

ЗМЕНШЕННЯ РІВНЯ БОКОВИХ ПЕЛЮСТОК СИГНАЛУ З ЛІНІЙНОЮ ЧАСТОТНОЮ МОДУЛЯЦІЄЮ

*Кириєнко С. О., магістрант; Коваль А. В., к. т. н., доцент
КПІ ім. Ігоря Сікорського, м. Київ, Україна*

На сьогоднішній день у переважній більшості радіолокаційних станцій використовується складний зондуючий сигнал, який визначається базою сигналу.

$$B = \Delta F \tau_i, \quad (1)$$

де ΔF — девіація частоти, τ_i — тривалість сигналу.

Складний сигнал дозволяє одночасно досягти оптимального вирішення роздільної здатності і ймовірності знаходження за часом та частотою на відміну від простих. Незважаючи на це, при обробці виникає проблема з високим рівнем бокових пелюсток. Вплив бокових пелюсток проявляється у маскуванні інформаційних піків сигналів. На практиці часто важливо не пропустити корисний слабкий радіосигнал від об'єкта з малою ефективною поверхнею розсіювання на фоні завад.

В наш час розрахована ціла бібліотека сигналів, але найбільш поширені сигнали з лінійною частотною модуляцією. Радіоімпульс з лінійною частотною модуляцією описується як:

$$S(t) = U_0 \cos\left(2\pi f_n t \pm \pi \Delta F t^2 / \tau_i + \varphi_0\right) \text{ при } 0 \leq t \leq \tau_i, \quad (2)$$

де U_0 — амплітуда, f_n — початкова частота, φ_0 — початкова фаза, ΔF — девіація частоти, τ_i — тривалість сигналу. Максимальний рівень бокових пелюсток стиснутого сигналу з лінійною частотною модуляцією складає $-13,2$ дБ [1]. Зазвичай для зниження рівня бокових пелюсток застосовують вагову обробку прийнятого сигналу.

Найвідоміші вагові функції з літератури (Кайзера-Бесселя, Гауса, Дольфа-Чебишева та інші [1, 2]) дозволяють реалізувати придушення бокових пелюсток до рівня -40 дБ і менше. Кращим з точки зору досягнутого рівня бокових пелюсток, забезпечують вагові функції загального типу, які визначається як:

$$W(f) = k + (1-k) \cos^2 \frac{\pi f}{\Delta F}. \quad (3)$$

Ця функція представляє собою косинус-квадратний відгук з множителем $(1-k)$ і розташована на п'єдесталі висоти k , де $k \leq 1$. Хеммінгове зважування ($k = 0,08$) забезпечує найменший рівень бокових пелюсток ($-42,8$ дБ) для цього класу функцій [1].

Однак гранично досяжний рівень бокових пелюсток для кожної з вагових функцій забезпечується лише при строго прямокутному спектрі сигналу з лінійною частотною модуляцією. При малих базах сигналу форма спектра

суттєво відрізняється від прямокутної. Тому із зменшенням бази сигналу при будь-якій ваговій функції $W(f)$ спостерігається значне зростання рівня бокових пелюсток стиснутого сигналу. Ступінь зростання рівня бокових пелюсток залежить від того, як визначена частотна характеристика $H(f)$ пристрою стиснення у виразі для стиснутого сигналу:

$$q(t) = F^{-1}\{F[S(t)]H(f)\}, \quad (4)$$

де $F[S(t)]$ і F^{-1} — пряме перетворення Фур'є та зворотне перетворення Фур'є.

Розрізняють частотне і часове зважування.

При частотному:

$$H(f) = R(f)W(f), \quad (5)$$

при часовому:

$$H(f) = \{F[S(t)w(t)]\}, \quad (6)$$

тут $R(f)$ — частотна характеристика оптимального фільтру; $W(f)$, $S(t)w(t)$ — вагові функції, задані, відносно частотної і часової областей.

Відгук фільтра стиснення визначається тим, як в (5) задані функції $R(f)$ і $W(f)$. На рисунку 1 показано зжаний сигнал з лінійною частотною модуляцією при частотній та часовій обробці по Хеммінгу.

