

АНАЛІЗ ХАРАКТЕРИСТИК АНТЕН ЗЕНІТНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ ДЛЯ ЗВ'ЯЗКУ ІОНОСФЕРНОЮ ХВИЛЕЮ В РУСІ

Короткохвильовий радіозв'язок посідає особливе місце в системі військового зв'язку. Одним із основних проблемних питань при організації КХ радіозв'язку є відсутність можливості забезпечення зв'язку іоносферною хвилею в русі, що пов'язано з заміною застарілих аналогових КХ радіостанцій сучасними, виробництва корпорації Harris. У той же час транспортна база (командно-штабні машини, радіостанції середньої потужності) з антенами для зв'язку в русі залишилися старими.

В статті проведено порівняльний аналіз характеристик антен зенітного випромінювання, які можуть використовуватися для забезпечення короткохвильового радіозв'язку іоносферною хвилею в русі на командно-штабних машинах та інших рухомих об'єктах, визначено можливі напрямки подальшої роботи щодо переоснащення транспортних засобів.

Малых В.В., Ляшенко А.Т., Макарчук В.И., Станович А.В. Анализ характеристик антенн зенитного излучения для связи ионосферной волной в движении. *Коротковолновая радиосвязь занимает особое место в системе военной связи. Одним из основных проблемных вопросов при организации КВ радиосвязи является отсутствие возможности обеспечения связи ионосферной волной в движении, что связано с заменой устаревших аналоговых КВ радиостанций современными, производства корпорации Harris. В то же время транспортная база (командно-штабные машины, радиостанции средней мощности) с антеннами для связи в движении остались прежними.*

В статье проведен сравнительный анализ характеристик антенн зенитного излучения, которые могут использоваться для обеспечения коротковолновой радиосвязи ионосферной волной в движении на командно-штабных машинах и других подвижных объектах, определены возможные направления дальнейшей работы по переоборудованию транспортных средств.

V. Malyikh, G. Lyashenko, V. Makarchuk, O. Stanovich Analysis of the characteristics of the Near Vertical Incident Skywave (NVIS) antennas for the ionospheric wave communication on the move.

Shortwave radio has a special place in the military communication system. One of the main problems in the organization of SW radio is the lack of communication capabilities of the ionospheric wave in the movement, which is due to the replacement of obsolete analogue SW radio stations by modern, manufactured by Harris Corporation. At the same time, the transport base (C2 vehicles, radios of medium power) with antennas for communication in the movement remained old.

In the article a comparative analysis of the characteristics of the NVIS antennas that can be used to provide short-wave radio communication of the ionospheric wave in movement on C2V and other moving objects is carried out, possible directions of further work on re-equipment of vehicles are determined.

Ключові слова: *антена, іоносферна хвиля, зенітне випромінювання, коефіцієнт направленої дії, коефіцієнт підсилення, вхідний опір.*

Постановка завдання

Короткохвильовий (КХ) зв'язок посідає важливе місце в системі військового зв'язку. У відповідності з Регламентом радіозв'язку смуга частот 3...30 МГц називається високими частотами (ВЧ), а діапазон довжин хвиль, що відповідає цій смузі (10...100 м) – декаметровими, або короткими хвилями (КХ). Основною перевагою КХ зв'язку є відсутність обмежень по дальності – відстань між кореспондентами може складати десятки, сотні й навіть тисячі кілометрів без ретрансляції сигналу з використанням ефекта відбиття радіохвиль від іоносфери. При роботі іоносферною (просторовою) хвилею відстані до 300 км між кореспондентами називають ближнім КХ радіозв'язком, від 300 до 1000 км – середнім, і понад 1000 км – магістральним. Головною особливістю КХ радіоліній, незалежно від відстані між кореспондентами, є те, що умови розповсюдження радіохвиль певної смуги частот шляхом відбиття від іоносфери, визначаються часом доби, порою року та сонячною активністю.

Надійність та стійкість роботи КХ радіоліній визначається, в першу чергу, правильним вибором робочих частот для кожної конкретної радіолінії за критерієм їх проходження через іоносферу та їх своєчасною зміною протягом доби.

Недоліками КХ радіозв'язку є, по перше, низька пропускна спроможність каналів зв'язку, що зумовлено як нестаціонарністю іоносферних каналів, так і низькою частотною ємністю КХ діапазону, по друге, залежність надійності радіозв'язку від правильного вибору робочих частот.

