

В. М. Почерняєв¹, М. С. Магомедова², Н. М. Сивкова¹

¹ Національна академія Служби безпеки України, Київ, Україна

² Київський фаховий коледж зв'язку, Київ, Україна

МОБІЛЬНІ ЦИФРОВІ ТРОПОСФЕРНІ СТАНЦІЇ З КОМБІНУВАННЯМ ПРОСТОРОВО-РОЗНЕСЕНИХ СИГНАЛІВ

Анотація. В статті досліджується мобільні цифрові тропосферні станції та мобільні комбіновані цифрові радіотехнічні станції, які включають системи просторового рознесення сигналів. Це відомий прийом підвищення стійкості зв'язку та отримання необхідних якісних показників при передачі сигналів в багатопробієвих каналах. Методи прийому просторово-рознесених сигналів можна класифікувати як рознесений прийом із комбінуванням сигналів за надвисокою частотою, проміжною частотою, основною робочою смугою частот. Методи комбінування просторово-рознесених сигналів: автовибір; лінійне складання; оптимальне складання. В статті детально досліджено схему складання сигналів в лінійному тракту до демодулятора і після демодулятора. Результати дослідження показали, що кращі можливості у лінійного складання. При цьому відмічено, що важливу роль грають методи автофазування: автоматичне керування фазами гетеродинних НВЧ сигналів та автоматичне фазування складаних сигналів по проміжній частоті. При оптимальному складанні теоретично виходить найбільший вииграш щодо відношення сигнал/шум. Лінійне складання порівняно з оптимальним дає менший вииграш щодо сигнал/шум на виході пристрою комбінування всього на 1 дБ. Тому, для вузлових та високошвидкісних мобільних цифрових тропосферних станцій рекомендується застосування лінійного складання як методу комбінування рознесених сигналів. В роботі проаналізовано декілька структурних схем приймального тракту для просторово-рознесених сигналів з комбінуванням по проміжній частоті в мобільних цифрових тропосферних станціях. Відмітимо, що прийом із просторовим рознесенням антен продовжує залишатися основним засобом підвищення стійкості зв'язку на тропосферних лініях зв'язку під час передачі цифрових сигналів. В статті розглянуто методи прийому і комбінування просторово-рознесених сигналів, у яких немає перерв зв'язку через перемикання. Лінійне складання, знаходить широке застосування в сучасних мобільних цифрових тропосферних і комбінованих радіотехнічних системах, складовими яких є тропосферна компонента.

Ключові слова: просторове – рознесення сигналів; мобільні цифрові тропосферні станції; автовибір; лінійне складання; оптимальне складання; частково заповнений діалектиком хвилевод.

Вступ

Мобільні цифрові тропосферні станції (МЦТРС) і комбіновані мобільні радіотехнічні системи, такі як мобільна цифрова тропосферно-радіорелейна станція (МЦТрРРС) [1,2] та мобільна цифрова тропосферно-іоносферна станція (МЦТрІС) [3] включають у своєму складі системи просторового рознесення сигналів. Це відомий прийом підвищення стійкості зв'язку та отримання необхідних якісних показників при передачі сигналів в багатопробієвих каналах. Методи прийому просторово-рознесених сигналів можна класифікувати як рознесений прийом із комбінуванням сигналів за надвисокою частотою (НВЧ), проміжною частотою (ПЧ), основною робочою смугою частот. Перевагою методу комбінування по НВЧ є застосування лише одного приймача для перетворення НВЧ-ПЧ при n -кратному рознесенні. Недоліком є підвищення коефіцієнта шуму гілок рознесення з входів НВЧ за рахунок включення пристрою комбінування. У питанні реалізації малогабаритних хвилеводних елементів на НВЧ на допомогу приходить науково-технічний прийом реалізації трактів на частково заповнених діелектриком хвилеводах [4, 5]. Перевагою рознесеного прийому по ПЧ є відсутність демодуляції сигналу на МЦТРС і можливість ство-

рення більш ефективного за енергетичними параметрами пристрою комбінування порівняно з методом комбінування по НВЧ.

