

УДК 004.942:621.373

DOI: 10.20998/2411-0558.2023.01.05

В. М. САВЧЕНКО, канд. техн. наук, НТУ "ХПІ",
О. В. МНУШКА, ст. викл. НТУ "ХПІ",
С. Ю. ЛЕОНОВ, д-р техн. наук, проф. НТУ "ХПІ"

ПРИКЛАДНЕ ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ СЕНСОРІВ НА ОСНОВІ КВАРЦОВИХ П'ЄЗОЕЛЕКТРИЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ

Розв'язано прикладну науково-технічну задачу побудови програмного забезпечення для дослідження параметрів кварцових п'єзоелементів з міжелектродним зазором. Проведено аналітичний огляд задач, що виникають під час моделювання параметрів, основні підходи до побудови наукового програмного забезпечення із використанням універсальних математичних пакетів та вузько спеціалізованих програм. Розроблено структуру компонентів програмного забезпечення із використанням принципів об'єктно-орієнтованого дизайну та програмування. Розроблено бібліотеку підпрограм для розрахунків фізичних параметрів кварцових елементів мовою програмування Python. Програмне забезпечення може бути розширеним за рахунок використання додаткових уточнених математичних моделей. Іл.: 3. Бібліогр.: 14 назв.

Ключові слова: моделювання, кварцовий п'єзоелемент, еквівалентна електрична схема, генератор, Python.

Актуальність дослідження. Сучасні технології віддаленого моніторингу стану пристроїв, технологічних процесів, логістичних потоків, навчального процесу під час COVID-19 й т. п. використовують велику номенклатуру сенсорів – від традиційних до сучасних, що дозволяє будувати системи на основі Інтернету речей або промислового Інтернету речей. Швидкий темп розвитку технологій побудови малогабаритних обчислювальних систем дозволяє використовувати високоточні перетворювачі фізичних величин і потребує вдосконалення параметрів сенсорів [1 – 2].

П'єзоелектричні сенсори на основі кварцових чутливих елементів використовують для вимірювання різних фізичних величин таких як тиск, температура, вологість, вібрація тощо. Окремий клас таких сенсорів становлять сенсори із частотним виходом в яких модуляція частоти здійснюється шляхом зміни величини міжелектродного зазору, що впливає на частоту коливань п'єзореzonатора. Міжелектродний зазор – це відстань між двома електродами, які утворюють п'єзореzonатор. Коли на п'єзореzonатор впливає зовнішній вплив, наприклад, тиск, температура, вологість або вібрація, він деформується, що призводить до зміни частоти коливань п'єзореzonатора. Зміна частоти коливань п'єзореzonатора є

функцією зовнішнього впливу та може бути виміряна і використана для вимірювання величини такого впливу. Сенсори з частотним виходом є одними з найпоширеніших типів п'єзоелектричних сенсорів. Вони мають ряд переваг, зокрема високу точність, стабільність і швидкість відгуку. Сенсори з частотним виходом використовуються в широкому спектрі застосувань, зокрема в контролі якості, вимірюванні, медицині та промисловості [3 – 5].

Розробка та вдосконалення таких сенсорів базуються на використанні аналітичних та чисельних моделей. Аналітичні моделі у випадку кварцового елементу є складними внаслідок наявності більшої кількості у порівнянні із п'єзокерамікою незалежних матеріальних констант, що входять до тензорів властивостей матеріалу. Загальна задача визначення параметрів зв'язаних коливань п'єзоелектричного елементу є тривимірний простір у випадку певних класів сенсорів може бути зведеною до одновимірної задачі та одного виду коливань. Відзначимо, що коливання п'єзоелектричного елементу описуються за допомогою трансцендентних рівнянь для хвильового числа, тому для отримання аналітичного розв'язку потрібно використовувати їх розкладання у ряд Макларена-Тейлора в околі деякої точки.

