

ШИРОКОСМУГОВИЙ СИМЕТРИЧНИЙ ВІБРАТОР

В даній роботі розглянуто технічне рішення по компоновці УКХ антени з ненаправленим випромінюванням у азимутальній площині і вертикальній поляризації випромінюючого поля. Антена призначена для роботи у складі базової станції транкінгового зв'язку і має мінімальний антенний ефект.

Ільїнов М.Д., Остапук О.І., Власенко І.О. Широкополосний симетричний вибратор. В данній работе рассматривается техническое решение по компоновке УКВ антенны с ненаправленным излучением в азимутальной плоскости и вертикальной поляризацией излучаемого поля. Антенна предназначена для работы в составе базовой транкинговой связи и имеет минимальный антенный эффект.

M. Ilienov, O. Ostapchuk, I. Vlasenko Broad band symmetric vibrator. In this paper, a solution linking VHF antenna with omnidirectional radiation in the azimuthal plane and vertical polarization of the radiating field. The antenna is intended for operation in the base station and trunking communication has a minimal antenna effect.

Ключові слова: антенний ефект, запираючий циліндр, вхідний опір антени, компенсуючий елемент, базова станція.

Постановка завдання. Антенний пристрій базових станцій систем мобільного радіозв'язку є найважливішим елементом системи в цілому, який визначає її тактико-технічні можливості. Специфічними вимогами до антенних пристроїв базових станцій є забезпечення заданих їй зовнішніх характеристик і у першу чергу розподіл поля випромінювання в просторі, яке повинне не тільки забезпечувати енергетичний потенціал радіолінії, а й функціональні можливості систем мобільного радіозв'язку. Іншою вимогою до антен базових станцій є їх діапазонні властивості, під якими слід розуміти збереження базових параметрів антен у робочій смузі частот. Тому питання, пов'язані з розробкою нових технічних рішень з компоновки антенних пристроїв базових станцій, модернізації вже існуючих, які реалізовані в діючих системах мобільного радіозв'язку, направлені на покращення їх внутрішніх характеристик, підвищення ефективності, що є актуальними і мають практичну направленість.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

В технічній літературі по антенній техніці [1], [2] достатньо детально викладено питання про антени базових станцій систем мобільного радіозв'язку, який дозволяє проаналізувати питання про стан їх розробки, експлуатацію, напрямок їх подальшого розвитку.

Найбільш широкого поширення в якості антен базових станцій отримали вертикальні несиметричні вібратори (АШ-н) з довжиною провідника $h = \left(\frac{\lambda}{4} \dots \frac{\lambda}{8} \right) \lambda$, де λ – довжина хвилі робочого діапазону. Такі антени забезпечують неспрямоване випромінювання в азимутальній площині, порівняно прості у виготовленні, потребують відносно малих затрат. Одним з недоліків таких антен є обмежений їх коефіцієнт підсилення, що негативно відображається на енергетичному потенціалі радіолінії.

Логічним етапом модернізації штиркових випромінювачів, спрямованих на виключення їх головного недоліку, стало створення колінеарних антен. Основними елементами таких антен є розташовані на одній осі та синфазно збуджені випромінюючі елементи та фазозсуваючий вузол, який може бути реалізований у вигляді короткозамкненого відрізка двопроводової лінії, індуктивного дроселя і т.ін. До недоліків колінеарних антен можна віднести: мала механічна міцність (за виключенням коаксіальних колінеарних антен); вузький діапазон робочих частот за вхідним опором; складність налаштування антени на етапі її розробки. Вказані недоліки колінеарних антен в деякій мірі обмежують їх використання [2].

Найбільш широкі функціональні можливості в плані формування заданих характеристик направленості в азимутальній площині можуть забезпечити антенні решітки (АР), які виконані у вигляді симетричного вібратора над циліндричною поверхнею (трубою), або над плоским екраном (панельні антени). Зовнішні характеристики таких антен визначаються наступними параметрами: співвідношенням a/λ , де a – радіус циліндра; співвідношенням h/λ де h – відстань випромінювача до циліндричної поверхні; типом елемента, який випромінює.

У верхній частині дециметрового діапазону довжин хвиль реалізація антенних решіток з випромінюючим елементом у вигляді вібратора над циліндричною поверхнею ускладнена, перш за все, при виготовленні конструкції антени, тому доцільно вібраторні антенні решітки створювати на випромінювачах у вигляді симетричного вібратора над плоским екраном, так звані „панельні антени”. Такі антени широко застосовуються та успішно експлуатуються різними операторами стільникового зв’язку.

