



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **41297** (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) u200900296

(22) 15.01.2009

(24) 12.05.2009

(46) 12.05.2009, Бюл.№ 9, 2009 р.

(72) СЛЮСАР ВАДИМ ІВАНОВИЧ, UA, ВАСИЛЬЄВ
КОСТЯНТИН ОЛЕКСАНДРОВИЧ, UA

(73) СЛЮСАР ВАДИМ ІВАНОВИЧ, UA

(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 здійснюється шляхом вагової обробки, який **відрізняється** тим, що формування сигнальних відліків стробів за результатами накопичення відліків АЦП здійснюють з використанням парної й непарної функції Хартлі відповідно до виразів:

$$U_i^c = \sum_{s=1}^N U_s \cdot \text{cas}(\omega_0 \cdot \tau \cdot s),$$

$$U_i^s = \sum_{s=1}^N U_s \cdot \text{cas}(-\omega_0 \cdot \tau \cdot s),$$

де $\text{cas}(\theta) = \cos(\theta) + \sin(\theta)$, $\text{cas}(-\theta) = \cos(\theta) - \sin(\theta)$ - парна й непарна функції Хартлі, U_s - часові вибірки напруг сигналів по виходу АЦП, i - номер строба, N - кількість відліків АЦП, над якими здійснюється операція додаткового стробування, ω_0 - центральна частота фільтра додаткового стробування, τ - період дискретизації АЦП, s - порядковий номер відліку АЦП.

2. Спосіб додаткового стробування відліків аналого-цифрового перетворювача за п. 1, який **відрізняється** тим, що формування сигнальних відліків стробів за результатами накопичення відліків АЦП здійснюють лише з використанням парної функції Хартлі відповідно до виразу:

$$U_i = \sum_{s=1}^N U_s \cdot \text{cas}(\omega_0 \cdot \tau \cdot s).$$

Корисна модель відноситься 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:

$$U_{i, \text{strob}} = \sum_{s=1}^N U_s,$$

де U_s - 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 наступній демодуляції сигналу. Як наслідок, зни-

(13) **U**

(11) **41297**

(19) **UA**

жуються вимоги до продуктивності обчислювальних пристроїв.

Недоліком відомого способу є неоптимальність обробки сигналів.

Найбільш близьким за сутністю до корисної моделі, що заявляється, є 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:

$$U_i^c = \sum_{s=1}^N U_s \cdot \cos(\omega_0 \cdot \tau \cdot s)$$

$$, U_i^s = \sum_{s=1}^N U_s \cdot \sin(-\omega_0 \cdot \tau \cdot s), \quad (1)$$

де i - номер строба, N - кількість відліків АЦП, над якими здійснюється операція додаткового стробування, ω_0 - центральна частота фільтру додаткового стробування, τ - період дискретизації АЦП, s - порядковий номер відліку АЦП.

Наведений вираз (1) може бути отриманий з співвідношення, викладеного у [3], шляхом розгляду дійсного аналогового сигналу ($\text{Im}(U \cdot s) = 0$).

Спосіб-прототип дозволяє здійснити оптимальне проріджування даних на виході АЦП для гармонійного сигналу з частотою ω_0 , яке зводиться до формування одного, сумарного сигналу по вибірці з 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-прототипу є неможливість його застосування для додаткового стробування сигналів, представлених у базисі функцій Хартлі.

$$\begin{aligned} \dot{U}_{cfd s} &= \sum_{s=0}^{N-1} U_s [\cos(\omega_0 \tau s) + \sin(\omega_0 \tau s)] + j \left\{ \sum_{s=0}^{N-1} U_s [\cos(\omega_0 \tau s) - \sin(\omega_0 \tau s)] \right\} = \\ &= \sum_{s=0}^{N-1} U_s \left[\sqrt{2} \cos\left(\frac{\pi}{4} - \omega_0 \tau s\right) \right] + \left\{ \sum_{s=0}^{N-1} U_s \left[j\sqrt{2} \sin\left(\frac{\pi}{4} - \omega_0 \tau s\right) \right] \right\} = \\ &= \sqrt{2} \cdot \sum_{s=0}^{N-1} U_s \cdot \exp \left[j \left(\frac{\pi}{4} - \omega_0 \tau s \right) \right] \end{aligned} \quad (5)$$

Оскільки реальне гармонійне коливання може бути представлено у вигляді суми двох комплекс-

них експонент, то вираження сказаного, технічне завдання, що вирішується заявленою корисною моделлю, полягає в розширенні переліку сигналів, для яких може бути здійснене додаткове стробування, на множину сигналів, представлених у базисі функцій Хартлі.

