

DOI: <https://doi.org/10.37129/2313-7509.2020.13.1.322-332>

УДК 004.3

П.А. Швагірев, к.т.н.

О.С. Лопаков

В.В. Космачевський

К.О. Мігоренко

Одеський національний політехнічний університет, Україна

ТЕМПЕРАТУРНИЙ КОНТРОЛЕР НА СУЧАСНИХ НАПІВПРОВІДНИКОВИХ ДАТЧИКАХ

Над швидкий розвиток електроніки в останнє десятиліття, а також постійне зменшення ціни на електронні компоненти приводять до того, що багато виробників побутового і промислового устаткування замінюють в продукції, що випускається апаратурі електромеханічні вузли електронними схемами з за багатьма мікроконтролерним управлінням. Регулятор, на біметалічною пластині і механічний таймер поступаються характеристиками електронному регулятору і цифровому таймером.

У даній роботі було дослідження інтелектуального температурного модуля, оскільки в промисловій автоматизації є тенденція широкого застосування таких інтелектуальних датчиків-пристроїв і мікроконтролерів, які виробляють збір інформації, її первинну обробку і подальшу пересилку або збереження. Такі модулі можуть працювати автономно, збираючи інформацію про об'єкт вимірювання і накопичуючи її до моменту передачі оператору (реалізуються зазвичай на основі батарейного живлення), або можуть бути об'єднані в сенсорну мережу при цьому постійно але взаємодіючи з головним вимірювальним модулем. Харчування датчика виробляється по інтерфейсному кабелю, а в деяких випадках за допомогою сигнальних ліній. Критеріями вибору мікроконтролера для даних цілей будемо вважати:

- 1. Продуктивність ядра, необхідний розмір пам'яті програм і даних, достатню кількість ліній портів вводу-виводу.*
- 2. Вартість мікроконтролера.*
- 3. Технічні параметри мікроконтролера (діапазон живлячих напруг, робочий температурний діапазон, стійкість до електромагнітних завад).*
- 4. Життєвий цикл обраного сімейства.*
- 5. FLASH-пам'ять програм володіє достатнім ресурсом для програмування (мінімальний ресурс 1000 разів, бажаний 100 000).*
- 6. Зменшення до реально необхідного значення частоти роботи процесора (використання часового кварцу з метою зниження споживання струму).*
- 7. Подача харчування на периферійні мікросхеми (зовнішні АЦП, FLASH-пам'ять) безпосередньо з виходів процесора або через ключові елементи тільки на час їх роботи.*

У статті спроектована принципова схема на базі мікроконтролера PIC16F84A, в якій в якості термочутливого датчика застосували загальну схемотехнічну модель на базі осередку Брока і операційного підсилювача-компаратора. Особливістю даної мікроконтролерної системи є те, що вона забезпечена Оптрони та сімісторним складанням, що дозволяє підключати потужне навантаження до 20 А і керувати нею дистанційно. Крім того в роботі були розглянуті вольт-температурні характеристики на наявність нелінійності і обгрунтований вибір датчика.

Ключові слова: мікроконтролер, система збору даних, температура, похибка вимірювань.

Постановка проблеми

В сучасних системах збору, зберігання та обробки інформації в АСУТП швидкість прийому-передачі росте по експоненційному закону і разом з цим пред'являють вимоги щодо достовірності вимірюваної величини і багатопотоку різних вимірюваних параметрів. Використовувані раніше датчики хімічної термоперетворення через складні нелінійні характеристики і залежності ряду факторів вже не можуть забезпечити швидку передачу інформації від вимірюваного об'єкту в систему обробки. На сучасному

етапі проектування необхідно вивчати поведінку складних гібридних напівпровідникових структур в якості термоперетворювачів. Однак, для узгодження з мікропроцесорними системами цих структур раніше було необхідно підключення складних і дорогих аналого-цифрових перетворювачів, а це ускладнювало проектування та налагодження всього термоконтролера в цілому.

Сучасні мікроконтролери таких фірм як ALTERA, XILINX, Texas Instruments вже мають вбудований блок ADC/DAC, до яких можна безпосередньо підключати різні термоперетворювачі. Але для того, щоб забезпечити повне узгодження (струмову, гальванічну розв'язку) необхідно детально досліджувати різні схеми на напівпровідникових термоелементах. Для цього необхідно вивчити фізичні процеси в напівпровідникових перетворювачах.

Також важливою проблемою залишається підключення силового навантаження в кінцевих каскадах мікроконтролерних пристроях та погодження їх в багатопотоковому режимі.

Метою цієї роботи є вивчення критеріїв вибору напівпровідникового датчика, дослідження його характеристик і проектування принципової схеми температурного контролера для повної реалізації поставленого завдання. Також був розроблений простий алгоритм і код на мові C++ для налаштування портів, обробки даних і виведення інформації на восьмисегментні індикатори з урахуванням архітектури мікроконтролерів серії PIC.

