

ВПЛИВ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ВАРІАЦІЙ НА СТАБІЛЬНІСТЬ ЧАСТОТНИХ CMOS СЕНСОРІВ ТЕМПЕРАТУРИ

¹ Вінницький національний технічний університет

Анотація

У роботі досліджено вплив технологічних варіацій на стабільність частотних сенсорів температури, виготовлених за CMOS технологією. Розглянуто основні фактори, що спричиняють зміни характеристик сенсорів, зокрема варіації порогових напруг транзисторів, геометричних параметрів та паразитних ємностей. Проаналізовано методи компенсації впливу варіацій, серед яких диференційні схеми, цифрове калібрування та використання технології глибокої ізоляції підкладки. Результати моделювання показали, що застосування схем компенсації дозволяє підвищити стабільність частоти генерації до рівня ± 0.25 % у робочому діапазоні температур. Розглянуто перспективи використання таких сенсорів у системах моніторингу температури промислового та медичного призначення.

Ключові слова: CMOS сенсор температури, технологічні варіації, стабільність, частотний генератор.

Abstract

The paper investigates the impact of technological variations on the stability of frequency-based CMOS temperature sensors. Key influencing factors such as threshold voltage shifts, geometric mismatches, and parasitic capacitances are analyzed. Compensation methods including differential architectures, digital calibration, and deep-well isolation techniques are discussed. Simulation results show that compensation schemes can improve frequency stability to within ± 0.25 % across the temperature range. The prospects of using such sensors in industrial and biomedical temperature monitoring systems are considered.

Keywords: CMOS temperature sensor, technological variations, stability, frequency generator, calibration.

Вступ

Розвиток мікроелектронних технологій зумовив широке застосування частотно-залежних сенсорів температури, які характеризуються високою точністю, компактністю та енергоефективністю. Однак у процесі виготовлення мікросхем виникають технологічні варіації, що впливають на параметри транзисторів і пасивних елементів. Ці варіації призводять до відхилень у характеристиках сенсорів, зокрема до зміни частоти генерації, температурного коефіцієнта та похибки вимірювання. Вплив таких відхилень є особливо помітним у пристроях, що працюють у широкому температурному діапазоні або використовуються в медичних приладах, де стабільність вимірювань має критичне значення [1].

Результати дослідження

Технологічні варіації

Технологічні варіації у CMOS процесах можуть бути спричинені неточністю фотолітографії, коливаннями товщини оксидного шару, варіаціями допущення та геометричними відхиленнями каналів транзисторів [2]. Такі фактори впливають на порогову напругу, коефіцієнт підсилення та паразитні ємності. Зміна цих параметрів безпосередньо відображається на стабільності частоти генерації у сенсорах, що побудовані на кільцевих генераторах або RC-структурах.

Методи компенсації

Для мінімізації впливу технологічних варіацій застосовуються різні схеми компенсації [3]. До найефективніших належать диференційні структури, які забезпечують симетрію сигналів та зменшують вплив паразитних параметрів. Також використовується цифрове калібрування, що дозволяє коригувати відхилення частоти в процесі експлуатації сенсора. Перспективним напрямом є впровадження глибокої ізоляції підкладки, що дозволяє усунути паразитні струми та підвищити точність при високих температурах [4].

Моделювання

Моделювання проводилось у середовищі Cadence Virtuoso для технологічного процесу 130 нм.

Розрахунки показали, що при варіаціях порогової напруги ± 10 % частота генерації змінюється в межах ± 3 %. Після впровадження цифрової компенсації це відхилення було зменшено до ± 0.25 %. Додатково встановлено, що впровадження стабілізатора живлення дозволяє підвищити термостабільність на 18 %, а використання каскадної архітектури – зменшити шумову складову на 21 % [5].

Висновки

Проведене дослідження показало, що технологічні варіації мають істотний вплив на стабільність частотних CMOS сенсорів температури. Оптимізація структури, впровадження цифрової компенсації та використання глибокої ізоляції підкладки дозволяють забезпечити стабільність частоти генерації на рівні ± 0.25 %. Отримані результати свідчать про перспективність застосування таких сенсорів у системах моніторингу температури, особливо у промислових і медичних пристроях, де важливі компактність та довготривала стабільність роботи.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. El-Zarif N., Rizk M., Nawaf F. Calibration of ring oscillator-based integrated temperature sensors for power management systems. Sensors. – 2024. – Vol. 24, No. 2. – P. 440. DOI: <https://doi.org/10.3390/s24020440>.
2. Rinaldi, N. et al. A 4H-SiC CMOS Oscillator-Based Temperature Sensor Operating from 298 K up to 573 K. Sensors, 2023, 23(24), 9653. DOI: <https://doi.org/10.3390/s23249653>
3. Xu, Z. et al. A Temperature-to-Frequency Converter-Based On-Chip Temperature Sensor with an Inaccuracy of $+0.65$ $^{\circ}\text{C}/-0.49$ $^{\circ}\text{C}$. Micromachines, 2023. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10255605/>
4. Meng, T., Xu, C. A Cross-Coupled-Structure-Based Temperature Sensor with Reduced Process Variation Sensitivity. Journal of Semiconductors, 2009, 30(4), 045002. DOI: <https://doi.org/10.1088/1674-4926/30/4/045002>
5. Lau, Y.Y. et al. A Trimming-Free, Sub-1 μW CMOS Smart Temperature Sensor for IoT Applications. IEEE Sensors Journal, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1109/JSEN.2022.3225870>

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: gyrav16@gmail.com

Martyniuk Volodymyr Valeriiovych — Candidate of Philology tech. Sciences, Associate Professor of General Physics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: gyrav16@gmail.com