

УДК 681.883.482

© **С.Т. Барась**, к.т.н., доцент, декан факультету
медико-біологічного та електронного приладобудування;
О.В. Онищук, к.т.н., старший викладач

Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця (Україна)

ПОПЕРЕДНЯ ОБРОБКА ТА ВИМІРЮВАННЯ ЧАСТОТИ ЕХО-СИГНАЛІВ ДОПЛЕРІВСЬКОГО ЛАГА

Запропоновано метод вимірювання частоти з використанням часової фрагментації доплерівського ехо-сигналу. Удосконалено метод слідкуючої вузькосмугової фільтрації доплерівських ехо-сигналів. Подані структурні схеми і сформульовані рекомендації по удосконаленню засобів попередньої обробки та вимірювання частоти заповнення ехо-сигналів доплерівського лага.

**ЕХО-СИГНАЛ, ДОПЛЕРІВСЬКИЙ ЛАГ, ВУЗЬКОСМУГОВА ФІЛЬТРАЦІЯ,
ЧАСТОТА, ТОЧНІСТЬ, ПОХИБКА**

Сучасні навігаційні прилади, які використовуються на рухомих об'єктах надводного і, особливо, підводного плавання, повинні характеризуватися високими показниками точності та надійності. До класу таких приладів відносяться доплерівські лаги – автономні навігаційні прилади, призначені для вимірювання абсолютної і відносної швидкості руху об'єкта плавання та пройденого ним шляху. Проблеми достовірного і точного визначення складових вектора швидкості рухомого об'єкту за допомогою цих приладів на сьогоднішній день залишаються належним чином не вирішеними, а потенціал цих приладів до кінця не реалізований.

Останні дослідження у даному напрямку показали, що найвагомим джерелом випадкової складової похибки вимірювання швидкості руху об'єкта плавання доплерівським лагом є похибка визначення доплерівських зсувів частоти [1]. Ця похибка зумовлена складною структурою доплерівського ехо-сигналу, що характеризується значними флуктуаціями обвідної і високочастотного заповнення [2, 3]. Методи і засоби вимірювання ехо-сигналів, які використовуються в сучасних доплерівських лагах, не повною мірою враховують особливості структури ехо-сигналів і не забезпечують достовірного визначення доплерівських зсувів частоти, що негативно впливає на визначення складових вектора швидкості рухомого об'єкта плавання.

Слід також звернути увагу на те, що пристрої попередньої обробки доплерівського лага виконують не тільки корисні зміни у складі ехо-сигналів, підвищуючи відношення сигнал/шум, але і спотворюють їх структуру. Так, експериментальні дослідження тракту попередньої обробки виявили значну залежність точності вимірювання частоти заповнення радіосигналу від перехідних процесів в частотно-вибіркових колах пристроїв попередньої обробки, що передують безпосередньому вимірюванню частоти [4, 5].

Таким чином, на основі останніх досліджень структури доплерівських ехо-сигналів можна сформулювати основні підходи до створення нових або удосконалення існуючих методів та засобів обробки ехо-сигналів та вимірювання частоти їх заповнення, що забезпечить зменшення похибки вимірювання доплерівських зсувів частоти та підвищення точності визначення доплерівським лагом складових вектора швидкості об'єкту плавання.

Для цього умовно поділимо процедуру досягнення поставленої мети на такі етапи:

- прийом та підготовка (формування) доплерівського ехо-сигналу до процесу вимірювання його частоти заповнення;
- безпосереднє вимірювання частоти заповнення доплерівського ехо-сигналу з урахуванням особливостей його структури.

Вузькосмугова фільтрація доплерівського ехо-сигналу

Розглянемо узагальнену структурну схему приймального тракту доплерівського лага (рис. 1), який складається з гідроакустичної антени, каскадів попереднього підсилення, смужового фільтра, каскадів основного підсилення, вимірювача частоти [1].

