

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ "ЛЬВІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА"

На правах рукопису

ХАРРАК Бушра



УДК 681.325

ДОСЛІДЖЕННЯ ТА РОЗРОБКА ЗАВАДОЗАХИЩЕНИХ ПРИСТРОЇВ
ОБЧИСЛЕННЯ СТАЛОЇ СКЛАДОВОЇ ТА СЕРЕДНІХ ЗНАЧЕНЬ
ПЕРШИХ ПОХІДНИХ СИГНАЛУ

Спеціальність 05.13.08 - Обчислювальні машини, комплекси,
системи та мережі, елементи і пристрої
обчислювальної техніки і систем керування.

А в т о р е ф е р а т
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

ЛЬВІВ - 1996

АВ 34.885



00754622 (Q)

дисертація в рукописом.

Робота виконана на кафедрі "Електронні обчислювальні машини"
Державного університету "Львівська політехніка".

Науковий керівник : кандидат технічних наук, доцент
Троценко В.В.

Офіційні опоненти : доктор технічних наук, професор
Дудикевич Валерій Богданович,

кандидат технічних наук, доцент
Дунець Роман Богданович.

Провідне підприємство : науково-виробниче підприємство
РЕМА, м. Львів.

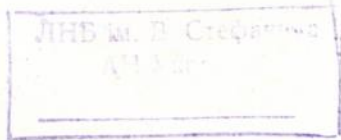
Захист відбудеться "19" червня 1996 року о 14⁰⁰ годині на
засіданні спеціалізованої ради КО4.06.06 при Державному універси-
теті "Львівська політехніка" за адресою:
290646, м. Львів, вул. Ст. Бандери, 12.

З дисертацією можна ознайомитися в науково-технічній
бібліотеці Державного університету "Львівська політехніка" за ад-
ресю : 290646, м. Львів, вул. Професорська, 1.

Автореферат розісланий "16" травня 1996 року.

Вчений секретар
спеціалізованої ради
к.т.н.

С.П. Ткаченко



ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБІТИ

Актуальність проблеми. Завадозахищене обчислення на обмеженому часовому інтервалі значення сталої складової та середніх значень перших похідних сигналів, що представлені напругами, за умови дії низькочастотних та інших адитивних завад достатньо поширене. Воно застосовується, наприклад, у вольтметрах постійної напруги, перетворювачах ефективного і середньовипрямленого значення змінної напруги та в інших пристроях. Ї систематичного контролю, технічної діагностики, регулювання, керування визначаються реакції на входні стимули. Реакції можуть мати складну форму через наявні повільно-змінні лінійні і квадратичні компоненти та адитивні завади. Тут оцінюють ще середні значення похідних. Завадозахищене оцінювання застосовується також при дослідженні природи. Традиційно вважають, що період низькочастотних гармонійних завад не сумірний із довжиною інтервалу усереднення та наближено менший від довжини цього інтервалу від одного до (20-60) разів.

Більшість відомих результатів охоплює питання обчислення оцінок значень лише сталої складової сигналу за допомогою вагового усереднювача. При цьому поширений погляд на завадозахищений пристрій обчислення сталої складової (інакше - усереднювач) як на еквівалентний фільтр не відповідає сутності вагового усереднення, де моделлю виходу є не функція, а реалізоване чисельне значення випадкової величини, що представляє шукану оцінку значення сталої складової. Математична модель вагового усереднення на основі фільтра є аналітично надлишковою і неадекватною. Вона не враховує циклічний характер цієї операції, лише пога увагає питання ефективності та спрощеності сформованих ваговим методом оцінок.

Відомі пропозиції щодо практичного використання вагових функцій (часових вікон) розглядають, як правило, або спрощені за формою, кусково-постійні вікна з метою збереження метрологічних характеристик приладів, або складні, табличні реалізації оптимальних вагових функцій. Не знайшов систематичного продовження відомий спрощений спосіб виконання вагового усереднення, без перемножувача та генератора ваги. Усі проблеми реалізації перекла-

дено на програмовані процесори сигналів (ППС), які, з точки зору вагового усереднення, містять надмірну апаратуру та вибагливі щодо швидкодії зовнішнього електронного оточення та якості виготовлення багатшарової друкованої плати. В режимі коваж: го фільтра середнього значення ППС стандартно вимагає майже тисячоразового перевищення значення власної тактової частоти над частотою дискретизації сигналу. При цьому не враховуються можливості сучасних алгоритмів усереднення, що спроможні реалізовувати таке усереднення та фільтрацію з наближеним до оптимального підсуданням рівня завадозахищеності і швидкодії та з меншим значенням тактової частоти. Практика вимагає переходу від локального придушення гармонійних завад до смугового та широкосмугового, від однопараметричного до двох чи більш параметричних оцінювань, щоб збільшити рівень завадозахищеності та попередити про випадки отримання неадекватних значень оцінок сталої складової у разі непередбаченої обробки реалізацій нестационарних процесів.