При проведенні Операції об'єднаних сил (ООС) КХ радіозв'язок організовується з використанням радіостанцій виробництва Harris: RF-7800H потужністю 20, 150 або 400 Вт (Falcon III) та MPR-9600 (Falcon II) потужністю 20 та 125 Вт. При цьому на сьогоднішній день система КХ радіозв'язку здатна виконувати завдання лише в стаціонарних умовах. Зв'язок у русі можливий лише на штатну антену типу вертикальний несиметричний вібратор (антена штирєва) земною хвилею. Тому дальність зв'язку обмежена одиницями – десятками (як правило, до 20 – 30) кілометрів.

Аналіз публікацій за темою дослідження

У роботі [1] було визначено недоліки КХ радіозв'язку з використанням радіостанцій виробництва Harris, а саме: неточності при налаштуванні номіналів робочих частот, недосконалий алгоритм проведення сеансів зв'язку, низька оперативність встановлення зв'язку в режимі ALE, відсутність пристроїв для створення лінії дистанційного управління, відсутність коаксіального фідера з перехідником на симетричну антену в комплекті антени MPR-9600, помилки при розгортанні антенно-фідерних пристроїв (АФП), неможливість безпосередньої передачі інформації з обмеженим доступом. Ще одним важливим недоліком, який значно зменшує можливості організації КХ радіозв'язку є відсутність в комплекті поставки штатних антенних пристроїв для зв'язку в русі іоносферною хвилею на відстані від декількох десятків до 250 – 300 км, на зразок антени зенітного випромінювання (АЗВ) зі складу командно-штабної машини (КШМ) Р-142Н [2 – 4].

Виробником передбачена антена для зв'язку іоносферною хвилею в русі [5], але у комплектах поставки радіостанцій RF-7800H та MPR-9600, які встановлюються в КШМ, вони, як правило, відсутні. Основною причиною відсутності є висока вартість.

У той же час, серед розробок вітчизняних вчених є пропозиції щодо проектування та виготовлення ефективних антен зенітного випромінювання [6 – 9].

Метою статті є аналіз характеристик малогабаритних антен зенітного випромінювання закордонного та вітчизняного виробництва і розробка пропозицій щодо виготовлення КХ антени для зв'язку іоносферною хвилею для встановлення на рухомих об'єктах.

Виклад основного матеріалу

Принципи роботи антен зенітного випромінювання. Дахова антена зенітного випромінювання магнітного типу зі складу Р-142Н. Застосування для зв'язку іоносферними хвилями симетричних антен у радіостанціях з несиметричною схемою виходу викликає ряд труднощів, оскільки виникає необхідність використання спеціальних симетрувальних трансформаторів. Якщо не передбачити режим симетрування, то антена буде збуджуватися асиметрично, що викличе спотворення її діаграми направленості, з'явиться паразитне випромінювання фідера, збільшаться втрати в землі, що призведе до втрати підсилення.

Однак існує кілька типів антен, які можуть створювати характеристики направленості, аналогічні горизонтальному симетричному вібратору при безпосередньому живленні від радіостанції з несиметричним виходом.

Розглянемо одну з таких антен, що отримала назву П-подібної рамкової антени зенітного випромінювання (АЗВ) або дахової антени зенітного випромінювання магнітного типу (рис. 1). Принцип роботи АЗВ можна пояснити за допомогою схеми, зображеної на рис. 2 [3].

