

The results of experimental studies of the kinetics of ion exchange adsorption of lactic acid by zeolite in the apparatus of agitator type were presented. The existing theoretical apparatus for adsorption processes description was analyzed. Adsorption process mechanism and methods for identification of experimental data to theoretical models were developed. The results of experimental studies of the dynamic of ion exchange adsorption of lactic acid by zeolite in the periodic conditions were presented. The existing theoretical apparatus for adsorption processes description was analyzed. Adsorption process mechanism was investigated and methods for identification of experimental data to theoretical models were developed. Sorption capacity of zeolite to lactic acid in dynamic conditions was experimentally investigated. Adsorption capacity of adsorbents was set. The breakthrough curves of adsorption dynamics of α -hydroxypropionic acid by zeolite in the column-type apparatus were built. The interrelation the saturation degree of sorbent to Fourier number was determined. The results of experimental studies make it possible to determine the adsorption process of wastewater milk processing plants in the column-type apparatus.

Keywords: hydroxypropionic acid, adsorption kinetics, the mass-transfer coefficient.

УДК 621.317.73+612.014.422

ДОСЛІДЖЕННЯ ПОХИБОК ЧАСТОТНИХ АНАЛІЗАТОРІВ ІМПЕДАНСУ ПРЯМОЇ ДІЇ

Р.М. Івах¹, В.В. Хома², Ю.В. Хома³, І.Д. Питель⁴

Проаналізовано основні джерела похибок частотних аналізаторів імпедансу прямої дії, збудованих на базі активних вимірювальних перетворювачів. На основі проведених досліджень встановлено, що такі явища, як шуми та альязінг мають визначальний вплив на точність визначення синфазної та квадратурної складових вихідної напруги активного вимірювального перетворювача. Як показали дослідження, похибки від шумів та альязінгу мають адитивний характер, сумарний вплив яких не перевищує 0,2 % в кінці діапазону вимірювання і 2 % – на початку.

Ключові слова: імпеданс, вимірювання імпедансу, частотні аналізатори імпедансу, активні вимірювальні перетворювачі, альязінг, передавальна характеристика, похибки вимірювання імпедансу.

Вступ. Потреба вимірювання імпедансу виникає у різноманітних сферах, таких як: хімія, медицина, екологія, фізика напівпровідників тощо [1-6]. Як правило, реальні досліджувані об'єкти описуються багатоелементними схемами заміщення, тому їх параметри можна визначити шляхом опрацювання результатів вимірювання складових імпедансу на низці частот. Для побудови вимірювача імпедансу, який враховував би параметри реального досліджуваного об'єкта на кількох частотах використовують частотні аналізатори імпедансу (ЧАІ) прямої дії. Основними перевагами ЧАІ є: висока точність і швидкодія, простота реалізації. У [7] встановлено, що вирішальну роль в аналізі похибок вимірювальної схеми ЧАІ відіграватимуть три фактори: шуми, альязінг та інерційність операційного підсилювача (ОП).

¹ доц. Р.М. Івах, канд. техн. наук – НУ "Львівська політехніка";

² проф. В.В. Хома, д-р техн. наук – НУ "Львівська політехніка";

³ асист. Ю.В. Хома, канд. техн. наук – НУ "Львівська політехніка";

⁴ доц. І.Д. Питель, канд. техн. наук – НУ "Львівська політехніка"

Метою роботи є оцінка похибок визначення квадратурної та синфазної складових вимірюваної напруги, зумовлених альязінгом та шумами, а також підбір оптимальних з точки зору точності параметрів вимірювальної апаратури.

Методика досліджень. Для аналізу ефективності алгоритмів коригування варто попередньо встановити граничні значення похибок виділення синфазної та квадратурної складових вимірювального сигналу, тому спершу проведемо оцінку впливу похибок, зумовлених шумами і альязінгом.

