

ЗАСТОСУВАННЯ ПРОСТОРОВО-ЧАСОВОЇ ОБРОБКИ СИГНАЛІВ ЗА ФОРМОЮ ФАЗОВОГО ФРОНТУ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ ХВИЛІ У БЕЗПРОВОДОВИХ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ

Розглянуто можливість застосування просторово-часової обробки сигналів по формі фазового фронту електромагнітної хвилі у системах фазової пеленгації для визначення місцеположення джерела випромінювання, а також для забезпечення повторного використання радіочастотного ресурсу радіорелейної лінії зв'язку.

Авдеенко Г.Л., Якорнов Е. А. Применение пространственно-временной обработки сигналов по форме фазового фронта электромагнитной волны в беспроводных телекоммуникационных системах. Рассмотрена возможность применения пространственно-временной обработки сигналов по форме фазового фронта электромагнитной волны в системах фазовой пеленгации для определения местоположения источника излучения, а также для обеспечения повторного использования радиочастотного ресурса радиорелейной линии связи.

G. Avdeyenko, Ye. Yakornov Space-time signal processing by the form of the electromagnetic wave's phase front in wireless communications systems. The possibility of using space-time signal processing by the form of the electromagnetic wave's phase front for phase direction finding systems to determine the location of a radiation source as well as to ensure the reuse of the radio frequency resource of a radio relay link is considered.

Ключові слова: просторово-часова обробка, електромагнітна хвиля, фазовий фронт, джерело радіовипромінювання, антенна решітка, дальня зона, радіорелейна лінія зв'язку.

Актуальність, постановка задачі. У сучасних радіотехнічних системах (наприклад, системах управління повітряним рухом, багатопозиційних системах радіолокації та фазової пеленгації, системах супутникового радіозв'язку тощо) широко застосовується просторово-часова обробка сигналів (ПЧОС). Зазвичай, під ПЧОС розуміють таку сукупність дій над сигналами, що прийняті з різних точок простору антенними елементами або підсистемами, розташованими в одному або декількох пунктах, яка виконується з метою виділення корисної інформації у вигляді повідомлення або вимірювання одного чи декількох параметрів сигналів для визначення просторового положення джерела радіовипромінювання (ДРВ), швидкості та напрямку його переміщення тощо. Основний зміст теорії ПЧОС – синтез оптимальних у тому чи іншому сенсі систем обробки сигналів й аналіз якості цих систем [1, 2].

У більшості випадків для безпроводових телекомунікаційних систем (БТС) виконується умова просторово-часової вузькосмуговості сигналів, тому при використанні ПЧОС в БТС її можна розділити на два незалежні етапи – просторову (антенну) обробку та часову (внутрішньопримильну) обробку. Це в свою чергу дозволить забезпечити можливість технічної реалізації ПЧОС в БТС.

В умовах наявності зовнішніх завад, які за смугою радіочастот та поляризацією випромінювання співпадають із смугою частот та поляризацією випромінювання корисного сигналу, на етапі просторової обробки здійснюється таке вагове підсумовування всіх вихідних напруг елементів антенної системи (АС), яке забезпечує оптимальний компроміс між просторовим накопиченням складових, породжених корисним сигналом, і взаємною компенсацією складових, породжених зовнішніми завадами, тобто компроміс між підсиленням АС в кутовому напрямі на ДРВ корисного сигналу та її послабленням („провалами”) в кутових напрямках на ДРВ завад. При цьому, чим більше інтенсивність зовнішніх завад в порівнянні з інтенсивністю внутрішніх шумів приймальної системи, тим більш глибокими виявляються провали в діаграмі спрямованості АС в кутових напрямках на ДРВ завад. Оптимальна часова обробка при цьому синтезується незалежно від просторової, тобто в припущенні, що конфігурація АС повністю задана.

Вживання адаптивної ПЧОС забезпечує високу ефективність придушення завад, просторове положення ДРВ яких відрізняється від розташування ДРВ корисного сигналу.

Головним недоліком ПЧОС є низька ефективність придушення завад, що приходять з кутових напрямів, близьких до напрямку приходу корисного сигналу, в особливості при їх потраплянні до головної пелюстки АС. У цьому випадку для виділення корисного сигналу на фоні завад необхідно використовувати відмінність по іншим ознакам корисного сигналу та завад. Такою ознакою може бути форма фазового фронту електромагнітної хвилі (ЕМХ) корисного сигналу та радіозавад на розкриві приймальної АС.

Метою доповіді є: розгляд можливих напрямків застосування ПЧОС по формі фазового фронту ЕМХ в БТС.

