

УДК 546.261

О.В.Дудік

Луцький національний технічний університет

## **ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ БАГАТОКАНАЛЬНИХ АЦП ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ВИМІРЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ В ІНЕРЦІЙНИХ ТЕПЛОВИХ ОБ'ЄКТАХ**

*Дослідження можливості застосування багатоканальних АЦП для підвищення точності вимірювання температури в інерційних теплових об'єктах за рахунок покращення роздільної здатності та зменшення похибки вимірювання. В роботі проведено дослідження підключення багатоканальних АЦП до мостових схем (двох повних мостових та модифікованої мостової схем) вимірювання температури об'єктів за допомогою датчиків опору.*

Ключові слова : *роздільна здатність, аналогово-цифровий перетворювач, мостова схема, датчик опору.*

У зв'язку з бурхливим розвитком інформаційних технологій сьогодні все більше уваги приділяється точності вимірювання температури в об'єктах за допомогою цифрових пристроїв. З поняттям точності безпосередньо пов'язана роздільна здатність приладів регулювання. Саме від цих двох важливих характеристик зазвичай залежать правильність та адекватність дій автоматизованої інформаційної системи.

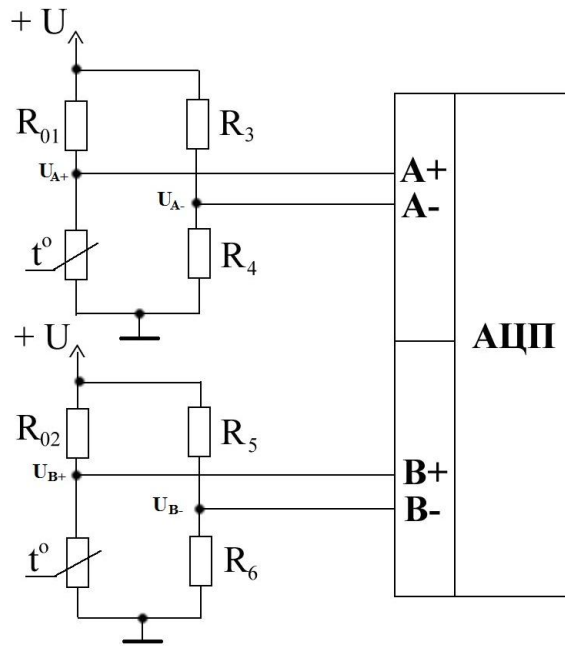
При нагріванні чи охолодженні об'єктів також важливо дотримуватись певних заданих температур власне об'єкту з допустимою похибкою та керувати ввімкненням-вимкненням нагрівача елемента термосистеми. Тому актуальною є проблема зменшення похибки вимірювання температури з одночасним здешевленням самої автоматизованої системи терморегуляції.

Як правило проблема покращення роздільної здатності вирішувалась лише через збільшення розрядності АЦП (перетворення напруг аналогово-цифровим перетворювачем, що відповідають певним значенням температури, яка вимірюється за допомогою датчика опору), а також використовувалась одна повна мостова схема.

Основними цілями (завданнями) даної статті є :

1) Підтвердження гіпотези про те, що використання модифікованої мостової схеми у поєднанні з недорогими багатоканальними АЦП невеликої розрядності дають економічну перевагу в порівнянні з простим використанням дорожчих АЦП з більшою розрядністю, а також зменшують відносну похибку вимірювання через покращення роздільної здатності, а отже, зменшують і похибку підтримання необхідної температури автоматизованою системою терморегуляції.

2) Визначення економічної ефективності на конкретному прикладі.

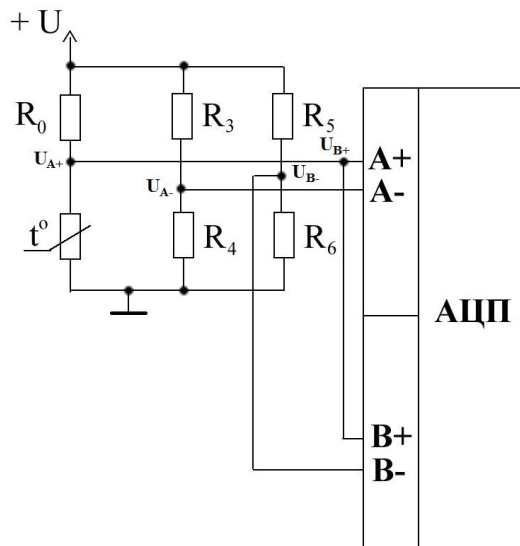


Мал.1.1. Дві мостові схеми та двоканальний ЦАП

Роздільна здатність – це величина, що визначається відношенням досліджуваного діапазону значень деякої характеристики до кількості можливих вихідних значень. Або що те саме, роздільна здатність – це величина, яка показує, наскільки відрізняються два сусідні можливі значення характеристики з певного діапазону.