Аналіз впливу шумів на точність квадратурного розділення. Щодо похибок шуму активного вимірювального перетворювача (АВП), то вони зумовлені в основному білим шумом, а, отже, породжені ним паразитні гармоніки можуть бути описані рівномірним законом розподілу в усьому спектрі вимірювального сигналу. Вихідний шум АВП за методом автобалансування можна обчислити за допомогою виразу [8, 9]

$$\sigma_{noise} = \sqrt{\sigma_{Ro}^2 + (\sigma_{до}^2 + \sigma_{оп}^2) \cdot \left(\frac{Z_X}{R_0}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{оп}}{\beta}\right)^2 \cdot \frac{A\beta}{1+A\beta}}, \quad (1)$$

де: σ_{Ro} – СКЗ шумів зразкового резистора; $\sigma_{до}$ – СКЗ шумів досліджуваного об'єкта; $\sigma_{оп}$ – СКЗ шумів джерела зондувального сигналу; $\sigma_{оп}$ – СКЗ власних шумів ОП; A – коефіцієнт підсилення ОП із розімкненим зворотним зв'язком; β – коефіцієнт зворотного зв'язку; Z_X – імітанс об'єкта дослідження.

На практиці домінуючу роль відіграватимуть вхідні шуми ОП і шуми зразкового резистора та досліджуваного об'єкта (ДО). Типові значення сумарної інтенсивності шумів АВП становлять порядку кількох мВ [10]. При цьому їх вплив буде послаблюватися завдяки фільтрувальним властивостям синхронного детектора (СД), який входить до складу ЧАІ. Цілком очевидно, що основними параметрами, які впливатимуть на ефективність такої фільтрації, будуть кількість вибірок СД та відношення сигнал/шум (SNR).

Для оцінювання впливу шумів на точність роботи вимірювального каналу дослідження проводили для двох випадків: за сталої інтенсивності шуму і різної кількості вибірок за час спостереження і навпаки. Щоб усунути можливий вплив інших джерел похибок усіма іншими параметрами вимірювального каналу нехтуємо. З метою одночасної оцінки похибок квадратурного розділення, як за активною, так і за реактивною складовими, вимірювальний сигнал буде зсунутий відносно ортогональних на 45°.

Спершу досліджували вплив кількості вибірок на період. Інтенсивність шуму при цьому задавалася рівною 60 dB. Усі дослідження проводили по 100 разів за незмінних параметрів вимірювального каналу з метою оцінки найгіршого можливого випадку. Результати досліджень представлено на рис. 1, з якого можна зробити висновок, що в міру зростання кількості вибірок СД вплив шумів різко зменшується і вже при 128 вибірках ($k=7$) його значення становить менше 0,1 %. В іншому випадку (рис. 2), дослідження проводили за сталої кількості вибірок на період (1024), за різних значень інтенсивності шуму відносно інтенсивності вимірювального сигналу. Як і в попередньому випадку, проводили багатократні моделювання (100 разів) і на графіках представлено граничні значення похибок.

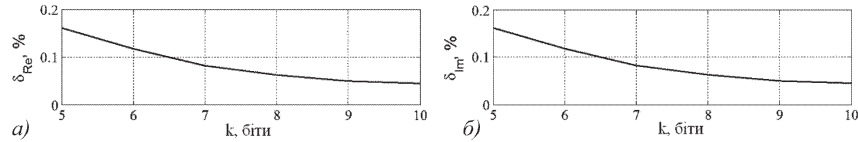


Рис. 1. Залежність похибок квадратного розділення від кількості вибірок для активної (а) та реактивної (б) складових

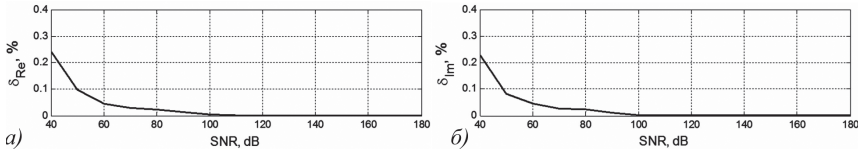


Рис. 2. Залежність похибок квадратного розділення від відношення сигнал/шум для активної (а) та реактивної (б) складових

