

АНАЛІЗ СПЕКТРАЛЬНИХ ТА КОРЕЛЯЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗОНДУЮЧОГО СИГНАЛУ ІЗ ТРИКУТНОЮ ВНУТРІШНЬОІМПУЛЬСНОЮ ЧАСТОТНОЮ МОДУЛЯЦІЄЮ

Мрачковський О.Д., к.т.н., доцент

Реутська Ю.Ю., асистент

Соловійов В.С., магістрант

*Національний технічний університет України
"Київський політехнічний інститут", м. Київ, Україна*

Загальноприйнято вважати, що незалежну оцінку дальності та швидкості цілі при локації з одного імпульсу можуть забезпечити складні сигнали із так званою кнопковою діаграмою невизначеності. До класу таких сигналів належать фазоманіпульсовані сигнали із псевдовипадковим законом модуляції [1]. Покажемо, що аналогічною особливістю у класі частотномодульованих сигналів володіє сигнал із симетричною лінійною частотною модуляцією (СЛЧМ).

Іншою особливістю сигналів з СЛЧМ є те, що вони є найбільш характерним класом складних одноканальних ЧМ сигналів, які дозволяють отримати незалежні вимірювання дальності і швидкості цілі з одного імпульсу. Така властивість пов'язана з розщеплюванням функції кореляції (вихідного сигналу узгодженого фільтру) на два окремі сигнали, коли доплерівський зсув викликає розузгодження відбитого сигналу з узгодженим фільтром [3].

СЛЧМ сигнал можна представити як суму двох ЛЧМ сигналів:

$$V(t) = \frac{1}{\sqrt{2}} [S^*(t + \frac{t_i}{2}) + S(t - \frac{t_i}{2})], \text{ де } S(t) = \text{rect}(\frac{t}{t_i}) \exp(j\pi\alpha t^2),$$

α - постійний коефіцієнт; t_i - тривалість зондуючого сигналу.

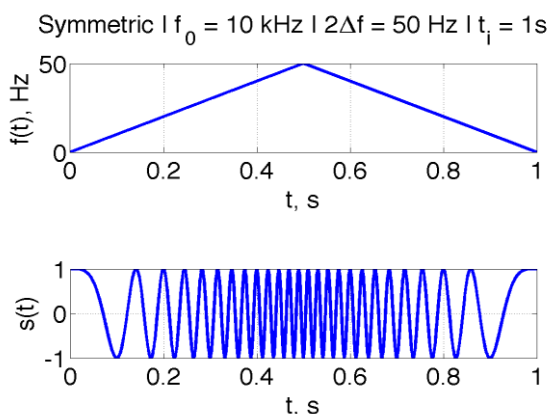


Рис. 1. СЛЧМ сигнал

При такому сигналі функція частотної модуляції буде:

$$F(t) = \alpha(|t| - \frac{t_i}{2}), \text{ де } |t| \leq t_i.$$

Графічна залежність зміни частоти СЛЧМ сигналу від часу та модульований сигнал представлені на рис. 1.

Спектр сигналу із СЛЧМ записується у вигляді:

$$V(f) = \frac{1}{\sqrt{2}} [S^*(-f)e^{j\pi f t_i} + S(f)e^{-j\pi f t_i}], \text{ де}$$

$$S(f) = \frac{1}{\sqrt{2|\alpha|t_i}} \sqrt{[C(x_1) + C(x_2)]^2 + [S(x_1) + S(x_2)]^2} \times$$

$$\times \exp\left\{j\left[-\frac{\pi f^2}{\alpha} + \operatorname{sgn}(\alpha) \operatorname{arctg}\left(\frac{S(x_1) + S(x_2)}{C(x_1) + C(x_2)}\right)\right]\right\}$$

$x_1 = \operatorname{sgn}(\alpha)(\alpha t_i + 2f) / \sqrt{2|\alpha|}$, $x_2 = \operatorname{sgn}(\alpha)(\alpha t_i - 2f) / \sqrt{2|\alpha|}$, $Z(x)$ – комплексні

інтеграли Френеля: $Z(x) = C(x) + jS(x) = \int_0^x e^{j\pi y^2/2} dy$.

Для розрахунку параметрів сигналу була розроблена програма у середовищі Matlab. Розрахунки виконувались для сигналу з частотою носійної $f_0 = 10$ кГц, тривалістю імпульсу $t_i = 1$ с. та смугою частот $2\Delta f = 50$ Гц та $2\Delta f = 100$ Гц. Амплітудний (АС) та фазовий (ФС) спектри сигналу з СЛЧМ представлені на рис. 2.