Виклад основного матеріалу дослідження

При проектуванні систем довготривалого температурного моніторингу велике значення має стабільність показань, що використовуються для цих цілей температурних датчиків. Висока стабільність свідчень дозволяє підвищити міжперевірний інтервал, підвищити надійність вимірювань та скоротити експлуатаційні витрати. Якщо точність контролю температури, яка вимагається, невисока, то дані вимоги легко виконуються для більшості сучасних сенсорів.

Проте, коли йдеться про необхідність контролювати температуру з абсолютною похибкою менше 0,5 °C протягом декількох років, вибір датчика для таких застосувань стикається з багатьма проблемами. Якщо не брати до уваги складних і вельми дорогих тепловізійних систем, здатних на відстані вловлювати перепади температури об'єктів контролю менш ніж 0,1 °C, але, тим не менш, що мають при цьому абсолютну похибку вимірювання 1 °C та більше і не придатних для вимірювання температури газоподібних середовищ, сучасна компонентна база електроніки пропонує для широкого застосування наступні типи температурних датчиків: термоперетворювачі на основі напівпровідників (терморезистор, термоспротиви, термістори), металеві термометри опору (або термоспротиви, найчастіше платинові), термоелектричні перетворювачі на основі ефекту Зеємана (термопари) і термоелектричні перетворювачі в інтегральному виконанні.

Тому в тих випадках, коли в системі передбачається вести многоточечний одночасний контроль температури одного або декількох об'єктів, застосування в якості датчиків термопар або термометрів опору може виявитися занадто дорогим вирішенням. Зокрема, до таких систем можна віднести системи екологічного моніторингу, кліматичного контролю, системи температурного моніторингу приміщень офісних і житлових будівель.

При вирішенні таких завдань, як дослідження атмосферних турбулентностей та виявлення позаштатних ситуацій в системах температурного контролю техногенних об'єктів, потрібно знання не стільки точного абсолютного значення температури об'єкта, скільки різниці температур між кінцевим числом розміщених на об'єкті контролю датчиків. При цьому різниця температур повинна оцінюватися з високим ступенем точності, незмінною за весь час експлуатації системи, і складати величину порядку 0,01...0,1 °C, тоді як до температурного діапазону не пред'являються які-небудь високі вимоги.

Тому для вирішення подібних завдань було доцільним відмовитися від використання дорогого обладнання і в якості температурних датчиків застосувати бюджетні датчики таких відомих фірм, як MicroChip або Dallas semiconductor. Після порівняльного аналізу вибір був зроблений на користь датчиків серії DS1820 фірми за значенням порогу температурної чутливості, що досягає величини 0,0625 °C в діапазоні - 55...+125 °C. При цьому в силу малих розмірів їх постійна величина часу не перевищує 10...30 с, що вельми важливо при вирішенні завдання виявлення виникнення позаштатних ситуацій.

До того ж, значення постійної величини часу можна досить просто алгоритмічно зменшити як мінімум у 4 рази. Абсолютна похибка вимірювання, складова у даних датчиків $\pm 0,5$ °C у всьому діапазоні вимірювань, також виявилася цілком достатньою для вирішення поставлених завдань. Вбудовані підсилювачі можуть призводити коефіцієнт перетворення датчика до значень близько 10 мВ/°C. Ці пристрої широко використовуються в вузлах компенсації холодного спаювання для термопар, що працюють в широкому температурному діапазоні. В основі роботи всіх напівпровідникових температурних датчиків лежить співвідношення між колекторним струмом біполярного транзистора і напругою, доданим до переходу база-емітер:

$$V_{BE} = \frac{kT}{q} \ln \left(\frac{I_C}{I_S} \right) \quad (1)$$

де: k – постійна Больцмана, T – абсолютна температура, q – заряд електрона, I_S – струм, що залежить від геометрії і температури переходу. (Це співвідношення справедливе, починаючи з декількох сотень мілівольт і не враховує деякі тонкі ефекти). Якщо ми візьмемо N транзисторів, ідентичних першому, і припустимо, що I_C , загальний струм колектора, порівну розподілений між усіма транзисторами, то виявимо, що нове значення напруги база-емітер буде визначено співвідношенням:

$$V_N = \frac{kT}{q} \ln \left(\frac{I_C}{N \cdot I_S} \right) \quad (2)$$

Жодна з цих ланцюгів не використовується в якості самостійного датчика через сильну температурну залежність струму I_S , але якщо ми пропустимо рівні струми через один біполярний транзистор і через N ідентичних йому, то різниця між цими двома база-емітерними напруженнями пропорційна абсолютній температурі і не залежить від I_S .

$$\Delta V_{BE} = V_{BE} - V_N = \frac{kT}{q} \ln \left(\frac{I_C}{I_S} \right) - \frac{kT}{q} \ln \left(\frac{I_C}{N \cdot I_S} \right) \quad (3)$$

Ланцюг, показаний на рис. 1, описується наведеним вище співвідношенням і відомий як осередок Брока (Brokaw Cell). Напруга $\Delta V_{BE} = V_{BE} - V_N$ докладено до резистора R_2 . Струм емітера Q_2 визначається як $\Delta V_{BE} / R_2$. Приблизно цієї ж величині дорівнює і колекторний струм I_2 цього транзистора. Протікаючи через резистор R , він створює на ньому падіння напруги, яка дорівнює $\Delta V_{BE} \cdot R / R_2$. Отже, напруга на інвертуючому виведенні ОУ рівна $V_{INV} = V_{IN} \Delta V_{BE} \cdot R / R_2$.

