

ТЕОРЕТИЧНИЙ І НАУКОВО-ПРАКТИЧНИЙ ЖУРНАЛ
ІНЖЕНЕРНОЇ АКАДЕМІЇ УКРАЇНИ

THEORETICAL AND APPLIED SCIENCE JOURNAL
ENGINEERING ACADEMY OF UKRAINE



В І С Н И К

ІНЖЕНЕРНОЇ АКАДЕМІЇ УКРАЇНИ

ВИПУСК 3-4

***BULLETIN OF ENGINEERING
ACADEMY OF UKRAINE***

Issue 3-4

Київ 2010 Kyiv

**ТЕОРЕТИЧНИЙ І НАУКОВО-ПРАКТИЧНИЙ ЖУРНАЛ
ІНЖЕНЕРНОЇ АКАДЕМІЇ УКРАЇНИ**

**THEORETICAL AND APPLIED SCIENCE JOURNAL
ENGINEERING ACADEMY OF UKRAINE**

Журнал друкує статті науковців вузів та установ України, інших країн відповідно до рубрик:

Авіаційна й космічна техніка
Військово-технічні проблеми
Геологія, видобування та переробка корисних копалин
Інженерні проблеми агропромислового комплексу
Інформаційні системи, обчислювальна й електронна техніка, системи зв'язку та приладобудування
Комунікації (транспортні системи та ін.)
Матеріалознавство
Машинобудування
Медична інженерія
Металургія
Нафтогазові технології
Охорона навколишнього середовища (інженерна екологія) і ресурсозбереження
Стандартизація, метрологія і сертифікація
Будівництво і будіндустрія
Технологія легкої промисловості
Технологія харчової промисловості
Хімічні технології й інженерна біотехнологія
Економіка, право та керування в інженерній діяльності
Енергетика

Матеріали друкуються українською або російською мовою.

Номер затверджено на засіданні Вченої ради Кіровоградського національного технічного університету

Протокол № 8 від 22.11.2010р
Вісник Інженерної академії України включений у новий Перелік наукових фахових видань України, в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук в галузі технічних наук (Постанова президії ВАК України від 14.04.2010 р. № 1-05/3)

Співзасновники:
Кіровоградський національний технічний університет
Інженерна академія України
Університет внутрішніх справ

Journal submits articles of researchers of universities and institutions of Ukraine and other countries in accordance with headings:

Aviation and Space Engineering
Military and Engineering Problems
Geology, Mining and Processing of Minerals
Engineering Problems of Agroindustrial Complex
Information Systems, Computer and Electronic Engineering, Communication Systems and Instrument Engineering
Communications (Transport Networks and others)
Material Science
Mechanical Engineering
Medical Engineering
Metallurgy
Oil-and-Gas Technologies
Preservation of Environment (Ecological Engineering) and Resource Saving
Standardisation, Metrology and Certification
Building and Construction Engineering
Technology of Light Industry
Technology of Food Industry
Chemical Technologies and Engineering Biotechnology
Economics, Law and Management in Engineering
Power Engineering

Materials are submitted in Ukrainian or Russian languages.

The issue is approved at the meeting of Academic Council of Kirovograd National Technical University

Protocol No. 8 dated 22.11.2010
Bulletin of Engineering academy of Ukraine is included into the new List of Scientific special editions of Ukraine, in which results of dissertation works may be published for to be conferred with academic degrees of doctor and candidate of sciences in the field of engineering sciences (Decree of presidium of the Ukraine HCC No. 1-05/3 dated 14.04.2010)

Cofounders:
Kirovograd National Technical University

Engineering Academy of Ukraine
University of Internal Affairs

ISBN 5-7763-8361-7

Редакційна колегія:

Головний редактор – д.т.н., проф. **В.П. Квасніков**
Відповідальний секретар – к.т.н. **В.І. Савченко**,
Редактори – **К.С. Бабіч, А.В. Дзюбаненко**

Члени редколегії:

А.І. Бабушкін - д.т.н., проф. (авіаційна і космічна техніка),
Л.Р. Вишняков – д.т.н. (матеріалознавство)
Р.Б. Гевко - д.т.н., проф. (машинобудування),
М.М. Гіроль - д.т.н., проф. (комунікації, транспортні системи та ін.),
А.М. Золотарьов - д.е.н., проф. (економіка, право і управління в інженерній справі),
Л.В. Коломієць – д.т.н., проф. (стандартизація, метрологія і сертифікація),
В.І. Литвиненко - д.х.н. (хімічні технології та інженерна біотехнологія),
А.П. Мельник - д.т.н., проф. (нафтогазові тех.ї),
В.М. Мельник - д.т.н., проф. (геологія, добування та переробка корисних копалин),
Й.С. Мисак - д.т.н., проф. (енергетика),
О.О. Панасенко - д.т.н., проф. (інформаційні системи, обчислювальна й електронна техніка, системи зв'язку та приладобудування),
О.К. Тришин - академік УААН, д.с/г.н., проф. (інженерні проблеми АПК),
В.М. Сало – д.т.н., проф. (інженерні проблеми АПК)
В.В. Соловей - д.т.н., проф. (охорона навколишнього середовища і ресурсозбереження),
В.І. Ступа - д.т.н., проф. (технологія легкої промисловості),
М.І. Хвисьюк - д.м.н., проф. (медична інженерія),
М.І. Черноvol – член-кор. УААН, д.т.н., проф. (матеріалознавство),
В.В. Федоренко - д.м.н., проф. (інформаційні системи, обчислювальна й електронна техніка, системи зв'язку та приладобудування)
О.Л. Шагін - д.т.н., проф. (будівництво і будіндустрія),
Є.П. Шольц-Куліков - д.т.н., проф. (технологія харчової промисловості),
С.Л. Ярошевський - д.т.н., проф. (металургія)

