

УДК 531

DOI: 10.15587/2312-8372.2019.169340

РОЗРОБКА МЕТОДУ ОПРАЦЮВАННЯ СИГНАЛУ ДАТЧИКА

Квасніков В. П., Передерко А. Л.

1. Вступ

Сучасний розвиток техніки для забезпечення достовірного контролю і управління в технічних системах вимагає наявності високоточних вимірювальних засобів. Вони дозволяють вимірювати технологічні параметри в процесі експлуатації та оптимізувати процеси створення нових зразків на етапі проектування і проведення випробувань. У широкому спектрі вимірюваних в технічних системах механічних величин особливе місце займають вимірювання таких параметрів, як прискорення, швидкість, переміщення, вібрації. При вимірюваннях, прямих або непрямих, основною ланкою вимірювальної системи є первинний перетворювач (датчик). Це аналоговий прилад або пристрій, побудований на основі реалізації певних фізичних властивостей і здатний перетворювати вплив, який на нього чинить середовище, або об'єкт вимірювання в прийнятний для відображення, обробки та реєстрації вид. В процесі проведення вимірювання, в умовах виробництва, на первинні перетворювачі, окрім вимірюваного параметру, діють безліч дестабілізуючих факторів, таких як сторонні вібрації, швидкі зміни температури середовища, електричні завади та електромагнітні поля [1]. В комплексі перелічені фактори впливають на нормальну роботу датчиків: зменшується точність та достовірність вимірювань. Щоб запобігти вказаним впливам необхідно застосовувати додаткові схемні або алгоритмічні рішення при обробці сигналу вимірювань. В роботах багатьох авторів піднімалося питання щодо дрейфу нуля п'єзоелектриків під впливом температури [2–4]. Наявність цього явища підтверджено автором праці [5], де експериментально доведена залежність п'єзомодулів від температури. Також такої думки притримувались автори досліджень [6–8], які пропонували свої технічні рішення для нівелювання вказаного впливу на результати вимірювань. Отже, напрямок досліджень, викладений в даній роботі, є актуальним на сьогодні.

Таким чином, *об'єктом дослідження* є процес обробки сигналу первинного перетворювача певним методом. *А метою досліджень* є зменшення впливу температурних флуктуацій на достовірність результатів вимірювань.

2. Методика проведення досліджень

При проведенні досліджень застосовувалась:

- теорія обробки сигналів та теорія вимірювань, які використовувалися для аналізу та зменшення похибок;
- теорія дослідження вібраційних і ударних сигналів, яка базується на використанні методів спектрального та статистичного аналізу часових рядів в застосуванні до сигналів п'єзоелектричних датчиків прискорення.

3. Результати досліджень та обговорення

Багатьом аналоговим первинним перетворювачам притаманне таке явище, як дрейф нуля – флуктуація рівня постійної складової в комплексному корисному сигналі в процесі вимірювання. Ці коливання викликані факторами впливу середовища на умови проведення вимірювань та власне фізичними властивостями, притаманними самим первинним перетворювачам. Вони не несуть в собі ніякої інформативної складової і вносять похибку при проведенні вимірювання. Наприклад, на п'єзоелемент, працюючий на первинному п'єзоєфекті в якості датчика п'єзоелектричного акселерометра, при проведенні вимірювання діє такий зовнішній фактор середовища, як температура, значення котрої швидко міняються в часі в широких межах. Ці зміни температури приводять до появи на обкладках п'єзоелемента додаткових зарядів:

$$q = d_{33} \cdot F, \quad (1)$$

де q – заряд на електродах п'єзоелемента; d_{33} – п'єзомодуль (поздовжній щодо осі залишкової поляризації Z); F – зовнішня сила, яка діє на акселерометр.

На рис. 1 приведена температурна залежність п'єзомодуля d_{33} від температури [5] в діапазоні температур від 20 °С до 250 °С (верхній діапазон – це половина значення температури Кюрі для досліджуваного п'єзокерамічного матеріалу) для п'єзокераміки ЦТС-196 (АТ «Елпа», Росія).

