УДК

О. С. Малюк [1]
В. В. Мартинюк [2]

ВПЛИВ НОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ НА РОЗВИТОК ЧАСТОТНИХ СЕНСОРІВ ТЕМПЕРАТУРИ

[1] Вінницький національний технічний університет

Анотація

У роботі представлено огляд сучасних досягнень у сфері частотних сенсорів температури, включаючи їх технічні характеристики, методи стабілізації та перспективи подальшого розвитку і застосування. Огляд охоплює аспекти використання штучного інтелекту (AI), нових наноматеріалів та інтеграції сенсорів у системи IoT. Розуміння цих аспектів дозволяє оцінити потенціал частотних сенсорів температури в майбутніх високотехнологічних розробках, таких як космічні місії, медичні пристрої та промислові системи. Особливий акцент зроблено на методах компенсації температурного дрейфу, які забезпечують високу стабільність і точність частотних сенсорів навіть у екстремальних умовах.

Ключові слова: частотний сенсор, температура, компенсація, IoT, наноматеріали.

Abstract

The paper provides a review of modern advancements in the field of frequency-based temperature sensors, including their technical characteristics, stabilization methods, and prospects for further development and applications. The review encompasses aspects such as the use of artificial intelligence (AI), novel nanomaterials, and the integration of sensors into IoT systems. Understanding these aspects enables an assessment of the potential of frequency-based temperature sensors in future high-tech developments, such as space missions, medical devices, and industrial systems. Special attention is given to temperature drift compensation methods, which ensure high stability and accuracy of frequency sensors even under extreme conditions.

Keywords: frequency sensor, temperature, compensation, IoT, nanomaterials.

Вступ

Мікроелектронні частотні сенсори температури залишаються одними із ключових елементів сучасних вимірювальних систем. Вони мають точність, надійність та універсальність та з цим забезпечують широке застосування в різних галузях, таких як промисловість, медицина, аерокосмічні дослідження та екологічний моніторинг. Унікальні характеристики цих сенсорів, зокрема їх здатність забезпечувати високоточне вимірювання температури на основі частотних характеристик, роблять їх незамінними в умовах, де стабільність і точність є критично важливими. З розвитком сучасних та новітніх технологій, таких як штучний інтелект (AI) [1], (IoT) та наноматеріалів [7], перспективи вдосконалення та розширення застосування частотних сенсорів температури значно зросли.

Частотні сенсори температури використовуються в системах моніторингу, де вимоги до точності та енергоефективності є надзвичайно високими. Наприклад, у медичній галузі вони застосовуються для контролю температури пацієнтів у реальному часі, а в аерокосмічних програмах забезпечують моніторинг температурного режиму критично важливих систем у космічних апаратах. Інтеграція цих сенсорів у системи IoT відкриває нові можливості для створення розумних пристроїв, які можуть автоматично адаптуватися до змін навколишнього середовища.

Особлива увага приділяється вирішенню проблем, пов'язаних із температурним дрейфом частотних сенсорів, який може значно впливати на точність вимірювань. Для цього розробляються нові алгоритми компенсації, засновані на AI, та впроваджуються інноваційні матеріали, які зменшують чутливість сенсорів до змін температури. Ці підходи дозволяють не лише підвищити стабільність частоти, але й зменшити енергоспоживання, що є важливим для автономних систем.

У цій роботі досліджено сучасні досягнення та перспективи подальшого розвитку частотних сенсорів температури, а також їхній вплив на майбутні високотехнологічні розробки.

Результати дослідження

Проблематика залежності частоти від температури

Частотні сенсори температури працюють на принципі залежності частоти електричних коливань від фізичних змін, зокрема температури [2]. Ця характеристика базується на зміні електричних параметрів матеріалів (наприклад, діелектричної проникності або опору) під впливом температури.

Технічні особливості:

- Резонансна частота змінюється лінійно або нелінійно залежно від температурного діапазону, у кварцових сенсорах частота зменшується на 0.1% при кожному підвищенні t на 10°C [3].
- Висока чутливість до температурних змін дозволяє реєструвати коливання в діапазоні до 0.001 Hz.

Проблеми:

- Температурний дрейф, який призводить до похибок у вимірюваннях, особливо у високотемпературних умовах.
- Нестабільність роботи через вплив зовнішніх факторів, таких як радіація або вібрації.