Аналіз літературних джерел. Техніка рознесеного прийому широко використовується у радіозв'язку. Найбільшого поширення набув просторово-рознесений прийом, який застосовується в системах МІМО [6-8], під час передачі сигналів OFDM [9], у системах міліметрового діапазону хвиль [10], у системах зв'язку різного призначення [11-18]. Також використовується частотно-рознесений прийом в системах спеціального призначення [19-22] і кутовий рознесений прийом на високошвидкісних лініях зв'язку [23-25]. Зазначимо, що просторово-поляризаційне та поляризаційне рознесення сигналів використовується як у системах радіозв'язку [26, 27], так і у радіолокації [28].

Метою роботи є варіанти побудови схем комбінування просторово-рознесених сигналів у МЦТРС, МЦТрРРС та МЦТрІС.

Основна частина

Методи комбінування просторово-рознесених сигналів: автовибір; лінійне складання; оптимальне складання. При складанні сигналів на прийомі розрізняють так само різні варіанти: складання до демодулятора і складання після демодулятора (рис. 1).

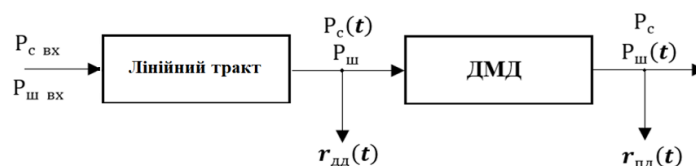


Рис. 1. Схема складання сигналів в лінійному тракту

До демодулятора ДМД складання здійснюється по ПЧ, після демодулятора ДМД – по груповому сигналу (низькій частоті). До демодулятора величина потужності шуму $P_{ш}$ постійна в часі, а змінюється відповідно до завмирання потужності сигналу $P_c(t)$. На виході демодулятора величина потужності сигналу P_c постійна, а змінюється потужність шуму $P_{ш}(t)$. Схема на рис. 1 відповідає кожній гілці рознесеного прийому, тому при швидких завмираннях сигналу на виході лінійного тракту до демодулятора і на виході демодулятора будуть змінюватися співвідношення сигнал/шум:

$$r_{дд}(t) = P_c(t)/P_{ш}, \quad (1)$$

$$r_{пд}(t) = P_c/P_{ш}(t). \quad (2)$$

В формулі (1) величина $r_{дд}(t)$ змінюється при зміні потужності $P_c(t)$, а в формулі (2) - величина $r_{пд}(t)$ змінюється при зміні потужності $P_{ш}(t)$. Ця різниця і визначає спосіб технічної реалізації системи складання – до демодулятора або після демодулятора.

Однак, незалежно від того, де проводитиметься складання суміші сигналу з шумом, наприклад, у k -гілці, співвідношення сигнал/шум $r_k(t)$ пропускається через суматор з ваговим коефіцієнтом $a_k(t)$ на його вихід, де формується сумарний сигнал/шум $r_{\Sigma}(t)$. Керуючі елементи суматора в кожній гілці змінюють за певним алгоритмом вагові коефіцієнти $a_1(t), \dots, a_k(t)$, чим досягається певний ефект від складання сигналів.

При лінійному складанні вагові коефіцієнти вибираються рівними, $a_k = const$. У цьому випадку маємо [29]:

$$r_{\Sigma}(t) \leq \sum_{k=1} r_k(t).$$

Лінійне складання виявляється тим більш ефективним, ніж менш відносна різниця між величинами $r_k(t)$ в гілках, коли завмирання неглибокі.