Основні відомості про ПЧОС по формі фазового фронту ЕМХ. Як правило, розрізняють три основні види фазових фронтів ЕМХ: сферичний, циліндричний і плоский. Сферичний фазовий фронт ЕМХ зазвичай мають точкові ДРВ, циліндричний – лінійні ДРВ. ЕМХ, що створюються в однорідному ізотропному середовищі будь-якою системою випромінювання, на великій відстані від неї є сферичними. Таким чином, сферичними можна вважати, наприклад, ЕМХ біля поверхні Землі, що випромінюються антеною штучного супутника Землі або ЕМХ, що приймаються антеною радіорелейної станції №1 від антени кореспондуючої з нею радіорелейної станції № 2 при умові, що відстань між цими станціями набагато перевищує лінійні розміри антен. У обох випадках передавальну антену можна вважати точковим випромінювачем, оскільки її лінійні розміри набагато менші за довжину траси, що з'єднує радіопередавальний та радіоприймальний пристрій.

При використанні апертурних антен (параболічні, рупорні, антенні решітки (АР) тощо), які формують спрямоване випромінювання на радіолініях БТС, в залежності від форми фазового фронту ЕМХ ДРВ прийнято розрізняти три хвильові зони поширення радіохвиль: ближня зона (БЗ), проміжна або зона Френеля, дальня зона (ДЗ) або зона дифракції Фраунгофера [1].

Прийнято вважати [1], що сигнал від ДРВ, що розташоване у ДЗ, створює на розкриві приймальної апертурної антени розподіл поля із плоским або близьким до плоского фазовим фронтом ЕМХ, а при розташуванні ДРВ в БЗ або зоні Френеля – зі сферичним хвильовим фронтом. Таким чином, якщо ДРВ корисного сигналу та ДРВ завад при співпадінні їх кутових координат знаходяться у різних хвильових зонах приймальної антени (наприклад, ДРВ корисного сигналу у ДЗ, а ДРВ завади – у БЗ або навпаки) то ЕМХ корисного сигналу на апертурі приймальної АС матиме плоский фазовий фронт а ЕМХ завади – сферичний чи близький до нього. Цю відмінність у формі фазових фронтів ЕМХ можна використати для виділення корисного сигналу та придушення завади, або навпаки виділення завади та придушення корисного сигналу шляхом застосування в АС приймальної станції просторової обробки сигналів по формі фазового фронту.

Основні напрямки застосування ПЧОС по формі фазового фронту в БТС. У загальному випадку, можна виділити три основні напрямки застосування ПЧОС в БТС по формі фазового фронту ЕМХ [3 – 7]:

1) просторова селекція корисного сигналу на фоні завад у випадку співпадіння кутових координат ДРВ корисного сигналу та завад при їх розташуванні у різних хвильових зонах;

2) визначення фазовим пеленгатором БТС місцеположення (пеленгу та дальності) ДРВ корисного або завадового сигналу у випадку його розташування у зоні Френеля;

3) забезпечення повторного використання радіочастотного ресурсу радіорелейної лінії зв'язку (РРЛЗ), шляхом формування в одній й тій самій смузі радіочастот декількох незалежних просторових каналів передавання та приймання ЕМХ з ідентичними поляризаційно-частотними характеристиками, але з різною формою фазового фронту, що забезпечує підвищення пропускну здатності РРЛЗ.

Цей напрямок використання просторової обробки сигналів по формі фазового фронту ЕМХ в теоретичному плані описаний у ряді джерел, наприклад, [1, 2] і є не напрацьованим

авторів цього розділу. Тому більш детально для практичного застосування розглянемо другий та третій напрямки використання просторової обробки сигналів по формі фазового фронту ЕМХ, які є власними науковими напрацюваннями авторів.

Застосування ПЧОС по формі фазового фронту ЕМХ для визначення місцеположення ДРВ. Основним призначенням фазового пеленгатора БТС є визначення пеленгу місцеположення ДРВ. Більшість розроблених на даний час фазових пеленгаторів визначають пеленг ДРВ по плоскому фронту ЕМХ від цього джерела, тобто у випадку, коли ДРВ знаходиться в ДЗ АР фазового пеленгатора. Найпростіший фазовий пеленгатор для визначення пеленгу β ДРВ по плоскому фазовому фронту ЕМХ як правило містить лінійну розріджену 2-х елементну АР (точна, але неоднозначна шкала вимірювання фазового зсуву L_{43}), в середині якої розміщується 2-х елементна лінійна АР (груба, але однозначна шкала вимірювання фазового зсуву L_{21}), як показано на рис.1.

У роботі [4] доведено, що фазовий пеленгатор, зображений на рис.1 також дозволяє визначити пеленг на ДРВ, ЕМХ від якого має довільну форму фазового фронту, включаючи й сферичний фазовий фронт.

Разом з тим, застосування фазових пеленгаторів у надвисокочастотному діапазоні (НВЧ) може привести до ситуації, коли ДРВ буде попадати в зону Френеля АР пеленгатора, тобто перебувати від неї на відстані R , що задовольняє умові

$$R_{БЗ} < R < R_{ДЗ}, \quad (1)$$

де $R_{БЗ} = \sqrt{0,38L^3/\lambda}$, $R_{ДЗ} = 2L^2/\lambda$ – відповідно границя ближньої та далекої зон, λ – довжина хвилі, L – довжина бази (шкали) фазового пеленгатора.

