



ЕЛЕКТРОНІКА ТА ІНЖЕНЕРІЯ

<https://doi.org/10.23939/ict2024.02.151>

ВБУДОВАНА СИСТЕМА УЛЬТРАЗВУКОВИХ П'ЄЗОЕЛЕКТРИЧНИХ СЕНСОРІВ З ФУНКЦІЄЮ САМОДІАГНОСТИКИ

Р. Голяка [ORCID: 0000-0002-7720-0372], М. Брич [ORCID: 0009-0004-9767-5991], О. Адам'як [ORCID: 0000-0002-6290-6516],
Ю. Шлюсар [ORCID: 0009-0001-7849-4253], Н. Барило [ORCID: 0000-0002-9101-3768]

Національний університет «Львівська політехніка», вул. С. Бандери, 12, 79013, Львів, Україна

Відповідальний за рукопис: Роман Голяка (e-mail: roman.l.holiaka@lpnu.ua).

(Подано 30 травня 2024)

Інформативним сигналом переважної більшості сенсорів на п'єзоелектричних перетворювачах є час (тривалість) прольоту ToF (Time-of-Flight) ультразвукових коливань, а його формування реалізується методом вимірювання затримки Δt між випроміненим актуатором та прийнятим сенсором імпульсами цих коливань. Однак процеси формування цього інформативного сигналу та електронні засоби реалізації цих процесів характеризуються значним впливом сторонніх факторів, компенсація яких в значній мірі є проблематичною. У відповідності до цієї проблеми в даній роботі вирішується задача вбудованої самодіагностики сигнальних перетворювачів п'єзоелектричних сенсорів. Використовуються методи інтелектуалізації процесів вимірювання на основі теорії надлишковості та її подальшому розвитку в галузі інформатики, вимірювальної техніки, сенсорики. Пропонується доповнити вхідний сигнальний тракт сенсорного пристрою спеціалізованою схемою активації власних автоколивань п'єзоелектричного перетворювача. Запропонований метод базується на моніторингу перехідних процесів та осциляції на частоті власних коливань п'єзоелектричних перетворювачів при періодичному перемиканні останніх на вхід трансімпедансного підсилювача ТІА (Transimpedance Amplifier). У відповідності до запропонованого рішення трансімпедансний підсилювач використовується для формування затухаючих автоколивань, за частотою, амплітудою та швидкістю затухання яких відслідковують дрейф параметрів п'єзоелектричного перетворювача. Вирішена задача оптимізації режимів функціонування схемного вузла на основі трансімпедансного підсилювача за критерієм максимальної ефективності формування інформативного сигналу стабільності функціонування п'єзоелектричних перетворювачів. Сигнальний тракт вбудованої системи ультразвукових п'єзоелектричних сенсорів з функцією самодіагностики UCQD (U-sound Front-end with in-situ CQ Diagnostic) реалізовано з використанням програмованої системи на кристалі PSoC (Programmable System on Chip) серії PSoC 5LP (Cypress, Infineon Technologies).

Ключові слова: п'єзоелектричний сенсор, самодіагностика, сигнальний тракт, вбудована система, SPICE модель.

УДК: 621.382

1. Вступ

В даний час спостерігається значний прогрес в галузі сенсорних пристроїв на основі п'єзоелектричних перетворювачів ультразвукового діапазону [1]. Це обумовлено, як розвитком новітніх структур, зокрема на основі MEMS (Micro-Electromechanical Systems) технологій PMUT

(Piezoelectric Micromachined Ultrasonic Transducer) [2, 3], так і розширенням їх галузі застосування, зокрема в електроніці Інтернету речей IoT (Internet of Things) [4].

Інформативним сигналом переважної більшості сенсорів на п'єзоелектричних перетворювачах є час (тривалість) польоту ToF (Time-of-Flight) ультразвукових коливань, а його формування реалізується методом вимірювання затримки Δt між випроміненим актуатором та прийнятим сенсором імпульсами цих коливань. Однак процеси формування цього інформативного сигналу та електронні засоби реалізації цих процесів характеризується значним впливом сторонніх факторів, компенсація яких в значній мірі є проблематичною. Особливо це характерно в екстремальних умовах експлуатації (Harsh Environment) [5], зокрема в космосі [6].

Дана робота присвячена задачі вбудованої самодіагностики сигнальних перетворювачів п'єзоелектричних сенсорів. Задача вирішується інтелектуалізацією процесів вимірювання на основі теорії надлишковості (Redundancy theory) та її подальшому розвитку в галузі інформатики (Redundancy information theory), вимірювальної техніки, сенсорики [7, 8].

У відповідності до запропонованого в даній роботі рішення проблеми вбудованої діагностики, вимірювальна система таких п'єзоелектричних сенсорів формує додаткові інформативні сигнали – критерії стабільності (нестабільності) функціонування, основою яких є моніторинг (вимірювання та аналіз) релаксаційних процесів в п'єзоелектричних перетворювачах та в спеціалізованих сигнальних трактах цих перетворювачів. Визначальну роль в забезпеченні функціональності та точності вимірювального перетворення сенсорних пристроїв відіграють мікроелектронні компоненти та сигнальні тракти (Signal Chain) мікросхемотехніки, що реалізують взаємодію між фізичним (аналоговим) та цифровим світом. В сучасній термінології їх називають аналоговим фронт-ендом AFE (Analog Front-End).

Враховуючи тенденції розвитку сучасної сенсорної електроніки, значною актуальністю характеризуються вимірювальні перетворювачі на основі вбудованих систем [9, 10] з розширеною функціональністю змішаного сигнального (Mixed-Signal) перетворення [11, 12]. Максимальний ефект з точки зору ефективності процесу розроблення та можливості реконфігурування вбудованих систем сенсорних пристроїв забезпечується в концепції програмованих систем на кристалі PSoC (Programmable System-on-Chip) [13, 14]. Процес розроблення таких систем потребує поглибленого функціонального аналізу та параметричної оптимізації сигнальних трактів вимірювальних перетворювачів. В свою чергу, це передбачає використання модельних досліджень, зокрема, на основі SPICE (Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis) моделей [15, 16].

2. Аналіз та постановка задачі

В даній роботі пропонується новий метод вбудованої діагностики ультразвукових п'єзоелектричних сенсорів, який передбачає формування інформативних сигналів стабільності функціонування вхідних (приймальних) трактів цих сенсорів. Для цього пропонується доповнити вхідний сигнальний тракт спеціалізованою схемою активації власних автоколивань п'єзоелектричного перетворювача. Запропонований метод базується на моніторингу перехідних процесів та осциляції на частоті власних коливань п'єзоелектричних перетворювачів при періодичному перемиканні останніх на вхід трансїмпедансного підсилювача ТІА (Transimpedance Amplifier) [17]. У відповідності до запропонованого рішення трансїмпедансний підсилювач використовується для формування затухаючих автоколивань, за частотою, амплітудою та швидкістю затухання яких відслідковують дрейф параметрів п'єзоелектричного перетворювача.

