

1. Запропоновано, обґрунтовано та розвинуто статистико-термодинамічні уявлення стосовно стабілізації функції перетворення термоелектричних і термошумових перетворювачів температури з чутливими елементами з аморфних, моно- і полікристалічних термометричних матеріалів. Це дало змогу врахувати вплив деформування (аж до руйнування), поруватості, домішок і присадок, включаючи зміни їхнього стану й розподілу, а також низки інших чинників в процесі спільного, часто конкурентного впливу, й описати функції впливу перетворювачів, зумовлені дією конкретних ступенів вільності.

2. Запропоновано критерій нестабільності функції перетворення, який застосовано для дослідження, стабілізації, прогнозування й коректування згаданої функції перетворення різного класу перетворювачів у різноманітних умовах експлуатації.

1. Стаднык Б.И., Яцишин С.П., Лах В.И. Пути стабилизации эксплуатационных характеристик высокотемпературных термоэлектрических термометров. Тс-6. Приборы и устройства для контроля и регулирования технологических процессов. – М., 1979. 2. Самсонов Г.В., Стаднык Б.И и др. Температурные измерения. Справочник. – Киев–Львов, 1986.. 3. Jacyzyn S., Stadnyk B., Lusyck J. i in. Efekty szumowe w termometrii // Pomiarы, automatyka, kontrola. – 2003. – № 7/8. – S.15-17. 4. Lutsyk Ya.T., Stadnyk B.I., Yatsyshyn S.P. Drift of thermoelectric properties and electromechanical noises in thermoelectric converters // Thermoelectricity. – 2004. – № 2. – P.70–75. 5. Стадник Б.И., Луцик Я.Т., Скоропад П.И., Яцишин С.П. Фізико-хімічні основи термометричних матеріалів і статистично-термодинамічний алгоритм проектування термоперетворювачів засобів електротермометрії // Вісник Черкаського національного університету. – № 2. – 2004. – С.27–28. 6. Самсонов Г.В., Стаднык Б.И и др. Температурные измерения. Справочник. – Киев–Львов., 1986. 7. Стадник Б.И., Куритнык И.П. Материалы высокотемпературной термометрии. – М., 1990. 8. Федик И.И., Стаднык Б.И. и др. Термо-э.д.с. и механические напряжения // Теплофизика высоких температур. Т.32. – 1978. – С.376-382. 9. Новиков И.И., Стаднык Б.И., Яцишин С.П. и др. О феноменологической модели нестабильности интегральной термо-э.д.с. термопар // Известия АН СССР. Сер. Металлы. – 1990. – № 3. – С.211–214. 10. Стадник Б.И., Яцишин С.П. Електромеханохімічні шуми термометричних матеріалів // Термоелектрика. – 2003. – №1. – С.56–64. 11. Стаднык Б.И., Яцишин С.П., Колодий З.А. Отклонение тепловых шумов в материалах при низких температурах от равновесных значений // Mereni teplot v priemyslu. – 1 dil. – Praha: CSVTS, Dum Techniky. – 1989. – С.102–112. 12. Guk O.P., Stadnyk B.I., Yatsyshyn S.P. Long life thermoelectric temperature converters. Reliability problems // Thermoelectricity. – 2004. – №2. – P.75–82.

УДК 681.325

А.Й. Наконечний, І.Я. Тишик

Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра автоматики та телемеханіки

ОЦІНКА ПАРАМЕТРІВ РУХУ ОБ’ЄКТІВ НА ОСНОВІ МАЛОХВИЛЬОВОГО ПЕРЕТВОРЕННЯ СИГНАЛІВ

© Наконечний А.Й., Тишик І.Я., 2006

Щоб підвищити точність оцінки параметрів руху об'єктів, здійснено оброблення ширококутових зондувального і відбитого сигналів на основі їхнього малохвильового перетворення. Результати моделювання підтверджують ефективність використання малохвильового перетворення для оброблення таких сигналів.

With purpose the rise of estimation accuracy of objects motion parameters the wideband sounding and echo signal processing is carried out on the basis of their wavelet transform. Design results confirm efficiency of the use wavelet transform for such signal processing.