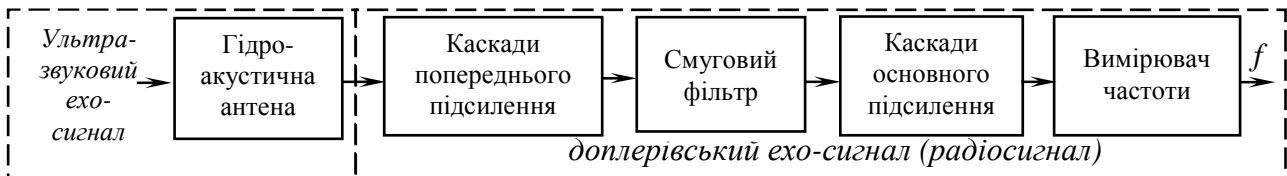


Рис. 1 - Засоби обробки та вимірювання частоти заповнення ехо-сигналів приймального тракту доплерівського лага

З рис. 1 видно, що в приймальному тракту доплерівського лага вимірювачі частоти ехо-сигналів структурно знаходяться після пристроїв попередньої обробки, які підсилюють ехо-сигнал та покращують співвідношення сигнал/шум. Смуга пропускання частотно-вибірних кіл приймального тракту лага визначається суперечливими вимогами: для забезпечення максимального відношення сигнал/шум смуга повинна бути мінімальною, а для зменшення тривалості перехідних процесів смуга повинна бути широкою. З іншого боку, смуга пропускання частотно-вибірних кіл повинна вибиратись з урахуванням динамічних змін доплерівських зсувів частоти вхідного ехо-сигналу, які відповідають діапазону змін швидкостей об'єкту плавання. На рис. 2,а і рис. 2,б наведені можливі положення спектрів ехо-сигналів відносно смуги пропускання для випадків відповідно широкої та вузької смуги. Зрозуміло, що в обох випадках будуть мати місце значні похибки вимірювання доплерівських зсувів частоти [6].

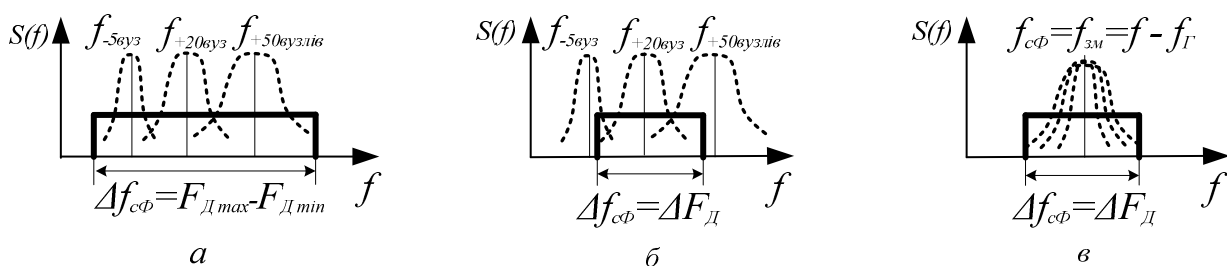


Рис. 2 - Фільтрація доплерівських ехо-сигналів при збільшенні ширини смуги пропускання (а), при зменшенні ширини смуги пропускання (б), слідуюча вузькосмугова фільтрація (в)

В роботі [5] для оцінювання впливу перехідних процесів у частотно-вибіркових колах на високочастотне заповнення доплерівських ехо-сигналів експериментально визначався ступінь розбіжності між значеннями частоти заповнення імпульсного радіосигналу та частотами у зонах перехідних процесів на виході вузькосмугового фільтра. В результаті

встановлено таке. Якщо існує велика різниця між несучою частотою вхідного сигналу f та середньою частотою смуги пропускання фільтра $f_{0\phi}$, то точне вимірювання частоти заповнення доплерівського ехо-сигналу на виході фільтра можливе лише за умови, коли вимірювальний строб (інтервал вимірювання) знаходиться за межами зон перехідних процесів. За умови, коли значення несучої частоти вхідного радіосигналу f досить близьке до середньої частоти смугового фільтра $f_{0\phi}$, то протягом тривалості перехідних процесів спостерігаються мінімальні спотворення високочастотного заповнення вихідного сигналу.

На практиці мінімізувати вплив перехідних процесів на частоту заповнення доплерівського ехо-сигналу, а також зменшити мінімально-допустиме співвідношення сигнал/шум можна шляхом слідкуючої вузькосмугової фільтрації, тобто шляхом приведення частоти заповнення ехо-сигналу f до значення середньої частоти настройки фільтра $f_{0\phi}$ (рис. 2,в).

