

П.Ю. Керницький, В.Г. Парфенюк, О.В. Приймачук

ПРО МОЖЛИВІСТЬ ОБРОБКИ СИГНАЛІВ ТЕЛЕМЕТРИЧНИХ ДАТЧИКІВ АЛГОРИТМАМИ ЦИФРОВОГО СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛІЗУ

Пропонується застосувати алгоритми нелінійного спектрального аналізу для обробки телеметричної інформації. Наводяться методика і результати експериментальної перевірки запропонованих теоретичних розрахунків.

Безперервний розвиток радіотелеметрії у зв'язку із збільшенням кількості випробувань різноманітної техніки, її повсякденною експлуатацією виникає підвищений інтерес до питань обробки даних телеметричних вимірювань. Методи і алгоритми обробки набувають все більшого значення, тому що вони є основою математичного забезпечення складних систем контролю та управління. Необхідність введення обробки визначається наступними факторами [1, 5]:

1. Величезний потік вимірювальної інформації про функціонування окремих систем, агрегатів і вузлів приводить до великого об'єму обчислювань при його обробці.

2. Підвищення оперативності в керуванні складними об'єктами потребує швидкого отримання і обробки необхідної інформації.

3. Велика економія, що досягається при обробці даних за рахунок спрощення пристроїв реєстрації і скорочення об'ємів пристроїв пам'яті.

До числа математичних задач можливо віднести розробку і дослідження оптимальних методів і алгоритмів обробки інформації про телеметрируємі процеси, аналіз і синтез систем обробки.

В телеметрії первинним джерелом інформації є датчик, який перетворює контрольований фізичний параметр в сигнал, зручний для подальшої обробки.

Одним з видів телеметрируємих сигналів є сигнали від датчиків швидкозмінних параметрів, таких, наприклад, як вібрації в реактивних двигунах та інших конструкціях. За своєю фізичною суттю коливальні процеси виникають внаслідок накладання гармонічних коливань, викликаних незалежними джерелами. Через складність структури і значну динамічність процесів, накладання випадкових перешкод і похибок під час вимірювання періодичні компоненти замасковані і практично не розрізняються.

Спостерігача, який аналізує параметри сигналів на виході телеметричних датчиків швидкозмінних параметрів, цікавить час виникнення вібрацій, їх частота та інтенсивність. Очевидно, що саме ці параметри є первинними для можливих доопрацювань конструкції виробу. Таким чином, спостерігачу не завжди необхідно знати параметри як функції часу, достатньо знати спектральні характеристики параметрів. Це визначає специфіку обробки сигналів, що надходять від телеметричних датчиків, де значне місце займає спектральний аналіз процесів, що досліджуються.

В теперішній час спектральна обробка сигналів від телеметричних датчиків проводиться за допомогою алгоритмів дискретного перетворення Фур'є (ДПФ), що дозволяє аналізувати сигнали в частотній області [1].

$$S(f) = \frac{1}{L} \sum_{l=1}^L X(l) e^{j2\pi f l T_{\partial}}, \quad (1)$$

де L – кількість відліків;

f – частота, на якій проводиться оцінка амплітуди спектра $S(f)$;

T_{∂} – період дискретизації сигналу $X(l)$.

В матричній формі ДПФ можемо представити у вигляді [4]:

$$P(f) = \mathbf{X}(f)^* \Phi \mathbf{X}(f), \quad (2)$$

де $P(f)$ – функція, що характеризує розподіл потужності в залежності від частоти (частотний спектр);

$\mathbf{X}(f)^T = \|1, e^{j\psi}, e^{j2\psi}, e^{j3\psi}, \dots, e^{j(N-1)\psi}\|$ – частотний опорний вектор (вектор пошуку за частотою);

$\psi = 2\pi f \tau$ – параметр, який характеризує набіг фази сигналу між сусідніми елементами лінії затримки (ЛЗ);

τ – затримка сигналу за часом між сусідніми елементами ЛЗ;

$*$, T – знаки комплексного спряження та транспонування відповідно;

