

## Тема 7. Інтелектуальні сенсори. Мікросистемні технології

Зовсім нові можливості з'явилися в 80-х роках ХХ століття, коли почалося серійне виробництво мікропроцесорів і мікрокомп'ютерів, що уміщалися вже на одному кристалі кремнію ("чіпі"). Кожен з них - це маленький універсальний штучний електронний "мозок", який можна вбудувати в сенсор і виконувати в нім досить складну обробку первинної інформації. Тим самим склалися передумови для народження принципово нового класу сучасних "інтелектуальних" сенсорів.

Такі сенсори, як правило, є "активними", тобто не просто пасивно сприймають вплив, властивості, характеристики об'єкту спостереження, але і самі спеціальним чином впливають на об'єкт, сприймаючи і аналізуючи викликані цим зміни.

Для них не є проблемою врахувати нелінійність характеристик чутливих елементів, різні поправки і вплив сторонніх дій (напр., зміни температури). Якщо вимагається, вони самі автоматично можуть повторити виміри, усереднити результати, перерахувати в інші одиниці виміри і т. п.

Його "інтелект" зосереджений в мікрокомп'ютері МК (інші назви - мікропроцесор, мікроконтроллер, мікроконвертор).

МК не лише обробляє інформацію, але і організовує усю роботу сенсора і його інформаційний зв'язок із зовнішнім світом - з користувачем, із зовнішнім комп'ютером, з каналом зв'язку або з комп'ютерною мережею.

Мікрокомп'ютер за наявності відповідних закладених в його пам'ять мікропрограм може виконувати також самоконтроль, контроль усіх вузлів сенсора і видавати користувачеві попередження і діагностичні повідомлення. Користувач має можливість впливати на роботу сенсора через клавіатуру (Кл), зокрема, вибирати і змінювати режими роботи, задавати або змінювати якісь уставки і параметри і т. д.

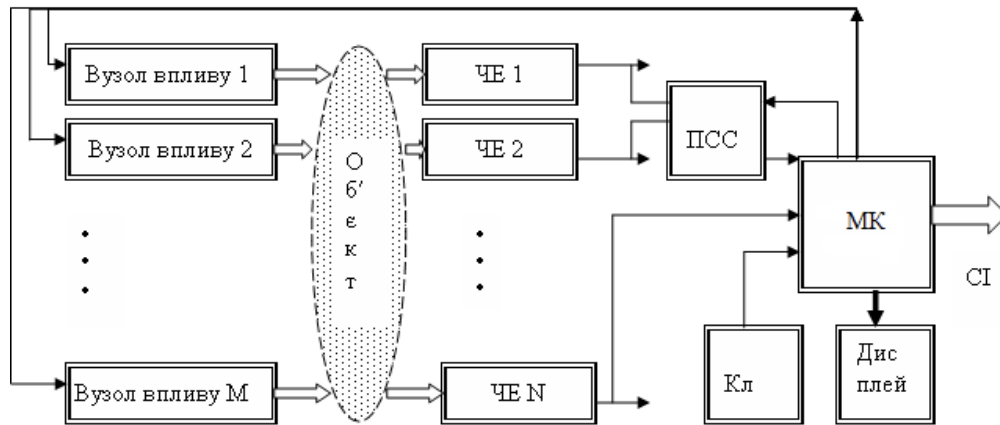


Рисунок 7.1 – Функціональна схема "інтелектуального" сенсора  
 ЧЕ - чутливі елементи; ПСС - підсилювачі-селектори сигналів; МК - мікрокомп'ютер; Кл – клавіатура, СІ – стандартний інтерфейс.

Отримавши команду про початок роботи, мікрокомп'ютер в передбаченому програмою порядку включає вузли дії на об'єкт спостереження і починає відстежувати сигнали, що поступають від чутливих елементів (ЧЕ). Слабкі або "зашумлені" сигнали заздалегідь посилюються і виділяються в підсилювачі-селекторі сигналів (ПСС). Сигнали, що не вимагають посилення або селекції, можуть поступати безпосередньо в мікрокомп'ютер. Відстежуючи дані від чутливих елементів, мікрокомп'ютер може автоматично змінювати інтенсивність або характер дії на об'єкт спостереження, величину посилення або характер селекції сигналів у вузлі ПСС.