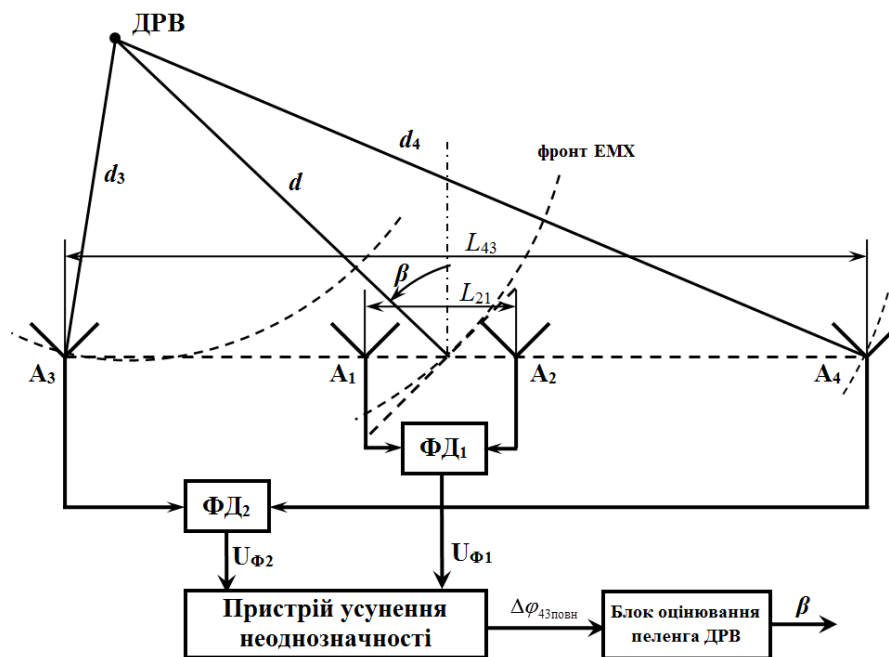


Рис.1. Структурна схема найпростішого фазового пеленгатора: ФД – фазовий детектор

Фазовий пеленгатор, зображений на рис.1 не дозволяє визначити дальність до ДРВ при його розташуванні у зоні Френеля, тому для вирішення цієї задачі необхідно збільшувати кількість елементів розрідженої АР до 3-х. При виконанні умови (1), всі відомі системи фазової пеленгації, що використовують 3-х елементну розріджену АР і працюють в припущенні наявності плоского фазового фронту ЕМХ неминуче будуть вносити значні погрішності у визначення значення пеленга ДРВ зі сферичним фазовим фронтом.

Разом з тим, у роботі [3] показано теоретичну можливість визначення дальності й пеленга ДРВ по формі сферичного фазового фронту ЕМХ у системах фазової пеленгації з

використанням 3-х елементної розрідженої АР, однак по-перше, при цьому не враховувався механізм усунення неоднозначності виміру фазового зсуву між сусідніми елементами АР, а по-друге був відсутній механізм визначення виду фазового фронту ЕМХ, необхідний для переходу системи пеленгації в інший, у порівнянні з дальньою зоною, режим математичного обчислення пеленга. Тому розглянемо технічне рішення побудови фазового пеленгатора із використанням 3-х елементної розрідженої АР, який дозволяє визначати пеленг до ДРВ при його розташуванні в ДЗ а також визначати пеленг та дальність до ДРВ при його розташуванні в зоні Френеля АР пеленгатора (рис.2). Цей пеленгатор передбачає використання двох точних, але неоднозначних шкали вимірювання фази на базах L_{21} і L_{32} відповідно, а також двох грубих, але однозначних шкал на базах L_a й L_b , розташованих усередині відповідних неоднозначних шкал причому $L_a = L_b = 0.5\lambda$ [4].

У випадку, коли на АР такого фазового пеленгатора падає плоский фронт ЕМХ від ДРВ, то згідно рис.2 справедливі наступні співвідношення

$$\beta = \beta_{21} = \beta_{32} = \beta_{31}, \quad (2)$$

$$\Delta\varphi_{21\text{повн}} = \Delta\varphi_{32\text{повн}} \frac{L_{21}}{L_{32}} = \Delta\varphi_{31\text{повн}} \frac{L_{21}}{L_{31}}, \quad (3)$$