При автовиборі в кожен момент часу відбувається порівняння відношення сигнал/шум $r_k(t)$ всіх гілок і вибирається та, в якій в даний момент часу $r_k(t)$ найбільше, порівняно з іншими гілками. Керуючі сигнали відключають ці гілки від виходу суматора і вагові коефіцієнти стрибком приймають нульові значення:

$$a_k = \begin{cases} 1, & \text{при } k = j \ (r_j > r_k), \\ 0, & \text{при } k \neq j. \end{cases}$$

У цьому випадку маємо [29]:

$$r_{\Sigma}(t) = r_j(t) \leq \sum_{k=1} r_k(t).$$

Отже, автовибір ефективний при наявності істотних за величиною некорельованих завмирань в гілках.

При оптимальному (квазіоптимальному) складанні на вагові коефіцієнти безперервно впливають керуючі сигнали.

Максимальний ефект складання досягається за умови [29]:

$$r_{\Sigma}(t) = \sum_{k=1} r_k(t).$$

В цьому випадку, вагові коефіцієнти змінюються відповідно до правила:

$$a_k(t) \sim \sqrt{r_k(t)}.$$

В роботі [30] наводяться вирази залежності від застосованого способу складання сигналів. Використовуючи результати цієї роботи отримуємо, що енергетичний вигравш при чотирикратному складанні (дві антени на прийомі, кожна приймає сигнали горизонтальної та вертикальної поляризації) різними способами складають: автовибір – 3 дБ, лінійне складання – 5,2 дБ, оптимальне складання – 6 дБ.

Основною перевагою автовибору по ПЧ є простота побудови пристрою комбінування. Але застосування комутатора в якості пристрою комбінування при автовиборі має наступний істотний недолік. Через кінцевий час перехідних процесів при перемиканні виходу пристрою комбінування на інший приймач виникає короточасна перерва зв'язку. Тривалість цієї перерви становить ~ 1 мкс. Такі перерви зв'язку неприпустимі під час передачі високошвидкісних сигналів більше 8 Мбіт/с. При швидкостях передачі цифрової інформації 8,448 Мбіт/с і більше Мбіт/с у момент перемикання відбувається втрата кількох символів цифрової послідовності. У тропосферних системах Comtech та Raytheon досягається швидкість ~ 50 Мбіт/с та 100 Мбіт/с.

При оптимальному складанні теоретично виходить найбільший вигравш щодо сигнал/шум. Однак, лінійне складання порівняно з оптимальним дає менший вигравш щодо сигнал/шум на виході пристрою комбінування всього на 1 дБ. Тому, для вузлових та високошвидкісних МЦТРС рекомендується застосування лінійного складання як методу комбінування рознесених сигналів [31,32].

При лінійному складанні рознесених сигналів відношення сигнал/шум $r_{\Sigma}(t)$ на виході пристрою комбінування за умови, що сигнали складаються з довільними фазами, дорівнює:

$$r_{\Sigma}(t) = \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N U_i(t) U_j(t) \cos[\psi_i(t) - \psi_j(t)]}{2 \sum_{k=1}^N \sigma_k^2}, \quad (3)$$

де N – кількість гілок рознесення; U_{ij} – напруга, що огинає на вході i -ї та j -ї гілок; ψ – фази складаних сигналів; σ_k^2 – середньоквадратичне значення напруги теплового шуму на вході k -ї гілки рознесення.

З формули (3) випливає, що для отримання максимального відношення сигнал/шум при складанні просторово-рознесених сигналів до демодуляції необхідно попередньо зробити їх фазування, тобто забезпечити рівність: $\psi_i(t) = \psi_j(t)$.

При застосуванні комбінування з лінійним складанням застосовуються два методи автофазування:

- автоматичне керування фазами гетеродинних НВЧ сигналів;
- автоматичне фазування складаних сигналів по ПЧ.

Приймачі з лінійним складанням та автоматичним фазуванням рознесених сигналів мають такі особливості:

- наявність загального гетеродину для всіх гілок рознесення;
- застосування загальної системи автоматичного регулювання пристрою для всіх гілок рознесення;
- включення у гілки рознесення елементів, що компенсують залишкову різницю часу запізнення, яка виникає через неоднакову довжину антенно-хвильових трактів гілок рознесення (у фідері однієї з антен запропоновано передбачати додатковий відрізок хвильоводу для вирівнювання електричних довжин гілок рознесення);
- застосування пристрою автофазування, що здійснює стеження за фазами складаних сигналів та підстроювання фаз сигналів у гілках рознесення.