Абсолютна похибка вимірювання – це величина, яка показує різницю між реальним і вимірним значеннями величини.

Відносна похибка вимірювання – це величина, що визначається з відношення абсолютної похибки вимірювання до реального значення величини.



Мал.1.2. Вдосконалена мостова схема та двоканальний АЦП

В основу вдосконаленої схеми покладено суміщення двох мостових схем в одну зі спільними датчиком опору, джерелом живлення і налаштовувальним резистором  $R_0$ .

Суть удосконалення полягає у можливості заміни резисторів  $R_{01}$  та  $R_{02}$  з малюнку 1.1, які орієнтовані на встановлення діапазонів напруг для контрольних точок температури датчика, на резистори  $R_4$  та  $R_6$  на малюнку 1.2. Резистор  $R_0$  суміщає

одинакові резистори  $R_4$  та  $R_6$  з малюнку 1.1. Інші два резистори є також однаковими і рівні  $R_0$ .

У схемі малюнку 1.1 кожна частина схеми зі своїм датчиком опору відповідає за визначення вихідної напруги, що еквівалентна вимірюваній температурі на певному діапазоні. На малюнку 1.2 всі вимірювання проводяться теж по двох діапазонах, проте з одним датчиком опору.

Запишемо вимірювані напруги для двох схем малюнків 1.1 та 1.2, позначивши змінні, що стосуються другої схеми зірочкою:

Канал А малюнку 1.1.

$$U_{A+} = \frac{U_{\text{жс}}}{R_{t^0} + R_{01}} \cdot R_{t^0} \quad (1.1)$$

$$U_{A-} = \frac{U_{\text{жс}}}{R_3 + R_4} \cdot R_4 \quad (1.2)$$

$$\Delta U_A = U_{A+} - U_{A-} = U_{\text{жс}} \cdot \left( \frac{R_{t^0}(R_3 + R_4) - R_4(R_{t^0} + R_{01})}{(R_{t^0} + R_{01})(R_3 + R_4)} \right) \quad (1.3)$$

Канал В малюнку 1.1.

$$U_{B+} = \frac{U_{\text{жс}}}{R_{t^0} + R_{02}} \cdot R_{t^0} \quad (1.4)$$

$$U_{B-} = \frac{U_{\text{жс}}}{R_5 + R_6} \cdot R_6 \quad (1.5)$$

$$\Delta U_B = U_{B+} - U_{B-} = U_{\text{жс}} \cdot \left( \frac{R_{t^0}(R_5 + R_6) - R_6(R_{t^0} + R_{02})}{(R_{t^0} + R_{02})(R_5 + R_6)} \right) \quad (1.6)$$

Канал А малюнку 2.1.

$$U_{A+}^* = \frac{U_{\text{жс}}^*}{R_{t^0}^* + R_0^*} \cdot R_{t^0}^* \quad (2.1)$$

$$U_{A-}^* = \frac{U_{\text{жс}}^*}{R_3^* + R_4^*} \cdot R_4^* \quad (2.2)$$

$$\Delta U_A^* = U_{A+}^* - U_{A-}^* = U_{\text{жс}}^* \cdot \left( \frac{R_{t^0}^*(R_3^* + R_4^*) - R_4^*(R_{t^0}^* + R_0^*)}{(R_{t^0}^* + R_0^*)(R_3^* + R_4^*)} \right) \quad (2.3)$$

Канал В малюнку 2.1.