З урахуванням складності та трудомісткості обчислень актуальною є задача розробки програмного забезпечення для моделювання параметрів таких сенсорів або із використанням універсальних математичних пакетів, або із використанням спеціалізованого програмного забезпечення.

Огляд літератури. В [3] наведено результати моделювання температурно-частотних характеристик кварцових резонаторів у системі комп'ютерної математики Maple, показана можливість побудови бібліотеки підпрограм для обчислення параметрів кварцових чутливих елементів для кристалічних елементів довільної просторової орієнтації. Недолік – використання пропрієтарного математичного пакета, що вимагає ліцензування пакета та обмежує використання результатів розробки.

В [6] представлено результати дослідження похибок імітаційного моделювання із використанням спеціальних математичних функцій, показано, що у певних спеціальних випадках похибки моделювання мають тенденції до накопичення, що може бути суттєвим для задач імітаційного моделювання. Зазначимо, що універсальні пакети на кшталт MATLAB можуть мати суттєві похибки, що має бути врахованим під час розробки та тестування програм.

Представлено результати чисельно-аналітичного моделювання кварцових п'єзоелементів у COMSOL Multiphysics. Показано, що створена

в COMSOL комп'ютерна модель кварцових п'єзоелементів, для температурозалежних коливань обернутих Y-зрізів, може бути використана для обчислення частот власних резонансів, аналізу активності мод коливань і дослідження впливу варіативності геометричних розмірів п'єзоелементів, термічних і вібраційних характеристик, а похибка в обчисленні резонансних частот для механічних гармонік і ангармонічних коливань становить від 0,5 до 0,75 відсотка відносно аналітичних розрахунків. Точність розрахунків залежить від кроку сітки та вихідної моделі, зі зменшенням сітки суттєво зростають вимоги до обчислювальної системи.

В [7, 8] розглянуто загальні питання до побудови спеціального програмного забезпечення наукового призначення, показано можливість використання мови C++ для таких задач. В [8] висвітлюються дуже важливі питання використання спеціального програмного забезпечення на кшталт статичних аналізаторів у розробці наукового програмного забезпечення, особливості використання мов зі статичною та динамічною типізацією.

В [9, 11] показано можливість реалізації вузько спеціалізованого програмного забезпечення для моделювання сенсорів на основі кварцових п'єзоелементів. В [9] показана можливість побудови програмного забезпечення, для симуляції датчиків QCM у рідині. Показано, що потрібно враховувати нелінійну динаміку осцилятора, що дозволяє здійснювати більш точні розрахунки реальної частоти коливань та її зміни в залежності від маси та умов застосування. В [10] показано застосування пакета ANSYS для моделювання параметрів п'єзоелектричного елемента, показано, що параметрів, що моделюються похибка складає не більше 14 відсотків у порівнянні з аналітичними методами. В [11] представлено комп'ютерну програму для моделювання поведінки кварцових кристалічних генераторів. З урахуванням того, що струм через кварцевий кристал є майже ідеально синусоїдальним, кварцовий резонатор можна замінити на нелінійний імпеданс, що залежить лише від величини струму, що проходить через нього. Зазначимо, що у [3 – 6] показано, що імпеданс також залежить від великої кількості конструктивно-технологічних параметрів.

В [12, 13] представлено наукове програмне забезпечення, реалізоване мовою Python, в [12] для моделювання електричних схем, в [13] показана можливість використання фізичних одиниць відповідно до предметної галузі, що дозволяє надати обчисленням певний фізичний сенс.

На даний час існує певна кількість універсального програмного забезпечення, що може бути застосованим для розв'язання стандартних наукових задач у різних галузях науки, в першу чергу це MATLAB, Maple,

Mathematica, COMSOL, ANSYS та ін. Безперечно ці пакети мають велику кількість готових алгоритмів, програмних модулів, розширень тощо, що допомагають науковцям проводити симуляцію та отримувати достатньо точні із практичної точки зору результати. До недоліків їх використання слід віднести їх суттєву вартість, тому для конкретних дослідницьких задач доцільно розробляти спеціалізоване програмне забезпечення із використанням універсальних мов програмування таких як C, C++ або Python, які наразі мають весь необхідний функціонал для розв'язання таких задач. На додаток, спеціалізоване програмне забезпечення має такі переваги:

- урахування конкретних потреб дослідницької задачі, що може гарантувати більш точні та ефективні результати;
- економія часу та зусиль дослідників;
- гнучкість та масштабованість.

