

## МАКЕТ СИМПЛЕКСНОЇ ОДНОІНТЕРВАЛЬНОЇ РАДІОРЕЛЕЙНОЇ ЛІНІЇ ЗВ'ЯЗКУ З ПРОСТОРОВОЮ ОБРОБКОЮ СИГНАЛІВ

Авдєєнко Г.Л., Якорнов Є. А.

Інститут телекомунікаційних систем КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна

E-mail: [django2006@ukr.net](mailto:django2006@ukr.net)

### A prototype of radio relay link with spatial signal processing

This thesis presents a variant of one-hop simplex radio relay link lab prototype with spatial signal processing both in the transmitting and receiving sides. This prototype can be used for research the possibility of radio frequency resource reuse and bandwidth capability increasing for radio relay links by applying spatial signal processing techniques. The proposed prototype of simplex radio relay link can be useful for radio-relay systems developers

У роботі [1] теоретично обґрунтовано можливість підвищення мінімум у 2 рази пропускної здатності радіорелейної лінії зв'язку (РРЛЗ) без виділення додаткової смуги радіочастот за рахунок використання просторової обробки сигналів (ПрОС) за формою фазового фронту (ФФФ) ЕМХ, а також вказано, які першочергові завдання необхідно вирішити для практичної реалізації такої обробки. У свою чергу, в роботі [2] описано узагальнену структурну схему одноінтервальної симплексної РРЛЗ з ПрОС за ФФФ ЕМХ, спрощена структурна схема якої представлена на рис.1.

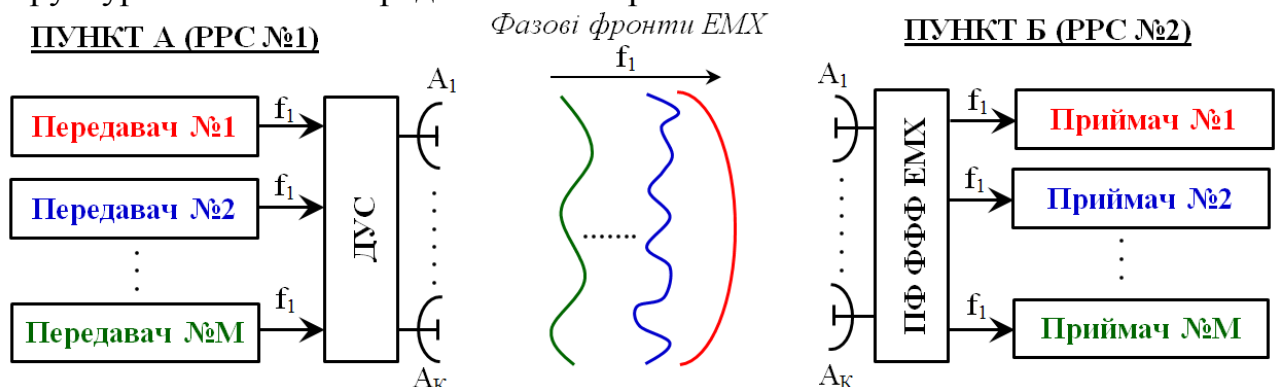


Рис. 1. Спрощена структурна схема одноінтервальної симплексної РРЛЗ з ПрОС за ФФФ ЕМХ.

Відповідно до рис.1, радіорелейна станція №1 (РРС №1) за допомогою діаграмоутворюючої схеми (ДУС) шляхом керування амплітудами та фазами в каналах передавальної антенної решітки (АР)  $A_1 \dots A_K$  створює у просторі між кореспондуючими РРС ЕМХ з різною ФФФ на одній і тій самій частоті  $f_1$  та поляризації ЕМХ. АР приймальної РРС №2 за допомогою підключеного до виходів її антенних елементів  $A_1 \dots A_K$  просторового фільтра (ПФ) ФФФ ЕМХ за допомогою керування амплітудами та фазами прийнятих сигналів забезпечує розділення прийнятих на одній тій самій частоті  $f_1$  та поляризації радіосигналів від різних передавачів, спрямовуючи їх в канали відповідних приймачів. У загальному випадку, така система ПрОС для РРЛЗ повинна бути побудована на принципах адаптивної системи зі зворотнім зв'язком, що передбачає наявність

адаптивних процесорів в структурі РРС №1, №2 та каналів обміну службовою інформацією, які на рис.1 не показані.

Відповідно до рис.1 було розроблено макет РРЛЗ з ПрОС по ФФФ ЕМХ, який складається з передавальної та приймальної сторін, структурні схеми яких відповідно зображено на рис.2,а та рис.2,б.

