

УДК 621.317.73

## ПОЛІХРОМАТИЧНИЙ ВИМІРЮВАЧ ПАРАМЕТРІВ БАГАТОЕЛЕМЕНТНИХ ДВОПОЛЮСНИКІВ

© Руслан Проців, 2000

Національний університет "Львівська політехніка", кафедра "Автоматика та телемеханіка",  
вул. С. Бандери, 12, 79013, Львів, Україна

*Досліджено можливість підвищення швидкодії вимірювача параметрів багатоелементних двополюсників завдяки використанню поліхроматичного тестового сигналу. Описано структуру такого вимірювача та наведено результати моделювання.*

*Исследована возможность повышения быстродействия измерителя параметров многоэлементных двухполюсников путем использования полихроматического тестового сигнала. Описана структура такого измерителя и приведены результаты моделирования.*

*The speed increasing opportunity of meter of multiple-unit two-terminal devices is investigated by use of polychromatic test signal. The structure of such meter is described and the results of modeling are given.*

### Вступ

Аналізатори властивостей широкого класу об'єктів, які проявляються на змінному струмі, використовують для розв'язання багатьох наукових та виробничих задач. Вимірювальні перетворення, в основі яких лежать імпедансні методи, передбачають визначення параметрів еквівалентних схем заміщення багатьох досліджуваних об'єктів через вимірювання імітансу з наступним перерахунком у шукані параметри. При кількості елементів еквівалентних схем заміщення більше від двох постає необхідність вимірювання на ряді частот для однозначного визначення шуканих параметрів [1].

Велика різноманітність та зростаюча складність наукових та виробничих задач вимагають підвищення швидкодії вимірювальних операцій. Отже, для з'ясування можливості її забезпечення проаналізуємо деякі шляхи її досягнення.

### Формулювання задачі дослідження

Визначення параметрів багатоелементних двополюсників (ПБД) передбачає послідовне в часі вимірювання імітансу на певних частотах із наступним обчисленням шуканих параметрів за результатами вимірювань і відомими функціональними залежностями. При великій кількості елементів досліджуваного двополюсника значно зростають затрати часу на вимірювання через затримку, яка визначається тривалістю перехідних

процесів після кожного наступного підключення генератора тестового сигналу певної частоти. Наприклад, час одного вимірювання для LCR-вимірювача НР 4284А на частоті 1 кГц, становить залежно від режиму, від десятків до сотень мілісекунд [2]. Очевидно, що при зростанні кількості частот затрати часу на проведення вимірювань будуть значними.

Ідея скорочення часу вимірювання полягає у використанні як тестового поліхроматичного сигналу. Такий сигнал є сумою монохроматичних складових із частотами, на яких необхідно проводити вимірювальні перетворення.

### Зміст вимірювальних перетворень

Як базовий виберемо цифровий автокомпенсаційний вимірювач імітансу екстремального типу (ЦАВКІ ЕТ) [3]. Вибір ЦАВКІ ЕТ пояснюється тим, що у разі використання екстремального методу зрівноважувальні елементи реагують на модуль різниці напруги і нечутливі до паразитних фазових зсувів. На відміну від класичних систем екстремального регулювання, де неперервний пошук є необхідною умовою роботи, а значення екстремуму наперед невідоме, в ЦАВКІ ЕТ результат пошуку відомий: сигнал розбалансу повинен дорівнювати нулю. На практиці мінімальне значення напруги розбалансу обмежується чутливістю вимірювального каналу і числово дорівнює вазі молодшого розряду АЦП.

При подачі на досліджуваний двополюсник тестового сигналу

$$U(t) = \sum_{i=1}^m U_i \cos(2\pi f_i t) \quad (1)$$

сигнал розбалансу на частоті  $f_i$  матиме вигляд

$$\Delta U_i = B_{y_i} Y_{x_i} + B_{\Psi_i} \Psi_{k_i},$$

де  $Y_{x_i}$ ,  $\Psi_{k_i}$  – відповідно імітанс досліджуваного двополюсника та вектор компенсаційних значень;  $B_{y_i}$  і  $B_{\Psi_i}$  – коефіцієнти передачі на частоті  $f_i$  відповідно прямого та зворотного трактів. Оскільки вимірювальна схема є лінійною, то сигнал розбалансу можна записати у вигляді

