

АНТЕНИ ТА ПРИСТРОЇ НВЧ

УДК 621.396

В.О. Пелішок

Національний університет “Львівська політехніка”

ВИКОРИСТАННЯ ПЛОЩИННО-ПРОСТОРОВИХ ДІАГРАМ НАПРАВЛЕНОСТІ ПРИ ДОСЛІДЖЕННІ АНТЕННИХ РЕШІТОК

© Пелішок В.О., 2008

Дослідження складних антенних систем, якими є синфазні антенні решітки, здійснюється з використанням просторової діаграми направленості та її перерізів в трьох площинах прямокутної системи координат. Показано ефективність використання таких перерізів на етапі як якісного, так і кількісного аналізу.

Research of the difficult aerial systems which in phase arrays are is carried out with the use of spatial diagram of orientation and its cuts in three planes of the rectangular system of co-ordinates. Efficiency of the use of such cuts is rotined both on the stage of high-quality analysis and quantitative.

Суть проблеми та основні відомості

Антенні решітки (АР) відомі давно та широко застосовуються в системах радіозв'язку різного призначення. Але останнім часом вони переживають справжнє відродження. Досить зауважити, що антени базових станцій мобільного зв'язку використовують АР. Також АР є основою побудови адаптивних, або інтелектуальних антен, які все частіше застосовуються в сучасних технологіях Wi-Fi, WiMAX, CDMA тощо. АР можуть забезпечити вузьку діаграму направленості, яку не можуть утворити поодинокі випромінювачі, із значної кількості яких утворена АР. Саме антенні системи, передовсім АР, дають змогу вищезгаданим сучасним технологіям безпроводного зв'язку забезпечити задану діаграму направленості (ДН) та інші задані характеристики.

Серед усіх типів АР особливе місце займають синфазні АР, в яких зсув фаз між сусідніми вібраторами дорівнює нулю. Особливістю синфазних АР є простота подання високочастотного сигналу на окремі випромінювачі. Дослідження синфазних АР, а особливо їхній синтез є доволі складним, що зумовлено такими чинниками:

- необхідність врахування декількох факторів (множника АР, ДН поодинокого випромінювача, вплив екрана, вплив землі тощо), причому кожен з них описує деяку поверхню та залежить від декількох параметрів;
- при якісному аналізі необхідно оцінити якісний внесок кожного фактора на результуючу ДН;
- при кількісному аналізі виникає проблема великого масиву складних математичних розрахунків.

Питання аналізу синфазних АР є актуальними та частково розглянуті в роботах [1–2]. Дещо менше розглянуті питання їхнього синтезу. Але сьогодні постійно змінюються вимоги до конкретних систем, окремих параметрів (ширини головного пелюстка, рівня бокових пелюстків). Також виникає потреба забезпечення можливості оперативної побудови значної кількості ДН, зокрема просторових. Все це вимагає як додаткових досліджень, так і створення зручного “інструменту” для реалізації згаданих вимог.

При аналізі синфазних АР передовсім становить інтерес їх ДН. Відомо [1], що нормована ДН синфазної АР, як і всіх інших АР, визначається так:

$$F_{ap} = F_{mn} \cdot F_v \quad (1)$$

де F_{ap} – результуюча ДН АР; F_{mn} – ДН множника АР; F_v – ДН поодинокого випромінювача, з яких утворена АР.

Значення множника АР можна подати у вигляді

$$F_{mn} = \frac{\sin(u)}{\sin\left(\frac{u}{N}\right)} \quad (2)$$

де N – кількість випромінювачів; $u = 0,5 \cdot N \cdot k \cdot d \cdot \{\cos(\nu) - t\}$ – узагальнена кутова координата; $t = p/kd$ – коефіцієнт сповільнення; $k = 2\pi/\lambda$ – коефіцієнт зсуву фази у вільному просторі; d – віддаль між серединами сусідніх вібраторів; p – зсув фази між сусідніми вібраторами; ν – кут між віссю АР та напрямком на точку спостереження.

Часто користуються значенням нормованої (до одиниці) ДН, отриманої на основі залежності (2). Нормоване значення ДН також доцільно визначати як функцію нормованої віддалі ($dn = d/\lambda$) та нормованого зсуву фаз ($pn = p/2\pi$).

$$F_{mn} = \frac{\sin(u)}{N \cdot \sin\left(\frac{u}{N}\right)} \quad (3)$$

де $u = N \cdot \pi \cdot dn \cdot \{\cos(\nu) - t\}$; $t = pn/dn$; $dn = d/\lambda$ – нормована віддаль між центрами сусідніх вібраторів; $pn = p/2\pi$ – нормований зсув фаз між сусідніми вібраторами.