$\hat{\Phi} = \frac{1}{2L} \left\| \sum_{l=1}^L Y_l Y_l^{*T} \right\|$ – оцінка автокореляційної матриці сигналів $Y_l^T = \|\dot{y}_1, \dot{y}_2, \dot{y}_3, \dots, \dot{y}_N\|$ на

виході ЛЗ;

L – кількість вибірок за один іспит;

l – номер вибірки;

N – кількість відводів ЛЗ;

$\dot{y}_n = \sum_{m=1}^M \dot{S}_m(t) + \xi(t)$ – сигнал на виході n -го відводу ЛЗ ($n = 1 \dots N$);

M – кількість сигналів;

$\dot{S}_m(t) = U_m(t) e^{j\varphi_m(t)}$ – сигнал від m -го джерела зі своїм законом зміни амплітуди $U_m(t)$ та фази $\varphi_m(t)$, $m = 1 \dots M$;

$\xi(t)$ – внутрішній шум, який являє собою стаціонарний випадковий процес, розподілений за нормальним законом з математичним очікуванням, рівним нулю.

При використанні алгоритмів цифрового спектрального аналізу розділення сигналів за частотою значною мірою визначається розміром вибірки, яка використовується для побудови кореляційної матриці. Чим більша вибірка (кількість відліків сигналу), тим більшу кількість спектральних складових можливо виявити. Таким чином, при використанні алгоритму ДПФ підвищення роздільної здатності можливе при збільшенні кількості аналізованих відліків сигналів телеметричних датчиків. Але збільшення розмірів аналізованої вибірки небажане, тому що це призводить до необхідності збільшення ємності пристроїв пам'яті, збільшення об'ємів і часу обробки інформації, запровадження більш потужних ЕОМ.

Одним з можливих методів підвищення роздільної здатності частотного аналізу телеметричних сигналів є застосування інших алгоритмів обробки інформації, наприклад, алгоритмів нелінійного спектрального аналізу (НСА).

Найбільш відомими і вивченими алгоритмами НСА є алгоритм Кейпона [2, 3, 4]:

$$P(f) = \frac{1}{X(f)^{*T} \hat{\Phi}^{-1} X(f)} \quad (3)$$

і алгоритм теплового шуму (ТШ):

$$P(f) = \frac{1}{X(f)^{*T} \hat{\Phi}^{-2} X(f)} \quad (4)$$

Порівняльна характеристика методів ДПФ, Кейпона, теплового шуму

Складність задачі порівняння зумовлена тим, що в реальних умовах відповідні кореляційні матриці, як правило, апріорно невідомі і замість них використовуються ті або інші випадкові кореляційні матриці-оцінки по вибірках скінченного об'єму. При цьому параметри, що характеризують якість різноманітних методів, також є випадковими.

Зазвичай, для порівняльної оцінки якості спектрального оцінювання користуються трьома критеріями, такими як: *роздільна здатність*, *ступінь зміщення* та *варіабельність оцінки*. В даному випадку пропонується порівняльна характеристика вказаних методів за першим критерієм – *роздільною здатністю*.

Внаслідок аналізу джерел інформації по спектральному оцінюванню [2, 4] маємо, що *роздільна здатність* алгоритмів спектрального аналізу залежить від багатьох факторів, в тому числі від об'єму вибірки (при збільшенні об'єму вибірки підвищується роздільна здатність). Також відомо, що алгоритми Кейпона і теплового шуму належать до класу алгоритмів нелінійного спектрального аналізу і дозволяють розділяти два і більше сигналів за частотою в межах головної пелюстки апертурної кореляційної функції ЛЗ, так звані алгоритми надрозділення. Спираючись на [2, 3, 4], знаємо, що роздільна здатність алгоритмів надрозділення значно більша, ніж класичного ДПФ.

Експериментальне підтвердження теоретичних висновків

З метою перевірки правильності зроблених теоретичних висновків про роздільну спроможність алгоритмів спектрального аналізу і можливість їх застосування для обробки сигналів телеметричних датчиків була розроблена експериментальна установка ВП-1, структурна схема якої наведена на рис.1.

