

ЗАВАДОСТІЙКИЙ МОДЕМ ПЕРЕДАВАННЯ КОМАНД КЕРУВАННЯ РУХОМИМ ОБ'ЄКТОМ

Більшість аналогових засобів радіозв'язку використовують амплітудну або частотну модуляцію радіосигналу при обмеженій смугі частот. Такі радіосигнали мають достатньо високу спектральну щільність, що дає змогу виявити і заглушити їх засобами радіоелектронної боротьби. Одним з методів підвищення прихованості та завадостійкості засобів радіозв'язку є розширення спектру радіосигналу на робочій частоті передавача [1]. При запровадженні цього методу в існуючих аналогових засобах зв'язку ширина спектру сигналу не повинна перевищувати 25 кГц. Тому запровадження методів розширення спектру радіосигналу фактично вимагає розробки нового засобу зв'язку. Отже актуальним завданням залишається розробка методу підвищення завадостійкості, який може бути реалізований у вигляді низькочастотного модему-приставки до існуючих вузькосмугових засобів зв'язку.

У роботі розглядається розробка низькочастотного модему для реалізації бездротової радіолінії передавання команд керування на базі існуючих аналогових радіоліній. Пропонується використання структурованого сигналу з лінійною частотною модуляцією (ЛЧМ), ширина спектру якого не перевищує ширину смуги каналу зв'язку. Застосування запропонованого методу не підвищує прихованості передавання, але забезпечує підвищення завадостійкості каналу зв'язку шляхом збільшення відношення сигнал/шум на виході оптимальної системи обробки корисного сигналу. Дальність дії радіолінії керування визначається дальністю дії обраного для реалізації засобу радіозв'язку.

У якості рухомого об'єкта розглядається носій з камерою, для управління яким достатньо подати п'ять команд. Кожна команда передбачає зміну часової позиції імпульсу ЛЧМ на певну величину, відповідно до номера команди [2]. Принцип роботи завадостійкого засобу передавання команд керування можливо описати наступним чином. Передавальна частина завадостійкого модему містить модулятор з фазо-імпульсною модуляцією (ФІМ) та генератор ЛЧМ сигналу з ЦАП, що реалізуються на одному мікроконтролері ESP32. З виходу ЦАП сформований ЛЧМ сигнал подається на вхід модулятора засобу зв'язку, що обраний для реалізації радіоканалу. Перенесення сформованого сигналу на несучу частоту каналу, що обраний для роботи, здійснюється у передавачі засобу зв'язку. Приймач засобу

зв'язку налаштовується на частоту обраного для роботи каналу. З виходу приймального пристрою засобу зв'язку демодульований низькочастотний ЛЧМ сигнал буде надходити до АЦП демодулятора модему, який забезпечує формування цифрових відліків прийнятого сигналу. Цифрові відліки подаються на вхід корелятора ЛЧМ сигналу, який є ідеальним накопичувачем енергії корисного сигналу. Відношення сигнал/шум на виході корелятора суттєво перевищує це відношення на його вході. Цифрові відліки з виходу корелятора подаються на вхід демодулятора ФІМ. Визначення часової відстані між відгуками у демодулятор ФІМ дозволить визначити номер команди, що була передана по радіоканалу. АЦП, корелятор ЛЧМ сигналу та демодулятор ФІМ також реалізовані на мікроконтролері ESP32.

У роботі описуються результати практичної перевірки працездатності запропонованого низькочастотного модему-приставки передавання команд керування рухомим об'єктом з використанням аналогових радіостанцій з амплітудною та частотною модуляцією несучого коливання та смугою пропускання приймача 25 кГц.

Запропонований низькочастотний модем дозволить провести модернізацію великої кількості вже існуючих аналогових радіостанцій з метою створення засобу передавання дискретних команд керування з підвищеною завадостійкістю. На відміну від відомих методів розширення спектру сигналу на радіочастоті, запропонований метод підвищення завадостійкості не вимагає розширення спектру сигналу, а отже і смуги пропускання існуючих засобів радіозв'язку. Розробка модему у вигляді окремого блоку з цифровим формуванням і обробкою сигналів дозволить запровадити запропонований завадостійкий метод передавання команд керування рухомим об'єктом на базі існуючих засобів зв'язку без їх суттєвої доробки.

Список використаних джерел:

1. Андреев О.В., Ципоренко В.В., Ципоренко В.Г., Андреева Є.О., Дубина О. Ф., Пулеко І.В. Електромагнітна сумісність широкосмугових та вузькосмугових короткохвильових засобів радіозв'язку, *Sciences of Europe*. 2025. Vol 1, № 158. P.78–86. URL: <https://www.europe-science.com/wp-content/uploads/2025/02/Sciences-of-Europe-No-158-2025.pdf>

2. Vakaliuk T., Andreiev O., Nikitchuk T., Osadchyi V., Dubyna O. Using the ESP32 Microcontroller for Physical Simulation of the Operation of a Broadband Radio Communication Modem. *Радіоелектроніка, інформатика, управління*. 2023. Вип. 3 (63). С. 206-214.