Вираз (3) являє собою рівняння деякої поверхні. Оскільки функція F_{mn} залежить від кута, який відраховується від осі АР, та не залежить від кута, який відраховується в площині, перпендикулярній до осі АР, то множник АР визначає *поверхню обертання* відносно осі АР.

Бачимо, що нормоване значення (3) множника системи залежить від таких параметрів:

2. N - кількості вібраторів в антенній решітці.
3. Нормованого значення d/λ віддалі d між вібраторами відносно довжини хвилі λ .
4. Нормованого значення $pn = p/2\pi$ зсуву фаз p між сусідніми вібраторами відносно 2π .

Залежність (3) є нормованим значенням множника решітки та слугує основою для аналізу АР цього типу. Бачимо, що множник АР не залежить від типу випромінювачів.

Особливості запропонованої методики дослідження

Запропонована методика дослідження характеризується трьома основними особливостями:

- використанням площинно-просторових ДН;
- використання формул переходу для побудови результуючої ДН АР, яка містить окремі вузли (випромінювачі, АР тощо), по-різному орієнтовані у прямокутній просторовій системі координат;
- створення на основі вищезгаданих особливостей необхідного “інструменту” у вигляді графічного інтерфейсу користувача з використанням системи MATLAB [3–5].

Приклад використання запропонованої методики для якісного дослідження ДН АР

Для прикладу розглянемо застосування запропонованої методики для найпоширенішого виду радіозв'язку – наземного. Очевидно, що для наземного радіозв'язку “ідеальною” ДН є така, що максимально “притиснута” до землі, та здебільшого в площині XOY є круговою.

Розглядаючи АР, будемо вважати, що вісь OZ розміщена нормально до поверхні землі.

Будемо розглядати найпоширеніші дискретні прямолінійні АР, утворені симетричними півхвильовими вібраторами (СПВ). Також обмежимося лише класом рівноамплітудних та еквідистантних АР. На рис. 1 наведено три можливі варіанти розміщення СПВ для АР, яка орієнтована вздовж осі OX.

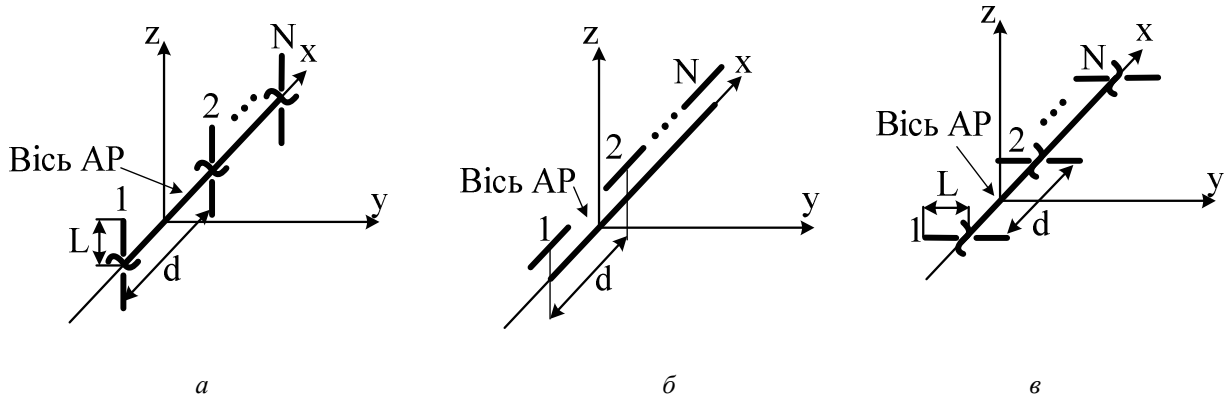


Рис. 1. Приклади дискретних прямолінійних АР, вісь яких розташована вздовж осі OX:

- a* – паралельні СПВ орієнтовані вздовж осі OZ;
- б* – корінеарний ряд, СПВ орієнтовані вздовж АР;
- в* – паралельні СПВ орієнтовані вздовж осі OY

Аналогічно вісь АР може бути розміщена вздовж осі OY або осі OZ. Очевидно, що розміщення осей АР вздовж осі OX або OY стосовно розгляду наземного зв'язку є рівноцінним (завжди отримані результати можна повернути на будь-який кут в площині XOY – площині поверхні землі). Тому обмежимося розглядом лише двох варіантів розміщення осі АР вздовж осі OX та осі OZ. На рис. 3 наведені АР, аналогічні до АР рис. 2, але їхня вісь АР розміщена вздовж осі OZ.