Дещо спрощене представлення схеми, що реалізує функцію моніторингу перехідних процесів вхідних сигнальних трактів наведено на рис. 1. Трансїмпедансне перетворення реалізовано на операційному підсилювачі ОА з резистором від'ємного зворотного зв'язку R_{FB} , а формування затухаючих автоколивань забезпечується періодичною комутацією п'єзоелектричного перетворювача CQ. В традиційному режимі функціонування п'єзоелектричного перетворювача CQ останній під'єднується ключем SW1 (з керуванням PIN) до вхідного тракту аналогового фронт-енду, формуючи інформативний сигнал ультразвукового сенсора напругу VIN. В режимі вбудованої діагностики CQ перемикається між інвертуючим входом трансїмпедансного підсилювача (ключ

SW2 з керуванням PDG) та нульовим контуром (землею) (ключ SW3 з керуванням P0). В процесі такого перемикання п'єзоелектричний перетворювач періодично заряджається до рівня напруги VREF, яка подана на неінвертуючий вхід операційного підсилювача OA. Враховуючи, що коло від'ємного зворотного зв'язку на резисторі RFB забезпечує балансування (лінійний режим роботи) OA, напруга на інвертуючому вході в усталеному режимі роботи теж прямує до значення VREF. Перед та після замикання CQ до входу трансімпедансного підсилювача, останній розряджається ключем SW3 з керуванням P0.

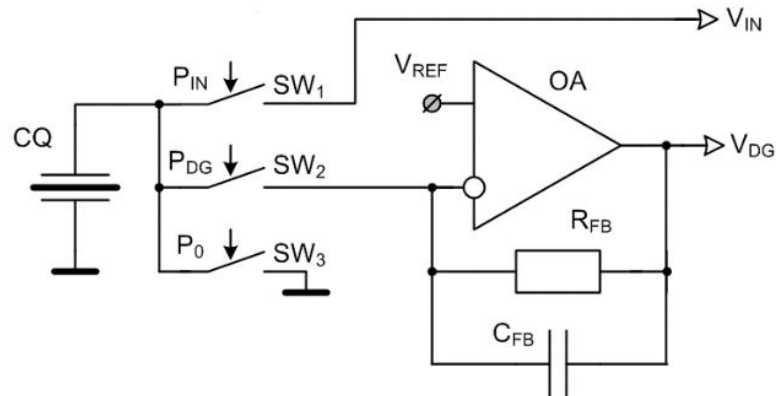


Рис. 1. Спрощена схема вбудованої діагностики приймального тракту п'єзоелектричних перетворювачів

Відтак, процес заряду-розряду п'єзоелектричного перетворювача обумовлює ефект його релаксації з формуванням вихідної напруги V_{DG} , коливання якої слугують інформативним сигналом вбудованої діагностики. При цьому, важливим є забезпечити виникнення затухаючих автоколивань V_{DG} та мінімальний вплив на цей процес інших компонентів схеми. Ця вимога забезпечується відповідним підбором параметрів кола зворотного зв'язку трансімпедансного підсилювача. Приклади модельних досліджень, що підтверджують вказану можливість представлено на рис. 2 ($R_{FB} = 1E5$) та рис. 3 ($R_{FB} = 1E6$), де $V(1)$ – напруга керуючих імпульсів комутації, $V(2)$ – напруга на п'єзоелектричному перетворювачі, $V(7) = V_{DG}$, – напруга на виході OA.

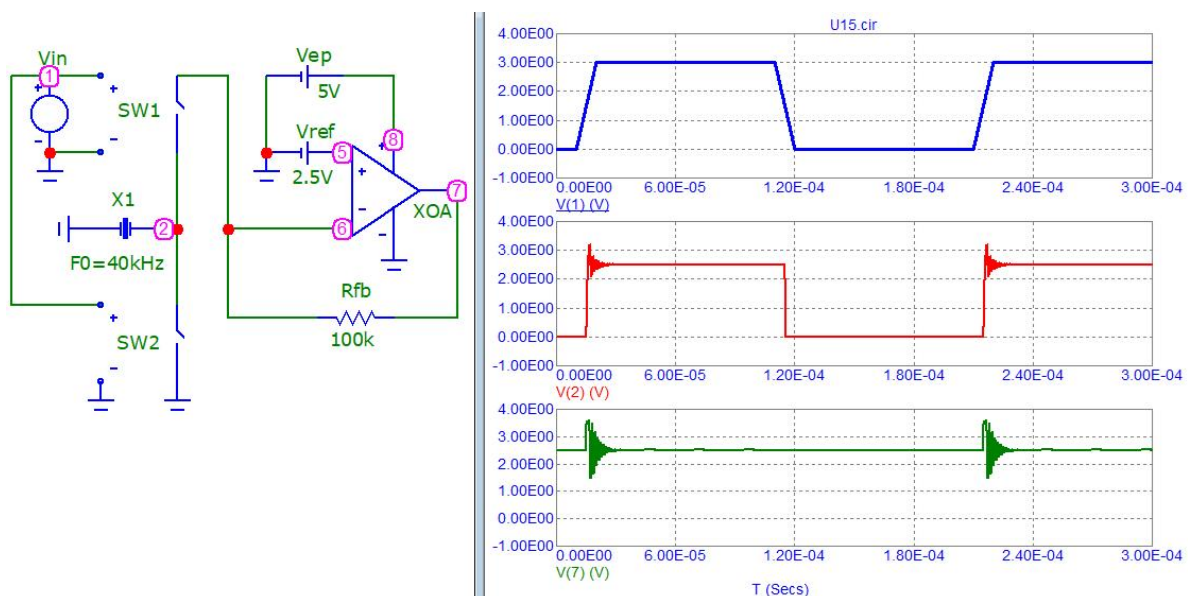


Рис. 2. SPICE модель та результат дослідження процесу релаксації в схемі вбудованої діагностики приймального тракту при $R_{FB} = 1E5$