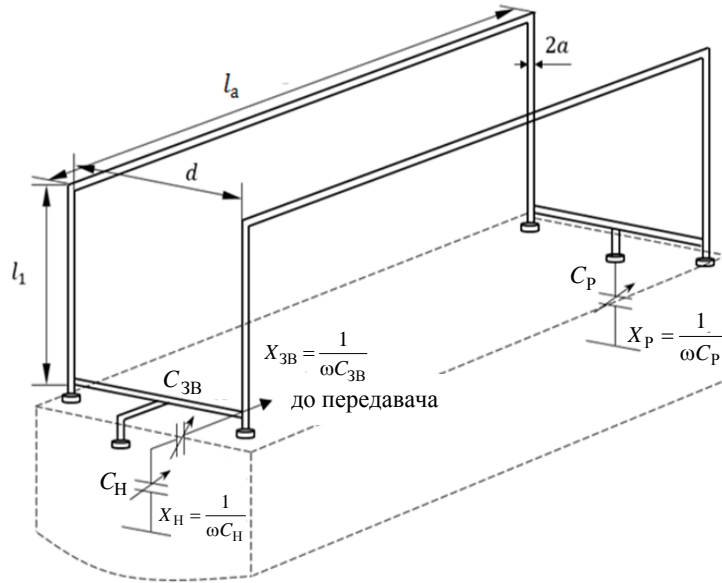


Рис. 1. Конструкція дахової антени zenітного випромінювання магнітного типу

П-подібна один кінець антени підключений до генератора (передавача) високочастотної потужності P , а другий – навантажений на ємність C_P .

Змінюючи значення ємності C_P можна домогтися такого розподілу струму на провідниках антени, при якому його пучність буде розташовуватися всередині горизонтальної частини антени завдовжки l_2 . При такому симетричному розподілі струму по периметру проводів горизонтальний провідник („дах”) буде діяти аналогічно горизонтальному симетричному вібратору. При висоті зниження $l_1 \leq 0,25$ антена буде створювати максимум випромінювання в zenіт, що і потрібно для забезпечення зв’язку на відносно невеликій відстані.

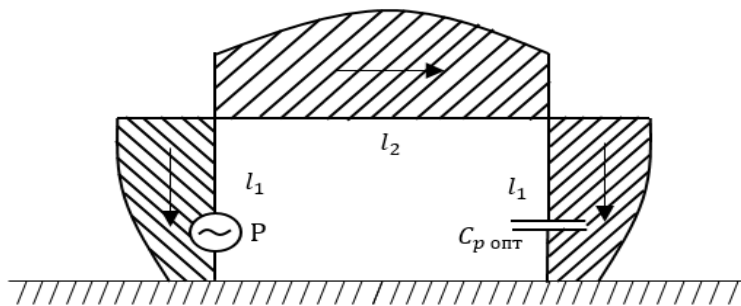


Рис. 2. Принцип роботи антени zenітного випромінювання магнітного типу

При зміні робочої частоти для збереження симетричного розподілу струму по периметру провода антени, необхідно перебудовувати конденсатор C_P , при цьому допустиме його ступінчасте перемикавання. Величина цієї ємності визначається зі співвідношення

$$\omega C_{P \text{ опт}} = \text{ctgk} \left(l_1 + \frac{l_2}{2} \right). \quad (1)$$

П-подібні антени застосовуються в якості малогабаритних дахових антен zenітного випромінювання КХ радіостанцій, що встановлюються на рухомих об’єктах.

Для збільшення ефективності КХ дахових антен застосовують спеціальні заходи. З метою зменшення втрат у металі провідники АЗВ виконують з мідних або латунних трубок діаметром 20 – 40 мм. Реально застосовувана конструкція антени складається з паралельно рознесених двох елементів (рамок), які живляться синфазно, як це показано на рис. 1.

Рознесення між рамками d повинне бути порядку 1 м для того, щоб реактивний опір кожного з елементів не зростав через взаємний вплив елементів один на одного.

Важливою перевагою малогабаритних П-подібних АЗВ перед короткими низькорозташованими над дахом об'єкта симетричними вібраторами є можливість їх налаштування за допомогою конденсаторів, а не варіометрів.

Змінні вакуумні конденсатори мають добротність 10 000 та 100 000, що на кілька порядків перевищує добротність варіометрів. Їх застосування дозволяє зменшити втрати в органах налаштування до таких, якими можна знехтувати. Змінні вакуумні конденсатори відрізняються великим коефіцієнтом перекриття по ємності (порядку 100) і високою електричною міцністю. Завдяки цьому можна здійснити налаштування та узгодження АЗВ з радіостанцією при малих втратах. Ретельно виконана малогабаритна АЗВ магнітного типу має добротність порядку 100 і 300, а активний опір – одиниці і навіть частки Ома. Для її узгодження з фідером ($\rho = 50 - 100$ Ом) застосовують конденсатори $C_{ЗВ}$ і $C_{Н}$ (рис. 1).

