

АНАЛІЗ ВИМОГ, ПРЕД'ЯВЛЕНИХ ДО ПАРАМЕТРІВ АНТЕН З НЕЗАЛЕЖНИМИ ДІАГРАМАМИ НАПРАВЛЕНОСТІ.

Аналіз вимог, пред'явлених до параметрів антен з незалежними діаграмами направленості

Аналіз вимог, пред'явлених до параметрів антен з незалежними діаграмами направленості

У статті досліджуються вимоги до параметрів антенних решіток з високим коефіцієнтом спрямованої дії і діаграми спрямованості з невеликим рівнем бічних пелюстків.

Ключові слова: фазування антенних решіток, адаптація, діаграма спрямованості.

Вступ

Постановка проблеми. На сучасному етапі розвитку радіоцентрів використовують багатофункціональні антенні системи з незалежними електрично-керованими діаграмами, які досить перспективні для прийомних радіоцентрів.

Аналіз літератури. З метою високої перешкодозахищеності прийому, антена повинна мати високий коефіцієнт спрямованої дії з невеликим рівнем бічних пелюстків, а також повинна забезпечити прийом сигналів у секторі кутів місця від 5° до 20-25°, відповідним кутам приходу радіохвиль при дальності зв'язку понад дві тисячі кілометрів [1,2,3,4]. Повинна бути забезпечена можливість електричного керування променями й одночасним формуванням віяла незалежних діаграм направленості, що перекриває необхідний сектор по куті місця й азимуту, і пересічних приблизно на рівні половинної потужності.

Мета статті. Метою статті є розгляд принципів створення високоефективних фазоутворюючих антенних решіток, що мають високий коефіцієнт наведеної дії в широкому діапазоні

Основний матеріал

1. Основні визначення

Багатофункціональні антенні системи з незалежними електрично-керованими діаграмами досить перспективні для КВ прийомних радіоцентрів [3].

Антени, які застосовуються на сучасних прийомних радіоцентрах, мають практично некеровані діаграми спрямованості, низький коефіцієнт спрямованої дії під малими кутами й жадає від реалізації рознесеного прийому більших площ.

Разом з тим є принципова можливість створення високоефективних фазоутворюючих антенних решіток, що мають високий коефіцієнт

наведеної дії в широкому діапазоні під різними кутами.

До параметрів подібних антен пред'являється наступні основні вимоги:

1. З метою високої перешкодозахищеності прийому, антена повинна мати високий коефіцієнт спрямованої дії й діаграми спрямованості з невеликим рівнем бічних пелюстків.

Внаслідок адаптації амплітудно-фазовий розподіл на поверхні фазоутворюючих антенних решіток міняється в такий спосіб, щоб істотно послабити прийом з напрямків джерел перешкод шляхом утворення нулів і провалів діаграми спрямованості, зберігши при цьому достатній рівень корисного сигналу в напрямку головного пелюстка діаграми спрямованості [1].

Звичайно при адаптації в кожному каналі змінюються коефіцієнти підсилення й зрушення фаз (амплітудно-фазова адаптація) або тільки зрушення фаз (фазова адаптація). При амплітудно-фазовій адаптації кожний канал розщеплюється на два квадратурних (зі зрушенням фаз на $\Pi/2$) і в кожному під каналі включається електронно-керований підсилювач із коефіцієнтом підсилення, що міняється від -1 до +1. У такий спосіб можна міняти амплітуду сигналу від 0 до $\sqrt{2}$ і фазу від 0 до 2Π . При фазовій адаптації в кожному каналі застосовується керований фазообертач. Адаптивні антенні решітки можна сконструювати таким чином, щоб вони крім автоматичного придушення перешкод у просторовій і частотній областях, по поляризації могли виконувати, й само фокусувати в напрямку прийнятого сигналу, перевипромінювати у зворотному напрямку.

Адаптивні антенні решітки представляють сукупність антенних елементів і адаптивного пристрою прийнятих сигналів. Пристрій обробки здійснює вибір сигналів на виході елементів антенних решіток, потім автоматичне регулювання вагових коефіцієнтів елементів з метою максимізації відносин сигнал / шум, або мінімізації сигналу

помилки, обумовленою різницею вихідного сигналу решіток й опорний сигнал, створюваного допоміжними генераторами.