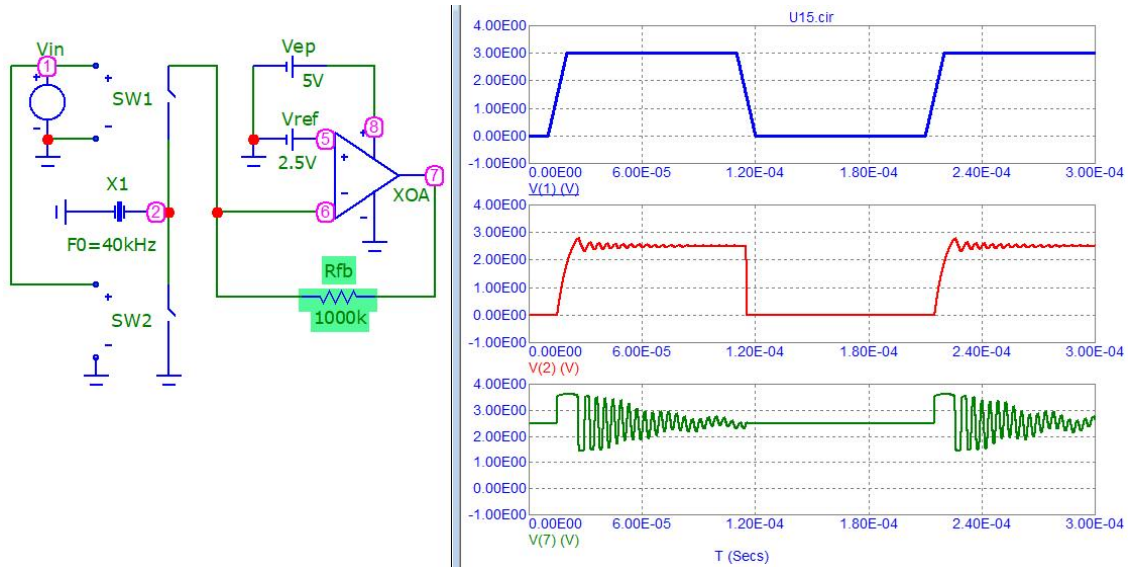


Рис. 3. SPICE модель та результат дослідження процесу релаксації в схемі вбудованої діагностики приймального тракту при $R_{FB} = 1E6$

Подальші дослідження в напрямку вбудованої діагностики сенсорів на п'єзоелектричних перетворювачах передбачають етапи параметричної оптимізації сигнальних трактів та їх реалізації на базі програмованих систем на кристали PSoC (Programmable System on Chip).

3. Параметрична оптимізація

Розглянемо задачу оптимізація режимів функціонування електронної схеми на основі трансїмпедансного підсилювача за критерієм максимальної ефективності формування інформативного сигналу вбудованої самодіагностики приймальних п'єзоелектричних перетворювачів. Так, якщо схема трансїмпедансного підсилювача є надто стабільною, перехідні процеси в ній не спостерігаються. І навпаки, якщо схема є надто нестабільною, перехідні процеси стають занадто некерованими та хаотичними. В цьому разі подальший аналіз таких перехідних процесів потребує надто складних алгоритмів програмного забезпечення системи вбудованої діагностики.

З метою вирішення цієї задачі в коло від'ємного зворотного зв'язку трансїмпедансного підсилювача вводять інтегруючий конденсатор C_{FB} . Значення ємності цього конденсатора оптимізується за вище згаданим критерієм, причому вхідними даними задачі оптимізації вважаються параметри, як п'єзоелектричних перетворювачів, так і операційного підсилювача ОА. З погляду на основні фактори впливу на результат формування інформативних сигналів за перехідними процесами та осциляцією найвагоміший вплив мають три наступні параметри операційного підсилювача. В специфікації SPICE моделей ОА MODEL цими параметрами є: GBW (Unity Gain Band Width) – ширина смуги частот при одиничному коефіцієнті підсилення, SRP (Maximum Positive Slew Rate) – швидкість зміни вихідної напруги при її наростанні та SRN (Maximum Negative Slew Rate) – швидкість зміни вихідної напруги при її спаданні (рис. 4).

В режимі вимірювального перетворення, тобто звичайному режимі ультразвукового сенсора, інформативний сигнал VIN формується вхідним трактом аналогового фронт-енду при замкненому ключі SW1 з керуванням PIN. В режимі вбудованої діагностики перетворювач CQ перемикається між інвертуючим входом трансїмпедансного підсилювача ключем SW2 з керуванням PDG та нульовим контуром ключем SW3 з керуванням P0. В лінійному усталеному режимі роботи коло від'ємного зворотного зв'язку на резисторі RFB забезпечує балансування операційного підсилювача ОА, вирівнюючи напруги на інвертуючому та неінвертуючому входах. Відтак, в процесі такого перемикавання CQ заряджається до рівня напруги VREF, яка подана на неінвертуючий вхід операційного підсилювача ОА. Перед та після замикання CQ до входу трансїмпедансного підсилювача, останній розряджається до нульового потенціалу ключем SW3.

Перш ніж представити результати оптимізації режимів роботи такої схеми, відзначимо важливу перевагу періодичного обнулення заряду вхідного п'єзоелектричного перетворювача CQ з погляду не лише на представлений алгоритм вбудованої діагностики, але і прискорення процесів його релаксації в звичайному режимі вимірювального перетворення.

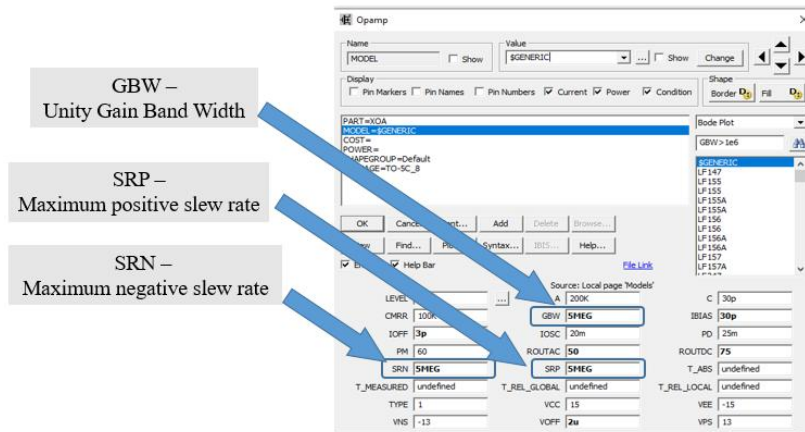


Рис. 4. Специфікація параметрів моделі ОА GBW, SRP, SRN

Зокрема, як це показано на верхній осцилограмі рис. 5, в системах ультразвукового сканування мають місце процеси небажаного накладання двох послідовних ехо-імпульсів. Особливо така проблема проявляється при вимірюванні коротких дистанцій, в процесі вимірювання яких тривала релаксація п'єзоелектричного перетворювача при завершенні попереднього імпульсу призводить до некоректності вимірювання часу приходу наступних імпульсів. Стає очевидним, що з метою прискорення релаксації при завершенні імпульсів, п'єзоелектричний перетворювач, як це показано на нижній осцилограмі рис.5, необхідно розряджати.