Незважаючи на досягнуті значні, теоретичні та практичні результати, певна кількість питань подальшого збільшення рівня завадозахищеності пристроїв обчислення сталої складової та середніх значень перших похідних лишилася ще не розв'язаною. Це обґрунтовує актуальність обраної теми дисертаційної роботи.

Метою дисертаційної роботи є підвищення рівня завадозахищеності та швидкодії операції вагового усереднення представлених напругами сигналів із низькочастотними адитивними завадами на основі нових теоретичних досліджень з подальшою реалізацією отриманих результатів в нових алгоритмах, програмах та структурах пристроїв, що обчислюють значення сталої складової та середні значення перших похідних цих сигналів.

Досягнення поставленої мети передбачає рішення задач:

1. Розмежування операцій класичної низькочастотної фільтрації і вагового усереднення з метою розробки нової адекватної математичної моделі вагового усереднення на основі положень теорії оцінок математичної статистики; подальше використання створеної моделі у пошуку мов отримання "добрих" оцінок в залежності від семантики цих оцінок, виду завади, форми вагової функції та тривалості інтервалу усереднення.

2. Синтез і дослідження властивостей оригінальних неklasичних фінітних парних по відношенню до центра інтервалу усереднення вагових функцій, що дозволяють спрощену апаратну реалізацію і наближаються за рівнем завадозахищеності та швидкодією до відомих оптимальних часових вікон; створення і дослідження властивостей нових вагових функцій для оцінювання середніх значень перших похідних.

3. Розвиток методів синтезу, синтез і верифікація нових аналогових структур-прототипів вагових усереднювачів, що без перемножувача і генератора ваги реалізують вказану у п.2 першу групу часових вікон.

4. Розробка практично значних гібридних та конвейєрних цифрових еквівалентів позначених у п.3 прототипів.

5. Розробка на основі вказаних у п.4 цифрових усереднювачів оригінальних структур конвейєрних лінійних фільтрів ковзаючого середнього, що містять буфери FIFO, проте не використовують перемножувачі та пам'ять вагових коефіцієнтів і мають майже фінітні імпульсні перехідні функції, що наближаються за формою та властивостями до першої групи вказаних у п.2 вікон.

6. Створення пакета програм симуляційного моделювання поведінки нових структур з метою верифікації і конкретизації параметрів алгоритмів та з можливістю емуляційного виконання на сучасних сигнальних процесорах з рухомою кошкою; розробка методики інженерного розрахунку та проектування запропонованих пристроїв.

Методи досліджень. Дослідження, що спрямовані на вирішення поставлених задач, використовують методи теорії сигналів, інтегральних трансформаций, теорії ймовірностей, математичної статистики, випадкових процесів, статистичної радіотехніки та теорії проектування комп'ютерних і електронних апаратних засобів.

На захист вноситься наступе:

1. Математична модель методу вагового усереднення представлених напругами сигналів, що використовує основні положення теорії оцінок математичної статистики, і результати теоретичного дослідження властивостей вагового усереднення за цією моделлю.

2. Оригінальні фінітні парні вагові функції, що створено комбінаціями згорток вікон класичного спектрального аналізу чи дифе-

ренціюванням відомих оптимальних вікон.

3. Розвинені методи синтезу таких аналогових структур-прототипів, що потенційно реалізують сконструйовані згорткою вікна без перемножувача та генератора вагової функції.

4. Синтезовані структури-прототипи аналогових усереднювачів та розроблені для них практично значні цифрові і гібридні еквіваленти, структури фільтрів ковзаючого середнього з буферами FIFO, проте без перемножувачів та пам'яті вагових коефіцієнтів, а також пакет розроблених програм симуляційного моделювання на комп'ютері з можливістю його емуляційного виконання на ППС з рухомою комою.

Наукова новизна роботи :

1. Запропоновано адекватну математичну модель вагового усереднення представлених напругами сигналів, що використовує основні положення теорії оцінок математичної статистики; це дозволило безпосередньо в термінах методу вагових функцій для класу фінітних парних функцій знайти та дослідити аналітичний вираз дисперсії сформованих оцінок середнього, показати асимптотичну спроможність цих оцінок.

2. Створено наближені до оптимальних нові вагові функції, серед них такі, що потенційно реалізуються без перемножувача та генератора (пам'яті) ваги у задачах оцінювання невідомих значень сталої складової та середніх значень перших похідних; запропоновано нові часові вікна на основі похідної оптимальних функцій Дольфа-Чебишева та Кайзера із збільшеним рівнем придушення гармонійних завад на фіксованому інтервалі обробки для табличного оцінювання середнього значення першої похідної сигналу.