$$\Delta U = \sum_{i=1}^m \Delta U_i$$

Процес зрівноважування вимірювальної схеми, тобто процес знаходження деякого компенсуючого вектора  $\Psi_{k_i} = Y_{x_i}$ ,  $i = 0, m$  здійснюється ітераційно

$$A_k^{n+1} = A_k^n + \lambda^n S^n, \quad (2)$$

де  $A_k = [\Psi_{k1}, \Psi_{k2}, \dots, \Psi_{km}]^T$  – вектор-стовпець компенсуючих значень;  $S^n$  – вектор, що визначає напрям руху з точки  $A_k^n$  і дорівнює антиградієнту

цільової функції у цій точці;  $\lambda^n$  – значення кроку в напрямі  $S^n$ .

Визначення  $S^n$  та  $\lambda^n$  передбачає знаходження модуля сигналу розбалансу. У разі використання поліхроматичного тестового сигналу поняття модуля такого сигналу втрачає зміст. Розв'язати цю проблему можна, виділяючи з комплексного інформативного сигналу окремі його складові.

На рис. 1. подано структуру поліхроматичного вимірювача параметрів багатоелементних двополюсників. Тестовий сигнал (1) формується генератором поліхроматичного тестового сигналу (ГПТС) і подається на досліджуваний двополюсник (ДД). У векторному перетворювачі (ПВВ) із коефіцієнтом перетворення  $W_i$  імітанс досліджуваного двополюсника, у представленні провідності, перетворюється на пропорційну комплексну напругу

$$U_x(t) = \sum_{i=1}^m W_i Y_{x_i} U_i \cos(2\pi f_i t),$$

де

$$W_i(f_i) = \frac{R_0}{1 + \left( \frac{1}{A_0} + j \frac{f_i}{f_i} \right) [1 + Y_x(f_i) R_0 + j 2\pi f_i C_k R_0 + R_0 / R_B]}$$

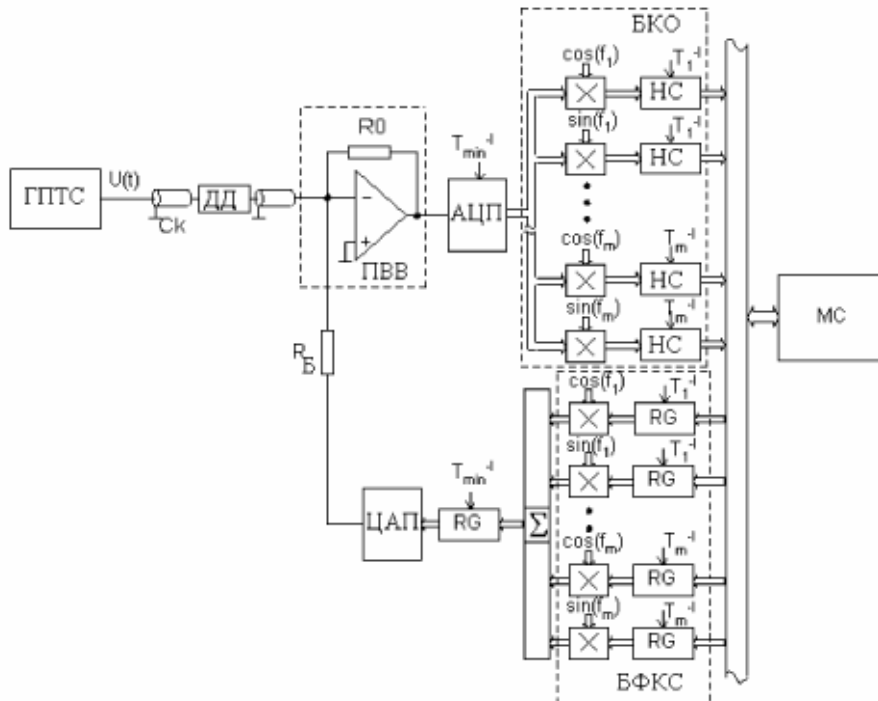


Рис. 1. Поліхроматичний вимірювач параметрів багатоелементних двополюсників

де  $A_0, f_i$  – відповідно коефіцієнт підсилення на постійному струмі та частота одиничного підсилення операційного підсилювача;  $f_i$  – частота  $i$ -ї складової тестового сигналу;  $C_k$  – ємність вхідного кабелю;  $R_B$  – баластний опір.

