



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АВТОМОБІЛЬНО-ДОРОЖНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Коваль А. О.

**ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ДИНАМІЧНІ
ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ
ТЕХНІКИ**

Конспект лекцій

Затверджено методичною радою
факультету, протокол № 1 від 7
«вересня» 2018 р.

Харків
2018

Передатна функція — статичні й динамічні характеристики

При роботі з датчиком потрібно знати співвідношення рівнів сигналів на вході й виході. Відношення $W_d(p) = Y(p)/X(p)$ в операторному виді є передатною функцією датчика й однозначно визначає характеристики датчика в статичній й динамічній.

Відношення $W_d(p) = Y(p)/X(p)$ в операторному виді є передатною функцією датчика й однозначно визначає характеристики датчика в статичній й динамічній. Відношення $W_d(p) = Y(p)/X(p)$ в операторному виді є передатною функцією датчика й однозначно визначає характеристики датчика в статичній й динамічній. Відношення $W_d(p) = Y(p)/X(p)$ в операторному виді є передатною функцією датчика й однозначно визначає характеристики датчика в статичній й динамічній. Відношення $W_d(p) = Y(p)/X(p)$ в операторному виді є передатною функцією датчика й однозначно визначає характеристики датчика в статичній й динамічній.

Рівняння $Y(p) = W_d(p) * X(p)$ у реальній площині, тобто функція $Y = f(x)$ буде статичною характеристикою. Статична характеристика може бути лінійною й буде визначатися як:

$$Y = aX + b, (1)$$

де a – нахил прямої, обумовлений чутливістю датчика й b – постійна складова

тобто рівень вихідного сигналу при відсутності сигналу на вході)

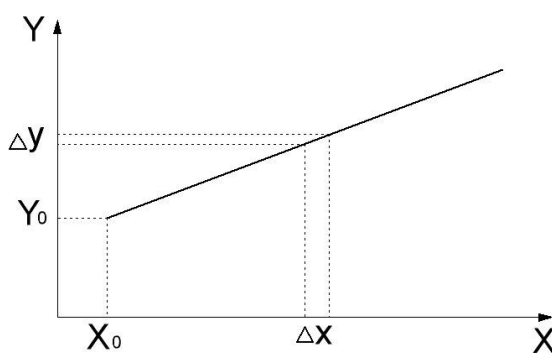


Рисунок 2 - Лінійна залежність.

Крім датчиків з лінійною залежністю, можуть бути датчики з логарифмічною залежністю, з рівнянням виду

$$Y = a \ln X + b (2)$$

Експонентною:

$$Y = a e^{kX} + b \quad (3)$$

Або ступеневою:

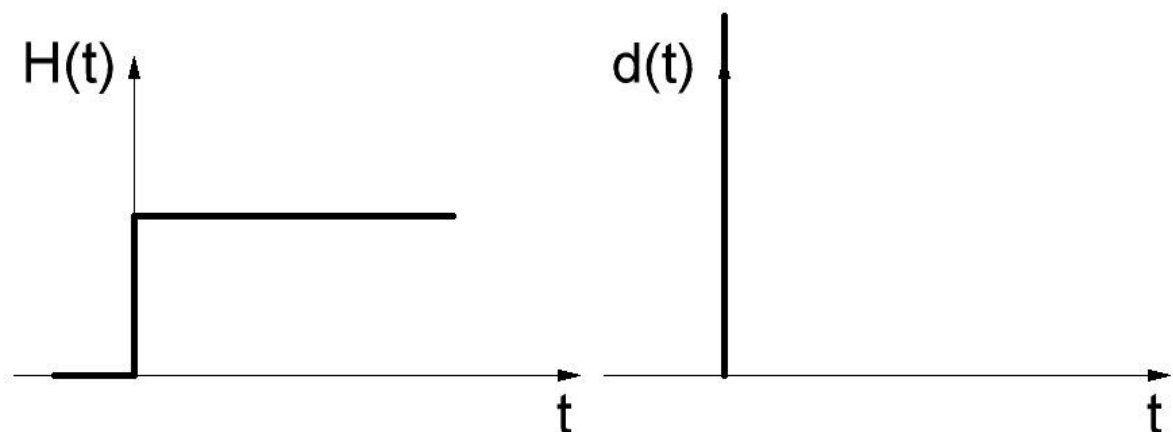
$$Y = a_1 X^k + a_0 \quad (4)$$

Де k – постійне число.

Існують датчики з більш складною характеристикою. Але на це є документація. Проте, передатна функція розкриває й те, які властивості має датчик у динаміці, тобто наскільки швидко й точно відпрацьовує датчик вихідний сигнал при швидкій зміні вхідної величини. Практично кожний реальний датчик має в собі накопичувач енергії — конденсатор, масу і т.п. Розглянемо поведінку датчика, динамічні характеристики якого описуються рівнянням першого порядку:

$$Y(t) = a_2 \frac{dX(t)}{dt} + a_1 X(t) + a_0 \quad (5)$$

У теорії автоматичного керування існує два тестові вхідні сигнали. Це одинична функція — подача в нульовий момент часу одиниці, і дельта-функція — подача сигналу нескінченної амплітуди і нескінченно малої тривалості.



Малюнок 3. Одинична й дельта функції Безінерційний, тобто ідеальний датчик у точності повторить форму вхідного сигналу. Реальний датчик, описаний формулою (5) видасть наступну реакцію:

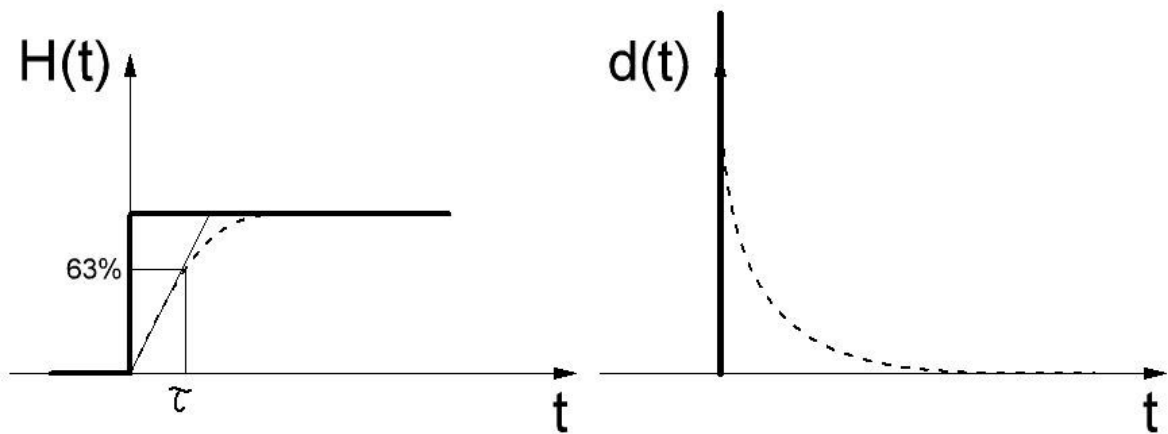


Рисунок 4. Реакція аперіодичної ланки першого порядку на тестові сигнали Слід зазначити, що значення на виході датчика буде відповідати поданому на вході тільки після завершення перехідного процесу, яке буде тривати $3-4\tau$, де τ — постійна часу нашої ланки. При $t=1\tau$, вихідне значення досягнеться $1 - e^{-1} = 63\%$ Неважно порахувати, що при $t = 2\tau$ вихідне значення складе 86%, а при $t = 3\tau$ — 95% і перехідний процес буде вважатися завершеним. У такий спосіб потрібно розуміти, що, наприклад, той же датчик температури буде реагувати на зміну температури навколишнього середовища з деяким запізнюванням через те, що між датчиком і навколишнім середовищем є корпус, який повинен поглинути тепло й нагрітися. На це потрібен час. Зрозуміло, інерційні датчики можуть описуватися більш складними рівняннями, наприклад представлятися аперіодичними ланками другого порядку, мати затримку реакції і т.д. Особливості поведінки таких ланок докладно описані в [1].

2.3 Точність, нелінійність

Одною з важливих характеристик датчика є його **точність** у діапазоні вимірюваних величин. Вихідний сигнал датчика відповідає значенню вимірюваної величини з деякою вірогідністю, називаною похибкою. Наприклад, датчик температури має точність ± 2 градуса. Це означає, що при реальній температурі вимірюваного об'єкта в 100 градусів, припустимі показання даного датчика температури перебувають у межах 98 – 102 градусів. Похибка датчика буває різною. Розрізняють аддитивну та мультиплікативну похибку. Аддитивна похибка постійна у всьому діапазоні вимірів.

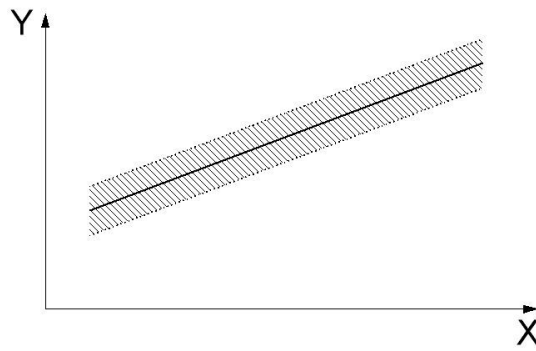


Рисунок 5. Аддитивная похибка

Мультиплікативна похибка лінійно залежить від рівня вимірюваної величини:

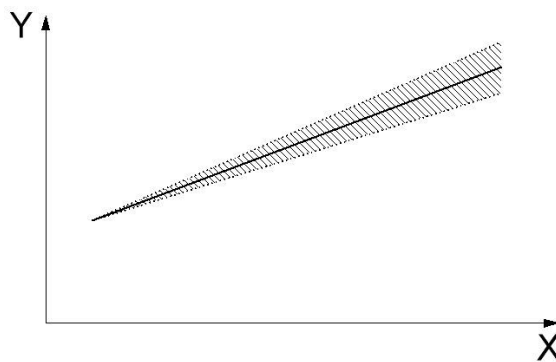


Рисунок 6. Мультиплікативна похибка

Крім того, існує нелінійність датчика у вимірюваному діапазоні. Залежно від поточного діапазону вимірювання, коефіцієнт нахилу передатної функції змінюється в деяких межах. При цьому, у специфікації вказуються або криві зміни точності по діапазону, або гірші показники нелінійності в тому або іншому діапазоні. Крім того, деякі датчики мають ефект гістерезису, коли для того самого вхідного сигналу після зростання й убавання значення вихідного сигналу виходять різними. Типовою причиною гістерезису є тертя й структурні зміни матеріалів. Найбільшому ефекту гістерезису піддаються датчики на основі феромагнітних матеріалів. Для підвищення точності й компенсації аддитивної і мультиплікативної похибки може проводитися процес калібрування датчика. Наприклад, для лінійного датчика необхідно зі завідомо відомою точністю визначити показання у двох точках, що перебувають на різних кінцях робочого діапазону.

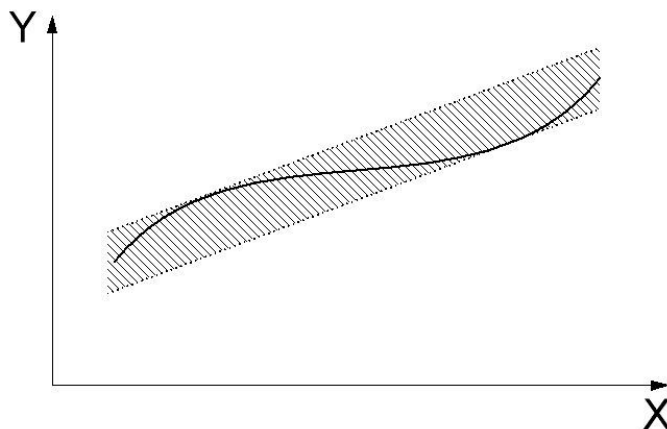


Рисунок 7. нелінійність датчика

Для деяких датчиків дані калібрування можуть приводитися в паспорті на кожний конкретний екземпляр. Для проведення процедури калібрування можна скористатися більш точною апаратурою, можна скористатися еталоном (наприклад чорне тіло, еталонний кілограм і т.п.). Точність після калібрування природно не зможе перевищувати точність еталона.