При всіх перевагах вібраторних антен для базових станцій систем мобільного зв’язку, особливо метрового діапазону та нижньої частини дециметрового, котрі виконані на основі вібратора над циліндричною поверхнею, необхідно зауважити й низку їх суттєвих недоліків. По-перше: високі масогабаритні показники; по-друге: обмеження за формуванням потрібних ХН в азимутальній площині; по-третє: уразливість антенної системи до зовнішнього впливу навколишнього середовища; по-четверте: висока металоємність антени.

В підсумку вказані недоліки, які призводять до високих матеріальних витрат при виготовленні, що в свою чергу спонукає до пошуку нових технічних рішень при розробці антенних пристроїв базових станцій для систем зв’язку з рухомими об’єктами. [3]

Досвід експлуатації систем мобільного радіозв’язку, особливо у нижніх ланках управління Збройних Сил України при проведенні антитерористичної операції у східних областях, наглядно показує, що для організації радіозв’язку у короткохвильових і ультракороткохвильових діапазонах найбільш широке поширення в якості антени, отримуємо вертикальний несиметричний вібратор (АШ- h), де h – висота випромінюючого провідника. Простота конструкції, ненаправлене випромінювання в азимутальній площині, вертикальна поляризація, надійність роботи в повній мірі відповідає вимогам пред’явлених до антен, які знайшли широке застосування в якості антен базових станцій систем мобільного радіозв’язку [4].

Тим не менше такі антени (АШ- h і його модифікації, наприклад, колінеарні антени) мають ряд суттєвих недоліків. По-перше, обмеженість смуг робочих частот по вхідному опору, по-друге, ряд недоліків причиною яких є відсутність повноцінного екрана над яким повинна розміщатися антена. Дійсно, в більшості випадків, в якості екрана виступає корпус радіостанції, корпус рухомого об’єкта, протывага, якщо АШ- h розміщується на мачті. Обмежені розміри екрана призводять до зміни не тільки внутрішніх характеристик антени, наприклад, Z_A – вхідного опору антени, але і зовнішніх, у тому числі орієнтацію максимуму характеристики направленості вздовж поверхні землі.

При розміщенні АШ- h на щоглі з метою зменшення впливу підстилаючої поверхні (Землі) в якості екрана виступають різноманітні за конструкцією протываги обмеження по геометричних розмірах. Наявність протываг не дозволяє виключити таке негативне явище у антенній техніці, як „антенний ефект” фідера. Сукупність обмеженого розміру екрана (протываги) і „антенного ефекту” фідеру призводить, крім перерахованого, до зміни характеристик випромінювача до збільшення втрат у фідері, а відповідно до зменшення η_A – коефіцієнта корисної дії антено-фідерної системи в целом. Викривлення діаграми направленості, зміна комплексного вхідного опору антен, зменшення коефіцієнта корисної дії антено-фідерного пристрою в кінцевому підсумку знижує енергетичний потенціал радіолінії, а відповідно і якість та дальність радіозв’язку.

Існує ряд технічних рішень, які дозволяють в деякому ступені зменшити ці негативні фактори, а саме [5]: включення ізолятора в точці підключення фідера; дроблення зовнішньої

поверхні ізоляторами (запираючі циліндри, дроселі, петлі кабелю); використання поглиначів (феритові кільця); підбір нерезонансної довжини фідера.

Метою роботи є: розробка технічного рішення по компоновці вертикального симетричного вібратора коаксіального типу, призначеного для роботи у широкій полосі робочих частот і зменшення антенного ефекту у фідерній коаксіальній антені.

Основна частина.

Пропонується технічне рішення по компоновці антен з ненаправленим випромінюванням в азимутальній площині для роботи у широкій смузі частот з вертикальною поляризацією випромінюючого поля і зменшеним антенним ефектом фідера.

Відомий ряд технічних рішень, які достатньо широко висвітлені в технічній літературі по антенній техніці, які дозволяють розширити полосу робочих частин по входному опорі вібраторних антен. Одне з них – зменшення ρ_a – хвильового опору антени, прикладом

реалізації якого є широковідома короткохвильова антена – ВГД $\frac{2 \times \ell}{h}$ – або диполь Надененко.

Другим відомим рішенням проблеми діапазонних властивостей у вібраторних антенах є змінення розподілу хвильового опору вздовж плечей вібратора. Реалізація цього принципу демонструється конічними вібраторами, експотенціальними, неоднорідними вібраторами і т.п. Загальним недоліком реалізації цих технічних рішень зі збільшення діапазонних властивостей вібраторних антен пов'язаний з погіршенням масо-габаритних характеристик, що неприйнятно для антен, які припускається використовувати в нижніх ланках управління.