Основним недоліком штатних антен зі складу КШМ Р-142Н, які розроблялися для роботи КХ радіостанцій Р-130 та Р-134, є неможливість безпосереднього використання з радіостанціями виробництва Harris.

Антену RF-3134-AT003/5 виробництва Harris. Зовнішній вигляд штатної антени RF-3134-AT003/5, встановленої на борту КШМ, наведено на рис. 3.



Рис. 3. Зовнішній вигляд антени RF-3134-AT003/5

На рис. 4. наведено вигляд діаграм направленості антени RF-3134-AT003/5 у горизонтальній (а) та вертикальній (б) площинах [5].

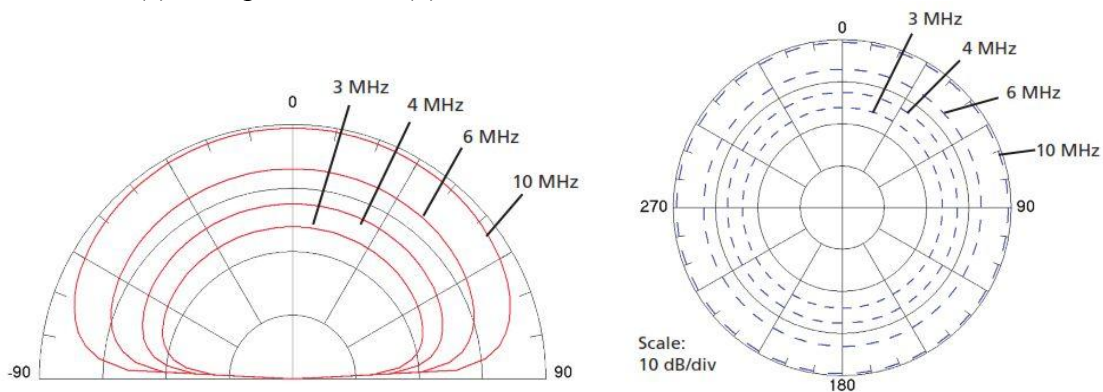


Рис. 4. Діаграма направленості антени RF-3134-AT003/5

Загальні характеристики антени RF-3134-AT003/5 зведено у табл. 1 [5].

З табл. 1 видно, що антена є широкодіапазонною, забезпечує формування діаграми необхідної форми, проте її основним недоліком є низькі значення коефіцієнта підсилення зі зменшенням частоти.

Це, пояснюється тим, що відносні розміри реальних антен при установленні їх на рухомі об'єкти малі. Через малі їх відносні розміри ефективність антен (випромінююча здатність, діюча довжина) теж мала. Простий шлях збільшення ефективності реальних КХ антен – збільшити їх габаритні розміри – не прийнятний у зв'язку з обмеженнями на місце їх установлення.

Тому потрібний новий підхід до розробки таких антен, а вимогами до перспективної петльової антени зенітного випромінювання є перевернення штатної за коефіцієнтом підсилення, при цьому за іншими основними показниками вона повинна не поступатися (незначно поступатися).

Таблиця 1

Загальні технічні характеристики антени RF-3134-AT003/5

Діапазон частот	2 – 30 МГц	
Поляризація	Горизонтальна (зенітне випромінювання)	
Вхідний опір	50 Ом	
Коефіцієнт стоячої хвилі	< 2,0	
Коефіцієнт підсилення	2 МГц	≥ -24 дБі
	3,5 МГц	≥ -15 дБі
	10 МГц	≥ -8 дБі
	30 МГц	≥ -3 дБі
Максимальна підведена потужність	150 Вт	
Форма діаграми направленості	Квазі-півсфера	
Габарити	150 x 150 см	
Маса	≈ 8 кг	

Рамкова антена зенітного випромінювання з двоточковим збудженням.

У роботах [6, 7] отримані інтегральні математичні співвідношення для розрахунку й аналізу хвильового опору рамкового випромінювача еліптичної форми (див. рис. 5, а) та побудовані графічні залежності (рис. 5, б)

Проведені розрахунок і аналіз хвильового опору рамкового випромінювача двох модифікацій (стиснення еліпса уздовж поперечної та поздовжньої осей), на підставі яких показані характер і межі зміни хвильового опору антени.

На рис. 5, б цифрами позначені співвідношення довжини випромінюючого провідника до його радіусу l/r_a : 1 – 200π ; 2 – 100π ; 3 – 50π .

