

ДИНАМІЧНИЙ ДІАПАЗОН ОДНОБІТНОГО АНАЛОГО-ЦИФРОВОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА ПРИ ВЕДЕННІ РАДІОМОНІТОРИГУ

Використання аналого-цифрових перетворювачів (АЦП) з низькою розрядністю, зокрема однобітних, дозволяє спростити аналогову частину приймача через суттєве звуження динамічного діапазону вхідного сигналу оскільки зникає необхідність автоматичного регулювання підсилення [1]. Також однобітний АЦП споживає значно меншу потужність в порівнянні з АЦП розрядністю 8 біт. У [2] в результаті аналітичних розрахунків отримано значення втрат на оброблення для випадку аналогового сигналу та квантованого однобітного сигналу на рівні 2 дБ. Це створює передумови щодо розроблення малогабаритних автономних засобів радіомоніторингу, в тому числі для розміщення на безпілотних платформах.

Проблема використання низькорозрядних АЦП полягає у погіршенні відношення сигнал-шум (ВСШ) та виникненні паразитних спектральних складових при середніх та високих значеннях ВСШ. Причому чим менше розрядів АЦП тим при нижчому ВСШ спостерігається поява паразитних складових [3].

Однобітний АЦП вносить спотворення в сигнал через те, що бере функцію $sign()$ від дійсної та уявної складових комплексного сигналу і видаляє, таким чином, усю інформацію про амплітуду сигналу. Для боротьби з такими спотвореннями у системах massive MIMO до прийнятого сигналу додають шум з визначеною потужністю. Реалізація такого підходу стає можливою через відомі межі зміни динамічного діапазону сигналів у системі. Проте для систем радіомоніторингу динамічний діапазон сигналів та відповідно значення ВСШ для кожного сигналу може змінюватися у досить широких межах і додавання шуму до прийнятого сигналу може як покращити так і погіршити роботу системи. Тому при аналізі радіочастотного спектра необхідно контролювати ВСШ, щоб його значення перебувало в межах робочого. Дане завдання ускладнюється тим, що в смузі частот аналізу може перебувати одночасно велика кількість сигналів з різними значеннями ширини спектра та ВСШ.

Наближену залежність ВСШ у дБ, при якому можливе виявлення гармонічного сигналу для однобітного АЦП, від довжини вікна швидкого перетворення Фур'є (ШПФ) N_{FFT} і кількості реалізацій спектральної щільності потужності, що накопичуються M , можна записати відповідно до такого виразу:

$$SNR_{det} \approx -7.56lg(M) - 4.3ln(N_{FFT}) + 18. \quad (1)$$

Аналогічно до (1) можна записати вираз для ВСШ у дБ, при якому з'являються паразитні спектральні складові:

$$SNR_{spur} \approx -2.7lg(M) - 1.44ln(N_{FFT}) + 14. \quad (2)$$

Віднявши від виразу (1) вираз (2) можна отримати рівняння для розрахунку динамічного діапазону D , при якому можливе виявлення гармонічного сигналу без виникнення ризику появи паразитних спектральних складових:

$$D \approx 4.86lg(M) + 2.86ln(N_{FFT}) - 4. \quad (3)$$

В порівнянні з неквантованим сигналом втрати у ВСШ однобітного АЦП складають близько 2 дБ незалежно від параметрів періодограми. Дане твердження є справедливим для тих ВСШ, при яких ще не з'являються паразитні спектральні складові і енергія сигналу не розтікається по них.

При збільшенні відносної ширини спектра сигналу $\Delta f/F_s$ значення ВСШ SNR_{det} , при якому можливе виявлення сигналу, та з'являються паразитні спектральні складові SNR_{spur} зростає. При зміні N_{FFT} від 16384 до 128 сигнал з $\Delta f/F_s = 0,1$ можна виявити при значеннях ВСШ в межах від -13 дБ до -9 дБ, а паразитні спектральні складові з'являються при ВСШ від 5 дБ до 8 дБ.

Також при збільшенні $\Delta f/F_s$ звужується динамічний діапазон, в якому можлива робота без виникнення ризику появи паразитних спектральних складових. Значення динамічного діапазону практично не залежить від параметрів періодограми і для $\Delta f/F_s = 0,1$ складає близько 17 дБ.

Список використаних джерел

1. Graf O., Bhandari A. and Kraemer F. (2019). One-bit Unlimited Sampling. ICASSP 2019 - 2019 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP), Brighton, UK, pp. 5102-5106, doi: 10.1109/ICASSP.2019.8683266.
2. Wu P.-W. et al. (2023). Sensing for Cognitive Radio. Electrical Engineering and Systems Science-Signal Processing, 13 p. 10.48550/arXiv.2306.13558
3. Lyons R. G. Understanding Digital Signal Processing. 3rd ed. Prentice Hall, 2011. 858 p.