Метою роботи є побудова програмного забезпечення для обчислення параметрів п'єзоелектричних сенсорів із частотним виходом та модуляцією частоти на основі зміни параметрів міжелектродного зазору на основі наближених аналітичних моделей коливань.

Програмне забезпечення для моделювання параметрів сенсорів на основі кварцових п'єзоелектричних елементів. Як показано у [3] параметри сенсорів на основі кварцових п'єзоелементів суттєво залежать від фізичних параметрів кристалічного елемента – кута зрізу, товщини, форми, наявності електродів на поверхні, наявності та величини міжелектродного зазору тощо.

У загальному випадку програма для моделювання параметрів сенсорів повинна складатися із декількох модулів — розрахунків матеріальних констант для кута зрізу кристалічного елемента, розрахунків параметрів еквівалентної електричної схеми, розрахунків параметрів кварцового осцилятора, розрахунків параметрів сенсора (рис. 1).

Розглянемо більш докладно призначення кожного модуля.

Модуль "Material Constants" призначений для визначення параметрів кристалічного елемента, які суттєвим чином залежать від кута зрізу елемента та включають тензор четвертого рангу коефіцієнтів жорсткості c^E , Па, тензор третього рангу п'єзоелектричних коефіцієнтів e , К/м, тензор другого рангу коефіцієнтів діелектричної проникності ϵ^S , Ф/м. Числові величини для кварцу визначені у та зберігаються у вигляді JSON файлів. Такий підхід дозволяє використовувати різні п'єзоелектричні матеріали, в т. ч. для фіксованих кутів зрізу.

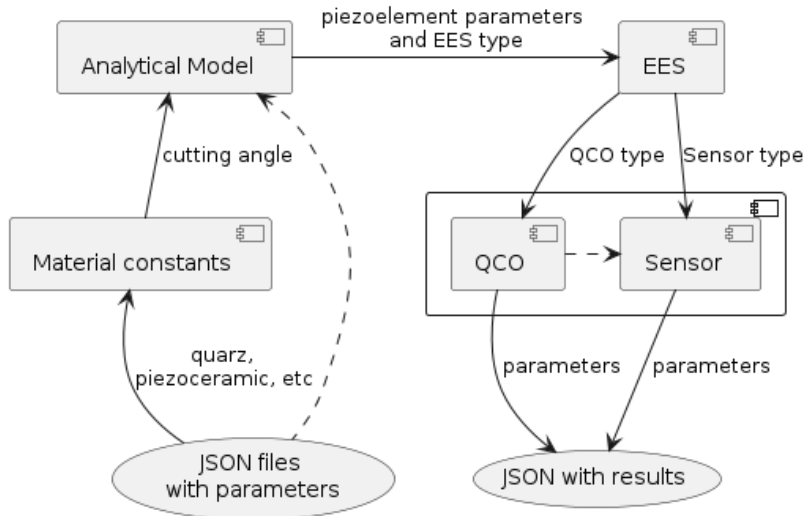


Рис. 1. Структура програми

Для розрахунку означених коефіцієнтів побудовано обчислювальний модуль, що використовує матричну форму запису обертань із використанням кутів Ейлера, що забезпечує можливість досліджувати параметри п'єзоелектричних елементів із довільними кутами зрізу.