Регулювання ваг виробляється за допомогою спеціальних пристроїв, що зважують, утримуючі фазообертачі й підсилювачі, керовані адаптивним процесором, або окремими ланцюгами зворотного зв'язку.

Пристрої, що зважують, періодично змінюють амплітуди й фази сигналів на виходах елементів антенних решіток. Адаптивне керування ваговими коефіцієнтами здійснюється, виходячи з кореляційних зв'язків сигналів, прийнятих від різних елементів решітки, тобто на основі використання взаємо-коваріаційної матриці набору вхідних сигналів системи. Виробіток адаптивних вагових коефіцієнтів може бути здійснена різними способами. Один із цих способів складається в застосуванні адаптивної петлі зворотного зв'язку. Інший спосіб заснований на розрахунку вагових коефіцієнтів із застосуванням коваріаційної матриці [1,3].

Класично адаптивні антенні решітки засновані на підсумовуванні зважених сигналів з виходів N елементів антенних решіток. Корисний сигнал у кожному каналі представлений величиною, пропорційно комплексним числам S_k й дорівнює αS_k , де визначає рівень і тимчасову зміну сигналу. Так, у лінійних евідистанційних антенних решіток:

$$S_k = \exp \left[-i \frac{2\pi}{\lambda} d(k-1) \sin \theta_0 \right],$$

(1)

де θ_0 - напрямлення приходу корисного сигналу. Кожний з каналів містить також шумову складову E_k , обумовлену шумами приймача й просторовим розподілом джерел перешкод. Проблема полягає в тому, щоб вибрати також вагові коефіцієнти, при яких забезпечується максимальне відношення сигнал/шум на виході адаптивної системи. У теорії адаптивних антенних решіток перебувають оптимальні ваги згідно вираження:

$$W = \mu M^{-1} S^* \quad (2)$$

де μ - довільна постійна, що має розмірність потужності;

M - коваріаційна матриця вектора напруг і шумів на виході елементів антенної решітки:

$$M = E^* E^T$$

$W; S; E$ - матриці-стовпці ваг сигналів і шумів відповідно (знак * означає комплексне сполучення, а знак T - транспонування).

Таким чином, функціональна схема повинна містити загальний для всіх каналів блок у якому здійснюється обчислення коваріаційної матриці, і її

обіг і перемножування з матрицею сигналу. Кожний із блоків зважування управляється цим загальним блоком індивідуально.

Іншим варіантом адаптивної антенної решітки є система із придушенням бічних пелюстків. Вона містить основну антену з більшим посиленням, спрямовану на корисний сигнал (вихід її позначений через канал 0) і до допоміжних антен. Посилення кожної з допоміжних антен розраховано так, щоб повторювати середній рівень бічних пелюстків діаграми спрямованості основної антени. Величина корисного сигналу прийнятого допоміжними антенами, дуже мала за порівнянням з рівнем сигналу в основному каналі. Таким чином, призначення допоміжних антен складається в створенні копій сигналу, що зважає, у бічних пелюстках основної діаграми спрямованості з метою їхнього придушення.

Корисний сигнал присутній практично лише в каналі основної антени, його можна представити у вигляді матриці-стовпця T , у якій перший елемент дорівнює 1, а інші - 0. Вагові коефіцієнти перебувають у цьому випадку відповідно до закону керування:

$$\omega_1 = \mu M_1^{-1} T \quad (3).$$

У результаті на виході адаптивних решіток забезпечується максимальні відносини сигнал/шум у каналі основних антен. Сигнал від кожного елемента проходить пристрої, що зважують. Потім сигнали із всіх каналів додаються, створюючи вихідний сигнал:

$$Y = \sum_{i=1} x_i w_i = XW^T$$

(4)