Керування P_0 таким розрядом при завершенні процесу вимірювання параметрів вхідного імпульсу формується відповідним алгоритмом вимірювання. Цей алгоритм реалізується програмним кодом мікропроцесора і базується на вимірюванні не лише часу приходу вхідного імпульсу (основний параметр ультразвукових сенсорів вимірювання відстані), але і визначення його форми (важливий параметр вбудованої діагностики). Відтак, запропонована схема приймального тракту поєднує дві переваги – розширення діапазону вимірювання (в область малих значень відстані) та підвищення достовірності отриманих даних вимірювання (забезпеченням моніторингу нестабільності функціонування).

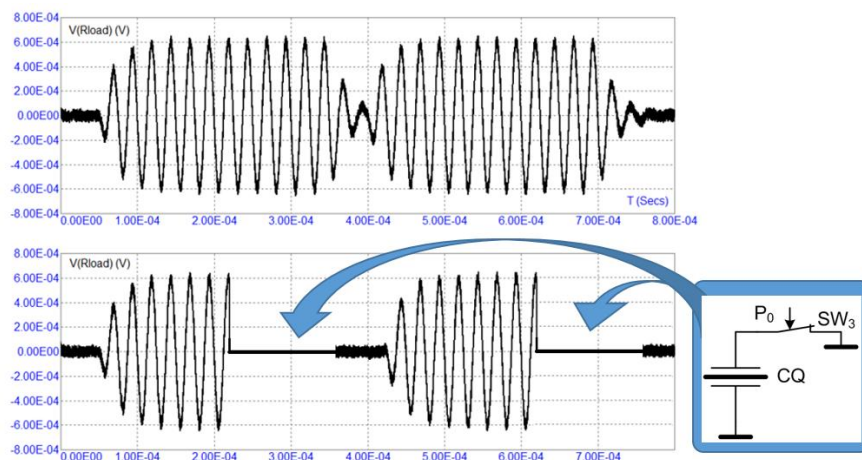


Рис. 5. Імпульси ультразвукового сканування без (зверху) та з обнуленням заряду п'єзоелектричного перетворювача (знизу)

Далі перейдемо до оптимізації параметрів схеми трансімпедансного підсилення з врахуванням параметрів схеми заміщення макромоделі п'єзоелектричного перетворювача CQ PRIM, вищезгаданих параметрах операційного підсилювача OA – GBW, SRP, SRN та значеннях R_{FB} , C_{FB} кола зворотного зв'язку. SPICE модель модифікованої схеми вбудованої діагностики приймального тракту наведена на рис. 6. Ключ SW1 періодично замикає п'єзоелектричний підсилювач CQ на інвертуючий вхід операційного підсилювача XOA, потенціал якого в усталеному режимі визначається напругою опорного джерела V_{ref} . Натомість ключ SW2, що перемикається протифазі до SW1, обнулює заряд CQ. Використовується однополярне джерело живлення $V_{ep} = 5\text{ V}$.

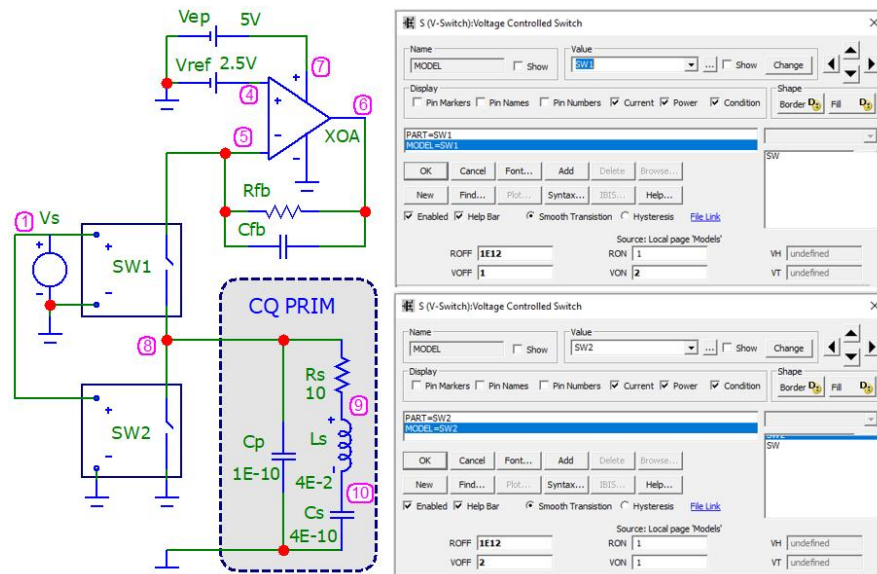


Рис. 6. SPICE модель модифікованої схеми діагностики приймального тракту

Інформативними параметрами, за якими проводять моніторинг процесів вимірювального перетворення є форма імпульсів перехідних процесів та частота автоколивання. В системах вбудованої діагностики ці параметри вимірюються шляхом швидкого аналого-цифрового перетворення масивів значень вихідної напруги $V_{OUT} = V(6)$. Для підвищення інформативності модельних досліджень, зокрема для виявлення закономірностей сигнального перетворення, будемо аналізувати і перехідні процеси напруги на п'єзоелектричному перетворювачі V_{CQ} . Характерні приклади досліджень таких процесів для певних наборів параметрів схеми, що представлені перехідними процесами цих напруг, наведено на:

- рис. 7 – при $GBW = 5E6$, $SRP = SRN = 5E6$, $C_{FB} = 0$ для $R_{FB} = 1E3$ (а) та $R_{FB} = 1E4$ (б);
- рис. 8 – аналогічно до попереднього для $R_{FB} = 1E5$ (а) та $R_{FB} = 1E6$ (б);
- рис. 9 – при $R_{FB} = 1E5$, $C_{FB} = 0$ для $GBW = 3E5$, $SRP = SRN = 3E5$ (а) та $GBW = 3E7$, $SRP = SRN = 3E7$ (б);
- рис. 10 – при $R_{FB} = 1E5$ для $C_{FB} = 1E-11$ (а) та $C_{FB} = 1E-9$ (б);
- рис. 11 – при $C_{FB} = 3E-9$, $R_{FB} = 1E4...5E4$ (а) та $R_{FB} = 3E4$, $C_{FB} = 3E-9...5E-9$ (б).