На рис. 2 наведено структурну схему пристрою комбінування з керуванням фазами гетеродинних сигналів для випадку просторово-рознесеного прийому.

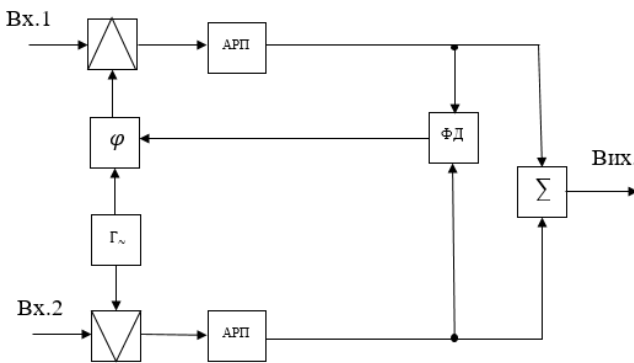


Рис. 2. Схема пристрою комбінування з керуванням фазами гетеродинних сигналів для просторово-рознесеного прийому з лінійним складанням

За допомогою фазового детектора ФД та електричного фазообертача φ здійснюється управління фазою гетеродина Γ і забезпечується синфазне складання сигналів гілок рознесення.

Слід зазначити, що пристрій комбінування має бути побудовано так, щоб здійснювалося стеження тільки за фазами несучих частот сигналу, що передається, зміна яких на прольотах тропосферної лінії зв'язку відбувається порівняно повільно. Модуючий сигнал не повинен впливати на роботу пристрою комбінування. Тому в ланцюзі управління електричними фазообертачами, які входять до складу пристрою комбінування, вводяться інтегруючі ланцюжки.

Пристрої комбінування по ПЧ для приймачів просторово-рознесених сигналів з лінійним складанням показано на рис.3.

Принцип роботи цього пристрою комбінування полягає в управлінні фазою гетеродина Γ , за допомогою якого відбувається перетворення частоти сигналу в одній із гілок рознесення. Потім проводиться зворотне перенесення спектра сигналу на частоту 70 МГц і сигнали обох гілок рознесення синфазно складаються.

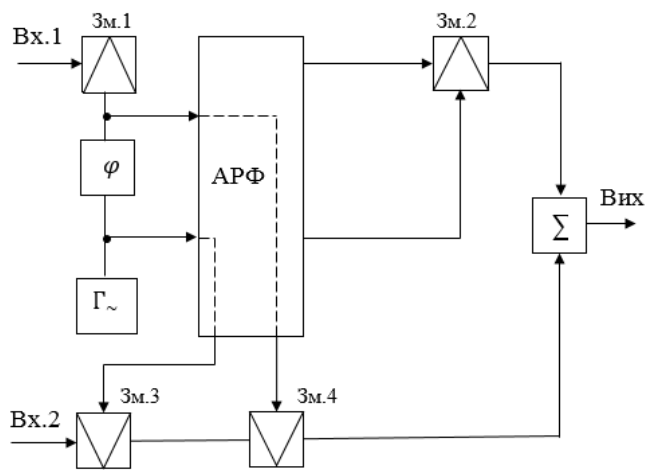


Рис. 3. Схема пристрою комбінування просторово-рознесених сигналів з лінійним складанням по ПЧ

