

Одержані у результаті аналізу оцінки похибок та граничних можливостей щодо максимальної вимірюваної швидкості, а також наведені графіки можуть бути використані під час проектування телевізійних оптичних сканувальних мікроскопів. Доцільними напрямками подальших досліджень можуть бути врахування нерівномірності розподілу інтенсивності у сканувальному елементі та оцінка можливостей кадрового методу вимірювання.

1. Грицьків З.Д., Матієшин Ю.М. Визначення швидкості мікрооб'єкта телевізійним оптичним сканувальним мікроскопом в однорядковому режимі // "Eastern European Journal of Enterprise Technologies". – Харків, 2006. – № 4/2 (22). – С. 27–32. 2. Матієшин Ю.М. Визначення швидкості руху динамічного мікрооб'єкта у телевізійній сканувальній мікроскопії // Вісник Національного університету "Львівська політехніка" "Радіоелектроніка та телекомунікації". – 2006. – №557. – С. 48–56. 3. Быков Р.Е., Гуревич С.Б. Анализ и обработка цветных и объемных изображений. – М.: Радио и связь, 1984. – 248 с. 4. Физиология человека: В 3-х т. Т. 2 / Пер. с англ.; Под ред. Р. Шмидта и Г. Тевса. – М.: Мир, 1996. – 641 с. 5. Кривошеев М.И. Основы телевизионных измерений. – М.: Связь, 1964. – 592 с. 6. Гнатек Ю.Р. Справочник по цифро-аналоговым и аналого-цифровым преобразователям / Пер. с англ. – М.: Радио и связь, 1982. – 552 с.

УДК 004.942

Р.-А.Д. Іванців, Р.В. Загарюк, В.М. Теслюк
Національний університет "Львівська політехніка"
кафедра систем автоматизованого проектування

СХЕМА ПЕРЕТВОРЕННЯ СИГНАЛІВ АКСЕЛЕРОМЕТРА ЄМНІСНОГО ТИПУ

© Іванців Р.-А.Д., Теслюк В.М., Загарюк Р.В., 2007

Розроблено схему перетворення сигналів акселерометра ємнісного типу. Описано принцип роботи схеми та її основні елементи. Розроблено математичну модель перетворення сигналу. Наведено результати перетворення та зроблено висновки щодо наведеної схеми.

Signal-conditioning circuit for capacitive accelerometer is designed. The main principles and elements of the circuit are described. Model of capacitive accelerometer is designed. Mathematical model of the Signal-conditioning circuit is developed. Work results are presented and drawn conclusions about current circuit.

Вступ. Акселерометр – це пристрій, що вимірює прискорення або ступінь зміни швидкості щодо часу [1–5]. Акселерометри бувають різних форм та розмірів. За останні роки розвиток передових технологій мікрооброблення дав змогу інтегрувати ці пристрої в мікросистеми. Фактором, що стимулював розвиток таких інтегральних давачів, є зростаюча потреба в інформації в різноманітних керувальних технічних системах. Сьогодні є багато напівпровідникових компаній, що виробляють акселерометри, які не тільки вимірюють лінійне прискорення, але й інші параметри, такі як кутова швидкість, вібрації і навіть ступінь нахилу.

В основу інтегрального акселерометра як мікроелектромеханічної системи (МЕМС) [6–9] покладено концепцію "від давача до системи". Одним із ключових питань цієї концепції є перетворення сигналу від давача прискорення до елемента схеми у форму, прийнятну для оброблення керуючим елементом схеми.

У цій роботі запропоновано схему перетворення амплітуди вібрацій, що виконує інтегральний акселерометр ємнісного типу [10] в рівень напруги. Ця схема формує вихідну напругу, яка змінюється пропорційно до величини прискорення прикладеної вздовж осі давача.

Конструкція акселерометра. Як давач вхідного сигналу вибрано акселерометр зустрічно-штирьової конструкції [11] з балками, приєднаними до маси, які являють собою обкладки конденсаторів. Акселерометр знаходиться на монокристалічній кремнієвій підкладці, до якої він кріпиться чотирма анкерними болтами. На рис. 1 зображено схематичне подання конструкції акселерометра. Необхідно зауважити, що кожна фіксована обкладка формує з рухливими пластинами конденсатора схему давача прискорення. Обкладка конденсатора складається з двох підобкладок, які мають активні поверхні на боках, протилежних до центра конденсатора.

