



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **98232** (13) **C2**
(51) МПК (2012.01)
H04B 7/00
H04B 14/00

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИ

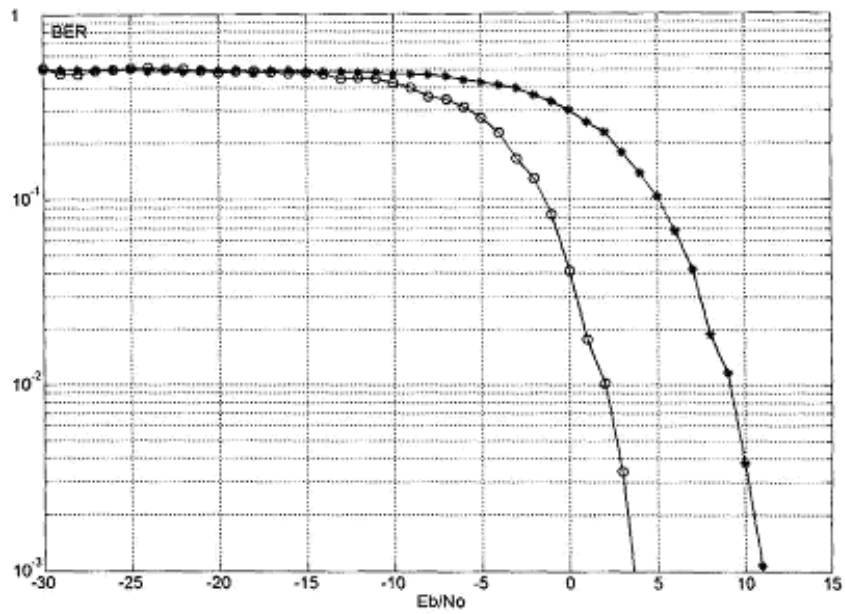
(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВІНАХІД

(21) Номер заявки: а 2010 15327	(72) Винахідник(и): Зеленський Олександр Олексійович (UA), Тоцький Олександр Володимирович (UA), Солодовник Віктор Федорович (UA), Науменко Вікторія Володимирівна (UA)
(22) Дата подання заявки: 20.12.2010	(73) Власник(и): НАЦІОНАЛЬНИЙ АЕРОКОСМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМ. М.Є.ЖУКОВСЬКОГО "ХАРКІВСЬКИЙ АВІАЦІЙНИЙ ІНСТИТУТ", вул. Чкалова, 17, м. Харків, 61070, Україна (UA)
(24) Дата, з якої є чинними права на винахід: 25.04.2012	(56) Перелік документів, взятих до уваги експертизою: RU 2097924 C1; 27.11.1997 RU 2292119 C2; 20.01.2007 RU 2179786 C2; 20.02.2002 RU 2340103 C2; 27.11.2008 US 6329905 B1; 11.12.2001 US 6101214 A; 08.08.2000 JP 1188044 A; 27.07.1989 US 2005164639 A1; 28.07.2005 US 2002181547 A1; 05.12.2002 Тоцький А. В., Науменко В. В. Способ повышения помехоустойчивости цифровой системы связи на основе биспектрально-организованной модуляции, Радиоелектронні і комп'ютерні системи, Харків, "ХАІ", 2(43), квітень-червень 2010. - С.27-31
(41) Публікація відомостей про заявку: 26.09.2011, Бюл.№ 18	
(46) Публікація відомостей про видачу патенту: 25.04.2012, Бюл.№ 8	

(54) СПОСІБ ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ**(57) Реферат:**

Спосіб передачі даних належить до техніки цифрового зв'язку, а саме до способів передачі та прийому інформаційних потоків даних в умовах підвищеного рівня перешкод. В способі відбувається модуляція високочастотної несучої бігармонічним коливанням, коли на передавальному пункті забезпечують корельовані варіації частот бігармонічного коливання з коефіцієнтом кореляції ρ та коефіцієнтом взаємозв'язку β_{σ} , що дорівнюють одиниці. Коливання на різницевій частоті бігармонічного коливання формують на приймальному пункті. А біспектрально-організований частотний триплет відновлюють на приймальному пункті з прийнятого бігармонічного коливання та коливання, що сформовано на його різницевій частоті. Технічним результатом є підвищення перешкодозахищеності систем цифрового зв'язку в умовах впливу підвищеного рівня перешкод у радіоканалі зв'язку.