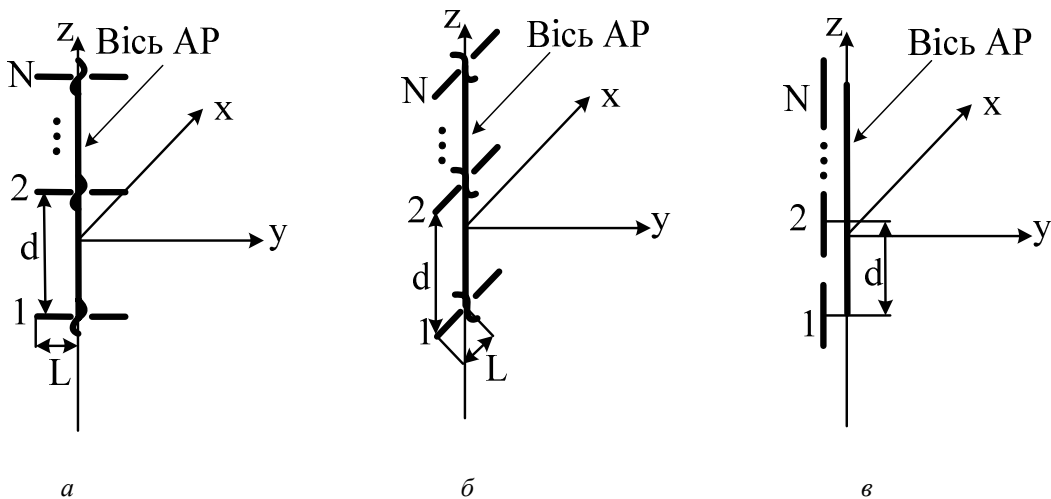


Рис. 2. Приклади дискретних прямолінійних АР, вісь яких розташована вздовж осі OZ:

- a, б* – паралельні СПВ орієнтовані вздовж осі OY, OX відповідно;
- в* – колінеарний ряд, СПВ орієнтовані вздовж АР

На рис. 3. для прикладу наведено ДН, за напруженістю поля синфазної АР (рис. 1, а) в полярній системі координат.

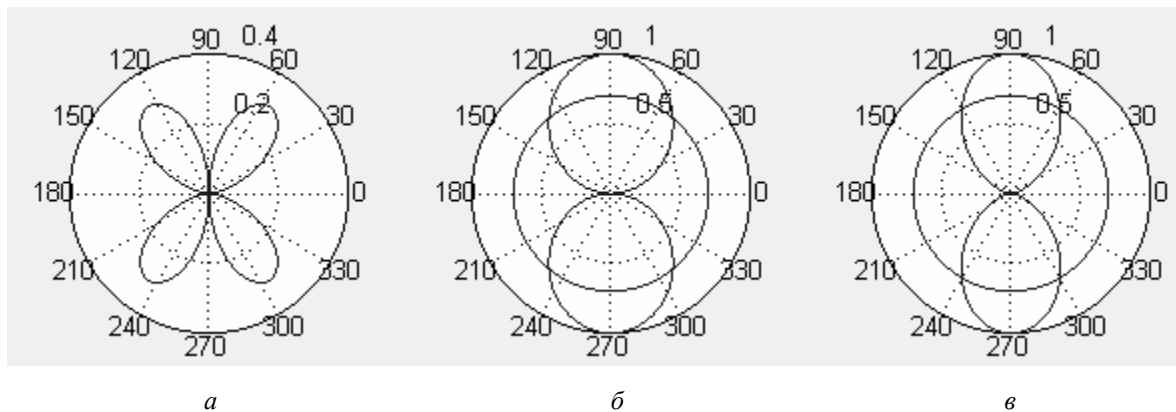


Рис. 3. ДН в полярній системі координат для синфазної АР (рис. 1, а) при $N=2$; $d/\lambda=0.5$:
 а – в площині ZOX ; б – в площині ZOY ; в – в площині XOY

Примітка.

На рис. 3 наведено допоміжні кола радіусом 0.7 для спрощення визначення ширини головного пелюстка.

Але з наведених ДН не є очевидним, чому саме така форма ДН в кожній з площин, яка складова (множник АР чи симетричний вібратор) визначає форму ДН у цій площині. Всі ці недоліки усуває запропонована методика.