3. Розвинено алгоритми синтезу та синтезовано аналогові структури-прототипи вагових усереднювачів для реалізації утворених згорткою вікон без перемножувача та генератора ваги; запропоновано їхні цифрові та гібридні еквіваленти, а також споріднені з ними нові структури усереднювальних фільтрів з буферами FIFO, проте без перемножувачів та пам'яті вагових коефіцієнтів.

Практична цінність.

1. Розширено перспективи застосувань методу вагового усереднення за рахунок вилучення із складу апаратури перемножувача та генератора ваги; запропоновані оригінальні вікна збільшують завадозахи-

щеність за умови обмеженої тривалості інтервалу обробки.

2. Запропоновані цифрові еквіваленти аналогових прототипів мають знижену складність програмної чи апаратної реалізації, дозволяють в апаратній реалізації досягнути одиничного значення відношення тактової частоти усереднювача до частоти дискретизації; результати програмної симуляції запропонованих структур фільтрів ковзаючого середнього можна емулювати на ППС класу ADSP-210XX із стандартом IEEE-754/854 формату чисел з рухомою комою, при цьому збільшуються верхнє допустиме значення частоти дискретизації сигналу або знижуються значення тактової частоти процесора.

3. Розроблені гібридні структури усереднювачів природньо використовують вхідні ланки існуючих приладів, підвищують рівень захисту на низьких частотах, знижують вимоги до динамічних метрологічних характеристик АЦП, частково придушують вплив ефекту дискретизації.

Реалізація та впровадження результатів роботи.

Отримані теоретичні та практичні результати досліджень та розробок впроваджено у Морському гідрофізичному інституті НАН України (м. Севастополь) та в науковому інституті НДКІ ЕЛВІТ (м. Львів) у формі алгоритмів, програм та структур пристроїв.

Апробація роботи. Основні положення і результати дисертаційної роботи доповідалися та обговорювалися на 3-й міжнародній науково-технічній конференції "Досвід розробки та застосування приладо-технічних САПР мікроелектроніки (Львів, 1995 р.), на міжнародній науково-технічній конференції "Сучасні проблеми автоматизованої розробки і виробництва радіоелектронних засобів та підготовки інженерних кадрів (Львів, 1996 р.) та на науково-технічному семінарі кафедри "Електронні обчислювальні машини" Державного університету "Львівська політехніка". У повному обсязі дисертаційна робота доповідалася на засіданні цієї кафедри.

Публікації. Основні положення і результати дисертаційної роботи викладено в семи друкованих працях.

Структура та обсяг роботи. Дисертаційна робота містить 142 сторінки машинописного тексту і складається з вступу, чотирьох розділів, висновків, списку літератури та додатків. Робота має 71 рисунок, 3 таблиці. Бібліографічний розділ налічує 92 назви.

ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі викладено загальну характеристику роботи, обгрунтовано актуальність обраного напрямку досліджень, визначено мету та основні задачі досліджень і розробок, сформульовано наукову новизну роботи, практичну цінність отриманих результатів, наведено короткий зміст роботи, вказано особистий творчий внесок автора дисертації.

Перший розділ присвячено теоретичному дослідженню усереднення сигналів методом вагових функцій, що класично визначається як

$$\bar{x} = \int_0^T g(\tau) \cdot x(\tau) d\tau. \quad (1)$$

Тут $x(t)$ - усереднювальний сигнал, $g(t) \geq 0$ - вагова функція, \bar{x} - шукана завадозахиснена оцінка невідомого значення сталої складової сигналу. Зауважено, що традиційно перевага надається фінітним в інтервалі довжини T та парним по відношенню до його центра ваговим функціям з одиничною площею (щоб запобігти асуву оцінки).

На прикладі придушення гармонійного коливання з (1) за допомогою теореми Парсеваля для двох функцій показано перевагу парних вікон. Відзначено, що за умови нульової адитивних завад оцінка \bar{x} є реалізоване чисельне значення випадкової величини із притаманим їй математичним сподіванням, дисперсією та законом розподілу. Запропоновано трактувати ваговий інтеграл в термінах теорії оцінок математичної статистики. Безпосередньо з (1) отримано зручний в інженерному користуванні вираз дисперсії оцінки

$$D_{\bar{x}} = \sigma_x^2 \int_{-T}^{+T} g^*(\tau) \cdot B_{x_0}(\tau) d\tau. \quad (2)$$

Тут $g^*(\cdot)$ - взаємна згортка фінітної в інтервалі довжини T вагової функції, $B_{x_0}(\cdot)$ - кореляційна функція центрованого стаціонарного ергодичного процесу $\{x_0(t) - x(t) - \mu_x\}$. Показано, що площа $g^*(\cdot)$ дорівнює одиниці. Для практично значних сигналів та вагових функцій за умови безмежного збільшення T дисперсія оцінки \bar{x} прямує до нуля, що має місце лише для асимптотично спроможних

оцінок. Зазначено, що задача отримання ефективних оцінок вимагає мінімізації значення функціоналу (2). Зауважено, що для тривіального випадку прямокутного вікна та ідеальної білошумової завади а (2) випливають відомі результати. З метою надання інженерних рекомендацій формулу (2) деталізовано для завади у вигляді реалізації загального періодичного процесу з рівномірно розподіленою початковою фазою.