Відповідно до заданої мікропрограми мікрокомп'ютер обробляє сукупність сигналів, що поступають від чутливих елементів, а отримані результати перекодує в найбільш зручну для користувача форму і виводить на дисплей. Отримані результати можуть бути також помічені, розсортовані, "упаковані", занесені в довготривалу пам'ять мікрокомп'ютера і зберігатися в ній, а коли знадобиться, то через стандартний інтерфейс (СІ) передані в зовнішній комп'ютер або в комп'ютерну мережу. Завдяки цьому нові "інтелектуальні" сенсори органічно вписуються в новітні високопродуктивні технології промислового і сільськогосподарського виробництва, медичної практики, наукових досліджень.

У деяких інтелектуальних сенсорах клавіатуру і дисплей об'єднують у вигляді сенсорного екрану.

Наявність вбудованого мікрокомп'ютера надає "інтелектуальним" сенсорам небачену раніше гнучкість, можливість автоматичної адаптації до умов роботи, що змінюються. Стає можливою багатофункціональність, коли, міняючи яку-небудь насадку і переходячи в інший режим роботи, сенсор порівняно легко може виконувати зовсім іншу функцію. Наприклад, багато мобільних телефонів можуть служити і в якості записника, кишенькового комп'ютера, цифрового фотоапарата.

І, нарешті, інтелектуальний сенсор може бути здатний не лише збирати, обробляти і поставляти ті або інші дані про контрольований об'єкт, але і інтерпретувати їх, допомагаючи користувачеві в діагностиці і ухваленні рішення.

Можна сміливо стверджувати, що без інтелектуальних сенсорів не може функціонувати і справжній штучний інтелект. Адже глибока попередня обробка первинних даних вже в сенсорах - це передумова створення інформаційних моделей усе більш високого рівня.

Підводячи підсумок, поняття "Інтелектуальний сенсор" можна визначити таким чином.

Інтелектуальний сенсор - це сенсор, що має у своєму складі мікрокомп'ютер і завдяки цьому здатний виконувати досить складну обробку первинної інформації; враховувати все нелінійності і необхідні поправки; видавати дані в найбільш зручній для користувача формі; активно впливати на об'єкт спостереження, сприймаючи і аналізуючи викликані цим зміни; робити самоконтроль і самодіагностику; накопичувати і систематизувати дані; підтримувати інформаційний зв'язок із зовнішнім світом; змінювати режими своєї роботи, адаптуючись до умов, що змінюються; переходити до виконання інших функцій і т.д.

## **Класифікація інтелектуальних сенсорів**

Інтелектуальні сенсори можна класифікувати, як і прості сенсори, за призначенням, по класу точності або по швидкодії, по габаритах і масі, по діапазону допустимих умов застосування, по принципах їх дії і т. д.

За призначенням, наприклад, сенсори часто класифікують на призначені для застосування:

- в тих або інших галузях промисловості (у автомобілебудуванні, авіакосмічній, кораблебудівній, харчовій промисловості ...);
- в сільському господарстві (у тваринництві, рослинництві, при розведенні і лові риби);
- в різних видах техніки, медичних приладах, в наукових дослідженнях, в екології;
- в обслуговуванні населення;
- в спорті, у військовій справі;
- для контролю за якістю продуктів, води;
- для техніки безпеки і охорони об'єктів і т. д.

Сенсори, що використовуються як вимірювальні прилади, класифікують за призначенням залежно від того, які фізичні величини вони вимірюють. Їх прийнято називати "датчиками" (в'язкості, тиску, магнітного поля, потоку, сили, швидкості, температури, кута повороту, електричних величин і тому подібне).

По точності сенсори поділяють на стандартні класи точності, які прийняті в техніці вимірів. Іноді їх розділяють тільки якісно: на високоточні, середній точності і грубі, такі, що зазвичай називаються "індикаторами".

По габаритах і масі розрізняють великі стаціонарні сенсори (наприклад, радіотелескопи), переносні сенсори, портативні ("кишенькові") сенсори і мікросенсори.

По діапазону допустимих умов застосування розрізняють сенсори, придатні для використання,

- тільки в лабораторних умовах,
- в польових умовах або

- в особливих умовах (при дуже низьких або при дуже високих температурах, в морських умовах або під водою, в умовах підвищеної радіації, у вакуумі) і т. д.

Набагато складніше йде справа при спробах класифікації сенсорів за принципом дії. Адже сенсори можуть складатися з багатьох вузлів, кожен з яких може діяти по своїх принципах.