Підписано до друку 13.12.2010р.

Ціна договірна

Адреса редакції: просп. Космонавта Комарова, 1,
корп. 11, кімн. 402, м. Київ, 03680, Україна
Тел.: +38(044)406-71-58
E-mail: kvp@nau.edu.ua

Editorial board:

Editor-in-chief – Dr. of Eng., Prof. **V.P. Kvasnikov**
Executive secretary – Cand. of Eng. **V.I. Savchenko**,
Editors – **K.S. Babich, A.V. Dzubanenko**

Members of editorial board:

A.I. Babushkyn – Dr. of Eng., Prof. (Aviation and Space Engineering),
L.R. Vyshniakov - Dr. of Eng (Material Science)
R.B. Gevko – Dr. of Eng., Prof. (Mechanical Engineering),
M.M. Girol – Dr. of Eng., Prof. (Communications, Transport Networks and others),
A.M. Zolotaryov – Dr. of Econ., Prof. (Economics, Law and Management in Engineering),
L.V. Kolomiets – Dr. of Eng., Prof. (Standardisation, Metrology and Certification),
V.I. Lytvynenko – Dr. of Chem. (Chemical Technologies and Engineering Biotechnology),
A.P. Melnyk – Dr. of Eng., Prof. (Oil-and-Gas Technologies),
V.M. Melnyk – Dr. of Eng., Prof. (Geology, Mining and Processing of Minerals),
I.S. Mysak – Dr. of Eng., Prof. (Power Engineering),
O.O. Panasenko – Dr. of Eng., Prof. (Information Systems, Computer and Electronic Engineering, Communication Systems and Instrument Engineering),
O.K. Tryshyn – An Academician of UAAS, Dr. of Agr., Prof., (Engineering Problems of Agroindustrial Complex)
V.M. Salo - Dr. of Eng., Prof. (Engineering problems of agricultural Complex)
V.V. Solovey – Dr. of Eng., Prof. (Preservation of Environment (Ecological Engineering) and Resource Saving),
V.I. Stupa – Dr. of Eng., Prof. (Technology of Light Industry),
M.I. Khvysuk – Dr. of Med., Prof. (Medical Engineering),
M.I. Chernovol – A corresponding-member of UAAS, Dr. of Eng., Prof. (Material Science),
V.V. Fedorenko - Dr. of Eng., Prof. (Information Systems, Computer and Electronic Engineering, Communication Systems and Instrument Engineering)
O.L. Shagin – Dr. of Eng., Prof. (Building and Construction Engineering),
Ye.P. Sholts-Kulikov – Dr. of Eng., Prof. (Technology of Food Industry),
S.L. Yaroshevsky – Dr. of Eng., Prof. (Metallurgy)

Signed for printing on 13.12.2010.

Agreed price

Address of Editorial Staff: Cosmonaut Komarov St., 1,
build. 11, 402 room, Kyiv, 03680, Ukraine
Tel.: +38(044)406-71-58
E-mail: kvp@nau.edu.ua

