



УКРАЇНА

(19) UA (11) 46667 (13) U  
(51) МПК (2009)  
G01S 7/36  
H03D 13/00

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ  
І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ

ОПИС  
ДО ПАТЕНТУ  
НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

видається під  
відповідальність  
власника  
патенту

(54) СПОСІБ ДОДАТКОВОГО СТРОБУВАННЯ ВІДЛІКІВ АНАЛОГО-ЦИФРОВОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА

1

2

(21) u200909211

(22) 07.09.2009

(24) 25.12.2009

(46) 25.12.2009, Бюл.№ 24, 2009 р.

(72) СЛЮСАР ВАДИМ ІВАНОВИЧ, МАЛЯРЧУК  
МИХАЙЛО ВАСИЛЬОВИЧ

(73) СЛЮСАР ВАДИМ ІВАНОВИЧ

(57) 1. Спосіб додаткового стробування відліків аналого-цифрового перетворювача, який полягає у частковому підсумовуванні відліків аналого-цифрового перетворювача (АЦП) у фіксованих інтервалах часу (стробах), що не перекриваються, при цьому накопичення сигнальних відліків в межах стробів здійснюють шляхом вагової обробки, який **відрізняється** тим, що формуванню сигнальних відліків стробів за результатами накопичення відліків АЦП передують попередня цифрова фільтрація відліків АЦП в режимі "ковзаючого вікна" відповідно до виразів:

$$U_t^c = U_t - 11 \cdot U_{t+2} + 15 \cdot U_{t+4} - 5 \cdot U_{t+6},$$

$$U_t^s = 5 \cdot U_{t+1} - 15 \cdot U_{t+3} + 11 \cdot U_{t+5} - U_{t+7},$$

де  $t$  - порядковий номер відліку АЦП,

додаткове стробування отриманих у такий спосіб відліків напруг сигналів виконують шляхом вагової обробки за виразами:

$$W_y^c = \sum_{t=y-N}^{(y+1)N-1} U_t^c \cdot \text{cas}(\omega_0 \cdot \tau \cdot t + U_t^c \cdot \text{cas}(-\omega_0 \cdot \tau \cdot t),$$

$$W_y^s = \sum_{t=y-N}^{(y+1)N-1} U_t^s \cdot \text{cas}(\omega_0 \cdot \tau \cdot t + U_t^s \cdot \text{cas}(-\omega_0 \cdot \tau \cdot t),$$

де  $U_t^{c(s)}$  - квадратурні складові сигналу на виході операції "ковзаючого вікна",  $y = \overline{0, Y-1}$  - порядковий номер стробу,  $N$  - кількість відліків АЦП, над якими здійснюється операція додаткового стробування,  $\omega_0$  - центральна частота фільтра додаткового стробування,  $\tau$  - період дискретизації АЦП.

2. Спосіб додаткового стробування відліків аналого-цифрового перетворювача за п. 1, який **відрізняється** тим, що аналого-цифрове перетворення сигналу здійснюють з періодом дискретизації, кратним непарному числу чвертей періоду несучої частоти.

Корисна модель належить до техніки електрозв'язку, радіолокації і може бути використана в радіо-, тропосферних і радіорелейних лініях зв'язку та інших телекомунікаційних системах, а також радіолокаційних станціях, які застосовують цифрову обробку сигналів.

Високі частоти дискретизації аналогових сигналів в сучасних аналого-цифрових перетворювачах (АЦП) накладають жорсткі вимоги до апаратури цифрової обробки даних. Для спрощення цих вимог використовують проріджування інформаційного потоку. Найбільш простим способом є використання лише частини відліків АЦП, що слідує з необхідним інтервалом, решту відліків АЦП при цьому відкидають [1]. Зрозуміло, що такий спосіб не дозволяє ефективно використовувати енергію сигналів і призводить до суттєвих енергетичних або навіть й інформаційних втрат.