Щоб зробити адаптивні решітки, Y порівнюють із опорним сигналом Y_0 , або сигнал помилка $E(t)$ подається на вхід системи зворотного зв'язку, що регулює комплексні ваги ω_i . Регулювання вагових коефіцієнтів системою зворотного зв'язку здійснюється таким чином, щоб зменшити основні вимоги:

$$\bar{E}^2(t) = [\bar{Y} - Y_0]^2 = Y_0^2 - 2W^T X Y_0 + W^T R_{xx} W,$$

(5)

де $R_{xx} = [x_i x_k]$ коваріаційна матриця вектора прийнятих сигналів. При цьому вхідний сигнал Y наближається, настільки це можливо по середньоквадратичному критерію до необхідного сигналу Y_0 . Отже, будь-який прийнятий сигнал, не представлений у вигляді Y_0 , сприймається як сигнал помилки, і система зворотного зв'язку регулює ваги так, щоб усунути його у вихідного сигналу. У результаті на напрямку приходу цього сигналу встановлюється 0 діаграми спрямованості антени.

Якщо ж прийнятий сигнал представлений в Y_0 , система зворотного зв'язку зберігає його у вихідному сигналі з такою ж амплітудою й фазою, як і в Y_0 . Таким чином, за допомогою опорного сигналу можна розрізнити корисні й шкідливі сигнали.

Очевидно, що мінімум середньоквадратичної помилки буде досягнутий при векторі W_{opt} , коли:

$$\bar{v}E^2 = \frac{dE^2}{dW_{opt}} = 2R_{xx}W - 2XY_0 = 0 \quad (6)$$

Звідки:

$$W_{opt} = R^{-1}xxXY_0 \quad (7)$$

При таких вагових коефіцієнтах адаптивні антенні решітки забезпечують оптимальну фільтрацію. Реалізувати завдання оптимізації ваг можна різними шляхами, наприклад за допомогою різновиду градієнтного алгоритму.

2. Антена повинна забезпечити прийом сигналів у секторі кутів місця від 5° до $20-25^\circ$, відповідним кутам приходу радіохвиль при дальності зв'язку понад дві тисячі кілометрів [4].

Для одержання малих кутів притиснення променя до обр'ю (до 5) при забезпеченні простоти конструкції всієї системи доцільно використовувати горизонтальне розташування вертикальних несиметричних вібраторів з випромінюванням близьких до осьового. Незважаючи на те, що довжина горизонтальної антени повинна бути досить велика (приблизно 1-2 км.), її конструкція буде набагато простіша й менш громіздка в порівнянні із системою розвинутої у висоту.

В основу побудови горизонтальних антенних систем, що забезпечують прийом сигналів від 5° до $20-25^\circ$ варто покласти лінійні антенні решітки. Така лінійка вібраторів при випромінюванні, близькому до осьового має порівняно слабо-залежну від довжини хвилі ширину променя й відрізняється високою стійкістю параметрів стосовно відмов складових її випромінювачів.

3. Повинна бути забезпечена робота при будь-яких азимутах приходящих сигналів.

Для виконання цієї вимоги, що забезпечує ефективну роботу при будь-яких азимутах приходящих сигналів у всьому секторі $0-360^\circ$ доцільно мати систему, яка складається із трьох лінійних горизонтальних ґрат, що перетинаються по кутах 60° . При цьому кожна лінійка працює в секторах азимутальних кутів: $\pm 30^\circ$ і $180^\circ \pm 30^\circ$. При використанні двомірних решіток значно б зріс коефіцієнт спрямованої дії за рахунок підвищення спрямованості у двох площинах, але це було б пов'язане з істотним ускладненням системи в цілому.

4. Повинна бути забезпечена можливість електричного керування променями й одночасним формуванням віяла незалежних діаграм направленості, що перекриває необхідний сектор по куті місця й азимуту, і пересічних приблизно на рівні половинної потужності. Для керування променем можуть бути використані, як фазові системи, так і метод тимчасового керування, при якому забезпечуються необхідні тимчасові затримки сигналів у всіх антенних елементах.

Тимчасове керування променем має дві істотних переваги перед фазовим: антена стає принципово широкодіапазонною й сильно спрощується програма керування променем. Основний недолік тимчасової системи (її складність) знімається при використанні двоїно дискретного поверхового методу фазирования.