Запропоновано принципи побудови нових алгоритмічних усереднювачів, що реалізують метод вагових функцій без множення за допомогою наступних алгоритмів:

$$\bar{x} = \sum_{i=1}^N K_i \int_0^{T_i < T} h_1(t-\tau) d\tau \cdot \int_0^{\tau} h_2(\tau-\varepsilon) d\varepsilon \cdots \int_0^{\eta} h_N(\eta-\xi) \cdot x(\xi) d\xi. \quad (3)$$

$$\bar{x} = \int_0^T h_1(t-\tau) \cdot p(\tau) d\tau \cdot \int_0^{\tau} h_2(\tau-\varepsilon) d\varepsilon \cdots \int_0^{\eta} h_N(\eta-\xi) \cdot x(\xi) d\xi. \quad (4)$$

Тут символами $h_1(\cdot)$ позначено такі імпульсні перехідні функції (ІПФ), що є однобічним періодичним продовженням синусного, прямокутного вікна, класичних фінітних вікон Хана та Хемінга чи їхніх комбінацій; K - біноміальні коефіцієнти; $p(t)$ - така малорівнева, утворена алгебраїчною сумою біноміальних коефіцієнтів кусково-постійна програмна функція, множення на яку є тривіальним. Відмічено, що відомі алгоритми виводяться з (3) і (4), коли всі $h_1(\cdot)$ є періодичним продовженнями або прямокутного (функція Хевісайда), або синусного вікна. Уточнено семантику модуля спектрального вікна (Фур'є-трансформація часового вікна), що для випадку вагового усереднення надає максимальне значення модуля залишку від зважування гармонійної завади з нульовою сталою складовою та одиничною амплітудою.

Вказано напрямок побудови вагових усереднювачів, що надають заводозахищені оцінки середніх значень перших похідних. Основою є відомі математичні співвідношення:

$$\bar{x}' = \int_0^T g(\tau) \cdot x'(\tau) d\tau - \int_0^T [-g'(\tau)] \cdot x(\tau) d\tau,$$

$$\bar{x}'' = \int_0^T g(\tau) \cdot x''(\tau) d\tau - \int_0^T g''(\tau) \cdot x(\tau) d\tau.$$

Вони дійсні для практично значних сигналів за умови нульових значень на границях інтервалу фінитності (0; T] вагової функції та відповідної кількості її перших похідних. Підкреслено, що цей спосіб усереднення не вимагає попереднього диференціювання сигналу.

Досліджено властивості утворених комбінаціями згорток відомих вікон класичного спектрального аналізу, що потенційно реалізуються без перемножувача та генератора ваги і мають періодичний розподіл нульових значень модуля спектрального вікна. Зазначено перевагу у реалізаціях згорток на основі вікна Хемінга, що за спроможністю придушувати гармонійні завади наближені до оптимального вікна Дольфа-Чебишева. Знайдено спрощений варіант вікна Натола, що у завадостійкості (-96дБ, хоча із втратою однакового рівня бічних пелюсток спектрального вікна) майже не поступається оригіналу на тій самій довжині інтервалу усереднення, проте в реалізації вимагає на два порядки меншої інструментальної точності. Для табличної реалізації вагового оцінювання першої похідної запропоновано застосування похідних оптимальних функцій Дольфа-Чебишева (невідомо замкнена часова форми) та Кайзера (складна часова форма). При цьому завадозахисність усереднення зростає на один-два порядки у порівнянні з відомими результатами на основі кусково-постійного та лінійно-змінного часового вікна (за рівнем бічних пелюсток спектрального вікна, починаючи від другої, при невеликому розширенні першої робочої пелюстки). Похідні отримано чисельними методами; значення похідної функції Дольфа-Чебишева протабульовано.

У другому розділі з використанням апарату інтегральної трансформації Лапласа розвинено метод синтезу аналогових структур-прототипів. Метод дозволяє будувати структури усереднювачів,

що без перемножувача та генератора ваги реалізують вище вказані, побудовані згорткою фінитні вікна. Використано наступну послідовність аналітичних перетворень.

