**Малюк Олександр Сергійович,** *аспірант,*

 *Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця*

**Науковий керівник: Мартинюк Володимир Валерійович***, кандидат технічних наук, доцент*

*Вінницький національний технічний університет, м.Вінниця*

ДАВАЧ ТЕМПЕРАТУРИ НА ОСНОВІ ПЕРЕТВОРЕННЯ ТЕМПЕРАТУРИ В ЧАСТОТУ З ПОХИБКОЮ +0.*65 ◦C* / – 0.*49 ◦C*

Необхідність вимірювання температури в різних умовах передувало постійному розвитку технологій задля отримання якісних показників даної фізичної величини. Основним елементом для вимірювання температури є якісний давач. Це дало змогу зменшити розміри, собівартість, похибку сенсорів та збільшити сфери їх використання шляхом зменшення впливу зовнішніх чинників та покращення якісних метрологічних характеристик.

Пропонується розглянути схему та принцип роботи давача температури з температурно-частотним режимом перетворення, який може зменшити вплив деяких змінних перешкод, таких як напруга живлення і відхилення процесу вимірювання до певної міри через подвійну архітектуру процесу вимірювання температури з тією ж структурою. Сенсори температури CMOS мають низьку точність і чутливі до перепадів напруги, якщо зовнішні модулі, такі як регулятори з низьким падінням (LDO) не використовуються в свій структурі. Тому ця архітектура є одним із рішень розглядати PV (напруга процесу) характеристики температури CMOS у часових областях давача. Давач температури може досягати діапазону вимірювання температури 0–100 ◦C і після двоточкового калібрування похибка становить +0,65 ◦C/−0,49 ◦C, роздільна здатність становить 0,003 ◦C, площа 0,059 мм2 , а потужність становить 32,9 мкВт.

На рисунку 1 зображено блок-схему принципу сенсора температури на кристалі. Сенсор температури складається з ланцюга генерування струму, який пропорційний абсолютній температурі, осцилятор релаксації з частотою коливань, який пропорційний температурі (OSC-PTAT), осцилятор релаксації з незалежною частотою коливань температури (OSC-CON) і схему частотно-цифрового перетворювача. Струм PTAT генерується схемою давача температури та використовується для заряджання OSC-CON і модулів OSC-PTAT. Модуль OSC-CON створює незалежний еталонний сигнал температури, тоді як модуль OSC-PTAT генерує тактовий сигнал із частотою, який пропорційний температурі. Два цифрові перетворювача підраховують сигнали, створені двома модулями відповідно. Обидва частотно-цифрові перетворювачі керуються сигналом для одночасного підрахунку. Коли цифровий перетворювач модуля OSC-CON досягає свого максимального значення, він припиняє підрахунок і запускає цифровий перетворювач. Модуль OSC-PTAT також зупиняє підрахунок. У цей момент OSC-PTAT виводить двійковий код, пропорційний температурі.



Рисунок 1 - Блок-схема принципу вимірювання температури датчика температури

# Давач температури передає показник температури, спостерігаючи за характеристикою напруги з’єднання BJT із зміною температури. Використання BJT як модуля сенсору температури має переваги високої точності та високої роздільної здатності. Як показано на рисунку 2, PNP тріоди, $Q\_{0}$ і$ Q\_{1}$, підключені як діоди, оскільки кількість паралельних транзисторів у двох PNP транзисторах різна, напруга на $Q\_{1}$ дорівнює$ V\_{D}$, напруга на $Q\_{1}$ дорівнює$ V\_{D1}$, а напруга на резисторі $R\_{0}$— це різниця двох напруг PNP транзисторів, ∆VBE, яку можна обчислити за формулою (2). Це напруга, пропорційна температурі, і ∆VBE, поділений на$ R\_{0}$, дає струм, пропорційний температурі. У таблиці 1 наведено параметри CMOS схеми генерації струму PTAT.

