

М.Ф. Пічугін, к.військ.н., проф.
С.О. Соболенко, к.т.н., доц.
Г.Д. Носова, ад'юнкт
М.С. Поляков, н.с.

Житомирський військовий інститут ім. С.П. Корольова
Національного авіаційного університету

ЗАСТОСУВАННЯ ВЕКТОРНИХ МОДУЛЯТОРІВ ДЛЯ УПРАВЛІННЯ ДІАГРАМОЮ СПРЯМОВАНІСТІ В КІЛЬЦЕВІЙ АНТЕННІЙ РЕШІТЦІ

У статті розглядається можливість реалізації управління діаграмою спрямованості в кільцевій антенній решітці за рахунок використання векторних модуляторів та цифро-аналогових перетворювачів з метою покращання її технічних характеристик.

Вступ. Постановка проблеми. Збільшення об'ємів інформації, що підлягає обробці сучасними радіотехнічними системами (РТС), висуває ряд специфічних вимог до їх антенних систем (АС) як першої ланки на шляху обробки інформації про джерело радіовипромінювання. В більшості випадків ці вимоги не можуть бути виконані із застосуванням широко розповсюджених АС з механічним переміщенням діаграми спрямованості (ДС). Необхідність задоволення нових потреб зазначених РТС привела до активного розвитку АС з електричним управлінням положенням ДС, що надало їм якісно нових властивостей.

Під АС з електричним управлінням ДС розуміється антенний пристрій, здатний за допомогою дії електричних елементів схеми управління змінювати у просторі положення напрямку головного максимуму або, в деяких випадках, форму ДС, залишаючись механічно нерухомим [1]. Така АС у складі РТС виконує функції не тільки приймання або випромінювання енергії, а й пристрою обробки сигналів.

Актуальність досліджень. При розробці будь-якої АС з електричним скануванням променя виникає необхідність вирішення двох основних завдань:

- компонування АС;
- розробка системи обробки сигналу.

Перше завдання охоплює порядок формування ДС сукупністю антенних елементів (АЕ) зі складу АС, визначення закономірностей її руху, розрахунок похибок положення утвореної ДС під час руху, придушення бокових пелюсток.

Друге завдання пов'язане з обробкою сигналів і може бути представлено сукупністю пристроїв управління, що діють на потік електромагнітної енергії у фідерному тракті (фазообертачі, комутатори та ін.) й електронні схеми, що управляють ними.

В деяких випадках обидва завдання можуть вирішуватися єдиною багатокомпонентною схемою АС. Прикладом таких АС можуть бути антенні решітки (АР) з обробкою сигналів. АР – це набір, як правило, ідентичних випромінювачів, у якому переміщення ДС у просторі здійснюється шляхом введення змінних фазових або часових зсувів між струмами, які живлять окремі випромінювачі [2].

Застосування сучасних технологій, здатних управляти амплітудою і фазою електромагнітної хвилі (ЕМХ) в елементах АР з достатньою швидкістю при високих стабільності, точності, надійності, низькому рівні шумів, помірній вартості та з достатнім строком експлуатації, є актуальною проблемою з розробки та створення сучасних РТС.

Викладення основного матеріалу. Застосування зазначених підходів може бути розглянуто на прикладі змін у побудові АС кільцевої антенної решітки (КАР) з електромеханічним управлінням ДС. Такі АС використовуються для забезпечення кругового огляду – обертання гостроспрямованої діаграми на 360° при збереженні нерухомості АС. КАР утворюється з розташованих по колу n вертикальних АЕ. Принцип утворення та обертання ДС в такій решітці достатньо повно викладений у [3]. Він полягає в утворенні пеленгаційної групи, до якої входять m АЕ з n наявних. У фідерні тракти АЕ пеленгаційної групи за допомогою електромеханічного антенного комутатора вводяться елементи часової затримки сигналу на величину $11'/c$, $22'/c$, $33'/c$ (рис. 1), де c – швидкість розповсюдження ЕМХ, аби урівняти фази хвиль пеленгаційної групи для напрямку OO' і привести їх до розміщення на прямій AA_1 .