Вступ. Використання ширококутових сигналів для локації об'єктів забезпечує нові можливості покращання оцінки їхніх динамічних параметрів і характеристик супроводу. Однак відомо, що під час аналізу та оброблення таких сигналів виникає проблема забезпечення необхідної точності та роздільної здатності в широкому діапазоні частот [1].

При відбиванні ширококутового зондувального сигналу від об'єкта повністю не враховуються зсуви фаз різних його частотних складових. З огляду на це відбитий сигнал істотно спотворюється щодо зондувального, можлива наявність завад, крім того, значно погіршує точність оцінки параметрів руху об'єктів [2].

Аналіз досліджень та публікацій. Сьогодні у системах локації для оцінки параметрів руху об'єктів широко використовуються методи оброблення сигналів на основі доплерівської фільтрації [3]. Як зондувальні у них використовують сигнали неперервного та імпульсного типів. Використання неперервних сигналів не дає змоги отримати добру роздільну здатність щодо віддалі, що унеможливує розрізнення об'єктів, розташованих близько один від одного. Щоб позбавитися вказаного недоліку, часто використовують імпульсні сигнали, які дають змогу отримати достатньо хорошу роздільну здатність як по віддалі, так і по швидкості. Зондувальний сигнал такого виду переважно являє собою радіоімпульс із прямокутною огинаючою. Спотворення огинаючої радіоімпульсу прийнятого сигналу відбувається у вхідних колах приймача, що призводить до погіршення точності оцінки параметрів руху об'єкта [4]. Наведені підходи до оцінки параметрів руху, які ґрунтуються на використанні методу доплерівської фільтрації, забезпечують похибку перетворення в межах $2 \div 3\%$, що часто не задовольняє споживача.

В деяких пристроях і системах локації (медицина, охоронні системи) оцінка параметрів руху об'єктів здійснюється випромінюванням зондувального відеоімпульсу [5]. Спотворення такого сигналу, відбитого від об'єкта, відбувається за рахунок зсуву фаз частотних складових ширококутового сигналу. Для оцінювання сигналів такого типу переважно використовують кореляційно-фільтрові методи оброблення [6]. Згадані методи втрачають свою ефективність, якщо сигнали приймаються з високим вмістом завад і невідома апріорна інформація про їхній вид і характер зміни.

Мета роботи. Мета цієї роботи полягає у підвищенні точності оцінки параметрів руху об'єктів, яка забезпечується використанням малохвильового перетворення для аналізу зондувального та відбитого ширококутових сигналів.

Ширококутові сигнали. Незважаючи на те, що ширококутові сигнали широко досліджувалися протягом багатьох років, їх переважно не використовували в ряді практичних розробок. Причина полягала в тому, що кожне оброблення, яке містило ширококутові сигнали, вимагало великого обсягу обчислень. Приймали часто некоректні припущення, а також недієздатні алгоритми та структури оброблення. На цьому етапі для аналізу ширококутових сигналів широко застосовується малохвильова теорія, яка дає змогу ефективно здійснювати ширококутове оброблення. Поставлені задачі повинні задовольняти певним “ширококутовим вимогам”, які залежать як від сигналу, так і від системи одночасно.

Здебільшого сигнали розглядають як ширококутові, якщо відношення ширини смуги BW до центральної частоти ω_c є більшим, ніж $0,1$

$$\left[\frac{(BW)}{\omega_c} \right] > 0,1, \text{ якщо } \omega_c \neq 0 \quad (1)$$

Якщо центральна частота дорівнює нулеві, то сигнал також розглядається як широкопasmовий. Спектр $F(\omega)$ для сигналу $f(t)$ визначається через перетворення Фур'є. Центральну частоту визначають як спектральну середню точку [7].

Необхідно відзначити, що сигнали, енергія яких сконцентрована на низьких частотах, завжди розглядаються як широкопasmові. Це зумовлено постійними змінами масштабу, які трапляються навколо нульової частоти.

Підтвердження широкопasmової умови для частинної ширини смуги формується за допомогою аналітичного представлення сигналу, яке використовує огинаючі сигналу для його представлення і відкидає експоненційність на центральній частоті [7]. У багатьох прикладних задачах, для зменшення кількості вибірок, дослідники використовують аналітичну модель сигналу у вигляді змішування сигналів із їхніми відеоеквівалентами (представленими лише огинаючими).