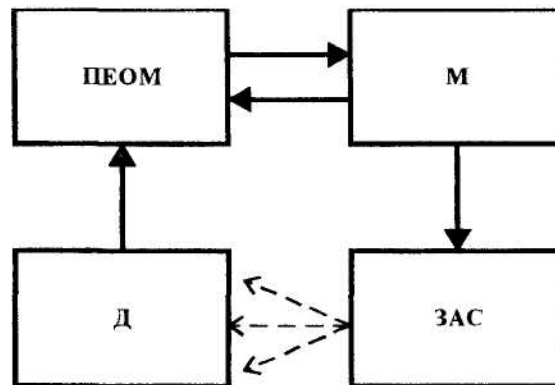


Рис. 1

Призначення експериментальної установки ВП-1:

експериментальна установка ВП-1 призначена для моделювання, генерації, прийому, аналого-цифрового перетворювання та реєстрації прийнятих сигналів у виді файлу для подальшої обробки алгоритмами спектрального оцінювання.

Склад експериментальної установки ВП-1:

ПЕОМ – персональна електронно-обчислювальна машина;

М – магнітофон;

ЗАС – зовнішня акустична система;

Д – телеметричний датчик тиску ДХС-517.

Призначення елементів експериментальної установки ВП-1:

ПЕОМ призначена для моделювання, генерації та обробки квазігармонічних сигналів.

Магнітофон призначений для запису та відтворення акустичних сигналів.

Зовнішня акустична система призначена для підвищення інтенсивності сигналів до рівня чутливості датчика.

Датчик ДХС-517 призначений для перетворення коливань звукового тиску в електричні сигнали.

На підготовчому етапі експерименту, за допомогою прикладного програмного забезпечення, на ПЕОМ моделюються квазігармонічні сигнали і записуються на магнітофон. Далі ці сигнали відтворюються магнітофоном через зовнішню акустичну систему. Коливання тиску повітря сприймаються датчиком. Датчик поєднаний зі звуковою картою ПЕОМ (яка в даному випадку виконує функцію АЦП) і всі його сигнали в цифровому вигляді записуються в файл для подальшої обробки за допомогою програми, що реалізує алгоритми ДПФ, Кейпона і теплового шуму.

Основні умови проведення експерименту:

частотний діапазон досліджень – 250–2500 Гц;

частоти квазігармонічних сигналів – 500, 1000, 1500, 2000 Гц;

частота дискретизації – 11025 Гц.

Основні ТТХ датчика ДХС-517:

робочий діапазон частот – 3...4000 Гц;

чутливість – 5000 ± 300 мВ/кгс*см²;

діапазон робочих температур – 203...473 К.

Основні характеристики математичної моделі системи вимірювання частоти:

кількість відводів ЛЗ – 16;

кількість вибірок – 40;

кількість досліджень – 40;

(кожне дослідження проводиться по 40 вибірках, при цьому кожна вибірка містить 16 відліків даних)