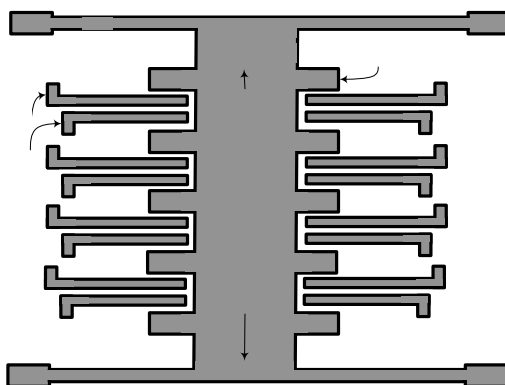


Рис. 1. Конструкція акселерометра зустрічно-штирьового типу

Підключення схеми. До конденсатора підведено напругу, яка створює активний заряд між обкладками конденсатора. За рахунок коливання ємності на конденсаторах формується сигнал (рис. 2).

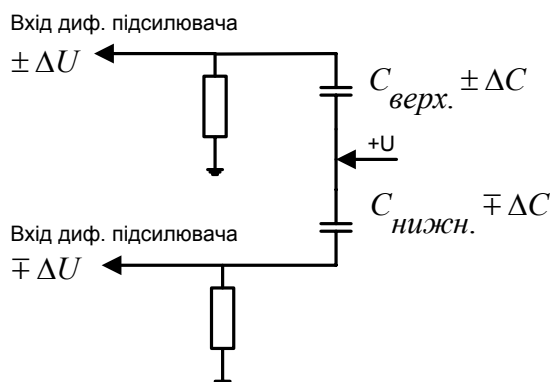


Рис. 2. Схема підключення обкладинок акселерометра

Сигнали від підобкладок подаються на вхід і обробляються диференціальним підсилювачем. Зазначимо, що величина приросту напруги на виході прямо пропорційна до величини напруги, підведеної до конденсатора. Загалом схема вимірювання вібрацій має вигляд, показаний на рис. 3.



Рис. 3. Схема вимірювання вібрацій акселерометра

Схема перетворення сигналів акселерометра. Сигнали від акселерометра можна обробляти підсилювачем постійного струму (ППС) з МДМ-каналом [13–15]. ППС з МДМ-каналом використовуються для підсилення вхідної напруги нижче сотень мікрвольт. Структурну схему підсилювача показано на рис. 4. Принцип дії ППС з МДМ полягає в тому, що напруга сигналу, що повільно змінюється, перетворюється в напругу змінного струму, амплітуда якого змінюється пропорційно до зміни вхідного сигналу. Підсилювачі змінного струму підсилюють сигнал, що перетворюється. На виході підсилювача включений випрямляч, який випрямляє сигнал, що

підсилюється, відповідно до полярності вхідного сигналу. Перетворення вхідного сигналу в напругу змінного струму здійснюється за допомогою перетворювача частоти – модулятора.

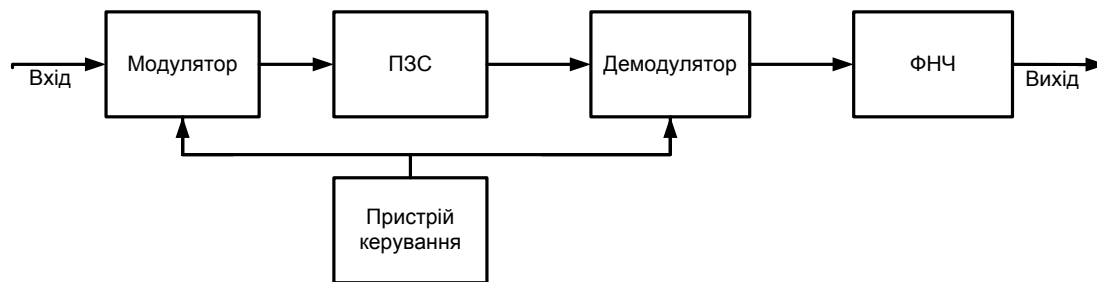


Рис. 4. Структурна схема ППС з МДМ

Але враховуючи те, що сигнал, який надходить з датчика, уже є промодульований частотою вібрацій, то зі структурної схеми можна виключити модулятор, замінивши його диференціальним підсилювачем. Тоді схема набуде вигляду, зображеного на рис. 5.