Спочатку записано формальний вираз передавальної функції ідеального безперервного фільтра ковзаючого середнього з імпульсною перехідною функцією у вигляді згортки елементарних фінитних компонент цільового вікна. Отримане в термінах трансформації Лапласа співвідношення переписано як добуток двох частин, де перша частина містить вираз передавальної функції лінійної системи, що може бути реалізована на операційних підсилювачах в спосіб послідовного з'єднання резонаторів - синусного, константного (інтегратор) резонаторів та резонаторів Хана, Хемінга і інших. Прийнято, що усереднювальний сигнал спочатку проходить саме через цю систему (з нульовими початковими умовами), а потім формально надсилається до вксту ще однієї, заключної (уже ідеальної) системи, передавальна функція якої збіжна із залишковим множителем добутку. Імпульсна перехідна функція цієї вихідної системи за умови рівної довжини T/n інтервалу фінитності усіх компонент, що n -кратною згорткою утворюють шукане вікно довжини T , являє собою зважену біноміальними коефіцієнтами послідовність дельта-функцій з розташуванням у точках $\{0; T/n; T/(n-1); \dots; T\}$ інтервалу усереднення $(0; T]$. За теоремою про добуток зображень вихідний сигнал другої системи (також з нульовими початковими умовами) в згорткою цієї ідеальної імпульсної функції з вихідним сигналом першої системи. Зафіксувавши верхню змінну границю в інтегралі згортки на значенні T , за рахунок фільтрувальної адатності дельта-функції отримано значення шуканої методом вагових функцій оцінки невідомого значення сталої складової як зважену біноміальними коефіцієнтами алгебраїчну суму відліків з вихідного процесу першої, реальної системи, причому усі відліки належать інтервалу $(0; T]$ усереднення. Цей вираз фіксує в аналітичній формі алгоритм синтезу так званої прямої форми усереднювачів, де не використовують перемножувач та генератор часового вікна. За умови практично обмеженої кількості послідовно увімкнених резонаторів (1-4) в зваженій сумі використовуються біноміальні множники, що набувають значень з множини цілих чисел $\{1; 2; 3; 4; 6\}$. Операція множення ви-

роджується.

Запропоновано другий варіант аналітичної форми запису алгоритму синтезу, що породжує так звані скорочені форми усереднювачів. Тут схема вибирання миттєвих значень та алгебраїчне додавання зважених біноміальними множниками компонент не потрібні. Використовується лише перша лінійна система, де на вході останнього з послідовно увімкнених резонаторів додано ключову схему, що разом із збільшеною кількістю входів цього резонатора забезпечує тривіальне множення на малорівневу кусково-постійну (так звану програмну) функцію. Пошук виду програмної функції алгоритмізовано. Зауважено, що апаратні витрати на скорочену реалізацію тожотні витратам на ваговий генератор у класичній структурі усереднювача.

Синтезовано нові структури-прототипи, що потенційно мають високий рівень придушення гармонійних завад (наближено -80дБ та -120 дБ для подвійної та потрійної взаємної згортки вікна Хемінга відповідно); при цьому швидкодія лише на 14-18% поступається границі Дольфа-Чебишева і майже збіжна з границею Кайзера.

Основні запропоновані аналогові структури-прототипи вагових усереднювачів верифіковано аналітично методом побудови спряженої системи із визначенням її реакції на дельта-імпульс або прямим методом зведення до базової форми (1) процедури усереднення, що визначена алгоритмами (3) та (4) при деякому сигналі $x(t)$. Зауважено, що в порівнянні із відомими рішеннями на основі інтеграторів нові структури зберігають динамічний діапазон.

У третьому розділі запропоновані вище методи розповсюджено на задачу синтезу таких аналогових структур-прототипів алгоритмічних усереднювачів, що у більшості випадків спроможні надавати пари оцінок "стала складова - перша похідна". Основні синтезовані варіанти верифіковано. По відношенню до відомих рішень показано їхню зменшену апаратну складність та спроможність реалізувати наближені до ефективних згорткові ваги в задачі завадозахисного оцінювання середнього значення першої чи другої похідної. Синтезовані структури також містять послідовно з'єднані резонатори та ключі.

Виявлено неординарну можливість відомої структури вагового

усереднювача з вікном Папуліса, що також не використовує перемножувач та генератор ваги, надавати за один цикл роботи три оцінки - одну для сталої складової та ще дві для першої похідної (для відмінних моментів часу на інтервалі усереднення).

Четвертий розділ містить розроблену інженерну методику проектування практично значних цифрових і гібридних еквівалентів аналогових структур-прототипів.

