



УКРАЇНА

(19) UA (11) 66359 (13) U
 (51) МПК (2011.01)
 G01S 7/36 (2006.01)
 H03D 13/00

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
 ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
 ВЛАСНОСТІ
 УКРАЇНИ

ОПИС
ДО ПАТЕНТУ
НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

видається під
 відповідальність
 власника
 патенту

(54) СПОСІБ ДОДАТКОВОГО СТРОБУВАННЯ ЦИФРОВИХ ВІДЛІКІВ СИГНАЛІВ

1

2

(21) u2011110521

(22) 30.08.2011

(24) 26.12.2011

(46) 26.12.2011, Бюл.№ 24, 2011 р.

(72) СЛЮСАР ВАДИМ ІВАНОВИЧ, КОПІЄВСЬКА ВАЛЕНТИНА СЕРГІЇВНА, ЖИВИЛО ЄВГЕН ОЛЕКСАНДРОВИЧ

(73) СЛЮСАР ВАДИМ ІВАНОВИЧ

(57) 1. Спосіб додаткового стробування цифрових відліків сигналів, який полягає у частковому підсумовуванні відліків аналого-цифрового перетворювача (АЦП) у фіксованих інтервалах часу (стробах), що не перекриваються, при цьому формуванню сигнальних відліків стробів за результатами накопичення цифрових відліків сигналів передують попередня цифрова I/Q-демодуляція відліків АЦП в режимі "ковзного вікна", що формує квадратурні складові напруг сигналу $U_t^{c(s)}$, де t - порядковий номер відліку АЦП, подальше додаткове стробування отриманих у такий спосіб відліків напруг сигналів виконують шляхом накопичувальної вагової обробки за виразами:

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

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

де $U_t^{c(s)}$ - квадратурні складові сигналу на виході операції "ковзного вікна", $y = \overline{0, Y-1}$ - порядковий номер стробу, N - кількість відліків, над якими здійснюється операція додаткового стробування, ω_0 - центральна частота фільтра додаткового стробування, τ - період дискретизації в операції аналого-цифрового перетворення, який **відрізняється** тим, що зазначені операції попередньої цифрової I/Q-демодуляції відліків

АЦП в режимі "ковзного вікна" та подальшого часткового підсумовування цифрових відліків напруг сигналів у фіксованих інтервалах часу (стробах) здійснюють одразу в двох квадратурних каналах з формуванням масивів цифрових відліків за виразами:

$$W_{my}^c = \sum_{t=y \cdot N}^{(y+1)N-1} \{U_{mt}^c \cdot \cos(\omega_0 \cdot \tau \cdot t) + U_{mt}^s \cdot \sin(\omega_0 \cdot \tau \cdot t)\},$$

$$W_{my}^s = \sum_{t=y \cdot N}^{(y+1)N-1} \{U_{mt}^s \cdot \cos(\omega_0 \cdot \tau \cdot t) - U_{mt}^c \cdot \sin(\omega_0 \cdot \tau \cdot t)\},$$

де $U_{mt}^{c(s)}$ - квадратурні складові сигналів на виході операції "ковзного вікна" m -го квадратурного каналу ($m=1;2$),

які використовують для остаточного формування часткових сум цифрових відліків у вигляді:

$$C_y = W_{1y}^c + W_{2y}^s, \quad S_y = W_{1y}^s - W_{2y}^c.$$

2. Спосіб додаткового стробування цифрових відліків сигналів за п. 1, який **відрізняється** тим, що як цифрові відліки напруг сигналів, над якими в двох квадратурних каналах здійснюють цифрову I/Q-демодуляцію в режимі "ковзного вікна", використовують результати аналого-цифрового перетворення вихідних сигналів аналогових квадратурних каналів.

3. Спосіб додаткового стробування цифрових відліків сигналів за п. 1, який **відрізняється** тим, що як цифрові відліки напруг сигналів, над якими в двох квадратурних каналах здійснюють цифрову I/Q-демодуляцію в режимі "ковзного вікна", використовують попередньо отримані квадратурні відгуки додаткової цифрової I/Q-демодуляції в режимі "ковзного вікна" безквадратурних вихідних сигналів єдиного аналого-цифрового перетворювача.

Корисна модель належить до техніки зв'язку, радіолокації і може бути використана в телекому-

нікаційних засобах, а також радіолокаційних станціях, які застосовують цифрову обробку сигналів.