Аналітичну модель сигналу часто подають із допомогою гільбертового перетворення [7], яка формується з дійсного сигналу додаванням до нього гільбертового перетворення цього самого сигналу

$$f(t) = f_{\text{дійсн}}(t) + jHT[f_{\text{дійсн}}(t)], \quad (2)$$

де HT – оператор гільбертового перетворення, $f_{\text{дійсн}}(t)$ – дійсний сигнал.

З виразу (2) отримаємо [7]:

$$f(t) = a(t)e^{j\phi(t)}e^{j\omega_c t} + je^{-j\frac{\pi}{2}}[a(t)e^{j\phi(t)}e^{j\omega_c t}]. \quad (3)$$

З (3) випливає, що Гільбертове перетворення експоненти є лише зміщення фази і припускають, що додатна центральна частота. Коли дійсний сигнал додається до його гільбертового перетворення (2), то фазове зміщення взаємодіє так, щоб уникнути впливу частотних компонент, менших від нуля. В такий спосіб формується аналітичне описання сигналу. Всі вказані операції виконуються, якщо припускають відсутність спектрального перекриття. Для цієї моделі це означає, що центральна частота більша, ніж будь-яка частота, що міститься в модулюючому сигналі.

Для цього аналітичного виразу сигналу центральна частота повинна бути середньо-квадратичною. Однак таке значення ширини смуги не може бути допустимим визначенням для ширини смуги модулюючого сигналу. Ширини смуг є до деякої міри довільними доти, доки не будуть визначені спеціальні затухання на краях смуги. Енергія низькочастотного модулюючого сигналу мусить бути значно ослаблена на центральній частоті. Рівень допустимого спотворення визначає ступінь необхідного затухання (приблизно 20–30 dB), що приводить до збільшення ширини смуги. Своєю чергою, це приводить до недійсного подання аналітичного виразу багатооктавних, широкопasmових сигналів. Зокрема, аналітичний вираз сигналу, що формується з відбитого широкопasmового сигналу, не буде точною копією зондувального, оскільки деякі компоненти частот будуть зміщені по фазі, а інші – ні. Своєю чергою, це призводить до такого спотворення: якщо сигнали є багатооктавними сигналами і використовується їхня аналітична форма подання, то демодульована низькочастотна огинаюча сигналу буде іншою, ніж оригінального сигналу. Отже, при активному зондуванні, коли передавальний модульований сигнал відомий, опорні сигнали, що формуються з цього оригінального передавального низькочастотного сигналу, не будуть відповідати прийнятій огинаючій сигналу. Неузгодженості між опорними сигналами і прийнятими огинаючими здебільшого будуть спричинити значне зменшення максимальної кореляції, а також роздільної здатності, що, своєю чергою, приводить до зменшення точності оцінки параметрів руху об'єктів. Саме з цих причин тривалий час широкопasmові сигнали не використовувались для зондування об'єктів.

Малохвильовий аналіз широкопasmових сигналів. У цій роботі запропонована і досліджена можливість використання нового методу оброблення широкопasmових сигналів на основі їхнього малохвильового перетворення. Роздільні здатності малохвильових перетворень мають властивість

залишатися сталими протягом багатьох октав зміни сигналів, а отже, вони дають змогу здійснювати оцінку й порівняння зондувальних широкосмугових сигналів. Така властивість малохвильового перетворення досягається за рахунок постійної зміни розміру вікна та фіксації кількості циклів в аналізуючому “ядрі”. Малохвильове перетворення забезпечує пропорційну роздільну здатність у кожній частотній смузі. У міру збільшення центральної частоти зростає ширина смуги аналізуючого ядра масштабованої базової малохвильової функції. Роздільна здатність за часом також змінюється пропорційно. Для аналізу низькочастотних компонент створюються вікна довшої тривалості з низькою часовою роздільною здатністю, але високою роздільною здатністю за частотою. Комбінація цих властивостей малохвильових перетворень дає змогу створювати вікна з постійними фрактальними роздільними здатностями ширини смуг, за рахунок чого стає можливим аналіз та порівняння широкосмугових сигналів.