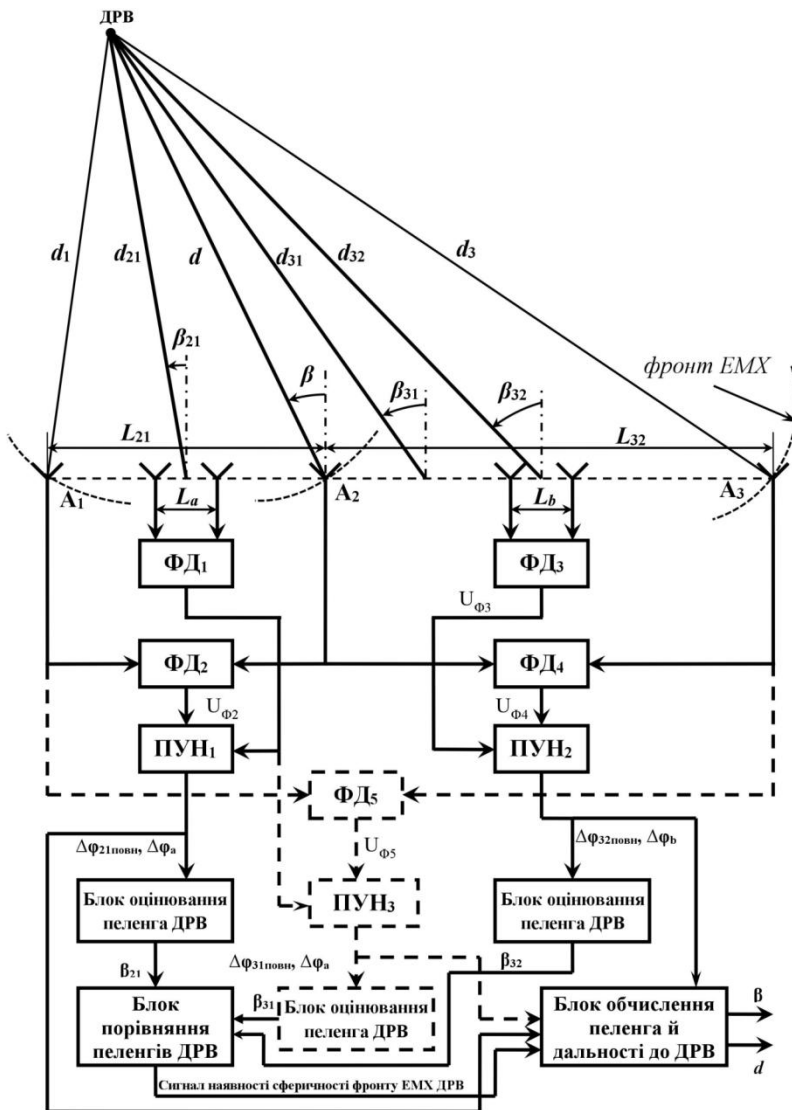


Рис.2 Фазовий пеленгатор на основі 3-х елементної розрідженої АР з використанням 2-х однозначних шкал вимірювання фази: ПУН – пристрій усунення неоднозначності; ФД – фазовий детектор

$$\begin{aligned} \Delta\varphi_{21\text{повн}} &= \Delta\varphi_{21\text{вим}} + 2\pi k_{21}, \\ \Delta\varphi_{32\text{повн}} &= \Delta\varphi_{32\text{вим}} + 2\pi k_{32}, \\ \Delta\varphi_{31\text{повн}} &= \Delta\varphi_{31\text{вим}} + 2\pi k_{31}, \end{aligned} \quad (4)$$

$$k_{21} = \left\langle \frac{1}{2\pi} \left(\frac{L_{21}}{L_a} \Delta\varphi_a - \Delta\varphi_{21\text{вим}} \right) \right\rangle,$$

$$k_{32} = \left\langle \frac{1}{2\pi} \left(\frac{L_{32}}{L_b} \Delta\varphi_b - \Delta\varphi_{32\text{вим}} \right) \right\rangle,$$

$$k_{31} = \left\langle \frac{1}{2\pi} \left(\frac{L_{31}}{L_a} \Delta\varphi_a - \Delta\varphi_{31\text{вим}} \right) \right\rangle, \quad (5)$$

де $\Delta\varphi_{21\text{повн}}$, $\Delta\varphi_{32\text{повн}}$, $\Delta\varphi_{31\text{повн}}$ – повна різниця фаз ЕМХ відповідно між 2-ою та 1-ою, 3-ою та 2-ою, 3-ою та 1-ою антенами АР пеленгатора; $\Delta\varphi_{21\text{вим}}$, $\Delta\varphi_{32\text{вим}}$, $\Delta\varphi_{31\text{вим}}$ – різниця фаз ЕМХ відповідно між 2-ою та 1-ою, 3-ою та 2-ою, 3-ою та 1-ою антенами АР пеленгатора, що визначається на основі сигналів фазових

детекторів (ФД) ФД₂, ФД₄, ФД₅; k_{21} , k_{32} , k_{31} – коефіцієнти, що враховують число повних періодів, втрачених при вимірюваннях різниці фаз по відповідних базах фазового

пеленгатора; $\langle \cdot \rangle$ – операція округлення до найближчого цілого числа; $\Delta\varphi_a$, $\Delta\varphi_b$ – фазові зсуви, що визначаються по відповідних однозначних шкалах L_a та L_b .