Дослідження впливу форми передавальної характеристики АВП на похибки альязінгу. Важливим фактором, який має значний вплив на характер усіх джерел похибок, є передавальна характеристика АВП, оскільки, на загал, вона є частотою залежною, тобто змінює співвідношення між рівнем паразитних гармонік у різних частинах смуги вимірювального сигналу. Високочастотні паразитні гармоніки, зумовлені похибками інтерполяції, істотно перевищують за рівнем паразитні гармоніки, зумовлені іншими факторами, тому на них передавальна характеристика матиме найкритичніший вплив. Форма передавальної характеристики апріорі невідома, а, отже, її вплив у кожному конкретному випадку однозначно спрогнозувати неможливо. Ця ситуація додатково ускладнюється тим, що алгоритм СД не зможе жодним чином відфільтрувати чи послабити гармоніки від альязінгу.

Разом з тим, можна провести дослідження для кількох різних типових форм передавальної характеристики АВП і на основі цих досліджень визначити умови, за яких очікується найбільш негативний вплив на точність результатів вимірювання складових імпедансу. Такими характерними випадками можна вважати ввімкнення АВП у режимі інтегратора, диференціатора та інвертуючого повторювача. При цьому абсолютні значення імпедансу досліджуваного об'єкта не відіграватимуть істотної ролі.

Окрім форми передавальної характеристики, важливе значення відіграватиме також відношення частоти одиничного підсилення до частоти дискретизації, оскільки саме від цього співвідношення залежатиме, в якій частині смуги передавальної характеристики АВП опиняться основна і паразитні гармоніки, і відповідно як зміниться їх інтенсивність. Під час проведення досліджень усі параметри вимірювального каналу приймемо максимально близькими до ідеальних (максимальна розрядність за фазою та амплітудою, відсутність шумів і нелінійних спотворень), щоб уникнути можливого побічного впливу інших джерел похибок. Кількість вибірок за час спостереження для усіх випадків становить 1024.

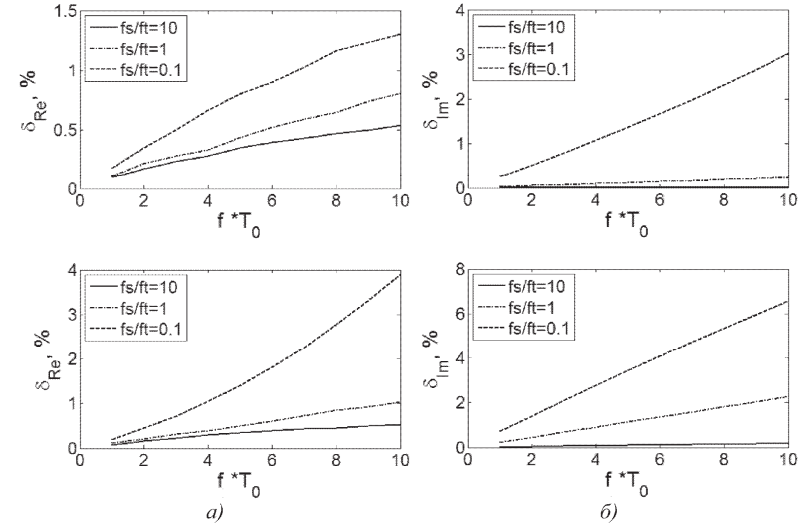


Рис. 3. Похибки вимірювання активної (а) та реактивної (б) складових за ввімкнення АВП у режимі диференціатора