Наведені результати підтверджують, по-перше, можливість формування імпульсів перехідних та автоколивальних процесів, що можуть використовуватися інформативними сигналами стабільності функціонування схеми, і по-друге, необхідність та ефективність оптимізації режимів

- форма імпульсів вихідної напруги V_{OUT} характеризується значною варіативністю та керованістю параметрами кола зворотного зв'язку, а отже наперед встановлені в процесі модельних та експериментальних досліджень закономірності її коливальності можуть використовуватися для моніторингу процесів вимірювального перетворення;

- при великих значеннях опору кола зворотного зв'язку ($R_{FB} > 1E4$) спостерігається тривалий процес встановлення, як вихідної напруги V_{OUT} , так і напруги V_{CQ} на п'єзоелектричному перетворювачі;
- використання конденсатора кола зворотного зв'язку CFB вирішує задачу мінімізації надлишкових високочастотних процесів, що може спростити подальший алгоритм вимірювального перетворення та аналізу його результатів.

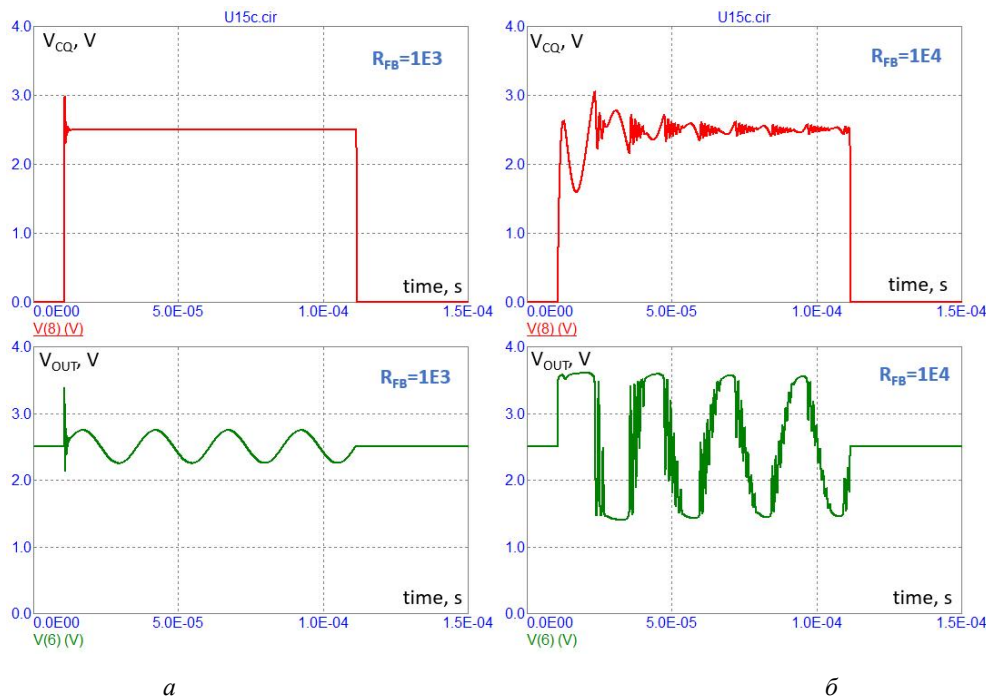


Рис. 7. Імпульси V_{CQ} , V_{OUT} при $GBW = 5E6$, $SRP = SRN = 5E6$, $C_{FB} = 0$ для значень опору $R_{FB} = 1E3$ (а) та $R_{FB} = 1E4$ (б)

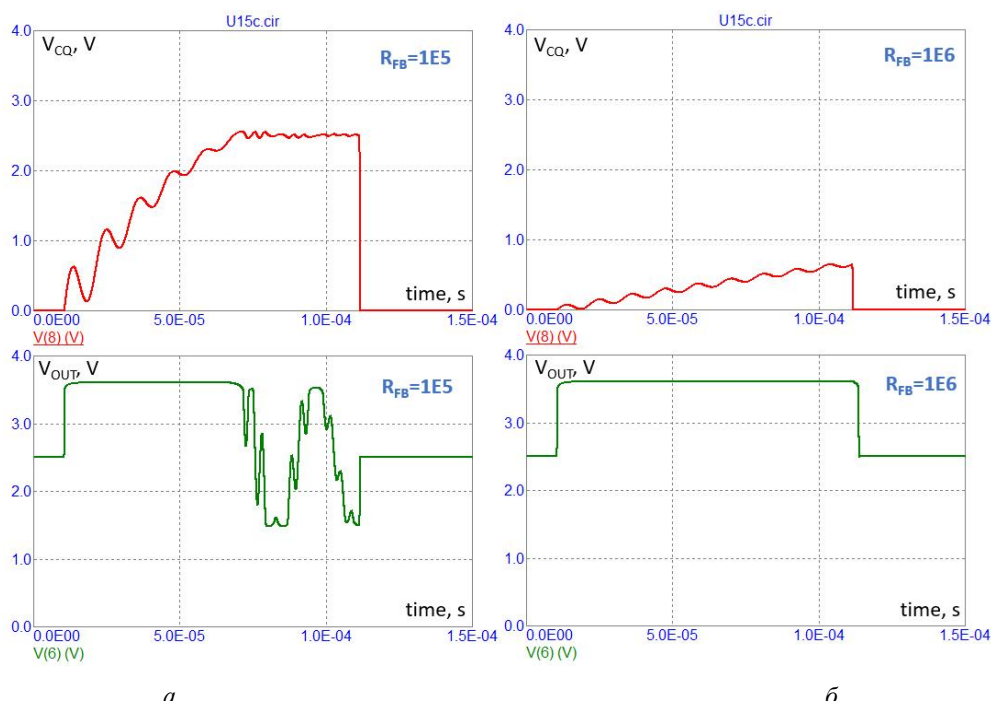


Рис. 8. Імпульси V_{CQ} , V_{OUT} при $GBW = 5E6$, $SRP = SRN = 5E6$, $C_{FB} = 0$ для значень опору $R_{FB} = 1E5$ (а) та $R_{FB} = 1E6$ (б)