Розроблено нові цифрові структури резонаторів Хана і Хемінга. Зауважено, що за умови практично обмеженої кількості (1-4) послідовно увімкнених ланок елементарних резонаторів проблеми стійкості в алгоритмічному усереднювачі не існують. Проквантовано значення коефіцієнтів пересилання, яким надано форму $2^n - 2^{-k}$ з метою усунення множення в відомий спосіб "монтажувального асуву" та віднімання/додавання. Елементарний резонатор Хана побудовано на основі модифікації відомого синусного резонатора за допомогою додаткового вихідного накопичувального суматора. Використовуючи особливості структури синусного резонатора, що має прямий та затриманий на один такт вихід, з метою підвищення точності та зменшення мінімально допустимої кількості відліків в імпульсній перехідній функції (до 7) запропоновано цифрове інтегрування на основі формули трапецій. Елементарний резонатор Хемінга побудовано з резонатора Хана за рахунок пересилання помноженого на тривіальну константу 2^{-m} вхідного сигналу, що також реалізується без множення, на ще один додатковий вхід вихідного суматора. Структура цифрового усереднювача із вікном типу подвійна згортка функції Хемінга містить два послідовно з'єднаних резонатора та ключ поміж ними. На першій половині інтервалу усереднення ключ комутує вхід з коефіцієнтом пересилання -1, на другій - з коефіцієнтом +1. Рівень придушення гармонійної завади складає -80 дБ. Для 16-бітових відліків сигналу розрядність першого резонатора дорівнює 24 біти, другого - 32 біти. У цьому випадку ефект обмеженої розрядності відсутній. Результати перевірено моделюванням на комп'ютері. Запропоновано сучасну технологію реалізації - динамічно реконфігуровальні логічні матриці фірми Xilinx, що підтримані САПром ХАСТ.

З метою узагальнення та розвитку досвіду існуючих розробок,

зниження вимог до динамічних метрологічних характеристик АЦП та часткового придушення ефекту дискретизації запропоновано гібридні структури алгоритмічних усереднювачів, де перша ланка є аналоговою. За нею увімкнено АЦП миттєвих значень. Далі розташовано цифровий резонатор, наприклад, Хемінга (-40дБ) або Хана (-30дБ). Перевагу надано двом типам вхідних аналогових ланок - інтегратору та резонатору Хана. В першому випадку забезпечено кращі статичні метрологічні характеристики, в другому - більше на 12 дБ придушення гармонійних завад за умови фіксованої довжини інтервалу обробки та краща часткова нейтралізація ефекту дискретизації. Проаналізовано та промодельовано інструментальну похибку аналогового резонатора Хана. З метою її зменшення запропоновано стандартне застосування малоінерційного вхідного пасивного RC-фільтра нижніх частот з частотою опрацювання, що на порядок перевищує нижнє значення частоти гармонійної завади. При цьому недосконалість реальних інтеграторів практично не впливає на завадозахищеність, а час встановлення RC-фільтра не перевищує 20% довжини циклу усереднення і може суміщатися з інтервалом підготовки нульових початкових умов. Циклічний характер дії алгоритмічного вагового усереднювача, дозволяє застосовувати методи автоматичного калібрування та стабілізації нульового рівня. Точне припасування частот вільних коливань аналогової ланки до відповідного параметру цифрових має виконувати додатковий: цикл вимірювання цієї частоти з подальшим зсувом у часі моментів опрацювання АЦП миттєвих значень; тут розв'язано задачу параметричної стійкості. Для пари резонаторів "аналоговий Хан - цифровий Хемінг" з придушенням гармонійної завади: на -70 дБ в робочому діапазоні частот припасування має відбуватися з точністю 0,1%, що знайдено моделюванням на комп'ютері. При малій кількості відліків (7-50) у часовому вікні цифрової ланки вимоги до апертури АЦП невеликі. Можуть застосовуватися серійні інтегральні чи гібридні АЦП на 10-16 розрядів фірми Analog Devices. Інструментальна похибка є кращою від 0,1%.

За допомогою відомої формальної методики трансформації структур цифрових прямокутних резонаторів до структур фільтрів та на основі запропонованих алгоритмічних усереднювачів побудовано структури фільтрів ковзаючого середнього з буферами FIFO, проте

без перемножувачів та пам'яті вагових коефіцієнтів. Звернено увагу на задачу забезпечення стійкості створених рекурсивних структур, що забезпечують практично фінітні ПФ, майже збіжні за формою та властивостями із розглянутими вище, побудованими згортою часовими вікнами. Визначено, що асимптотична стійкість досягається в спрощений спосіб введення додаткового суматора у колі пересилання внутрішнього проміжного сигналу від першого до другого регістра синусного резонатора; це імітує традиційний спосіб множення коефіцієнтів пересилання класичного резонатора на експоненту. За допомогою моделювання на комп'ютері визначено рівень завадозахищеності, що забезпечують запропоновані фільтрові структури. Знайдено, що в порівнянні із відомим прототипом (на основі взаємної згортки прямокутного вікна) реалізація у новій структурі ПФ, що є згортою вікна Хемінга з прямокутним вікном, надає збільшений на 30 дБ рівень завадозахищеності від гармонійної завади за рахунок подвоєння часу встановлення перехідної функції з точністю 0,0125%. При цьому ланка з прямокутною ПФ має змикатися останньою.