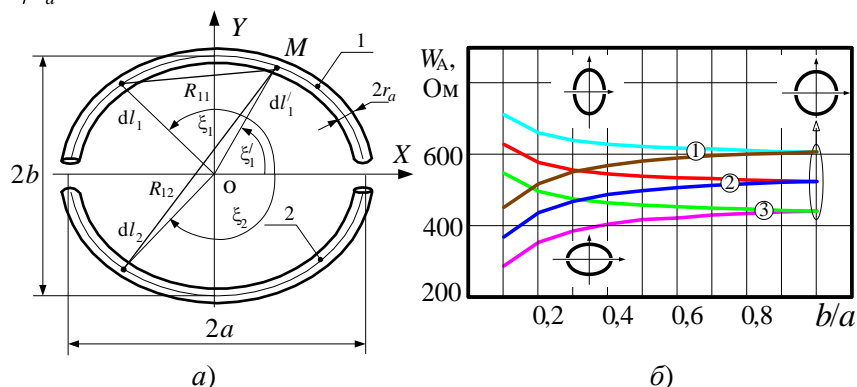


Рис. 5. Рамкова антена еліптичної форми (а) і залежність її хвильового опору (б)

На основі узагальненого методу наведених ЕРС отримана математична модель і розроблений алгоритм розрахунку амплітудно-фазового розподілу струму уздовж провідника рамкового випромінювача [8].

Для дослідження характеристик спрямованості досліджуваної антени (рис. 6) на основі методу векторного потенціалу розроблена математична модель поля випромінювання еліптичної рамкової антени з двоточковим збудженням (постійний множник, що характеризує сферичний фронт хвилі в дальній зоні антени опущений):

$$\left. \begin{aligned} \dot{E}_\theta(\theta, \varphi) &= a \cos \theta \int_{-\pi}^{\pi} \dot{I}[s(\alpha)] \exp[jka \sin \theta U(\varphi, \alpha, e)] V_\theta(\varphi, \alpha, e) d\alpha; \\ \dot{E}_\varphi(\theta, \varphi) &= a \int_{-\pi}^{\pi} \dot{I}[s(\alpha)] \exp[jka \sin \theta U(\varphi, \alpha, e)] V_\varphi(\varphi, \alpha, e) d\alpha, \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

де

$$\begin{aligned} U(\varphi, \alpha, e) &= \sqrt{1-e^2} \sin \varphi \sin \alpha + \cos \varphi \cos \alpha; \\ V_\varphi(\varphi, \alpha, e) &= \sqrt{1-e^2} \cos \varphi \cos \alpha + \sin \varphi \sin \alpha; \\ V_\theta(\varphi, \alpha, e) &= \sqrt{1-e^2} \sin \varphi \cos \alpha - \cos \varphi \sin \alpha; \end{aligned}$$

e – ексцентриситет еліптичної рамки.

Згідно з проведеними дослідженнями характеристик рамкового випромінювача з двоточковим збудженням виявлено [8]:

рамковий випромінювач з двоточковим рівноамплітудним збудженням дозволяє сформувати кардіоїдну ДН з глибоким провалом у зворотному напрямі (максимальним КЗД – $\kappa_{обр}$) і з близькими значеннями ширини головного пелюстка ДН ($2\Delta\theta_{-3дБ}, 2\Delta\varphi_{-3дБ}$) в основних ортогональних площинах (рис. 6, де цифрами позначені частоти збудження в МГц);

зміна фазового зсуву збуджуючих ЕРС від $\pi/2$ у бік збільшення (зменшення) призводить до зміщення частот режиму з кардіоїдною ДС в низькочастотну (високочастотну) область;

отримана залежність різниці фаз збуджуючих ЕРС і частот, на яких відбувається формування кардіоїдної ДС;

сформульований принцип формування рамкової антени з двоточковим збудженням ДС кардіоїдної форми, що полягає у вирахуванні полів, що створюються елементами антени;

згідно зі сформульованим принципом виявлено еквівалентне здовжування рамкового випромінювача більш ніж в 2 рази, а це, у свою чергу, спрощує практичну реалізацію пристрою збудження;

максимальний КНД антени дорівнює 3,0 (4,77 дБі);

незначне стиснення рамкового випромінювача в поздовжньому або поперечному напрямі (додання рамковому випромінювачу форми еліпса) не призводить до істотної зміни його спрямованих властивостей, що дуже принципово при експлуатації даної антени, зокрема на рухомому об'єкті;

при рівноамплітудному збудженні рамкового випромінювача в двох протилежних точках рівень активної складової вхідного опору антени підвищується, межі зміни вхідного опору антени істотно зменшуються, що дозволяє забезпечити широкодіапазонне узгодження антени (в межах декади) за малих її габаритних розмірів (див. рис. 5).