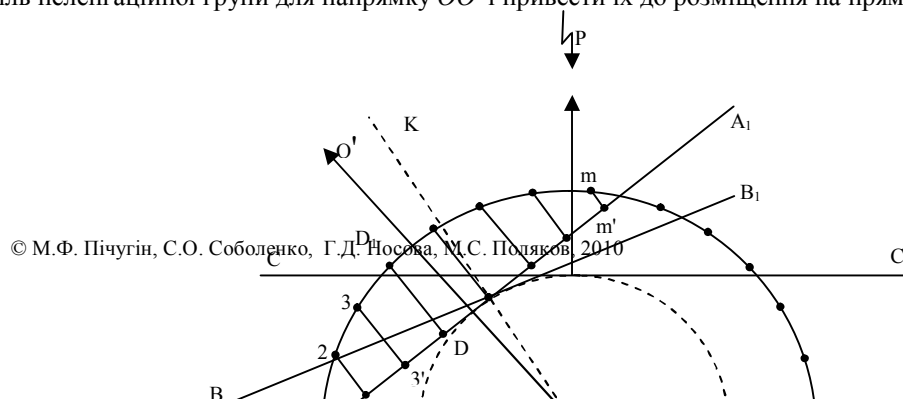
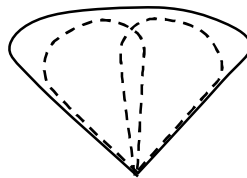


Рис. 1. Принцип обертання ДС в кільцевій антенній решітці

Центральною лінією OO' АЕ пеленгаційної групи поділяються на дві підгрупи. ЕМХ, що прийняті правою та лівою підгрупою, додаються окремо, утворюючи 2 напруги U_1 та U_2 , які для утворення пеленгаційних ДС додаються або віднімаються, утворюючи сумарну та різницеву діаграми. Загальний вигляд таких ДС, без урахування бокових пелюсток, наведений на рисунку 2.

Рис. 2. Сумарна та різницева ДС, утворена m елементами кільцевої решітки з n наявних

Шляхом обертання електромеханічного комутатора часові затримки в трактах АЕ змінюються так, що центр лінії AA_1 послідовно займає положення BB_1 , CC_1 (рис. 1), ніби обертаючись синхронно з обертанням ротора комутатора по внутрішньому пунктирному колу. Коли лінія CC_1 стає перпендикулярно до напрямку на джерело радіовипромінювання, із сумарного виходу пеленгаційної групи отримується максимальна напруга, а з різницевого – мінімальна.

Описаний вище АС властивий ряд недоліків, а саме:

- наявність електромеханічного комутатора, що обертається, призводить до значного ускладнення конструкції АС, зниження її надійності та швидкодії;
- при дискретному перемиканні комутатора утворюються комутаційні пелюстки, які збільшують рівень завадової складової, що надходить на вхід приймача, а дискретне переміщення ДС збільшує пеленгаційну помилку [2].

Отже, така схема управління ДС КАР описаної конструкції не відповідає сучасним вимогам до можливостей просторово-часової обробки та швидкодії.

Розглянемо можливість усунення зазначених недоліків на прикладі КАР для випадку, коли ДС утворюється з одночасним використанням усіх АЕ.

Порядок визначення параметрів ДС такої АС детально описаний у [3], а її структурна схема наведена на рисунку 3.

