

*І.Г. Прокопенко, д-р техн. наук, професор, О.І. Ільїн, В.І. Таран
(Національний Авіаційний Університет, Україна)*

Радіодалекомір з зондувальним сигналом, модульованим по фазі шумоподібним процесом

Розглядається вимірювач дальності із ФМ сигналом, модульованим шумоподібним процесом. В основі методу лежить модуляція фази гармонічного зондувального сигналу послідовністю випадкових відліків. Наведено структурну схему, що реалізує розглянутий метод та результати моделювання.

Організація безпечних польотів та контролю повітряного простору потребує застосування значної кількості радіотехнічних засобів. Одним з таких приладів є радіодалекомір.

Основною методів вимірювання дальності є визначення часової затримки відбитого від цілі зондувального сигналу. Інформація про часову затримку може міститися в амплітуді (імпульсний метод), фазі (фазовий метод) або частоті (частотний метод) відбитого сигналу [1, 2]. В авіації широко використовується частотний метод. Одним з його недоліків є потреба у високій лінійності зміни частоти. Окрім того, роздільна здатність та точність частотних радіодалекомірив є недостатньою для вирішення деяких задач навігації [2].

Збільшити роздільну здатність та точність можливо при використанні кореляційної обробки [3] широкосмугового сигналу [4, 5]. Розглянемо схему на рис.1.

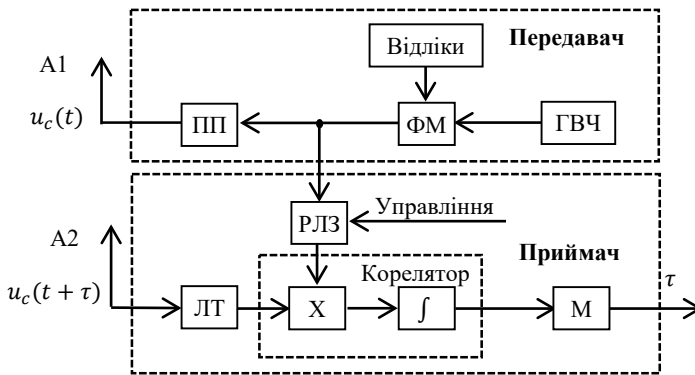


Рис. 1. Структурна схема радіодалекоміра

На рис. 1 А1 – передавальна антена; А2 – приймальна антена; ПП – підсилювач потужності; ФМ – фазовий модулятор; ГВЧ – генератор високої частоти; РЛЗ – регульована лінія затримки; ЛТ – лінійний тракт приймача; X – перемножувач; ∫ – інтегратор; М – фіксатор максимуму.

Зондувальним є гармонічний сигнал, модульований по фазі за відліками з масиву випадкових цілих чисел $r = [3, 4, 5, 8, \dots]$:

де U_{co} – амплітуда сигналу, w_{co} – несуча частота, β_0 – індекс модуляції, r_t – число з випадкової послідовності цілих чисел $r = [3, 4, 5, 8, \dots]$, вибране відповідно до відліку часу t .

Спектр сигналу $u_c(t)$ при $U_{co} = 1$ В, $w_{co} = 400$ кГц, $\beta_0 = 1$ зображено на рис 2.