Вибираючи принцип класифікації сенсорів враховується те, що будь-який сенсор, і особливо інтелектуальний сенсор, - це, в першу чергу, інформаційний прилад, який спостерігає з деякого боку навколишній світ і добуває з нього корисну інформацію, необхідну для успішної діяльності всякої саморегулюючої життєздатної системи.

Інформаційна сторона сенсорів не менш важлива і потрібна, як і їх фізична, фізико- хімічна або біохімічна сторона. А за великим рахунком, вона навіть є головною, визначальною. Бо сенсори, власне кажучи, і існують для того, щоб добувати корисну інформацію.

Тому існує доцільність класифікації сенсорів саме за інформаційно-фізичною ознакою, зокрема, по фізичній природі первинних інформаційних сигналів, що виникають в них. Такий принцип класифікації доки є незвичним. Проте він є природним і зрозумілим, якщо розглядати сенсори як інформаційні прилади.

До класу "комбінованих" відносяться сенсори, в яких формуються і використовуються одночасно декілька різних первинних інформаційних сигналів, що мають різну фізичну природу. Наприклад, в тонометрі первинні інформаційні сигнали, що поступають через стетоскоп у вуха лікаря, є акустичними. Але паралельно лікар дивиться на манометр і прочитує з нього величину тиску. Цей сигнал має вигляд механічного переміщення стрілки, тобто по фізичній природі є механічним.

Інший приклад - магнітокардіографи. У них первинними інформаційними сигналами є обумовлені роботою серця невеликі зміни магнітних потоків, що

сприймаються надпровідними інтерферометрами, а також синхронні зміни електричних потенціалів на поверхні тіла.

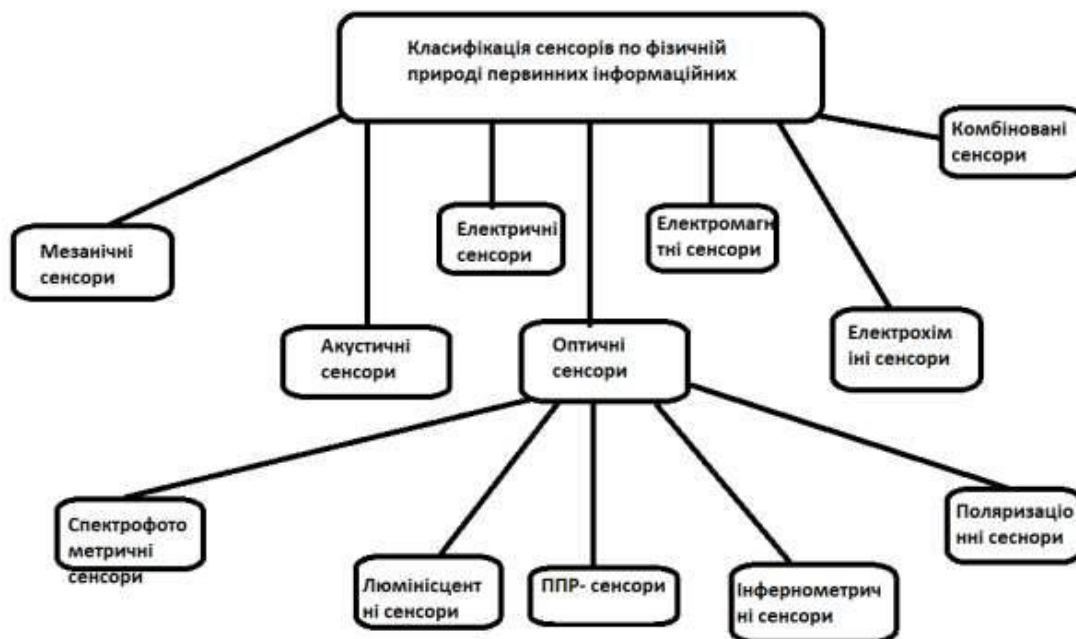


Рисунок 7.2 – Класифікація сенсорів по фізичній природі первинних інформаційних сигналів

Чутливим елементом рівня (ватерпаса) - сенсора малих відхилень від горизонтального положення плоскої поверхні - являється бульбашка повітря, плаваюча під прозорим віконцем на поверхні води. Під дією виштовхуючої сили (сили Архімеда) бульбашка завжди займає саме верхнє положення. І тому, якщо поверхня, на якій встановлений рівень, нахилиється по відношенню до горизонтальної площини, то бульбашка повітря переміщається. Сигналізатором є нанесена на віконце рівня шкала кутів нахилів, а первинним інформаційним сигналом - переміщення бульбашки повітря відносно шкали. Тому і цей сенсор ми відносимо до класу механічних.