Запропоновано реалізувати можливості нових структур усереднювальних фільтрів в спосіб емуляційного виконання програм на ППС класу ADSP-21020, що підтримує стандартні формати IEEE 754/854 чисел із рухомою комою та спроможний емулювати усі наведені у дисертаційній роботі програми моделювання загової обробки. У випадку емуляції ковзаючої фільтрації відповідно до дії запропонованих структур верхнє допустиме значення частоти дискретизації усереднювального сигналу починає зростати наближено від межі 15-40 відліків в імпульсній перехідній функції фільтра. Це пояснюється сталюю, незалежною від кількості відліків в цій функції довжиною програми обробки одного поточного відліку сигналу у прямокутному резонаторі (біля 30 команд) та у резонаторі Хемінга (біля 45 команд) за умови використання двох команд на обробку одного відліку у стандартній програмі ППС. Додатково можна зняти ефекти квантування коефіцієнтів пересилань в тригонометричних резонаторах та перейти до відомого способу забезпечення стійкості базового синусного резонатора за рахунок використання внутрішнього перемножувача ППС. Буфери FIFO емулюються програмно в межах вищезазначе-

ної кількості команд із використанням власних апаратних засобів ППС. Прискорена реалізація цифрової усереднювальної фільтрації потрібна в задачі стабілізації рівня "чорного" інтенсивних відео-потоків від матриць приладів із зарядовим ав'яком.

Пояснено структуру та перелічено розроблені програми моделювання структур усереднювачів та фільтрів на комп'ютері. Описано результати впровадження.

До додатків винесено стандартні розрахунки, тексти програм, опис схемного рішення, таблицю похідної функції Дольфа-Чебишева та копії документів про впровадження.

ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ РОБОТИ

1. Запропоновано нову адекватну математичну модель виконання операції вагового усереднення представлених напругами сигналів, що ґрунтується на основних положеннях теорії оцінок математичної статистики; на основі її аналізу вперше безпосередньо в термінах методу вагових функцій, без застосування теорії лінійних фільтрів, для класу фінитних парних вікон визначено дисперсію сформованих ваговим методом оцінок середніх значень параметрів сигналу, сформульовано умови отримання ефективних оцінок в залежності від спектру завади, форми ваги та часу усереднення, показано асимптотичну спроможність цих оцінок.

2. Створено нові вагові функції, серед них такі, що придушують низькочастотні гармонійні адитивні завади до рівня $-(80-120)$ дБ, мають періодичні нулі спектрального вікна та швидкодію, яка для агортки функції Хемінга поступається оптимальному вікну Дольфа-Чебишева лише на $(14-18)\%$, до того ж оптимальне вікно принципово не реалізується в аналоговій чи гібридній формі, а в цифровій вимагає складної табличної реалізації; створені вікна потенційно орієнтовані на апаратно спрощену реалізацію в задачах оцінювання невідомих значень сталої складової та середніх значень перших похідних; запропоновано ще одну групу нових часових вікон, що утворені чисельним диференціюванням оптимальних вагових функцій Дольфа-Чебишева і Кайзера та призначені для отримання завадсахищених оцінок середнього значення першої похідної за умови

табличної реалізації; на фіксованій довжині інтервалу усереднення їхня ефективність на один-два порядки вища від відомих ваг.

3. Синтезовано нові аналогові усереднювальні структури-прототи-типи, що не містять перемножувач і генератор ваги і потенційно реалізують першу групу з позначених у п.2 вагових функцій; структури верифіковано; розроблено декілька практично значних структур гібридних та цифрових конвейєрних еквівалентів вказаних структур-прототипів.

4. На основі відлічених у п.3 цифрових усереднювачів та за відомою методикою розроблено нові структури усереднювальних фільтрів ковзаючого середнього з буферами FIFO, проте без перемножувачів і пам'яті вагових коефіцієнтів, з майже фінітними імпульсними перехідними функціями, що наближені за формою до першої групи вказаних у п.2 часових вікон: у разі використання імпульсної перехідної функції у формі агортки вікна Хемінга з прямокутним вікном ці структури, в порівнянні з відомим прототипом на основі взаємної агортки прямокутного вікна, забезпечують більший на 30 дБ рівень придушення гармонійних завад за умови подовження часу встановлення перехідної функції з точністю 0,0125%; запропоновано пакет програм моделювання дії нових структур на комп'ютері; програми можна емулювати на сучасних сигнальних процесорах з рухомою комою з метою збільшення частоти дискретизації сигналу чи зниження тактової частоти ППС; розроблено основи методики інженерного розрахунку та проектування цих гібридних та цифрових реалізацій алгоритмічних усереднювачів.