Зміст**Авіаційна й космічна техніка**

Казак В.Н., Тачинина Е.Н., Мазур Т.А. УСЛОВИЯ СОХРАНЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКОЙ ЖИВУЧЕСТИ СИСТЕМЫ «ВОЗДУШНОЕ СУДНО – ЭКИПАЖ – СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ - СРЕДА» В ОСОБЫХ СИТУАЦИЯХ В ПОЛЕТЕ	8
Казак В.Н., Бабенко А.Е. АНАЛИЗ ПОВРЕЖДЕНИЙ ВОЗДУШНОГО СУДНА ПРИ СТОЛКНОВЕНИИ С ИНОРОДНЫМИ ОБЪЕКТАМИ	13
Казак В.Н., Горбач О.К. СОЛНЕЧНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ КАК ИСТОЧНИК ПИТАНИЯ СИЛОВОЙ УСТАНОВКИ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА	16
Квасников В.П., Тюпа Д.А. МЕТОДЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ГИДРОАГРЕГАТОВ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ	21
Малютенко Т.Л. ТОНІСТЬ КООРДИНАТНИХ ВИМІРЮВАНЬ НА ОСНОВІ ФАЗОВИХ НЕВИЗНАЧЕНОСТЕЙ	26
Огырь А.Г. АНАЛИЗ ДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ВЕРТОЛЬОТА ПРИ РАЗЛИЧНЫХ РЕЖИМАХ ПОЛЕТА	31
Степанковский Ю.В., Клишта А.В. ИМПУЛЬСНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫМИ ОРГАНАМИ МАГНИТНОЙ СИСТЕМЫ ОРИЕНТАЦИИ	35
Харченко В.П., Писарчук О.О. БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНА МОДЕЛЬ ВИЯВЛЕННЯ КОНФЛІКТНИХ СИТУАЦІЙ В ЗАДАЧАХ НАВИГАЦІЇ РУХОМИХ ОБ'ЄКТІВ	39
Харченко В.П., Сорочан А.Г. СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПРОХОЖДЕНИЯ СИГНАЛОВ ОТРАЖЕННЫХ ОТ ДВУХ ЦЕЛЕЙ В J-КОРРЕЛЯЦИОННОМ МЕТОДЕ ПЕЛЕНГАЦИИ	44
Храмченко В.А., Пустовий С.О., Яблонський П.М., Скляр О.І. ФОРМАЛІЗОВАНІ МОДЕЛІ ПРОЦЕСУ ТЕХНІЧНОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЕЛЕМЕНТІВ ЛІТАЛЬНОГО АПАРАТА ВІЙСЬКОВОГО ПРИЗНАЧЕННЯ ДЛЯ РІЗНИХ СТРАТЕГІЙ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ	50

Геологія, видобування та переробка корисних копалин

Мисак Й.С., Івасик Я.Ф., Омеляновський П.Й. ВИЗНАЧЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК НЕСТАЦІОНАРНОГО РЕЖИМУ ПІЛОСИСТЕМИ ЗА ВИКОРИСТАННЯ ІНФОРМАЦІЇ ВІД АСУ ТП	56
Швагер Н.Ю., Калиниченко В.А., Маланчук Е.З. КИНЕТИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В МАСИВЕ ГОРНЫХ ПОРОД ПРИ ОБРАЗОВАНИИ ПОЛОСТИ	61

**Інформаційні системи, обчислювальна й електронна техніка,
системи зв'язку та приладобудування**

Вередюк А.М., Мелешко Т.В. ЕКСПЕРТНА ОЦІНКА ЯКОСТІ ІР-ТЕЛЕФОНІЇ СПОЖИВАЧАМИ	66
Гуйда О.Г., Негода А.М., Кушнір О.М., Гордєєв М.Г. ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ СПЛАЙН-ФУНКЦІЙ В ТЕХНОЛОГІЯХ СТИСНЕННЯ ЦИФРОВОГО ВІДЕО	70

Клещов Г.М. ІНФОРМАЦІЙНИ КОНСТРУКТОРСЬКИ МАСИВИ ШТАМПІВ ХОЛОДНОЇ ЛИСТОВОЇ ШТАМПОВКИ	74
Колганова О.О., Шутко М.О., Шутко В.М. БАГАТОМАСШТАБНИЙ РОЗКЛАД ІЗ ДРОБНИМ КРОКОМ	78
Коломієць Л.В., Джугурян Л.О. ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ПРИ ОЦІНЦІ ЗНАНЬ НА ОСНОВІ ДАНИХ КОМПЛЕКСНОГО КОНТРОЛЮ З ВИКОРИСТАННЯМ СИСТЕМ АВТОМАТИЗОВАНОГО НАВЧАННЯ	83
Куц Ю.В., Дергунов О.В., Троць В.М. ЗАСТОСУВАННЯ КРУГОВОГО СЕРЕДНЬОГО В ЗАДАЧАХ ФІЛЬТРАЦІЇ ФАЗОВИХ ХАРАКТЕРИСТИК МОДУЛЬОВАНИХ ГАРМОНІЧНИХ СИГНАЛІВ	88
Куц Ю.В., Шенгур С.В. ПРОГРАМНИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ ТА СТАТИСТИЧНОГО ОПРАЦЮВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ КУТОВИХ ТА ФАЗОВИХ СПОСТЕРЕЖЕНЬ	93
Кучерук В.Ю., Дудатьєв І.А. РЕСУРСОЕНЕРГОЗБЕРЕЖНА СИСТЕМА АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ КОТЕЛЬНОЮ УСТАНОВКОЮ З КОНТРОЛЕМ СКЛАДУ ДИМОВИХ ГАЗІВ	98
Кучерук В.Ю., Кулаков П.І., Марущак В.Ю., Коломійчук І.В. ТАХОМЕТРИЧНИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ З НИЗЬКОЧАСТОТНИМ ВИХІДНИМ СИГНАЛОМ	104
Михайлов К.М. КОГНИТИВНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РЕГИОНА	110
Нечипорук О.П., Одарченко Р.С., Петрова Ю.О. ВИБІР ОПТИМАЛЬНОЇ КІЛЬКОСТІ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ПОБУДОВИ БЕЗДРОТОВИХ МЕРЕЖ ПЕРЕДАВАННЯ ДАНИХ	113
Орнатский Д.П. СУЧАСНІ ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ АНАЛОГОВИХ ІНТЕРФЕЙСІВ ІНФОРМАЦІЙНО- ВИМІРЮВАЛЬНИХ СИСТЕМ	118
Орнатский Д.П., Довгань В.В. УСТРОЙСТВО ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ПОДШИПНИКОВЫХ УЗЛОВ НА БАЗЕ N-КАНАЛЬНЫХ ФИЛЬТРОВ	123
Палагін В.В., Куліш Є.О. РЕАЛІЗАЦІЯ БЛОКУ СУМІСНОГО КЕРУВАННЯ РОБАСТНОГО АКСЕЛЕРОМЕТРИЧНОГО КОНТРОЛЛЕРА НА ОСНОВІ НЕЙРОМЕРЕЖ	127
Титарчук А.О. СИСТЕМА АВТОМАТИЗАЦІЇ ПРОЦЕСІВ КОНСТРУЮВАННЯ – САПК	131
Юдин О.К., Гулак Н.К. ТЕХНОЛОГІЯ УСУНЕННЯ НАДМІРНОСТІ У ТРАНСФОРМОВАНИХ ПОТОКАХ БІТОВОГО ПОДАННЯ ДАНИХ	134