Для реалізації слідкуючої вузькосмугової фільтрації ехо-сигналів доплерівського лага необхідна інформація про усереднене значення частоти вхідних сигналів f_{cp} по відповідному променю антенної системи лага. Значення усередненої частоти може визначатися за тривалий проміжок часу за результатами вимірювання частоти заповнення ехо-сигналів, отриманих в Z попередніх циклах випромінювання-прийому сигналів лагом:

$$f_{cp} = \sum_{i=1}^Z f_i, \quad (1)$$

де Z – кількість циклів випромінювання-прийому сигналів, протягом яких визначається усереднене значення частоти вхідних ехо-сигналів.

Враховуючи значну інерційність об'єкта плавання, проміжок часу усереднення інформації про частоту заповнення вхідних ехо-сигналів, який визначається Z циклами випромінювання - прийому сигналів лагом, може лежати у межах від декількох до десятків секунд [1]. Таким чином, на момент прийому кожного доплерівського ехо-сигналу лаг володіє інформацією про поточну середню частоту заповнення вхідних ехо-сигналів.

Для наступних перетворень вхідного ехо-сигналу необхідно визначити різницеву частоту між усередненою частотою вхідного ехо-сигналу f_{cp} та середньою частотою вибіркового кола $f_{0\phi}$, яка називається гетеродинною частотою:

$$f_{\Gamma} = f_{cp} - f_{0\phi}. \quad (2)$$

Значення гетеродинної частоти використовується для створення гетеродинної напруги, яка разом із вхідним ехо-сигналом у робочому режимі подається на частотний змішувач, який змінює частоту заповнення ехо-сигналу. Частота доплерівського ехо-сигналу на виході змішувача дорівнює [5]:

$$f_{zm} = f - f_{\Gamma}. \quad (3)$$

Після цього ехо-сигнал надходить на вхід вузькосмугового фільтра, середня частота якого дорівнює частоті заповнення вхідного сигналу. Ширина смуги пропускання такого фільтра може бути зменшена до значення максимальної ширини спектру доплерівського ехо-

сигналу. Лише після зазначеної процедури ехо-сигнал можна піддавати процедурі прецизійного вимірювання частоти заповнення.

Розрахунок фактичних значень доплерівських зсувів частоти необхідно здійснювати з урахуванням всіх перетворень, які відбулись в пристрої вузькосмугової фільтрації. Це просто реалізувати з використанням формули (3), враховуючи, що значення частот f_{zm} та f_{Γ} відомі. Подальші розрахунки складових вектора швидкості виконуються за традиційними розрахунковими співвідношеннями [1, 6].

На рис. 3 наведено функціональну схему засобу слідкуючої вузькосмугової фільтрації доплерівського лага, яка складається з послідовно з'єднаних змішувача 1, вузькосмугового фільтра 2, вимірювача частоти 3, цифрового обчислювального пристрою 4, схеми керування 5 та гетеродину 6.

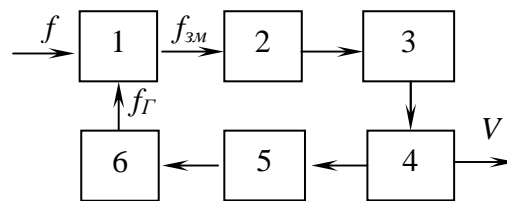


Рис. 3 - Засіб слідкуючої вузькосмугової фільтрації ехо-сигналів доплерівського лага

Засіб слідкуючої вузькосмугової фільтрації доплерівського лага працює таким чином. В приймальному тракті лага підсилений доплерівський ехо-сигнал подається на смуговий фільтр 2 після спеціального частотного змішувача 1 (рис. 3). На один із входів змішувача 1 надходить ехо-сигнал, а на другий - гетеродинний сигнал такої частоти, яка б створювала частоту у вихідному сигналі, що дорівнює середній частоті смугового фільтра або близьку до неї. Гетеродин 6 повинен бути керований схемою керування 5, причому сигнал керування повинен визначатися достатньо тривалою “передісторією”, яка пов’язується зі швидкістю об’єкту плавання, тобто з певною частотою вхідного сигналу. Зазначимо, що точна рівність між частотою вихідного сигналу змішувача 1 та середньою частотою смугового фільтра 2 не обов’язкова – вона може бути легко реалізована на практиці. Ще одне важливе зауваження, яке робить цей тракт відмінним від звичайного замкнутого кільця фазового автопідстроювання частоти – безпосередньо під час прийому вхідного доплерівського сигналу частота гетеродинної напруги не повинна змінюватися.