5. Результати досліджень та розробок впроваджено у формі алгоритмів, програм та структур усереднювальних пристроїв у Морському гідрофізичному інституті НАН України (м. Севастополь) та у науково-дослідному інституті НДКІ ЕЛВІТ (м. Львів).

За результатами дисертаційної роботи опубліковано праці:

1. Харрак В. Програмна реалізація низькочастотного фільтра для вимірювальних систем. - Міжвідомчий на...-технічний збірник "Вимірювальна техніка та метрологія". Випуск 51, 1995. С.99-100.
2. Харрак В. Вагові усереднювачі з малою алгоритмічною складністю. - Деп.в ДНТБ України 28.07.1994, №01445 - Ук.94, 6 с.

ЛНБ ім. В. Стефанича
АН України

3. Харрак В. Вагові функції для завадостійкого обчислення оцінки сталої складової сигналу. - Деп. в ДНТЕ України 28.07.1994, №1446 - Ук.94, 5 с.
4. Харрак В., Троценко О.В. Багатофункціональні усереднювачі часових сигналів та фільтри на їхній основі.- Деп.в ДНТЕ України 09.01.1996. №199 - Ук.96. 8 с.
5. Бережко Л.С., Троценко В.В., Харрак В. Апаратно-програмна реалізація одного класу цифрових фільтрів // Досвід розробки та застосування приладо-технічних САПР мікроелектроніки : Тези доповідей 3-ої міжнародної науково-технічної конференції. - Львів, 1995. Ч.1, с.71.
6. Троценко В.В., Харрак В. Про один клас цифрових фільтрів // Досвід розробки та застосування приладо-технічних САПР мікроелектроніки : Тези доповідей 3-ої міжнародної науково-технічної конференції.- Львів, 1995. Ч.2, с.133.
7. Харрак В., Троценко О.В. Усереднювальні цифрові фільтри без помножувачів. //Сучасні проблеми автоматизованої розробки і виробництва радіоелектронних засобів та підготовки інженерних кадрів: Тези доповідей міжнародної науково-технічної конференції.- Львів, 1996. Ч.2, с. 144.

Особистий внесок автора. Наступні наукові результати сформульовано та отримано автором дисертації самостійно:

1. Запропоновано та досліджено математичну модель вагового усереднення; досліджено властивості ефективності і спроможності оцінок середнього в залежності від форми вагової функції, спектра сигналу та тривалості інтервалу усереднення. /3, 1/
2. Запропоновано нові часові вікна, що утворені згортками вагових функцій класичного спектрального аналізу або чисельним диференціюванням оптимальних вікон Дольфа-Чебишева та Кайзера. /2,4/
3. Розвинуто метод синтезу аналогових структур-прототипів вагових усереднювачів. /2, 5/
4. Розроблено нові структури усереднювачів в гібридній та цифровій формах, а також відповідні структури цифрових фільтрів ковзачого середнього; надано основи методики інженерного розрахунку та проектування нових усереднювачів та розроблено відповідний пакет симуляційних програм. /1,5,6,7/

Abstract

HARRAQ Bouchra. Hindrance-protected devices for calculating constant component and average values of first signal's derivatives investigation and development. Candidate of Technical sciences Thesis in speciality 05.13.08 - Computers, systems and networks, elements and units of computer technique and control systems. State University "Lvivska Polytechnika", Lviv, 1996.

In this thesis 7 scientific works are defending, which contain investigations and development results in problem of increasing speed and level hindrance-protection signal averaging by the weighting function method; mathematical model, investigations results of new averaging windows properties in condition of additive hindrance influence, new not-multiplying averagers structures and based on their fundamentals sliding average filters, as well as Simulation programs are adduced. Results are inculcated.

Аннотация

ХАРПАК Бушра. Исследование и разработка помехозащищённых устройств для вычисления постоянной составляющей и средних значений первых производных сигнала. Диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.13.08 - Вычислительные машины, комплексы, системы и сети, элементы и устройства вычислительной техники и систем управления. Государственный университет "Львівська політехніка", г. Львов, 1996 г.

В диссертационной работе защищаются 7 научных трудов с результатами исследований и разработок по проблеме повышения уровня помехозащищённости и быстродействия усреднения сигналов методом весовых функций; приведены математическая модель, результаты исследования свойств оценок среднего, новые структуры неумножающих усредняющих устройств и фильтров скользящего среднего, а также пакет программ моделирования. Результаты работы внедрены.

Ключові слова: адитивна завада, вагова функція, згортка, перемножувач, спектр, усереднювач, процесор сигналів.

U07810

АВ 34.889

Підписано до друку 14.05.96. Формат паперу 60x84 1/16.
Папір газетний. Друк офсетний. Друк. листів 1.
Зам. 420. Тираж 100. Безкоштовно.

Ротопронт Львівського ЦНТІ. Вул. 700-річчя Львова, 57.