Простий компас - сенсор для точного орієнтування на місцевості - зазвичай відносять до класу "магнітних" з тієї причини, що він реагує на магнітне поле Землі, і його стрілка встановлюється уздовж силових ліній цього поля. Проте первинним інформаційним сигналом в ній є поворот магнітної стрілки, тобто

механічне кутове переміщення. Тому по нашій класифікації компас відноситься теж до класу механічних сенсорів.

До класу механічних слід віднести і медичні ртутні термометри - сенсори температури тіла. Адже первинним інформаційним сигналом в них є подовження ртутного стовпчика, тобто механічне переміщення.

Електрокардіографи, безумовно, відносяться до класу електричних сенсорів, оскільки первинними інформаційними сигналами в них є зміни електричних потенціалів в різних точках на поверхні грудної клітки. При подальшій візуалізації електрокардіограми за допомогою самописця або на екрані електронно-променевої трубки сигнали ці перетворюються на механічні відхилення пера самописця або електронного променя. Лікар же сприймає їх очима у вигляді оптичних сигналів. Тобто, фізична природа сигналів потім може змінюватися. Але для класифікації важлива фізична природа саме первинних інформаційних сигналів.

У тонометрах - сенсорах для визначення артеріального тиску крові - первинним інформаційним сигналом є акустичні коливання, викликані пульсаціями тиску артеріальної крові. Тому тонометри можна віднести до класу акустичних сенсорів.

Проте, якщо враховувати те, що рівноправним первинним інформаційним сигналом є в них ще і механічне переміщення стрілки манометра, то тонометри слід віднести до класу комбінованих сенсорів - акустомеханічних.

Магніторезонансний томограф. Первинними інформаційними сигналами є в ньому електромагнітні сигнали характерних частот, викликані "спіновою луною", - що триває ще деякий час прецесією спінів ядер після виключення збудливого електромагнітного поля. Тому магніторезонансний томограф в такій класифікації відноситься до електромагнітних сенсорів.

### **Види механічних сенсорів**

У механічних сенсорах первинні сигнали про стан досліджуваного об'єкту або процесу мають механічну природу.

Це можуть бути:

- зміна форми і/або розмірів тіл;
- зміна їх взаємного розташування, тобто механічне переміщення;
- зміна швидкості руху;
- виникнення прискорень;
- зміна амплітуди, фази або частоти механічних коливань і тому подібне.

Відповідно є сенс підрозділяти механічні сенсори з урахуванням фізичної природи чутливих елементів і первинних інформаційних сигналів, які в них виникають, на наступні види:

- деформаційні сенсори, первинними сигналами в яких є зміни форми, об'єму або розмірів чутливого елементу;
- сенсори лінійного переміщення, первинним сигналом в яких є переміщення центру маси тіла в просторі;
- сенсори кутового переміщення, первинними сигналами в яких є нахил тіла, поворот, обертання;
- акселерометри, в яких первинним сигналом є виникнення механічного прискорення;
- вібраційні сенсори, в яких первинним сигналом є зміна стану механічних коливань тіла або системи тіл;
- хроматографічні сенсори, первинні сигнали в яких з'являються внаслідок механічного переміщення молекул (рідини, газу) крізь пористе середовище.

На першому етапі технологічного розвитку людства переважна більшість сенсорів були механічними. Відхилення від вертикалі визначали за допомогою схилів, від горизонталі - за допомогою ватерпаса або просто наливої в чашу рідини, напрям вітру - по повороту флюгера або по направленню поширення диму з димарів і тому подібне.

Згідно систематизації схил і флюгер є сенсорами кутового, а ватерпас - сенсором лінійного переміщення. Навіть хід часу вимірювали механічними сенсорами: по спостережуваному руху сонця, місяця або зірок на небозводі, по



переміщенню тіні на сонячному годиннику (усе це - сенсори кутового переміщення), по витіканню води або висипанню піску з посудини через вузький отвір (це - сенсори лінійного переміщення) і тому подібне.

Пізніше стали користуватися механічними маятниковими годинами. Термометри теж довго були тільки механічними, оскільки в них використовувалося явище теплового розширення тіл, і температуру визначали по механічному переміщенню стовпчика рідини у вузькому капілярі.