Гетеродин Γ (рис.3) працює на частоті 262 МГц. Сигнал з одного з його виходів через електричний фазообертач φ подається на змішувач Зм.1. На інший вхід Зм.1 змішувача надходить сигнал ПЧ (70МГц) з виходу ПЧ одного із приймачів. Після фільтрації на виході змішувача Зм.1 утворюється сигнал із частотою 192 МГц, який надходить на систему автоматичного регулювання фази АРФ і далі на змішувач Зм.2. На цей змішувач надходить інший сигнал від системи АРФ на частоті 262 МГц, що дозволяє на суматор Σ подати сигнал ПЧ 70 МГц. На інший вхід суматора Σ надходить також сигнал ПЧ 70 МГц, який пройшов «розфазування» в системі АРФ. За допомогою змішувачів Зм.3 і Зм.4 сигнал з частотою 262 МГц від гетеродина Γ перетворюється на сигнал ПЧ (70 МГц) з фазою необхідної для синфазного складання на суматорі Σ .

Пристрій комбінування з фазуванням шляхом керування фазою НВЧ коливання гетеродина однієї з гілок просторового рознесення показано на рис. 4.

Структурну схему такого пристрою комбінування наведено на рис. 4.

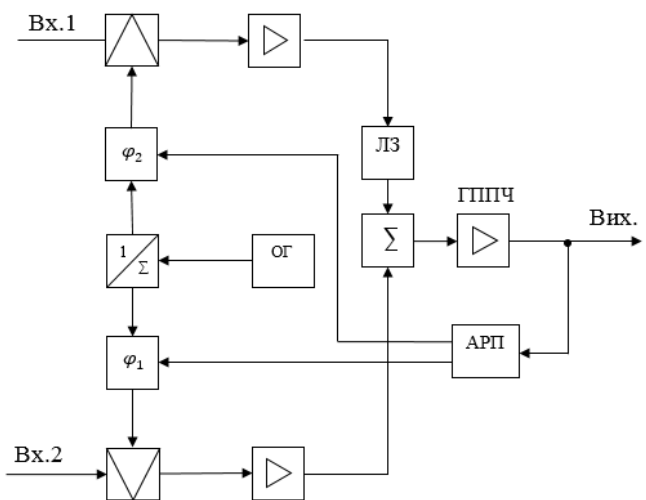


Рис. 4. Схема пристрою комбінування з фазуванням шляхом керування фазою НВЧ коливань гетеродина однієї з гілок просторового рознесення

В цьому випадку складання рознесених сигналів проводиться на виході попередніх підсилювачів ПЧ (ПППЧ), завдяки чому виконуються умови лінійного складання (рівність коефіцієнтів передачі гілок рознесення). Опорні коливання виробляються опорним генератором ОГ. Попереднє вирівнювання часу запізнення гілок рознесення здійснюється лінією затримки ЛЗ. Після складання на суматорі Σ сигнал ПЧ посилюється головним підсилювачем ПЧ ГУПЧ, загальним для обох приймачів.

За наявності «розфазування» складених сигналів на виході суматора Σ виникає додаткова АМ сигналу ПЧ. У цьому випадку АРП видає сигнал помилки на електричні фазообертачі φ_1 та φ_2 , які забезпечують фазування рознесених сигналів.

Висновки

Прийом із просторовим рознесенням антен продовжує залишатися основним засобом підви-

щення стійкості зв'язку на тропосферних лініях зв'язку під час передачі цифрових сигналів. У цій статті розглянуті методи комбінування просторово-рознесених сигналів, у яких немає перерв зв'язку через перемикання.

Відмітимо, що лінійне складання, знаходить широке застосування в сучасних мобільних цифрових тропосферних і комбінованих радіотехнічних системах, складовими яких є тропосферна компонента.

Крім того, в мобільній вузловій цифровій тропосферній станції [33], що працює за схемою «точка-багатоточка» закладено:

- просторово-рознесена передача [29, 34],
- автоматичне регулювання потужності передавача [35],
- кутовий рознесений прийом [36],
- використання фазованої антенної решітки [37].