Таким чином, якщо не виконується яка-небудь із рівностей (2) або (3) то можна вважати, що фазовий фронт ЕМХ від ДРВ на розкритті АР фазового пеленгатора є сферичним. Тоді як для плоского, так і для сферичного фронту ЕМХ можна записати, що [4]

$$\beta_{21} = \arcsin\left(\frac{\lambda}{2\pi L_{21}} \Delta\varphi_{21\text{повн}}\right), \beta_{32} = \arcsin\left(\frac{\lambda}{2\pi L_{32}} \Delta\varphi_{32\text{повн}}\right), \beta_{31} = \arcsin\left(\frac{\lambda}{2\pi L_{31}} \Delta\varphi_{31\text{повн}}\right). \quad (6)$$

При наявності на розкритті АР фазового пеленгатора сферичного фронту ЕМХ за умови, що ДРВ знаходиться в зоні Френеля і дальність його розташування більше лінійних розмірів АР пеленгатора, тобто $L_{31}/d \ll 1$ справедливі наступні наближення

$$d_1 \approx d - L_{12} \sin \beta + \frac{L_{12}^2 \cos^2 \beta}{2d}, \quad d_3 \approx d + L_{32} \sin \beta + \frac{L_{32}^2 \cos^2 \beta}{2d}. \quad (7)$$

Тоді, повну різницю фаз $\Delta\varphi_{21\text{повн}}$, $\Delta\varphi_{32\text{повн}}$ можна подати у вигляді

$$\Delta\varphi_{21\text{повн}} = \frac{2\pi(d-d_1)}{\lambda} = \frac{2\pi}{\lambda} \left(L_{12} \sin \beta - \frac{L_{12}^2 \cos^2 \beta}{2d} \right), \quad \Delta\varphi_{32\text{повн}} = \frac{2\pi(d_3-d)}{\lambda} = \frac{2\pi}{\lambda} \left(L_{32} \sin \beta + \frac{L_{32}^2 \cos^2 \beta}{2d} \right). \quad (8)$$

Вирішив спільно рівняння (8), отримаємо що шуканий пеленг β і дальність d до ДРВ, обумовлені сферичністю фазового фронту ЕМХ, дорівнюватимуть

$$\beta = \arcsin\left[\frac{\lambda L_{21} (\Delta\varphi_{21\text{повн}} + \Delta\varphi_{32\text{повн}})}{2\pi(L_{21} + L_{32})L_{32}}\right], \quad (9)$$

$$d = \frac{L_{21}^2 \left[4\pi^2 (L_{21}^2 + L_{32}^2) L_{32}^2 - \lambda^2 L_{21}^2 (\Delta\varphi_{21\text{повн}} + \Delta\varphi_{32\text{повн}})^2 \right]}{4\pi\lambda (L_{21} + L_{32}) L_{32} \left[L_{21} \Delta\varphi_{32\text{повн}} + \Delta\varphi_{21\text{повн}} (L_{21}^2 - L_{32}^2 - L_{21} L_{32}) \right]}. \quad (10)$$

Таким чином, при пеленгації ДРВ в зоні Френеля за кривизною фронту з використанням фазового пеленгатора, що складається з 3-х елементної розрідженої АР, необхідно послідовно виконати дві операції: 1) визначити факт наявності сферичності фронту ЕМХ; 2) перевести фазовий пеленгатор з режиму оцінки пеленга для плоского фазового фронту в режим оцінки пеленга за сферичністю фронту ЕМХ з обов'язковим усуненням неоднозначності визначення фазових зсувів, як було показано вище.

Застосування ПЧОС по формі фазового фронту ЕМХ для забезпечення повторного використання РЧР РРЛЗ. На даний момент основною тенденцією розвитку БТС є розширення обсягу і поліпшення якості надання користувачам різних інфокомунікаційних послуг (телефонія, доступ до мережі Інтернет, передача мультимедійної інформації в реальному масштабі часу і т.п.). Однак, впровадження таких сервісів реалізується в основному завдяки технічній можливості збільшення швидкості передачі інформації абонентським каналом у виділених для конкретної БТС смугах радіочастот. Тому задача по забезпеченню раціонального використання БТС радіочастотного ресурсу (РЧР) в умовах його обмеженості і конкурентної боротьби за нього між різними радіотехнологіями не втрачає своєї актуальності і донині. Відноситься зазначена задача і до РРЛЗ, які добре себе зарекомендували при побудові безпроводових сегментів телекомунікаційних мереж різних операторів на магістральному, внутрішньозоновому і місцевому рівнях, а також при розгортанні радіоліній між базовими станціями систем стільникового рухомого радіозв'язку.

Враховуючи на даний час актуальність вирішення задачі нестачі РЧР в діапазонах частот нижче 40 ГГц для РРЛЗ, в роботах [6 – 8] теоретично розглянуто питання дослідження можливості застосування просторової обробки сигналів по формі фронту ЕМХ для забезпечення повторного використання радіочастотного ресурсу на РРЛЗ.

Загальна ідея, яка пояснює застосування просторової обробки сигналів по формі фазового фронту для РРЛЗ представлена у роботах [9 – 10] і полягає в наступному: за допомогою діаграмоутворюючих схем (ДУС) передавального тракту радіорелейної станції

(PPC) із радіосигналів різних джерел інформації штучно створюються ЕМХ, які випромінюються АР цієї станції в напрямку іншої PPC на одній й тій самій частоті, в одній і тій самій смузі радіочастот, з однаковою поляризацією, але з різними формами фронтів ЕМХ, з подальшою просторовою селекцією вказаних ЕМХ одна від одної за формами їх фазових фронтів в АР та ДУС приймального тракту кореспондуючої PPC.