Сутність корисної моделі полягає в тому, що формування сигнальних відліків стробів за результатами накопичення відліків АЦП здійснюють з використанням парної й непарної функцій Хартлі відповідно до виразів:

$$U_i^c = \sum_{s=1}^N U_s \cdot \text{cas}(\omega_0 \cdot \tau \cdot s),$$

$$U_i^s = \sum_{s=1}^N U_s \cdot \text{cas}(-\omega_0 \cdot \tau \cdot s), \quad (3)$$

де $\text{cas}(\theta) = \cos(\theta) + \sin(\theta)$, $\text{cas}(-\theta) = \cos(\theta) - \sin(\theta)$ - парна й непарна функції Хартлі, U_s - часові вибірки напруг сигналів по виходу АЦП, i - номер стробу, N - кількість відліків АЦП, над якими здійснюється операція додаткового стробування, ω_0 - центральна частота фільтру додаткового стробування, τ - період дискретизації АЦП, s - порядковий номер відліку АЦП.

Конкретний варіант виконання заявленого способу відрізняється тим, що формування сигнальних відліків стробів за результатами накопичення відліків АЦП здійснюють лише з використанням парної функції Хартлі відповідно до виразу:

$$U_i^c = \sum_{s=1}^N U_s \cdot \text{cas}(\omega_0 \cdot \tau \cdot s). \quad (4)$$

Суттєвою відмінністю заявленого способу є застосування в якості вагових коефіцієнтів при частковому підсумовуванні відліків АЦП функцій Хартлі. Крім того, слід вказати, що основний варіант виконання заявленого способу, описаний у вигляді співвідношень (3), придатний як для узгодженого додаткового стробування відліків сигналів у базисі функцій Хартлі, так і традиційних гармонійних (синусоїдальних) сигналів, тобто він забезпечує розширений перелік сигналів, для яких може бути здійснене додаткове стробування.

Стосовно гармонійних сигналів це можливо довести, модифікувавши вираз (3) у такий запис:

них експонент, то вираз (5) перепишеться у такий спосіб:

$$\begin{aligned}
 U_s &= a \cdot \cos(\omega\tau s + \varphi) = \frac{a}{2} \{ \exp[j \cdot (\omega\tau s + \varphi)] + \exp[-j \cdot (\omega\tau s + \varphi)] \} = \\
 &= \frac{a \cdot \exp(j\varphi)}{2} \exp(j\omega\tau s) + \frac{a \cdot \exp(-j\varphi)}{2} \exp(-j\omega\tau s) = \frac{\dot{a}}{2} \exp(j\omega\tau s) + \frac{a^*}{2} \exp(-j\omega\tau s)
 \end{aligned} \quad (6)$$

де $\dot{a} = a \cdot \exp(j\varphi)$, $a^* = a \cdot \exp(-j\varphi)$.

Підставивши (6) в (5), одержимо:

$$\begin{aligned}
 U_{efds} &= \sqrt{2} \cdot \sum_{s=0}^{N-1} U_s \cdot \exp\left[j\left(\frac{\pi}{4} - \omega_0\tau s\right)\right] = \sqrt{2} \cdot \sum_{s=0}^{N-1} \left(\frac{\dot{a}}{2} \exp(j\omega\tau s) + \frac{a^*}{2} \exp(-j\omega\tau s)\right) \exp\left[j\left(\frac{\pi}{4} - \omega_0\tau s\right)\right] = \\
 &= \frac{\sqrt{2} \cdot \dot{a}}{2} \cdot \sum_{s=0}^{N-1} (\exp(j\omega\tau s)) \exp\left[j\left(\frac{\pi}{4} - \omega_0\tau s\right)\right] + \frac{\sqrt{2} \cdot a^*}{2} \cdot \sum_{s=0}^{N-1} (\exp(-j\omega\tau s)) \exp\left[j\left(\frac{\pi}{4} - \omega_0\tau s\right)\right] = \\
 &= \frac{\sqrt{2} \cdot \dot{a}}{2} \cdot \sum_{s=0}^{N-1} \exp\left[j\left(\frac{\pi}{4} - \omega_0\tau s\right) + j\omega\tau s\right] + \frac{\sqrt{2} \cdot a^*}{2} \cdot \sum_{s=0}^{N-1} \exp\left[j\left(\frac{\pi}{4} - \omega_0\tau s\right) - j\omega\tau s\right] = \\
 &= \frac{\sqrt{2} \cdot \dot{a}}{2} \cdot \sum_{s=0}^{N-1} \exp\left\{j\left[\frac{\pi}{4} + \tau(\omega - \omega_0)\right]\right\} + \frac{\sqrt{2} \cdot a^*}{2} \cdot \sum_{s=0}^{N-1} \exp\left\{j\left[\frac{\pi}{4} - \tau(\omega + \omega_0)\right]\right\} = \\
 &= \frac{\dot{a}}{\sqrt{2}} \exp\left(j\frac{\pi}{4}\right) \cdot \sum_{s=0}^{N-1} \exp[j\tau(\omega - \omega_0)] + \frac{a^*}{\sqrt{2}} \exp\left(j\frac{\pi}{4}\right) \cdot \sum_{s=0}^{N-1} \exp[-j\tau(\omega + \omega_0)]
 \end{aligned} \quad (7)$$