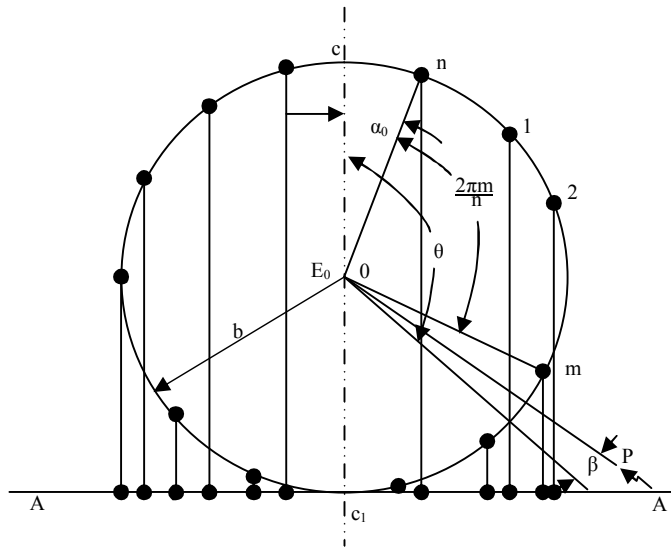


Рис. 3. Схема приведення кільцевої антенної решітки до лінійної у разі використання усіх АЕ

У випадку, коли лінія рівних фаз AA' є дотичною до кола розміщення АЕ (рис. 3), фазовий зсув у тракті m -го елемента визначається як:

$$\psi_m = \frac{2\pi}{\lambda} b \cos \beta_c \left[1 + \cos \left(\frac{2\pi}{n} m - \right. \right. \quad (1)$$

а ДС за умов

$$d \leq (0,45 \div 0,5)\alpha \quad (2)$$

описуватиметься формулою:

$$F_{\Sigma}(\theta, \beta) = J_0 \left(\frac{2\pi}{\lambda} bA \right), \quad (3)$$

де $A = \sqrt{\cos^2 \beta \cos^2 \beta_0 - 2 \cos \beta \cos \beta_0 \cos \theta}$, а J_0 – функція Бесселя 0-го порядку.

Умова (2) визначає необхідну кількість АЕ при заданому b/λ і, навпаки, зумовлює допустиме співвідношення b/λ при заданій кількості АЕ. Як приклад на рисунку 4 наведена ДС КАР, що розрахована для випадку, коли $2b/\lambda = 0,5$ та $n = 8$.

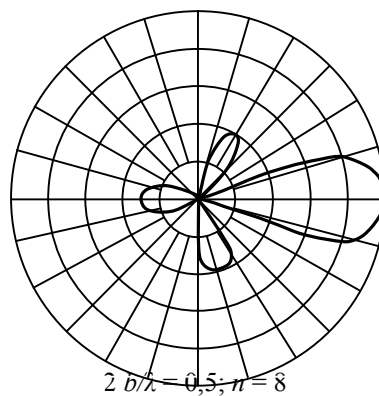


Рис. 4. Сумарна ДС кільцевої антенної решітки для $\frac{2b}{\lambda} = 0,5$ та $n = 8$

Розв’язання задачі. Значну роль у розвитку антен з електричним управлінням відіграють пристрої управління, а саме елементи надвисокої частоти кіл, у яких відбувається управління амплітудно-фазовим розподілом (АФР) ЕМХ, прийнятих АЕ АС. Якщо основні принципи побудови та оптимізації антен з

електричним управлінням були сформульовані й розроблені достатньою мірою ще в минулому сторіччі, то розвиток техніки керуючих пристроїв не завершився і сьогодні [1].

Важливою складовою реалізації управління в АР є пристрій управління фазовим зсувом хвилі – фазообертач (ФО). Традиційно ФО, що застосовуються в АР, створюються на основі р-і-п діодів, польових транзисторів, мікроелектромеханічних структур, феритів, що намагнічуються, бездисперсійних ліній затримки на основі сигнетокераміки [1]. Більшість із названих ФО є пристроями дискретної дії.