Розглянемо узагальнену структурну схему (рис.3), яка пояснює ідею застосування просторової обробки радіосигналів формі фронту ЕМХ для симплексної РРЛЗ [9, 10].

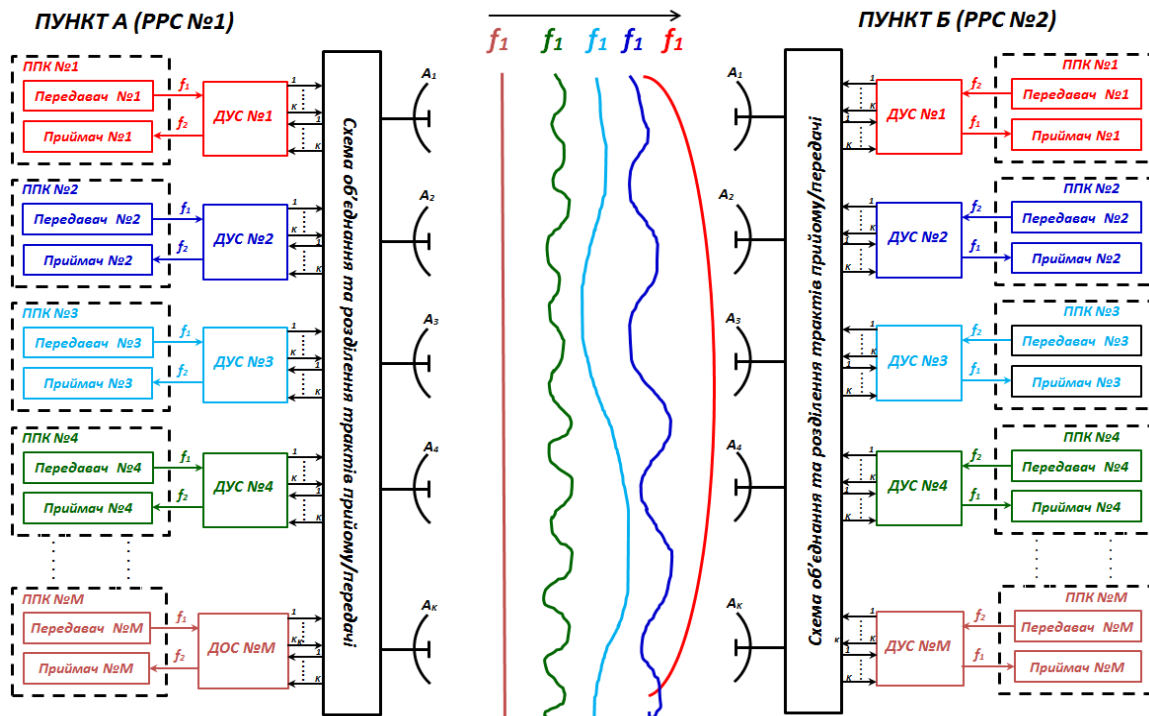


Рис 3. Структурна схема одноінтервальної РРЛЗ з використанням просторової селекції сигналів, де ППК – приймальнопередавальний комплект

Припустимо, що передача ЕМХ йде від PPC №1 в напрямку PPC № 2. Сигнал від i -ого передавача PPC № 1 надходить на вхід дільника потужності i -ої ДУС, де відбувається його поділ на M однакових сигналів. З виходів дільника потужності сигнали потрапляють на входи відповідних каналів i -ої ДУС, де відбувається їх перемноження на комплексні вагові коефіцієнти (з урахуванням амплітуди та фази). З виходів i -ої ДУС сигнали надходять на відповідні суматори схеми розділення та об'єднання трактів передачі/прийому, де вони складаються із сигналами інших передавачів. Далі сумарний сигнал потрапляє на смуговий фільтр, і потім на вихід l -ого елемента АР PPC № 1 В результаті, в передавальній частині за допомогою відповідних ДУС здійснюється формування ЕМХ M різних передавачів, які випромінюють радіосигнали в одній смузі частот та з одним видом поляризації. У цьому випадку відмінною ознакою цих радіосигналів на розкритті АР приймальної сторони є різні форми фазового фронту ЕМХ. Наприклад, ЕМХ першого передавача PPC № 1 має на розкритті АР ЦРРС № 2 плоский фронт, ЕМХ 2-го передавача PPC № 1 – зі сферичним чи близький до сферичного, а ЕМХ від M -ого передавача – фронт синусоїдального чи параболічного виду. На приймальній стороні у відповідних ДУС шляхом зміни амплітуд та фаз здійснюється просторова селекція сигналів різних передавачів один від одного по формі фазового фронту.