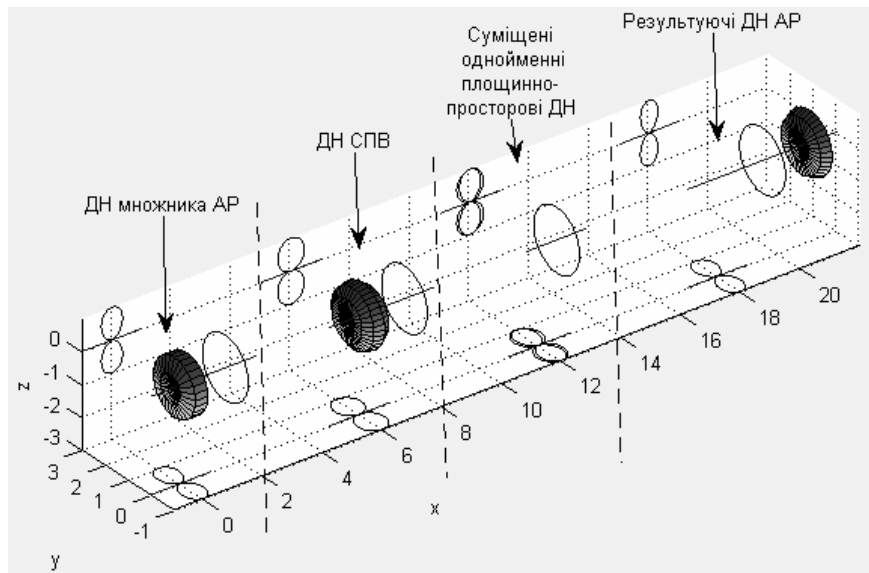
На рис. 4 наведені ДН трьох варіантів синфазної АР, вісь якої розміщена вздовж ОХ.

На рис. 4 наведена результуюча ДН для АР (рис. 1), отримана згідно із запропонованою методикою, яка використовує не тільки просторові ДН, але і її перерізи площинами ZOX , ZOY , XOY . Необхідно зауважити, що це особливі перерізи, далі *площинно-просторові ДН*. Фактично, вони є ДН на площині, але зберігають інформацію про своє розміщення в просторі. Наприклад, переріз просторової ДН площиною ZOX залишається розміщеним в площині ZOX , переріз площиною ZOY залишається розміщеним в площині ZOY і т.д.

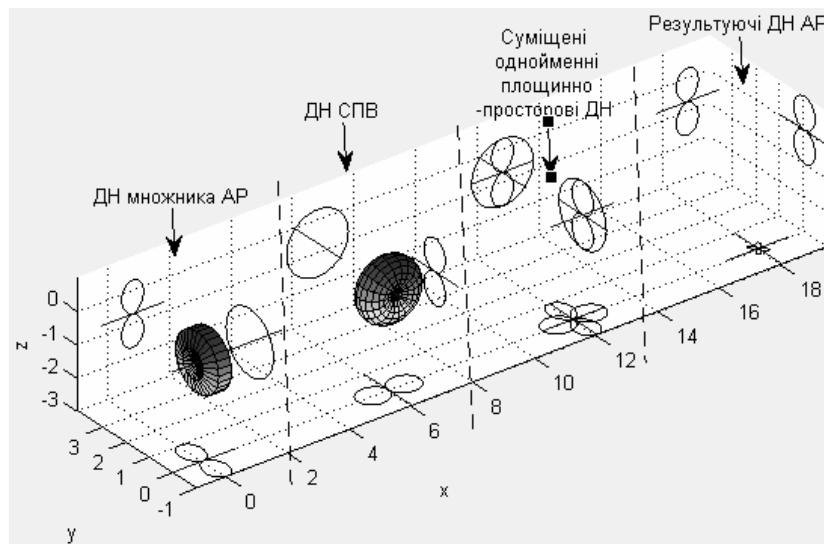
Взагалі при аналізі будь-якої АР використовуються аналітичні вирази для ДН конкретної АР, на базі яких утворюються аналітичні залежності для просторової ДН. Під просторовою ДН розуміють графічне зображення амплітудної ДН, тобто залежності величини поля випромінювання в *рівновіддалених* від антени точках від кутових сферичних координат θ , φ . Але зображення ДН у вигляді замкнутої поверхні складне та недостатньо наочне. Тому переважно користуються перерізами просторової ДН деякими площинами. Отримані замкнуті криві є двовимірними (площинними) ДН. Чим точніше треба знати просторову ДН, тим більше перерізів необхідно виконати. Але при переході до ДН на площині необхідно зберігати інформацію про те, якою площиною здійснено переріз (ZOX , ZOY , XOY), та якої фігури виконувався переріз (множника АР, ДН симетричного вібратора тощо). Якщо таких ДН використовується значна кількість, то практично повністю зникає наочність та якісне розуміння факторів впливу на результуючу ДН АР. Саме тому пропонується використання площинно-просторових ДН.