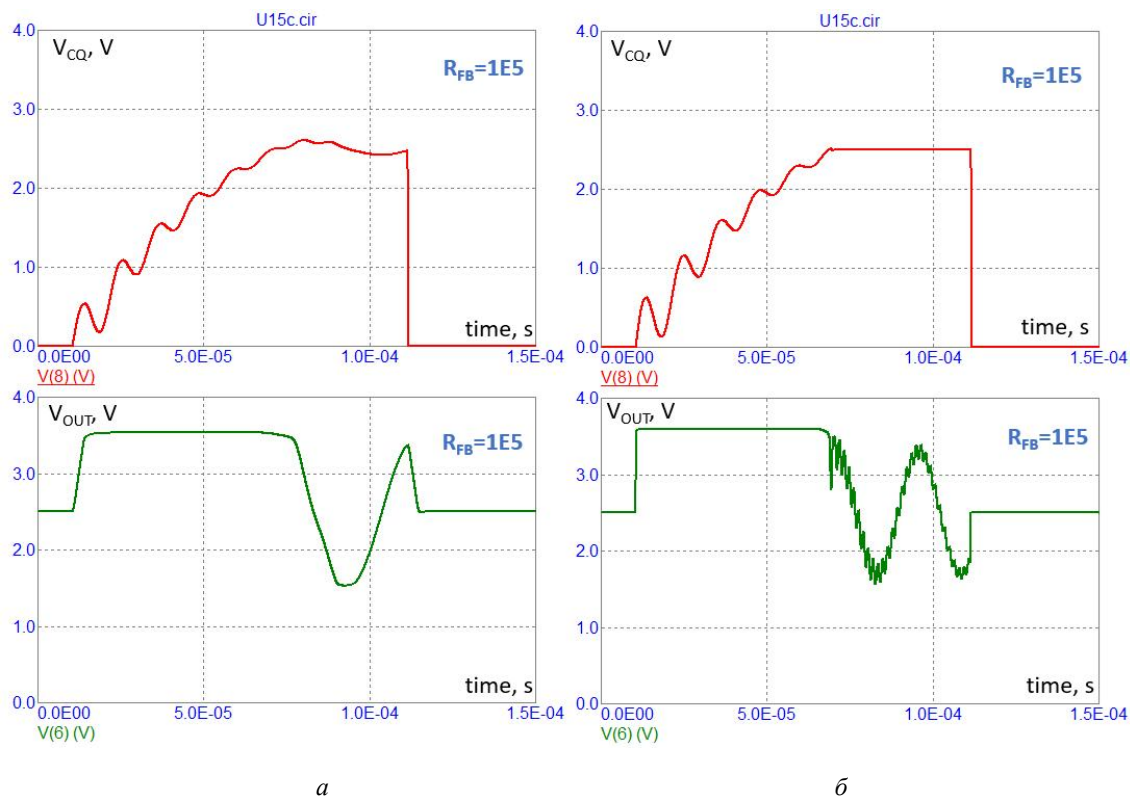


Рис. 9. Імпульси V_{CQ} , V_{OUT} при $R_{FB} = 1E5$, $C_{FB} = 0$: $GBW = 3E5$, $SRP = SRN = 3E5$ (а) та $GBW = 3E7$, $SRP = SRN = 3E7$ (б)

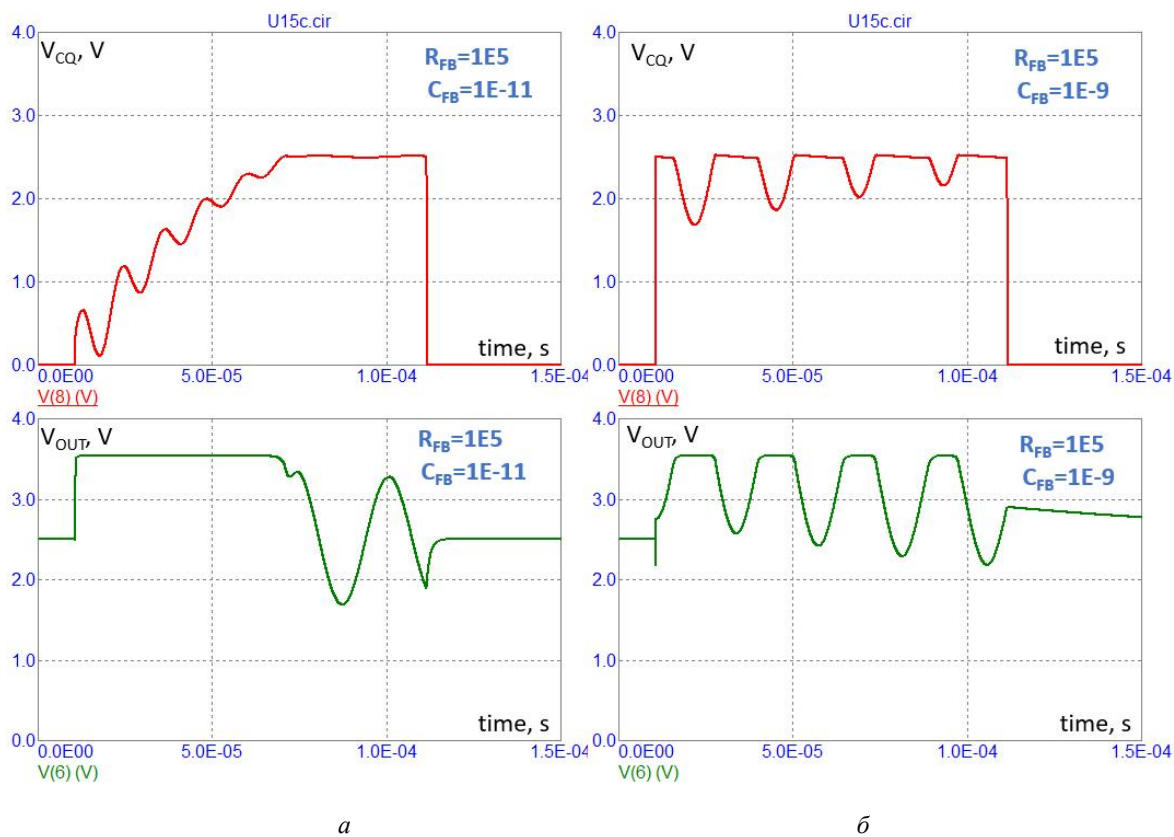


Рис. 10. Імпульси V_{CQ} , V_{OUT} при $R_{FB} = 1E5$: $C_{FB} = 1E-11$ (а) та $C_{FB} = 1E-9$ (б)