Зрозуміло, що ключовими елементами, що виконують просторову обробку є ДУС, які являються формувачами ЕМХ з різними фазовими фронтами в передавальній частині PPC № 1 (№ 2) та просторовими фільтрами ЕМХ по формі фазового фронту ЕМХ в приймальній частині PPC № 2 (№1). Головною характеристикою ДУС є деякий набір комплексних вагових коефіцієнтів, які відображають налаштування її фазообертачів та атенюаторів (при

аналоговій реалізації ДУС). Відповідно набір вагових коефіцієнтів в ДУС і для передавальної, і для приймальної сторін, має бути таким, що забезпечує найкраще розділення радіосигналів різних передавачів РРС №1 (№ 2) один від одного в приймальному тракті РРС № 2 (№ 1). При цьому під ефективністю просторової селекції розуміється здатність окремо взятого ДУС приймального тракту РРС № 2 (№ 1) максимально придушувати радіосигнали передавачів від РРС №1 (№ 2) з одними формами фазового фронту ЕМХ і відокремлювати (селектувати) при цьому з найменшим його загасанням радіосигнал з необхідною формою фазового фронту ЕМХ. На рис.4 показано структурну схему передавальної та приймальної РРС лабораторного макету симплексної РРЛЗ з просторовою обробкою двох сигналів цифрового телебачення стандарту DVB-C за формою фазового фронту, яка побудована на основі схеми рис.3.

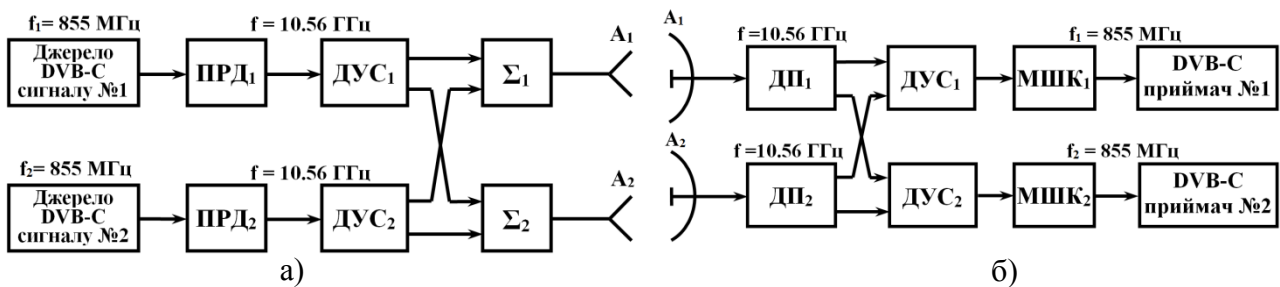


Рис.4. Структурні схеми передавальної (а) та приймальної (б) РРС лабораторного макету симплексної РРЛЗ з просторовою обробкою сигналів за формою фазового фронту: ПРД – передавач, ДП – дільник потужності, МШК – малошумливий конвертор.

Лабораторні дослідження макету симплексної РРЛЗ були проведені при рознесенні АР передавальної та приймальної РРС на відстань 7 метрів. Дві ЕМХ з різною формою фазового фронту, кожна яких відповідає окремому джерелу DVB-C сигналу, створювались шляхом ручного керування фазою та амплітудою ЕМХ в ДУС₁ та ДУС₂ передавальної РРС.

У свою чергу, просторова селекція ЕМХ по формі фазового фронту в приймальній РРС також реалізовувалась ручним налаштуванням змінних атенюаторів та фазообертачів ДУС₁ та ДУС₂. Для відокремлення ЕМХ 1-го DVB-C сигналу атенюатори та фазообертач ДУС₁ налаштовувалися таким чином, щоб максимально придушити ЕМХ 2-го DVB-C сигналу. Подібним чином, для відокремлення ЕМХ 2-го DVB-C сигналу атенюатори та фазообертач ДУС₂ налаштовувалися таким чином, щоб максимально придушити ЕМХ 1-го DVB-C сигналу. Спектри потужності 1-го та 2-го DVB-C сигналів на виході МШК₁ після просторової обробки в ДУС₁ показані на рис.5,а,б, а спектри потужності 1-го та 2-го DVB-C сигналів на виході МШК₂ після просторової обробки в ДУС₂ відповідно на рис.5,в,г.