У запропонованій схемі дещо зміниться процедура визначення значень доплерівських зсувів, які цифровим обчислювальним пристроєм використовуються для розрахунку складових вектора швидкості. Справа в тому, що вимірювач частоти завжди буде вимірювати частоту, яка дорівнює середній частоті смугового фільтра або близька до неї. Розглянемо це питання докладніше [5].

Цифровий обчислювальний пристрій 4 лага розраховує значення гетеродинної частоти, за допомогою якої схема керування 5 формує сигнал керування, що подається на гетеродин 6 каналу для створення гетеродинної напруги з визначеною частотою (2). Ця частота безпосередньо перед надходженням доплерівського ехо-сигналу вимірюється штатним вимірювачем частоти, який застосовується у схемі лага. Саме з причини поточного вимірювання і не висуваються жорсткі вимоги щодо стабільності частоти гетеродина.

Отже, у робочому режимі на змішувач частоти 1 надходить гетеродинна напруга з частотою f_T та доплерівський ехо-сигнал з частотою f_I . Частота доплерівського ехо-сигналу на виході змішувача визначається виразом (3).

Доплерівський ехо-сигнал на виході змішувача 1 характеризується саме частотою f_{zm} (3), і він потрапляє на вимірювач частоти 3. Останнім кроком є визначення фактичної частоти доплерівського ехо-сигналу f . Це реалізується у цифровому обчислювальному пристрої з використанням формули (3) та відомих значень частот f_{zm} , f_T . Подальші розрахунки складових вектора швидкості виконуються за традиційними розрахунковими співвідношеннями [5, 11].

Таким чином, одним із способів зменшення похибки вимірювання частоти заповнення доплерівських ехо-сигналів, зумовленої впливом шумів та перехідними процесами пристроїв попередньої обробки лага, може бути використання слідкуючих вузькосмугових фільтрів, побудованих за принципом слідкування за спектром доплерівського ехо-сигналу.

Часова фрагментація доплерівського ехо-сигналу

Після попередньої обробки здійснюється вимірювання частоти заповнення ехо-сигналів доплерівського лага. Але враховуючи складну структуру ехо-сигналу, зумовлену особливостями його формування, розповсюдження та обробки, можна стверджувати, що найбільш точні значення доплерівських зсувів частоти зосереджені в межах певних фрагментів цього сигналу. Отже, піддавати процесу вимірювання можна лише ті частини сигналу, які знаходяться в межах цих фрагментів. Це є очевидною умовою зменшення похибки вимірювання доплерівських зсувів частоти, а, отже, підвищення точності вимірювань доплерівським лагом складових вектора швидкості об'єкту плавання.

Аналіз структури доплерівських ехо-сигналів, який виконаний у роботах [2, 3], дозволяє стверджувати, що корисна інформація про доплерівські зсуви частоти зосереджена в тих фрагментах доплерівського сигналу, де амплітуда його обвідної приймає максимальні значення (за винятком зон фронтів). Враховуючи такі особливості структури доплерівського ехо-сигналу, можна запропонувати метод фрагментації цього сигналу в часі. При цьому необхідно врахувати зміни, зумовлені впливом перехідних процесів тракту первинної (попередньої) обробки інформації лага, які спотворюють обвідну та високочастотне заповнення доплерівського ехо-сигналу, порушують зв'язки між ними.

Насамперед, з процесу вимірювання необхідно вилучити зони переднього та заднього фронтів доплерівського ехо-сигналу. Ці зони характеризуються значними частотними спотвореннями, які зумовлені двома факторами. Перший – це час озвучення розсіювальної ділянки дна t_n , протягом якого формування фронтів доплерівського ехо-сигналу відбувається не за допомогою всіх розсіювальних елементів озвученої ділянки дна [1]. Справа в тому, що випромінювання та прийом антеною доплерівського лага сигналів кінцевої тривалості під кутом у напрямку дна, призводять до збільшення тривалості приймального доплерівського ехо-сигналу, а також виникнення в його складі не тільки усталеної, але і неусталених зон на початку і в кінці цього сигналу. Ці зони будуть характеризуватись не повністю сформованою структурою у порівнянні зі структурою середньої усталеної зони доплерівського ехо-сигналу. В результаті в неусталених зонах фронтів виникають значні флуктуації амплітуди та частоти високочастотного заповнення, які призводять до значних похибок вимірювання доплерівських зсувів частоти F_d .