Напруга на інвертуючому виведенні рідна тій же величині з точністю до десятків мікрвольт, а оскільки в колекторі Q_1 встановлено резистор, який має все той же номінал R , то струми I_1 і I_2 виявляються рівними. Вони підсумовуються на резисторі R_1 . Падіння напруги на ньому пропорційно абсолютній температурі (PTAT) і визначається за формулою:

$$V_{PTAT} = \frac{2R_1(V_{BE} - V_N)}{R_2} = 2 \frac{R_1}{R_2} \frac{kT}{q} \ln(N) \quad (4)$$

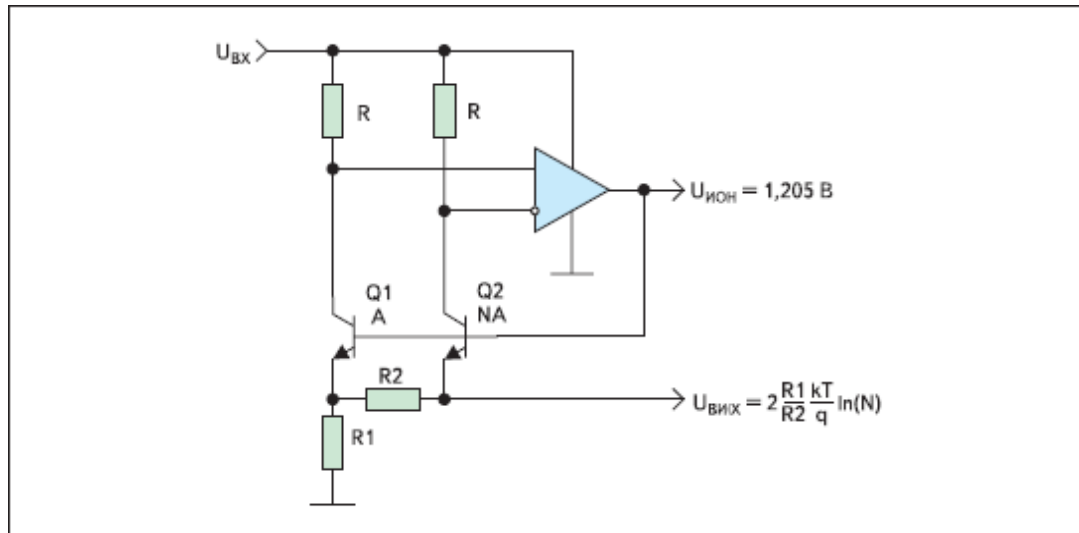


Рис. 1. Осередок Брока

Опорна напруга, що виробляється осередком V_{BANDGAP} , знімається з бази Q1 і є сумою $V_{\text{BE}}(Q1)$ і V_{PTAT} . Як і V_{PTAT} , $V_{\text{BE}}(Q1)$ також лінійно залежить від абсолютної температури, але зі зростанням її падає (в оригіналі ця залежність названа комплементарною до абсолютної температури, СТАТ). Сума V_{PTAT} і $V_{\text{СТАТ}}$ при певних значеннях відносини $R1/R2$ і N виявляється незалежною від температури (коли ставлення $R1/R2$ і N таке, що напруга на виході ОУ одно 1,205 В). Описаний ланцюг є базовим і найбільш часто використовуваний в схемотехніці напівпровідникових термодатчиків.

Концепція, реалізована при побудові вищеописаного осередку Брока, може використовуватися в якості базової для різних інтегральних температурних датчиків, що формують на виході температурно залежні струми або напруги. AD592 і TMP17 є датчиками струму з крутизною перетворення 1 мкА/К. Ці сенсори не вимагають додаткового калібрування і випускаються з кількома градаціями точності. AD592 випускається в трьох варіантах.

Найточніший (AD592CN) має максимальну похибку при 25°C з всього $\pm 0,5^\circ\text{C}$ і не більше $\pm 1,0^\circ\text{C}$ з у всьому діапазоні температур від -25 до $\pm 105^\circ\text{C}$. Нелінійність не перевищує $\pm 0,35^\circ\text{C}$. TMP17 випускається в двох варіантах. Більш точний (TMP17F) має максимальну похибку при 25°C з не більш $\pm 2,5^\circ\text{C}$ і не більше $\pm 3,5^\circ\text{C}$ при температурі від -40 до $+105^\circ\text{C}$. Типова нелінійність $\pm 0,5^\circ\text{C}$. AD592 випускається в корпусі TO-92, а TMP17 в SO-8. В деяких випадках бажано, щоб вихідна напруга температурного датчика була б залежною від напруги живлення. AD22103 має вихідну напругу, яка зворотно пропорційна щодо напруги живлення (номінальне значення 3,3 В) і відповідає даному рівнянню:

$$V_{\text{OUT}} = \frac{V_s}{3.3} V = 0.25V + \frac{28\text{mV}}{^\circ\text{C}} T_A \quad (5)$$