Експериментальний макет антени представляє собою несиметричний рамковий випромінювач з двоточковим збудженням (рис. 7) [9].

Випромінювач розташовується над плоским провідним екраном, що моделює форму об'єкта-носія, точки збудження знаходяться у площині екрану.

Габаритні розміри випромінювача зазначені на рис. 7.

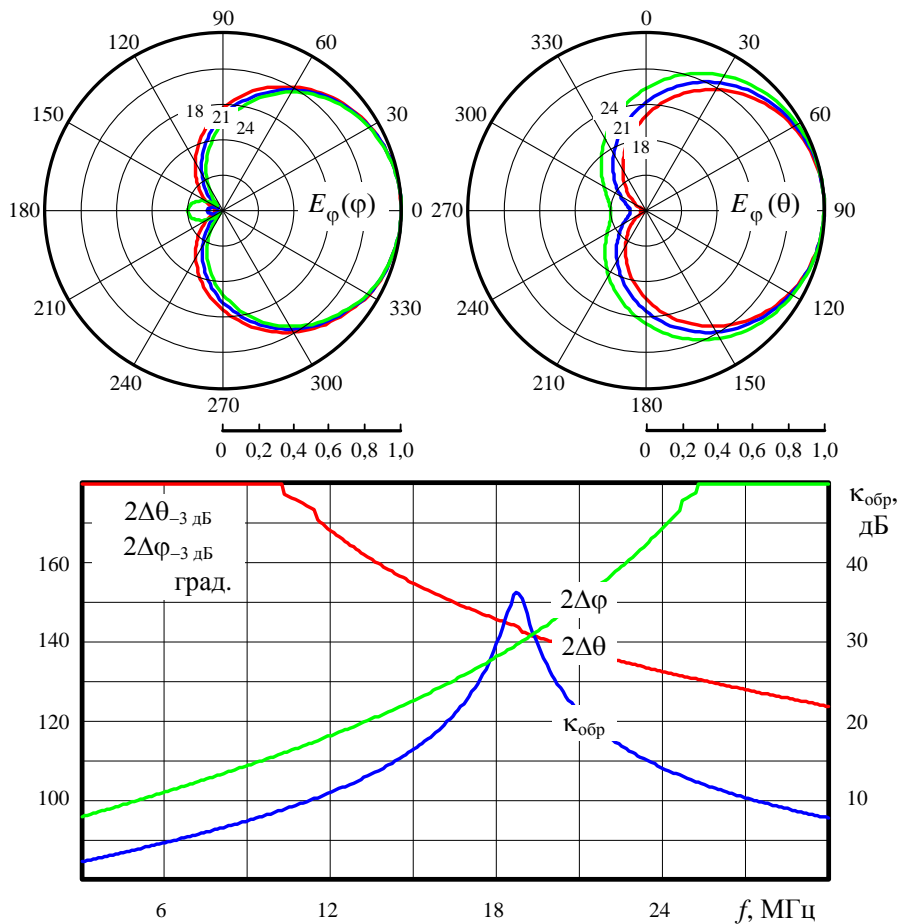


Рис. 6. ДН еліптичної рамкової антени з двоточковим збудженням і параметри ДН

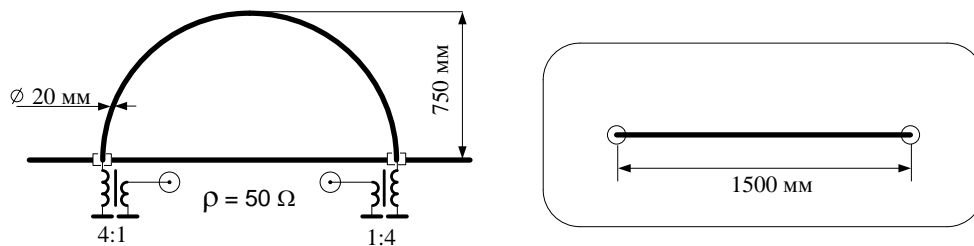


Рис. 7. Схема макета антени

Під час дослідження проведені відповідні вимірювання та подальший розрахунок вхідного опору антени за її довільного амплітудно-фазового збудження. Кращий результат, який був обраний за критерієм найменшої зміни вхідного опору в широкій смузі частот за достатнього рівня його активної складової для можливості узгодження антени зі стандартним фідером та отриманий при двоточковому рівноамплітудному квадратурному збудженні (рис. 7).

В ході досліджень підтверджено [9], що при рівноамплітудному квадратурному збудженні рамкового випромінювача в двох протилежних точках рівень активної складової вхідного опору антени підвищується, межі зміни вхідного опору антени істотно зменшуються, що дозволяє забезпечити широкодіапазонне узгодження антени за малих її габаритних розмірів.

Характеристики направленості антени близькі до вигляду кардіоїди. Відмінності

результатів теоретичних і експериментальних досліджень обумовлені обмеженими розмірами й умовами проведення експерименту.

Висновки

Таким чином, запропонована у роботах [6 – 9] еліптична рамкова антена з двоточковим збудженням, що представляє собою малогабаритний випромінювач у вигляді рамкової антени з двоточковим збудженням, формує кардіоїдну форму ДС і зберігає в широкому діапазоні частот вхідний опір. За масо-габаритними характеристиками та характеристиками направленості випромінювання вона може використовуватися для забезпечення короткохвильового радіозв'язку іоносферною хвилею у русі.