Другий фактор – це перехідні процеси t_m , які виникають в частотно-вибіркових колах

приймального тракту лага під час обробки доплерівських ехо-сигналів [5]. В момент появи та закінчення доплерівського ехо-сигналу виникають перехідні процеси, які протягом часу їх існування спотворюють частоту заповнення на початку і в кінці доплерівського ехо-сигналу.

Для вилучення зон переднього та заднього фронтів доплерівського ехо-сигналу необхідно виконати порівняння тривалості процесу озвучення розсіювальної ділянки дна та тривалість перехідних процесів. Для цього розраховуються час покриття ділянки дна:

$$t_n = \frac{H}{c} \left[\frac{1}{\sin(\alpha_0 - \gamma/2)} - \frac{1}{\sin(\alpha_0 + \gamma/2)} \right], \quad (4)$$

та тривалість перехідних процесів:

$$t_{nn} \geq k / \Delta f_\phi, \quad (5)$$

де k – коефіцієнт, що залежить від коефіцієнта прямокутності амплітудно-частотної характеристики смугового фільтра;

Δf_ϕ – смуга пропускання фільтра;

H – глибина акваторії;

c – швидкість ультразвуку у водному середовищі;

α_0 – кут відносно горизонту, під яким здійснюється випромінювання та прийом сигналів;

γ – ширина характеристики спрямованості антени.

Після цього вибирається більше значення і на його основі встановлюється строб τ_ϕ заборони вимірювання на початку і в кінці ехо-сигналу (рис. 4).

Середня частина доплерівського ехо-сигналу, яка отримана в результаті відокремлення від приймального сигналу зон його фронтів, містить повністю сформовану структуру [3]. В межах середньої частини доплерівського ехо-сигналу можна виділити два види фрагментів: фрагменти, які відповідають максимальним значенням амплітуди обвідної доплерівського ехо-сигналу і містять найбільш точні значення доплерівських зсувів частоти, та фрагменти, які відповідають мінімальним значенням амплітуди обвідної, характеризуються високочастотним заповненням, що змінюється за певним модулюючим законом, містять маніпуляцію фази і не можуть бути використані для точного вимірювання доплерівських зсувів. З урахуванням структури середньої частини доплерівського ехо-сигналу, а також взаємозв'язків між його амплітудою та високочастотним заповненням, для виділення фрагментів доплерівського ехо-сигналу, які містять найбільш точні значення доплерівських зсувів частоти, доцільно застосувати пороговий метод селекції амплітуд [3]. Для цього у середній частині доплерівського ехо-сигналу виділяються зони (фрагменти), в яких амплітуда обвідної доплерівського ехо-сигналу перевищує поріг C_a (рис. 4). При перевищенні амплітуди обвідної доплерівського ехо-сигналу певного порогу C_a , формується передній фронт вимірювального стробу, а у випадку зменшення амплітуди відносно встановленого порогу – формується задній фронт цього імпульсу (рис. 4). Таким чином, вимірювальні строби можна зорієнтувати в межах середньої частини доплерівського ехо-сигналу, яка характеризується незмінним високочастотним заповненням. Кількість таких вимірювальних стробів буде залежати від кількості періодів колювання обвідної середньої

частини доплерівського ехо-сигналу, які, в свою чергу, залежать від швидкості об'єкта плавання, а також від тривалості радіоімпульсу, що випромінювався.

Але з технічної точки зору для виділення таких зон необхідно постійно аналізувати стан обвідної за допомогою амплітудного детектування. Використання такого пристрою призводить до затримки обвідної доплерівського ехо-сигналу відносно його високочастотного заповнення. Крім цього, вузькосмугова фільтрація призводить до поглиблення невідповідності між часовими інтервалами існування великої амплітуди обвідної і зон доплерівського ехо-сигналу з найменшими флуктуаціями частоти. Тому вимірювальні строби повинні бути відкориговані згідно з вищезазначеними особливостями апаратури доплерівського лага [7].