Відомий спосіб додаткового стробування відліків аналого-цифрового перетворювача [2], сутність якого полягає у частковому підсумовуванні відліків АЦП у фіксованих інтервалах часу (стробах), що не перекриваються, при цьому накопичення сигнальних відліків у стробах здійснюється за виразом:

$$U_{i, \text{strob}} = \sum_{t=1}^N U_t,$$

де  $U_t$  сигнал на виході АЦП,  $U_{i, \text{strob}}$  - сигнал на виході процедури додаткового стробування,  $i$  - номер строба,  $N$  - кількість відліків АЦП, над якими здійснюється операція додаткового стробування.

Здійснення даної процедури приводить до зниження швидкості інформаційного потоку, а значить і зменшення обчислювальних операцій при

(13) U

(11) 46667

(19) UA

наступній демодуляції сигналу. Як наслідок, знижуються вимоги до продуктивності обчислювальних пристроїв.

Недоліком відомого способу є неоптимальність обробки сигналів.

Відомий спосіб додаткового стробування відліків аналого-цифрового перетворювача [3], сутність якого полягає у частковому підсумовуванні відліків АЦП у фіксованих інтервалах часу (стробах), що не перекриваються, при цьому накопичення сигнальних відліків в межах стробів здійснюється шляхом вагової обробки за виразом:

$$\begin{aligned} U_i^c &= \sum_{t=i-N}^{(i+1)N-1} U_t \cdot \cos(\omega_0 \cdot \tau \cdot t), \\ U_i^s &= \sum_{t=i-N}^{(i+1)N-1} U_t \cdot \sin(-\omega_0 \cdot \tau \cdot t), \end{aligned} \quad (1)$$

де  $i=0, 1, \dots$  - номер строба,  $N$  - кількість відліків АЦП, над якими здійснюється операція додаткового стробування (для усунення паразитного набігу початкової фази сигналу від стробу до стробу має бути кратною 4),  $\omega_0$  - центральна частота фільтра додаткового стробування,  $\tau$  - період дискретизації АЦП,  $t$  - порядковий номер відліку АЦП.

Наведений вираз (1) фактично описує операцію цифрової фільтрації сигналів і може бути отриманий з співвідношення, викладеного у [3], шляхом розгляду дійсного аналогового сигналу, тобто за умови  $\text{Im}(U_t) = 0$ .

Спосіб-аналог дозволяє здійснити оптимальне проріджування даних на виході АЦП для гармонійного сигналу з частотою  $\omega_0$ , яке зводиться до формування одного сумарного сигналу по вибірці і кількох відліків із заданою періодичністю [3]. Таке проріджування (децимація) сигнальної вибірки дозволяє уникнути енергетичних втрат, а сформовані зазначеним чином нові відліки сигналів більш декорельовані за шумом. Крім того, це дозволяє узгодити високі швидкості передачі даних АЦП з продуктивністю подальших цифрових пристроїв обробки сигналів. Важливою властивістю застосування операції додаткового стробування відліків АЦП є її нечутливість до постійних зсувів напруги нуля АЦП.

Недоліком способу-аналогу є порівняно високий рівень бокових пелюсток амплітудно-частотної характеристики цифрового фільтра додаткового стробування, неможливість його застосування для додаткового стробування сигналів, представлених у базисі функцій Хартлі.

Найбільш близьким за своєю сутністю до корисної моделі, що заявляється, є спосіб додаткового стробування відліків аналого-цифрового перетворювача [4], сутність якого полягає у частковому підсумовуванні відліків АЦП у фіксованих інтервалах часу (стробах), що не перекриваються, при цьому накопичення сигнальних відліків в межах стробів здійснюють з використанням парної й непарної функцій Хартлі відповідно до виразів:

$$\begin{aligned} U_i^c &= \sum_{t=i-N}^{(i+1)N-1} U_t \cdot \text{cas}(\omega_0 \cdot \tau \cdot t), \\ U_i^s &= \sum_{t=i-N}^{(i+1)N-1} U_t \cdot \text{cas}(-\omega_0 \cdot \tau \cdot t), \end{aligned} \quad (2)$$

де  $\text{cas}(\theta) = \cos(\theta) + \sin(\theta)$ ,  $\text{cas}(-\theta) = \cos(\theta) - \sin(\theta)$  - парна й непарна функції Хартлі,  $U_t$  - часові вибірки напруг сигналів по виходу АЦП,  $i$  - номер стробу,  $N$  - кількість відліків АЦП, над якими здійснюється операція додаткового стробування,  $\omega_0$  - центральна частота фільтра додаткового стробування,  $\tau$  - період дискретизації АЦП,  $t$  - порядковий номер відліку АЦП.