Рисунок 7.3 – Види механічних сенсорів

Механічним сенсором є, наприклад, і компас.

Останні два приклади наочно демонструють різницю між можливими підходами до класифікації сенсорів.

Якщо їх класифікувати за призначенням або за вимірюваною фізичною величиною, то звичайний ртутний або спиртовий термометри є температурними сенсорами, а компас - магнітним сенсором.

Якщо ж класифікувати по фізичній природі первинних сигналів, які виникають в сенсорі, то обидва названі види сенсорів є механічними: в термометрах первинним сигналом є подовження стовпчика рідини (сенсор лінійного переміщення), в компасі - механічний поворот магнітної стрілки (сенсор кутового переміщення).

## Мікросистемні технології

Новий етап в розвитку механічних сенсорів почався в 90-х роках ХХ століття з розробкою і освоєнням мікросистемних технологій ( МСТ ).

Мікросистемні технології - це технології групового виготовлення мікромеханічних деталей і пристроїв разом з електричними вузлами для їх живлення, управління і електронними мікросхемами для обробки інформації.

З цією метою були використані що існували і розвинені нові групові технологічні операції і процеси мікроелектроніки з інтеграцією знань і методів точної механіки і вимірювальної техніки.

Створені системи автоматизованого проектування мікро–електромеханічних інтегральних виробів і цілих систем на кристалі, які дозволяють істотно скоротити терміни розробки виробів, оптимізувати їх конструкцію і технологію виготовлення.

Назви групових технологічних операцій, які входять до складу МСТ :

- фотолітографія (варіанти – звичайна з використанням видимого світла, ультрафіолетова, рентгенівська, електронна і іонна літографії);
- відмивання, очищення;
- протравлення (хімічне, плазмохімічне, електрохімічне, іонне, анізотропне);
- напилення (вакуумне термічне, іонне, плазмове, магнітронне і тому подібне);
- намазування, пульверизація, наплавлення;
- епітаксія - гальванічне або хімічне осадження;
- окислення;
- легування (дифузія, іонна імплантація і тому подібне).

Мікросистемні "високі технології" розвивають нині вже сотні лабораторій, університетів, науково-дослідних інститутів і промислових фірм у всьому світі. Деякі з опублікованих в Інтернеті прикладів розробок однієї з них - американської лабораторії Sandia National Laboratories (<http://mems.sandia.gov/scripts/images.asp>)