Розвиток сучасної елементної бази мікроелектроніки привів до створення нових інтегральних елементів, здатних виконувати завдання ФО та вільних від значної частки недоліків, що їм властиві, зокрема вузькосмуговості, яка стримувала розвиток АР. Одним з таких елементів є векторний модулятор (ВМ). ВМ, будучи балансними квадратурними модуляторами, мають додаткові властивості, які розширюють можливості їх застосування, зокрема в АС. Головною особливістю ВМ, яку слід виділити, є те, що і високочастотний (ВЧ) вхід, і вхід управління ВМ є лінійними. Це означає, що, подавши на ВЧ-вхід модульоване коливання, можна здійснити його додаткову модуляцію по входах управління I/Q. Прикладом таких елементів можуть бути, зокрема, розроблені фірмою Analog Devices нові інтегральні мікросхеми (ІМС) ВМ AD8340 та AD8341, а також ІМС векторного помножувача (ВП) ADL5390. Принципи побудови та основні технічні характеристики названих ІМС наведені в [4, 5, 6, 7]. Спрощена структурна схема зазначених ІМС ВМ наведена на рисунку 5.

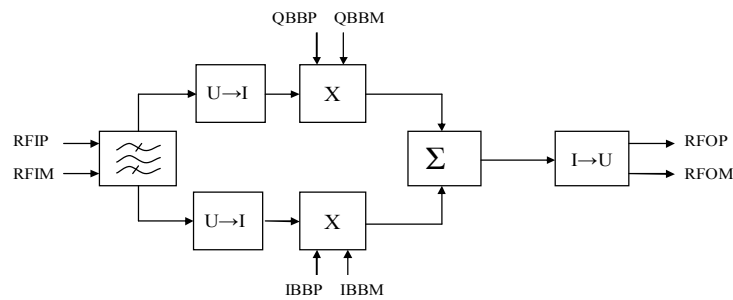


Рис. 5. Спрощена структурна схема ВМ

До її складу входять:

– розщиплювач фази 0–90°, позначений як смуговий фільтр;

– два перетворювачі напруга–струм (V–I);

– два помножувачі, на які подаються квадратурні складові вхідного ВЧ-сигналу, та модулюючі сигнали управління по входах I/Q;

– додавач;

– перетворювач струм–напруга (I–V).

Структура ІМС ВП відрізняється від структури ВМ відсутністю в її складі розщиплювача фази (РФ), отже, і необхідністю застосування зовнішнього розщиплювача. Для перетворення ВП на ВМ на його вхід треба додати зовнішній РФ (Splitter). Для ADL5390 це може бути ІМС QCN-12 фірми Mini kircuits. РФ визначає частотний діапазон роботи ВМ. Так діапазон частот по ВЧ-входу ІМС AD8340 – від 0,7 до 1 ГГц, AD8341 – від 1,5 до 2,4 ГГц, а ADL5390 з розщиплювачем QCN-12 – від 0,02 до 2,4 ГГц.

ІМС названих ВМ призначені для використання в таких режимах:

– підсилення з регулюванням коефіцієнта передачі в межах 35 дБ (від +5 до -30 дБ) та фазообертання з регулюванням фази в межах 360°;

– амплітудної та фазової модуляції зі зміною амплітуди та фази в тих же межах;

– комутації та додавання двох різних сигналів;

– формування амплітудних та фазових передспотворень.

Частота регулювання та модуляції може бути від 0 до 230 МГц.

Перші два режими є основними. При цьому один з них можна вважати статичним, а другий – динамічним.