Модуль "Analytical Model" дозволяє обрати аналітичну модель для хвильового числа та резонансної частоти коливань п'єзоелектричної пластини, наразі підтримуються найбільш поширені моделі для п'єзоелектричних елементів із міжелектродними зазорами: модель п'єзоелемента із симетричними зазорами та масонавантаженням, модель коливань із несиметричними зазорами [14], модель коливань із одним зазором [3, 5], та модель коливань із одним зазором та однобічним масонавантаженням [3, 5]. Від результату вибору моделі залежать параметри еквівалентної електричної схеми, параметри якої визначено для стандартної схеми Butterworth-van Dyke.

Розраховані параметри у модулях "Analytical Model" та "EES" є вхідними параметрами для моделювання кварцового осцилятора у модулі "QCO" та сенсора із частотним виходом "Sensor".

Для реалізації програмного забезпечення вибрано мову програмування Python. Такий вибір обумовлено наступними факторами: простота та поширеність на різних обчислювальних платформах, можна використовувати у "хмарі", велика кількість прикладних бібліотек, в т. ч. для побудови графіків функцій, можливість простої реалізації інтерфейсу користувача на основі Tk або PyQt. На першому етапі для базової реалізації

та тестування обрано інтерфейс на основі Tk з огляду на наступні причини:

1) він є "легшим" за PyQt, який є складнішою бібліотекою в порівнянні з Tk, що вимагає використання більшого обсягу ресурсів для її функціонування;

2) у контексті наукового програмування, де часто необхідно виконувати програми на обмежених ресурсах, таких як ноутбуки або Raspberry Pi, це може стати проблемою;

3) Tk надає більшу портативність та дозволяє використовувати той самий код і для запуску програми на Windows, macOS та Linux.

Результат розробки для модулів роботи із матеріальними константами кварцу та параметрами еквівалентної електричної схеми представлений на рис. 2 та рис. 3.

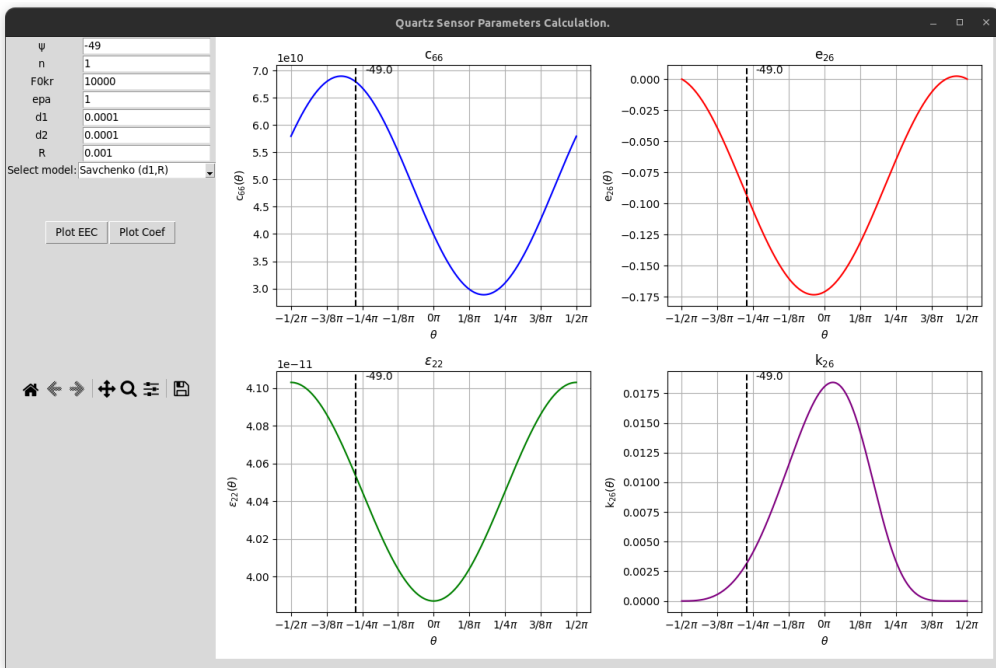


Рис. 2. Розрахунок матеріальних констант

У програмі використовуються математичні моделі отримані для різних типів кварцових п'єзоелементів, в т. ч. отримані авторами [3, 5]. Програму побудовано із використанням принципів об'єктно-орієнтованого програмування та дизайну. Для побудови графіків використано можливості бібліотеки Matplotlib (<https://matplotlib.org>). Всі основні компоненти програмного забезпечення є окремими класами, для реалізації інтерфейсу розроблено клас основної програми. Програма