З наведених ДН, наприклад (рис. 4, б), є очевидним:

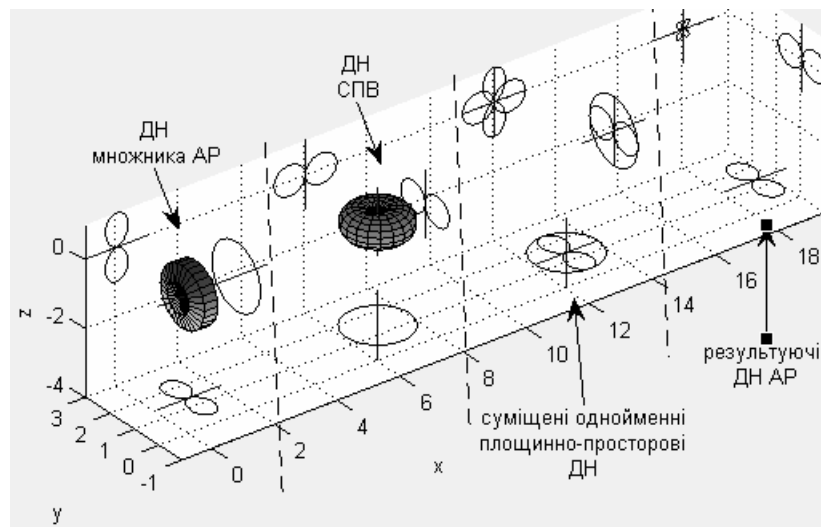
- в площині XOY результуючу ДН формує множник АР, оскільки ДН симетричного вібратора є круговою;
- в площині ZOY результуючу ДН формує симетричний вібратор, оскільки ДН множника АР є круговою;
- в площині ZOX результуючу ДН формує як симетричний вібратор, так і множник АР, причому їхні ДН ортогональні (навіть можна пояснити, що результуюча чотирипелюсткова ДН утворена їхньою спільною площею).