Реалізація такого методу перетворення здійснюється на основі операції розкладу сигналу на піддіапазони за допомогою одного з відомих алгоритмів. Розклад на малохвильові складові послідовностей дискретних значень вхідного сигналу відбувається за рахунок операції згортки його значень із фільтровими коефіцієнтами. Обчислення малохвильових і масштабних коефіцієнтів $d_{j,n}$ та $c_{j,n}$ для різних масштабів j може виконуватись на основі таких виразів:

$$c_{j,n} = \sqrt{2} \sum_k h_{k+2n} c_{j-1,n}, \quad (4)$$

$$d_{j,n} = \sqrt{2} \sum_k g_{k+2n} c_{j-1,n}, \quad (5)$$

де $c_{j-1,n}$ – вхідна послідовність коефіцієнтів, довжина яких удвічі більша за вихідні послідовності $c_{j,n}$ і $d_{j,n}$; h_k та g_k – вихідні послідовності низько- та високочастотного фільтрів відповідно.

Оцінка параметрів руху у малохвильовій області. Загалом випромінюваний широкосмуговий сигнал подається як прямокутний імпульс одиначної амплітуди деякої тривалості τ . Відбитий від об’єкта сигнал моделюється як затримана, спотворена та зашумлена версія випромінюваного сигналу. Оскільки розглядається випадок, коли об’єкт наближається до спостерігача, то тривалість відбитого імпульсу τ_p менша, ніж тривалість випромінюваного. Згідно з ефектом Доплера залежність між швидкістю руху об’єкта та тривалістю відбитого імпульсу є лінійною.

Сумарне значення послідовності малохвильових коефіцієнтів декомпозиції зондувального сигналу V_Σ можна подати як

$$V_\Sigma = c_J + \sum_{j=1}^J \sum_{n=1}^{N/2^j} d_{j,n}, \quad (6)$$

де $d_{j,n}$ – послідовність n деталізуючих коефіцієнтів, отриманих на відповідних рівнях перетворення j ; c_J – апроксимуючий коефіцієнт, отриманий у результаті виконання останнього рівня перетворення; N – скінченний набір вхідних даних сигналу.

Відповідно сумарне значення послідовності малохвильових коефіцієнтів декомпозиції відбитого сигналу V'_Σ можна записати:

$$V'_\Sigma = c'_J + \sum_{j=1}^J \sum_{n=1}^{N/2^j} d'_{j,n}. \quad (7)$$

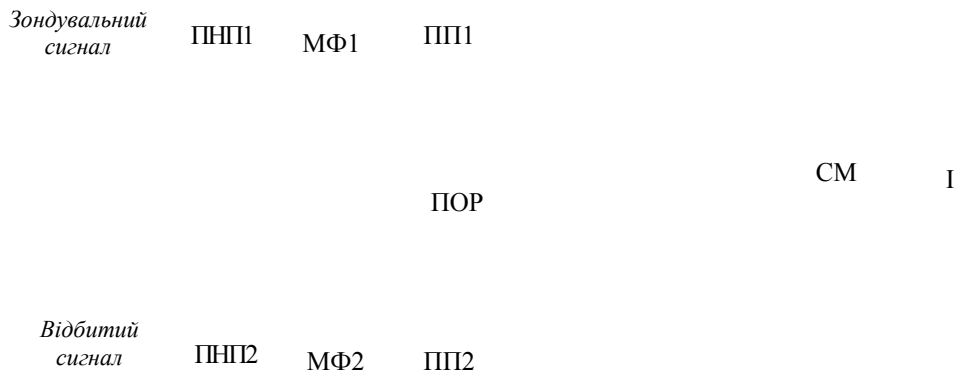
Різницеве інформативне значення R визначається так:

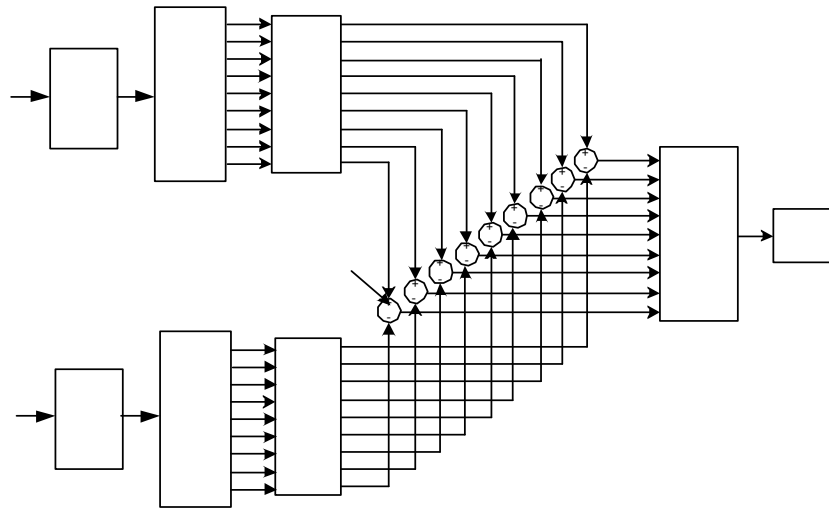
$$R = V_{\Sigma} - V'_{\Sigma} = c_J + \sum_{j=1}^J \sum_{n=1}^{N/2^j} d_{j,n} - c'_J + \sum_{j=1}^J \sum_{n=1}^{N/2^j} d'_{j,n} \quad (8)$$

На основі отриманого виразу (14) можна зробити висновок, що оцінка різницевого значення залежить від значення масштабних коефіцієнтів найнижчої частотної підсмуги та малохвильових коефіцієнтів усіх підсмуг. Основною особливістю подання є те, що воно дає змогу як легко фільтрувати завади і враховувати спотворення сигналу, так і оцінювати значення R безпосередньо у часочастотній області. При зменшенні тривалості відбитого від рухомого об'єкта імпульсу пропорційно зменшується значення малохвильових коефіцієнтів його декомпозиції c'_j та $d'_{j,n}$.

Моделювання зондування об'єктів із малохвильовим перетворенням сигналів. Як вже зазначалося вище, для підвищення точності дистанційного вимірювання динамічних характеристик об'єкта зондування пропонується здійснювати оброблення широкосмугових зондувального та відбитого сигналів на основі їхнього малохвильового перетворення. Схема оцінки згаданих параметрів наведена на рисунку. Зондувальний та відбитий сигнали попередньо нормалізуються й перетворюються у дискретну форму за допомогою пристроїв ПНП1 і ПНП2 відповідно. Дискретні послідовності зондувального та відбитого сигналів надходять до системи малохвильових фільтрів (МФ1) та (МФ2) відповідно, які складаються з восьми блоків малохвильових фільтрів, кожен з яких має два фільтри: низькочастотний і високочастотний. Вхід кожного наступного блока фільтрів з'єднується з виходом низькочастотного фільтра попереднього блока. Враховуючи представлення вхідних сигналів скінченим набором даних, які складаються з $N = 256$ вибірок, можна здійснити вісім рівнів перетворення ($d = 8$). Кожен рівень розглядається як розклад вхідної послідовності блоком фільтрів згідно з (10) і (11). На виходах МФ1 та МФ2 отримують послідовності малохвильових коефіцієнтів, які мають нове представлення сигналу в часочастотній області. Згадані послідовності надходять до пристроїв порогування (ПП1 і ПП2). За допомогою останніх здійснюється на кожному рівні адаптивне порогування значень малохвильових коефіцієнтів для послаблення впливу завад та спотворень. У пристроях оцінки різниці (ПОР) здійснюється на кожному рівні оцінка різниць малохвильових коефіцієнтів зондувального та відбитого сигналів. Різницева послідовність надходить на суматор (СМ), на виході якого формується інформативний сигнал. Результат відображається на індикаторі (І).

Моделювання випромінюваного та відбитого сигналів у малохвильовій області здійснювалося з використанням базових малохвильових функцій Добеші шостого порядку та пірамідального алгоритму Маллата.





Структурна схема оцінки різницевого значення між зондувальним та відбитим сигналами на основі малохвильового перетворення

На спотворений сигнал накладався гауссівський шум, рівень якого становив 50% від максимального рівня сигналу. Для зменшення впливу завад використовувалось адаптивне порогоування, яке встановлювалось на кожному рівні перетворення окремо. Так, значення коефіцієнта порогоування на першому рівні становило $\lambda = 0,8$. Для кожного наступного рівня значення зменшувалось на 0,1. Значення λ на останньому низькочастотному піддіапазоні дорівнювало нулеві.