TMP35/TMP36/TMP37 – низьковольтні (2,7 В...5,5 В) температурні датчики з крутизною перетворення 10 мВ/°C (TMP35/36) або 20 мВ/°C (TMP37), випускаються в корпусах SOT-23 (5-pin), SO-8 або TO-92. Струм споживання їх менше 50 мкА, що забезпечує вкрай низьке власне тепловиділення (вноситься похибка менш ніж $0,1^\circ\text{C}$ в нерухомому повітрі). Режим зниженого споживання (shutdown) характеризується ще більш низьким струмом – до 0,5 мкА. TMP35 виробляє на виході 250 мВ при температурі $+25^\circ\text{C}$ і працює в діапазоні від $+10$ до $+125^\circ\text{C}$. TMP36 виробляє на виході 750 мВ при 25°C , працюючи – від -40 до $+125^\circ\text{C}$, TMP35 і TMP36 мають крутизну перетворення 10 мВ/°C.

TMP37 призначається для застосування в режимі від +5 до +100 °С, забезпечуючи крутизну перетворення 20 мВ /°С і вихідну напругу 500 мВ при +25 °С. ADT45/ADT50 - температурні датчики напруги, упаковані в корпус SOT-23, що працюють при напружених від 2,7 до 12 в. Ці прилади специфіковані в діапазоні від -40 до +125°С. Крутизна перетворення обох мікросхем – 10 мВ/°С. Типові значення точності калібрування – ±1°С при +25°С и ±2°С в діапазоні від - 40 до +125°С. ADT45 виробляє 250 мВ на виході при +25°С і застосовується при температурах від 0°С до +100°С.

ADT50 забезпечує 750 мВ при +25 ° С і працездатна – від -40 до +125°С. Якщо ADT45/ADT50 термічно захищені, то вони можуть використовуватися для будь-яких температурних вимірювань за умови, що температура навколишнього середовища лежить в діапазоні від -40 до +125°С. Якщо вони знаходяться в доброму тепловому контакті з поверхнею або приклеєні до неї, температура їх буде відрізнятися від температури поверхні не більше ніж на 0,01°С.

Слід звернути увагу на те, що будь-які дроти, що йдуть до датчика, діють на нього як теплові труби, вносячи похибку, якщо навколишній датчик середовища не ізотермічний. Для уникнення цього найкраще нанести на дроти, що йдуть до сенсору і на його виводи краплю термопровідної епоксидної смоли. Це застрахує ADT45/ADT50 від помилок за рахунок впливу температури навколишнього середовища. В корпусі SOT-23, тепловий опір перехід-корпус (junction-to-case) θ_{JC} рівний 180°С/Вт.

Теплове опір корпус-навколишнє середовище (case-to-ambient) θ_{CA} є різницею між θ_{JA} і θ_{JC} і визначається термічними характеристиками сполук (дроти, доріжки плати, припій тощо. д.). За відсутності обдування, коли датчик припаяний до плати, θ_{JA} становить 300°С/ Вт. Потужність P_D , яка розсіюється датчиком, визначається доданою до неї напругою і споживається струмом (включаючи струм, поточний у навантаження). Вона виділяється у вигляді тепла і збільшує температуру датчика у порівнянні з температурою навколишнього середовища. При цьому температура датчика буде рівною:

$$T_j = P_D (\theta_{JC} + \theta_{CA}) + T_A \quad (6)$$

Таким чином, зростання температури припаяного до плати не навантаженого ADT45/ADT50 (в корпусі SOT-23) за відсутності обдуву, температурі середовища 25°С і 5 вольтів живлення зі споживанням 60 мкА ($P = 300$ мкВт) становить менше ніж 0,09°С. З метою запобігання зростання температури датчика важливо знижувати струм навантаження, завжди підтримуючи його менш 100 мкА. Відгук на стрибкоподібну зміну температури у ADT45/ ADT50 визначається тепловими супротивами, масою і теплоємністю кристала і корпусу.

Термічна маса корпусу залежить від того, чи знаходиться він у контакті з чимось, крім навколишньої атмосфери. Практично у всіх випадках термічна маса корпусу є фактором, що обмежує швидкодію термодатчика, і в описі може бути представлена за допомогою деякої постійної часу однополюсного ланцюга. Термічна маса нерідко розглядається як термічний еквівалент електричної ємності. Висновок живлення цих датчиків повинен шунтуватися на загальний провід за допомогою керамічного конденсатора ємністю 0,1 мкФ, що має дуже короткі відводи (наприклад, конденсатора для поверхневого монтажу) і, при можливості, розташованого якомога ближче до виводу живлення.