2.4 Чутливість датчика, роздільна здатність і мертва зона

Мертва зона датчика — це нечутливість датчика в певному діапазоні вхідних сигналів. У межах цієї зони вихідні показання некоректні. Для прикладу на рисунку 2 показання вихідної величини для всіх значень від 0 до x_0 не визначені. Такою особливістю грішать, наприклад, деякі датчики струму, що мають нульову напругу на виході при струмах менших, приміром, 10мА. У всьому іншому діапазоні має місце певна **чутливість** датчика, тобто наскільки сильний приріст вихідного сигналу на зміну вхідного сигналу. Тобто чутливість

визначається наступною формулою:
$$a = \frac{\Delta Y}{\Delta X}$$
 Для лінійного датчика, чутливість

буде постійною на всьому вимірюваному діапазоні. **Роздільна здатність** показує, наскільки мала зміна вимірюваної величини здатна викликати зміну вихідного сигналу. Наприклад, який-небудь інкрементальний датчик положення має роздільну здатність в 1 градус. Аналогові датчики мають нескінченно більшу роздільну здатність, тому що в їхньому вихідному сигналі не можна визначити окремих рівнів його зміни.

3 Спосіб підключення датчиків

Залежно від типу датчика, підключається він до вимірювального тракту по-різному.

Підключення пасивного датчика

Тому що пасивний датчик без сторонньої допомоги у відповідь на зовнішній вплив самостійно виробляє для нас електричний сигнал, нам цей сигнал потрібно зчитати. Залежно від того, чи буде наш датчик джерелом струму або джерелом напруги, спосіб підключення буде відрізнятися.

Приміром, термопара є джерелом напруги — напруга на виході не залежить від величини вихідного струму (у розумних межах звичайно). Наше завдання — виміряти вироблювану ЕРС. Тому що вимірювальний тракт буде мати деякий кінцевий опір, схема підключення буде наступною:

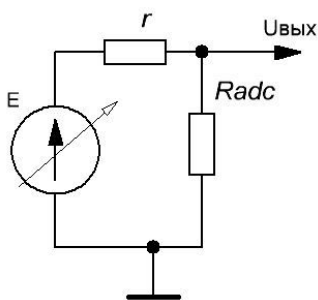


рисунок 8. Підключення джерела напруги до АЦП

Якщо R_{adc} буде багато більше внутрішнього опору r , тоді спадання напруги на ньому буде прагнути до нуля й напруга на вході АЦП буде прагнути до значення ЕРС. Розглянемо термопару, як один з найточніших і швидкодіючих датчиків. Інший випадок, якщо наш датчик є джерелом струму, тобто згенерована ним напруга залежить від струму, що пропускається через навантаження.

Підключення датчика аналогічно:

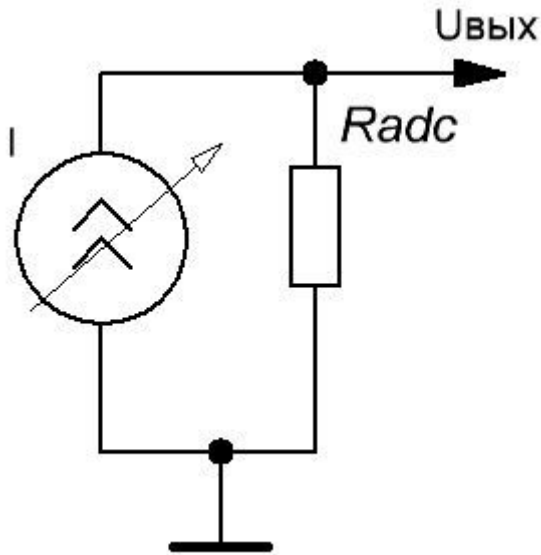


рисунок9. Підключення джерела струму до

АЦП. Однак, опір навантаження джерела струму тепер повинен прагнути до нуля. Для цього, датчик шунтується резистором необхідного опору, перетворюючи тим самим, джерело струму в джерело напруги:

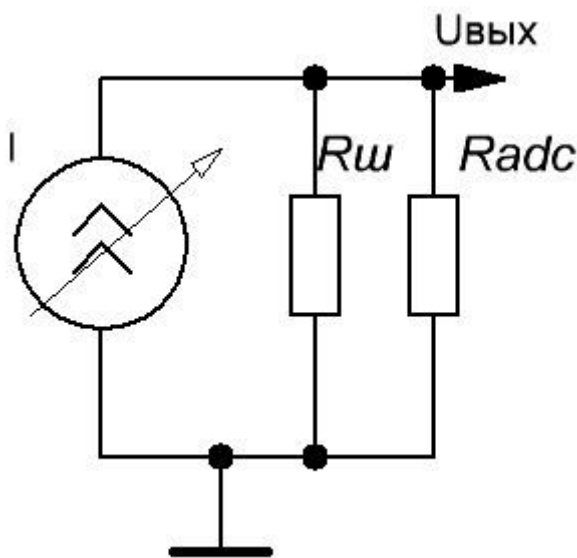


рисунок10. Правильне підключення

джерела струму до АЦП. Опір резистора $R_{ш}$ розраховується як частка від ділення максимальної напруги, що подається на вхід АЦП на максимальний

$$R = \frac{U_{max}^{adc}}{I_{max}}$$

струм, який здатний видати датчик

Найбільш яскравий

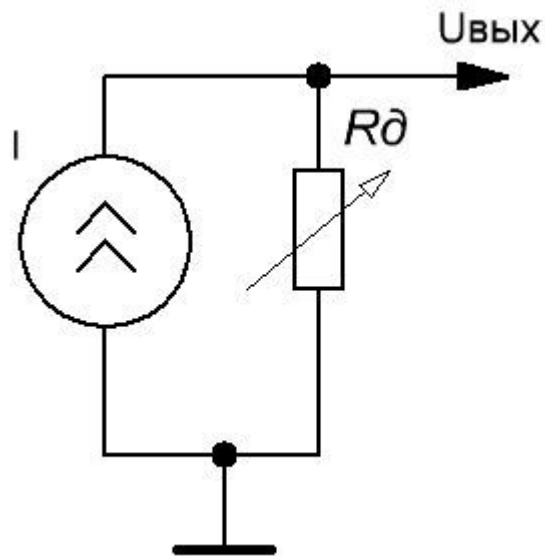
представник такого датчика — датчик струму.