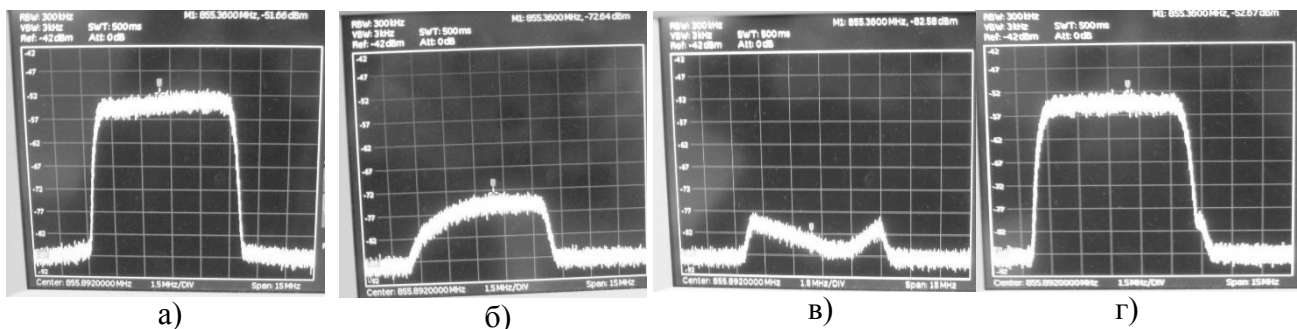


Рис.5 Спектри потужності 1-го (а) та 2-го (б) DVB-C сигналів на виході МШК₁ після просторової обробки сигналів ДУС₁ а також спектри потужності 1-го (в) та 2-го (г) DVB-C сигналів на виході МШК₂ після просторової обробки сигналів ДУС₂

Проведений експеримент показує, що максимальний коефіцієнт придушення DVB-S сигналу, що заважає, на виході ДУС приймальної РРС не перевищує 30–35 дБ. Це пов'язано із неточністю налаштування змінних атенуаторів та фазообертача, яке виконується механічним повертанням їх відповідних органів керування.

Висновки. ПЧОС по формі фазового фронту ЕМХ має вагомий потенціал для її використання в БТС в першу чергу для вирішення задач селекції сигналів з ідентичними поляризаційно-частотними характеристиками, ДРВ яких мають однакові кутові координати, але розташовані в різних хвильових зонах; для покращення роботи фазових пеленгаторів; для забезпечення повторного (у перспективі – багатократного) використання РЧР РРЛЗ прямої видимості.

Подальші дослідження автора будуть спрямовані на практичне дослідження можливості одночасного передавання та приймання в одній й тій самій смузі радіочастот 3-х та більше радіосигналів з однаковими поляризаційно-частотними характеристиками за рахунок використання ПЧОС по формі фазового фронту ЕМХ.

ЛІТЕРАТУРА

1. Кремер И.Я. Пространственно-временная обработка сигналов / И.Я. Кремер, А.И. Кремер, В. М. Петров и др.; Под ред. И.Я. Кремера. – М.: Радио и связь, 1984. – 224 с.
2. Комарович В.Ф. Методы пространственной обработки радиосигналов/В.Ф. Комарович, В.В. Никитченко. – Л.: ВАС, 1989. – 278 с.
3. Авдеенко Г.Л., Федоров В.И., Якорнов Е.А. Определение местоположения источника радиоизлучения по кривизне фронта электромагнитной волны // Известия ВУЗов. Радиоэлектроника № 3, 2008 г. с. 1 – 7.
4. Авдеенко Г.Л., Якорнов Е.А., Липчевская И.Л. Фазовые системы определения координат источника радиоизлучения гармонического сигнала в зоне Френеля // Изв.ВУЗов. Радиоэлектроника, № 12, 2012, с. 24 – 33.
5. Патент №64696 (Україна) „Фазова радіосистема визначення координат” G01S 3/00 // Авдеєнко Г.Л., Ільченко М.Ю., Манюгіна Д.В., Потапенко В.В., Якорнов Є.А., Пром.власність, 2011 р., № 21.
6. Якорнов Є.А., Коломицев М.О., Авдеєнко Г.Л., Лавріненко О.Ю. Теоретичний аналіз можливості застосування фізичного явища кривизни фазового фронту електромагнітної хвилі в стаціонарних системах радіозв'язку надвисокочастотного діапазону // Вісник НТУУ „КПІ”. Сер. Радіотехніка. Радіоапаратобудування. – 2012. – № 48. – С. 84 – 96.
7. Gleb L. Avdeyenko, Maxim A. Kolomytsev, Yevgeniy A. Yakornov „Efficiency of spatial signal processing in wireless communications” // Telecommunication Sciences, 2012, Volume 3, Number 2, pp.5 – 13.
8. Авдеенко Г.Л., Якорнов Е.А. Расчёт показателей эффективности оптимальной пространственной обработки сигналов для радиолинии стационарной беспроводной телекоммуникационной системы / Г. Л. Авдеенко Г.Л., Е. А. Якорнов// Вісник НТУУ “КПІ”. Сер. Радіотехніка. Радіоапаратобудування. – 2013. – № 52. – С. 92 – 101.
9. Патент №104240 (Україна). Система забезпечення зв'язку між двома радіорелейними станціями Н04В 7/14 // Ільченко М. Ю., Якорнов Є.А., Авдеєнко Г.Л., Чижевська А. В., Бранчук В. М., Пром. Власність, 2016р., № 2.
10. Патент №104241 (Україна). Система забезпечення зв'язку між двома радіорелейними станціями» Н04В 7/14 // Ільченко М. Ю., Якорнов Є.А., Авдеєнко Г. Л., Чижевська А. В., Бранчук В. М., Пром. Власність, 2016р., № 2.