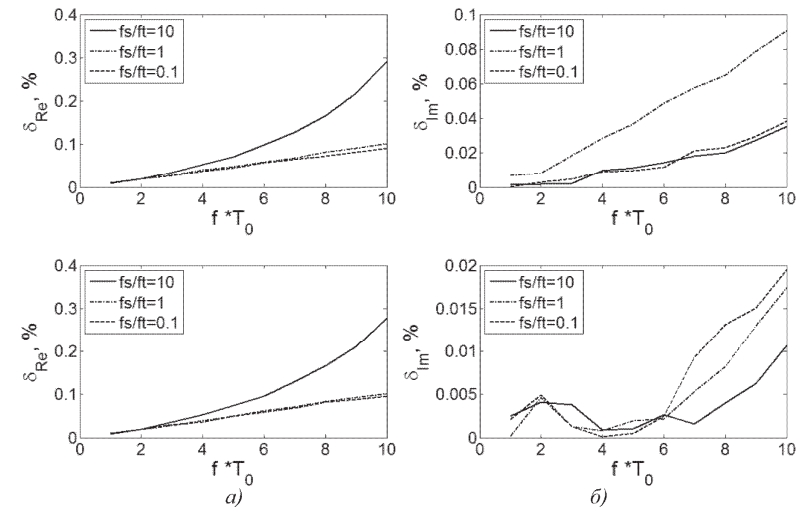


Рис. 4. Похибки вимірювання активної (а) та реактивної (б) складових за ввімкнення АВП у режимі інтегратора

Під час досліджень АВП у режимі інтегратора та диференціатора значення реактивної складової в десять разів перевищувало значення активної складової, а в режимі інвертуючого повторювача – навпаки. При цьому варто зазначити, що для всіх випадків значення домінуючої складової похибки приймалося рівним значенню похибки зразкового резистора. Щодо параметрів

зондувального сигналу, то дослідження проводили за різної кількості вибірок за період та за різних значень частоти дискретизації. Кількість періодів зондувального сигналу за час спостереження f^*T_0 змінювалася в діапазоні від 1 до 10 (від 1024 до 102 вибірок на період), а відношення частоти дискретизації до частоти одиничного підсилення ОП послідовно приймалися рівними 10; 1; 0,1. Результати моделювань наведено на рис. 3-5.

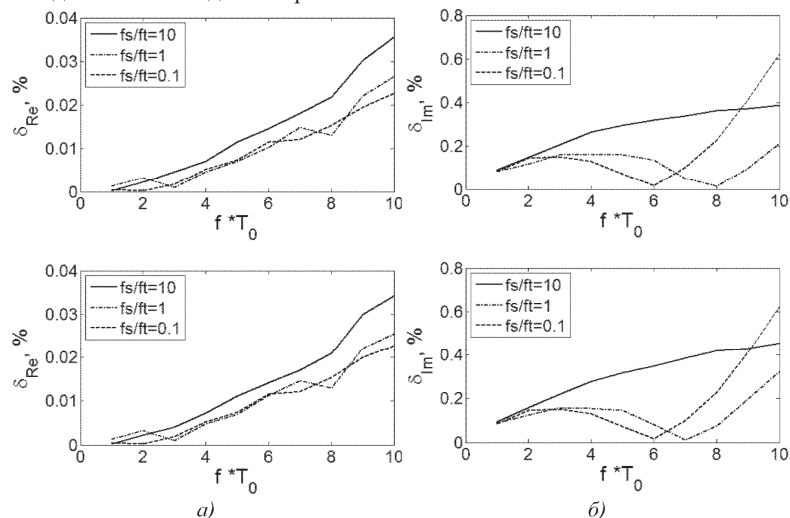


Рис. 5. Похибки вимірювання активної (а) та реактивної (б) складових за ввімкнення АВП у режимі інвертуючого повторювача

Висновки. Процес оцінювання метрологічних характеристик вимірювального каналу ЧАІ здійснено в два етапи: спочатку проводили оцінку похибок вимірювання складових імпедансу в каналі прямого перетворення, а потім досліджували вплив цих похибок на точність алгоритмів коригування.

На основі проведеного аналізу встановлено, що шуми та альязінг мають визначальний вплив на точність визначення синфазної та квадратурної складових вихідної напруги АВП. Як показали дослідження, похибки від шумів та альязінгу мають адитивний характер, сумарний вплив яких не перевищує 0,2 % в кінці діапазону вимірювання і 2 % – на початку. На основі проведених досліджень (див. рис. 1, 2) можна зробити такі висновки:

- вплив шумів АВП на точність вимірювання становить десяті-соті долі відсотка і однаково проявляється в активній і реактивній складових;
- похибки, зумовлені шумами, мають адитивний характер, а їх значення визначається передовсім співвідношенням сигнал/шум;
- алгоритм СД послаблює вплив шумів на етапі квадратурного розділення, при цьому його фільтрувальні властивості істотно залежать від кількості вибірок за час спостереження.