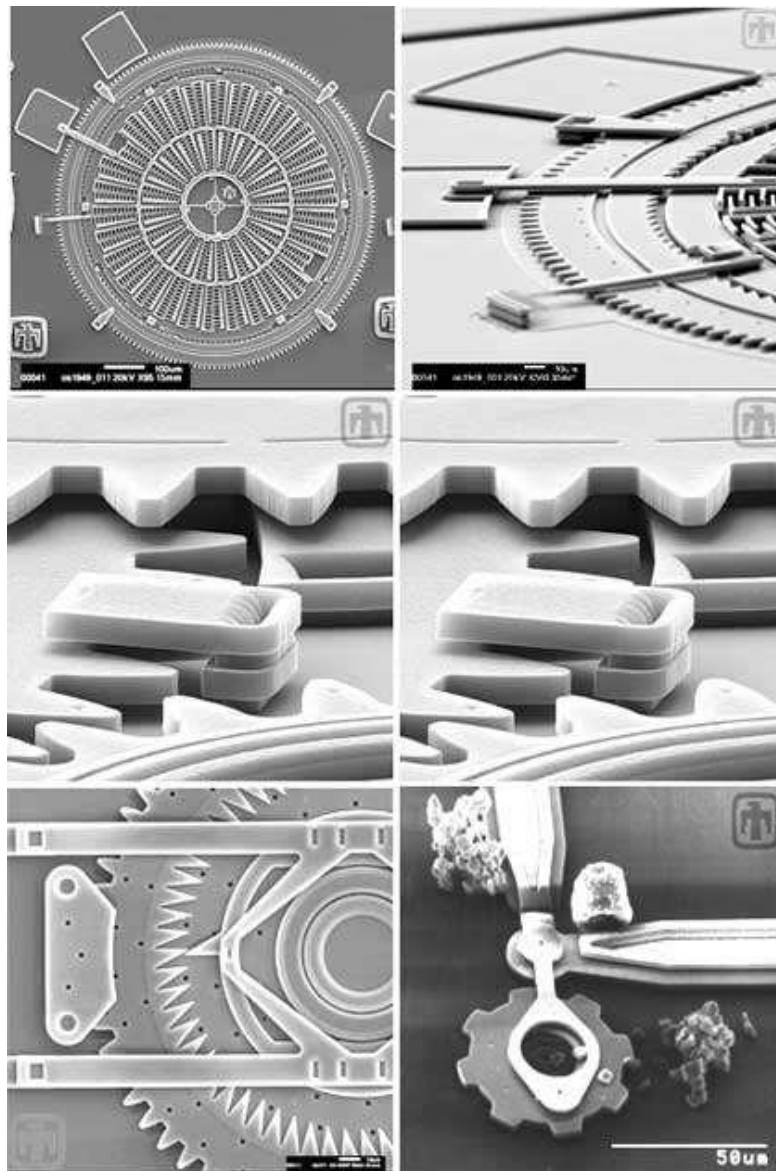


Рисунок 7.4 – Розробки американської лабораторії Sandia National Laboratories

Ліворуч згори - загальне зображення механізму храпового колеса діаметром усього лише 0,8 мм, виготовленого за допомогою МСТ.

Ліворуч внизу показаний увесь приводний механізм мікродвигуна із зубцями заввишки по 10 мкм, на інших фотознімках - різні деталі таких конструкцій при більшому збільшенні.

Справа внизу на тлі таких деталей для порівняння сфотографовані еритроцити і інші клітини крові людини. Відповідні технології називають "мікросистемними" тому, що вони дозволяють формувати на одній підкладці як мікроелектронні, так і оптичні, оптоелектронні, мікромеханічні, електрохімічні

та ін. пристрою, створюючи досить складні системи, які прийнято називати МЕМС (мікроелектромеханічні системи, - Microelektromechanical Systems).

У США, наприклад, за допомогою таких технологій створений прекрасно функціонуючий мініатюрний літак масою до 80 г (разом з паливом), призначений для проведення дистанційних відеоспостережень з висоти пташиного польоту.

Літак цей має розмах крил 15 см, розвиває швидкість до 70 км/год, несе на собі 2 відеокамери масою по 2 г кожна з електронікою, яка забезпечує радіопередачу відеозображень на відстань до 2 км. Тривалість автономного польоту, обумовлена запасом палива, може скласти до 30 хв.

Мікросистемні технології є "високою технологією", тобто складними, прецизійними, наукомісткими, вимагають для свого здійснення застосування дорогого високоточного устаткування, високочистого виробничого середовища, найвищої культури виробництва. Але завдяки тому, що тисячі або навіть мільйони компонентів виготовляють одночасно, в єдиному груповому технологічному процесі, - завдяки цьому вироби мають прийнятну вартість при дуже високих технічних характеристиках.

### **Деформаційні інтелектуальні сенсори**

Найбільш відомими деформаційними чутливими елементами є деформаційні чутливі елементи для виміру температури, сили і тиску. У виробничих умовах для стеження за температурою з метою її регулювання перевагу зазвичай віддають біметалічним чутливим елементам. Вони є біметалічними смужками, які складаються з двох міцно сполучених між собою шарів металів з температурними коефіцієнтами лінійного розширення (ТКЛР), що істотно відрізняються.

При підвищенні температури один з металів подовжується більше, інший - менше. В результаті біметалічна смужка вигинається у бік металу з меншим ТКЛР.

З'являється первинний сенсорний сигнал - зміна вигину, що означає "зміну температури". Так в даному випадку "народжується" інформація.

Далі деформаційний сигнал можна використати різними способами.

У термостатах і автоматичних регуляторах температури з електронагрівачами вигинання біметалічної пластини використовують безпосередньо для автоматичного замикання або розмикання електричного ланцюга, через який електрична потужність подається в нагрівач. Досягши заданої температури величина вигину досягає такої міри, що електричний ланцюг нагрівача автоматично розмикається, і подальше нагрівання припиняється. Налаштування на потрібну температуру здійснюється регулюванням взаємного положення контактів. Коли температура знижується, то вигин біметалічної пластини зменшується, і контакт знову автоматично замикається. Виділення тепла в нагрівачі поновлюється, падіння температури припиняється, і вона знову починає підвищуватися. Біметалічна пластина виконує в даному випадку функції не лише чутливого елемента, але і актуатора.