Сума експонент у виразі (7) являє собою суми членів геометричної прогресії:

$$\begin{aligned}
 &\frac{\dot{a}}{\sqrt{2}} \exp\left(j\frac{\pi}{4}\right) \cdot \sum_{s=0}^{N-1} \exp[j\tau(\omega - \omega_0)] + \frac{a^*}{\sqrt{2}} \exp\left(j\frac{\pi}{4}\right) \cdot \sum_{s=0}^{N-1} \exp[-j\tau(\omega + \omega_0)] = \\
 &= \frac{\dot{a}}{\sqrt{2}} \exp\left(j\frac{\pi}{4}\right) \cdot \{1 + \exp[j\tau(\omega - \omega_0)] + \exp[j2\tau(\omega - \omega_0)] + \dots + \exp[j(N-1)\tau(\omega - \omega_0)]\} + \\
 &+ \frac{a^*}{\sqrt{2}} \exp\left(j\frac{\pi}{4}\right) \cdot \{1 + \exp[-j\tau(\omega + \omega_0)] + \exp[-j2\tau(\omega + \omega_0)] + \dots + \exp[-j(N-1)\tau(\omega + \omega_0)]\}
 \end{aligned}$$

Тому їх можна записати у вигляді згортки:

$$\begin{aligned}
 &\frac{\dot{a}}{\sqrt{2}} \exp\left(j\frac{\pi}{4}\right) \cdot \frac{1 - \exp[jN\tau(\omega - \omega_0)]}{1 - \exp[j\tau(\omega - \omega_0)]} + \frac{a^*}{\sqrt{2}} \exp\left(j\frac{\pi}{4}\right) \cdot \frac{1 - \exp[-jN\tau(\omega + \omega_0)]}{1 - \exp[-j\tau(\omega + \omega_0)]} = \\
 &= \frac{\dot{a}}{\sqrt{2}} \exp\left(j\frac{\pi}{4}\right) \cdot \exp\left[j(N-1)\tau \frac{(\omega - \omega_0)}{2}\right] \cdot \frac{\sin\left(\frac{(\omega - \omega_0)}{2} N\tau\right)}{\sin\left(\frac{(\omega - \omega_0)}{2} \tau\right)} + \\
 &+ \frac{a^*}{\sqrt{2}} \exp\left(j\frac{\pi}{4}\right) \cdot \exp\left[-j(N-1)\tau \frac{(\omega + \omega_0)}{2}\right] \cdot \frac{\sin\left(\frac{(\omega + \omega_0)}{2} N\tau\right)}{\sin\left(\frac{(\omega + \omega_0)}{2} \tau\right)}
 \end{aligned} \quad (8)$$

Позначивши $F_{\Delta} = \frac{\sin\left(\frac{(\omega - \omega_0)}{2} N\tau\right)}{\sin\left(\frac{(\omega - \omega_0)}{2} \tau\right)}$,

$F_{\Sigma} = \frac{\sin\left(\frac{(\omega + \omega_0)}{2} N\tau\right)}{\sin\left(\frac{(\omega + \omega_0)}{2} \tau\right)}$, остаточно результат

$$U_{cfdS} = \frac{\dot{a}}{\sqrt{2}} \exp\left(j \frac{\pi}{4}\right) \cdot \exp\left[j(N-1)\tau \frac{(\omega - \omega_0)}{2}\right] \cdot F_{\Delta} + \frac{a^*}{\sqrt{2}} \exp\left(j \frac{\pi}{4}\right) \cdot \exp\left[-j(N-1)\tau \frac{(\omega + \omega_0)}{2}\right] \cdot F_{\Sigma} \quad (9)$$

Для доказу працездатності заявленого способу додаткового стробування відліків АЦП було проведене 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 наведені на фіг. 1, 2.

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 максимальна амплітуда сигнальних відліків стробів за результатами накопичення відліків АЦП з використанням парної й непарної функцій Хартлі у $\sqrt{2}$ раз перевищує амплітуду відліку стробів за способом-прототипом, що підтверджує аналітичні розрахунки (6)-(9).

На фіг. 2 показані зазначені АЧХ у нормованому вигляді. Із графіків фіг. 2 видно, що за своєю формою нормовані АЧХ тотожні й мають однакові відносні рівні бічних пелюстків, а також однакові за частотою положення дифракційних максимумів.

додаткового стробування гармонійного сигналу заявленим способом можливо подати у вигляді

Практична реалізація заявленого способу зводиться 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 // Радиоэлектроника. - 1996. № 5. с. 55-62. (Изв. вузов). - http://www.slyusar.kiev.ua/IZV_VUZ_05_96.pdf. - прототип.