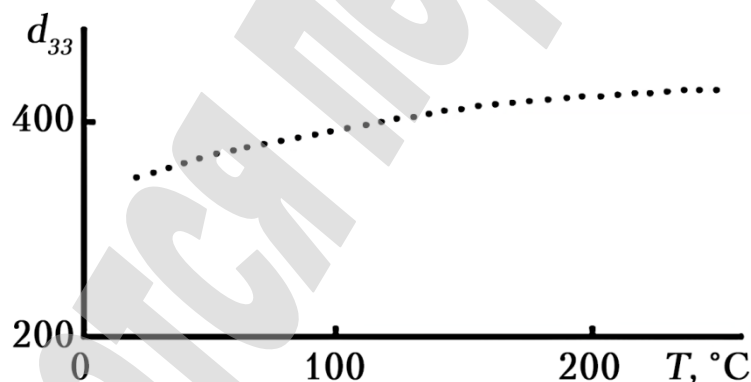


Рис. 1. Температурна залежність п'єзомодуля d_{33} п'єзокераміки ЦТС-196

З графіка на рис. 1 видно, що поздовжній щодо осі залишкової поляризації п'єзомодуль d_{33} залежить від температури [9, 10] і ця залежність має нелінійний характер.

В даній роботі розглянуто метод виділення постійної складової з комплексного сигналу, який полягає в тому, що комплексний сигнал затримується паралельним каналом по фазі на половину періоду, а потім на суматорі складається з сигналом основного каналу. Таким чином, змінні складові комплексного сигналу у всьому динамічному діапазоні частотного сигналу, що приходять на суматор в протифазі, взаємно віднімаються. Структурна схема реалізації вказаного методу приведена на рис. 2.

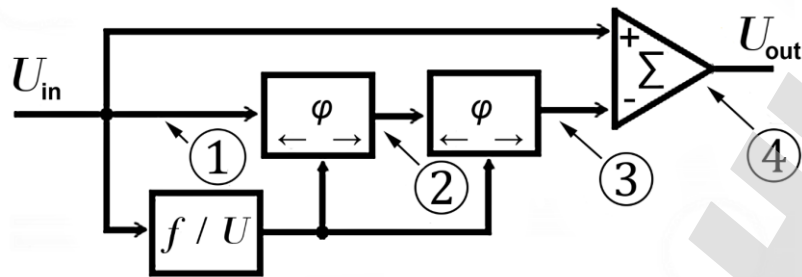


Рис. 2. Структурна схема виділення постійної складової з комплексного сигналу первинного перетворювача: U_{in} – вхідний комплексний вимірювальний сигнал; U_{out} – виділена постійна складова комплексного сигналу вимірювання; φ – фазовий фільтр; Σ – суматор; 1, 2, 3, 4 – точки вимірювання осцилограми; f/U – перетворювач частоти

В паралельному каналі для затримки сигналів застосовані фазові фільтри першого порядку. Умовою безпомилкової передачі сигналів є постійний коефіцієнт передачі. У фазових фільтрах ця умова виконується повністю. Друга умова полягає в тому, щоб груповий час затримки фільтра для всього динамічного діапазону частот первинного перетворювача був постійним.

Фазовий фільтр першого порядку, представлений на рис. 3, може застосовуватися в якості широкосмугового затримувача фаз. Передатна функція фільтру першого порядку згідно рис. 3 має вигляд:

$$K(p) = \frac{1 - pR_2C}{1 + pR_2C}, \quad (2)$$

де R_2 , C – компоненти фазового фільтра першого порядку.

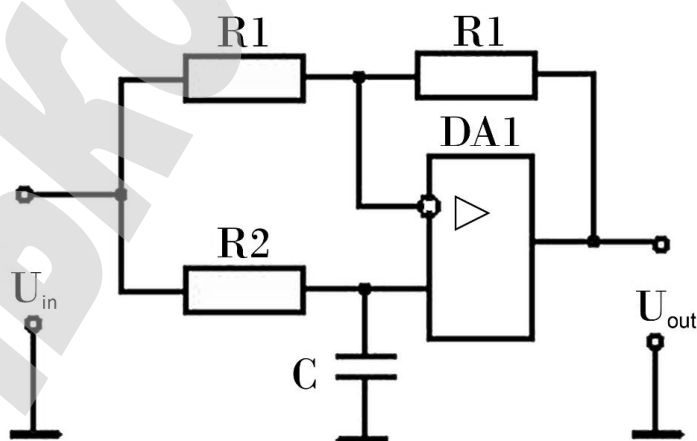


Рис. 3. Фазовий фільтр першого порядку:
 R_1 , R_2 – опір; C – ємність, DA1 – операційний підсилювач