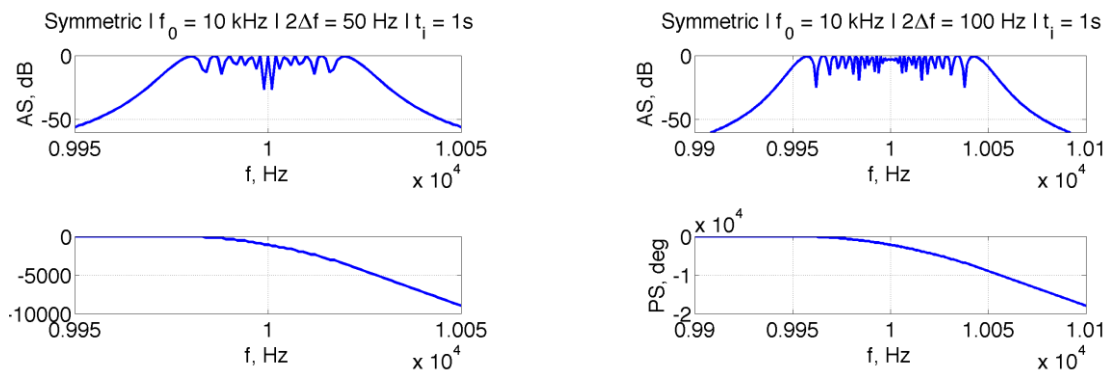


Рис. 2. АС та ФС сигналу з СЛЧМ з базою 50 та 100

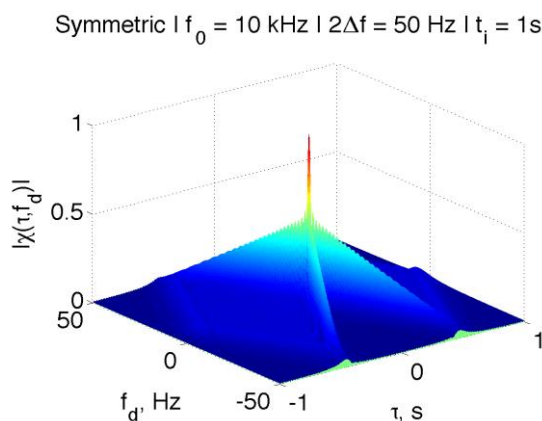


Рис. 3. Функція невизначеності СЛЧМ

Амплітудний спектр сигналу має форму, що наближається до прямокутної, але у межах полоси сигналу є дуже значні осциляції, амплітуда яких знаходиться в межах від 0 до -26 дБ, у даному випадку. Функція невизначеності СЛЧМ сигналу представлена на рис. 3. За формою функція невизначеності наближається до кнопкової.

Графік функції автокореляції представлений на рис. 4, а графіки взаємнокореляційної функції на рів-

нях 0.7, 0.5 та 0.3 від максимуму представлені на рис. 5-7, відповідно.

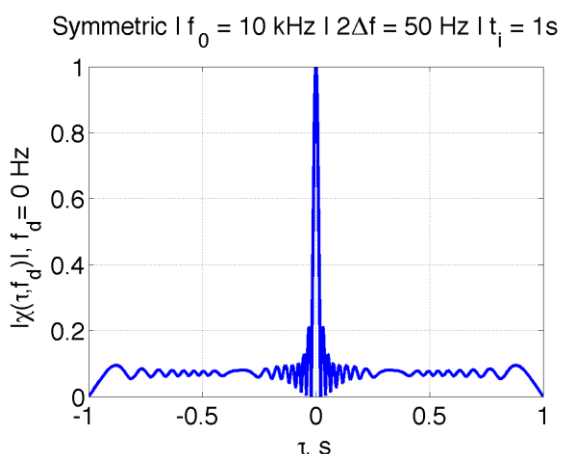


Рис. 4. АКФ сигналу

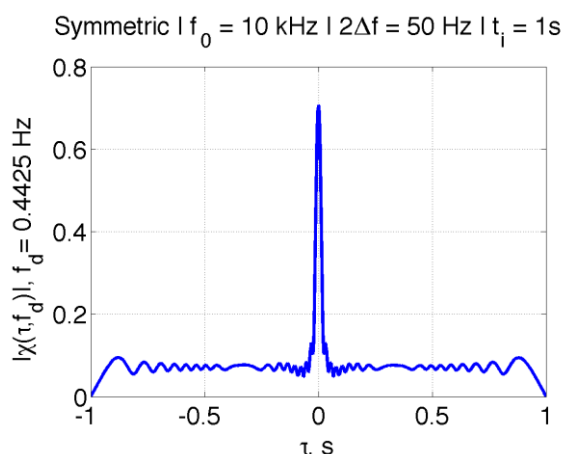


Рис. 5. ВКФ на рівні 0.7 від максимуму

Особливістю цих функцій є те, що відсутні бокові пелюстки, а це дозволяє покращити роздільну здатність сигналу. Замість них є так званий п'єдистал, рівень якого зменшується із збільшенням бази сигналу, і для даних параметрів сигналу становить менше, ніж 0.1 від максимуму.