дозволяє обирати одну із чотирьох математичних моделей для кварцового п'єзоелемента із міжелектродним зазором, а також задавати певні конструктивно-технологічні параметри – величину міжелектродних зазорів, масонавантаження та ін. Ці параметри впливають на параметри еквівалентної електричної схеми резонатора при його використанні у кварцових вимірювальних осциляторах, що використовують у сенсорах із частотним виходом.

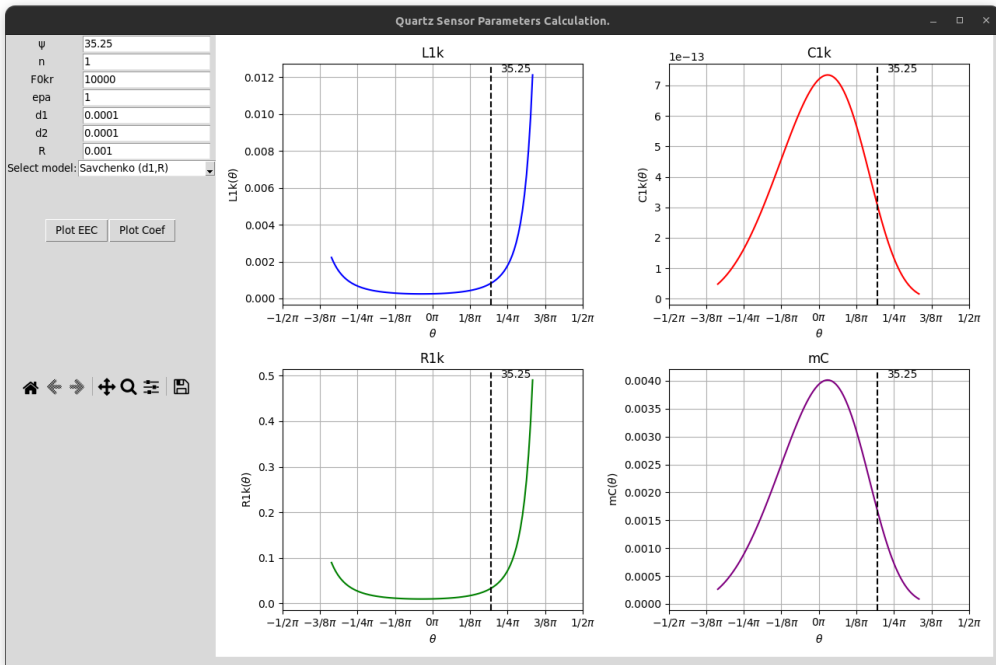


Рис. 3. Розрахунок параметрів еквівалентної електричної схеми

Висновки. Розв'язано прикладну науково-технічну задачу побудови програмного забезпечення для дослідження параметрів кварцових п'єзоелементів із міжелектродним зазором, що використовуються у якості чутливих елементів високочастотних сенсорів фізичних величин. На відміну від [3, 5] реалізовано прикладну бібліотеку та програму мовою програмування Python, забезпечено можливість використання декількох математичних моделей чутливих елементів сенсорів, роботу із зовнішніми файлами параметрів та результатів, що дозволяє інтегрувати дане програмне забезпечення із іншими системами, можливість додавання нових уточнених моделей. Розрахунок параметрів генераторів відбувається автоматично для схеми ємнісна триточка.

Розроблене програмне забезпечення може бути використаним для

проведення досліджень у галузі побудови сенсорів, порівнянні математичних моделей, вибору та оптимізації параметрів, а також в учбовому процесі.