а



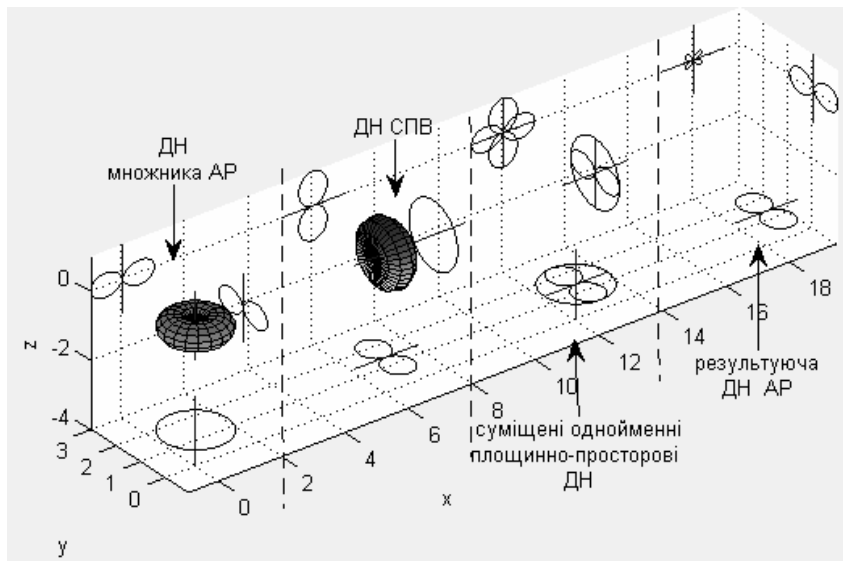
б



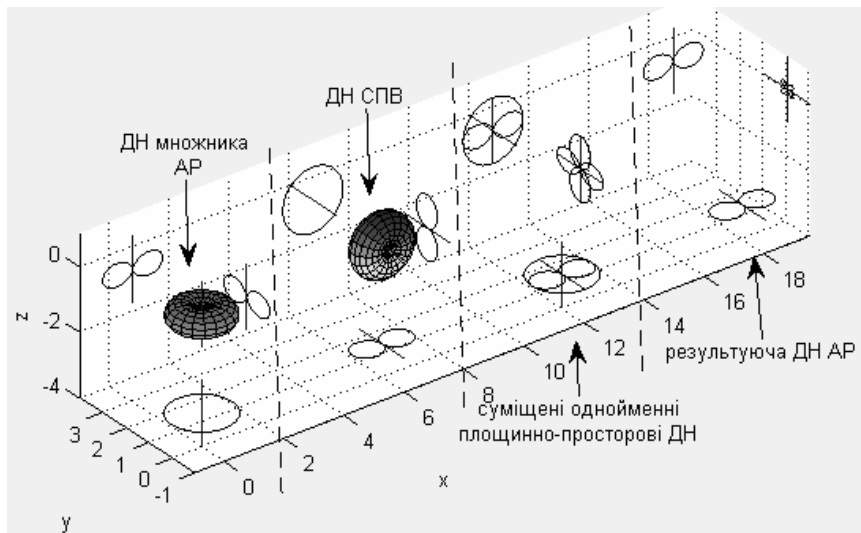
в

Рис. 4. ДН синфазної АР, вісь якої орієнтована вздовж осі OX , при $N = 2 d/\lambda = 0.5$, $p = 0$ (зліва направо ДН множника АР, ДН СПВ, суміщені однойменні площинно-просторові ДН, та результуючі ДН АР), в яких вісь СПВ орієнтована вздовж: а – осі OX ; б – осі OY ; в – осі OZ

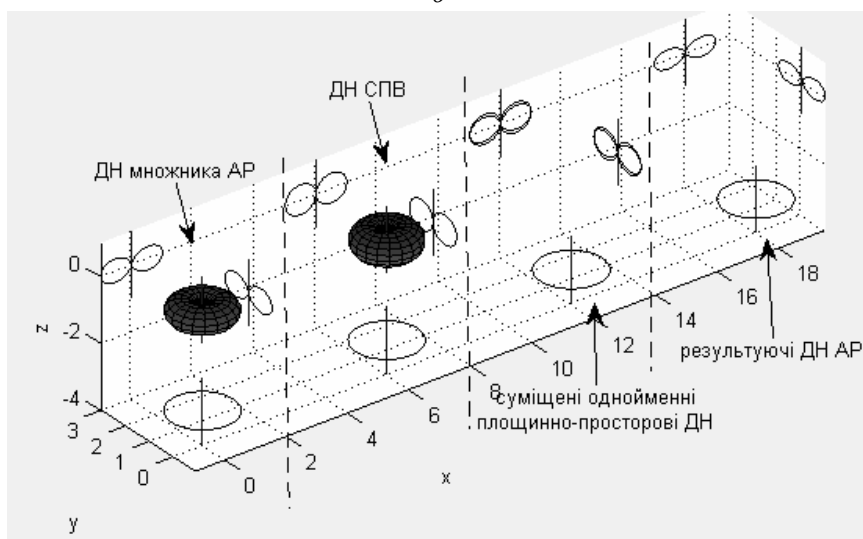
Аналогічно на рис. 5 наведено ДН трьох варіантів синфазної АР, вісь якої розміщена вздовж ОХ.



а



б



в

Рис. 5. ДН синфазної АР, вісь якої орієнтована вздовж осі ОZ, при $N = 2 d/\lambda = 0.5$, $p = 0$ (зліва направо ДН множника АР, ДН СПВ, суміщені однойменні площинно-просторові ДН, та результуючі ДН АР), в яких вісь СПВ орієнтована вздовж: а – осі ОХ; б – осі ОУ; в – осі ОZ

З наведених ДН можна зробити такі висновки:

- площинно-просторові ДН надають повну інформацію про якісний характер результуючої ДН в кожній площині;
- тільки для одного випадку – колінеарного ряду (рис. 2, в), (рис. 5, в) множник АР орієнтований аналогічно, як і ДН симетричного вібратора. У цьому разі множник АР, як і повинно бути, значно “підсилює” дію СПВ, результуюча ДН АР має значно меншу ширину головного пелюстка;
- лише колінеарний ряд формує ДН “приплюснуту” до землі, а, отже, така антена є ефективною для наземного зв’язку.

На рис. 6 наведено детальнішу інформацію про синфазну колінеарну АР (рис. 5, в), вісь якої паралельна до осі OZ.