UA 98232 C2



Залежність ймовірності появи бітової помилки BER від відношення сигнал-шум E_b/N_0 в умовах впливу адитивного гаусова шуму

Винахід належить до техніки цифрового зв'язку, а саме до способів передачі та прийому інформаційних потоків даних в умовах підвищеного рівня перешкод, наприклад, до способів передачі та прийому даних в умовах впливу шуму у радіоканалі зв'язку.

Відомий спосіб передачі та прийому даних у цифрових системах зв'язку [Способ передачи сообщения и устройство для его осуществления. Патент Российской Федерации № 2097924, кл. H04B 7/00, H04B 14/00, опубл. 27.11.1997]. У цьому способі, який вибрано як спосіб-аналог, використано процедуру перетворення інформаційних цифрових символів у низькочастотні полігармонічні (багаточастотні) коливання, що модулюють високочастотну несучу.

Найбільш близьким рішенням за призначенням, технічною суттю та здобутим результатом, що вибрано як прототип, є відомий спосіб передачі даних у цифровій системі радіозв'язку з багаточастотною маніпуляцією, коли як низькочастотні модулюючі коливання використано два біспектрально-організованих триплети (трійки частот) [Тоцкий А.В., Науменко В.В. Способ повышения помехоустойчивости цифровой системы связи на основе биспектрально-организованной модуляции. Радиоэлектронні і комп'ютерні системи. - Харків, "ХАІ", 2(43), квітень-червень 2010. - С. 27-31]. Триплет, що відповідає символу у передавальному інформаційному потоці двійкових даних, організовано у вигляді суми трьох гармонічних коливань, причому одна з трійки частот у кожному триплеті дорівнює сумі (або різниці) двох інших частот. Процедура виявлення прийнятого сигналу на фоні шуму виконана на основі оцінювання статистики третього порядку, що сформована на виході демодулятора у вигляді пікового значення оцінки амплітудного біспектра (біамплітуди) біспектрально-організованого триплету, який прийнято на фоні шуму каналу зв'язку.

Перешкодозахищеність у прототипі досягнуто за допомогою використання властивостей моментної функції третього порядку спостереження та її перетворення Фур'є – біспектра. Метод біспектрального оцінювання дозволяє виявити у спостереженні такі залежності та властивості, які неможливо визначити за допомогою використання класичних статистик другого порядку - кореляційної функції та спектральної щільності. До переваг методу біспектральної обробки сигналів належать можливість виявлення та оцінювання фазових та частотних зв'язків спектральних компонент у спостереженні, висока перешкодозахищеність відносно до адитивного гаусова шуму і інваріантність біспектра до затримки сигналу. Ці переваги лежать в основі способу-прототипу передачі даних у двійковому коді, коли інформацію при передачі повідомлення «закладають» не у вигляді класичних змін амплітуди, частоти або фази несучої, а за допомогою введення біспектрально-організованої апріорної інформації у вигляді двох ортогональних частотних триплетів (трійок частот) таких, що одна з частот у кожному триплеті дорівнює сумі двох других частот. Процедура демодуляції у способі-прототипі зводиться до рішення двохальтернативної задачі виявлення біспектрально-організованого триплету на фоні шуму каналу зв'язку, коли правило прийняття рішення полягає в оцінці максимуму біамплітуди триплету у двовірному частотному просторі.

Недоліком способу-аналога та способу-прототипу є те, що модуляція несучої полігармонічним коливанням неминуче призводить до розширення робочої смуги частот системи радіозв'язку, при цьому росте внесок шуму каналу зв'язку з розширенням робочої смуги частот і, як наслідок, зростає ймовірність появи помилки.

Задачею запропонованого винаходу є підвищення перешкодозахищеності цифрових систем радіозв'язку з багаточастотною маніпуляцією при використанні як модулюючого коливання біспектрально-організованого триплету, коли забезпечують звуження робочої смуги частот системи радіозв'язку відносно величини смуги частот у способі-прототипі.