Інженерні проблеми агропромислового комплексу

Кузьмич Л.В. ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ВИМОГИ ДО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАДІЙНОСТІ ОСУШУВАЛЬНИХ ГІДРОМЕЛІОРАТИВНИХ СИСТЕМ	141
Матус С.К., Пастушенко В.Й. МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ КОЕФІЦІЄНТА ВОЛОГОПРОВІДНОСТІ ҐРУНТУ НА БАЗІ НЕЙРОМЕРЕЖЕВИХ ТЕХНОЛОГІЙ	145

Комунікації (транспортні системи та ін.)

Аль-Маайя Ахмад Халіф ДОСЛІДЖЕННЯ НОРМАТИВНО-ПРАВОВОЇ БАЗИ В СИСТЕМАХ ОКРЕМИХ ВИДІВ ТРАНСПОРТУ	151
---	-----

УДК 621.391:004.942(043.2)

Ю.В. Куц, д.т.н.
О.В. Дергунов
В.М. Троць**ЗАСТОСУВАННЯ КРУГОВОГО СЕРЕДНЬОГО В ЗАДАЧАХ ФІЛЬТРАЦІЇ ФАЗОВИХ ХАРАКТЕРИСТИК МОДУЛЬОВАНИХ ГАРМОНІЧНИХ СИГНАЛІВ**Національний авіаційний університет, aredzo@gmail.com, ivs@nau.edu.ua, t_b_m@ukr.net

У статті досліджено процес визначення фазової характеристики модульованих гармонічних сигналів у присутності гауссівської завади. Розглянуто виникнення грубих похибок під час розгортання фазових характеристик сигналів за результатами визначення їх дробової частини. Досліджено метод фільтрації фазової характеристики за допомогою ковзного кругового середнього. Моделювання виконано в середовищі Matlab та LabView.

Ключові слова: перетворення Гільберта, фазова характеристика, фільтрація фазової характеристики, статистичні фільтри, ковзне кругове середнє.

Вступ

Розвиток технічних систем передачі та опрацювання інформаційних сигналів, у першу чергу, радіотехнічних, телекомунікаційних, вимірювальних, зумовлюють необхідність підвищення точності визначення їх параметрів і характеристик. Однією з найбільш інформативних характеристик сигналу є його фазова характеристика (ФХ), за якою може бути оцінений ряд інших параметрів, таких як частота, період, індекс кутової модуляції, статистичні характеристики фазових шумів та інші.

Зазвичай ФХ сигналу $\Phi(t)$ визначається як результат розгортання її дробової частини $\varphi(t) = \Phi(t) \bmod 2\pi$ (тобто частини ФХ в межах інтервалу $[0, 2\pi)$). Ця процедура полягає у додаванні величини 2π до функції $\varphi(t)$ в момент зміни її значень від 2π до 0.

В багатьох вимірювальних експериментах досліджувани модульовані гармонічні сигнали спостерігаються на фоні адитивних завад, що спричиняє спотворення функції $\varphi(t)$ і виникнення грубих помилок під час її розгортання. В роботі [1] розглянуто застосування одного з методів статистичного згладжування дробової частини ФХ сигналів – метода кругової медіанної фільтрації функції $\varphi(t)$, а також особливості розгортання ФХ після такої процедури. Необхідність визначення ФХ за малих співвідношень сигнал/завада обумовлює пошук інших, більш ефективних методів розгортання ФХ сигналів.

Мета статті – дослідити особливості розгортання ФХ сигналів за співвідношення сигнал/завада менше одиниці на основі використання методу статистичного згладжування дробової частини ФХ ковзним круговим середнім.