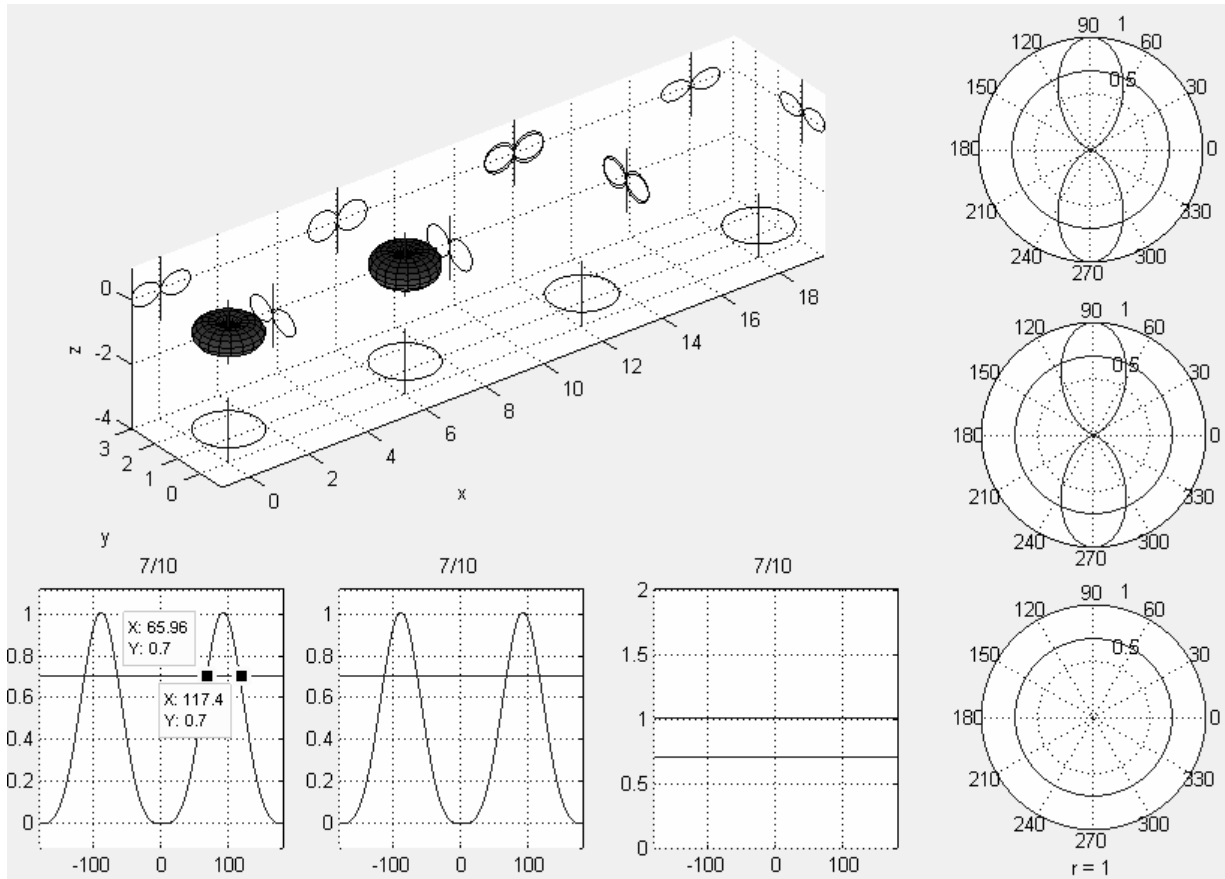


Рис. 6. ДН синфазної АР, вісь якої орієнтована вздовж осі OZ, при $N = 2d/\lambda = 0.5$, $p = 0$ (зліва направо ДН множника АР, ДН СПВ, суміщені однойменні площинно-просторові ДН, та результуючі ДН АР), в яких вісь СПВ орієнтована вздовж осі OZ (зверху), ДН у полярній системі координат в площинах ZOx, ZOy, XOy, відповідно (праворуч), ДН у прямокутній системі координат в площинах ZOx, ZOy, XOy відповідно (праворуч)

З наведених ДН можна зробити такі висновки:

- площинно-просторові ДН за формою повторюють ДН в полярній системі координат, тому при аналізі АР можна використовувати інформативніші площинно-просторові ДН;
- з ДН в прямокутній системі координат можна визначити ШГП, яка у такому разі становить орієнтовно $(117-66) = 51$ градус;

Аналогічно можна отримати значення ширини головного пелюстка для більшої кількості випромінювачів (рис. 7).