На рис. 4 показаний варіант застосування адаптивного порогу [7]. Алгоритм його формування такий. У режимі очікування доплерівського сигналу встановлюється мінімальне значення порогу C_{amin} , який визначає момент старту (t'_1, t'_3). Одночасно з моментом спрацювання компаратора (у моменти старту) стрибкоподібно збільшується значення порогу до C_{amax} . Тому моменти закінчення роботи вимірювача частоти будуть формуватися компаратором раніше – (t'_2, t'_4). Таким чином, сформований компаратором інтервал часу (вимірювальний строб) виявиться максимально наближеним до зони з мінімальними флуктуаціями частоти. У ці ж моменти (t'_2, t'_4) поріг стрибкоподібно повертається в початковий стан для фіксації нового старту процедури вимірювання частоти. Слід зазначити, що початкові значення порогів C_{amin} і C_{amax} встановлюються у процесі налагодження пристрою.

Після прийняття зазначених заходів можна стверджувати, що переважна більшість значень миттєвих частот у межах вимірювального стробу буде характеризуватися незначними флуктуаціями. У той же час не можна не враховувати згадані вище особливості впливу на структуру доплерівського ехо-сигналу вузькосмугового фільтра, а також поведінку власне високочастотного заповнення, що є результатом формування цього сигналу у водному середовищі. Крім цього, важливим фактором для вимірювання частоти є наявність перехідних процесів, які виникають при проходженні доплерівського ехо-сигналу вузькосмуговим фільтром і які проявляються у тому, що несуча частота протягом перехідного процесу тяжіє до середньої частоти смуги пропускання вузькосмугового фільтра. Таким чином, існує достатньо підстав, щоб поглибити та довести до довершення процедуру підготовки доплерівського ехо-сигналу до вимірювання його частоти заповнення.

За таке довершене рішення пропонується прийняти наступне – додатковий поділ відрізків високочастотного заповнення у межах вимірювальних стробів на рівні серії по 100-200 періодів – парціальні сигнали, вимірювання середньої частоти у кожному такому парціальному сигналі та наступна статистична обробка отриманих результатів за методикою, викладеною у [1]. Логіка цієї пропозиції полягає у тому, що суттєві відхилення частоти у будь-якому парціальному сигналі будуть спонукати до повного вилучення цього парціального сигналу за результатами статистичної обробки.

Завершальний етап – безпосередній процес вимірювання частоти заповнення у виділених фрагментах модифікованим методом підрахунку нулів. Для цього у виділеному фрагменті підраховується кількість цілих періодів вимірювальної частоти n_e заповнення доплерівського ехо-сигналу (рис. 4,з) та кількість періодів n_{em} опорної частоти еталонного генератора (рис. 4,д) і за результатами цих вимірювань визначається частота заповнення ехо-сигналу за відомою формулою:

$$f = n_e / (n_{em} T_{em}), \quad (6)$$

де T_{em} – період еталонної частоти.

На практиці процеси фрагментації доплерівського ехо-сигналу і вимірювання частоти заповнення можуть бути реалізовані за допомогою засобу, в основу роботи якого покладено метод часової фрагментації з використанням адаптивного порогу та модифікований метод підрахунку нулів. Структура пристрою наведена на рис. 5.

