**Розробка цифрового термометру**

ЗАВДАННЯ НА КУРСОВУ РОБОТУ

Назва курсової роботи - *Цифровий термометр*

Вихідні дані: *фізична величина – температура;*

*діапазон вимірювання від 300 до 2100 оК ;*

*похибка – 0,5%;*

*тип засобу вимірювання – цифровий термометр;*

*тип вимірювального перетворювача – п’єзо;*

*тип АЦП – цифровий частотомір середніх значень;*

Зміст графічної частини: *функціональна схема цифрового термометра*

Зміст пояснювальної записки: *вступ, огляд первинних перетворювачів вимірюваної фізичної величини, розробка структурної схеми АЦП, розробка функціональної схеми цифрового термометра, висновки, література, додаток.*

ВСТУП

В число величин, одиниці яких покладені в основу Міжнародної системи одиниць СІ, входить також термодинамічна температура, яку позначають символом Т і виражають в кельвінах (позначення К). Найменування дано по імені англійського вченого В.Кельвіна (1824-1907).

Кельвін – одиниця термодинамічної температури – 1/273,16 частина термодинамічної температури тройної точки води.

Кельвін як одиниця температурного інтервалу дорівнює 1/273,16 частини інтервалу термодинамічної температури між абсолютним нулем і тройною точкою води.

Тройна точка води – точка рівноваги води в твердому, рідкому і газоподібному стані.

В термодинамічній температурній шкалі нижньою межею являється абсо-лютний нуль температури (0 К) і основною реперною точкою – тройна точка води (273,15 К). Позначається Т. Вважається, що при такій температурі припи-няється тепловий рух частинок, з яких складається тіло.

Абсолютний нуль за міжнародною шкалою дорівнює –273,15 оС (Цельсія).

Цельсій А. (1701-1744) – шведський астроном і фізик, який запропонував температурну шкалу, в якій 1 градус (1 оС) дорівнює 1/100 різниці температур кипіння води і танення льоду при атмосферному тиску. Позначається t oC.

Температурні шкали Кельвіна і Цельсія пов’язані формулою

*Т = (*273,15 *+ t)K.*

1. ОГЛЯД ПЕРВИННИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ВИМІРЮВАНОЇ ФІЗИЧНОЇ ВЕЛИЧИНИ

* 1. Державні еталони температур

Для точного здійснення термодинамічної температурної шкали викорис-товують еталонні газові термометри.

Азотний газовий термометр постійного об’єму створений для визначення термодинамічної температури деяких реперних точок. Прилад має платиноіридієвий резервуар місткістю 0,2 дм3 і призначений для роботи в області високих температур. Відношення вредного об’єму термометра до місткості робочого резервуару складає 0,02.Тиск газу вимірюється ртутним манометром. Похибка вимірювання термодинамічної температури в точці плавлення льоду ±0,013 К, в точці плавлення золота ±0,2 К.

В інших газових термометрах для вимірювання температур від 90 до 1373К використовується спеціально розроблена роздільна камера, яка являє собою нульовий мембранний манометр, похибка якого не перевищує ±0,13 Па. Використання роздільної камери дає газовому термометру ряд метрологічних переваг, основні з яких – захист робочого газу від забруднення ртуттю і забезпечення умов для підвищення точності основного манометра газового термометра. В газовому термометрі використовуються кварцеві резервуари, заповнені чистим азотом. Похибка вимірювання термодинамічної температури газовим термометром в точці плавлення цинку ± 0,02 К.

Державний первинний еталон одиниці температури – кельвіна – в діапазоні температур 273,15 – 2800 К складається із комплекса засобів вимірювання, до якого входять:

а) апаратура для здійснення реперних точок: тройної точки води, точки кипіння, точки затвердіння олова, точки затвердіння цинку, точки затвердіння срібла, точки затвердіння золота;

б) платинових термометрів опору, температурних ламп і фотоелектричної апаратури.

Похибка еталону складає від 0,0002 К в тройній точці води до 0,1- 0,4 К в області високих температур.

В діапазоні від 630,74 до 1064,43 оС еталоном служить платино-платинородієва термопара.