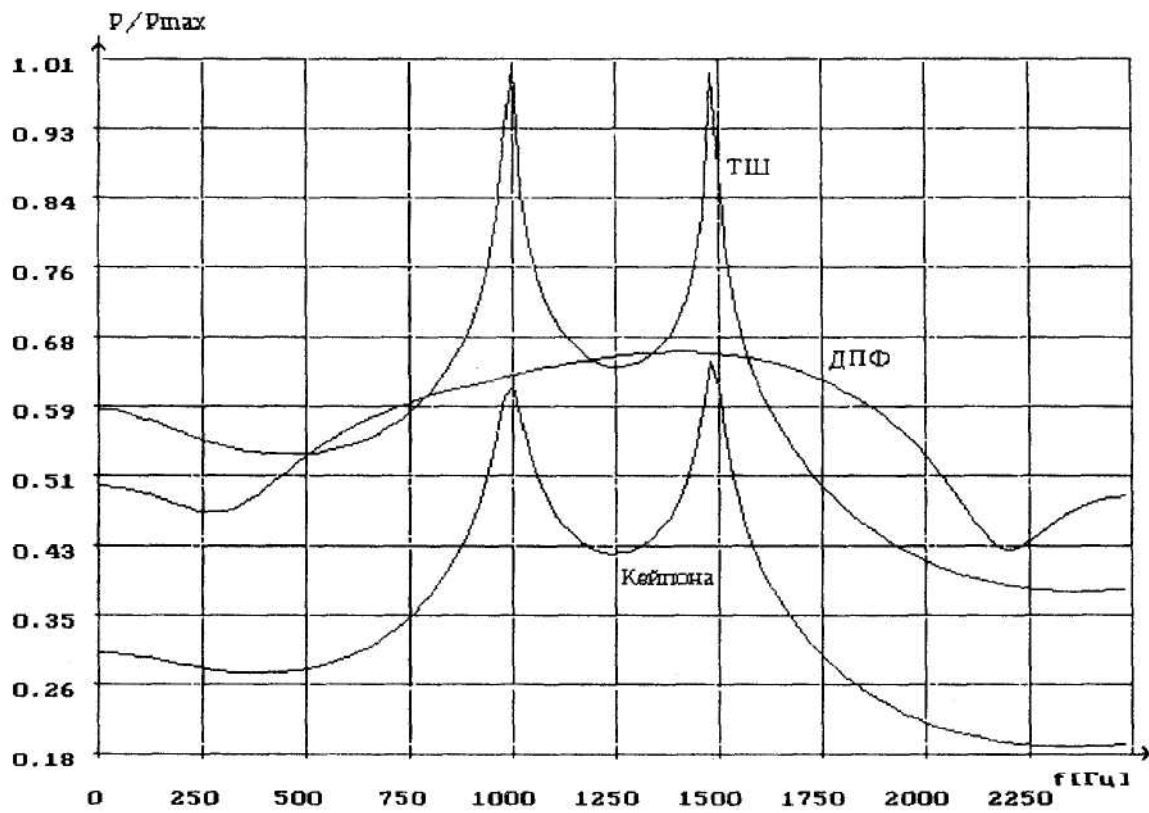


Рис. 2

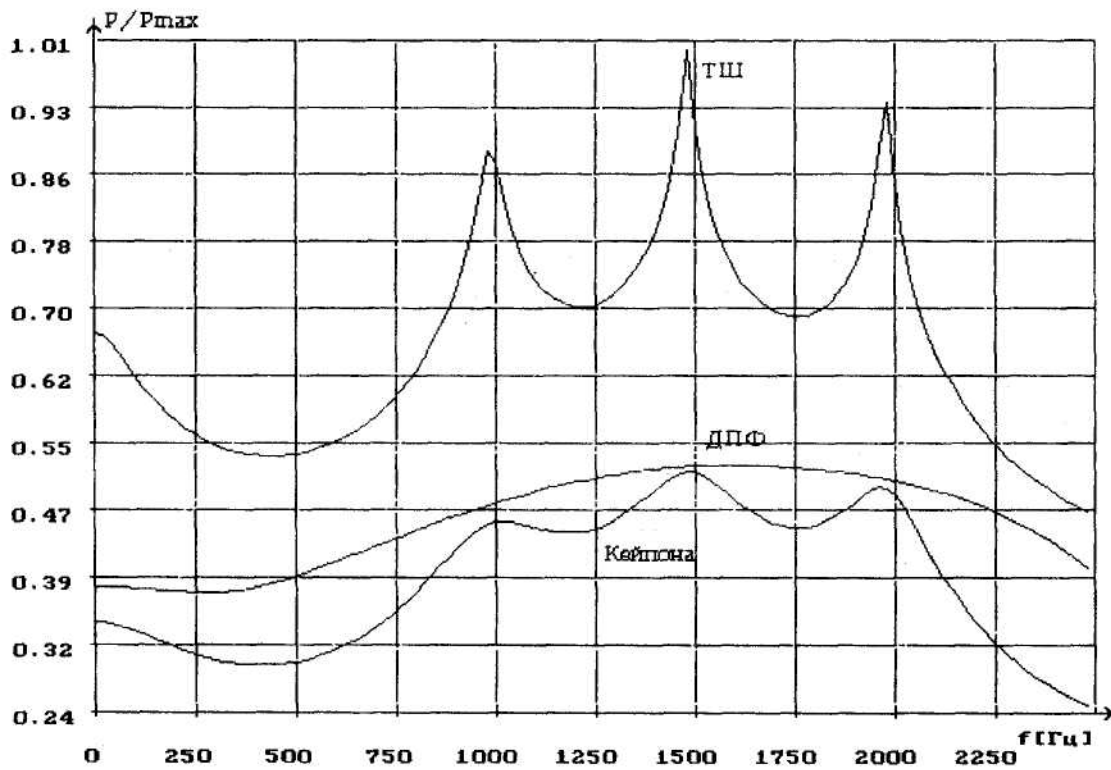


Рис. 3

В результаті обробки отримано файли даних, які містять масиви потужностей на відповідних їм частотах.

За отриманими результатами проводилась статистична обробка. Для порівняльної характеристики використані три вищевказаних критерії.

Нижче наведені результати обробки адитивної суміші квазігармонічних сигналів з несучими частотами 1000, 1500 Гц (рис. 2) і 1000, 1500, 2000 Гц (рис. 3) алгоритмами ДПФ, Кейпона і теплового шуму. Беручи до уваги те, що в складі експериментальної установки використовується справжній телеметричний датчик, можемо стверджувати про можливість використання алгоритмів Кейпона і теплового шуму для обробки телеметричної інформації. Як видно з наведених спектральних характеристик, алгоритми нелінійного спектрального аналізу на відміну від алгоритму ДПФ дають змогу розділити окремі сигнали за частотою в заданих умовах.

Використання алгоритмів нелінійного спектрального аналізу для обробки сигналів телеметричних датчиків дозволяє виявляти короточасні квазіперіодичні процеси, обробляти нестационарні випадкові процеси, які можна вважати квазістационарними на коротких вибірках, підвищити інформативність вимірювальної системи, при фіксованій вибірці, в порівнянні з класичним дискретним перетворюванням Фур'є. Це дозволяє говорити про їх перспективність, тим більше що їх впровадження не потребує притягнення ніяких засобів, крім обчислювальних.