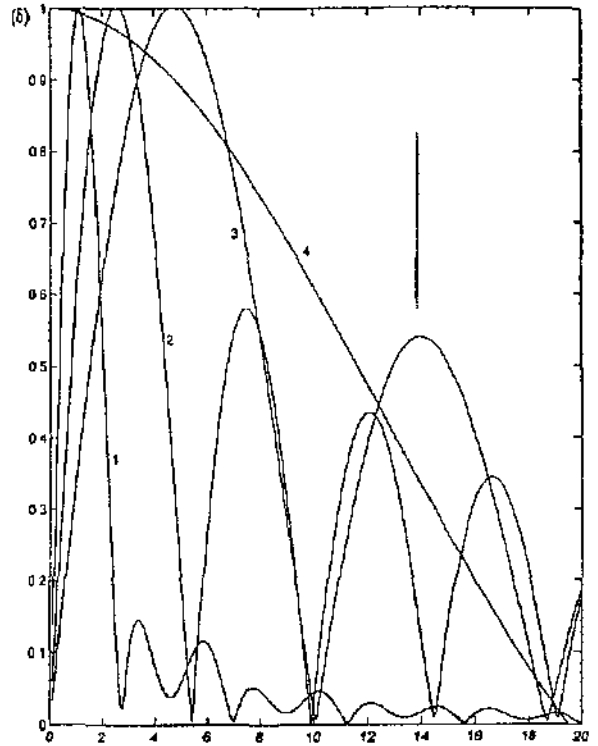
Таким чином, запропонований прилад вирішує поставлену задачу, усуває відзначені недоліки аналогу та прототипу, забезпечує вимір двох куткових координат цілі і дозволяє значно зменшити розміри антенної системи, а також забезпечує розв'язку передаючої та приймальної антен без громіздкого екрану розв'язки

Джерела інформації

1. Педак А. М., Баклашов П. И и др. Справочник по основам радиолокационной техники. Под редакцией В. В. Дружинина - М Воениздат, 1967. - С. 48, рис. 1.31, (прототип).



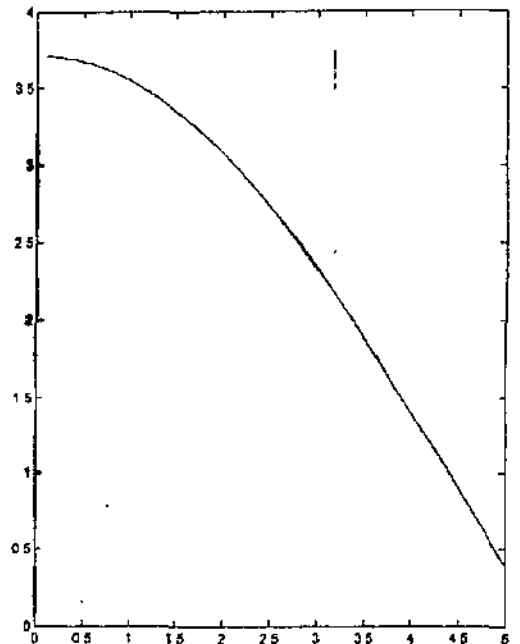
Фиг.1



б, град

Фиг.2

Um2/Uin3



б, град

Фиг.3