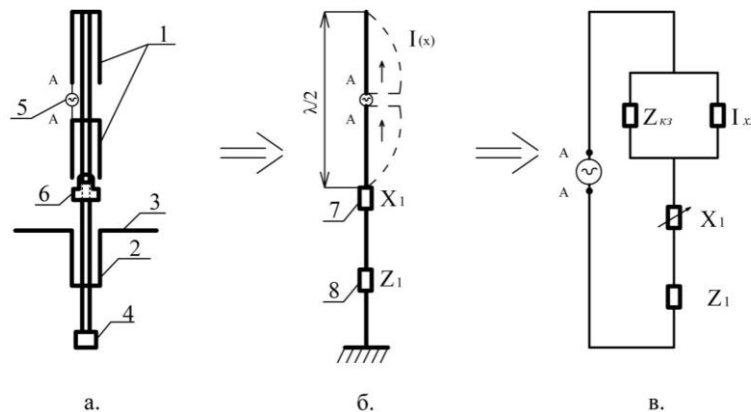


Рис.1. Ширококугловий коаксіальний симетричний вібратор

Пропонована компоновка антен виконана у вигляді коаксіального симетричного вібратора, конструкція якої показана на рис.1, тут введені наступні позначення:

1 – плечі вібратора; 2 – запираючий циліндр; 3 – радіальна противага; 4 – високочастотний роз'єм; 5 – входні клеми антени; 6 – елемент настройки, 7 – реактивний опір запираючого циліндра; 8 – опір зовнішньої оболонки коаксіальної лінії.

Живлення антени здійснюється радіочастотним коаксіальним кабелем РК-50-d-N1N2 через високочастотний роз'єм (4). Верхнє і нижнє плечі вібратор окремо своїх прямих функцій виконують: верхнє – роль частотного компенсатора; нижнє – запираючого циліндра.

З метою підвищення ефективності антени, за цим зменшення антенного ефекту, вводиться в конструкцію антени додатковий запираючий циліндр (2) з радіальною противагою (3), що розширюється на відстані $0,15 \lambda$ від нижнього краю симетричного вібратора, де λ – довжина хвилі. Таким чином антена має два запираючих циліндра, рознесених по осі вібратора. В сукупності з радіальною противагою така конструкція дозволяє істотно зменшити антенний ефект.

Збільшення робочого діапазону забезпечується частотним компенсатором і елементом налаштування (6), виконаного у вигляді ємності між нижнім плечем вібратора і зовнішнім провідником фідера.

Принцип роботи частотного компенсатора зображений на еквівалентній схемі модефікованого коаксіального симетричного вібратора (рис.1.в). Частотна компенсація реактивної складової вхідного опору антени здійснюється за рахунок паралельного ввімкнення двох чвертьхвильових ліній розімкнутої (симетричний вібратор) і замкнутої (внутрішня поверхня коаксіальної лінії) на кінцях.

Вхідна провідність антени в точці підключення коаксіального кабелю (вхідні клеми антени А-А) у цьому випадку визначається виразом:

$$Y_{\text{вв}} = \frac{1}{R_A - j\rho_a \operatorname{tg}kl} + \frac{1}{j\rho_k \operatorname{tg}kl}, \quad (1)$$

де: ρ_a – хвильовий опір симетричного вібратора;

ρ_k – хвильовий опір частотного компенсатора.

Перетворюючи вираз (1) можна записати, що $Z_{\text{вх}}$ – вхідний опір антени у цьому випадку буде дорівнювати

$$Z_{\text{вх}} = \frac{1}{Y_{\text{вв}}} = \frac{R_A^2 + \left[\frac{\rho_A}{R_A^2} - \frac{1}{\rho_k} \right]^2 \operatorname{tg}^2 kl}{R_A} - j \frac{\left[\frac{\rho_A}{R_A^2} - \frac{1}{\rho_k} \right] \operatorname{ctg}kl}{1}, \quad (2)$$

$$R_A^2 + \left[\frac{\rho_A}{R_A^2} - \frac{1}{\rho_k} \right]^2 \operatorname{ctg}^2 kl$$

де: R_A – активна складова вхідного опору антени; l – довжина плеча антени.

З виразу (2) можна показати, що для повної компенсації реактивної складової вхідного опору антени при невеликій розстройці частоти необхідно виконати умову

$$\rho_k = \frac{R_A^2}{\rho_A}, \quad (3)$$

При виконанні умови (3) вхідний опір антени ($Z_{\text{вх}}$) буде чисто антенним і рівне R_A . При довжині плеча симетричного вібратора, що дорівнює $\lambda/4$, де: λ – довжина хвилі, величина R_A буде рівна приблизно 75 [Ом]. Умова (3) по вибору хвильового опору частотного компенсатора достатньо легко реалізується на коаксіальній лінії.