Співвідношення, що пояснюють процеси у ВМ в основних режимах, такі:

– на ВЧ-вхід ІМС подається сигнал:

$$u = A \cos \omega_0 t, \tag{4}$$

з якого утворюються дві квадратурні складові:

$$u_1 = A \cos \omega_0 t; \tag{5}$$

$$u_2 = A \sin \omega_0 t; \tag{6}$$

– на входи управління – постійні напруги:

$$\begin{aligned} U_I &= K \cos \varphi ; \\ U_\theta &= -K \sin \varphi , \end{aligned} \tag{7}$$

які визначають коефіцієнт передачі ВМ K та фазовий зсув сигналу φ ;

– на виході каналів множення:

$$\begin{aligned} U &= KA \cos \varphi \cos \omega_0 t ; \\ U &= -KA \sin \varphi \sin \omega_0 t ; \end{aligned} \tag{8}$$

– на виході додавача і, відповідно, на виході ІМС утворюється сигнал:

$$U_\Sigma = KA \cos(\omega_0 t + \varphi). \tag{9}$$

Отже, вхідна величина змінилася в K разів та отримала зсув фази φ . Сказане ілюструється рисунком 6.

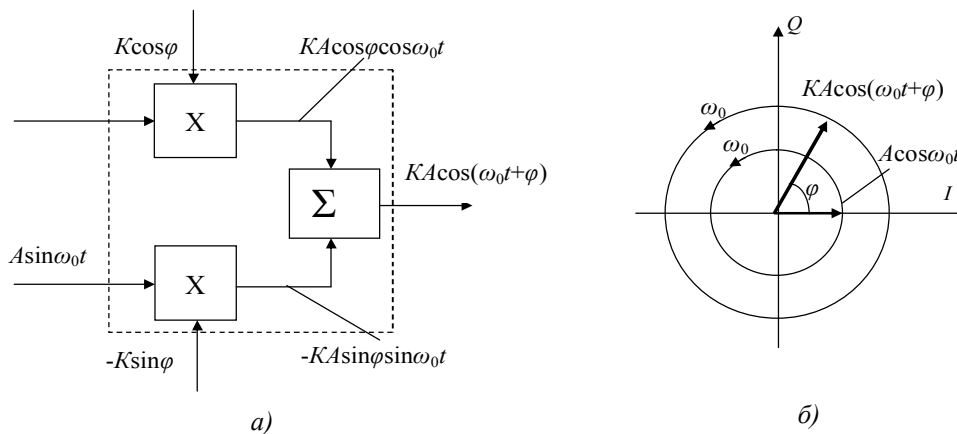


Рис. 6. Порядок утворення вихідного сигналу у ВМ

Якщо сигнали управління (7) представити у вигляді:

$$\begin{aligned} U_I(t) &= K(t) \cos \varphi(t); \\ U_\theta(t) &= -K(t) \sin \varphi(t), \end{aligned} \tag{10}$$

тоді ВМ перетворюється на ФО, здатний у динамічному режимі змінювати АФР на КАР. Отже, динамічний режим роботи ВМ дає змогу управління обертанням ДС на КАР без перемикання в безперервному режимі. Для реалізації такого режиму сигнали управління доцільно створювати з використанням багаторозрядного швидкодіючого цифро-аналогового перетворювача (ЦАП), коди управління яким можуть задаватися електронною обчислювальною машиною (ЕОМ). 12-розрядний ЦАП здатен забезпечити дискретність встановлення фази, що не перевищує 1° з часом встановлення менше 1 мкс. Отже, і час переміщення ДС в будь-яке положення зони контролю матиме той же порядок.

Розроблена структурна схема формування ДС КАР та схема управління нею за допомогою ЕОМ з використанням ВМ та ЦАП наведені на рисунку 7.

Порядок утворення ДС в цій схемі відрізняється від описаного в [3] одночасним використанням як сумарної, так і різницевої діаграм з подальшим відніманням однієї від іншої. При цьому, як показано на рисунку 8, досягається звуження результуючої ДС та зменшення рівня бічних пелюсток [7].