УВАГА: датчики, що мають схему заміщення у вигляді джерела струму, необхідно обов'язково шунтувати опором і не допускати обриву ланцюга шунтування при наявності як завгодно малого вхідного впливу. А якщо ні, то, той же датчик струму генерує на вільних клеммах вторинної обмотки напругу в

кіловольти, що приводить до пробую схеми виміру або самого датчика. Сучасні датчики струму тестують на напрузі 1кВ і більш, так що одержати на виході 2-3кВ,— не саме складне завдання.

Підключення активного датчика

Розглянемо активні датчики, що представляють собою змінний опір. Зокрема це терморезистори, тензорезистори та інші подібні датчики. Щоб опір датчика виміряти, його необхідно підключити до джерела струму й визначити



спадання напруги на ньому:

рисунк11.

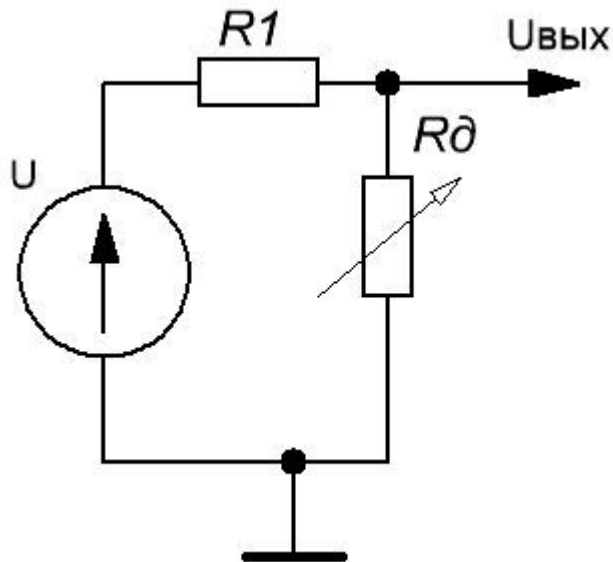
Підключення датчика до нерегульованого джерела струму Джерело струму виробляє струм постійного значення відомої величини. Тоді, вихідна напруга

буде визначатися по формулі: ($U_{\text{вых}} = I \cdot R_{\text{Д}}$) Наприклад, розрахуємо

вихідне значення напруги при струмі джерела 10мА якщо наш датчик змінює опір від 0,1кОм до 1 кОм. Тоді максимальна вихідна напруга буде рівно

$$U_{\text{вых}}^{\text{max}} = 0,01 \cdot 1000 = 10\text{В} \quad (8)$$

Що цілком відповідає необхідному значенню напруги для аналогової системи керування на базі операційних підсилювачів. Де взяти джерело струму? Буває так що він вбудований у сам мікроконтролер. Наприклад у мікроконтролерах ADuCM360/361 є два вбудовані джерела струму 0,01-1мА. Правда там у них діагностичне завдання — подаючи малий струм через ланцюги датчика можна пересвідчитися в його наявності й справності. Звичайно, нам зручніше використовувати джерело напруги з



дільником:

рисунок12. Підключення

датчика до джерела напруги з дільником. Коло U-R1 утворює той же саме джерело струму, тільки його параметри залежать від навантаження — $R\delta$. Напруга на виході буде визначатися по наступній формулі:

$$U_{\text{вих}} = U \frac{R_1}{R_1 + R\delta} \quad (9)$$

І тут спливе головна проблема такого методу — від опору нашого датчика в знаменнику не позбудешся ніяк і показання стають нелінійними, у відмінність, до речі, від першого варіанта. Встає питання — яким повинне бути опір $R1$? Він повинен забезпечувати максимальний діапазон вихідної напруги. Тобто при відомих значеннях мінімального й максимального опору датчика $R\delta1$ і $R\delta2$,

$abs(U_{\text{вих}1} - U_{\text{вих}2}) \rightarrow \max$ З іншого боку, максимальна вихідна напруга в нас обмежена вхідними колами вимірювального пристрою. Наприклад, на вхід мікроконтролера з живленням 5В необхідно подати напругу, приміром, не більш 2,5В. Відзначу, що якщо максимально можлива напруга, що подається на вхід АЦП менше напруги живлення, то ми зможемо його туди подати. Якщо наш датчик змінює опір від 0,1кОм до 1 кОм, то приймемо опір резистора $R1$ рівний верхній межі опору датчика. Тоді $U_{\text{вих}}$ зможе змінюватися в межах від $1/11U_{\text{вх}}$ до $1/2U_{\text{вх}}$. В абсолютних цифрах даного прикладу — від 0,45 до 2,5В. І такими значеннями ми використаємо $(2,5-0,45)/2,5 = 82\%$ усього діапазону АЦП, що досить непогано. Ще датчик можна ввімкнути до складу вимірювального моста й вимірювати різницю напруг у його плечах:

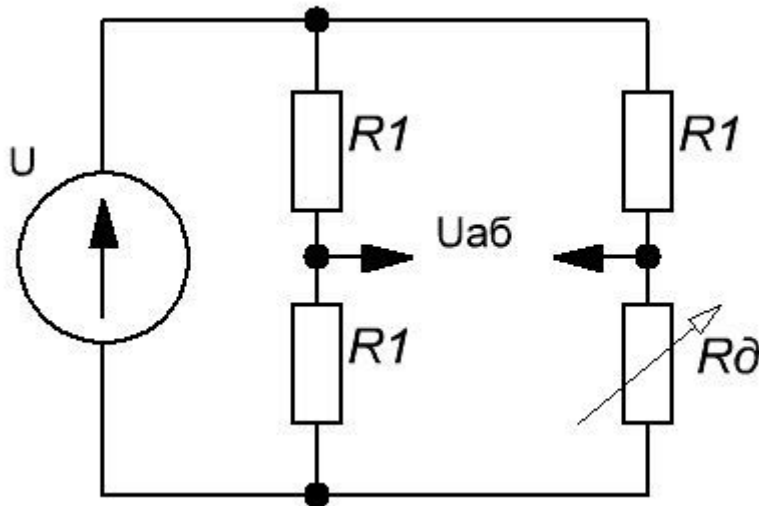


рисунок13. Датчик у складі

вимірювального мосту В цьому випадку ми працюємо з диференціальним АЦП, вимірюючи різницю потенціалів U_{ab} . Вона буде рівна:

$$U_{AB} = U_a - U_b = U \cdot \left(\frac{1}{2} + \frac{R_1}{R_1 + R_0} \right) \quad (10)$$