Так як ці термодатчики працюють при дуже маленькому струму, вони можуть піддаватися дуже сильному електричному впливу перешкод, що йдуть від навколишнього середовища, в зв'язку з чим дуже важливо мінімізувати ефекти EMI/RFI. Ефект від RFI на цих датчиках виявляється як аномальна зміна постійної напруги на виході при фільтрації від високочастотних шумів внутрішніх провідників і кристала ІС. У тих випадках, коли датчики використовують в умовах високочастотного випромінювання або перешкод від передавачів, танталовий електролітний конденсатор достатньої ємності (> 2,2мкФ), установлений паралельно керамічній ємності 0,1 мкФ може підвищити захищеність датчика від перешкод.

Терморегулювання. Терморегулювання сьогодні є однією з найбільш яскравих і поширених областей застосування автоматики. Обладнання для керування тепловими процесами можна зустріти в кожному будинку, автомобілі або промисловому виробництві. Застосування сучасної електроніки дозволяє будувати прості і при цьому високофункціональні системи, завдяки використанню датчиків з цифровим виходом, мікроконтролерів та інших елементів. Реалізувати алгоритм терморегулювання в подібних галузях також не складає особливої складності.

Позиційний принцип терморегулювання. Для регулювання температури якого-небудь об'єкта можна на вибір використовувати кілька алгоритмів. В промислових системах найбільш часто зустрічається позиційне управління, або управління з ПІ скорочено ПІД законом. Його можна зустріти у величезній кількості пристроїв.

Практично всі сучасні напівпровідникові датчики температури мають вбудований вихід термостату, що дозволяє максимально спростити підсумкову систему. Але подібний підхід відрізняється неформованістю і складністю переналаштування. Вирішити цю проблему можна із застосуванням мікроконтролера і семисегментного індикатора.

Позиційне управління за своєю суттю реалізує релейну логіку в класичною системою зі зворотним зв'язком. У такій системі вихідний сигнал не змінюється за амплітудою, а працює за принципом включено/виключено. Вихідний пристрій у цьому випадку легко реалізується за допомогою оптопара, симистора, комутуючого мережу та навантаження.

При досягненні температурою заданого значення, реле відключається і відповідно відключає навантаження. Застосування симистор дозволяє комутувати мережеве напруження в області струмів $I_n < 20$ А і напружень $U_n = 600$ В, а використання оптопар дозволяє гальванічно розв'язати низьковольтну частину.

Основою термостата вибрано мікроконтролер PIC16F84A. Його характеристики найбільш оптимально підходять для створення простих вимірювальних пристроїв і пристроїв автоматики. Для тактування використаний зовнішній кварцовий резонатор на 25 МГц. Індикація температури виробляється в динамічному режимі світлодіодом індикатором із загальним катодом.

При побудові схеми використовувався датчик температури LM35 або аналогічні датчики серії TMP35, TMP36, TMP37. Особливості термодатчиків LM35 (TMP35-36-37):

1. Значення температури калібровано в шкалі Цельсія.
2. Лінійне значення напруги на виході з коефіцієнтом 10 мВ/°С.
3. Гарантована точність 0,5°С (при 25°С).
4. Параметри нормовані для повного діапазону температур –55. +150°С.
5. Зручні для використання в пристроях з віддаленим підключенням датчиків.
6. Низька ціна.
7. Працює в широкому діапазоні напруги живлення 4-30 В.
8. Споживаний струм менше 60 мкА.
9. Низький рівень власного розігріву – 0.08°С при нерухомому повітрі.
10. Нелінійність тільки ± 0.25 °С.
11. Низький вихідний опір – 0.1 Ом, при струмі навантаження 1 мА.

На графіку показана залежність вихідної напруги від температури. Згідно з документацією, коефіцієнт напруги на виході дорівнює 10 мВ/°С. З цього випливає, що межі будуть рівні від – 550 мВ до + 1500 мВ, це показано на графіку.