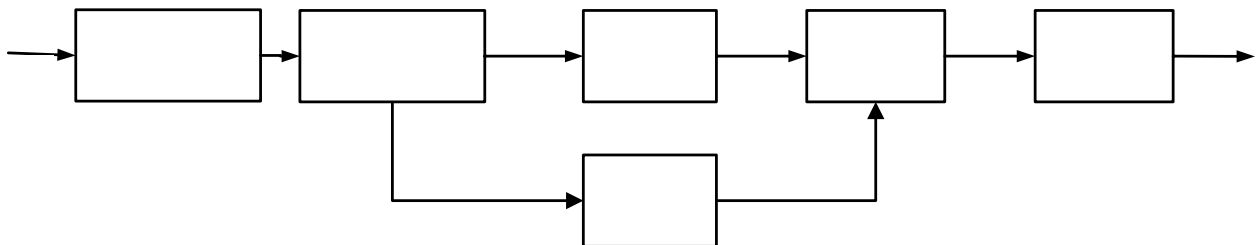


Рис. 5. Структурна схема ППС з диференціальним підсилювачем

Сигнал змінного струму перетворюється у вихідний сигнал на виході підсилювача фазочутливим випрямлячем – демодулятором. На демодулятор від пристрою керування подається напруга прямокутної форми, яка називається напругою несучої або опорної частоти. Фільтр низьких частот (ФНЧ) на виході демодулятора виділяє корисний спектр сигналу і не пропускає на вихід побічні продукти перетворення, які лежать по частоті вище від верхньої частоти вихідного сигналу. Для стабілізації параметрів перетворення ППС охоплено зворотним зв'язком. На виході ФНЧ-сигнал інтегрується та поступає на вхід постійного запам'ятовувального пристрою, роль якого виконує блок фіксації аналогового сигналу (БФАС) [15] (рис. 6).

Математична модель схеми перетворення акселерометра. Зміщення робочого елемента конструкції залежно від значення зовнішньої сили описується диференціальним рівнянням другого порядку [16]:

$$m_y \frac{d^2y}{dt^2} + B_y \frac{dy}{dt} + k_y y = F_{ext}, \quad (1)$$

де y – зміщення точки; t – час; m_y , B_y , k_y – параметри конструкції; F_{ext} – зовнішня прикладена сила.

Відповідно рівняння зміни відстані між обкладками конденсаторів матиме такий вигляд:

$$d = x + (y - y_0), \quad (2)$$

де d – відстань між обкладками конденсатора; x – відстань між пластинами; y – координата зміщення точки; y_0 – початкова координата точки конструкції.

Враховуючи те, що елемент сейсмічної маси є доволі великим, ми можемо знехтувати його деформацією і припустити, що електроди рухаються паралельно. Тоді для розрахунку ємності можемо скористатись такими формулами [17, 18]. Амплітуда вібрацій перетворюється в амплітуду зміни ємності:

$$C = \varepsilon \frac{lb}{d}, \quad (3)$$

де ϵ – діелектрична проникність матеріалу між пластинами акселерометра; d – відстань між пластинами; l – довжина пластини; b – ширина пластини.

Оскільки електроємність конденсатора дорівнює відношенню заряду на одній із пластин Q до напруги між ними U , то можемо записати, що амплітуда зміни ємності перетворюється в амплітуду зміни напруги:

$$C = Q/U, \quad (4)$$

де Q – заряд на одній із пластин; U – напруга між пластинами конденсатора.