(19) UA (11) 66359 (13) U

Високі частоти дискретизації аналогових сигналів в сучасних аналого-цифрових перетворювачах (АЦП) накладають специфічні вимоги до швидкодії цифрового сегменту апаратури обробки даних. Для спрощення цих вимог використовують проріджування інформаційного потоку. Найбільш простим способом є використання лише частини відліків АЦП, що слідують 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 та інформаційних втрат.

Відомий спосіб додаткового стробування цифрових відліків сигналів [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 наступній демодуляції сигналу. Як наслідок, знижуються вимоги до продуктивності обчислювальних пристроїв.

Недоліком відомого способу є неоптимальність обробки сигналів.

Відомий спосіб додаткового стробування цифрових відліків сигналів [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 виразами:

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

де $i=0,1,\dots$ - номер стробу, 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), ω_0 - центральна частота фільтру додаткового стробування, τ - період дискретизації АЦП, t - порядковий номер відліку АЦП.

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

Відомий спосіб 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 стають більш декорельованими 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 цифрових відліків сигналів є її нечутливість до постійних зсувів напруги нуля АЦП.

Недоліком відомого способу є порівняно високий рівень бокових пелюсток амплітудно-частотної характеристики (АЧХ) цифрового фільтру додаткового стробування.

Найбільш близьким за своєю сутністю до корисної моделі, що заявляється, є спосіб додаткового стробування цифрових відліків сигналів [4], сутність якого полягає у частковому підсумовуванні відліків АЦП у фіксованих інтервалах часу (стробах), що не перекриваються, при цьому формуванню сигнальних відліків стробів за результатами накопичення цифрових відліків сигналів передує попередня цифрова I/Q-демодуляція відліків АЦП в режимі "ковзного вікна", що формує квадратурні складові напруг сигналу $U_{mt}^{c(s)}$, наприклад, відповідно до виразів [5]:

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

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

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

$$W_y^c = \sum_{t=y \cdot N}^{(y+1)N-1} \left\{ U_t^c \cdot \cos(\omega_0 \cdot \tau \cdot t) + U_t^s \cdot \sin(-\omega_0 \cdot \tau \cdot t) \right\}$$

$$W_y^s = \sum_{t=y \cdot N}^{(y+1)N-1} \left\{ U_t^c \cdot \cos(\omega_0 \cdot \tau \cdot t) + U_t^s \cdot \sin(-\omega_0 \cdot \tau \cdot t) \right\} \quad (2)$$

де $U_t^{c(s)}$ - квадратурні складові сигналу на виході операції "ковзного вікна", $y = \overline{0, Y-1}$ - порядковий номер стробу, N - кількість відліків, над якими здійснюється операція додаткового стробування, ω_0 - центральна частота фільтру додаткового стробування, τ - період дискретизації в операції аналого-цифрового перетворення,

Спосіб-прототип дозволяє зменшити рівні бокових пелюсток амплітудно-частотної характеристики операції додаткового стробування цифрових відліків сигналів з метою підвищення її завадозахищеності, однак недоліком способу-прототипу є недостатньо суттєвий рівень такого зниження (не більше 16,7 дБ для першої бокової пелюстки).

З урахуванням сказаного, технічне завдання, що вирішується заявленою корисною моделлю, полягає у подальшому зменшенні, порівняно з прототипом, рівнів бокових пелюсток амплітудно-частотної характеристики операції додаткового стробування цифрових відліків сигналів з метою підвищення її завадозахищеності.

Сутність корисної моделі полягає в тому, що операції попередньої цифрової I/Q-демодуляції відліків АЦП в режимі "ковзного вікна" та подальшого часткового підсумовування цифрових відліків напруг сигналів у фіксованих інтервалах часу

(стробах) здійснюють одразу в двох квадратурних каналах з формуванням масивів цифрових відліків за виразами:

$$W_{ny}^c = \sum_{t=y-N}^{(y+1)N-1} \left\{ U_{mt}^c \cdot \cos(\omega_0 \cdot \tau \cdot t) + U_{mt}^s \cdot \sin(-\omega_0 \cdot \tau \cdot t) \right\},$$

$$W_{ny}^s = \sum_{t=y-N}^{(y+1)N-1} \left\{ U_{mt}^s \cdot \cos(\omega_0 \cdot \tau \cdot t) - U_{mt}^c \cdot \sin(-\omega_0 \cdot \tau \cdot t) \right\},$$

де $U_{mt}^{c(s)}$ - квадратурні складові сигналів на виході операції "ковзного вікна" m -го квадратурного каналу ($m=1;2$),

які використовують для остаточного формування часткових сум цифрових відліків у вигляді

$$C_y = W_{1y}^c + W_{2y}^s, \quad S_y = W_{1y}^s - W_{2y}^c.$$

Перший конкретний варіант заявленого способу відрізняється тим, що як цифрові відліки напруг сигналів, над якими в двох квадратурних каналах здійснюють цифрову I/Q-демодуляцію в режимі "ковзного вікна", використовують результати аналого-цифрового перетворення вихідних сигналів аналогових квадратурних каналів.