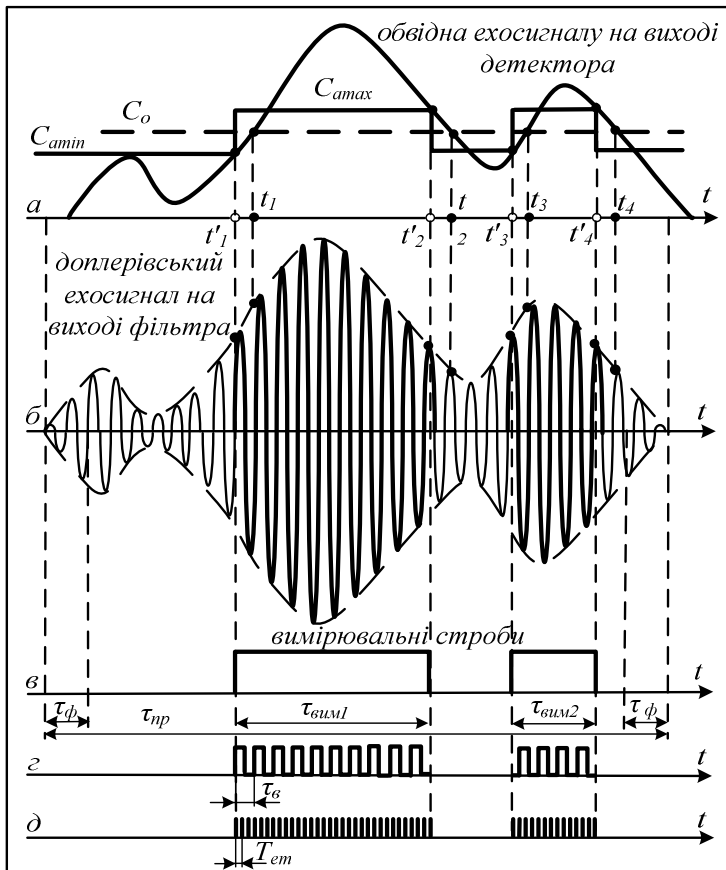


Рис. 4 - Пояснення методів часової фрагментації та вимірювання частоти заповнення доплерівського ехо-сигналу

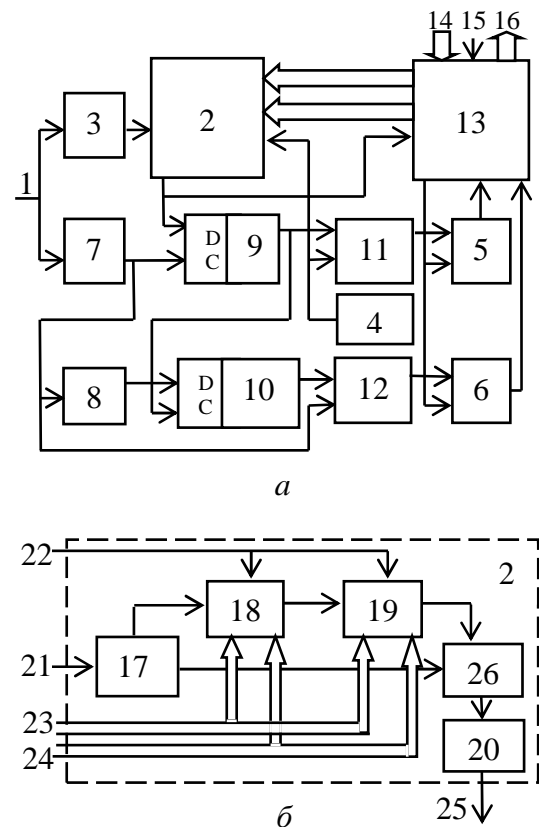


Рис. 5 - Засоби вимірювання частоти заповнення (а) та часової фрагментації (б) доплерівського ехо-сигналу

Ехо-сигнал (рис. 4,б) по першій вхідній шині 1 надходить на вхід обмежувача 7 сигналів і детектора 3 (рис. 5,а). Детектор 3 виділяє обвідну цього сигналу (рис. 4,а), яка поступає на перший вхід блоку 2 керування (рис. 5,б), а обмежувач 7 формує послідовність імпульсів вимірювальної частоти. На виході блоку 2 формується N стробів вимірювання $\tau_{вим1}$, $\tau_{вим2}, \dots, \tau_{вимN}$ (рис. 4,в), тривалість і орієнтація яких залежить від тривалості зон переднього та заднього фронтів, які враховуються таймерами 18, 19 (рис. 5,б), порогового рівня C_a компаратора 17 (рис. 5,а), часу затримки детектором обвідної. За допомогою лічильників 11 та 12 (рис. 5,а) в межах кожного вимірювального стробу підраховується відповідно кількість періодів n_e вимірювальної частоти заповнення доплерівського ехо-сигналу (рис. 4,з), та кількість періодів n_{em} опорної частоти (рис. 4,д) еталонного генератора 4 (рис. 5,а). Результати вимірювання надходять у керуючий блок ділення 13 (рис. 5,а), який розраховує

частоту за формулою (6). Результати вимірювання частоти заповнення у виділених фрагментах у вигляді масиву даних надходять у пристрої вторинної обробки інформації, де виконуються додаткова статистична обробка та визначення доплерівських зсувів частоти і розрахунки складових вектора швидкості.

Необхідно зазначити, що представлення результатів вимірювання у вигляді масиву є надзвичайно зручним для подальшої вторинної обробки. Додаткова обробка та корекція масивів даних, наприклад за методикою, викладеною у роботі [1], дає можливість суттєво покращити точність доплерівського лага. Швидкодія сучасної елементної бази дозволяє зробити це в реальному часі без труднощів.