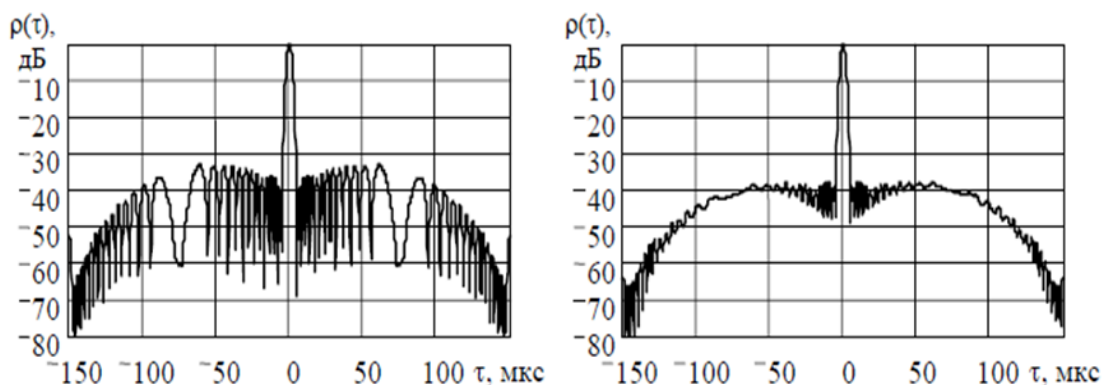


Рис. 1. Зжаний ЛЧМ сигнал при частотній (а) та часовій (б) обробці по Хеммінгу.

На рисунку 1 (а) показаний вид стисненого сигналу з лінійною частотною модуляцією, при частотно – ваговій обробці по Хеммінгу з такими параметрами: $B = 100$, $\Delta F = 0,4$ МГц, $\tau = 150$ мкс.

Максимальний рівень бокових пелюсток в цьому випадку розраховується за формулою [3]:

$$A_{\text{макс}} = (-19 \lg B + 1) \text{ дБ при } 10 \leq B \leq 120,$$

яка забезпечує точність $\pm 0,5$ дБ. При частотному зважуванні сигналу з лі-

нійною частотною модуляцією (рис. 1, а) рівень бокових пелюсток становить – 31 дБ.

При ваговій виборці у часовій області, якщо коефіцієнт передачі фільтра стиснення визначено відповідно до (6), то зважений відгук містить парні повторення, зміщенні по частоті на $\pm\pi/\tau$. Максимальний рівень бокових пелюсток розраховується за формулою [3]:

$$A_{\text{макс}} = (-19\lg B - 4) \text{ дБ при } 10 \leq B \leq 120.$$

Для стисненого сигналу з тимчасовим зважуванням характерно майже повна відсутність пульсацій при $t = \pm 0,5\tau$ і незначне їх зростання при інших значеннях t (рис. 1, б).

При ваговій обробці сигналу з лінійною частотною модуляцією (при $B = 100$) за Хеммінгом рівень бокових пелюсток стиснутого сигналу (рис. 1, б) становить – 37,9 дБ.

При амплітудно-частотній корекції прийнятого сигналу з лінійною частотною модуляцією втрати щодо сигнал / шум можуть бути зведені до – 0,2 дБ, а рівень бокових пелюсток — до – 46,7 дБ, при незначному збільшенні чутливості.

Перелік посилань

1. Кук Ч. Радиолокационные сигналы / Кук Ч., Бернфельд М. — М.: Сов.радио, 1971. — 568 с.
2. Рабинер Л., Теория и применение цифровой обработки сигналов: Пер. с англ. / Под ред. Ю.Н. Александрова / Рабинер Л., Гоулд Б. — М.: Мир, 1978. — 848 с.
3. Свистов В.М. Радиолокационные сигналы и их обработка. — М.: Сов.радио, 1977. — 448 с.

Анотація

Розглянуто сигнал з лінійною частотною модуляцією. Проведено аналіз методів зменшення рівня бокових пелюсток при обробці такого сигналу, отримані численні значення максимального рівня бокових пелюсток при ваговій обробці в частотній та часовій області.

Ключові слова: рівень бокових пелюсток, сигнал з лінійною частотною модуляцією.

Аннотация

Рассмотрено сигнал с линейной частотной модуляцией. Проведен анализ методов уменьшения уровня боковых лепестков при обработке такого сигнала, получены численные значения максимального уровня боковых лепестков при весовой обработке в частотной и временной областях.

Ключевые слова: уровень боковых лепестков, сигнал с линейной частотной модуляцией.

Abstract

Considered signal with linear frequency modulation. Analysis of methods to reduce the sidelobe level in the processing of such a signal, obtained numerical value of the maximum of sidelobe level processing in the frequency and time domains.

Keywords: sidelobe level, a signal with linear frequency modulation.