Перспективою подальших досліджень є інтеграція програмного забезпечення та моделей на основі чисельних методів, що має значно розширити застосування розроблених бібліотеки та програми.

Список літератури:

1. Maceda D.D.C. Web-Based Instrumentation and Control Laboratory with Real-Time Remote Monitoring and Control System for Columban College / D.D.C. Maceda, G.V. Magwili // 2022 IEEE 14th International Conference on Humanoid, Nanotechnology, Information Technology, Communication and Control, Environment, and Management (HNICEM). – Boracay Island, Philippines, 2022. – pp. 1-6. – doi: 10.1109/HNICEM57413.2022.10109507.0.
2. Mnushka O. Information Technology of Remote Monitoring and Control / O. Mnushka, V. Savchenko, S. Leonov, O. Shaposhnikova // 2021 International Conference on Electrical, Computer, Communications and Mechatronics Engineering (ICECCME), Mauritius, 2021. – pp. 1-5. – doi: 10.1109/ICECCME52200.2021.9590889.
3. Savchenko V. Simulation of the Parameters and Temperature Characteristics of the BAW QCR based Sensors / V. Savchenko, O. Mnushka // 2021 IEEE 16th International Conference on the Experience of Designing and Application of CAD Systems (CADSM), Lviv, Ukraine, 2021. – pp. 24-28. – doi: 10.1109/CADSM52681.2021.9385231.
4. Taranchuk A. Quartz Pulse Wave Sensor With a Capacitive Control for Healthcare Solutions / A. Taranchuk, S. Pidchenko // IEEE Sensors Journal. – vol. 21. – no. 6. – pp. 8613-8620, 15 March 15, 2021, doi: 10.1109/JSEN.2020.3049065.
5. Savchenko V. High-Sensitive Sensors Based on QCR for Smart Devices / V. Savchenko, O. Mnushka // 2020 IEEE XVIth International Conference on the Perspective Technologies and Methods in MEMS Design (MEMSTECH). – Lviv, Ukraine, 2020. – pp. 72-75, doi: 10.1109/MEMSTECH49584.2020.9109435.
6. Таранчук А.А. Чисельно-аналітичне моделювання механічних коливань кварцових п'єзоелементів ат-зрізу / А.А. Таранчук, Б.В. Кушнір // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2019. – № 1. – С. 32-38, doi: 10.31891/2219-9365-2019-63-1-32-38.
7. Jianzhou L. Development of an Integrative Electromagnetic Simulation Software / L. Jianzhou, Z. Haixuan, C. Shuhui // 2022 International Applied Computational Electromagnetics Society Symposium (ACES-China). – Xuzhou, China, 2022. – pp. 1-3, doi: 10.1109/ACES-China56081.2022.10065232.
8. Krishnamurthy R. Scientific Developers v/s Static Analysis Tools: Vision and Position Paper / R. Krishnamurthy, T.S. Heinze, C. Haupt, A. Schreiber, M. Meinel // 2019 IEEE/ACM 12th International Workshop on Cooperative and Human Aspects of Software Engineering (CHASE), Montreal, QC, Canada, 2019, pp. 89-90, doi: 10.1109/CHASE.2019.00029.
9. Rodriguez-Pardo L. Software for Simulation of QCM Sensors in Liquid Media / L. Rodriguez-Pardo, J. Farina, C. Gabrielli, H. Perrot, R. Brendel, M. J. Brana // EUROCON 2005 - The International Conference on "Computer as a Tool". – Belgrade, Serbia, 2005. – pp. 1695-1698, doi: 10.1109/EURCON.2005.1630299.
10. Gabbi R. Computational Simulation for Square Diaphragms of a Piezoresistive Pressure Sensor / R. Gabbi, L.A. Rasia, A.C. Valdiero, M.T. Tolfo Gabbi // IEEE Latin America Transactions. – vol. 16. – no. 12. – pp. 2963-2969. – doi: 10.1109/TLA.2018.8804263.