# $V\_{T}= \frac{kT}{q}$ 1)

# $∆V\_{BE}=V\_{D}- V\_{D1}=V\_{T}lnln \left(\frac{I\_{c}}{I\_{s}}\right) -V\_{T}ln\left(\frac{I\_{c}}{nI\_{s}}\right)=V\_{T}lnln \left(n\right) =\frac{kT}{q}lnln \left(n\right) $ 2)

#  $I\_{PTAT}= \frac{KT}{qR\_{0}}ln⁡(n)$ 3)

# C:\Users\sasha\Downloads\sensors-23-05169-g002.jpg

#  Рисунок 2 – Електрична схема PTAT температурного давача

# Таблиця 1. Параметри CMOS транзисторів в електричному колі PTAT

| CMOS параметри |
| --- |
| Позначення | $W(μm)/L(μm$ | Покажчик | Множник |
| $M\_{1}, M\_{2}$ | 1/4 | 1 | 2 |
| $M\_{3}, M\_{4},M\_{5},M\_{6 }, M\_{9}, M\_{10}$ | 2/4 | 1 | 2 |
| $M\_{7}, M\_{8},M\_{11},M\_{12 }$ | 2/4 | 1 | 8 |

#

# Для прикладу q позначено як електричний заряд, k — стала Больцмана, $I\_{C}$ та $I\_{S} $— відповідно колекторний і накопичувальний струм PNP, Т – абсолютна температура та n представляє кількість транзисторів, підключених паралельно $Q\_{1}$. Щоб досягти схеми узгодження, схему було розроблено для прикладу з n = 8.

# Загальні методи коливань включають кварцові генератори, традиційні RC-генератори, традиційні генератори, які використовують струм PTAT для заряджання та розряджання конденсаторів для коливань, еталонні кільцеві осцилятори, еталонні релаксаційні осцилятори та гібридні осцилятори із зворотним зв’язком утримання піку як релаксаційного, так і кільцевого типів.

# Проте всі перераховані вище коливальні методи мають певні недоліки. Частоти, що генеруються кристалічними осциляторами, мають високу точність, але вони є дуже дорогими і не можуть бути інтегровані у мікросхему. Зміна частоти коливань, викликана структурою схеми традиційних RC-генераторів, традиційних генераторів, які використовують струм PTAT для заряджання та розряджання конденсаторів для коливань, кільцевих генераторів із забороненою зоною, еталонні релаксаційні осцилятори забороненої зони та гібридні осцилятори зі зворотним зв'язком утримання піку як релаксаційні, так і кільцевих типів перевищує ±1% при зміні напруги та температури.

# У традиційних схемах генераторів, які використовують струм PTAT для заряджання та розряджання конденсаторів для досягнення коливань, виникають затримки $t\_{d}$ компараторів і тригерів $R\_{S}$ у змінах частоти щодо напруги та температури. Старіння джерел струму може погіршити точність нахилу $V\_{OSC}$ і викликати зміни частоти. Шум мерехтіння джерел струму накопичує джиттер. Найбільш оптимальним варіантом для усунення цих проблем є структура осциляторів із $V\_{AF}$, який реалізує коливання шляхом заряджання та розрядження конденсаторів струмом PTAT, який регулює вихідну напругу $V\_{C} $схеми $V\_{AF}$ на основі величини часу затримки $t\_{d}$ компараторів і $R\_{S}$ тригерів, таким чином можна досягти стабільності генератора незалежно від затримки компаратора та тригера $R\_{S}$, а також усунення кумулятивного тремтіння в схемі. Коли температура змінюється від 0 до 100 ◦C, вихідна частота генератора змінюється на 0,08%, тим самим покращуючи стабільність частоти релаксаційного генератора.

# Висновок. Було розглянуто схему температурного-частотного давача, розглянуто блок-схему та електричну схему, наведені формули для розрахунку показників та таблиця з параметрами CMOS- транзисторів, також було розглянуто переваги та недоліки загальних методів коливань та вибрано найбільш оптимальні з меншими похибками.

**Література**

# A Temperature-to-Frequency Converter-Based On-Chip Temperature Sensor with an Inaccuracy of +0.65 °C/-0.49 °C – URL: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37299896/

1. O’Shaughnessy, T. A CMOS, Self Calibrating, 100 MHz RC-Oscillator for ASIC Applications. In Proceedings of the Eighth International Application Specific Integrated Circuits Conference, Austin, TX, USA, 18–22 September 1995; IEEE: Austin, TX, USA, 1995; pp. 279–282.
2. Xie, S.; Theuwissen, A. All-MOS Self-referenced Temperature Sensor. Electron. Lett. 2019, 55, 1045–1047