Постановка задачі

Досліджуваний сигнал уявляє собою адитивну суміш гармонічного сигналу виду $u(t) = U_m \cos(2\pi ft)$ $u(t) = U_m \cos(2\pi ft)$, де U_m , f – відповідно амплітуда і частота сигналу, t – час, та реалізації гауссівської завади $n(t)$ з нульовим математичним сподіванням та дисперсією σ^2 . Сигнал спостерігається на інтервалі часу $T_c \gg 1/f$. Доступною опрацювавши є вибірка значень сигналу $\{z[j], j = \overline{1, J}\}$, де $z[j] = u[j] + n[j]$, $J = \lfloor T/T_d \rfloor$ – обсяг вибірки, $[\cdot]$ – позначник операції виділення цілої частини числа, які отримані з частотою дискретизації $f_d > f$.

Співвідношення сигнал/завада становить $\eta = \frac{U_m^2}{2\sigma^2} \leq 1$.

Необхідно оцінити фазову характеристику гармонічного сигналу $\Phi(t) = 2\pi ft$, $t \in [0, T_c]$ за результатами спостережень $z[j]$, $j = \overline{1, J}$, дослідити особливості застосування статистичного згладжування функції $\varphi[j]$ за допомогою кругового середнього. Дослідження виконати методом комп'ютерного моделювання у середовищі Matlab. Розробити віртуальний інструмент

для інтерактивного застосування фільтрації ковзним круговим середнім до різних вхідних кутових даних у середовищі LabView.

Розв'язок поставленої задачі виконано поетапно

Знаходження дробової частини ФХ сигналу

Задача визначення ФХ вирішується шляхом використання перетворення Гільберта (ПГ). Практична реалізація ПГ і визначення дробової частини ФХ сигналу виконується в дискретному варіанті на основі дискретного ПГ [2], яке позначимо оператором \mathbf{H}_d .

Визначення гільберт-образу $z_H[j] = \mathbf{H}_d(z[j])$, $j = \overline{1, J}$ вхідної вибірки дозволяє обчислити наступні характеристики сигналу:

а) дискретну амплітудну характеристику:

$$z[j] = \sqrt{z^2[j] + z_H^2[j]} ; \quad (1)$$

б) дробову частину дискретної фазової характеристики:

$$\varphi[j] = L(z[j], z_H[j]) = \arctg(z_H[j]/z[j]) + (\pi/2) \{2 - \text{sign } z_H[j](1 + \text{sign } z[j])\}, \quad (2)$$

де $\text{sign}[]$ - знакова функція. За відсутності шумів розгортання ФХ може бути здійснено за результатами аналізу функції $\varphi[j]$ (2) оператором $\mathbf{K}(\varphi[j])$, який визначає стрибки дробової частини ФХ між її суміжними значеннями, що перевищують задану порогову величину, наприклад π , і зміщує наступні значення $\varphi[j]$ на 2π . Як приклад на рис. 1 зображено такі нерозгорнута та розгорнута ФХ гармонічного сигналу

$$\varphi[j] = \left\{ \frac{2\pi}{5}j - \frac{\pi}{2}, j = \overline{0, 20} \right\},$$

$$\Phi[j] = \left\{ -\frac{\pi}{2}, \left(\frac{2\pi}{5} - \frac{\pi}{2}\right), \left(\frac{4\pi}{5} - \frac{\pi}{2}\right), \left(\frac{6\pi}{5} - \frac{\pi}{2}\right), \left(\frac{8\pi}{5} - \frac{\pi}{2}\right), \frac{3\pi}{2}, \left(\frac{12\pi}{5} - \frac{\pi}{2}\right), \left(\frac{14\pi}{5} - \frac{\pi}{2}\right), \dots \right\}.$$

В середовищі Matlab оператор розгортання фази реалізовано функцією `unwrap`. Додавання величини 2π відбувається для $j = \{4; 9; 14; 19\}$. Ознакою прийняття рішення про додавання 2π є значна різниця фаз між суміжними значеннями. Для $j = 4$, наприклад, маємо стрибок $\varphi[4] - \varphi[3] = -\left(-4\pi/5\right) = 1,6\pi$.