Актуатор - це пристрій, який активно реагує на поданий сигнал, здійснюючи якусь дію.

У цьому прикладі біметалічна пластина-актуатор замикає або розмикає електричний

ланцюг. Промислово випускаються відносно дешеві відрегульовані біметалічні термореле, які можуть пропускати і комутувати електричний струм силою до 16А, забезпечуючи точність регулювання температури 3-10 0С. Один з таких регуляторів - термореле ТК- 52 - показаний на рис. 7.5 а.

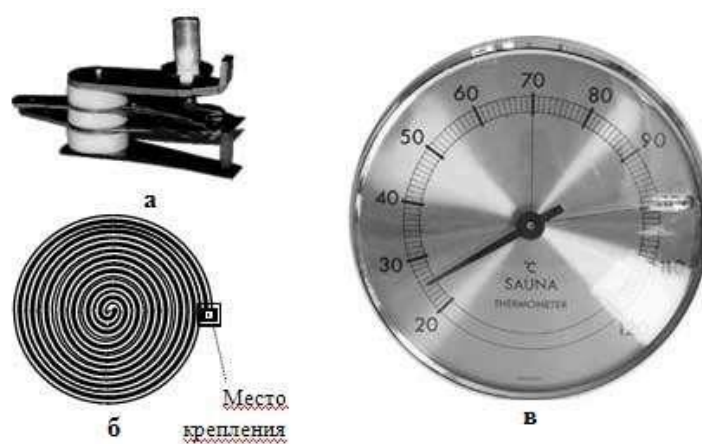


Рисунок 7.5 – Актуатор

- а) Біметалічне термореле ТК- 52;
- б) до пояснення принципу дії біметалічної спіралі;
- в) зовнішній вигляд спірального біметалічного термометра "Сауна"

Вигинання біметалічної пластини можна використати не лише для комутації електричних ланцюгів, але і засобами точної механіки перетворити далі, наприклад, у відхилення стрілки на циферблаті з температурною шкалою. Щоб підвищити чутливість такого термометра і одночасно спростити і здешевити його конструкцію, застосовують біметалічні спіралі з великою кількістю витків (рис. 7.5 б). Така плоска спіраль з підвищенням температури розкручується, а при зниженні - скручується значно більше, чим окрема смужка.

При вимірах тиску рідини або газу в якості чутливих елементів часто використовують механічні пристрої, які деформуються під дією тиску. Найбільш споживані з них - трубки Бурдона, сільфони і пружні мембрани - показані на рисунку. Принципи їх дії пояснюють рис. 7.5 (а, б, в).

Механічні деформаційні елементи, чутливі до тиску: а і г - трубка Бурдона; б і д - сільфон; в - мембрана (рис. 7.6).

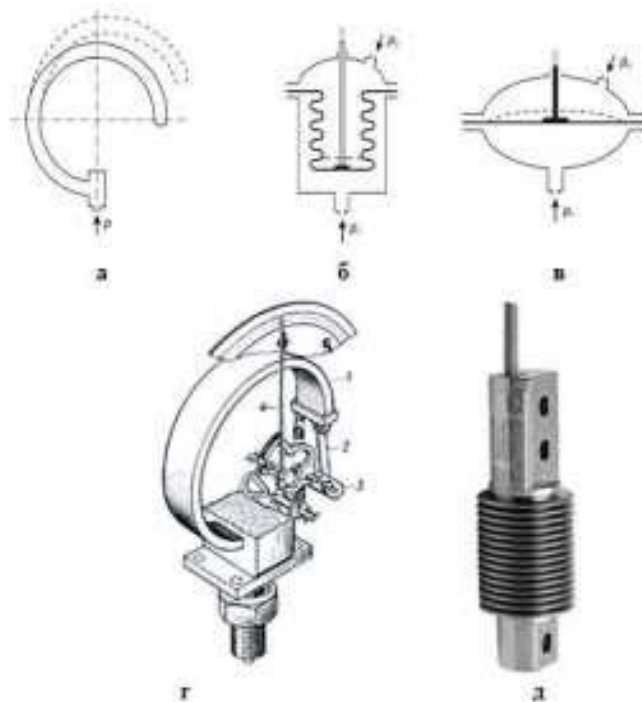


Рисунок 7.6 – Механічні деформаційні елементи, чутливі до тиску

Трубка Бурдона (рис. 7.6 а) - це порожня усередині пружна трубка з овальним або прямокутним (але тільки не круговим) перерізом, зігнута в кільце. Вільний кінець трубки герметично закритий, а інший кінець механічно закріплений і сполучений з об'ємом, в якому вимірюється тиск. Коли тиск усередині трубки перевищує зовнішній тиск, то воно розпинає трубку, вона починає розкручуватися - тим більше, чим більше вимірювана різниця тисків.