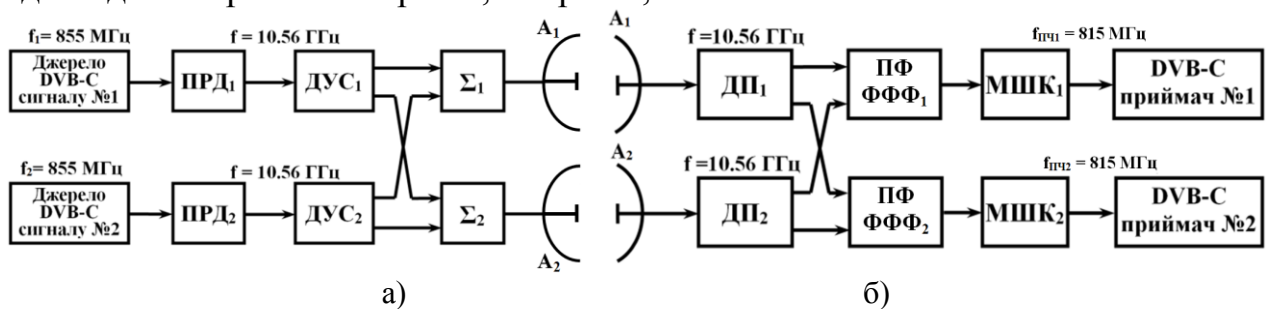


Рис. 2. Структурні схеми передавальної (а) та приймальної (б) РРС лабораторного макету симплексної РРЛЗ з ПрОС по ФФФ ЕМХ:  
 ПРД – передавач, ДП – дільник потужності,  
 МШК – малошумливий конвертор

Лабораторні дослідження макету симплексної одноінтервальної РРЛЗ були проведені при рознесенні 2-х елементних АР передавальної та приймальної РРС, що склалися з дзеркальних параболічних антен діаметром 0,4 м, на відстань 8 метрів. Дві ЕМХ з різною ФФФ, кожна яких відповідає окремому джерелу DVB-C сигналу, створювались шляхом ручного керування фазою та амплітудою ЕМХ в ДУС<sub>1</sub> та ДУС<sub>2</sub> передавальної РРС.

У свою чергу, просторова селекція ЕМХ по ФФФ в приймальній РРС також реалізовувалась ручним налаштуванням змінних атенюаторів та фазообертачів ПФ ФФФ<sub>1</sub> та ПФ ФФФ<sub>2</sub>. Для відокремлення ЕМХ 1-го DVB-C сигналу атенюатори та фазообертачі ПФ ФФФ<sub>1</sub> налаштовувалися таким чином, щоб максимально придушити ЕМХ 2-го DVB-C сигналу. Подібним чином, для відокремлення ЕМХ 2-го DVB-C сигналу атенюатори та фазообертачі ПФ ФФФ<sub>2</sub> налаштовувалися таким чином, щоб максимально придушити ЕМХ 1-го DVB-C сигналу. Спектри потужності 1-го та 2-го DVB-C сигналів на виході МШК<sub>1</sub> після ПрОС в ПФ ФФФ<sub>1</sub> показані на рис.3,а,б, а спектри потужності 1-го та 2-го DVB-C сигналів на виході МШК<sub>2</sub> після ПрОС у ПФ ФФФ<sub>2</sub> відповідно на рис.3,в,г.

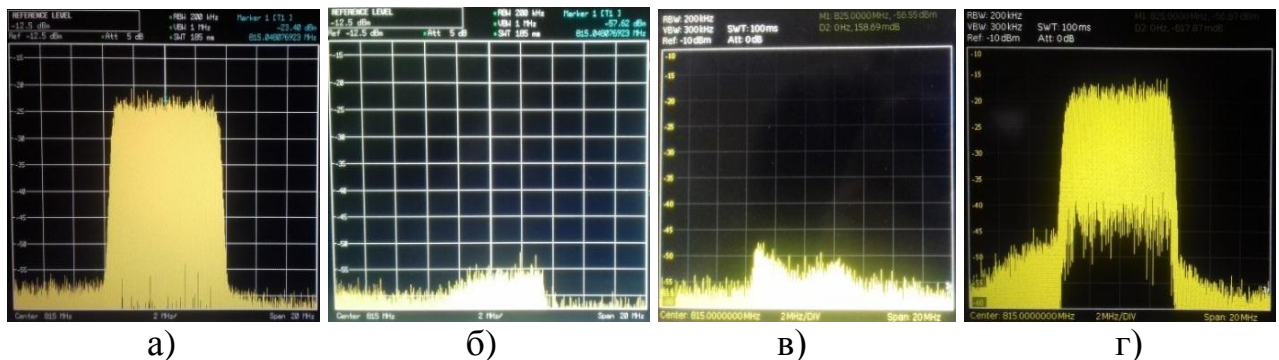


Рис.3. Спектри потужності 1-го (а) та 2-го (б) DVB-C сигналів на виході МШК<sub>1</sub> після ПрОС в ПФ ФФФ<sub>1</sub> а також спектри потужності 1-го (в) та 2-го (г) DVB-C сигналів на виході МШК<sub>2</sub> після ПрОС у ПФ ФФФ<sub>2</sub>

Аналіз спектрів на рис.3, що максимальний коефіцієнт придушення DVB-C сигналу, що заважає, на виході ПФ ФФФ приймальної РРС не перевищує 30-35 дБ. Це пов'язано із неточністю налаштування змінних атенюаторів та фазообертача, яке виконується механічним повертанням їх відповідних органів керування.