11. Addouche M. ADOQ: a quartz crystal oscillator simulation software / M. Addouche, N. Ratier, D. Gillet, R. Brendel, F. Lardet-Vieudrin, J. Delporte // Proceedings of the 2001 IEEE International Frequency Control Symposium and PDA Exhibition (Cat. No.01CH37218), Seattle, WA, USA, 2001. – pp. 753-757. – doi: 10.1109/FREQ.2001.956375.
12. Zhang H. Application of Python Scientific computing library and Simulation in Circuit Analysis / H. Zhang, P. Yang and Y. Niu // 2023 IEEE 12th International Conference on Communication Systems and Network Technologies (CSNT), Bhopal, India, 2023, pp. 892-898, doi: 10.1109/CSNT57126.2023.10134600.
13. Hall B.D. Software for calculation with physical quantities / B.D. Hall // 2020 IEEE International Workshop on Metrology for Industry 4.0 & IoT. – Roma, Italy, 2020. – pp. 458-463, doi: 10.1109/MetroInd4.0IoT48571.2020.9138281.
14. Yang Z. Thickness-shear vibration of rotated Y-cut quartz plates with unattached electrodes and asymmetric air gaps / Z. Yang, S. Guo, Y. Hu, J. Yang // Philosophical Magazine Letters. – 89:5. pp. 313-321. – doi: 10.1080/09500830902841903.

References:

1. Maceda, C. and Magwili, G.V. (2022). *Scada Web-Based Instrumentation and Control Laboratory with Real-Time Remote Monitoring and Control System for Columban College*. doi:10.1109/hnicem57413.2022.10109507.
2. Mnushka, O., Savchenko, V., Leonov, S. and Shaposhnikova, O. (2021). "Information Technology of Remote Monitoring and Control". *2021 International Conference on Electrical, Computer, Communications and Mechatronics Engineering (ICECCME)*. doi:10.1109/iceccme52200.2021.9590889.
3. Savchenko, V.G. and Oksana Mnushka (2021). *Simulation of the Parameters and Temperature Characteristics of the BAW QCR based Sensors*. doi:10.1109/cadsm52681.2021.9385231/
4. Taranchuk, A. and Sergey Pidchenko (2021). *Quartz Pulse Wave Sensor With a Capacitive Control for Healthcare Solutions*. 21(6), pp.8613–8620. doi:10.1109/jsen.2020.3049065.
5. Savchenko, V.G. and Oksana Mnushka (2020). *High-Sensitive Sensors Based on QCR for Smart Devices*. doi:10.1109/memstech49584.2020.9109435.
6. Taranchuk, A.A. and Kushnyr, B.V. (2019). *Numerical and analytical modeling of thickness-vibration of AT-cut quartz piezoelement*. 63(1), pp.32–38. doi:10.31891/2219-9365-2019-63-1-32-38. (In Ukrainian).
7. Jianzhou, L., Zhang Haixuan and Chen Shuhui (2022). *Development of an Integrative Electromagnetic Simulation Software*. doi:10.1109/aces-china56081.2022.10065232.
8. Krishnamurthy, R., Heinze, T., Haupt, C., Schreiber, A.W. and Meinel, M. (2019). *Scientific Developers v/s Static Analysis Tools: Vision and Position Paper*. doi:10.1109/chase.2019.00029.
9. Rodriguez-Pardo L., Farina, J., Gabrielli, C., Perrot, H., Brendel, R. and Brana, M.J. (2005). *Software for Simulation of QCM Sensors in Liquid Media*. doi:10.1109/eurcon.2005.1630299.
10. Gabbi, R., Rasia, L.A., Valdiero, A.C. and Tolfo Gabbi, M.T. (2018). "Computational Simulation for Square Diaphragms of a Piezoresistive Pressure Sensor". *IEEE Latin America Transactions*, 16(12), pp.2963–2969. doi:10.1109/tla.2018.8804263.
11. Mahmoud Addouche, N. Ratier, Gillet, D., Brendel, R., Franck Lardet-Vieudrin and J. Delporte (2002). *ADOQ: a quartz crystal oscillator simulation software*. doi:10.1109/freq.2001.956375.
12. Zhang, H., Yang, P. and Niu, Y. (2023). *Application of Python Scientific computing library and Simulation in Circuit Analysis*. doi:10.1109/csnt57126.2023.10134600.