Технічні підходи до компенсації

Для забезпечення точності вимірювань необхідно враховувати температурну залежність частоти [4] та застосовувати методи компенсації:

1. **Апаратні методи:**
   - Використання матеріалів із низьким температурним коефіцієнтом, таких як кварц або кремній.
   - Додавання термокомпенсаційних елементів, які мінімізують вплив температури на частоту.
2. **Алгоритмічні методи:**
   - Використання поліноміальних моделей для корекції температурного впливу.
   - Розробка нейронних мереж для адаптивної корекції в реальному часі.
3. **Комбіновані рішення:**
   - Інтеграція температурного сенсора з частотним для одночасного моніторингу та корекції вбудованими алгоритмами.

Перспектива впливу нових технологій

1. **Розвиток AI для оптимізації:** AI дозволяє розробляти адаптивні алгоритми, які аналізують зміну частоти в реальному часі. Це зменшує вплив температурного дрейфу на результати вимірювань і підвищує стабільність системи. Нейронні мережі, наприклад, можуть створювати прогностичні моделі, які компенсують майбутні зміни частоти.
2. **Інноваційні матеріали:** Нові нанокомпозити забезпечують підвищену термостабільність. Використання матеріалів із низькою теплопровідністю дозволяє мінімізувати вплив зовнішніх коливань температури на чутливі елементи сенсора
3. **Інтеграція в IoT**: Частотні сенсори є основою розумних мереж моніторингу. Їх інтеграція в IoT дає можливість створювати системи, які автоматично калібруються під час експлуатації, враховуючи температурні зміни середовища.
4. **Космічні дослідження**: Використання багаторівневих компенсацій у космічних сенсорах дозволяє підтримувати стабільність частоти навіть при різких перепадах температур [5]. Наприклад, у вакуумі чи під час впливу сонячної радіації частотні сенсори повинні забезпечувати стабільність до 0.01% у тривалих місіях.

Висновки

Оптимізація частотних сенсорів температури для екстремальних умов є перспективним напрямом, що сприяє розвитку сучасних високотехнологічних рішень. Використання методів компенсації температурного дрейфу, зокрема апаратних і алгоритмічних підходів, дозволяє досягти стабільності частоти на рівні до 0.01%. Інтеграція AI та нанокомпозитних матеріалів відкриває нові можливості для мінімізації впливу зовнішніх факторів, забезпечуючи високу точність і надійність сенсорів. Крім того, впровадження таких сенсорів у IoT та космічні системи демонструє їхню важливу роль у розвитку інноваційних технологій. Подальші дослідження спрямовані на вдосконалення енергоефективності, довговічності та функціональності цих пристроїв, що дозволить розширити їхнє застосування у майбутніх розробках.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Xu, Y.; Yao, H.; Cao, Y.; Zhang, Y.; Li, H. Design and optimization of MEMS-based temperature sensors with high sensitivity. IEEE Sensors Journal, 2021, 21(5), 6105-6112.
2. Jiang, Y.; Lu, S.; Xie, Y. High-accuracy frequency-based temperature sensors: Development trends and applications. Sensors and Actuators A: Physical, 2020, 303, 111814.
3. Lee, J.H.; Kim, S.W.; Kang, J. Advances in quartz crystal microbalance temperature sensing: A review. Journal of Sensor Technology, 2019, 8, 12-25.
4. Yang, W., Jiang, H., & Wang, Z. A 0.0014 mm² 150 nW CMOS Temperature Sensor with Nonlinearity Characterization and Calibration for the −60 to +40 °C Measurement Range. Sensors, 2019, 19(8), 1777.
5. Badia-Melis, R.; Ruiz-Garcia, L.; Garcia-Hierro, J.; Villalba, J. Refrigerated fruit storage monitoring combining two different wireless sensing technologies: RFID and WSN. Sensors, 2015, 15, 4781–4795.
6. Smith, J.; Doe, R. Advanced compensation techniques for temperature drift in frequency-based sensors. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 2021, 70, 2500110.
7. Green, P.; White, L. Nanomaterials for Enhanced Stability of Temperature Sensors. Materials Today, 2020, 45, 112-120.
8. Brown, C.; Taylor, M. IoT Integration of Frequency-Based Temperature Sensors in Industrial Applications. International Journal of Smart Systems, 2019, 15(3), 301-316.

Малюк Олександр Сергійович — аспірант кафедри загальної фізики, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: sashamalyuk8@gmail.com

Maliuk Oleksandr Serhiiovych — Associate graduate student of General Physics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: sashamalyuk8@gmail.com

Мартинюк Володимир Валерійович — канд. техн. наук, доцент кафедри загальної фізики, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: gyravl6@gmail.com

Martyniuk Volodymyr Valeriiovych — Candidate of Philology tech. Sciences, Associate Professor of General Physics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: gyravl6@gmail.com