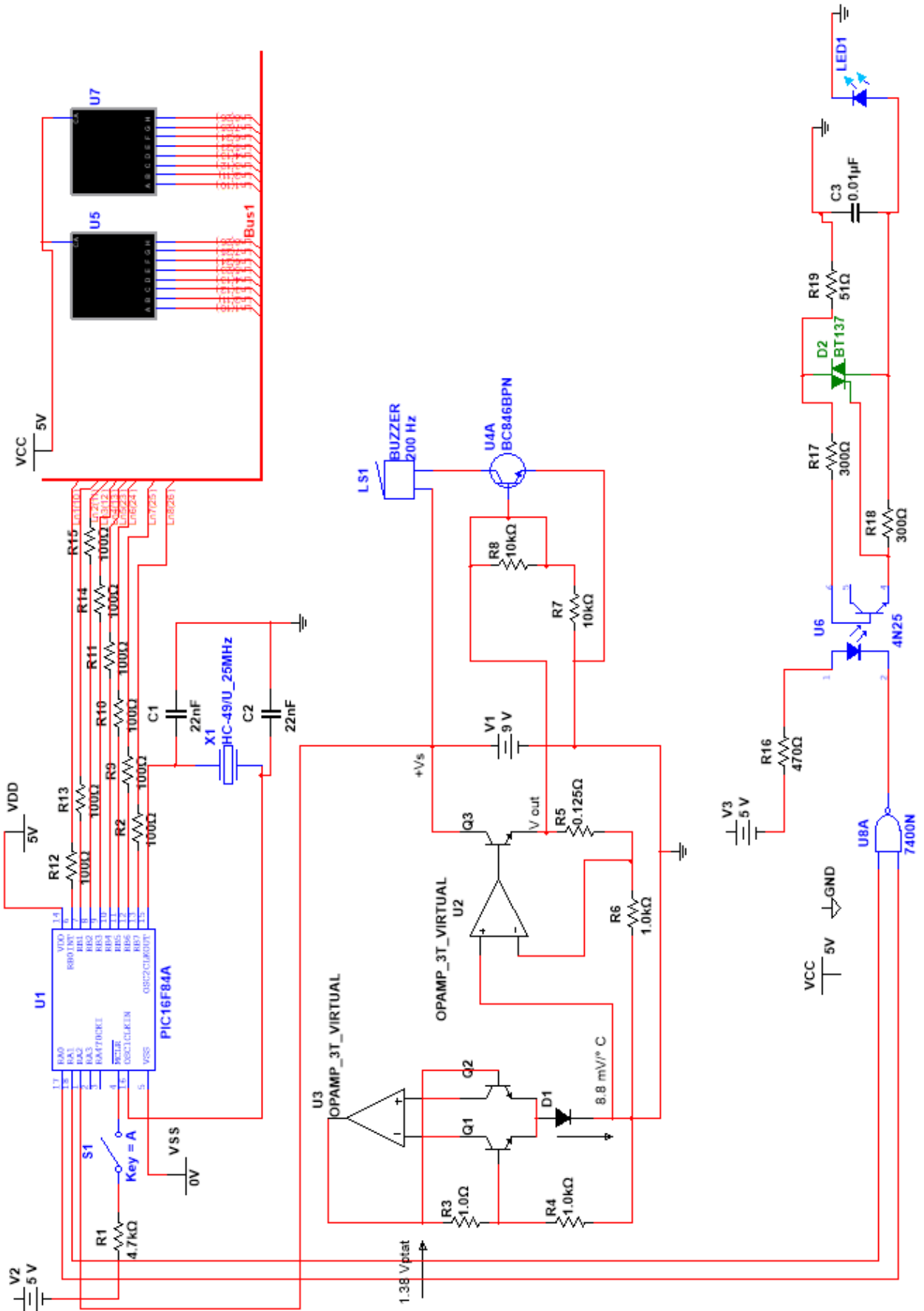


Рис. 2. Принципова схема мікропроцесорної системи

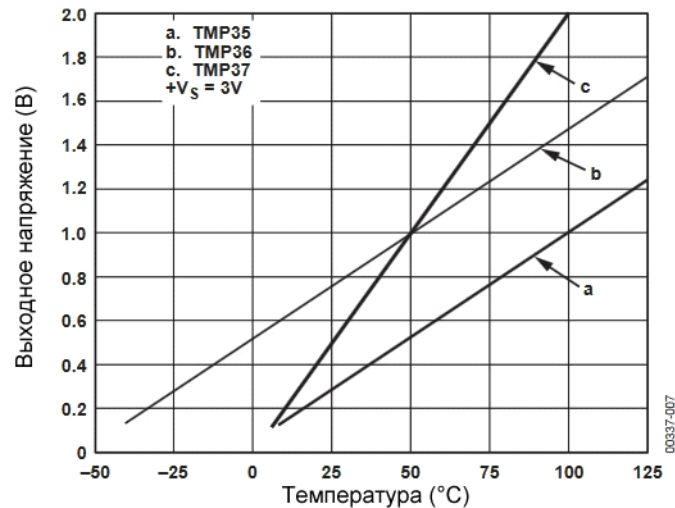


Рис. 3. Результати дослідження. Графічні залежності вихідної напруги (Вольт) від температури, (°C) для різних датчиків серії TMP

Програмування на PIC16F84A. Програмування здійснюється для виведення даних температури на індикатори. Виробляється підключення датчика температури до аналогового порту AN1 (це вхід RA2 або RA3 мікроконтролера PIC16F84A).

Налаштуйте вхід на введення інформації:

```
TRISA = 0b00000010;
```

Призначаємо даний порт як аналоговий:

```
ANSELA=0b00000010;
```

Налаштуйте і включіть АЦП:

```
ADCON2=0b10111111;
```

```
ADCON1=0b00000000;
```

```
ADCON0=0b00000101;
```

Вирівнювання даних – вправо, кількість тактів для вимірювання 20, джерело тактової частоти – внутрішній RC генератор, діапазон опорних напруг – напруга живлення контролера, АЦП підключений до аналогового входу AN1.

Далі ми повинні «запустити» АЦП на вимірювання, по закінченню вимірювання зняти з регістрів АЦП дані. Над даними проводиться обчислення, і на індикатор виводяться значення обчисленої температури.