Другий конкретний варіант заявленого способу відрізняється тим, що як цифрові відліки напруг сигналів, над якими в двох квадратурних каналах здійснюють цифрову I/Q-демодуляцію в режимі "ковзного вікна", використовують попередньо отримані квадратурні відгуки додаткової цифрової I/Q-демодуляції в режимі "ковзного вікна" безквадратурних вихідних сигналів єдиного аналого-цифрового перетворювача.

Суттєвою відмінністю заявленого способу є застосування попередньої цифрової I/Q-демодуляції відліків АЦП і подальшого часткового підсумовування цифрових відліків напруг сигналів у фіксованих інтервалах часу (стробах) одразу в двох квадратурних каналах з об'єднанням результатів вказаних операцій в якості вхідного масиву квадратурних відліків сигналів для двоканальної операції додаткового стробування відліків АЦП, відомої з [3].

Послідовність операцій заявленого способу для першого та другого конкретних варіантів його виконання наведена на фіг. 1,2 відповідно. Цифрами на фіг. 1,2 позначено: "1" - операція цифрової I/Q-демодуляції в режимі "ковзного вікна", "2" - підсумовування цифрових відліків сигналів у фіксованих інтервалах часу (стробах), що не перекриваються, шляхом вагової обробки отриманих відліків напруг сигналів за виразами:

$$W_{ny}^c = \sum_{t=y-N}^{(y+1)N-1} \left\{ U_{mt}^c \cdot \cos(\omega_0 \cdot \tau \cdot t) + U_{mt}^s \cdot \sin(-\omega_0 \cdot \tau \cdot t) \right\},$$

$$W_{ny}^s = \sum_{t=y-N}^{(y+1)N-1} \left\{ U_{mt}^s \cdot \cos(\omega_0 \cdot \tau \cdot t) - U_{mt}^c \cdot \sin(-\omega_0 \cdot \tau \cdot t) \right\},$$

де $m=1;2$,

"3" - остаточне формування часткових сум цифрових відліків за виразами:

$$C_y = W_{1y}^c + W_{2y}^s, \quad S_y = W_{1y}^s - W_{2y}^c.$$

Для доказу працездатності та ефективності заявленого способу додаткового стробування відліків АЦП було проведено його математичне моделювання за допомогою програми, розробленої в пакеті Mathcad. В результаті моделювання була досліджена АЧХ сукупності операцій, що реалізують заявлений спосіб додаткового стробування. Зазначені характеристики у нормованому вигляді наведені на фіг. 3.а та 3.б (у логарифмічному масштабі) для випадку 8-відлікового "ковзного вікна" згідно з виразами [5]:

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

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

де t - порядковий номер відліку АЦП, коли протяжність стробу дорівнює 8 відлікам АЦП (відлікам сигналів після операції "ковзного вікна"), а аналого-цифрове перетворення сигналу здійснюється по виходам двох аналогових квадратурних каналів через чверть періоду носійної частоти.

На фіг. 3 АЧХ, що відповідає сукупності операцій заявленого способу, наведена суцільною лінією, а пунктирною лінією зображена АЧХ відомого способу, описаного виразом (2) (без попередньої I/Q-демодуляції). Із графіків фіг. 3 видно, що максимальний рівень перших бокових пелюсток АЧХ при використанні заявленого способу зменшено майже на 12,64 дБ. Крім того, спостерігається певне звуження головної пелюстки АЧХ. Все це підвищує завадозахищеність операції додаткового стробування відліків АЦП. Суттєво, що при цьому в АЧХ відсутній комплексно-спряжений канал прийому сигналів, що притаманний способу-прототипу (див. фіг. 4, штрихова лінія 2). Подальше збільшення пригнічення бокових пелюсток АЧХ може бути досягнуто шляхом підвищення порядку (розмірності) I/Q демодулятора. Для розрахунку відповідних коефіцієнтів демодуляції необхідно скористатись методикою, викладеною у [6].

На фіг. 4 наведені графіки АЧХ, що відповідають сукупності операцій способу-прототипу (потовлена суцільна лінія), відомого способу, представленого виразом (1) (штрихова лінія 2), операції попередньої цифрової I/Q-демодуляції відліків АЦП (тонка суцільна лінія 1) та другого конкретного варіанту заявленого способу (штрихова лінія 3).