$$U_{B+}^* = \frac{U_{\text{жс}}^*}{R_{t^0}^* + R_0^*} \cdot R_{t^0}^* \quad (2.4)$$

$$U_{B-}^* = \frac{U_{\text{жс}}^*}{R_5^* + R_6^*} \cdot R_6^* \quad (2.5)$$

$$\Delta U_B^* = U_{B+}^* - U_{B-}^* = U_{\text{жс}}^* \cdot \left( \frac{R_{t^0}^*(R_5^* + R_6^*) - R_6^*(R_{t^0}^* + R_0^*)}{(R_{t^0}^* + R_0^*)(R_5^* + R_6^*)} \right) \quad (2.6)$$

Звідси матимемо:

$$R_{01} = R_4^*, R_{02} = R_6^*, R_4 = R_6 = R_0^*, R_3 = R_5 = R_3^* = R_5^*$$

Приклад розрахунку параметрів мостової схеми та використання АЦП з двома каналами А та В.

Вибираємо аналогово-цифровий перетворювач **AD7705**, який містить два канали з біполярними входами. Розрядність АЦП забезпечує вихідні сигнали від 0 до  $2^{16}-1$ .

Напруга живлення  $+U$ , яка подається на мостову схему складатиме 2,5 В. Перевагою електронної структури, яка зображена на мал.1.2 є той факт, що напруга живлення мостової схеми співпадатиме з опорною напругою  $U_{ref} + u$  АЦП. Тобто матимемо лише одне джерело зразкової напруги. Відповідно до цього не використовуватиметься ще одне джерело живлення і сигнали з мостової схеми на канали будуть синхронізовані з опорною напругою. У АЦП також вбудований програмований підсилювач, оскільки значення напруги, що знімаються каналами вимірюється десятками та сотнями мілівольт і не перекривають усю розрядну сітку в 2,5 В. Коефіцієнти підсилення можна вибирати зі значень 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128 і т.д.

Датчик опору (терморезистор) виберемо **ТСП-100** (платиновий). Його опір при певних значеннях температури наведені у таблиці 1.1.

Таблиця 1.1

t, °C	R, Ом
0	100
50	119,7
100	139,1
200	177,05

Залежність опору даного датчика від температури є нелінійною. Опір резистора  $R_0$  повинен бути вибраний таким чином, щоб струм, що проходить через датчик не був більшим 1мА, в крайньому випадку 2 мА. Інакше це спричинить певний вплив на роботу терморезистора, оскільки через розсіювану потужність виділятиметься тепло.

Аналітична формула для визначення опору резистора  $R_0$  матиме вигляд нерівності :

$$\frac{U - I_1 \cdot R_{t^0}}{I_1} \leq R_0, \quad (3.1)$$

де  $R_{t^0}$  – опір терморезистора при температурі 0°C.

Підставимо наявні значення величин для нашого випадку :

$$(2,5 \text{ В} - 1\text{мА} \times 0,1\text{кОм})/1\text{мА} = 2,4 \text{ кОм}.$$

Звідси випливає, що необхідно брати значення опору дещо більше, ніж 2,4 кОм.

Проте для того, щоб мати близьке значення струму до необхідного виберемо значення для резистора  $R_0$  з ряду номінальних значень для суперпрецизійних резисторів **E192**. Візьмемо 2,32 кОм. Значення струму при цьому буде дещо більшим 1 мА і становитиме 1,073 мА.

Після вибору резистора  $R_0$  найлегшим і найпростішим способом підбору значень інших резисторів буде такий :

$$R_3=2,32 \text{ кОм}, R_4=100 \text{ Ом}, R_5=2,32 \text{ кОм}, R_6=139,1 \text{ Ом}.$$

Застосувавши комп'ютерну систему електронного моделювання **Electronics Workbench**, можна отримати наступні результати вихідних напруг на каналах **A** та **B** :  $U_A=0 \text{ мВ}$ ,  $U_B= -38,11 \text{ мВ}$  при вимірюваній температурі 0°C ;  $U_A=19,35 \text{ мВ}$ ,  $U_B= -18,75 \text{ мВ}$  при вимірюваній температурі 50°C ;  $U_A=38,11 \text{ мВ}$ ,  $U_B=0 \text{ мВ}$  при вимірюваній температурі 100°C ;  $U_A=73,95 \text{ мВ}$ ,  $U_B= 35,84 \text{ мВ}$  при вимірюваній температурі 200°C . Значення напруг, які рівні 0 мВ є заокругленими, оскільки реально сягають лише сотих часток мікрвольта.