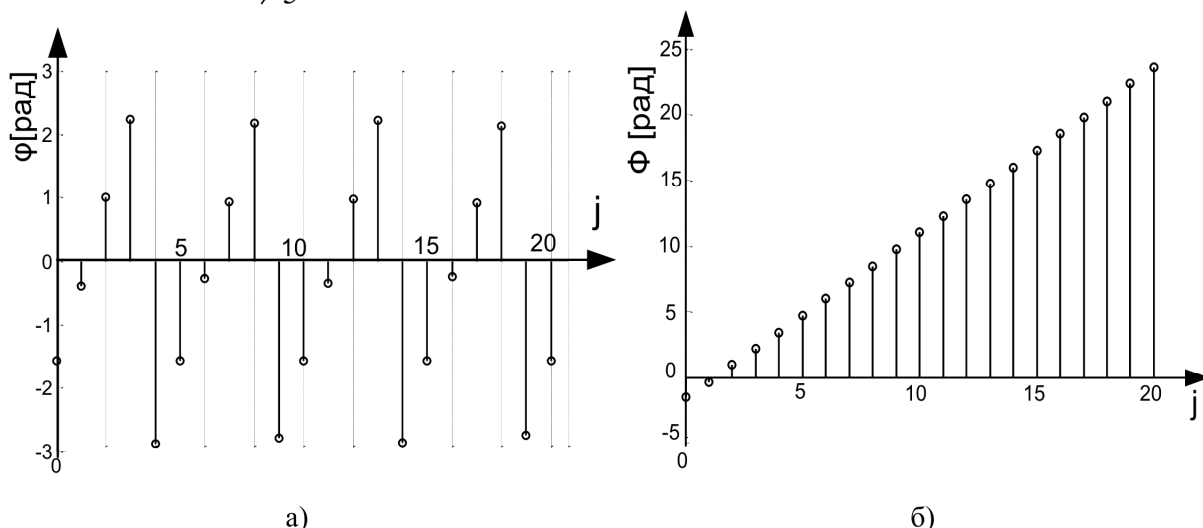


Рис.1 Розгортання ФХ гармонічного сигналу:
а) дробова частина ФХ; б) розгорнута ФХ

Оскільки операція розгортання фазової характеристики є завадоне захищеною, можливі грубі помилки при її виконанні за наявності завад в досліджуваному сигналі. Було виявлено, що при відношенні сигнал/завада більше ~ 10 процес розгортання фази відбувається без грубих

похибок, а за меншого відношення цей процес супроводжується виникненням спотворень, які з часом накопичуються. Для зменшення похибок необхідно застосовувати спеціальні методи попереднього статистичного згладжування результатів визначення дробової частини ФХ.

Фільтрація функції $\varphi[j]$ ковзним круговим середнім.

Відомо [1], що кругова медіана і кругова медіанна фільтрація є ефективним методом нелінійного опрацювання кутових даних. Відомо також, що вибіркоче кругове середнє має меншу дисперсію порівняно з вибірковою круговою медіаною і завжди визначається однозначно. Тому доцільно дослідити застосування цієї статистики для згладжування кутових даних. В практичному застосуванні така фільтрація реалізується через вибіркоче кругове середнє. Особливість фільтрації ковзним вибіркочним круговим середнім при її застосуванні до $\varphi[j]$ полягає у поєднанні наступних суперечливих властивостей: збереженні стрибків функції $\varphi[j]$ в момент переходу границь фазових циклів і суттєвому згладжуванні імпульсного шуму, який супроводжує процес визначення дробової частини ФХ і збільшується зі зменшенням η . На рис. 2 показано приклад реалізації $\varphi[j]$, отриманої для $\eta = 1$.

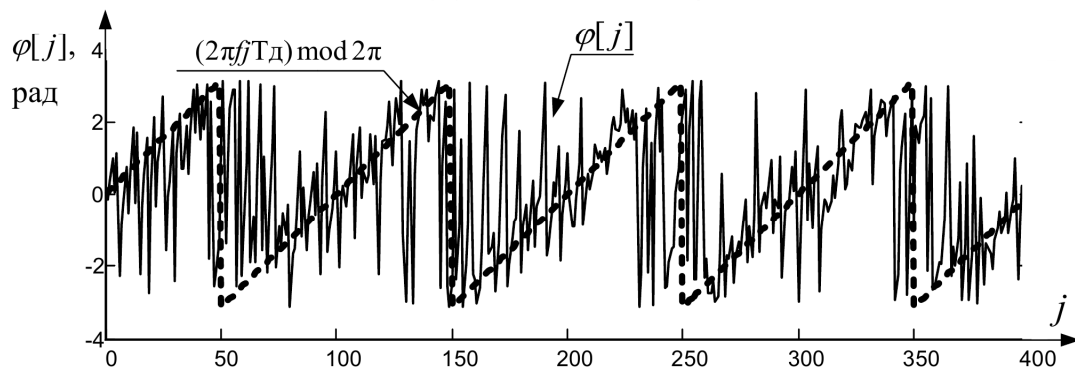


Рис.2 Приклад функції $\varphi[j]$ отриманої за співвідношення $\eta = 1$.

Сутність фільтрації даних круговим середнім полягає у ковзному переміщенні вікна прямокутної форми відносно кутових даних $\varphi[j]$ і заміні того значення даних, що відповідає центру апертури вікна, круговим середнім, утвореним відібраними апертурою значеннями послідовності $\varphi[j]$.

Позначивши оператор фільтрації як \mathbf{CMF}_W , де $W = 2k + 1$ – розмір апертури фільтра, реакцію фільтра визначають як:

$$\hat{\varphi}[j] = \mathbf{CMF}_W \{ \varphi[j], j = \overline{(j-k), (j+k)} \} = \mathbf{L}(c[j], s[j]),$$

$$c[j] = \sum_{q=j-k}^{j+k} \cos(\varphi[q]), \quad s[j] = \sum_{q=j-k}^{j+k} \sin(\varphi[q]). \quad (5)$$

Загальна структура процесу отримання ФХ зашумленого гармонічного сигналу

На рис. 3 наведено структурну схему, що пояснює процес отримання оцінки ФХ сигналу із застосування фільтрації кутових даних ковзним круговим середнім.