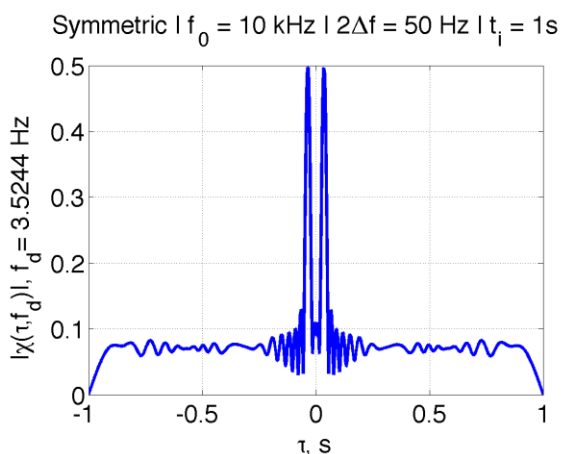


Рис. 6. ВКФ на рівні 0.5 від максимуму

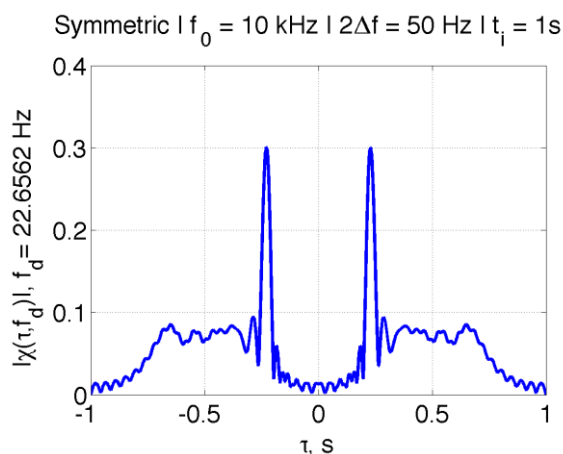


Рис. 7. ВКФ на рівні 0.3 від максимуму

Розщеплення вихідного сигналу на два сигнали представлено на рис. 6 та 7 і спостерігається при зменшенні ВКФ приблизно до рівня 0.55 від максимуму, що свідчить про втрату завадостійкості на 10 дБ при виявленні сигналу на фоні білого шуму. За парою вихідних сигналів можливо отримати незалежну оцінку дальності та швидкості цілі при локації з одного імпульсу використовуючи один дальномірний канал обробки сигналу. Відстань між відгуками зондуючого сигналу прямо пропорційна швидкості цілі.

Ізокореляти в області сильної кореляції представлені на рис. 8, а ізокореляти в області слабкої ізокореляції представлені на рис. 9.

В області сильної кореляції зрізи ФН сигналу з СЛЧМ мають еліпсоїдальну форму (див. рис. 8). Приблизно на рівні 0.55 від максимуму еліпси

починають переходити у Х-подібну форму (див. рис. 9).