Основна структура виміру:

```
if (GO==0)
    {ADCIZ=ADRESL;
    ADCIZ+=ADRESH<<8;
    GO=1;}
```

Обробку даних з перетворення значення АЦП в значення температури виконаємо, використовуючи цілочислену математику:

```
ADCIZ=ADCIZ*48875;
```

```
ADCIZ=ADCIZ/100000;
```

```
ADCIZ=ADCIZ-83;
```

```
ADCIZ=ADCIZ*100;
```

```
ADCIZ=ADCIZ/31.
```


Це значення АЦП ADCIZ ми повинні перетворити у напругу, що вимірюється. Використовується 10-розрядний АЦП, а це значить, що повного діапазону опорної напруги (це 5,0 вольт, напруга живлення контролера) – 1024. На виході АЦП буде діапазон значень від 0 до 1023. Розділивши діапазон опорної напруги на бітову силу АЦП отримаємо число $\sim 0,004887585532\dots$ Для цілочислені математики ви візьмемо перші 5 значущих цифр 48875. А далі розділимо його на 100000.

З отриманого значення необхідно відняти напругу нуля датчика. Значення задається тільки значущими цифрами. Далі множимо на 100. Температура обчислюється з використанням коефіцієнта нахилу напрямку схилу. Це значення і є температура у форматі xx.x%.

Обчислення середнього з 10 вимірювань для виділення корисного сигналу:

```
ADCIZ=ADCIZ/10;
```

```
p_hum=p_hum-p_hum/10;
```

```
p_hum=p_hum+ADCIZ;
```

Для отримання цілих чисел відсотків, дані діляться на 10:

```
p_humi=p_hum/10;
```

Весь процес вимірювання виглядає так:

```
If (GO==0)
```

```
{
```

```
// обчислити значення АЦП
```

```
ADCIZ=ADRESL;
```

```
ADCIZ+=ADRESH<<8;
```

```
// почати вимірювання
```

```
GO=1; //
```

```
// обчислити температуру
```

```
ADCIZ=ADCIZ*48875;
```

```
ADCIZ=ADCIZ/100000;
```

```
ADCIZ=ADCIZ-83;
```

```
ADCIZ=ADCIZ*100;
```

```
ADCIZ=ADCIZ/31;
```

```
// обчислити середнє із 10 вимірів
```

```
ADCIZ=ADCIZ/10;
```

```
p_hum=p_hum-p_hum/10;
```

```
p_hum=p_hum+ADCIZ;
```

```
p_humi=p_hum/10;
```

```
}
```

```
// винести значення температури на індикатор
```

```
bin_dec (p_humip,0);
```

```
indic (0,miln,stys,dtys,tysc,sotn,dest,edin,0);
```

Висновки

Розроблена принципова схема температурного контролера на базі широко розповсюджених мікроконтролерів серії PIC, температурним перетворювачем на базі класичного осередку Брока, зі зручною крутизною перетворення в діапазоні від 5 мВ/°С до 30 мВ/°С. У схемі застосували транзисторно-діодну оптопару і симистор для комутації силового навантаження у вихідних ланцюгах. До мікроконтролеру підключаються дві пари восьмисегментних індикаторів, що дозволяє візуально відслідковувати температуру як в абсолютних одиницях °С, так і в HEX-кодах. Схема має як вбудований в мікроконтролер, так і зовнішній кварцовий генератор на резонаторі 25 МГц.

До основних переваг даної схеми можна віднести перешкодозахищеність від зовнішніх електромагнітних і теплових впливів, оскільки даний контролер може передавати/приймати інформацію по інтерфейсах LVDS/CAN, а саме це дозволяє будувати на базі таких схем багатопотокові широкосмугові пристрої з великою кількістю сенсорів (температурні, частотні, тиску, рівня радіації і т. д.).

В результаті досліджень прийшли до висновку про те, що застосування напівпровідникових датчиків температур дозволяє досягти високої точності за рахунок лінійної характеристики $U=f(T)$ та практичного браку власних шумів, оскільки у вхідних ланцюгах застосовуються МОП-структури. Однак, за графіком очевидний невеликий діапазон вимірюваної температури $T_{\min} = -25 \dots 0^{\circ}\text{C}$, а $T_{\max} = 85 \dots 110^{\circ}\text{C}$, що робить неможливим використання цих приладів у фізичних дослідженнях. Також залишається неясною передавальна характеристика даного класу приладів при впливу сонячної радіації.

Список використаних джерел

1. Линеверг Ф. Измерение температур в технике: справочник / под ред. Л.А. Чарихова. – М.: Металлургия, 1980. – 543 с.
2. Макаренко В. Моделирование радиоэлектронных устройств с помощью программы NI Multisim // ЭКЭС – Киев: VD MAIS, 2008, No 1.
3. Р.В. Кунц, Л.И. Сучкова, А.Г. Якунин // Измерение, контроль, информатизация: матер. 13-й междунар. науч.-техн. конф. – Т. 2 / Доклады ТУСУРа, No 1 (35), март 2015. – С. 42–46.
4. Microchip. Temperature Sensor Design Guide [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/21895d.pdf>, (дата обращения: 11.06.2018).
5. Шитиков А. Цифровые датчики температуры от Dallas Semiconductor // Компоненты и технологии. – 2001. – №2 [Электронный ресурс]. http://kit-e.ru/assets/files/pdf/2001_02_48.pdf, свободный (дата обращения: 11.06.2018).