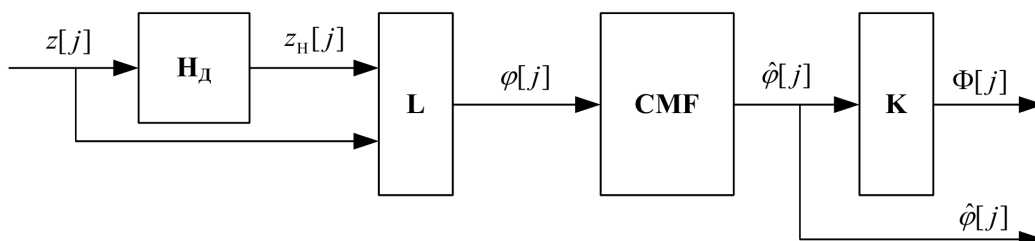


Рис.3 Загальна структурна схема отримання ФХ зашумленого гармонічного сигналу.

До її складу входять такі оператори:

- \mathbf{H}_d – дискретне перетворення Гільберта;

- **L** – визначення дробової частини ФХ;
- **СМФ** – фільтрація ковзним вибіркоким круговим середнім;
- **K** – розгортка дробової частини ФХ

Результати моделювання

Вихідні дані для формування досліджуваного сигналу:

- частота сигналу $f = 100$ Гц;
- амплітуда $U=1$;
- час спостереження $T_c=0,15$ с;
- період дискретизації $T_d=0.0001$ с;
- обсяг вибірки $J = 1500$;
- відношення сигнал/завада змінюється в інтервалі $[0.5;1.5]$ із кроком $\Delta\eta = 0.05$
- розмір вікна W змінюється в інтервалі $[0.02;0.8] \cdot (1/f)$ із кроком $\Delta W = 0.02 \cdot (1/f)$
- кількість відліків на період досліджуваного сигналу T/T_d змінюється в інтервалі значень $[40;160]$ із кроком $\Delta(T/T_d) = 5$

Методикою проведення експерименту передбачалося:

- 1) Формування адитивної суміші гармонічного сигналу і гауссівської завади .
- 2) Визначення дробової частини ФХ отриманої суміші.
- 3) Фільтрація дробової частини ФХ ковзним вибіркоким круговим середнім.
- 4) Розгортання дробової частини ФХ і отримання функції $\Phi[j]$, $j = \overline{1, J}$.
- 5) Визначення похибки розгортки ФХ сигналу як модуля різниці ФХ суміші і гармонічного сигналу $\Delta\Phi[j] = |\Phi[j] - 2\pi f T_d|$ та середньої квадратичної похибки

$$\sigma_\Phi = \sqrt{\frac{1}{J-1} \sum_{j=1}^J (\Delta\Phi[j] - \Delta\bar{\Phi})^2}, \quad \Delta\bar{\Phi} = \frac{1}{J} \sum_{j=1}^J \Delta\Phi[j].$$

- 6) Аналіз отриманих результатів і визначення залежності похибки розгортки ФХ від довжини вікна, співвідношення сигнал/завада та кількості відліків на період досліджуваного сигналу.

Комп'ютерний експеримент по визначенню ФХ зашумленого гармонічного сигналу було виконано в три етапи: дослідження залежності похибки розгортки від довжини вікна, від співвідношення сигнал/завада та від кількості відліків на період досліджуваного сигналу. Для підвищення статистичної значущості отриманих даних на кожному етапі експерименти було повторено по 100 разів, а результати усереднено.

На рис. 4 представлено графік залежності похибки розгортки ФХ від відносного розміру вікна, нормованого за тривалістю періода гармонічного сигналу.

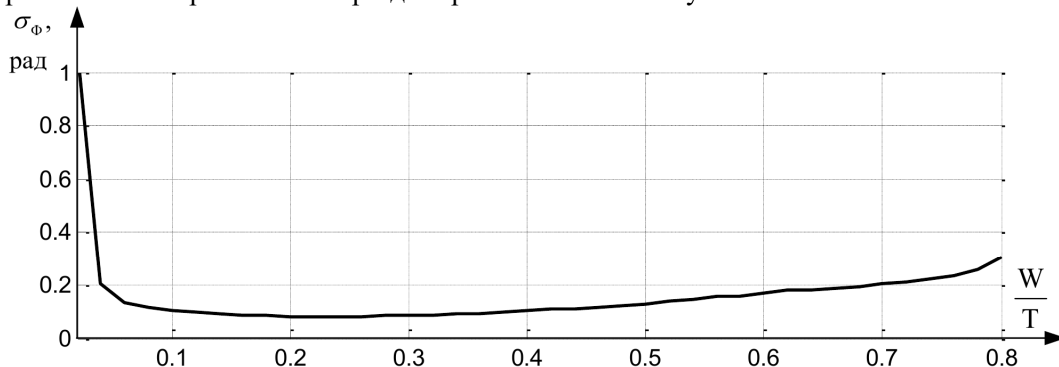


Рис.4 Залежність похибки розгортки ФХ від розміру вікна

Як показало дослідження, мінімум значення σ_Φ досягається при $W/T \approx 0,25$.