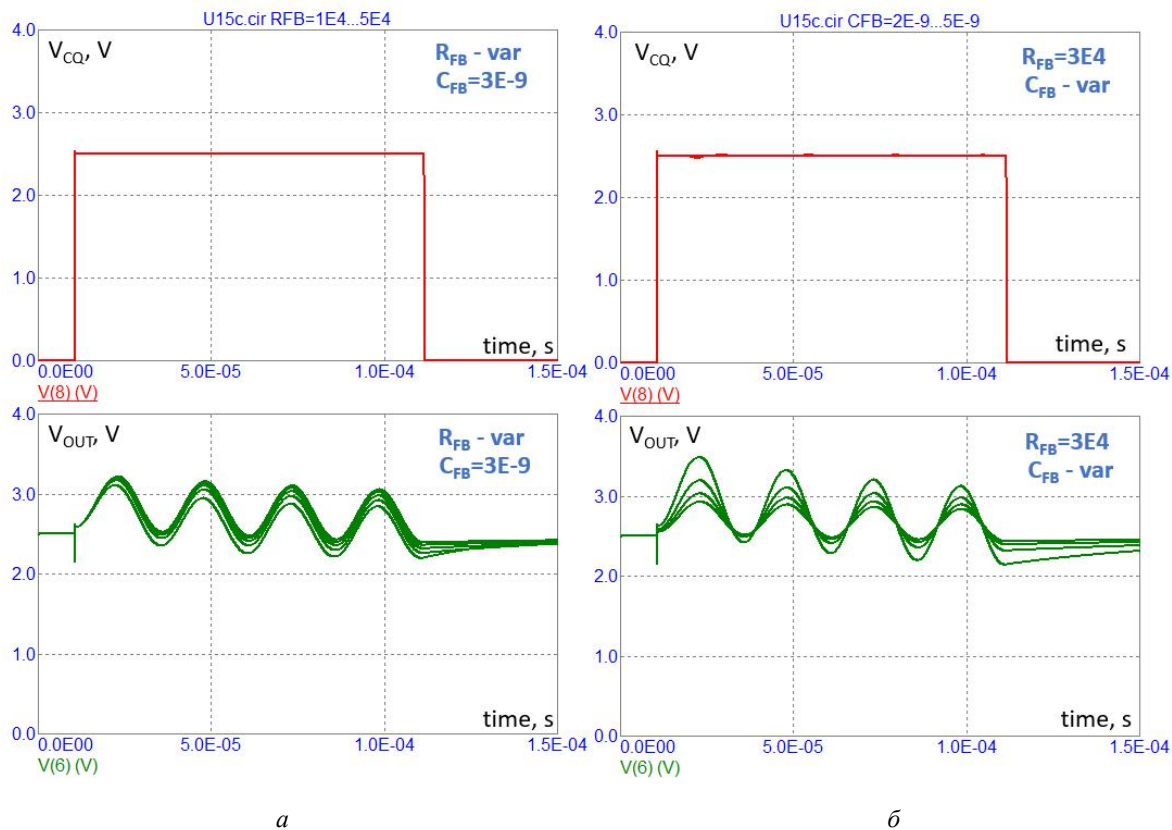


Рис. 11. Імпульси V_{CQ} , V_{OUT} при $C_{FB} = 3E-9$, $R_{FB} (var) = 1E4...5E4$ (а) та $R_{FB} = 3E4$, $C_{FB} (var) = 3E-9...5E-9$ (б)

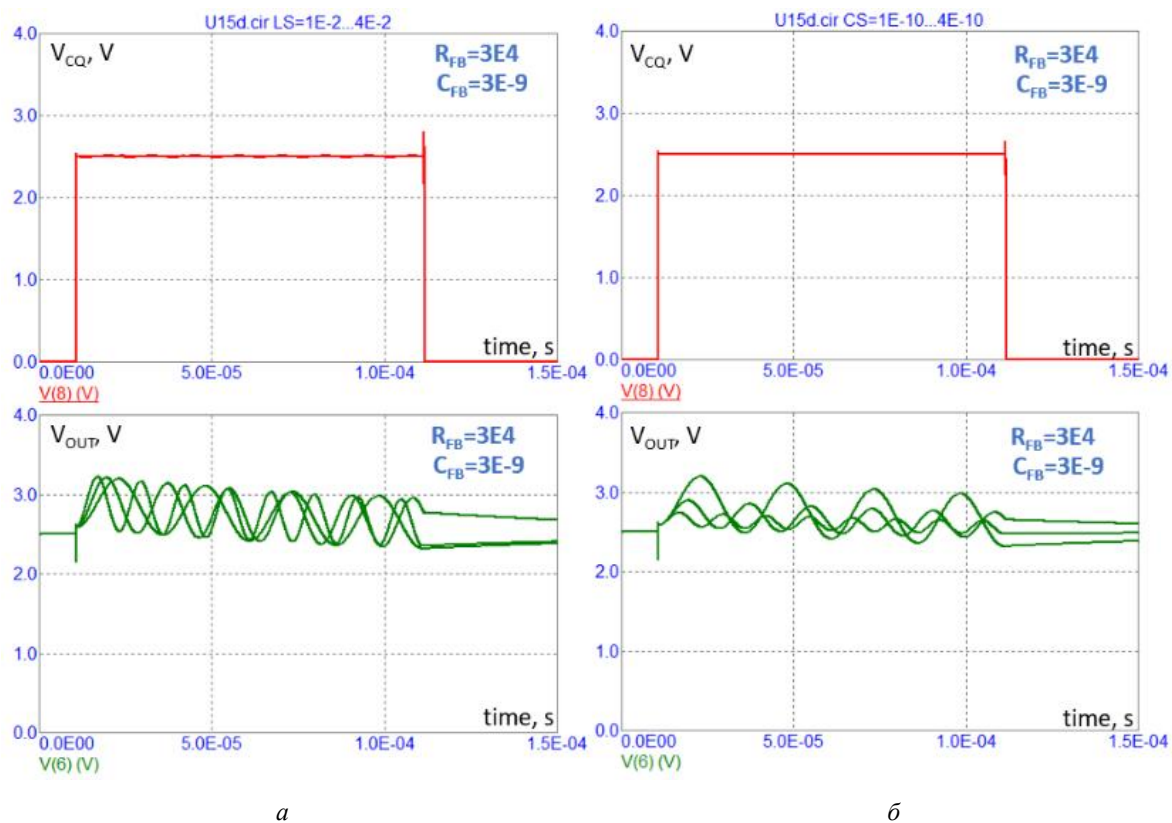


Рис. 12. Імпульси V_{CQ} , V_{OUT} при $R_{FB} = 3E4$, $C_{FB} = 3E-9$ для $LS (var) = 1E-2...4E-2$ (а) та $CS (var) = 1E-10...4E-10$ (б)

Можна бачити, що вплив параметрів п'єзоелектричного перетворювача характеризується принципово відмінною особливістю – має місце зміна частоти коливального процесу та часових параметрів його релаксації. Ця відмінність відіграє ключове значення, адже представляється можливим ідентифікація механізмів нестабільності вимірювального перетворення з відокремленням параметрів перехідних процесів в п'єзоелектричному перетворювачі та сигнальному тракті.