Поставлену задачу вирішено таким чином, що у способі передачі даних на передавальному пункті системи зв'язку формують та передають через канал зв'язку на приймальний пункт високочастотну несучу, яка модульована бігармонічним коливанням, та, відповідно до винаходу, на передавальному пункті забезпечують корельовані варіації частот бігармонічного коливання з коефіцієнтом кореляції ρ та коефіцієнтом взаємозв'язку β_{Σ} , які дорівнюють одиниці, при цьому на прийальному пункті зв'язку генерують коливання на різницевій частоті бігармонічного коливання, яке необхідне для відновлення біспектрально-організованого триплету у частотному просторі та для виконання процедури виявлення сигналу на фоні шуму за оцінкою пікової величини біамплітуди спостереження на виході демодулятора.

Суттєві ознаки винаходу, що пропонується:

- на передавальному пункті системи зв'язку забезпечують корельовані варіації частот модулюючого несучу бігармонічного коливання з коефіцієнтом кореляції ρ та коефіцієнтом взаємозв'язку β_{Σ} , які дорівнюють одиниці;

- на прийальному пункті системи зв'язку формують коливання на різницевій частоті модулюючого бігармонічного коливання;

- біспектрально-організований триплет відновлюють на приймальному пункті за допомогою прийнятого у суміші з шумом каналу зв'язку бігармонічного коливання та коливання, яке генерують на приймальному пункті на різницевій частоті бігармонічного коливання, що передають з передавального пункту системи зв'язку.

5 При використанні у запропонованому способі FSK (frequency shift keying) - модульованого бігармонічного коливання досягають звуження робочої смуги частот системи радіозв'язку і, як наслідок цього, забезпечують покращення перешкодозахищеності у порівнянні зі способом-прототипом.

10 У способі-прототипі передачу даних виконано шляхом багаточастотної маніпуляції з використанням біспектрально-організованого триплету - тричастотного коливання на частотах f_1, f_2 та на сумарній $f_c = f_1 + f_2$ або різницевій $f_p = f_1 - f_2$ частотах.

Низькочастотні модулюючі коливання $s_0(t)$ та $s_1(t)$ у способі-прототипі, що відповідають передачі символу «0» та символу «1» у бінарному потоці інформаційних даних, запишемо у вигляді

$$s_0(t) = A_0 \sum_{k=1}^3 \cos(2\pi f_{0k} t), \quad (1a)$$

$$s_1(t) = A_0 \sum_{k=1}^3 \cos(2\pi f_{1k} t), \quad (16)$$

15 де $f_{03} = f_{01} + f_{02}; f_{13} = f_{11} + f_{12}$ або $f_{03} = f_{02} - f_{01}; f_{13} = f_{12} - f_{11}$.

Оцінку перешкодозахищеності було виконано за допомогою розрахунків ймовірності з'явлення бітової помилки (BER) у прийнятому цифровому повідомленні на виході демодулятора. Ймовірність правильного виявлення бітів у початковому інформаційному потоці бітів було розраховано в залежності від відношення сигнал-шум E_b/N_0 на вході демодулятора,

20 як відношення енергії біта E_b до спектральної щільності гаусова шуму N_0 каналу радіозв'язку. Величина відношення сигнал-шум E_b/N_0 змінювалось в межах від - 30 до 30 дБ у цифровому моделюванні. Значення частот у біспектрально-організованих триплетах (1a) та (16) у комп'ютерному моделюванні було вибрано рівними $f_{01} = 500$ Гц, $f_{02} = 900$ Гц, $f_{03} = f_{02} - f_{01} = 400$ Гц; $f_{11} = 700$ Гц, $f_{12} = 1100$ Гц, $f_{13} = f_{12} - f_{11} = f_3 = 400$ Гц.

25 На кресленні наведено графіки ймовірності появи помилкового біта, які одержано при передачі тестового повідомлення довжиною 2^{10} інформаційних бітів, класичним способом частотної FSK-маніпуляції з використанням тонального (одночастотного) сигналу та за запропонованим способом біспектрально-організованої маніпуляції в умовах впливу адитивного гаусова шуму у каналі зв'язку: крива +--+ відповідає стандартній FSK-маніпуляції тональним сигналом, а крива о-о-о - запропонованому способу біспектрально-організованої маніпуляції.