Відповідно до цього методу система керування променем складаються з декількох поверхів, на прикладі 24-елементних решіток. У кожному поверсі (I, II, III) установлюються пристрої зі змінною тимчасовою затримкою (пристрій тимчасової затримки), об'єднуюче невелике число елементів. Число положень пристроїв тимчасової затримки в першому поверсі робиться мінімальним, тому що ширина променя групи елементів, поєднаних таким пристроєм затримки невелика. Зі збільшенням номера поверху пристрою тимчасової затримки ускладнюються, але лише в самому останньому поверсі, де є тільки один пристрій тимчасової затримки, число положень тимчасової затримки, дорівнює необхідній кількості положень антени. При такій структурі системи фазування основна кількість пристроїв тимчасової затримки визначається першими поверхами, де число положень променя невелике.

Для оптимізації окремого пристрою тимчасової затримки, тимчасова затримка в ньому змінюється по двійковому принципі: n – елементів затримки пристроїв тимчасової затримки при їхній комутації дають 2^n значень тимчасової затримки. Як елементи затримки доцільно використовувати відрізки високочастотного кабелю. При цьому виходить широкий діапазон частот при дуже малих внутрішніх відбиттях. Комутуючими елементами можуть бути реле, а при високій швидкості сканування променя використовуються діоди. Для трансформації опорів в антенних трактах і для додавання сигналів на виходах пристроїв тимчасової затримки використовуються широко стрічкові трансформатори й гібридні пристрої з високою взаємною розв'язкою виходів, побудовані на основі мініатюрного автотрансформатора.

Завдяки використанню гібридних суматорів вдається практично повністю усунути відбиття сигналів в антені й цим забезпечити високу точність її характеристик навіть при помітній неузгодженості вібраторів через взаємний вплив.

Розглянуті 24-вібраторні групи (секції) можуть бути використані в основі побудованих антенних

систем з тимчасовим способом формування багатопроменевої діаграми спрямованості. У відмінності від матричної при тимчасовій схемі положення променів у принципі не залежить від частоти. Тому вона використовується в тих випадках, коли неприпустимо навіть невеликий зсув променів при переході із частоти на частоту

При тимчасовому способі формування діаграми спрямованості M незалежних променів сигналу кожної з N секцій розділяється P на M рівних частин і далі подається на схеми $\Phi_1, \Phi_2, \dots, \Phi_M$ із відповідними затримками для кожного променя. При цьому мають місце втрати потужності сигналу в M раз, що є недоліком тимчасових схем.

Для приклада антени з тимчасовим променем, що складається з восьми 24-вібраторних груп з розносом сусідніх вібраторів на 7.2м. фазування кожної секції виробляється трьома етапами. Пристрій тимчасової затримки першого поверху забезпечує два положення променя, інші - 16 положень. При цьому вісім положень променя перекривають азимутом $\pm 30^\circ$, інші вісім - $180^\circ \pm 30^\circ$. Сигнали від кожної секції фазуються на тимчасову схему променеутворювача, що формує шість променів. Таким чином, група із шести променів за допомогою системи фазування може переміщуватися в просторі перекриваючи кут місця від 5° до 50° . У тих випадках, коли припустимо невеликий зсув променів зі зміною частоти, доцільні антени з матричним формуванням променів, при використанні яких практично вся потужність сигналу, прийнятого з деякого напрямку, передається відповідному виходу матриці.

Розглянемо принципи побудови подібних антен на прикладі багатопроменевих решіток, що працює в секторі азимутальних кутів $\pm 30^\circ$ від її осі й у секторі кутів місця від 5° до 30° у діапазоні частот 5-25 МГц. Практично для забезпечення роботи антени в необхідному секторі необхідне формування не більше 16 незалежних променів. Схему антени доцільно будувати в такий спосіб. Антена розбивається на секції таких розмірів, щоб ширина діаграми спрямованості секції відповідала робочому сектору кутів місця. Для забезпечення необхідної діаграми спрямованості секції досить взяти приблизно 10 вібраторів, з фазуванням у напрямку близькому до осьового. Для зниження рівня бічних пелюстків діаграми спрямованості антени необхідно використовувати нерівно амплітудне живлення вібраторів секції, що доцільно реалізувати за допомогою несиметричних гібридних пристроїв з малими втратами.