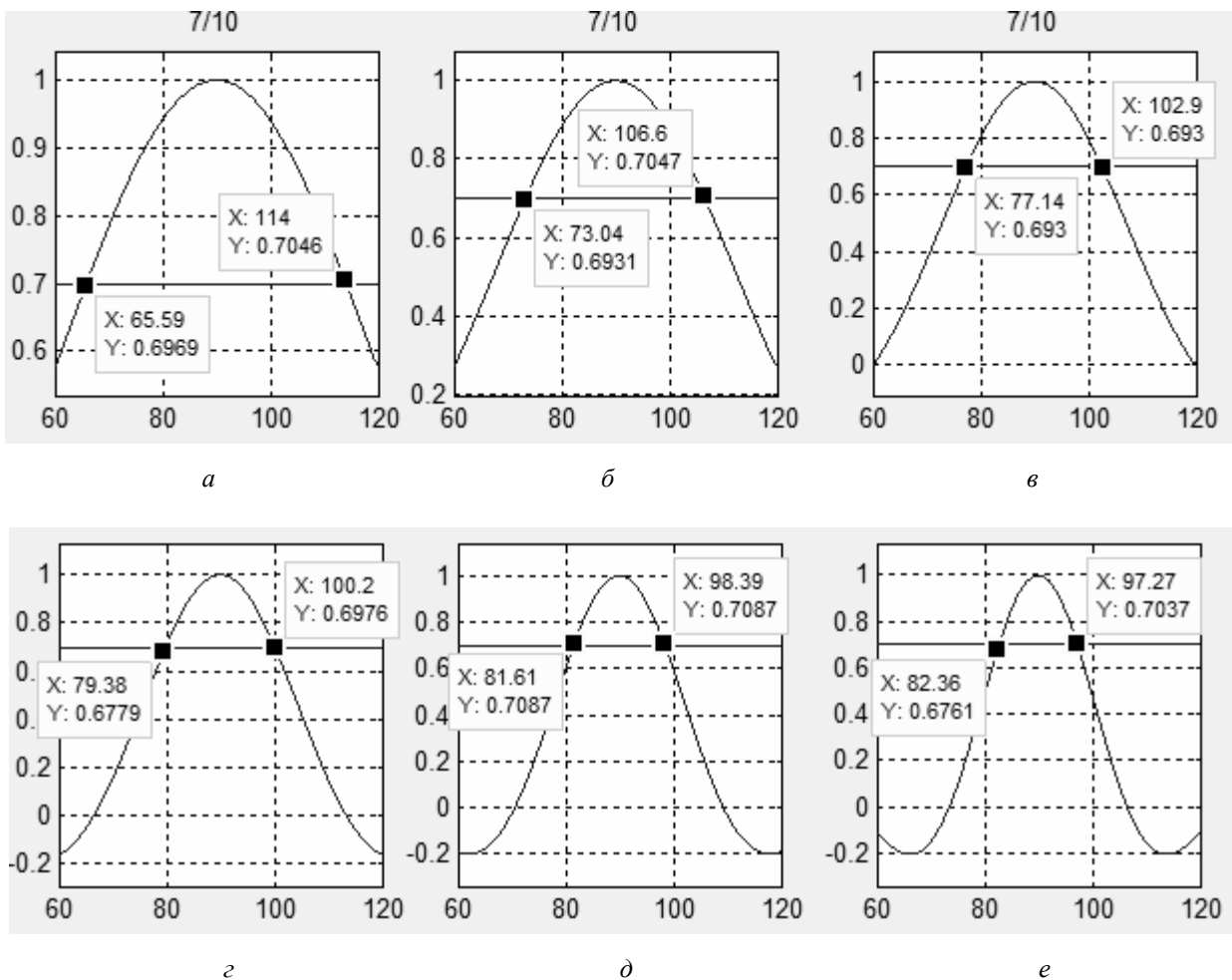


Рис. 7. Залежність ширини головного пелюстка в площинах ZOХ та ZOУ для АР (рис. 2, в) при кількості випромінювачів N: а – N=2; б – N=3; в – N=4; г – N=5; д – N=6; е – N=7

Бачимо, що зі збільшенням кількості випромінювачів головний пелюсток стає вужчим. Наприклад, при N=7 ширина головного пелюстка становить, орієнтовно, (97–82) = 15 градусів

1. Бова Н. Т., Резников Г.Б. Антенны и устройства СВЧ. – К.: Вища школа, 1982. – 278 с.
2. Прудис І.Н. Основи антенної техніки: Навч. посібник. – Львів, 2000. – 224 с.
3. Пелішок В.О., Павликевич М.Й., Михайленч П.М. Дослідження амплітудних характеристик спрямованості провідних антен за допомогою програми MATLAB // Вісник Національного університету "Львівська політехніка" Радіоелектроніка та телекомунікації 2006.
4. Пелішок В.О., Яремко О.М., Михайленч П.М. Використання системи MATLAB при вивченні антенно-фідерних пристроїв. Моделювання та інформаційні технології. Зб наук. пр. ІПМЕ НАН України, вип. 42. – К., 2007.
5. Дьяконов В.П. Matlab 6.5 SP1/7.0 + Simulink 5/6. Основы применения. – М.: Солон-Пресс, 2005. – 800 с.