Миттєві значення вихідної напруги векторного перетворювача вимірюються АЦП із тактовою частотою  $T_{\min}^{-1}$ , яка вибирається для найвищої з частот тестового сигналу, і подаються в блок кореляційної обробки (БКО). Кореляційна обробка [4] здійснюється перемноженням комплексного сигналу на орти відповідних частот із наступним нагромадженням у нагромаджуючих суматорах (НС).

$$Y_i = \frac{1}{T_i} \sum_{k=1}^p U_x(kT_{\min})^* \cos\left(k \frac{2\pi}{p} + \beta\right),$$

де  $k$  – номер такту в межах періоду;  $p$  – максимальна кількість тактів у періоді орта, який формується рівномірно в часі сходинковою апроксимацією;  $\beta = 0$  відповідає виділенню синфазної, а

$$\beta = \frac{\pi}{2} \text{ – кватратурної складової.}$$

Різниця між значеннями частот у спектрі поліхроматичного сигналу призведе до послідовного в часі виділення складових досліджуваного імітансу, причому першими будуть виділені складові сигналу найвищої частоти. З цього випливає необхідність послідовної подачі в МС значень вимірюваних складових та наступної їх обробки в міру завершення їх визначення в НС БКО.

Виділені активна та реактивна складові імітансу досліджуваного двополісника надходять через шину даних у мікроконтролер (МС), де відбувається пошук наступних значень компенсуючого сигналу за алгоритмом (2). Одержані наближення подаються з МС до блока формування компенсаційного сигналу (БФКС) у складі регістрів та матричних помножувачів. В результаті перемноження ортів певних частот на відповідні їм складові компенсуючої величини з наступним підсумовуванням та подачею на вхід ЦАП у колі зворотного зв'язку формується компенсаційний сигнал, який надходить на вхід ПВВ.

Ітераційний процес продовжується до повного зрівноваження вимірювальної схеми. Термін одного вимірювання визначається значенням найменшої з

частот у поліхроматичному тестовому сигналі, тривалістю перехідних процесів після комутації та затримкою на цифрову обробку і дорівнює

$$T_B = 3n \left( t_{\text{ПП}} + \frac{1}{f_{\min}} + t_{\text{ЦО}} \right), \quad (3)$$

де  $n$  – кількість ітерацій, що необхідні для зрівноваження вимірювальної схеми;  $f_{\min}$  – нижня межа частотного діапазону тестового сигналу;  $t_{\text{ЦО}}$  – затримка на обробку вимірюваних значень, яка включає кореляційну обробку, пошук нових наближень за алгоритмом (2) та виставлення їхніх кодів на вхід ЦАП. Як видно з (3), час вимірювання залежить не тільки від кількості ітерацій, а й від тривалості самої ітерації, а отже, для підвищення швидкодії вимірювань доцільно зменшувати час перехідних процесів разом із пошуком найбільш ефективних алгоритмів цифрової обробки.

### Результати моделювання

Моделювання частотного аналізатора проводили в програмному середовищі MapleV4.0. Як приклад узято найбільш розповсюджену схему заміщення резистивно-ємнісного давача вологості (рис. 2), який використовується для вимірювання вологості матеріалів у змінному полі, з параметрами  $C_x = 100$  мкФ;  $C_0 = 10$  мкФ;  $R_x = 100$  Ом.

У цій схемі ємність  $C_x$  залежить від діелектричної проникності матеріалу в давачі, опір  $R_x$  характеризує діелектричні втрати в давачі, ємність  $C_0$  визначається конструкцією та типом давача і може являти собою ємність незаповненого давача, визначатися ізоляцією електродів чи являти собою поляризаційну ємність. Корисну інформацію несуть параметри  $R_x$  і  $C_x$ .

Вимірювання проводились на двох частотах  $f_1 = 10$  кГц,  $f_2 = 100$  кГц. Чутливість вимірювальної схеми обмежувалась розрядністю використаного 10-р. АЦП. Значення  $p$  для кореляційного виділення вибирали  $p=4$ .