13. Hall, B.R. (2020). *Software for calculation with physical quantities*. doi:10.1109/metroind4.0iot48571.2020.9138281.
14. Yang, Z., Guo, S., Hu, Y. and Yang, J. (2009). *Thickness-shear vibration of rotated Y-cut quartz plates with unattached electrodes and asymmetric air gaps*. 89(5), pp.313–321. doi:10.1080/09500830902841903.

Статтю представив д.т.н., проф. Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут" В.І. Носков.

Надійшла (received) 16.07.2023.

Savchenko Volodymyr, Cand. Sc. (Engineering),
National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute"
2, Kyrpychova str., Kharkiv, Ukraine, 61002
Tel.:(067)5767884, e-mail: savchenko@live.com
ORCID ID: 0000-0001-6548-0891

Mnushka Oksana, Senior Lecturer, M.S. (Computer. Science)
National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute"
2, Kyrpychova str., Kharkiv, Ukraine, 61002
Tel.:(050)2428846, e-mail: mnushka.ov@gmail.com
ORCID ID: 0000-0001-7756-9260

Leonov Serhii, Dr. Sc. (Engineering), Professor
National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute"
2, Kyrpychova str., Kharkiv, Ukraine, 61002
Tel.: (099) 9119113, e-mail: serleomail@gmail.com
ORCID ID: 0000-0001-8139-0458

УДК 004.942:621.373

Прикладне програмне забезпечення для моделювання параметрів сенсорів на основі кварцових п'єзоелектричних елементів / Савченко В.М., Мнушка О.В., Леонов С.Ю. // Вісник НТУ "ХПІ". Серія: Інформатика та моделювання. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2023. – № 1 – 2 (9 – 10). – С. 61 – 71.

Розв'язано прикладну науково-технічну задачу побудови програмного забезпечення для дослідження параметрів кварцових п'єзоелементів із міжелектродним зазором. Проведено аналітичний огляд задач, що виникають під час моделювання параметрів, основні підходи до побудови наукового програмного забезпечення із використанням універсальних математичних пакетів та вузько спеціалізованих програм. Розроблено структуру компонентів програмного забезпечення із використанням принципів об'єктно-орієнтованого дизайну та програмування. Розроблено бібліотеку підпрограм для розрахунків фізичних параметрів кварцових елементів мовою програмування Python. Програмне забезпечення може бути розширеним за рахунок використання додаткових уточнених математичних моделей. Іл.: 3. Бібліогр.: 14 назв.

Ключові слова: моделювання, кварцовий п'єзоелемент, еквівалентна електрична схема, генератор, Python

UDC 004.942:621.373

Applied software for modeling parameters of sensors based on quartz piezoelectric elements / Savchenko V., Mnushka O., Leonov S. // Herald of NTU "KhPI". Series: Informatics and modeling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2023. – 1 – 2 (9 – 10). – P. 61 – 71.

An applied scientific and technical problem of constructing software for studying the parameters of quartz piezoelectric elements with an interelectrode gap has been solved. An analytical review of the issues arising during parameter modeling, the main approaches to constructing scientific software using universal mathematical packages and narrowly specialized programs, have been conducted. The structure of software components has been developed using object-oriented design and programming principles. A subroutine library for calculating the physical parameters of quartz elements in the Python programming language has been developed. The software can be expanded by using additional refined mathematical models. Figs.: 3. Bibl.: 14 titles.

Keywords: modeling, quartz piezoelectric element, equivalent electrical circuit, generator, Python.