Отримані значення можна отримати і за допомогою математичних розрахунків.

Отже, маємо вхідну і напругу живлення АЦП рівну  $+U=2,5 \text{ В}$ .

Тоді напруги на каналах **A+**, **A-**, **B+**, **B-** будуть позначатись відповідно -  $U_{A+}$ ,  $U_{A-}$ ,  $U_{B+}$ ,  $U_{B-}$ . Звідси  $U_A= U_{A+} - U_{A-}$ ,  $U_B= U_{B+} - U_{B-}$ .

З першого ланцюга схеми матимемо, що  $U_{R0}+U_{t^0}= 2,5 \text{ В}$ . Загальний опір цього ланцюга дорівнює сумі опорів на резисторі  $R_0$  та датчику опору : 2,32кОм + 0,1кОм = 2,42кОм. Знайдемо струм, що проходить через даний ланцюг  $I_1$ .

$I_1= 2,5\text{В} / 2,42\text{кОм} = 1,033 \text{ мА}$ . Як зазначалось раніше він має бути близьким до 1 мА. Нижче буде отримана аналітична формула для вибору резистора  $R_0$  для меншого впливу на датчик опору струму  $I_1$ .

$$\text{Тоді } U_{A+}=1,033 \text{ мА} \times 0,1\text{кОм} = 103,3 \text{ мВ}, \text{ а } U_{A-}=1,033 \text{ мА} \times 0,1\text{кОм} = 103,3 \text{ мВ}. \text{ Тому } U_A=0.$$

Виконуючи обчислення аналогічно на каналі **B** буде напруга, що рівна 103,3 мВ – 141,4 мВ = - 38,1 мВ.

Аналогічно обчислюються інші значення для контрольних температур. Потім проводиться перетворення у цифрове значення.

Отримані значення напруг підсилюються таким чином, щоб не виходити за значення опорної напруги 2,5 В.

Тому для даного аналогово-цифрового перетворювача і діапазону від 0°C до 100°C роздільна здатність одного каналу буде складати значення близьке до  $-100^{\circ}\text{C} / 65536 \approx 0,0015^{\circ}\text{C}$  і другого для діапазону 100°C - 200°C також буде рівним близько 0,0015°C.

Тому на діапазоні 0°C – 200°C досягатиметься роздільна здатність 0,0015°C. Без використання даного методу, з одноканальним 16-розрядним АЦП ми досягли б роздільної здатності на даному діапазоні близької до 0,003°C.

Нехай нам потрібно виміряти реальну температуру, яка складає 0,005°C. Тоді абсолютна похибка вимірювання буде рівною  $-0,005^{\circ}\text{C} - 0,0045^{\circ}\text{C} = 0,0005^{\circ}\text{C}$ . Відносна похибка складе значення  $-0,0005^{\circ}\text{C} / 0,005^{\circ}\text{C} = 0,1$  або 10%.

Економічна ефективність використання даної схеми і АЦП (на прикладі **AD7705**) або АЦП більшої розрядності (18-розрядний) складає декілька доларів (зі збільшенням розрядності вдвічі, вартість збільшується в 4 рази). Якщо необхідна ще більша розрядність АЦП (яка навіть може не випускатись), то витрати на АЦП без схемного рішення, описаного у даній статті, будуть суттєво зростати.

### Висновки

Використовуючи багатоканальні АЦП, за допомогою поєднаних у одну двох повних мостових схем можна досягнути кращої роздільної здатності, а отже, і точності вимірювання температури в об'єктах, ніж при застосуванні двох окремо взятих повних мостових, а також кращої економічної ефективності, ніж при застосуванні одного АЦП з більшою кількістю розрядів. Такий спосіб поєднання дешевих АЦП з повними мостовими схемами дає можливість забезпечити використання меншої кількості електронних компонентів резисторів, що також впливає на кінцевий результат.

1. Болтон У. Карманный справочник инженера-метролога.- М.: Издательский дом «Додэка-XXI», 2002.- 384 с.
2. Солодовников В.В., Плотников В.Н., Яковлев А.В. Основы Теории и элементы систем автоматического регулирования. Учебное пособие для вузов.- М.: Машиностроение, 1985.- 536 с., ил.
3. Бесекерський В.А., Попов Е.П. Теорія систем автоматичного регулювання. - М.: Наука, 1975.