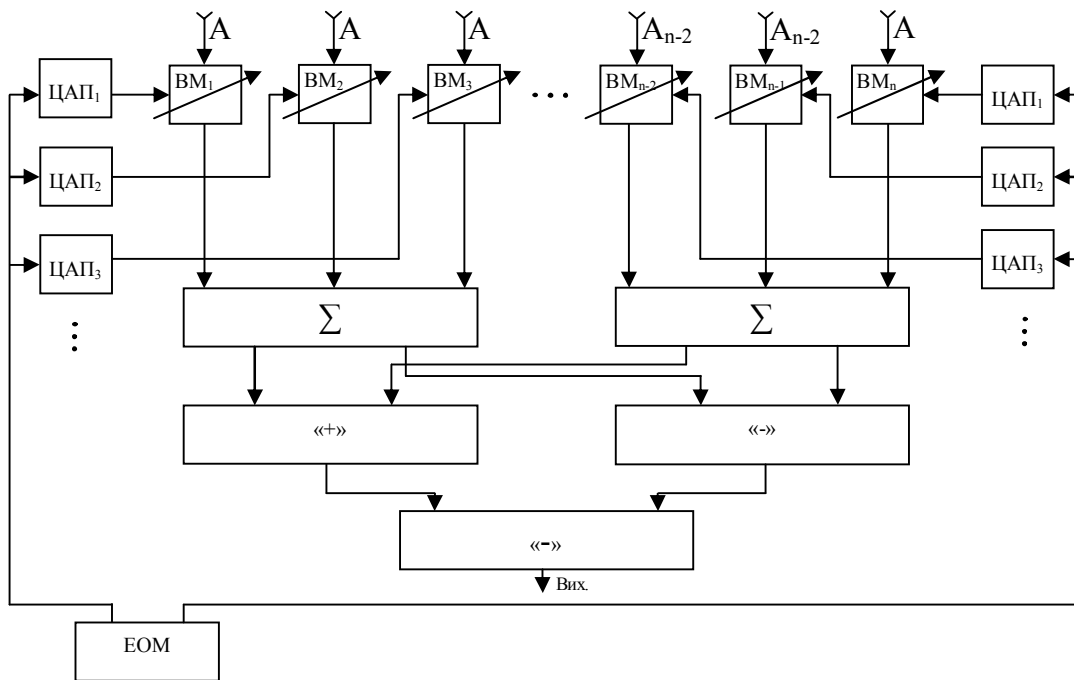


Рис. 7. Структурна схема КАР із застосуванням у ланці управління ВМ та АЦП

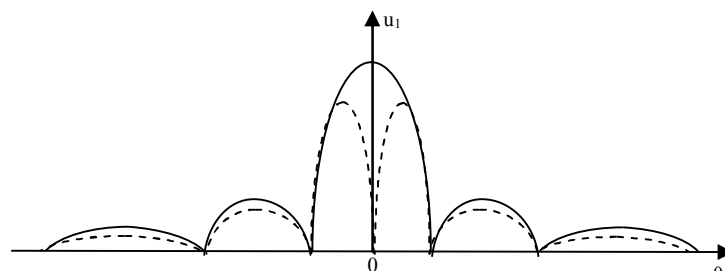


Рис. 8. Загальний вигляд ДС, утвореної запропонованою КАР: суцільна лінія – сумарний канал; пунктирна – різницевий канал

Висновки. Використання ВМ з ЦАП як пристроїв управління фазовими співвідношеннями окремих АЕ КАР дає змогу здійснювати електронне управління положенням та формою ДС КАР.

Застосування ВМ надасть можливість одночасно з управлінням фазовим зсувом здійснювати регулювання коефіцієнта передачі, що дозволить позбавитися атенюаторів, у яких відбуваються втрати ВЧ-енергії при проходженні сигналів, а також створити сприятливий АФР у розкритті КАР з метою оптимізації параметрів ДС відповідно до наявної радіоелектронної обстановки.