Причому опір резистора R_1 може бути таким, щоб U_{ab} могла бути й негативною. Існують датчики, внутрішня схема яких уже являє собою балансовий міст із необхідними характеристиками. Пізніше розглянемо приклади таких датчиків. Існують більш зручні у використанні датчики. Вони видають необхідний аналоговий сигнал і без використання резисторів. Наприклад, аналоговий датчик вологості НН-4010-004 — 5В живлення, лінійний вихід. Підключається він так:

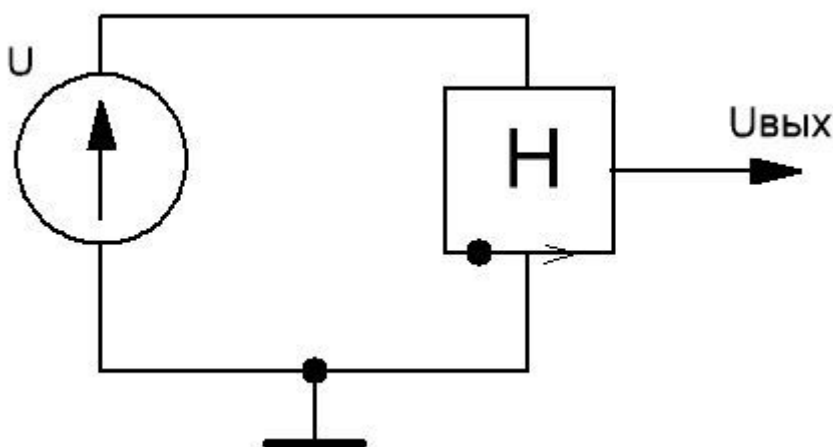


рисунок14. Підключення

датчика вологості НН-4010-004 Два проводи до джерела опорної напруги, вихід — до АЦП мікроконтролера.

Підключення цифрових датчиків по стандарту 1-wire

1-wire це двонаправлена низькошвидкісна цифрова шина передачі даних, що потребує всього два проводи — інформаційний провід й землю. Шина досить проста у використанні, підтримує паразитне живлення пристрою від лінії й дозволяє підключати паралельно безліч однотипних пристроїв, тобто датчиків температури(наприклад DS18B20), або мікросхем ідентифікації (ibutton). Паразитне живлення організовується в такий спосіб:

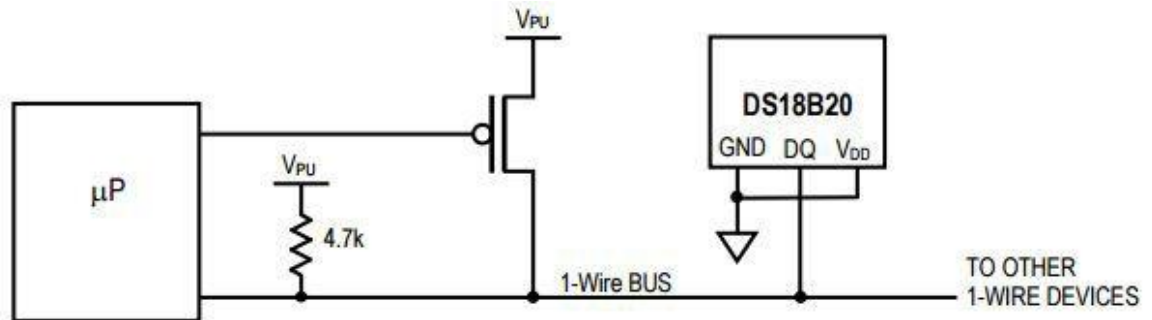


рисунок 15. Паразитне живлення пристроїв шини 1-wire А це звичайне активне живлення пристрою.

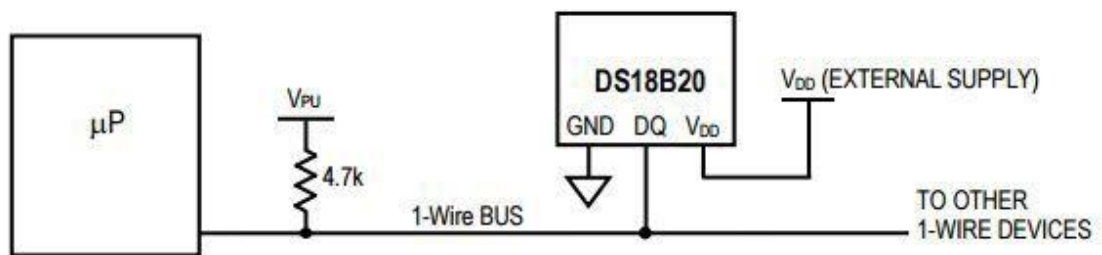
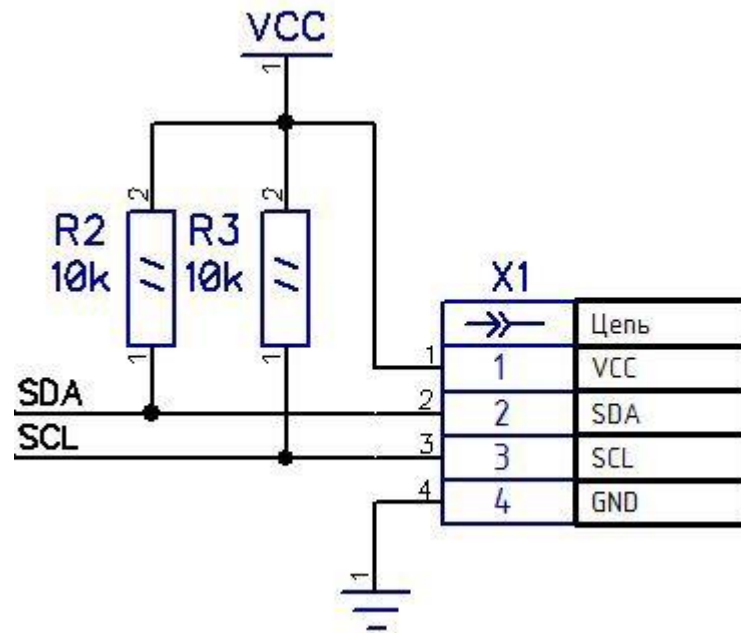