30 З креслення видно, що під впливом адитивного гаусова шуму, ймовірність появи помилкових бітів $BER = 10^{-3}$ досягається, коли відношення сигнал-шум дорівнюють $E_b/N_0 = 12$ дБ та $E_b/N_0 = 3$ дБ для стандартної FSK-маніпуляції тональним сигналом та для запропонованого способу маніпуляції біспектрально-організованим триплетом відповідно. Отже, у запропонованому способі забезпечено виграв відносно сигнал-шум, який дорівнює 9 дБ, за умови фіксованої величини ймовірності появи помилки $BER = 10^{-3}$.

35 Відомо [Многочастотные кварцевые генераторы/ Зеленский А.А., Солодовник В.Ф., Шевелев В.А.. - Учеб. пособие по курсовому и дипломному проектированию. - Харьков: Гос. Аэрокосмический ун-т "Харьк. авиац. ин-т", 1999. - 137 с.], що формування бігармонічного коливання можливо у багаточастотному кварцовому автогенераторі, який реалізовано на одному активному елементі. У таких автогенераторах джерело варіацій частот генерованих коливань одне і те ж - шум активного елемента і, отже, спостерігається спільна реактивність активного елемента, що змінюється за випадковим законом. Тому варіації частот f_1 та f_2 є одинично корельованими, тобто коефіцієнт кореляції варіацій цих частот $\rho_{12}(\tau)$ дорівнює

$$\rho_{12}(\tau) = R_{12}(\tau) / (\sigma_1 \cdot \sigma_2) = 1, \quad (2)$$

45 де $R_{12}(\tau)$ - взаємна кореляційна функція частотних варіацій, що спостерігаються на частотах f_1 та f_2 ; σ_1 та σ_2 - середньоквадратичні відхилення (СКВ) флуктуацій (випадкових варіацій) частот f_1 та f_2 .

За умови виконання (2) частоти та варіації цих частот пов'язані детермінованими співвідношеннями через відповідні коефіцієнти взаємозв'язку β , що дорівнюють

$$\beta_f = f_1 / f_2 \text{ і } \beta_\sigma = \sigma_1 / \sigma_2. \quad (3)$$

За умови $\rho_{12}(\tau) = 1$ дисперсія σ_p^2 різницевої частоти f_p визначається співвідношенням

$$\sigma_p^2 = \sigma_1^2 + \sigma_2^2 - 2\sigma_1 \cdot \sigma_2 = (\sigma_1 - \sigma_2)^2, \quad (4)$$

і, отже, СКВ флуктуацій частот дорівнюють

$$\sigma_p = \sigma_1 - \sigma_2. \quad (5)$$

- 5 За умови $\beta_\sigma = 1$, тобто за рівністю між собою величин варіацій частот $\delta f_1 = \delta f_2$ і, внаслідок цього, за рівністю величин їх СКВ $\sigma_1 = \sigma_2$, враховуючи (5), отримуємо

$$\delta f_p = 0 \text{ і } \sigma_p = 0. \quad (6)$$

Таким чином, різницева частота f_p залишається сталою величиною у випадку ненульових варіацій частот f_1 та f_2 , причому варіацій будь-якої фізичної природи, що викликані як дестабілізуючими (власний електронний шум автогенератора, зміни температури та інше), так і керуючими, тобто виникаючими при маніпуляції факторами.

- 10 Оскільки частоти f_1, f_2 , та f_p у біспектрально-організованих триплетах приймають значення f_{10}, f_{20}, f_{p0} (передача символу "0") та f_{11}, f_{21}, f_{p1} (передача символу "1"), тоді за умови (5) та внаслідок впливу вище відзначених дестабілізуючих та керуючих факторів забезпечуються умови $\delta f_p = 0$ та $\sigma_p = 0$, тобто різницева частота f_p залишається сталою величиною. Таким
- 15 чином, забезпечують виконання умови $f_{p0} = f_{p1} = f_p = \text{const}$.

Завдяки цьому, у запропонованому способі компоненту біспектрально-організованого триплету на різницевій частоті f_p можна не передавати через радіоканал з шумом, а відновлювати цю компоненту триплету на приймальному пункті системи зв'язку за допомогою апріорно відомої величини f_p . Тоді на приймальному пункті системи зв'язку у виявленні

20 сигналів на фоні шуму приймуть участь оцінки біамплітуд біспектрально-організованих триплетів - тричастотних коливань з частотами f_{10}, f_{20} та f_p або f_{11}, f_{21} , та f_p .