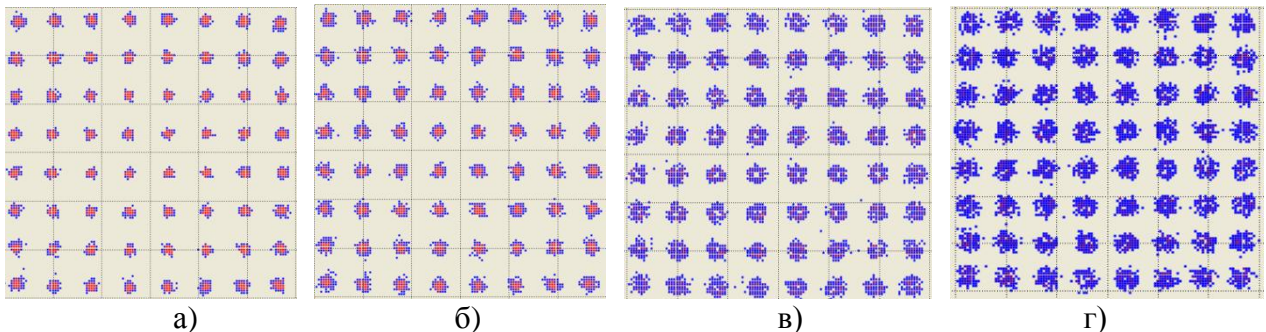


Рис.4. Сигнальне сузір'я для 1-го сигналу DVB-C до (а) та після (б) ПрОС в ПФ ФФФ<sub>1</sub>. Сигнальне сузір'я для 2-го сигналу DVB-C до (в) та після (г) ПрОС в ПФ ФФФ<sub>1</sub>

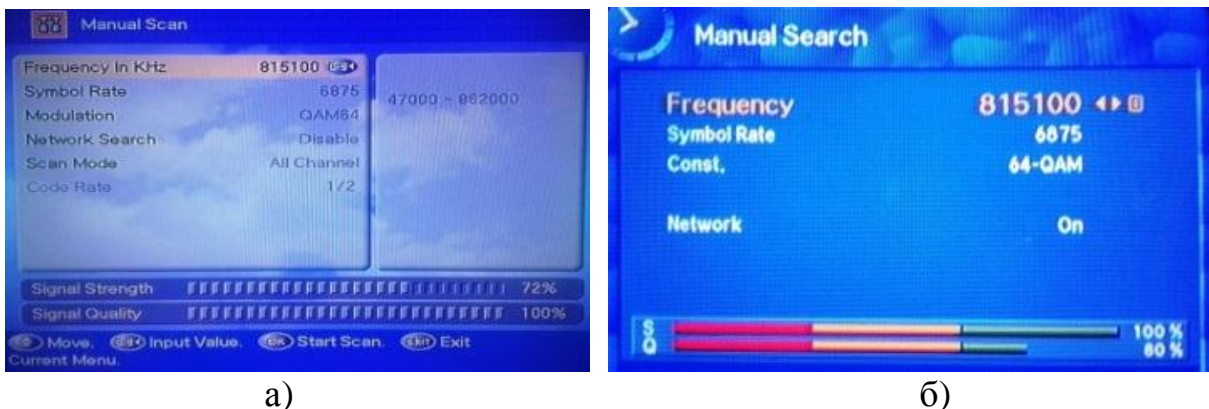


Рис.5. Якість демодуляції 1-го (а) та 2-го (б) DVB-C сигналів у приймачах цифрового кабельного ТБ після ПрОС.

Лабораторні випробування макету показали можливість одночасного передавання та приймання на одній й тій самій частоті двох радіосигналів багатопозиційної модуляції 64-QAM стандарту DVB-C, кожен з яких переносить телевізійний транспортний потік зі швидкістю 41,25 Мбіт/с при відстані між кореспондуючими станціями 8 м та використанні двоелементної лінійної АР з міжелементною відстанню 0,4 м. При цьому погіршення у відношенні сигнал/шум після ПрОС по ФФФ ЕМХ в кожному з приймальних каналів не перевищувало 3 дБ, а ймовірність бітової помилки була не гірше  $9.6 \cdot 10^{-5}$  (при максимально допустимій  $2 \cdot 10^{-4}$ ).

### Література

1. Авдеенко Г.Л., Якорнов Е.А. Задачи практической реализации радиорелейной линии связи на основе использования различных в формах фазовых фронтов их электромагнитных волн //XI Міжнародна науково-технічна конференція "Проблеми телекомунікацій" ПТ-2017: Збірник матеріалів конференції. К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. – с.235-237.
2. Г.Л. Авдеенко, Е.А. Якорнов Застосування просторово-часової обробки сигналів за формою фазового фронту електромагнітної хвилі у безпроводових телекомунікаційних системах // Збірник наукових праць ВІТІ №4 – 2018, с.6-13.