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Богомолов О.С., Стёпкин В.С. Автоматизированная обработка телеметрической информации. – МО СССР, 1973. – 166 с.
2. Караваев В.В., Молодцов В.С. Параметрические спектральные оценки в локации / Препринт 861, РИАН СССР, Москва, 1986. – 30 с.
3. Караваев В.В., Сазонов В.В. Статистическая теория пассивной локации. – М.: Радио и связь, 1987. – 240 с., ил.
4. Марпл-мл С.Л. Цифровой спектральный анализ и его приложения / Перевод с английского. – М.: Мир, 1990. – 584 с., ил.
5. Сафаров Р.Т., Зверев Р.И., Шитов И.В. Радиотелеметрия. Часть 2. – МО СССР, 1973. – 308 с.

КЕРНИЦЬКИЙ Павло Юрійович – ад'юнкт Житомирського військового інституту радіоелектроніки.

Наукові інтереси:

- моделювання складних інформаційних систем з елементами штучного інтелекту.

ПАРФЕНЮК Василь Григорович – кандидат технічних наук, доцент, начальник кафедри Житомирського військового інституту радіоелектроніки

Наукові інтереси:

- адаптивна обробка інформації алгоритмами нелінійного цифрового спектрального аналізу;
- моделювання радіотехнічних засобів.

ПРИЙМАЧУК Олег Валерійович – ад'юнкт Житомирського військового інституту радіоелектроніки.

Наукові інтереси:

- адаптивна обробка телеметричних сигналів алгоритмами нелінійного цифрового спектрального аналізу;
- комп'ютерні системи та програмування.