Напрямок подальших досліджень може бути виготовлення експериментальних зразків та проведення практичних випробувань із вимірюванням реальних дальностей зв'язку та значень основних параметрів антени.

ЛІТЕРАТУРА

1. Гурський Т.Г. Підвищення ефективності використання КХ радіозв'язку в Збройних силах України / Т.Г. Гурський, М.Д. Ільїнов, М.Ю. Єсаулов // Збірник тез доповідей XI науково-практичної конференції ВІТІ „Пріоритетні напрямки розвитку телекомунікаційних систем та мереж спеціального призначення. Застосування підрозділів, комплексів, засобів зв'язку та автоматизації в АТО”. – 2016. – С. 27 – 33.
2. Дзюба В. М. Командно-штабная машина Р-142Н: Учебное пособие / В. М. Дзюба, В. П. Коржов. – К.: КВИУС, 1987. – 64 с.
3. Лінії радіозв'язку та антенні пристрої. Навчальний посібник / [М.Д. Ільїнов, Т.Г. Гурський, І.В. Борисов, К.М. Гриценко]. – К.: ВІТІ, 2018. – 268 с.
4. Гряник М. В. Распространение радиоволн. Учебное пособие / М. В. Гряник, В. И. Ломан. – К.: КВВИУС, 1989. – 382 с.
5. Офіційний сайт Harris. Режим доступу: https://www.harris.com/sites/default/files/rf-3134-at003-5_web_tcm26-19129.pdf.
6. Проценко М.Б. Волновое сопротивление рамочной антенны эллиптической формы / М.Б. Проценко, Н.И. Мамедов // Наукові праці ОНАЗ ім. О. С. Попова. – Одеса. – № 1. – 2007. – С. 6 – 11.
7. Проценко М.Б. Входное сопротивление рамочной антенны с двухточечным возбуждением / М.Б. Проценко, Н.И. Мамедов // Вестник СевГТУ. Вып. 93: Информатика, электроника, связь: Сб. науч. тр./ Севастоп. нац. тех. ун-т. – Севастополь, 2008. – С. 101 – 105.
8. Проценко М.Б. Анализ направленных свойств двухвходовой рамочной антенны / М.Б. Проценко, Н.И. Мамедов // Наукові праці ОНАЗ ім. О. С. Попова. – Одеса. – № 1. – 2010. – С. 11 – 19.
9. Мамедов Н. І. Широкодіапазонна антенна система для рухомих об'єктів КХ радіозв'язку: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: 05.12.07 / ОНАЗ ім. О. С. Попова. Одеса, 2010. – 20 с.