Температуру вище 1064,43 оС визначають із співвідношення спектральної енергетичної яркості випромінювання абсолютно чорного тіла при даній температурі до спектральної енергетичної яркості випромінювання при тем-пературі застигання золота при тій же довжині хвилі.

1.2 Термоелектричні перетворювачі

Термоелектричними перетворювачами є термопари.

Термопара – термочутливий елемент в пристроях для вимірювання температури, системах управління і контролю. Складається з двох послідовно з’єднаних (спаяних) між собою різнорідних провідників або напівпровідників. Якщо спай знаходиться при різних температурах, то в колі термопари виникає термое.р.с., величина якої однозначно пов’язана з різницею температур “гарячого” і “холодного” електродів. Вільні кінці термоелектродів підмикають до вимірювального приладу або до підсилювача напруги.

Для вимірювання термое.р.с., яку розвиває термопара, в її коло вмикають вимірювальний прилад. На рисунку 1.1 зображено основні схеми увімкнення термопар. Найчастіше застосовують схему, зображену на рисунку 1.1,а. Диференціальну термопару використовують для вимірювання різниці темпе-ратур (рисунок 1.1,б).

Діапазон вимірювання температур термопарами: від температур близьких до “абсолютного нуля” до кількох тисяч градусів.

mV

mV

а) б)

 Рисунок 1.1 – Схема увімкнення вимірювального приладу в холодний

спай а) і диференційна схема б)

1.3 Термометри опору

Термометри опору – прилади для вимірювання температури, дія яких основана на зміні електричного опору металів і напівпровідників від зміни температури. Термометри опору складаються із термоперетворювача (терморезистора або як і ще їх називають термістора), защитного чохла і з’єднувальної головки. Чутливий елемент металевого термометра опору являє собою обмотку на теплостійкому ізольованому каркасі із тонкої мідної, платинової, вольфрамової або молібденової проволки.

 Діапазон вимірювання температур металевих термометрів опору типу ТСП від мінус 200 до плюс 650 оС, а типу ТСМ від мінус 50 до плюс 180 оС.

Чутливий елемент напівпровідникового термометрів опору виконаний у вигляді шайби або бусинки із напівпровідникового металу (мідно-маргенцеві, кобальто-маргенцеві порошки з добавками). Наприклад, КМТ-14, ТР-9, СТ1-19.

 Термометри опору частіше всього включають в зрівноважену мостову схему (рисунок 1.2).

R

Rt

R2

R1

 U

 Рисунок 1.2 – Мостова схема включення термометра опору

 Зрівноваження моста здійснюється за допомогою потенціометра R, шкала якого проградуйована в значеннях температури. При вимірюванні, потенціомет-ром *R* добиваються нульового положення гальванометра, яке наступить в момент рівноваги мостової схеми

*Rt · R2 = R · R1 .* (1.1)

Недоліком одинарної мостової схеми є додаткова похибка, яка вноситься опорами провідників, якими термометр опору підключається до мостової схеми.

При зміні температури навколишнього середовища змінюється і опір цих провідників, що не дає можливості компенсувати вказану похибку. Для зниження цієї похибки використовують трипровідну схему підключення термометрів опору. В цьому випадку опори проводів виявляються не в одному, а в різних плечах моста і тому їх вплив суттєво зменшується. При симетрії моста їх опори віднімаються.

1.4 П’єзоелектричні термоперетворювачі

Принцип дії п’єзоелектричних перетворювачів грунтується на явищі п’єзо-електричного ефекту. Якщо на грані діалектрика діє механічна напруга *Р*, то на них утворюються електричні заряди. Це явище називають прямим п’єзоефектом. Якщо на грані діалектрика діє зовнішне електричне поле, то діалектрик нако-пичує механічну деформацію; це явище називається зворотнім п’єзоефектом.

Відповідні термоперетворювачі засновані на використанні прямого п’єзо-електричного ефекту, що полягає у виникненні електричних зарядів на поверхні деяких кристалів (кварцу, сегнетової солі та ін.) під дією механічних напруг [4].

При вимірюванні температури, знаходять застосування п’єзорезонатори, в яких використовується одночасно прямий і зворотний п’єзоефекти. Останній полягає в тому, що якщо на електроди перетворювача подати змінну напругу, то в п’єзочутливому елементі (пластині) виникнуть механічні коливання, частота яких *fp* (резонансна частота) залежить від товщини пластини, модуля упругості, густини її матеріалу. При включенні такого перетворювача в резонансний контур генератора частоти, частота генерованих електричних коливань *ft*буде зале-жати від температури.