Як видно з фіг. 4, другий конкретний варіант заявленого способу (штрихова лінія 3) не дозволяє усунути комплексно-спряжений канал АЧХ, але зменшує рівень бічних пелюсток завдяки подвійній фільтрації в I/Q демодуляторі. При 8-відліковому "ковзному вікні" [5] та 8-відліковому стробі другий конкретний варіант заявленого способу дозволяє досягти придушення першої бічної пелюстки до 26,56 дБ (21,27 раз) замість 16,7 дБ (6,8 раз), що досягалось способом-прототипом. Більш суттєвого пригнічення бокових пелюсток АЧХ можливо досягти шляхом збільшення порядку (розмірності) I/Q демодулятора, використавши коефіцієнти фільтрації, методику розрахунку яких викладено у [6].

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.

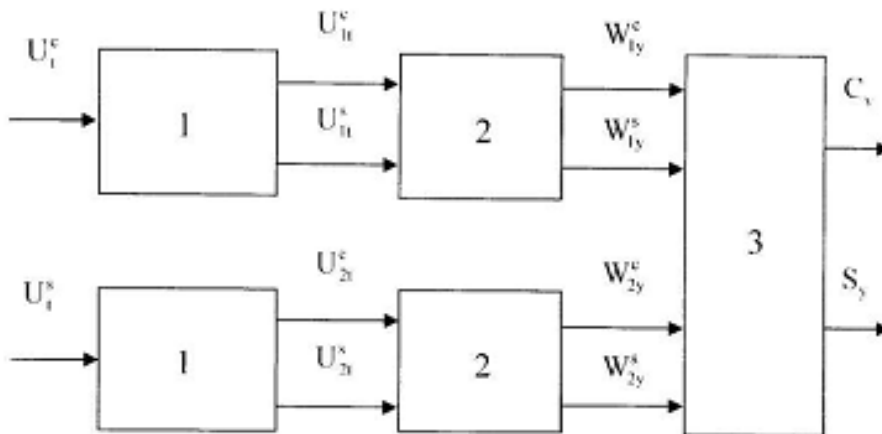
2. Радиолокационные станции с цифровым синтезированием апертуры антенны/ В. Н. Антипов, В. Т. Горяинов, А. Н. Кулин и др. Под ред. В. Т. Горяинова.- М: Радио и связь.-1988. -С. 42-43.

3. Слюсар В.И. Синтез алгоритмов измерения дальности М источников при дополнительном стробировании отсчетов АЦП // Радиозлектроника. --1996. - № 5. - С. 55-62. (Изв. вузов). http://www.slyusar.kiev.ua/IZVUZ1996_5.pdf. - прототип.

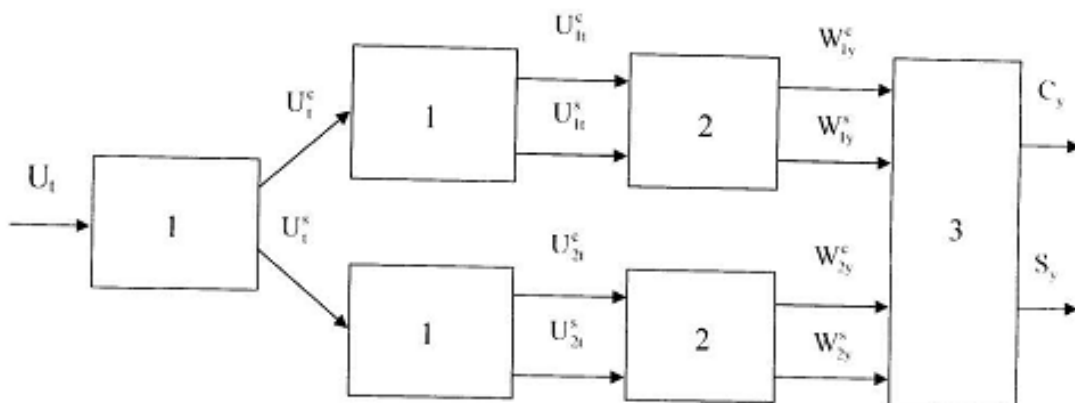
4. Патент України на корисну модель № 46666. МПК (2006) GO IS 7/36, H03D13/00. Спосіб додаткового стробування відліків аналого-цифрового перетворювача. // Слюсар В.І., Малярчук МВ. - Заявка на видачу патенту України на корисну модель № и200909210 від 07.09.2009. - Патент опубліковано 25.12.2009, бюл. № 24.