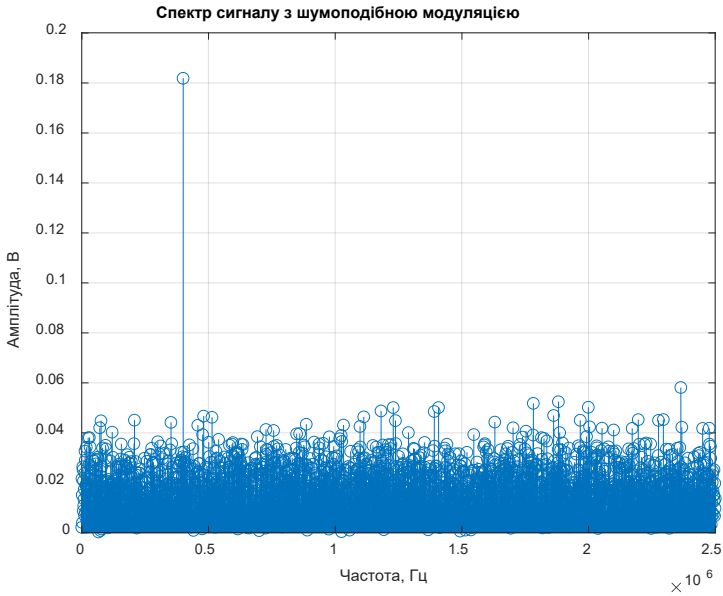


Рис. 2. Спектр зондувального сигналу

З виходу фазового модулятора (ФМ) зондувальний сигнал $u_c(t)$ подається через підсилювач потужності (ПП) на антену Ан.1 та через регульовану лінію затримки (РЛЗ) на перший вхід перемножувача. Після підсилення сигнал $u_c(t)$ випромінюється у простір за допомогою передавальної антени Ан.1. У просторі сигнал відбивається від цілі та з часовою затримкою τ надходить у приймальну антену Ан.2. Після перетворення у лінійному тракті він запишеться наступним чином:

де U_c – амплітуда відбитого сигналу, τ – просторова часова затримка, $r_{t+\tau}$ – число з випадкової послідовності цілих чисел $r = [3, 4, 5, 8, \dots]$, вибране відповідно до відліку часу $(t + \tau)$.

У регульованій лінії затримки зондувальний сигнал отримує регульовану затримку θ :

Прийнятий антеною Ан.2 сигнал з виходу лінійного тракту подається на другий вхід перемножувача корелятора, де перемножується з зондувальним сигналом з регульованою затримкою θ . Корелятор за допомогою перемножувача та інтегратора виконує операцію кореляції, тобто на його виході сформується автокореляційна функція сигналів $u_c(t + \theta)$ та $u_c(t + \tau)$:

Зміною регульованої часової затримки θ домагаються умови, коли при деякому $\theta = \theta^* = \tau$, при цьому значення функції $g(\tau)$ є максимальним:

Оцінка часової затримки τ визначається з максимуму кореляційної функції та фіксується за допомогою фіксатора максимуму. На рис. 7 наведена кореляційна функція у випадку наявності двох цілей та двох відбитих сигналів з затримками $\tau_1 = 0,2$ мс та $\tau_2 = 0,21$ мс відповідно.

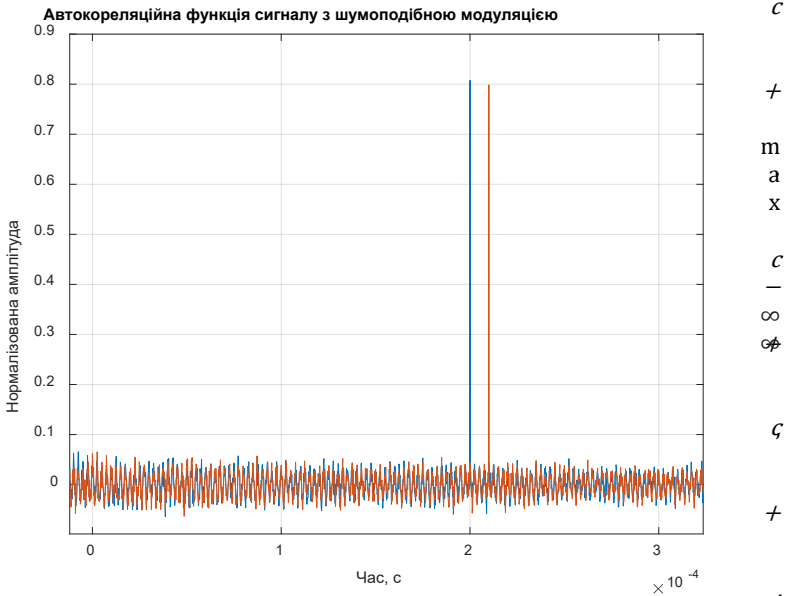


Рис. 3. Автокореляційна функція

Дальність до цілі визначиться по формулі:

де $c \approx 3 \cdot 10^8$ м/с – швидкість розповсюдження радіохвилі у вакуумі.

Для порівняння розглянемо сигнал з лінійною частотною модуляцією (ЛЧМ), які застосовуються у частотних радіодалекомірах [4-6]. На рис.4 зображено спектр ЛЧМ сигналу.