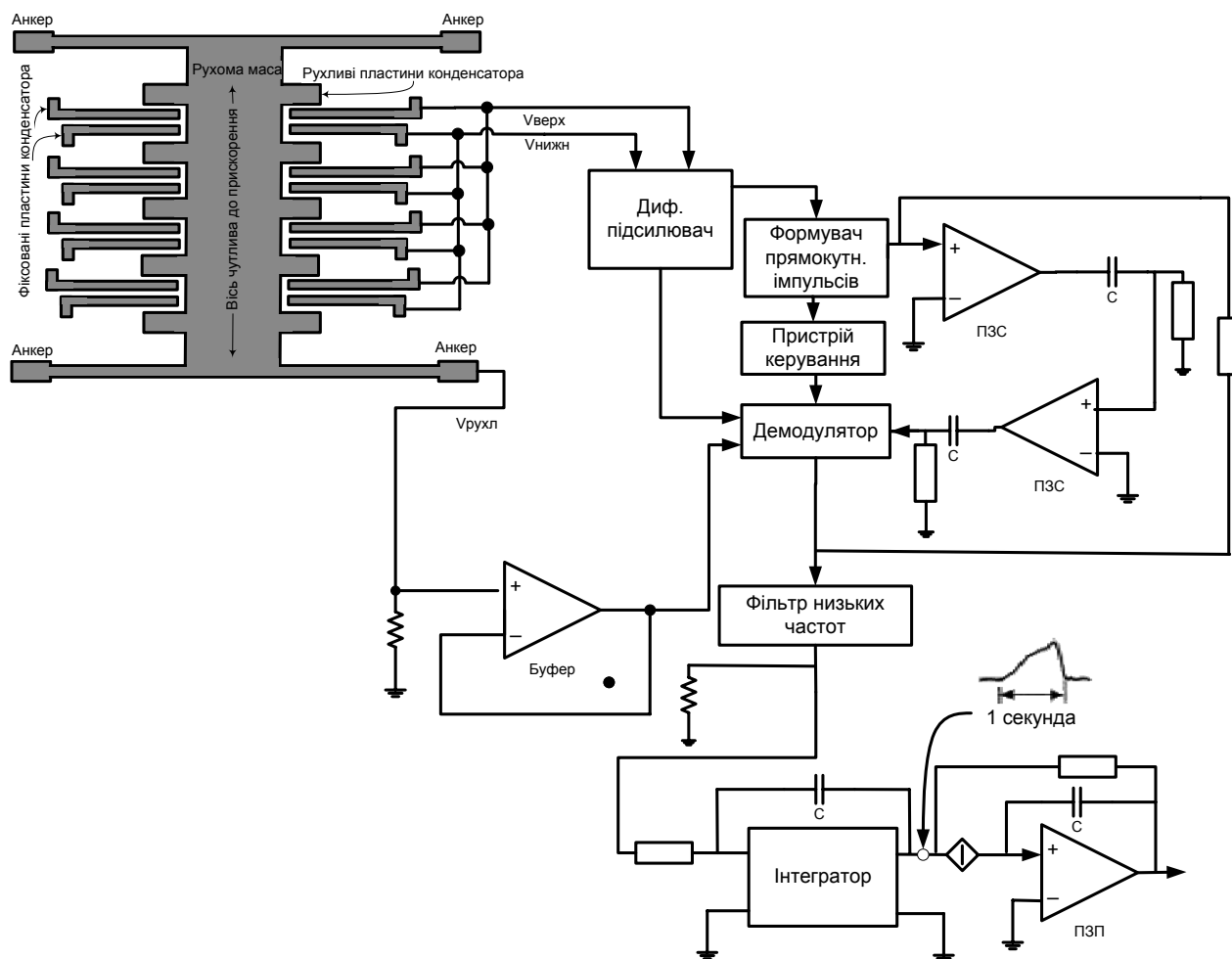


Рис. 6. Схема перетворення сигналів

На виході диференційного підсилювача напруга має такий вигляд:

$$U_{nids_1} = K_1 U, \quad (5)$$

де K_1 – коефіцієнт підсилення диференційного підсилювача.

Підсилювач змінного струму (ПЗС) підсилює напругу в K_2 разів:

$$U_{nids_2} = K_2 U_{nids_1}, \quad (6)$$

де K_2 – коефіцієнт підсилення ПЗС.

На виході інтегратора сигнал матиме такий вигляд:

$$U_{вих} = \int_0^t U_{nids_2}(t) dt. \quad (7)$$

Сигнал, зафіксований у БФАС, описується таким рівнянням:

$$U_{\phi} = U_{вих}(t)_{t=T_{\phi}}, \quad (8)$$

де T_{ϕ} – час фіксації сигналу.

Якщо вібрації постійні, то в момент часу t напруга обчислюватиметься як (3)–(7):

$$U_{вих} = \int_0^t \frac{K_1 K_2 Q d}{\varepsilon l b} (t) dt \pm \sigma, \quad (9)$$

де σ – похибка фіксації, яка знаходиться в межах 0,5–1 % за невеликих значень t , а d – визначається з формул (1), (2).

Результати аналізу. Вихідний сигнал $V_{вих}$ є функцією залежності вимірюваної ємності від прикладеного прискорення: амплітуда вібрацій перетворюється в напругу постійного струму (рис. 7). На виході підсилювача змінного струму $U_{нідс_2}$ сигнал має таку саму форму, як і вхідний сигнал. На виході інтегратора $U_{вих}$ сигнал набирає пилкопобідної форми і потім фіксується у постійному запам'ятовувальному пристрої U_{ϕ} із затримкою фіксації T_{ϕ} .