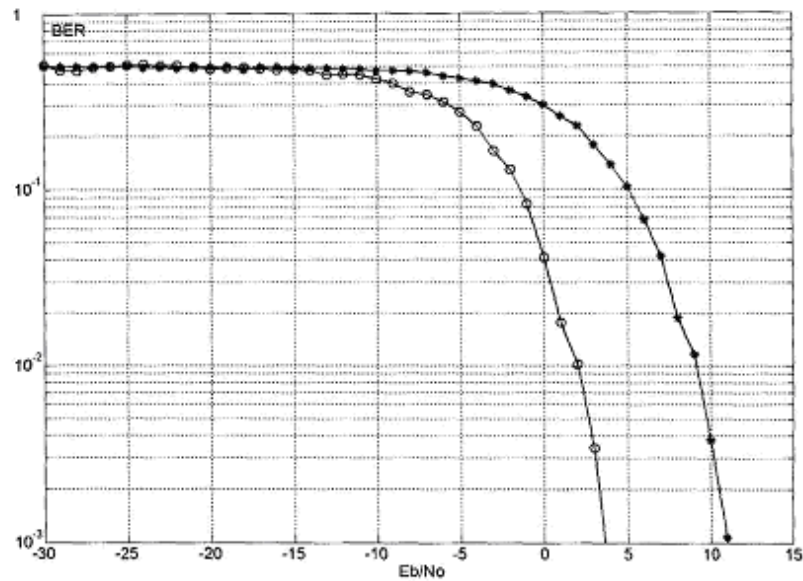
- Незважаючи на те, що у запропонованому способі через канал зв'язку передають не три спектральні компоненти (триплет), а дві (бігармонічне коливання), вигравш, який забезпечено за рахунок використання біспектрально-організованої модуляції зберігається (див. креслення).
- 25 Завдяки тому, що у запропонованому способі передають не три, а дві спектральні компоненти, робоча смуга частот системи зв'язку звужується. Оскільки третю, тобто різницеву (або сумарну) компоненту не передають через канал зв'язку у запропонованому способі через канал зв'язку, а її відновлюють на приймальному пункті, то на неї не впливають шуми каналу зв'язку.

- Таким чином, якщо передавати у канал зв'язку дані за допомогою запропонованого способу з використанням біспектрально-організованого триплету, що містить бігармонічне коливання і коливання на різницевій частоті цього бігармонічного коливання, що генерують на приймальному пункті системи зв'язку, а процедуру виявлення біспектрально-організованого триплету на фоні шуму виконувати за оцінкою біамплітуди спостереження на виході демодулятора, а також на передавальному пункті забезпечити корельовані варіації частот
- 30 бігармонічного коливання з коефіцієнтом кореляції ρ та коефіцієнтом взаємозв'язку β_σ , які дорівнюють одиниці, то стає можливим звуження робочої смуги частот системи зв'язку і, завдяки цьому, забезпечено підвищення перешкодозахищеності передавальних даних.

ФОРМУЛА ВИНАХОДУ

- 40 Спосіб передачі даних з використанням біспектрально-організованого триплету, який містить бігармонічне коливання і коливання на різницевій частоті цього бігармонічного коливання, при цьому на передавальному пункті системи зв'язку формують та передають на приймальний пункт модульоване бігармонічне коливання, а на приймальному пункті виконують обробку
- 45 біспектрально-організованого триплету, який **відрізняється** тим, що на передавальному пункті забезпечують корельовані варіації частот бігармонічного коливання з коефіцієнтом кореляції ρ та коефіцієнтом взаємозв'язку β_σ , що дорівнюють одиниці, коливання на різницевій частоті бігармонічного коливання формують на приймальному пункті, а біспектрально-організований

триплет відновлюють на приймальному пункті з прийнятого бігармонічного коливання та коливання, що сформовано на його різницевої частоті.



Залежність ймовірності появи бітової помилки BER від відношення сигнал-шум E_b/N_0 в умовах впливу адитивного гаусова шуму

5

Комп'ютерна верстка М. Ломалова

Державна служба інтелектуальної власності України, вул. Урицького, 45, м. Київ, МСП, 03680, Україна

ДП "Український інститут промислової власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601