З урахуванням вище сказанного, можна записати рівняння перетворення п’єзоелектричного термоперетворювача

*ft = fp + S tx,* (1.2)

де *fp*– частота генерованих коливань при температурі *t* = 0 oC складає в середньому 1 кГц;

*S* – чутливість термоперетворювача, яка може досягати 1000 Гц/К;

*t* – вимірювана температура.

 Таким чином можна навести якісну статичну характеристику п’єзоелект-ричного термоперетворювача (рисунок 1.3).

Вказані п’єзоелектричні термоперетворювачі можуть функціонувати в широкому діапазоні температур, мають порівняно високу точність, що пояснюється високою стабільністю параметрів перетворювача і високими метро-логічними характеристиками вимірювачів частоти.

До того ж п’єзоелектричні термоперетворювачі в порівнянні з термо-метрами опору і термопарами мають високу швидкодію (до кількох вимірів за секунду). Тоді як інерційність останніх складає десятки секунд.

 *f*

*fx = F(tx)*

*fp*

t

Рисунок 1.3 – Якісна статична характеристика п’єзоелектричного термоперетворювача

Недоліком таких перетворювачів є обмежена взаємозамінюваність, що пояснюється розкидом параметрів *f0* i *S*. Враховуючи сказане та умову курсової роботи виберемо для побудови цифрового термометра п’єзоелектричний вимірювальний термоперетворювач. Оскільки вихідною величиною п’єзоелектричного термоперетворювача є частота, а вказаний діапазон температур (300 – 2100 К) визиває високу частоту коливань, то в якості аналого-цифрового перетворювача (АЦП) доцільно вибрати цифровий частотомір середніх значень.

2. РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ АЦП

Принцип дії цих АЦП грунтується на підрахунку імпульсів, частота слідування яких *f* пропорційна вимірюваній величині за чітко визначений інтервал часу *Т0* [2]. *Т0* – ще називають зразковим часовим інтервалом.

Структурна схема цифрового частотоміра середніх значень наведена на рисунку 2.1 , а часові діаграми роботи – на рисунку 2.2.

 SW

 1

 G

 ЛТ

 3

 000

 F

 1

 *N*

 *fx*

S T

R

 SW

 2

 ПЧ

 Пуск

 ВП

*T0*

*fкв*

F – формувач імпульсів; Т – RS-тригер; SW1 i SW2 – схеми збігу; G – генератор стабільної частоти, ПЧ – подільник частоти; ЛТ – лічильник; ВП – відліковий пристрій

 Рисунок 2.1 - Структурна схема цифрового частотоміра середніх значень

Схема починає працювати за командою “Пуск”, яка встановлює тригер Т у стан логічної одиниці і таким чином відкриває схеми збігу SW1 і SW2. Імпульси, які слідують із частотою *fx* через формувач F і відкриту схему збігу SW1, надходять на вхід двійкового лічильника ЛТ, який їх підраховує. В цей самий момент часу через відкриту схему збігу SW2 імпульси зразкової частоти *f0* з виходу генератора G надходять на вхід подільника частоти ПЧ.

 *U*

*Тх = 1/fх*

 1

*T0*

 *t*

 *Пуск*

2 *t*

3 *t*

Рисунок 2.2 - Часові діаграми роботи частотоміра середніх значень

Коефіцієнт поділу подільника розраховують з урахуванням забезпечення потрібного часового інтервалу *Т0*. Після закінчення зразкового часового інтервалу заднім фронтом імпульсу *T0* тригерT встановлюється у стан логічного нуля, що закриває схеми збігу SW1 і SW2 і в лічильнику фіксується двійковий код *N*

*N = = T0 fx ,* (2.1)

Де *T0* – зразковий часовий інтервал;

 *fx –* вимірювана частота.

Дана рівність є рівнянням перетворення частотоміра, оскільки вона характеризує, яким чином пов’язані між собою вихідна *N* і вхідна вимірювана величина *fx*.