На рис. 5 представлено графік функції $\sigma_\Phi = f(\eta)$. Дослідивши залежність похибки розгортки ФХ від співвідношення сигнал/завада можна зробити висновок, що за допомогою фільтрації круговим вибіркоким середнім можна зменшити допустиме співвідношення сигнал/завада з 10 до $\approx 0,85$.

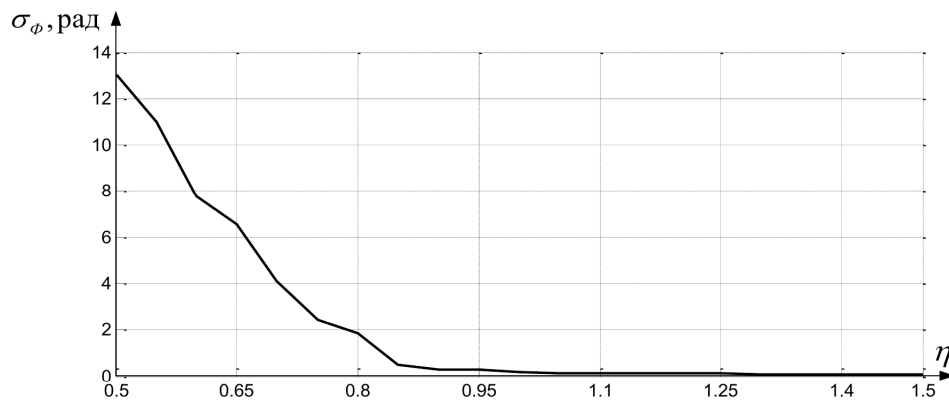


Рис. 5 Залежність похибки розгортки ФХ від співвідношення сигнал/завада для $W/T \approx 0,25$

Аналіз залежності σ_ϕ похибки від кількості відліків на період (рис. 6) свідчить про необхідність використання високої частоти дискретизації ($f_d > 80f$), що дозволяє уникати грубих похибок під час розгортання фазових характеристик зашумлених гармонічних сигналів.

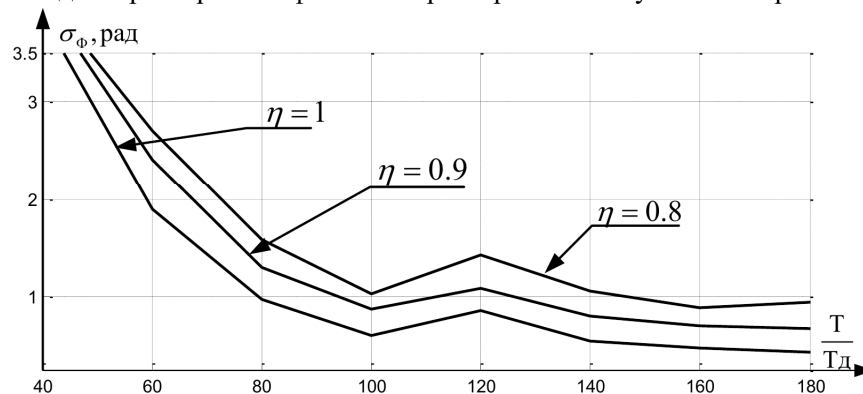


Рис. 6 Залежність похибки розгортки ФХ від кількості відліків на період при різних відношеннях сигнал/завада

Додатковими дослідженнями властивостей фільтрації ФХ сигналів вибіркоким круговим середнім встановлено, що цей спосіб статистичного згладжування недоцільно застосовувати для аналізу фазоманіпульованих сигналів.

Висновки

Фільтрація дробової частини фазової характеристики модульованих гармонічних сигналів, що спостерігається на фоні адитивної гауссівської завади, дозволяє пригнічити адитивну шумову складову і виконати розгортання фазової характеристики сигналів без грубих помилок при співвідношенні сигнал/завада не менше 0,85. Встановлено, що найбільш доцільно є використання фільтра кругового середнього з апертурою, яка відповідає чверті періода досліджуваного сигналу, та кількості відліків на період більшою за 80.

Практичну реалізацію фільтра кругового середнього виконано в середовищі LabView, в якому розроблено віртуальний прилад для опрацювання кругових даних, що підтримує інтерактивний режим роботи і дозволяє виконувати дослідження ефективності фільтрації вибіркоким круговим середнім для різних вхідних кутових даних та параметрів фільтра.

Список літературних джерел

1. Куц В.Ю. Аналіз застосування кругової медіанної фільтрації в задачах обробки сигналів.//К:- Збірник наукових праць ШМЕ НАН України, 2007, № 39.
2. Куц, Ю.В. Статистична фазометрія/ Куц, Ю.В., Щербак Л.М. – В.:Тернопіль, 2009, –383с.
3. Д. Бендат. Прикладной анализ случайных данных./ Д. Бендат., А.Пирсол.– М.: Мир, 1989, – 526 с.