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Патент №112217 Україна. С2. Мобільна цифрова тропосферно-радіорелейна станція / Почерняєв В.М., Повхліб В.С.; заявл. 12.09.2014; опубл. 10.08.2016 // Бюл.№ 15. <https://iprop-ua.com/?qi=112217>.
2. Патент №120288 Україна. Мобільна цифрова тропосферно-радіорелейна станція / Почерняєв В.М., Повхліб В.С., Зайченко В.В.; заявл. 29.08.2017; опублік. 11.11.2019// Бюл.№21. <https://iprop-ua.com/?qi=120288>.
3. Патент №127524 Україна. С2. Мобільна цифрова тропосферно-іоносферна станція/ Почерняєв В.М., Сивкова Н.М., Повхліб В.С., Магомедова М.С. // заяв.07.07.2021; опублік. 20.09.2023. <https://iprop-ua.com/?qi=127524>.
4. Почерняєв В.М. Устройства на частично заполненных диэлектриком волноводах/ В.М. Почерняєв. – Киев: УКНИПСК, 2000. – 224с.
5. Почерняєв В.Н., Цибизов К.Н. Теория сложных волноводов, Науковий світ, 2003, с.223.
6. Weimin Kang. A Probabilistic Shaping Scheme for MIMO Systems with Signal Space Diversity. IEEE Wireless Communications and Networking Conference, USA. 10-13 April 2022.
7. Xiang Gao, Zhanji Wu, Sheng He, Yongtao Shi, Xiaoping Zhou. Enhanced MIMO cooperative communication based on signal space diversity. 9th Int. Conference on Communications and Networking in China, China. 14-16 August 2014.
8. Ghasemzadeh P., Hempel M., Banerjee S., Sharif H. A Spatial-Diversity MIMO Dataset for RF Signal Processing Research. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement. 2021. Vol. 70. pp. 1-10.
9. Aekkarat Lorphichian, Auttapon Pomsathit, Jintana Nakasuwan, Thanupong Srikalsin, Chawalit Benjangkaprasert. Performance analysis of space diversity for OFDM transmission. International Conference on Control, Automation and Systems. Korea. 14-17 October 2008.
10. Chang-Soon Choi, Yozo Shoji, Hiroyo Ogawa. Analysis of receiver space diversity gain for millimeter-wave self-heterodyne transmission techniques under two-path channel environments. IEEE Radio and Wireless Symposium, USA. January 2007.
11. Mehmet Akif Kurt, Ali Tugberk Dogukan, Ertugrul Basar. Spatial Modulation Using Signal Space Diversity. IEEE Communications Letters. 11 January 2023. pp.1020 – 1024.
12. Tingting Song, Ke Wang, Ampalavanapillai Nirmalathas, Christina Lim, Elaine Wong, Kamal Alameh. Demonstration of Optical Wireless Communications using Spatial Modulation with Signal Space Diversity. IEEE Photonics Conference (IPC). USA. 29 September 2019 - 03 October 2019.
13. Lagunas M. A., Perez Neira A. I., Amin M. G., Vidal J. Spatial processing for frequency diversity schemes. IEEE Transactions on Signal Processing, Feb. 2000. Vol. 48. No. 2. pp. 353-362. <https://doi.org/10.1109/78.823963>.
14. Kurt M. A., Dogukan A. T., Basar E. Spatial Modulation Using Signal Space Diversity. IEEE Communications Letters. March 2023. Vol. 27. No. 3. pp. 1020-1024. <https://doi.org/10.1109/LCOMM.2023.3236025>.
15. Giri, R.K., Patnaik, B. BER analysis and capacity evaluation of FSO system using hybrid subcarrier intensity modulation with receiver spatial diversity over log-normal and gamma-gamma channel model. Opt Quant Electron. 2018. No. 50. p.231. <https://doi.org/10.1007/s11082-018-1499-8>.
16. Kim S.-J., Han S.-K. Power Efficiency Analysis of Spatial Diversity Based Vertical FSO Links With Pointing Error in Multiple Beam Transmissions. IEEE Access, 2022. Vol. 10. pp. 25-31. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3228528>.
17. Gorbunov S., Rashich A. Spatial receive diversity for SEFDM based system. 42nd International Conference on Telecommunications and Signal Processing, Budapest. 2019. pp. 265-268. <https://doi.org/10.1109/TSP.2019.8769085>.
18. Jha P.K., Kachare N., Kalyani K., Kumar D.S. Performance analysis of FSO using relays and spatial diversity under log-normal fading channel. 4th International Conference on Electrical Energy Systems, India. 2018. pp. 121-125. <https://doi.org/10.1109/ICEES.2018.8442405>.
19. Zhao X., Yu L., He F. Wide Range Swath SAR Imaging Method Based On Coherent Frequency Diverse Array Radar. 7th International Conference on Signal and Image Processing, Suzhou, China. 2022. pp. 576-580. <https://doi.org/10.1109/ICSIP55141.2022.9886965>.
20. Carvajal Mora H., Orozco N.G., Chiliguano P.T., De Almeida C. Enabling Signal Space Diversity for MU-MIMO/OFDMA Cellular Systems That Employ Frequency Diversity. IEEE Access, 2019. Vol. 7. pp. 111204-111221. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2934638>.