рисунок 16. Живлення пристрою 1-wire від зовнішнього джерела Кількість підключених паралельних датчиків фактично обмежене лише параметрами лінії. Можливо гаряче підключення й ідентифікація на ходу. Причому обчислювальна складність алгоритму ідентифікації $O(\log n)$ Більш докладно цей протоколом ми розглянемо пізніше. Про сам протокол можна почитати по посиланню: <http://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS18B20.pdf>

Підключення цифрових датчиків по стандарту I2C(Twi)/Smbus

Якщо 1-wire вимагала один провід даних, то ця шина, виходячи з назви Two-Wire Bus — два. Один із проводів — SCL буде тактуючим, по другому — SDA, напівдуплексом будуть передаватися дані. Шина з відкритим колектором, отже обидві лінії необхідно підтягти до живлення. Датчик буде підключатися в



такий спосіб:

рисунок17.

Підключення датчиків по I2C Загальна кількість пристроїв, які можна підключити до шини I2C — 112 пристроїв при 7-розрядній адресації. Кожному пристрою виділяється дві послідовні адреси, молодшим бітом виставляється режим — на читання або запис. Є строга вимога по ємності шини — не більше 400пФ. Загальноживані значення швидкостей — 100 кбіт/сек і 10 кбіт/сек, хоча останні стандарти допускають і швидкісні режими в 400 кбіт/сек і 3.4 Мбіт/сек. Шина може працювати як з незмінюваним майстром, там і з передачею прапора. Всю інформацію по даному протоколу можна знайти по посиланню: <http://www.esacademy.com/en/library/technical-articles-and-documents/miscellaneous/i2c-bus.html>

Підключення цифрових датчиків по стандарту SPI

Він потребує як мінімум три проводи, працює в режимі повного дуплекса — тобто організує одночасну передачу даних в обидва боки. Лінії зв'язку:

- CLK — лінія тактового сигналу.
- MOSI — вихід майстра, вхід слейва
- MISO — вхід майстра, вихід слейва
- CS — вибір чіпа (опціонально).

Один з пристроїв вибирається майстром. Він буде відповідати за тактування шини. Підключення здійснюється перехресним способом:

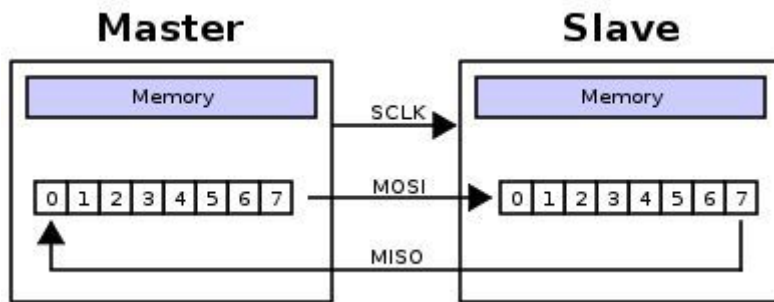


рисунок18. підключення

по SPI і суть передачі Кожний пристрою в колі містить свій зсувний регістр даних. За допомогою сигналів тактування, через 8 тактів вміст регістрів міняється місцями, тим самим, здійснюючи обмін даними. SPI — самий швидкісний із представлених інтерфейс передачі даних. Залежно від максимально-можливих частот тактування швидкість передачі даних може становити 20, 40, 75 Мбіт/сек і вище. Шина SPI дозволяє підключати пристрої паралельно, але тут виникає проблема — кожному пристрою потрібно своя лінія CS до процесора. Це обмежує загальну кількість пристроїв на одному інтерфейсі. Головна складність у налаштуванні SPI — це встановити полярність сигналу тактування. Про SPI з описом периферійних модулів SPI для AVR і MSP430 можна прочитати тут <http://www.gaw.ru/html.cgi/txt/interface/spi/index.htm>

4 Зняття показань із датчиків

Залежно від способу підключення датчика і його типу можливі різні способи зняття показань. Слід зазначити, що деякі датчики, наприклад цифрові датчики, або датчики складу газу, вимагають попереднього запуску режиму виміру, який може тривати якийсь час.

Таким чином, процес вимірювання складається із двох тактів — такт виміру даних і такт зняття даних. При організації програми можна піти по одному з наступних варіантів:

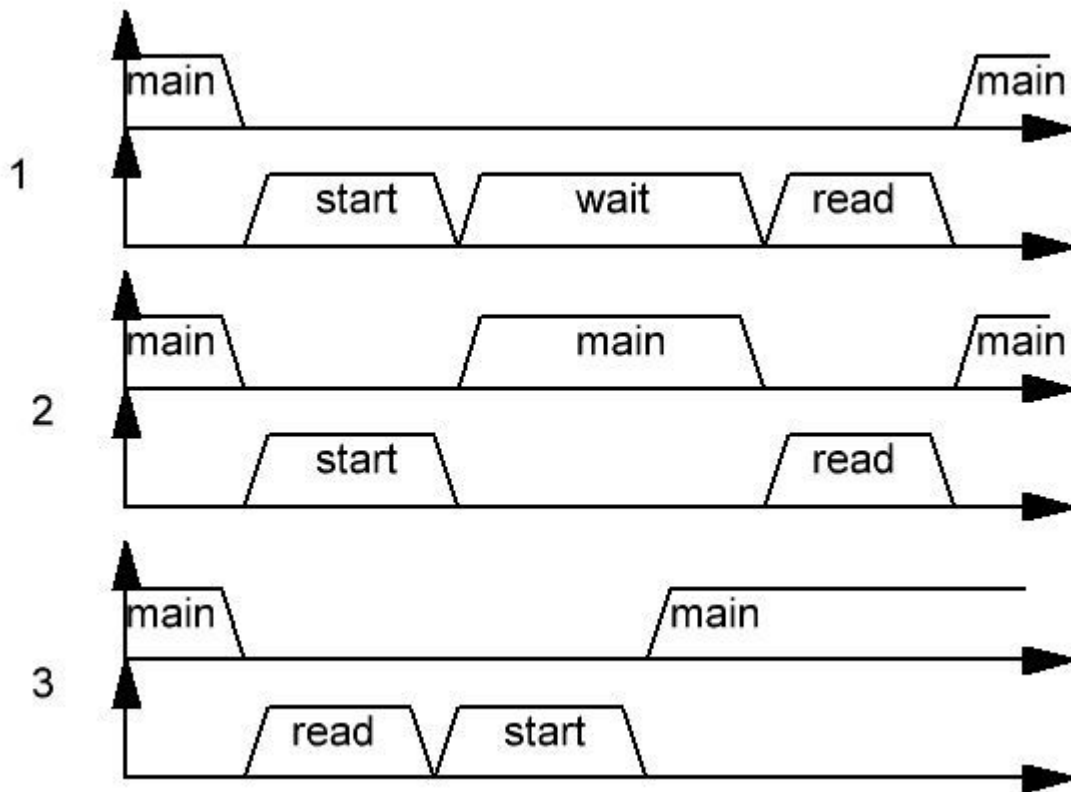


рисунок19. Процес зчитування показань із датчика

Розглянемо кожний варіант окремо:

Варіант 1. Запустили режим вимірів, почекали, зчитали.

Варіант притягальний своєю простотою, однак за нею криється проблема — під час очікування виконання вимірів мікроконтролер простоює, не виконуючи завдань. У більшості систем автоматики такий режим — недозволенна розкіш.

У коді це буде виглядати в такий спосіб:

```

Sensor.Start();//запустити процес вимірів
delay(MINIMAL_SENSOR_DELAY_TIME);//очікуємо          завершення
процесу
int var = Sensor.Read();//зчитуємо дані

```

Варіант 2. запустили режим вимірів, повернулися до інших завдань, по

закінченні часу спрацювало переривання, зчитали дані.

Один із кращих варіантів. Але найбільш складний:

```
void Setup()
{
  Timerisr.Setup(MINIMAL_SENSOR_DELAY_TIME);//настроюємо
переривання по таймеру з необхідною періодичністю
  int mode = START;//змінна стану
  Sensor.Start();//запускаємо процес вимірів у перший раз
}

Timerisr.Vector()
{//оброблювач переривання по таймеру
if (mode == START{
  mode = READ;
  var = Sensor.Read();//якщо датчик був у режимі виміру, зчитуємо дані
}
else
{
  mode = START;
  Sensor.Start();//якщо датчик був у режимі зчитування даних, запускаємо
новий цикл вимірів
}
}
```

Виглядає непогано. дозволяє варіювати час між циклами вимірів і циклами зчитування. наприклад, датчик складу газів повинен встигнути охолонути після попередніх вимірів, або встигнути нагрітися під час вимірів. Це різні періоди часу.

Варіант 3: Зчитали дані, запустили новий виток.

Якщо датчик дозволяє після зчитування даних запускати новий цикл вимірів, то чому б і ні — зробимо все навпаки.

```
void Setup(){
  Timerisr.Setup(MINIMAL_SENSOR_DELAY_TIME);//настроюємо
переривання по таймеру з необхідною періодичністю
  Sensor.Start();//запускаємо процес вимірів у перший раз
}
Timerisr.Vector(){//оброблювач переривання по таймеру
  var = Sensor.Read();//зчитуємо дані
  Sensor.Start();//запускаємо новий цикл вимірів
```

Відмінний спосіб заощадити час. Такий метод відмінно працює й без переривань. Цифрові датчики зберігають обчислене значення аж до відключення живлення. А з урахуванням того, що зчитувати сигнали з датчика вологості через його інерційність раз в 15 секунд часто й не потрібно, можна й зовсім зробити так:

```
void Setup(){
  Sensor.Start();//запускаємо процес вимірів у перший раз

  while(1){
    //багато всякої іншої рутини
    var = Sensor.Read();//зчитуємо дані
    Sensor.Start();//запускаємо новий цикл вимірів
  }
}
```

Може бути й такий варіант, що наш датчик самостійно запускає новий цикл

вимірів і потім за допомогою зовнішнього переривання він повідомляє про завершення вимірів. Наприклад, АЦП можна настроїти на автоматичний режим зчитування даних із частотою N Гц. З одного боку, в оброблювачі переривання буде досить реалізувати тільки процес зчитування нових даних. З іншого боку, можна скористатися перериванням АЦП із режимом прямого доступу до пам'яті — ПДП(DMA). У цьому випадку по сигналу переривання периферійний модуль АЦП на апаратному рівні самостійно скопіює дані в певну комірку пам'яті в ОЗП, тим самим забезпечуючи максимальну швидкість обробки даних і мінімальний вплив на робочу програму (не треба йти в переривання, викликати оброблювач та ін.).

Але використання DMA сильно виходить за рамки даного циклу.

На жаль, перший метод поголовно використовується в бібліотеках і прикладах для Arduino, не дозволяє цій платформі правильно використовувати ресурси мікроконтролера. Зате він простіше в написанні й налагодженню.

4.1 Робота з АЦП

Маючи справу з аналоговими датчиками маємо справу з АЦП. У цьому випадку розглядається АЦП вбудований у мікроконтролер. Тому що АЦП є по суті тим же датчиком — перетворить електричний сигнал в інформаційний — для нього справедливо все що описано вище. Головними характеристиками АЦП для нас є його ефективна розрядність, чутливість, опорна напруга й швидкодія. При цьому, вихідним значенням АЦП перетворення буде деяке число у вихідному регістрі, яке необхідно перевести в абсолютне значення в одиницях вимірюваної величини. Надалі, для окремих датчиків будуть розглянуті приклади таких розрахунків.