Для порівняння запропонованого методу оброблення було виконано оброблення даних методом кореляційного аналізу з RC фільтрацією. Результати моделювання показали, що максимальне значення зведеної похибки оцінки значень за методом кореляційного аналізу з RC фільтрацією становить приблизно $\delta_{вi} \approx 1\%$, а зведена похибка оцінки запропонованим методом малохвильового перетворення не перевищує $\delta_{м} < 0.45\%$.

Висновки

1. Сформульовані основні вимоги до широкосмугових сигналів. На основі цього показано, що коректне тлумачення широкосмуговості сигналу визначає вигляд аналітичної моделі сигналу (дійсність або недійсність), а також метод ефективного перетворення та оброблення інформативного сигналу.

2. Показано, що для ефективного оброблення широкосмугових сигналів доцільно використовувати моделі, які базуються на малохвильовому перетворенні. Такі подання дають змогу отримати постійну роздільну здатність сигналів у широкому діапазоні частот і не спотворювати амплітудну й фазову складові.

3. Показано, що оцінювати зондування рухомих об'єктів можна безпосередньо у малохвильовій області без використання оберненого перетворення.

4. Результати моделювання показують, що оцінка динамічних параметрів об'єктів зондування на основі малохвильового перетворення широкосмугових сигналів має вищу завадостійкість і точність перетворення порівняно з відомими методами оброблення.

1. Наконечний А.Й., Тишик І.Я. Широкосмугове моделювання систем // Комп'ютерні технології друкарства. – Львів, 2000. – № 5. – С. 29–33. 2. Наконечний А.Й., Тишик І.Я. Покращення точності приладів вимірювання параметрів руху на основі малохвильового перетворення сигналів // Комп'ютерні технології друкарства. – Львів, 2002. – № 5. – С. 145–151. 3. Рабинер Л., Гоулд Б. Теория и применение цифровой обработки сигналов. – М., 1978. 4. Радиоприемные устройства: О.В. Головин – М., 1997. 5. Иммореев И.Я., Сверхширокополосные радары: новые возможности,

необычные проблемы, системные особенности // Вестник МГТУ. – 1998. – №4. – С. 25–56.

6. Шрюфер Е. Обработка сигналов. – К., 1992. 7. Наконечный А.И. Теория малохвильового перетворення та її застосування. – Львів, 2001.

УДК 621.317

Р.М. Івах, І.Д. Питель

Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра інформаційно-вимірювальних технологій

ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ВИМІРЮВАННЯ ВОЛОГОСТІ СИПКИХ МАТЕРІАЛІВ ДІЕЛЬКОМЕТРИЧНИМ МЕТОДОМ

© *Івах Р.М., Питель І.Д., 2006*

Здійснено умовний поділ первинних перетворювачів діелькометричних вологомірів, описано недоліки примусового ущільнення сипкого матеріалу у міжелектродному просторі, запропоновано методику внесення поправкових коефіцієнтів у результат вимірювання, яка частково усуває недоліки примусового ущільнення.

By authors the conditional division of primary transformers of dielectric hygrometer, described lacks of the forced compression of friable material, is carried out in interelectrode space, offered method of bringing of correction coefficients in the result of measuring, which partly removes the lacks of the forced compression.

Вступ. Під час здійснення різноманітних технологічних процесів в хімічній, нафтопереробній, харчовій та інших галузях промисловості досить часто необхідно контролювати безліч неелектричних величин, таких як температура, тиск, вологість тощо. Вимірювання та контроль неелектричних величин проводиться контрольовано-вимірювальними приладами, принцип дії яких ґрунтується на методах перетворення вимірюваної неелектричної величини в електричну (струм, напругу, опір, ємність тощо). Необхідне перетворення здійснюється, як правило, первинними перетворювачами (сенсорами). Тому й не дивно, що першим вузлом в узагальненій структурній схемі будь-якого приладу, що призначений для вимірювання неелектричної величини, стоїть первинний перетворювач.

Отже, на сьогоднішній день від точності, чутливості, швидкодії, стійкості до зовнішніх впливів, стабільності первинних перетворювачів практично повністю залежить повнота та достовірність отримуваної вимірювальної інформації про стан досліджуваних об'єктів і процесів.

Одним із перших первинних перетворювачів, які використовувалися для вимірювання неелектричних величин, були ємнісні первинні перетворювачі [1]. Ємність конденсатора визначається