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.

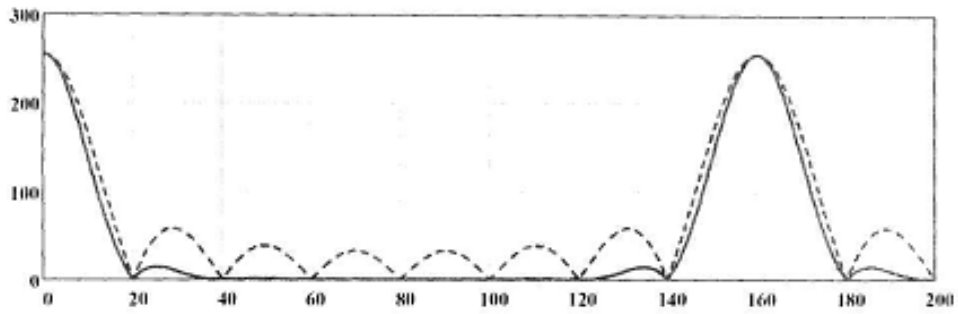
6. Слюсар В.И., Малярчук М.В., Бондаренко М.В. Методика синтеза I/Q-демодуляторов произвольной размерности.// Ш-й Міжнародний науково-технічний симпозиум "Нові технології в телекомунікаціях"- (ДУ1КТ-КАРПАТИ '2010, с. Вишків). - Київ: Державний університет інформаційно-комунікаційних технологій.-2-5 лютого 2010. - С. 53-55. - http://www.slyusar.kiev.ua/VYSHKIV2010_2.pdf.



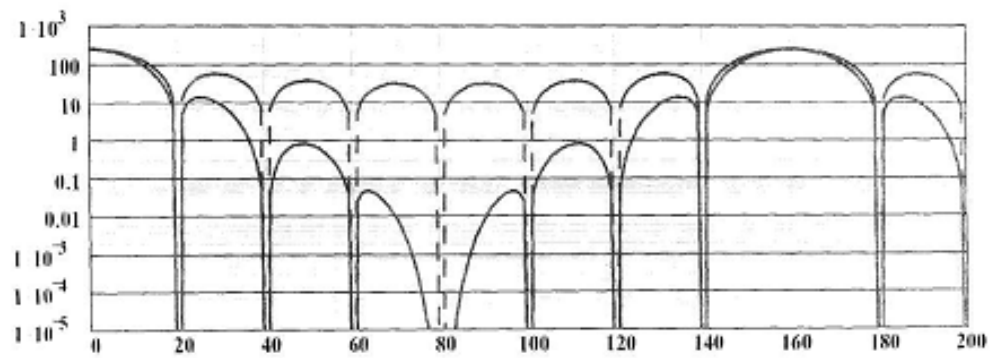
Фиг. 1



Фиг. 2

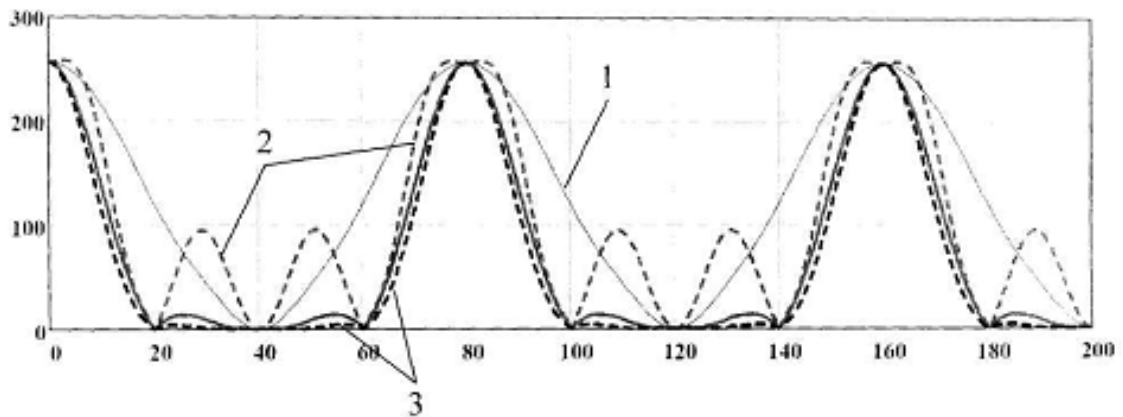


а)



б)

Фиг. 3



Фиг. 4