Особливістю фазового фільтру першого порядку є те, що, змінюючи величину опору резистора R_2 , можна встановлювати фазовий зсув в діапазоні від 0 до -180° , не змінюючи при цьому амплітуду вихідного сигналу. Величина кута фазового зсуву α в градусах для схеми фазового фільтру на рис. 4 розраховується за формулою:

$$\alpha = \frac{-2 \operatorname{arctg}(\omega R_2 C) 180^\circ}{\pi}, \quad (3)$$

де $\omega = 2\pi f$.

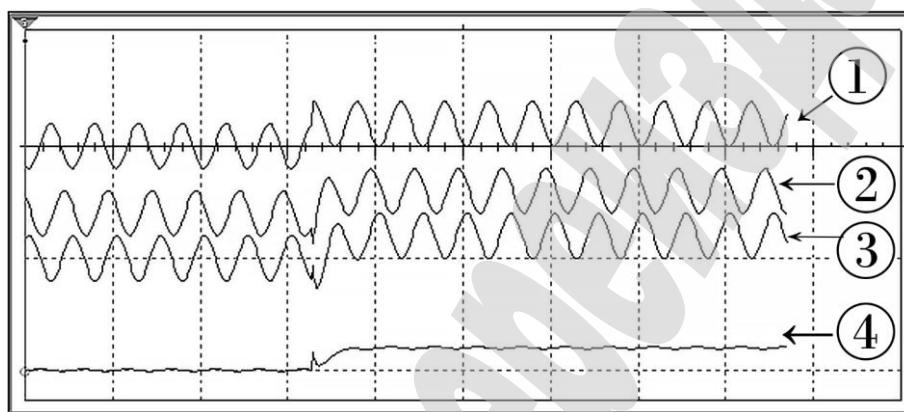


Рис. 4. Осцилограми роботи схеми виділення постійної складової з комплексного сигналу первинного перетворювача. Осцилограми 1, 2, 3, 4 відповідають точкам вимірювання осцилограм на блок-схемі рис. 2

Для забезпечення регулювання затримки фази в широкому діапазоні застосовані два послідовно з'єднаних фазових детектора, номінали яких налаштовані на затримку фази сигналу -90° кожен.

В результаті два фазових фільтри в сумі затримують сигнал на 180° , а на суматорі з коефіцієнтом передачі $0,5$ (рис. 2) відбувається складання сигналів. У підсумку на виході отримуємо постійну складову з коефіцієнтом передачі рівним одиниці. Робота схеми виділення постійної складової з комплексного сигналу первинного перетворювача представлена на осцилограмах рис. 4.

З формули (3) видно, що затримка фази також залежить від частоти сигналу, який надходить на вхід фазового фільтру. Тому для забезпечення стабільної компенсації постійної складової сигналу у всьому динамічному діапазоні первинного перетворювача, а це діапазони частот, здебільшого, від $3-10$ Гц до $10-15$ кГц, необхідно змінювати постійну часу ланцюга затримки фазового фільтру. Цей ланцюг реалізований на елементах R_2 і C (схема на рис. 4). Змінювати постійну часу технічно зручніше, змінюючи опір резистора R при $C = \text{const}$. Робота схеми виділення постійної складової з комплексного сигналу первинного перетворювача представлена на осцилограмах рис. 4.

Залежність величини опору R_2 фазового фільтру від частоти сигналу f в динамічному діапазоні $10 \dots 10000$ Гц для забезпечення затримки на -90° у всьому діапазоні приведена на рис. 5.

Для забезпечення регулювання величини опору R в межах зазначеного діапазону в схему фазового фільтра використовується перетворювач частота-напруга f/U (рис. 2). Таким чином, при збільшенні частоти сигналу напруга U на виході перетворювача частота-напруга збільшується. Це викликає пропорційне зменшення опору електронного ключ, підключеного паралельно резистору $R2$ і, як наслідок, зменшує постійну часу ланцюга фазового фільтра.