4.1.1 Опорна напруга

Опорна напруга АЦП — це напруга, якому буде відповідати максимальне

вихідне значення АЦП. Опорна напруга подається від джерела напруги, як вбудованого в мікроконтролер, так і зовнішнього. Від точності цього джерела залежить точність показань АЦП. Типова опорна напруга вбудованого джерела рівняється напрузі живлення або половині напруги живлення мікроконтролера. Можуть бути й інші значення.

Наприклад, таблиця можливих значень опорної напруги для мікроконтролера Atmega1280:

REFS1	REFS0	Voltage Reference Selection ⁽¹⁾
0	0	AREF, Internal V_{REF} turned off
0	1	AVCC with external capacitor at AREF pin
1	0	Internal 1.1V Voltage Reference with external capacitor at AREF pin
1	1	Internal 2.56V Voltage Reference with external capacitor at AREF pin

рисунок 20. Вибір опорної напруги для АЦП мікроконтролера Atmega1280

4.1.2 Розрядність АЦП і чутливість

Розрядність АЦП визначає максимальні й мінімальні значення у вихідному регістрі при мінімальному й максимальному вхідному впливі електричного сигналу.

Слід зазначити, що максимальна розрядність АЦП може не відповідати його ефективній розрядності.

Частина молодших розрядів може бути віддана на шум. Звернемося до опису на мікроконтролер ADuCM360, що має 24-розрядний АЦП із ефективною розрядністю 14 біт:

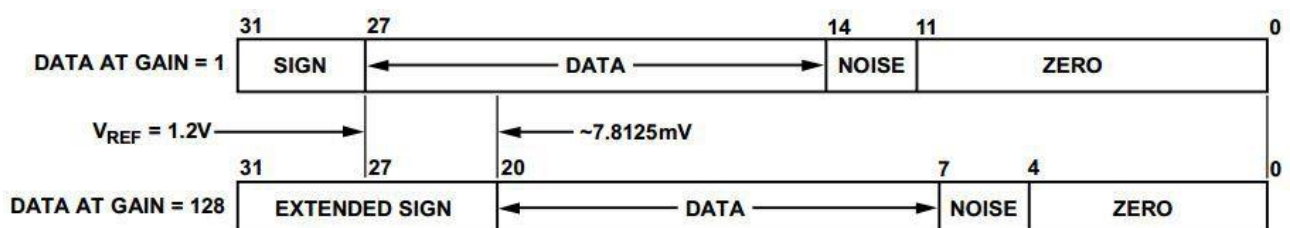


рисунок21. Призначення битов регістру даних АЦП

Як видно з рисунка, в 32-розрядному регістрі, частина виділяється на знак, частину на нулі й частина на шум. І лише 14 розрядів містять дані, що мають зазначену точність. У кожному разі, ці дані завжди вказуються в документації.

Від ефективної розрядності АЦП залежить його чутливість. Чим більше проміжних рівнів вихідної напруги, тем вище буде чутливість.

Допустимо, опорна напруга АЦП $U_{оп}$. Тоді, N-Розрядний АЦП, маючи 2N можливих значень, має чутливість

$$a = \frac{U_{оп}}{2^N}, B \quad (11)$$

Таким чином, для 12-розрядного АЦП і опорної напруги в 3,3В його чутливість складе $3,3/4096 = 0,8\text{мВ}$

Тому що наш датчик також має певну чутливість і точністю, буде непогано, якщо АЦП буде мати кращі показники

4.1.3 Швидкодія АЦП

Швидкодія АЦП визначає, наскільки швидко зчитуються дані. Для АЦП послідовного наближення потрібна певна кількість тактів, щоб оцифрувати рівень вхідної напруги. Чим більше розрядність, тем потрібно більше часу, відповідно, якщо до кінця вимірювання рівень сигналу встигає змінитися, це відіб'ється на точності вимірювання.

Швидкодія АЦП вимірюється в кількості семплів даних у секунду. Воно визначається як частота сигналу тактування АЦП, ділена на необхідне для виміру число такти. Наприклад, маючи частоту тактування АЦП в 1МГц і 13 тактів для зняття показань, швидкодія АЦП буде рівною 77 кілосемплів у секунду. Для кожного варіанта розрядності можливо розрахувати свою швидкодію. У технічній документації звичайно вказується максимально-

можлива частота тактування АЦП і його максимальна швидкодія при тій або іншій розрядності.

4.2 Цифрові датчики

Головна перевага цифрових датчиків перед аналоговими — вони надають інформацію про вимірювану величину готовому виді. Цифровий датчик вологості поверне абсолютне значення вологості у відсотках, цифровий датчик температури — значення температури в градусах.

Управління датчиком здійснюється за допомогою наявних у ньому регістрів у формі питання-відповідь. Питання наступні:

Запиши в регістр А значення В

Поверни значення, що зберігається в регістрі С

У відповідь датчик, відповідно, або записує необхідні дані в регістр, роблячи настроювання параметрів або запуск якогось режиму, або передає контролеру обмірювані дані в готовому виді.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Бессекерский В.А., Попов Е.П. Теорія систем автоматичного керування / В.А. Бессекерский, Е.П. Попов — Изд. 4-е, перераб. І доп. - Спб., Професія, 2007. - 752с.
2. Датчики: Довідковий посібник / В.М. Шарапов, Е.С. Поліщук, Н.Д. Кошовий, Г.Г. Ишанин, І.Г. Минаев, А.С. Совлуков. - Москва: Техносфера, 2012. - 624 с.
3. Г. Виглеб. Датчики. Обладнання й застосування. Москва. Видавництво «Мир», 1989
4. Сучасні датчики. Довідник. ДЖ. ФРАЙДЕН Переклад з англійського Ю. А. Заболотної за редакцією Е. Л. Свинцова ТЕХНОСФЕРА Москва Техносфера-2005

5. <https://habr.com/post/258967/>