ТЕМПЕРАТУРНЫЙ КОНТРОЛЕР НА СОВРЕМЕННЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ДАТЧИКОВ

П. Швагирев, А. Лопак, В. Космачевский, К. Мигоренко

Сверхбыстрое развитие электроники в последнее десятилетие, а также постоянное уменьшение цены на электронные компоненты приводят к тому, что многие производители бытового и промышленного оборудования заменяют в выпускаемой аппаратуре электромеханические узлы электронными схемами с микроконтроллерным управлением. Регулятор, на биметаллической пластине и механический таймер уступают по многим характеристикам электронному регулятору и цифровому таймеру.

В данной работе было исследование интеллектуального температурного модуля, поскольку в промышленной автоматике есть тенденция широкого применения таких интеллектуальных датчиков-устройств и микроконтроллеров, производящих сбор информации, её первичную обработку и дальнейшую пересылку или хранение. Такие модули могут работать автономно, собирая информацию об объекте измерения и накапливая её до момента передачи оператору (реализуются обычно на основе батарейного питания), либо могут быть объединены в сенсорную сеть при этом постоянно взаимодействуя с главным измерительным модулем. Питание датчика производится по интерфейсному кабелю, а в некоторых случаях с помощью сигнальных линий. Критериями выбора микроконтроллера для данных целей будем считать:

1. Производительность ядра, требуемый размер памяти программ и данных, достаточное число линий портов ввода-вывода.
2. Стоимость микроконтроллера.
3. Технические параметры микроконтроллера (диапазон питающих напряжений, рабочий температурный диапазон, устойчивость к электромагнитным помехам).

4. Жизненный цикл выбранного семейства.
5. FLASH-память программ обладающая достаточным ресурсом для программирования (минимальный ресурс 1000 раз, желательный 100 000).
6. Уменьшение до реально необходимого значения частоты работы процессора (использование часового кварца с целью снижения потребления тока).
7. Подача питания на периферийные микросхемы (внешние АЦП, FLASH-память) непосредственно с выходов процессора или через ключевые элементы только на время их работы.

В статье спроектирована принципиальная схема на базе микроконтроллера PIC16F84A, в которой в качестве термочувствительного датчика применили общую схемотехническую модель на базе ячейки Брока и операционного усилителя-компаратора. Особенностью данной микроконтроллерной системы есть то, что она снабжена оптроном и симисторной сборкой, что позволяет подключать мощную нагрузку до 20 А и управлять ею дистанционно. Кроме того в работе были рассмотрены вольт-температурные характеристики на наличие нелинейности и обоснован выбор датчика.

Ключевые слова: микроконтроллер, система сбора данных, температура, погрешность измерений.

TEMPERATURE CONTROLLER ON MODERN SEMICONDUCTOR SENSORS

P. Shvahirev, O. Lopakov, V. Kosmachecskiy, K. Migorenko

The ultra-fast development of electronics in the last decade, as well as the constant reduction in the price of electronic components, lead to the fact that many manufacturers of household and industrial equipment replace electromechanical components with microcontroller-controlled electronic circuits in the manufactured equipment. The regulator, on the bimetallic plate and the mechanical timer are inferior in many respects to the electronic regulator and the digital timer.

In this work, there was a study of an intelligent temperature module, since in industrial automation there is a tendency for widespread use of such intelligent sensor devices and microcontrollers that collect information, preprocess it, and then forward or store it. Such modules can work autonomously, collecting information about the measurement object and accumulating it until the moment of transfer to the operator (usually implemented on the basis of battery power), or they can be combined into a sensor network while standing but interacting with the main measurement unit. The sensor is powered via an interface cable, and in some cases using signal lines. The criteria for choosing a microcontroller for these purposes are:

1. Kernel performance, the required size of program and data memory, a sufficient number of I / O port lines.
2. The cost of the microcontroller.
3. Technical parameters of the microcontroller (supply voltage range, operating temperature range, resistance to electromagnetic interference).
4. The life cycle of the selected family.
5. FLASH-memory of programs possessing a sufficient resource for programming (minimum resource 1000 times, desirable 100 000).
6. Reduction to the actually necessary value of the frequency of the processor (the use of clock quartz in order to reduce current consumption).
7. Power supply to peripheral microcircuits (external ADCs, FLASH-memory) directly from the processor outputs or through key elements only for the duration of their operation.

In the article, a circuit diagram based on the PIC16F84A microcontroller is designed, in which a general circuit model based on Brock's cell and an operational amplifier-comparator was used as a heat-sensitive sensor. A feature of this microcontroller system is that it is equipped with an optocoupler and triac assembly, which allows you to connect a powerful load of up to 20 A and control it remotely. In addition, volt-temperature characteristics for the presence of non-linearity were considered in the work and the choice of sensor was justified.

Keywords: microcontroller, data acquisition system, temperature, measurement error.