Використання способу-прототипу дозволяє розширити перелік сигналів, для яких може бути здійснене додаткове стробування, на множину сигналів, представлених у базисі функцій Хартлі.

Недоліком способу-прототипу є порівняно високий рівень бокових пелюсток амплітудно-частотної характеристики цифрового фільтра додаткового стробування.

З урахуванням сказаного, технічне завдання, що вирішується заявленою корисною моделлю, полягає у зменшенні рівнів бокових пелюсток амплітудно-частотної характеристики операції додаткового стробування відліків аналого-цифрового перетворювача з метою підвищення завадозахищеності.

Сутність корисної моделі полягає в тому, що формуванню сигнальних відліків стробів за результатами накопичення відліків АЦП передують попередня цифрова фільтрація відліків АЦП в режимі «ковзаючого вікна» відповідно до виразів [5]:

$$U_t^c = U_t - 11 \cdot U_{t+2} + 15 \cdot U_{t+4} - 5 \cdot U_{t+6}, \quad (3)$$

$$U_t^s = 5 \cdot U_{t+1} - 15 \cdot U_{t+3} + 11 \cdot U_{t+5} - U_{t+7},$$

де  $t$  - порядковий номер відліку АЦП, додаткове стробування отриманих у такий спосіб відліків напруг сигналів виконують шляхом вагової обробки за виразами:

$$\begin{aligned} W_y^c &= \sum_{t=y-N}^{(y+1)N-1} U_t^c \cdot \text{cas}(\omega_0 \cdot \tau \cdot t) + U_t^c \cdot \text{cas}(-\omega_0 \cdot \tau \cdot t), \\ W_y^s &= \sum_{t=y-N}^{(y+1)N-1} U_t^s \cdot \text{cas}(\omega_0 \cdot \tau \cdot t) + U_t^s \cdot \text{cas}(-\omega_0 \cdot \tau \cdot t), \end{aligned} \quad (4)$$

де  $U_t^{c(s)}$  - квадратурні складові сигналу на виході операції «ковзаючого вікна»,  $y = \overline{0, Y-1}$  - порядковий номер стробу,  $N$  - кількість відліків АЦП, над якими здійснюється операція додаткового стробування,  $\omega_0$  - центральна частота фільтра додаткового стробування,  $\tau$  - період дискретизації АЦП.

Конкретний варіант заявленого способу відрізняється тим, що аналого-цифрове перетворення сигналу здійснюють з періодом дискретизації, кратним непарному числу чвертей періоду носійної частоти.

Суттєвою відмінністю заявленого способу є застосування для одноканальної (безквадратурної) схеми аналого-цифрового перетворення напруг сигналів вагової обробки відліків АЦП в режимі «ковзаючого вікна» згідно з відомою з [5] операцією цифрової фільтрації й подальше використання результатів вказаної операції вагової обробки сигналів в режимі «ковзаючого вікна» в якості вхідного масиву квадратурних відліків сигналів для двоканальної операції додаткового стробування відліків АЦП у базисі функцій Хартлі.

Для доказу працездатності заявленого способу додаткового стробування відліків АЦП було проведено його математичне моделювання за допомогою програми, розробленої в пакеті MathCad. В результаті моделювання була досліджена амплітудно-частотна характеристика (АЧХ) сукупності операцій, що реалізують заявлений спосіб додаткового стробування. Зазначені характеристики у нормованому вигляді наведені на Фіг.1 для випадку, коли протяжність стробу дорівнює 16 відлікам АЦП (відлікам сигналів після операції «ковзаючого вікна»), а аналого-цифрове перетворення сигналу здійснюється через чверть періоду його носійної частоти.