На рис. 5 зображена автокореляційна функція ЛЧМ сигналу з затримками τ_1 та τ_2 .

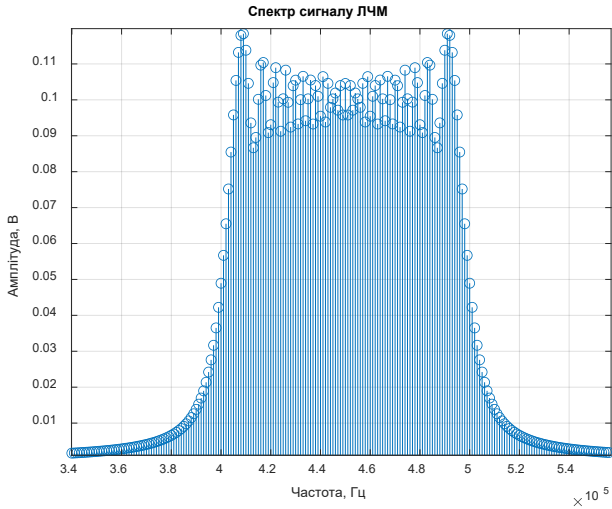


Рис. 4. Спектр сигналу ЛЧМ

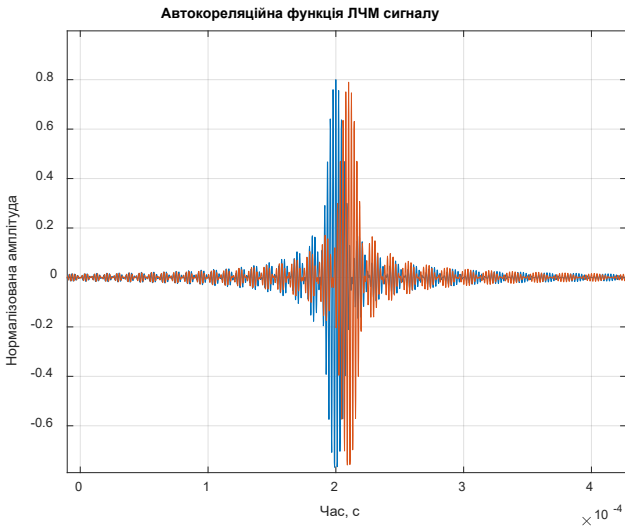


Рис. 5. Автокореляційна функція сигналу ЛЧМ

Як видно з рис. 2 і рис. 3 шумоподібний сигнал має більш широкий спектр, ніж ЛЧМ сигнал. На рис. 3 цілі мають чіткіші максимуми на часовій шкалі, ніж на рис. 5, що дозволяє більш точно відокремити їх одна від одної. Таким чином, застосування широкопasmового шумоподібного зондувального сигналу при

кореляційній обробці дозволяє підвищити точність та роздільну здатність радіодалекоміра.

Моделювання радіодалекоміра доцільно провести в середовищі Quartus на мові опису апаратури Verilog і, в подальшому, реалізувати пристрій на базі чипу Intel Cyclone IV EP4CE15F23C8N.

Список літератури

1. Barton D. Handbook of radar measurement / D. Barton, H. Ward. – Dedham: Books on Demand, 1969. – 442 с.
2. Финкельштейн М. И. Основы радиолокации / М. И. Финкельштейн. – Москва: Радио и связь, 1983. – 536 с.
3. Ilin O. I. Analysis of Radar Range Measurement Methods / O. I. Ilin // 2023 IEEE International Conference on Information and Telecommunication Technologies and Radio Electronics (UkrMiCo) / O. I. Ilin. – Kyiv: KPI, 2023. – С. 171–176.
4. Prokopenko I. G. Adaptive Algorithms for Weather Eadar / I. G. Prokopenko, F. J. Yanovsky, L. P. Lighthart // Conference Proceedings - 1st European Radar Conference / I. G. Prokopenko, F. J. Yanovsky, L. P. Lighthart., 2004. – С. 329–332.
5. Prokopenko I. G. Nonparametric Change Point Detection Algorithms in the Monitoring Data / I. G. Prokopenko // Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies / I. G. Prokopenko., 2021. – (83). – С. 347–360.