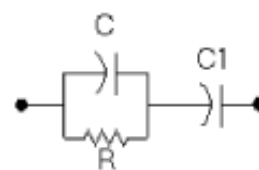


Рис. 2. Еквівалентна схема заміщення резистивно-ємнісного давача вологості

В результаті моделювання одержано значення ПБД із такими відносними похибками  $\delta C_x = -0.051$  %,  $\delta R_x = -0.203$  %,  $\delta C_0 = -0.685$  %. Значення відносних похибок вимірювання імітансу були такими  $\delta Y_{a1} = 0.001$  %,  $\delta Y_{p1} = 0.032$  %,  $\delta Y_{a2} = 0.001$  %,  $\delta Y_{p2} = 0.001$  %.

Для порівняння при тих самих значеннях параметрів резистивно-ємнісного давача проведено моделювання вимірювального процесу з такими значеннями частот складових тестового сигналу  $f_1 = 10$  кГц,  $f_2 = 500$  кГц, і одержано такі значення відносних похибок визначення ПБД  $\delta C_x = -0.314$  %,  $\delta R_x = -3.332$  %,  $\delta C_0 = -0.734$  %.

Оскільки на точність визначення шуканих параметрів суттєво впливають значення частот, на яких проводяться вимірювання, то для підвищення точності визначення ПБД, поряд із підвищенням точності вимірювальної схеми, необхідне попереднє визначення оптимальних частот, на яких слід проводити вимірювальні перетворення [1]. Для забезпечення цих вимог необхідна розробка достатньо точних вимірювачів ПБД в неперервному діапазоні частот [2]. Такий підхід дозволяє визначати параметри досліджуваного об'єкта в широких межах, але для визначення оптимальних частот необхідно звертатись і до об'єкта, і до МС. Часто в реальних системах параметри різних давачів з багатоелементною схемою заміщення змі-

нюються в доволі вузьких межах. В таких випадках бажано наперед визначити значення оптимальних частот для того, щоб при проектуванні вимірювальної системи передбачити живлення давачів відповідними сигналами.

### Висновки

При визначенні параметрів багатоелементних двополосників необхідне проведення вимірювальних перетворень на ряді частот для однозначного визначення шуканих параметрів.

Використання в якості тестового поліхроматичного сигналу, з його наступною кореляційною обробкою, підвищує швидкодію вимірювачів.

Одержані в результаті моделювання значення похибок визначення параметрів багатоелементного двополосника підтверджують можливість ефективного використання таких вимірювачів.

Похибка визначення шуканих параметрів залежить не тільки від похибки вимірювання імітансу, а й від значень частот, на яких проводяться вимірювання.

1. Кнеллер В. Ю., Боровских Л. П. *Определение параметров многоэлементных двухполосников*. М., 1986.
2. *Test and measurement // Catalogue Hewlett Packard*, 1999.
3. Проців Р. О. *Цифровий автокомпенсаційний вимірювач складових імітансу екстремального типу // Вісник ДУ "Львівська політехніка"*. 1998. № 366. С. 154-159.
4. Горлач А. А., Минц М. Я., Чинков В. Н. *Цифровая обработка сигналов в измерительной технике*. К., 1985.

УДК 621.317.7

## ЗАВАДОСТІЙКІСТЬ ЦИФРОВИХ ВОЛЬТМЕТРІВ З КОМУТАЦІЙНИМ ІНВЕРТУВАННЯМ

© Микола Грибок, Степан Романюк, 2000

Національний університет "Львівська політехніка", кафедра "Інформаційно-вимірювальна техніка",  
вул. С. Бандери, 12, 79013, Львів, Україна

*Зроблено ґрунтовний аналіз завадостійкості цифрових вольтметрів з комутаційним інвертуванням.*

*Проанализирована помехоустойчивость цифровых вольтметров с коммутационным инвертированием.*

*The digital voltmeters with inverse commutation noise rejection analysis was made in this paper.*

Питанням завадостійкості цифрових вимірювачів електричних величин в літературі, зокрема в [1-4], приділено багато уваги, але при використанні методу комутаційного інвертування [5] виникають

певні специфічні особливості, аналіз деяких з них подано у цій статті.

У загальному випадку блок-схему приладу можна представити, як показано на рис. 1