На Фіг.1 АЧХ, що відповідає сукупності операцій заявленого способу, наведена суцільною лінією, а пунктирною лінією зображена АЧХ способу-прототипу, описаного виразом (1). Із графіків Фіг.1 видно, що максимальний рівень перших бокових пелюсток АЧХ при використанні заявленого способу зменшено майже у двічі (~5дБ), а других бокових пелюсток - приблизно у 3 рази. Крім того, спостерігається певне звуження головної пелюстки АЧХ. Все це підвищує завадозахищеність операції додаткового стробування відліків АЦП.

Практична реалізація заявленого способу зво-

диться до застосування у приймачі інформаційного повідомлення цифрового сигнального процесора чи програмованих матриць логічних елементів, наприклад, від фірми Xilinx, за допомогою яких мають виконуватись передбачені заявленим способом операції над отриманими в результаті аналого-цифрового перетворення відліками цифрових напруг сигналів. В якості АЦП можуть застосовуватись мікросхеми фірми Analog Devices, Texas Instruments тощо.

Джерела інформації:

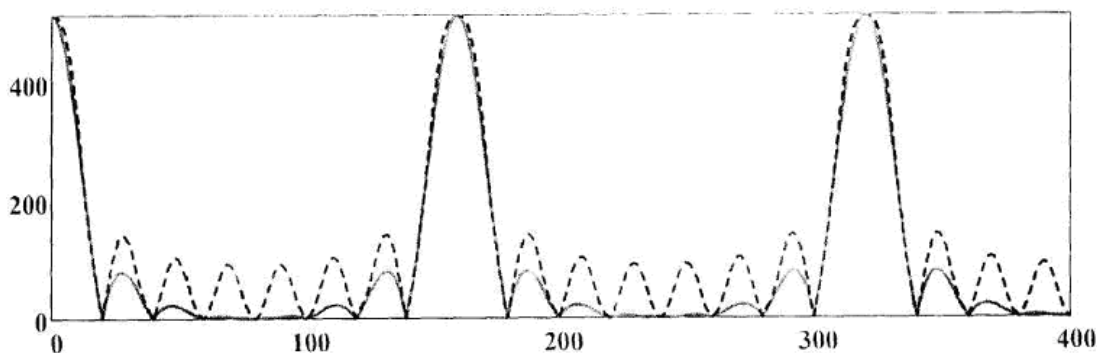
1. Радиолокационные станции с цифровым синтезированием апертуры антенны / В.Н. Антипов, В.Т. Горяинов, А.Н. Кулин и др. Под ред. В.Т. Горяинова. - М: Радио и связь. - 1988. - С.41.

2. Радиолокационные станции с цифровым синтезированием апертуры антенны / В.Н. Антипов, В.Т. Горяинов, А.Н. Кулин и др. Под ред. В.Т. Горяинова. - М.: Радио и связь. - 1988. - С.42-43.

3. Слюсар В.И. Синтез алгоритмов измерения дальности М источников при дополнительном стробировании отсчетов АЦП // Радиозлектроника. - 1996. №5. С.55-62. (Изв. вузов). [http://www.slyusar.kiev.ua/IZV\\_VUZ\\_1996\\_5.pdf](http://www.slyusar.kiev.ua/IZV_VUZ_1996_5.pdf).

4. Патент України на корисну модель №41297. МПК (2006) G01S7/36, H03D13/00. Спосіб додаткового стробування відліків аналого-цифрового перетворювача. // Слюсар В.І., Васильєв К.А. - Заявка на видачу патенту України на корисну модель №U200900296 від 15.01.2009. - Патент опубліковано 12.05.2009, бюл. №9. - прототип.

5. Jan-Erik Eklund and Ragnar Arvidsson. A Multiple Sampling, Single A/D Conversion Technique for Demodulation in CMOS. // IEEE Journal of Solid-State Circuits, Vol.31, No.12, December 1996. - Pp.1987-1994. - [http://iroi.seu.edu.en/jssc9697/data/31\\_12\\_08.PDF](http://iroi.seu.edu.en/jssc9697/data/31_12_08.PDF).



Фіг. 1