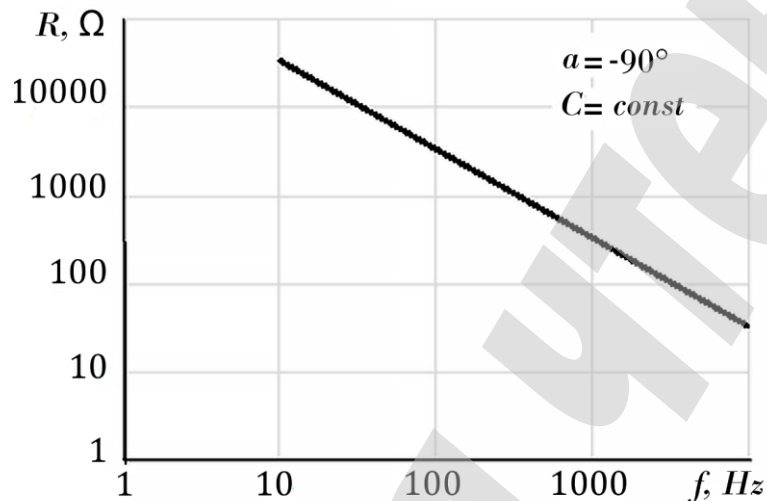


Рис. 5. Залежність значення $R2$ від частоти f

Як видно з рис. 5, залежність значення $R2$ від частоти f є лінійною у всьому визначеному діапазоні. Тобто побудова схеми керування постійною часу ланцюга $R2C$ (рис. 4) сигналом з перетворювача частота-напруга f/U (рис. 2) з точки зору технічної реалізації не має ускладнень.

4. Висновки

Виділену у роботі постійну складову комплексного сигналу можна класифікувати як адитивну похибку вимірювання, викликану зовнішнім температурним впливом. В подальшому дану постійну складову можливо використовувати для корекції як самого первинного перетворювача, так і для корекції результатів вимірювань взагалі. Корекцію первинного перетворювача можливо здійснити шляхом впливу на його передатну функцію.

Так як інформативність первинного перетворювача характеризується динамічним і частотним діапазонами, запропонований в даній роботі метод корекції постійної складової є перспективним. Він дозволяє підвищити точність вимірювань і розширити сферу застосування первинних перетворювачів щодо вимог до температури середовища та інших впливів, які приводять до змін постійної складової без впливу інформаційного параметру при проведенні вимірювань.

Література

1. Датчики / Шарапов В. М. и др.; под ред. Шарапова В. М. Москва, 2012. 624 с.
2. Проектирование датчиков для измерения механических величин / Осадчий Е. П. и др.; под ред. Осадчего Е. П. Москва, 1979. 480 с.

3. Second Ifac Workshop on Adaptive Systems in Control and Signal Processing 1986 // Adaptive Systems in Control and Signal Processing 1986. Elsevier, 1987. 454 p.
4. Dorf R. C., Bishop R. H. Modern Control Systems (13th Edition). Pearson, 2016. 1032 p.
5. Антоненко А. М., Кудзин А. Ю., Гавшин М. Г. Влияние доменной структуры на электромеханические свойства сегнетокерамики ЦТС и МНВТ // Физика твердого тела. 1997. Т. 39, № 5. С. 920–921.
6. Пьезоэлектрический датчик удара: пат. RU 2533539, МПК G01P 15/09, H01L41/083; заявл. 27.05.2013; Опубликовано 20.11.2014. 9 с.
7. Kleckers T. Force sensors for strain gauge and piezoelectric crystal-based mechatronic systems- a comparison // 2012 IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference Proceedings. IEEE, 2012. doi: <https://doi.org/10.1109/i2mtc.2012.6229515>
8. Механический фильтр для пьезоакселерометра: пат. RU 2410704, МПК G01P 15/09; заявл. 02.02.2009; Опубликовано 27.01.2011. 12 с.
9. Пьезоэлектрическое приборостроение / Гориш А. В. и др.; под ред. Гориш А. В. Москва, 1999. 367 с.
10. Агейкин Д. И., Костина Е. Н., Кузнецов Н. Н. Датчики контроля и регулирования. Москва, 1965. 914 с.