З метою одержання високої спрямованості при кутах місця від 5° до 30° антена повинна містити 16

однакових секцій. Формування віяла незалежних променів здійснюється за допомогою матричної системи променеутворення, подібній до матриці Батлера. Відмінною рисою матриці є використання фазообертачів з фазовим зрушенням $\leq 90^\circ$, що розширює їхню смугу пропускання. Кожний із трьох поверхів матриці містить трансформаторні гібридні суматори й фазообертачі. Кожному виходу відповідає своя величина, що утвориться в матриці зрушення фаз між струмами сусідніх випромінювачів, при якому, формується відповідна йому діаграма спрямованості (промінь). Підключення до кожного виходу приймача, можна багаторазово використовувати антену, реалізувати рознесений прийом.

Розглянутий варіант лінійних решіток містить 160 вібраторів при загальній довжині 960 метрів. Коефіцієнт спрямованої дії досягає в максимумі 420 на частоті 24МГц. При створенні єдиної багатофункціональної антенної системи великого прийомного радіоцентра на трасах від 500 до 10000 км, схема антени може бути вдосконалена. Із цією метою доцільно створити в антені кілька незалежних систем фазування, кожна з яких працює у своєму просторовому секторі. Для цього необхідно розгалузити сигнали з вібраторів на кілька окремих каналів і потім у кожному каналі встановити свою систему фазування й променеутворення [1,4].

Висновки

Основними вимогами пред'явленими до багатофункціональних антенних систем є також:

1. Антена повинна забезпечити вибір одного з багатьох променів, що приходять у досить широкому секторі кутів місця, і допускати використання спеціальної апаратури для зниження перекручувань, викликаних суперпозицією променів.

2. Коефіцієнт корисної дії антени повинен бути досить більшим для того, щоб рівень зовнішніх перешкод на її виході перевищував рівень шумів прийомної радіоапаратури.

3. При практичній реалізації антеною решітки необхідна максимальна уніфікація вузлів і елементів системи обробки сигналів в антенно-фідерному тракті й використання сучасної бази.

У такий спосіб до теперішнього часу досліджені принципи побудови багатофункціональних антенних решіток для багатоканального прийому з рознесеними по куті місця, розроблена сучасна елементна база діаграмоутвореної системи й системи керування променем, що створює умови для рішення завдання побудови єдиної антенної системи прийомного радіоцентра.

3. Самуйлов И.Н., Бороздин Н.К., Излучения электрического диполя размещенного вдоль оси проводящего цилиндра.- Техника средств связи, сер.-ТРС, 1984, к.в.

Список використаної літератури

1. Айзенберг Г.З., Гуревич Р.В., Журбенко Э.И., Клигер Г.А., Самодополнительные антенные решетки.-Радиотехника, 1973, №4.

2. Марков Г.Т., Чаплин А.Ф., Возбуждения электромагнитных волн.-М.-Л.:1967, 315 с.

4. Добрынская И.А., Костенко Н.П., Сосунов Б.В., Фитенко Н.Г., Шестаков Ю.И. Матрица импедансов и усиление линейной решетки широкополосных коротковолновых вибраторов . –В сб.: Вопросы расчета и проектирования антенн и радиолиний . 1982

Рецензент: д-р техн. наук, проф., А.М. Сільвестров.
Полтавський Національний технічний університет імені Юрія Кондратюка
Автор: Бороздін Микола Кирилович
Полтавський Національний технічний університет імені Юрія Кондратюка , кандедаг технічних наук ,доцент .

Дом. тел..-0532538813,E-mail:borozdin.49@mail.ru
Анализ требований , предъявляемых к параметрам антенн с независимыми диаграммами направленности
Бороздин Н.К.
Ключевые слова : фазирование антенных решеток, адаптация , диаграмма направленности.

Analysis of requirements, pred'yavleemykh to the parameters of aeriaks with the independent diagrams of orientation
Borozdin N.K.
Keywords : fazirovanie of arrays , adaptation , to the diagrama orientation.