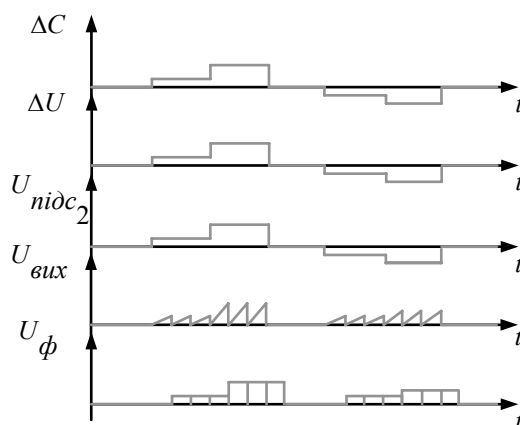


Рис. 7. Форми вхідного та вихідних сигналів

Висновки. У цій роботі розроблено схему перетворення сигналів акселерометра ємнісного типу. Цікавою ця схема є тим, що може працювати з дуже низькими вхідними напругами: нижче сотень мікрвольт. Це забезпечується підсилювачем постійного струму з диференціальним підсилювачем, що обробляє сигнали від мікроакселерометра. Ця особливість є дуже важливою під час проектування саме мікроелектромеханічних систем.

Також варто зазначити, що схема дає змогу вимірювати високочастотні мікрівібрації та “биття”, що діють на акселерометр у вигляді часті зміни прискорення.

1. “ADXL50-monolithic accelerometer with signal conditioning,” Analog Devices, Norwood, MA, data sheet, 1993. IL, June 1997, pp. 847–850
2. Kranz M., Fedder G.K., “Mircomechanical vibratory rate gyroscopes fabricated in conventional CMOS,” Symposium Gyro Technology 1997, Stuttgart, Germany, 1997, pp. 3.0–3.8.3.
3. Boser B.E., Howe R.T., “Surface micromachined accelerometers,” IEEE Custom Integrated Circuits Conference, 1995, pp. 337–344.
4. Kuehnel, W., “Modeling of the mechanical behavior of a differential capacitor accelerometer sensor,” Sensors and Actuators A, vol. A36, pp. 79–87, March 1993.
5. Lemkin, M. “Micro accelerometer design with digital feedback control,” Doctoral Thesis, U.C. Berkeley, 1997.
6. Maluf, Nadim An introduction to microelectromechanical system engineering//Library of Congress Cataloging-in-Publication Data.
7. Gupta R.K., Zorian Y. Introducing in Core-Based System Design //Design & Test of Computer, Oct/Dec, 1997.
8. Muller R.S. and K.Y. Lau, “Surface-Micromachined Microoptical Elements and Systems,” in Integrated Sensors, Microactuators, Microsystems (MEMS), Vol.86, No. 8, Aug. 1998.
9. Pister K. S. J., et al., “Microfabricated Hinges,” Sensors and Actuators, Vol. A33, No 3, June 1992.

10. V. Teslyuk, R. Zaharyuk, "Model of Capacitive Microaccelerometer", MEMSTECH'2006, Lviv-Polyana, Ukraine, May 24–27, 2006. 11. Varadan V.K. and Varadan V.V., *Microelectromechanical Systems (MEMS)*, 2000. 12. Гоноровский И.С. *Радиотехнические цепи и сигналы* / Советское радио. – М., 1963. 13. Нестеренко Б.К. *Интегральные операционные усилители*. – М.: Энергоиздат, 1982. 14. Вайсбурд Ф.И., Панаев Г.А., Савельев Б.Н. *Электронные приборы и усилители* / Радио и связь. – М., 1987. 15. Иванцов Р.-А.Д., Романюк С.Ф. и Сакаль В.М. *Фазовый детектор. Описание изобретения к авторскому свидетельству СССР № 686140, 1977.* 16. Теслюк В.М., Загарюк Р.В. *Модель акселерометра емкостного типа для автоматизованого проектування* // *Вісник Національного університету "Львівська політехніка"*. – 2006. 17. Allet G.D. *Interdigital Capacitors and Their Applications to Lumped-element Microwave Integrated Circuits, IEEE Trans. Microwave Theory Tech., Vol. MTT-18, Dec.1970, pp.1028–1033.* 18. Гупта К., Гардж Р., Чадха Р. *Машинное проектирование СВЧ устройств / Пер. с англ.* – М.: Радио и связь, 1987.