Аналізуючи рис. 3-5, можна зробити висновок, що похибки істотно залежать від режиму роботи АВП та частоти зондувального сигналу. Найбільш кри-

тичним з точки зору точності виявилось ввімкнення АВП у режимі диференціатора, що зумовлено підсиленням паразитних гармонік практично до рівня основної. Тому цей режим роботи є вкрай небажаним і його варто уникати.

У режимі інтегратора, навпаки, спостерігається послаблення паразитних гармонік, зумовлених альязінгом і їх вплив практично мало відчутний за домінуючою складовою (соті частки процента), і співвимірний із впливом шумів за супутньою складовою (десяті процента). Аналогічно поведінка похибок альязінгу спостерігається також і в режимі інвертуючого повторювача.

Для всіх трьох випадків справедливе твердження, що в міру росту відношення частоти зондувального сигналу до частоти дискретизації вплив похибок альязінгу відчутно зростає. Режим увімкнення ДО (імпеданс чи адмітанс) істотного впливу на характер і значення похибок альязінгу не має.

Отже, під час вимірювання об'єктів дослідження з емнісним характером доцільно АВП вмикати в режимі інтегратора і вимірювати імпеданс; коли ж об'єкт дослідження індуктивного характеру – вимірювати адмітанс. За таких умов вплив похибок альязінгу буде відносно незначний і точність визначення синфазної та квадратурної складових вимірювального сигналу визначається в основному шумами АВП.

Література

1. Grimnes S. Bioimpedance & Bioelectricity Basics / S. Grimnes, O.G. Martinsen // Second Edition: Academic Press, Elsevier, 2008. – 471 p.
2. Martinez F.S. Electrical Bioimpedance Cerebral Monitoring: Fundamental Steps towards Clinical Application: Thesis for the degree of doctor of philosophy / F.S. Martinez // Chalmers university of technology, Göteborg, Sweden, 2007. – 137 p.
3. Jaffrin M.Y. Body fluid volumes measurements by impedance: A review of bioimpedance spectroscopy (BIS) and bioimpedance analysis (BIA) methods / M.Y. Jaffrin, H. Morel // Medical Engineering & Physics 30 (2008). – Pp. 1257-1269.
4. Григорчак І.І. Імпедансна спектроскопія : навч. посіб. / І.І. Григорчак, Г.В. Понеділок. – Львів : Вид-во Львівської політехніки, 2011. – 352 с.
5. Barsoukov E. Impedance spectroscopy: theory, experiment and application / E. Barsoukov, J.R. Macdonald. – New York : Wiley, 2005. – 595 p.
6. Сафонов В.А. Імпедансная спектроскопия для изучения и мониторинга коррозионных явлений / В.А. Сафонов // Электрохимия : сб. науч. тр. – 1993. – Т. 29, № 1. – С. 152-160.
7. Хома Ю.В. Розроблення метрологічної моделі частотного аналізатора імпедансу прямої дії / Ю.В. Хома, Р.М. Івах, І.Д. Пытель // Науковий вісник НЛТУ України : зб. наук.-техн. праць. – Львів : РВВ НЛТУ України. – 2016. – Вип. 26.1. – С. 123-129.
8. Достал И. Операционные усилители : пер. с англ. / И. Достал. – М. : Изд-во "Мир", 1982. – 512 с.
9. Горлач А.А. Цифровая обработка сигналов измерительной технике / А.А. Горлач, К.П. Минц, В.Н. Чинков. – К. : Изд-во "Техніка", 1985. – 151 с.
10. Precision, 16 MHz, CBFET Op Amp. AD845 Data Sheet. [Electronic resource]. – Mode of access http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/AD845.pdf.

Надійшла до редакції 11.04.2016 р.

Ивах Р.М., Хома В.В., Хома Ю.В., Пытель И.Д. Исследование погрешностей частотных анализаторов импеданса прямого действия

Проанализированы основные источники погрешностей частотных анализаторов импеданса прямого действия, построенных на базе активных измерительных преобразователей. На основе проведенных исследований установлено, что такие явления, как шуми и альязінг имеют определяющее влияние на точности определения синфазной и квадратурной составляющих выходного напряжения активного измерительного преоб-

разователя. Как показали исследования, погрешности от шумов и альязинга имеют аддитивный характер, суммарное влияние которых не превышает 0,2 % в конце диапазона измерения и 2 % – в начале.