Доповнення ВМ ЦАП дає змогу здійснювати програмне управління ДС (обертання в той або інший бік зі зміною швидкості, переміщення в заданому секторі чи секторах, майже миттєве встановлення на будь-який заданий напрямок) із застосуванням ЕОМ.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Вендрик О.Г. Антенны с электрическим сканированием / О.Г. Вендрик, М.Д. Парнес. – М. : Сайнс-пресс, 2002. – 231 с.
2. Ширман Я.С. Антенны / Я.С. Ширман. – ВИРТА, 1976. – 407 с.
3. Кулес И.С. Основы радиопеленгации / И.С. Кулес, М.Е. Старик. – М. : Радио и связь, 1964. – 641 с.
4. Голуб В. Векторные модуляторы AD8340/1 фирмы Analog Devices / В.Голуб // Chip News Украина. – 2004. – № 2. – С. 22–25.

5. Голуб В. Векторный перемножитель ADL5390 фирмы Analog Deveis / В.Голуб // Chip News Украина. – 2004. – № 8. – С. 24–27.
6. Голуб В. Информационный бюллетень фирмы Analog Deveis / В.Голуб // Электронные компоненты и системы. – 2005. – № 2. – С. 14.
7. Голуб В. Информационный бюллетень фирмы Analog Deveis / В.Голуб // Электронные компоненты и системы. – 2005. – № 8. – С. 24.
8. Драбкин А.Л. Антенно-фидерные устройства / А.Л. Драбкин. – М. : Сов. радио, 1974. – 426 с.

ПІЧУГІН Михайло Федорович – заслужений працівник освіти України, кандидат військових наук, професор, начальник Житомирського військового інституту ім. С.П. Корольова Національного авіаційного університету.

Наукові інтереси:

- системний аналіз у галузі космічних технологій;
- розробка механізмів забезпечення національної безпеки несилдовими методами;
- проблеми освіти вищої школи України.

СОБОЛЕНКО Сергій Олександрович – кандидат технічних наук, доцент Житомирського військового інституту ім. С.П. Корольова Національного авіаційного університету.

Наукові інтереси:

- просторово-часова обробка сигналів у цифрових антенних решітках.

НОСОВА Ганна Дмитрівна – ад'юнкт Житомирського військового інституту ім. С.П. Корольова Національного авіаційного університету.

Наукові інтереси:

- цифрові антенні решітки.

Тел.: (097)660–37–37.

E-mail: nunya_13@mail.ru.

ПОЛЯКОВ Микола Семенович – науковий співробітник наукового центру Житомирського військового інституту ім. С.П. Корольова Національного авіаційного університету.

Наукові інтереси:

- розробка та створення широкопasmових функціональних пристроїв ультрависокочастотного діапазону для застосування в системах радіомоніторингу.

Подано 16.08.2010

Пичугін М.Ф., Соболенко С.О., Носова Г.Д., Поляков М.С. Застосування векторних модуляторів для управління діаграмою спрямованості в кільцевій антенній решітці

Пичугин Н.Ф., Соболенко С.О., Носова Г.Д., Поляков М.С. Использование векторных модуляторов для управления диаграммой направленности в кольцевой антенной решётке

Пичугин Н.Ф., Соболенко С.О., Носова Г.Д., Поляков М.С. A management of the diagram of orientation in a circular array with application of vectorial keyers.

УДК 621.396.96

Использование векторных модуляторов для управления диаграммой направленности в кольцевой антенной решётке / Н.Ф. Пичугин, С.О. Соболенко, Г.Д. Носова, М.С. Поляков

В статье рассматривается возможность реализации управления диаграммой направленности в кольцевой антенной решётке путём использования векторных модуляторов и цифро-аналоговых преобразователей. С целью улучшения её технических характеристик.

УДК 621.396.96

A management of the diagram of orientation in a circular array with application of vectorial keyers / Пичугин Н.Ф., Соболенко С.О., Носова Г.Д., Поляков М.С.

The marketability of management by the diagram of orientation in circular array with the use of vectorial keyers and digital-analog transformers with the purpose of improvement of its technical descriptions.