Висновки

1. Таким чином, метод слідкуючої вузькосмугової фільтрації забезпечує мінімальні спотворення структури доплерівського ехо-сигналу при його проходженні через смуговий фільтр. Важливим є те, що при цьому мають місце мінімальні спотворення частоти заповнення вихідного ехо-сигналу шумами та перехідними процесами пристроїв попередньої обробки лага. По великому рахунку запропонований спосіб фільтрації дозволяє зменшити похибки вимірювання частоти заповнення доплерівських ехо-сигналів, а отже, підвищує точність вимірювання доплерівським лагом складових вектора швидкості об'єкту плавання.

2. Підвищення точності вимірювання складових вектора швидкості об'єкту плавання доплерівським лагом досягається за рахунок вимірювання частоти високочастотного заповнення цього сигналу в межах певних фрагментів, в яких об'єкт ехо-сигналу перевищує певне (адаптивне) значення порогу (за винятком фронтів сигналу). Ці фрагменти вільні від частотних флуктуацій, зумовлених природою доплерівських ехо-сигналів та впливом апаратури приймального тракту лага, а їх доплерівські зсуви частоти є адекватними відповідним складовим швидкості об'єкту плавання.

Література

1. Барась С.Т. Прикладні аспекти побудови гідроакустичних доплерівських лагів / Святослав Тадіонович Барась. - Вінниця: УНІВЕРСУМ, 2008. - 241 с.
2. Барась С.Т., Онищук О.В., Войтенко А.І. Похибки вимірювання частоти заповнення ехо-сигналів доплерівського лага / Барась С.Т., Онищук О.В., Войтенко А.І. // Гідроакустичний журнал. - 2008. - №5. - С. 73 – 87.
3. Барась С.Т., Онищук О.В. Феноменологическая модель доплеровского сигнала гидроакустического лага / Святослав Тадионович Барась, Олег Владимирович Онищук // Проблемы, методы и средства исследований Мирового океана: междунар. научно-практ. конф., 13–14 мая 2008г. : сб. докладов конф. –2008. – С. 122 – 131.
4. Барась С.Т. Аналіз джерел похибки вимірювання складових вектора швидкості судна / Святослав Тадіонович Барась // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2000. – №2. – С. 81–85.
5. Барась С.Т., Шеремета О.П., Калінін В.І., Мартинюк А.П., Онищук О.В. Вимірювання несучої частоти імпульсного радіосигналу на виході вузькосмугового фільтра / Барась С.Т., Шеремета О.П., Калінін В.І., Мартинюк А.П., Онищук О.В. // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2007. – №2. – С. 64–70.
6. Бородин В.И., Смирнов Г.Е., Толстяков Н.А., Яковлев Г.В. Гидроакустические навигационные средства / Бородин В.И., Смирнов Г.Е., Толстяков Н.А., Яковлев Г.В. – Л. : Судостроение, 1983. – 262 с.

7. Онищук О.В., Барась С.Т., Яблонський В.Ф. Використання фізичної моделі доплерівського сигналу для оцінки похибки вимірювання частоти його заповнення при часовій фрагментації / Онищук О.В., Барась С.Т., Яблонський В.Ф. // Вісник Хмельницького національного університету. – 2008. – №4(113).– С.27–33.

Стаття надійшла до редакції 12 грудня 2011 р. українською мовою

© С.Т. Барась, О.В. Онищук
ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ОБРАБОТКА И ИЗМЕРЕНИЕ ЧАСТОТЫ
ЭХО-СИГНАЛОВ ДОПЛЕРОВСКОГО ЛАГА

Предложен метод измерения частоты с использованием временной фрагментации доплеровского эхо-сигнала. Усовершенствован метод следящей узкополосной фильтрации доплеровского эхо-сигнала. Представлены структурные схемы и сформулированы рекомендации по усовершенствованию устройств предварительной обработки и измерения частоты заполнения эхо-сигналов доплеровского лага.

© Svyatoslav T. Baras, Oleg V. Onyshchuk
PREPROCESSING AND MEASUREMENT THE CARRIER
FREQUENCY OF ECHO- SIGNALS OF DOPPLER LOG

The method of measurement the carrier frequency with use a time fragmentation of doppler signals is offered. The method of tracker narrow-band filtration of doppler signals is improved. Block diagrams are presented and recommendations about improvement of devices of preprocessing and measurement of carrier frequency of echo-signals of Doppler log are formulated.