Ключевые слова: сопротивление, измерение импеданса, частотные анализаторы импеданса, активные измерительные преобразователи, альязинг, передаточная характеристика, погрешности измерения импеданса.

Ivakh R.V., Khoma V.V., Khoma Yu.V., Pytel I.D. The Research of the Errors of the Model of a Direct Measure Impedance Analyser

Our study describes and analyzes the main sources of the error of direct action impedance analyzers based on active measurement converters. As a results of the investigations performed, is that such phenomena as noise and aliasing have been found to be the most important. These factors make the biggest impact on the accuracy of the in-phase and quadrature components of the output voltage of the active converter. Studies have shown that errors caused by noise and aliasing have an additive nature, and their overall impact does not exceed 0.2 % at the end of the measurement range and 2 % – in the beginning.

Keywords: impedance measurement, impedance analyzers, active measurement convertors, alyazinh, transfers characteristic impedance measurement error.

4. ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ГАЛУЗІ

УДК 004.[056+3.75]:061.[68+69]

АНАЛІЗ НАЯВНИХ ПІДХОДІВ ДО ПРОТИДІЇ НЕСАНКЦІОНОВАНОМУ ДОСТУПУ В ІНФОРМАЦІЙНИХ МЕРЕЖАХ ДЕРЖАВИ НА ОСНОВІ ТЕОРІЇ ІГОР

В.Б. Дудикевич¹, І.Р. Опірський², В.А. Сусукайло³

Для вирішення проблеми кількісного оцінювання захищеності автоматизованих систем розроблено моделі процесів нападу та захисту інформації на основі математичного апарату теорії матричних ігор. Представлено математичний апарат та метод використання теорії ігор у процесі нападу на інформацію в інформаційних мережах держави. Представлено матричну гру, рішення якої дає змогу визначити найбільш небезпечний засіб реалізації несанкціонованого доступу (НСД), найефективніший засіб захисту інформації і розмір мінімального збитку, заподіяного використанням відповідної системи захисту інформації (СЗІ). Проведено аналіз застосування матричних ігор для моделювання процесів нападу на інформацію в інформаційних мережах держави.

Ключові слова: несанкціонований доступ, теорія ігор, комплексні системи захисту інформації, захист інформації, загрози, інформаційні мережі держави.

Вступ. На сьогодні створення системи протидії загрозам (СПЗ) неможливе без дослідження й узагальнення світового досвіду побудови інформаційно-телекомунікаційних систем (ІТС) та їх складових підсистем, ключовим елементом яких є зокрема СПЗ від НСД. Математичними забезпеченнями таких систем є моделі процесів нападу на інформацію та її захисту. Базисом таких моделей є математичний аналіз, який не в змозі забезпечити адекватність процесів, що моделюються реальними процесами, які відбуваються в ІТС. Основними причинами недосконалості математичного аналізу, що використовується нині, полягає в труднощах формалізації завдань показу та несанкціонованого (НСД) щодо інформації та її захисту, які пов'язані з процесами, що складно формалізуються і змінюють свої параметри протягом функціонування інформаційної мережі держави (ІМД), як складової ІТС. Внаслідок цього не виконується вимога до компенсаційного аналізу функціонування СПЗ, що призводить до зниження їх ефективності та ускладнення розроблення перспективних систем на їх базі.

Отже, питання про створення та подальшого розвитку підходу до моделювання процесів НСД щодо інформації у ІМД на базі сучасного математичного інструментарію є відкритим і актуальним та потребує детального наукового дослідження. Очевидно, розроблення принципово нових математичних моделей процесів НСД на інформацію природно повинна здійснюватися, виходячи із

¹ проф. В.Б. Дудикевич, д-р техн. наук – НУ "Львівська політехніка";

² ст. викл. І.Р. Опірський, канд. тех. наук – НУ "Львівська політехніка";

³ студ. В.А. Сусукайло – НУ "Львівська політехніка"