Для додаткового розширення діапазону робочих частот по вхідному опору Z_A в конструкцію антени вводиться короткозамкнена втулка (6), регулюється зв'язок антени з зовнішньою поверхньою фідера (8), роль якого виконує внутрішня труба антени. Цей додатковий елемент дозволяє у 2 рази збільшити смугу робочих частот по вхідному опору.

Додатковий запираючий циліндр з радіальною противагою забезпечує зниження антенного ефекту фідера. Ефективність роботи цього елемента визначається його вхідним опором ($R_{\text{вх}}$), який визначається відношенням

$$R_{\text{вх}} = \frac{8.32 \times 10^4 \times b \times (\ln b/a)^2 \sqrt{\delta}}{(1+b/a) \times \sqrt{\lambda}}, \quad (4)$$

де a, b – поперечні розрізи коаксіальної лінії; δ – удільна провідність матеріалу.

Вираз (4) дозволяє зробити важливий висновок: чим більший поперечний переріз запираючого циліндра, тим вище його вхідний опір, і як наслідок, менше затікання струмів на зовнішній провідник коаксіального фідера. Зменшення розмірів запираючого циліндра досягається за рахунок введення високочастотного діелектрика у об'єм коаксіального, закороченого відрізка.

Представлене технічне рішення по компоновці ширококутового симетричного вібратора має ще одну перевагу, а саме – підвищений коефіцієнт підсилення у порівнянні з класичним симетричним вібратором у вільному просторі. Це досягається за рахунок введення радіальних противаг, які розміщуються на віддаленні $0,15\lambda$ від вібратора. У відповідності до теорії антенних решіток таке розміщення відповідає оптимальному рознесенню двох випромінювачів (коаксіальний вібратор і його дзеркальне відображення над екраном) по критерію максимального коефіцієнта підсилення. Коефіцієнт підсилення можна збільшити до 4 дБі, якщо плечі вібратора збільшити до половини довжини хвилі, тобто перейти на хвильовий коаксіальний вібратор.

Таким чином, сукупність додаткового ізолятора у вигляді запираючого циліндра, радіальних противаг, елемента перебудови вхідного опору дозволяє позбавитись від „антенного ефекта” фідера, розширити діапазонні властивості антени, збільшити коефіцієнт підсилення, що особливо важливо при роботі базових станцій або ретрансляторів на рознесення антен по куту місця, а також знизити станційні завади своїм радіостанціям.

Висновок.

Напівхвильовий вертикальний симетричний вібратор коаксіального типу може бути використаний в якості ефективної антени базової станції різноманітних систем мобільного радіозв'язку, що дозволяє формувати ненаправлене поле випромінювання у азимутальній площині з вертикальною поляризацією. При роботі антени в діапазоні $2\Delta f = 136...174$ [МГц], її геометричні розміри дорівнюватимуть $L \times W = 1650 \times 1000$.

Основними напрямками подальших досліджень є наступні:

розробка ширококутового симетричного вібратора і дослідження його внутрішніх і зовнішніх характеристик;

змінення технічних рішень по зменшенню металоємності ширококутового вібратора;

розробка технічних рішень по компоновці ширококутових антен для базових станцій з можливістю формування розподілу поля в азимутальній площині заданої конфігурації.

ЛІТЕРАТУРА

1. Бузов А.Л. Антенно-фидерные устройства базовых станций подвижной связи: основные требования и проблемы проектирования / Бузов А.Л., Козанський Л.С., Романов В.А., Сподобаев Ю.М. // Мобильные системы. 1998. – № 1. – С. 12 – 16.
2. Ільїнов М.Д. Антена базової станції з секторною діаграмою направленості в азимутальній площині / Ільїнов М.Д., Мацаєнко А.Н., Шацький І.О. // Збірник наукових праць ВІТІ НТУУ „КПІ”. – Київ, 2010. – № 1. – С. 5.
3. Ільїнов М.Д. Результати експериментального дослідження електричних характеристик низько профільних антен на циліндричній поверхні / Ільїнов М.Д., Шафранський О.П., Шацький І.О., // К.: V науково-практичний семінар (доповіді та тези доповідей) ВІТІ НТУУ „КПІ”, 2009. – 315 с.
4. Войтович Н.И. и др. УКВ вибраторные антенны. Учебное пособие. // Челябинск: изд. ЮУрГУ – 2002. – 85с.
5. Грехихин А.И. и др. Антенный эффект фидера. // М.: ж. Радио – № 12 – 2000. – № 1, № 3. – 2001.