21. Salucci M., Gelmini A., Poli L., Oliveri G., Massa A. Progressive compressive sensing for exploiting frequency-diversity in GPR imaging. *Journal of Electromagnetic Waves and Applications*. 2018. Vol. 9. No. 32. p. 1164-193, <https://doi.org/10.1080/09205071.2018.1425160>.
22. Imani M. F. et al. Review of Metasurface Antennas for Computational Microwave Imaging. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 2020. Vol. 68. No. 3. p. 1860-1875. <https://doi.org/10.1109/TAP.2020.2968795>.
23. Vipul Dixit, Atul Kumar. Performance Analysis of Indoor Visible Light Communication System with Angle Diversity Transmitter. *IEEE 4th Conference on Information & Communication Technology*. India. 03-05 December 2020.
24. Abrar S. Alhazmi, Sanaa H. Mohamed, Osama Z. Aletri, T. E. H. El-Gorashi, Jaafar M. H. Elmirghani. Angle Diversity Trasmmitter For High Speed Data Center Uplink Communications. *IEEE Conference on Standards for Communications and Networking*, Greece, 15-17 December 2021.
25. Roua Muwafaq Younus, Mahmood Ahmed Al Zubaidy, Safwan Hafeedh Younus Angle Diversity Receiver for Indoor Optical Wireless Communication Systems. *4th International Conference on Advanced Science and Engineering*, 21-22 September 2022.
26. Weitzen J., Wallace M. Analysis of diversity performance of space diversity and cross polarization for PCS base stations. *Ninth IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications*. USA. 06 August 2002.
27. Ullah U., Mabrouk I. B., Koziel S., Al-Hasan M.. Implementation of Spatial/Polarization Diversity for Improved-Performance Circularized Polarized Multiple-Input-Multiple-Output Ultra-Wideband Antenna. *IEEE Access*. 2020. Vol. 8. p. 64112-64119. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2984697>.
28. Mengqi Zhang, Lin Peng, Yan Liang, Yufei Wang, Jie Cui. Radar Polarization Diversity Technology for Low-altitude Targets. *CIE International Conference on Radar*, China. 15-19 December 2021.
29. Почерняев В.М., Сивкова Н.М., Повхліб В.С. Просторово - рознесена передача сигналів в цифрових тропосферних станціях // Наукові праці ОНАЗ ім. О.С. Попова, 2020. – №2. – С.92-99.
30. Гусятинский И.А. Дальняя тропосферная радиосвязь / И.А. Гусятинский, А.С. Немировский, А.В. Соколов, В.Н. Троицкий – М.: Связь, – 1968. – 248 с.
31. Патент України на винахід №122168 Мобільна високошвидкісна цифрова тропосферна станція/ Почерняев В.М., Повхліб В.С., Наритник Т.М.; заявл. 01.08.2018; опубл. 25.09.2020. <https://iprop-ua.com/?qi=122168>.
32. Патент України на винахід 126206 Мобільна вузлова цифрова тропосферна станція/ Почерняев В.М., Повхліб В.С., Наритник Т.М.; заявл. 10.03.2020; опубл. 31.08.2022. <https://iprop-ua.com/?qi=126206>.
33. Почерняев В.М., Сивкова Н.М., Магомедова М.С. Мобільна вузлова цифрова трансферна станція//Системи озброєння і військова техніка, №4(76) 2023, С. 6-15. <https://doi.org/10.30748/soivt.2023.76.01>
34. Сайко В.Г., Наконечний В.С., Баховський П.Ф., Сивкова Н.М. Алгоритм реалізації методу завадостійкого прийому сигналів, які випромінюються просторово рознесеними передавачами // Abstracts of I International Scientific and Practical Conference Stockholm, Sweden 5 7 April 2020. – С.247-253.
35. Почерняев В.М., Сивкова Н.М., Повхліб В.С. Система автоматичного регулювання потужності передавача НВЧ для комбінованих мобільних цифрових тропосферно-радіорелейних станцій // Вісник НТУУ «КПІ». Серія - Радіотехніка. Радіоапаратобудування, 2021. – №84 – С.40-47.
36. Почерняев В.М., Магомедова М.С., Сивкова Н.М., Шефер О.В. Кутувий рознесений прийом на лініях тропосферного та іоносферного зв'язку// Системи управління, навігації та зв'язку, №4 (74), 2023.- С.167-170. <https://doi.org/10.26906/SUNZ.2023.4.167>.
37. Почерняев В.М., Магомедова М.С., Сивкова Н.М. Плоска фазована антенна решітка для мобільних цифрових станцій зв'язку «точка-багатоточка» НВЧ діапазону// Системи управління, навігації та зв'язку, №2 (76), 2024. – С.187–190. <https://doi.org/10.26906/SUNZ.2024.2.187>.