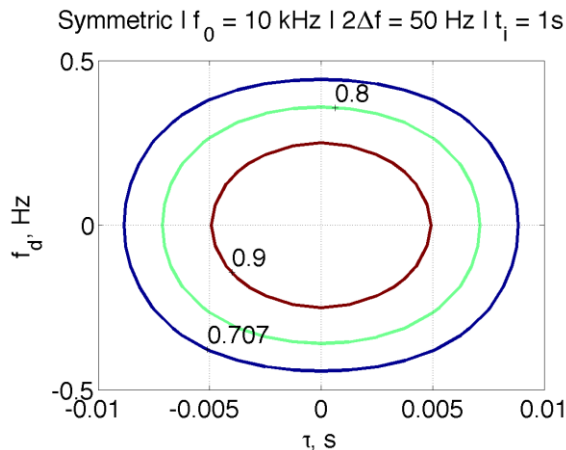


Рис. 8. Ізокореляти ФН в області сильної кореляції

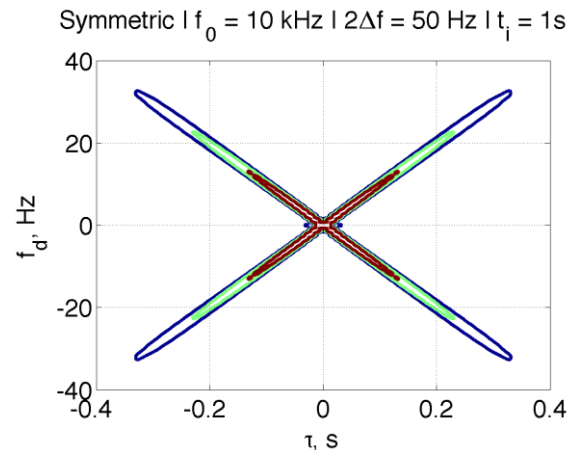


Рис. 9. Ізокореляти ФН в області слабкої кореляції

В області сильної кореляції, коли зріз ФН сигналу має форму еліпсу, можливе отримання незалежних оцінок дальності та швидкості цілі. В області слабкої кореляції зріз ФН носить Х-подібний характер, що можливо використовувати при локації одиночних цілей за рахунок того, що спостерігається пара вихідних сигналів, за якими можливо отримати незалежну оцінку дальності та швидкості цілі використовуючи один дальномірний канал обробки сигналу. Відстань між відгуками зондуючого сигналу прямо пропорційна швидкості цілі. Але у випадку присутності багатьох цілей на екрані локаційної системи будуть відображено n-пар відгуків і при цьому неможливо буде ідентифікувати до якої цілі буде належати вибрана пара відгуків.

Сигнали із трикутною внутрішньоімпульсною модуляцією доцільно використовувати в гідролокації, тому що при виявленні підводних цілей малоімовірний випадок наявності декількох цілей.

СЛЧМ має наступні особливості:

АКФ та ВКФ не мають бокових пелюстків, а тільки п'єдистал, рівень якого менше -20 дБ для сигналу з базою 50. При збільшенні бази рівень п'єдисталу зменшується.

Ширина ВКФ слабо залежить від швидкості цілі (доплерівського зсуву частоти).

До недоліків можна віднести те, що неможливо зрозуміти напрямок руху цілі. Для усунення цього недоліку необхідна апріорна інформація про напрямок цілі.

Література

1. Бичков В.С., Мрачковський О.Д., Ольшевський І.В., Дослідження потенційних характеристик псевдошумового радіолокаційного сигналу в області сильної і слабкої кореляції. Вісник НТУУ «КПІ», серія «Радіотехніка. Радіоапаратобудування», №34, 2007, с. 37-42.

2. Рихачек А.В., Митчелл Р.Л., Радиолокационные сигналы с зигзагообразной частотной модуляцией. Зарубежная радиоэлектроника, №9, 1969, с. 30-45.

3. Мрачковський О.Д., Бичков В.Є., Василенко М.А., Дослідження потенційних характеристик сигналу з симетричною внутрішньоімпульсною модуляцією в області сильної та слабкої кореляції. Вісник НТУУ «КПІ», серія «Радіотехніка. Радіоапаратобудування», №35, 2007, с. 38-41.

Мрачковський О.Д., Реутська Ю.Ю., Соловйов В.С. Аналіз спектральних та кореляційних характеристик зондуючого сигналу із трикутною внутрішньоімпульсною частотною модуляцією. Розглянуто сигнал із симетричною лінійною частотною модуляцією і його особливості, приведені аналітичний запис сигналу та його спектру, графіки амплітудного та фазового спектрів сигналів із різною базою, діаграма функції невизначеності, графіки взаємнокореляційної функції на різних рівнях від максимуму та ізокореляти функції невизначеності в області сильної та слабкої кореляції. Розглянуто особливості розщеплення взаємнокореляційної функції на два піки та наслідки цього ефекту. Зроблені висновки щодо переваг та недоліків сигналу, зроблені висновки щодо доцільності та області використання сигналу.

Ключові слова: частотна модуляція, функція невизначеності, кореляція.

Мрачковский О.Д., Реутская Ю.Ю., Соловьёв В.С. Анализ спектральных и корреляционных характеристик зондирующего сигнала с треугольной внутримпульсной частотной модуляцией. Рассмотрен сигнал с симметричной линейной частотной модуляцией и его особенности, приведены аналитическая запись сигнала и его спектра, графики амплитудного и фазового спектров сигналов с разной базой, диаграмма функции неопределенности, графики взаимокорреляционной функции на разных уровнях от максимума и изокорреляты функции неопределённости в области сильной и слабой корреляции. Рассмотрены особенности расщепления взаимокорреляционной функции на два пика и последствия этого эффекта. Сделаны выводы насчет преимуществ и недостатков сигнала, сделаны выводы насчет целесообразности и области использования сигнала.

Ключевые слова: частотная модуляция, функция неопределённости, корреляция.

Mrachkovsky O.D., Reutskaya Yu.Yu., Solovyov V.S. Analysis of spectral and correlation characteristics of sounding signal with the triangular frequency intra-modulation. A signal with a symmetric linear frequency modulation and its properties are considered, analytic form of signal and its spectrum are shown, figures of amplitude and phase spectra of signal are drawn, figures of ambiguity diagram, cross-correlation functions and iso-response ambiguity function in strong and weak fields are shown. Considered properties of section of cross-correlation function to two peaks and effect of these properties. Advantages and disadvantages of the signal, its application field are outlined.

Key words: frequency modulation, ambiguity function, correlation.