З рівнянням перетворення частотоміра випливає, що число імпульсів пропорційне частоті *fx* і статична характеристика лінійна (рисунок 2.3).

*Nx*

*fx*

Рисунок 2.3 - Статична характеристика частотоміра

Рівняння похибки цифрового частотоміра середніх значень буде мати вигляд

*δ = 1/N* = , (2.2)

тому залежність похибки квантування від частоти *fx* буде нелінійною (рисунок2.4).

*δ*

*fx*

Рисунок 2.4 - Залежність похибки квантування від частоти *fx*

Аналіз рівняння похибки показує, що можливими шляхами зменшення похибки є збільшення зразкового часового інтервалу Т0 і вимірюваної частоти fx . Але збільшення Т0 приведе до збільшення часу вимірювання, що знизить швид-кодію. Оскільки похибка квантування зменшується із збільшенням вимірюваної частоти, то такі частотоміри ефективні в області середніх і високих частот (від одиниць кілогерц до десятків мегагерц).

3. РОЗРОБКА ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СХЕМИ ЦИФРОВОГО ТЕРМОМЕТРА

Даний цифровий термометр представляє собою сукупність п’єзоелект-ричного термоперетворювача включеного в схему цифрового частотоміра середніх значень.

Розрахуємо параметри схеми.

Для отримання рівняння перетворення цифрового термометра в рівняння (2.1) замість *fx* підставимо *ft* з (1.2)

*Nt = T0 fx = T0 (fp + S tx),* (3.1)

З урахуванням рівняння (2.2) похибка квантування термометра буде мати вигляд

*δ =* 1*/Nt* = , (3.2)

З рівняння похибки квантування (3.2) і даних п.1.4 визначимо зразковий часовий інтервал *T0* на виході зразкової міри часу. Він повинен бути більший періода *Ttx* тому тут підставлямо значення *ft min = fp + S tx min*

*T0 =* , (3.3)

*T0 =* ,

Частоту квантування на виході імпульсного генератора G вибирають таку, щоб

*Tкв <<T0 .*

Частіше всього вибирають генератор з частотою *fкв* = 1 МГц.

Виходячи з рівняння (3.3) нижня межа вимірювання визначиться так

*tx min*= (3.4)



Верхня межа вимірювання визначається значенням максимальної ємності двійкового лічильника *Nmax.*

 З рівняння (3.1)

*Nmax = T0 fxmax = T0 (fp + S txmax)* (3.5)

*Nmax =* 6,6·10-4 (103+ 103 ·2100) = 1,4·103.

 З врахуванням того, що *Nmax* = 2n, верхня межа вимірювання визначиться так

 *tx max* = (3.6)

 де *n* – розрядність двійкового лічильника.

 Розрядність *n*, яка необхідна для реалізації двійкового лічильника визначимо за формулою

*n = lоg2 Nmax* ≈ 10.

ВИСНОВКИ

 В курсовій роботі проведено огляд державних еталонів температур, первинних вимірювальних перетворювачів температури (термопари, термометри опору, п’єзоелектричні термоперетворювачі) і в якості вимірювального пере-творювача вибрано п’єзоелектричний термоперетворювач, оскільки він задо-вільняє умові завдання на розробку.

В якості аналого-цифрового перетворюваача вибрано цифровий частотомір середніх значень, описано його роботу і проведено розрахунок основних параметрів схеми:

* частоту *f0* генератора зразкової частоти;
* верхню *tx max* і нижню *tx msn* межу вимірювання;
* розрядність *n* двійкового лічильника;
* похибку квантування δK .

ЛІТЕРАТУРА

1. Электрические измерения электрических и неэлектрических величин. Под ред. Е.С. Полищука.-К.: Вища шк. Головное изд-во, 1984.

2. Поджаренко В.О., Кухарчук В.В. Вимірювання і комп’ютерно- вимірювальна техніка.-К.:НМК ВО, 1991.

3. Автоматические измерения и приборы (аналоговые и цифровые) / П.П.Орнатский.- К.: Вища шк., 1986.

4 Поджаренко В.О. та ін. Метрологія та вимірювальна техніка. Для самостійної роботи студентів та виконання курсових робіт. / Вінниця: ВДТУ, 2000 – 65с.