Received (Надійшла) 12.05.2024

Accepted for publication (Прийнята до друку) 31.07.2024

Mobile digital troposcatter stations with combination of spatially diversity signals

V. Pochernyaev, M. Mahomedova, N. Syvkova¹

Abstract. The article examines mobile digital troposcatter stations and mobile combined digital radio engineering stations, which will include systems of spatially diversity signals. This is a well-known method of increasing the stability of communication and obtaining the necessary quality indicators when transmitting signals through multipath channels. The methods of receiving spatially diversity signals can be classified as diversity reception with combining signals by microwave frequency, intermediate frequency and the main working frequency band. Methods of combining spatially diversity signals: automatic selection; linear assembly; optimal assembly. The article examines in detail the signal composition scheme in the linear path before the demodulator and after the demodulator. The results of the research showed that the best opportunities are in linear assembly. At the same time, it was noted that autophasing methods play an important role: automatic control of the phases of heterodyne microwave signals and automatic phasing of composite signals at an intermediate frequency. With optimal composition, theoretically the greatest gain in terms of signal – to – noise ratio is obtained. However, the linear combination compared to the optimal gives a lower signal-to-noise ratio at the output of the combiner by only 1 dB. Therefore, for nodal and high-speed mobile digital troposcatter stations, the use of linear combination as a method of combining diversity signals is recommended. The article analyzes several structural schemes of the receiving path for spatially diversity signals with intermediate frequency combination in mobile digital troposcatter stations. Note that reception with spatially diversity of antennas continues to be the main means of improving communication stability on troposcatter communication lines during the transmission of digital signals. The article discusses the methods of receiving and combining spatially diversity signals in which there are no interruptions in communication due to switching. Linear combination are widely used in modern mobile digital troposcatter and combined radio engineering systems, the components of which is the troposcatter component.

Keywords: spatially diversity signals; mobile digital troposcatter stations; autoselection; linear assembly; optimal assembly; waveguides partially filled by dielectric.