Список використаних літературних джерел

- [1] Roy, R.K., Hazarika, N. and Bezboruah, T., 2023. Ultrasonic Sensor-Based Weight Measurement Using Extension Spring. *IEEE Sensors Letters*, 7(9), pp.1-4. doi: 10.1109/LSSENS.2023.3307113.
- [2] Horsley, D.A. et al., 2016. Ultrasonic fingerprint sensor based on a PMUT array bonded to CMOS circuitry. 2016 IEEE International Ultrasonics Symposium (IUS), Tours, France, pp.1-4. doi: 10.1109/ULTSYM.2016.7728817.
- [3] Tong, Z., Wu, Z., Zhang, S., Liu, H. and Lou, L., 2021. A Flexible Ultrasonic Sensor Based on Piezoelectric Micromachined Ultrasonic Transducers (pMUTs). 2021 22nd International Conference on Electronic Packaging Technology (ICEPT), Xiamen, China, pp.1-4. doi: 10.1109/ICEPT52650.2021.9567942.
- [4] Addabbo, T. et al., 2019. A LoRa-based IoT Sensor Node for Waste Management Based on a Customized Ultrasonic Transceiver. 2019 IEEE Sensors Applications Symposium (SAS), Sophia Antipolis, France, pp.1-6. doi: 10.1109/SAS.2019.8705980.
- [5] Klambauer, R. and Bergmann, A., 2017. A new principle for an ultrasonic flow sensor for harsh environment. 2017 IEEE SENSORS, Glasgow, UK, pp.1-3. doi: 10.1109/ICSENS.2017.8234394.
- [6] Kesuma, H., Ahmadi-Pour, S., Zimmerman, H.-J., Joseph, A. and Weis, P., 2019. Ultrasonic Wireless Sensor Network for Human Habitation in Deep Space Mission. 2019 IEEE International Conference on Wireless for Space and Extreme Environments (WiSEE), Ottawa, ON, Canada, pp.122-127. doi: 10.1109/WiSEE.2019.8920364.
- [7] Holst, C.-A. and Lohweg, V., 2020. A Redundancy Metric based on the Framework of Possibility Theory for Technical Systems. 2020 25th IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA), Vienna, Austria, pp.1571-1578. doi: 10.1109/ETFA46521.2020.9212080.
- [8] Niu, X. and Quinn, C.J., 2020. Synergy and Redundancy Duality Between Gaussian Multiple Access and Broadcast Channels. 2020 International Symposium on Information Theory and Its Applications (ISITA), Kapolei, HI, USA, pp.6-10.
- [9] Saponara, S., Petri, E., Fanucci, L. and Terreni, P., 2009. Smart transducer interface in embedded systems for networked sensors based on the emerging IEEE 1451 Standard: H2 Detection Case Study. 2009 Seventh Workshop on Intelligent solutions in Embedded Systems, Ancona, Italy, pp.49-55.
- [10] Fouad, H. and Kamel, H., 2021. A Proposed end to end Telemedicine System based on embedded system and mobile application using CMOS wearable sensors. 2021 International Telecommunications Conference (ITC-Egypt), Alexandria, Egypt, pp.1-6. doi: 10.1109/ITC-Egypt52936.2021.9513888.
- [11] Czaja, Z., 2007. Using a square-wave signal for fault diagnosis of analog parts of mixed-signal embedded systems controlled by microcontrollers. 2007 IEEE Instrumentation & Measurement Technology Conference IMTC 2007, Warsaw, Poland, pp.1-6. doi: 10.1109/IMTC.2007.379196.
- [12] Mosin, S., 2018. Entropy-based method of reducing the training set dimension at constructing a neuromorphic fault dictionary for analog and mixed-signal ICs. 2018 7th Mediterranean Conference on Embedded Computing (MECO), Budva, Montenegro, pp.1-4. doi: 10.1109/MECO.2018.8406093.
- [13] Singha, S., Singh, A.S., Prasad, S. and Alam, A., 2019. A Study on Power Optimization Techniques in PSoC. 2019 International Conference on Communication and Signal Processing (ICCSP), Chennai, India, pp.0225-0229. doi: 10.1109/ICCSP.2019.8698070.
- [14] TaSci, B. and Erol, Y., 2019. Wireless Elevator Call System Design With PSoC. 2019 International Conference on Applied Automation and Industrial Diagnostics (ICAAID), Elazig, Turkey, pp.1-5. doi: 10.1109/ICAAID.2019.8934958.
- [15] Darwish, M. and Pohl, L., 2023. SPICE Modeling of Insulator-Metal Transition Devices with Hysteresis. 2023 29th International Workshop on Thermal Investigations of ICs and Systems (THERMINIC), Budapest, Hungary, pp.1-5. doi: 10.1109/THERMINIC60375.2023.10325868.
- [16] Texas Instruments Incorporated, Simulation SPICE Models for Op Amps – Application Report. Available at: <https://www.ti.com/lit/an/snoa368b/snoa368b.pdf>.
- [17] Analog Devices, Quad Transimpedance Amplifier with Input Current Clamp. Available at: https://www.analog.com/en/products/max40662.html?ADICID=SYND_WW_P682800_PF-octopart.

SERVICE PROVISIONING USING ALGORITHM OF STRUCTURE STABILITY IN VIRTUALIZED DATA CENTER BASED ON CLOUD TECHNOLOGY

Roman Holyaka, Mykola Brych, Oleh Adamiak, Yurii Shliusar, Nazar Barylo

Lviv Polytechnic National University, S. Bandery Str., 12, 79013, Lviv, Ukraine

The informative signal of the vast majority of sensors on piezoelectric transducers is the ToF (Time-of-Flight) of ultrasonic oscillations, and its formation is realized by measuring the delay between the pulses of oscillations emitted by the actuator and the pulses of these oscillations received by the sensor. However, the processes of forming this informative signal and the electronic means of implementing these processes are characterized by a significant influence of extraneous factors, the compensation of which is largely problematic. Following this problem, this work solves the problem of embedded self-diagnosis of piezoelectric sensors signal converters. Methods of intellectualization of measurement processes are used based on the redundancy theory and its further development in the field of redundancy information theory, measuring technology, and sensors. It is proposed to supplement the input signal path of the sensor device with a specialized circuit for activating self-oscillations of the piezoelectric transducer. The proposed method is based on the monitoring of transient processes and oscillations at the frequency of natural oscillations of piezoelectric transducers during periodic switching of the latter to the input of the transimpedance amplifier TIA. In accordance with the proposed solution, the transimpedance amplifier is used to form damping self-oscillations, the frequency, amplitude and decay rate of which are monitored by the drift of the parameters of the piezoelectric transducer. The task of optimizing the operation modes of the circuit unit based on the transimpedance amplifier based on the criterion of maximum efficiency in the formation of an informative signal of the stability of the operation of piezoelectric transducers has been solved. The signal path of the built-in system of ultrasonic piezoelectric sensors with the self-diagnosis function UCQD (U-sound Front-end with in-situ CQ Diagnostic) is implemented using a programmable system on a PSoC (Programmable System on Chip) PSoC 5LP series (Cypres, Infineon Technologies).

Keywords: *piezoelectric sensor, self-diagnosis, signal chain, embedded system, SPICE model*