Цей принцип ще в 1848 р. винайшов французький вчений Э. Бурдон, на честь якого і названа трубка. Принцип цей використовується і у відомій дитячій іграшці - скрученій гумовій або паперовій "мові", яка при надуванні розкручується, значно подовжуючись. Рух вільного кінця трубки через відповідний механізм передається на стрілку (для оптичного прочитування) або на повзунок потенціометра або конденсатора змінної місткості (для перетворення на електричний сигнал). Одна з можливих конструкцій манометра показана на рис. Тут 1 - вільний кінець трубки Бурдону, 2 і 3 – передатний механізм, 4 - стрілка, 5 - шкала тисків.

Для розширення діапазону вимірюваних тисків і підвищення точності вимірів часто використовують не один виток трубки Бурдону, а 10-30 витків, згорнутих в спіраль. При цьому вдається перекрити діапазон тисків від 1 Па до 105 Па і забезпечити точність вимірювань від 4% до 0,1%.

Сільфон - це еластична гофрована трубка, усередині і ззовні якою створюються різні тиски: одно з них - вимірюване, інше - опорне. Чим більше перевищення тиску усередині над тиском ззовні сільфону, тим більше він розтягується. Завдяки гофрованим складкам деформація сільфону не призводить до втрати герметичності. До рухливого торця сільфону прикріплюють шток, який перетворює деформацію сільфону на лінійне переміщення. Сільфони частіше застосовують в сенсорах диференціального тиску. Іноді їх використовують також і як деформаційний чутливий елемент, що реагує на прикладену силу. Для цього в недорогих вагах і динамометрах сільфон герметично закривається з обох боків.

Для виміру ваги і сили часто використовують і інший деформаційний чутливий елемент - пружину. Пружини в якості чутливого елемента використовують зазвичай лише в межах лінійної пружної деформації, коли виконується відомий закон Гуку :

$$\Delta l = kFl ,$$

де  $k$  – коефіцієнт пружності,  $F$  – прикладена сила,  $l$  – довжина ненавантаженої пружини,  $\Delta l$  – величина розтягнення або стиснення пружини.

Мембрана - тонка пружна гнучка перегородка між двома об'ємами з різним тиском. Мембрана вигинається у бік об'єму з меншим тиском, причому її переміщення тим більше, чим більше різниці тисків. Діапазон вимірюваної різниці тисків залежить від коефіцієнта пружності мембрани. До місця найбільшого прогину кріплять шток, який перетворює деформаційний сигнал на лінійне переміщення і приводить в дію механізм відліку диференціального тиску.

Спектр деформаційних чутливих елементів не вичерпується лише контролем і виміром температури і тиску. Їх застосовують, наприклад, також для контролю і виміру крутильних моментів. В цьому випадку використовується пружна деформація кручення. В якості чутливого елемента часто використовують кварцеві волоски. (досліди П.Н. Лебедева (Москва, 1900 р.) по виміру найменшого тиску світла. Винайдений ним сенсор складався з якнайлегших "крилець" 1, виготовлених з тонкої слюди і підвішених на тонкій нитці 2 з плавленого кварцу (рис. 7.7).

Одна із слюдяних пластинок була прозорою або дзеркальною, друга - зачорнена. Коли на крильця падало яскраве світло, його тиск на різні половинки крилець був різним. В результаті нитка закручувалася на кут, при якому виникаючий момент сили пружності точно компенсував момент, що крутить, створюється світловим тиском. Для виміру дуже малих крутильних деформацій на нитці зміцнювалося також легке люстерко 3. При його повороті відбитий світловий "зайчик" переміщався. І на досить великих відстанях від люстерка переміщення "зайчика" можна було точно вимірювати. Щоб виключити вплив



рухів повітря, нитка 2 підвішувалася під скляним ковпаком 4, усередині якого створювався вакуум. А для виключення перешкод від вібрацій ковпак 4 встановлювався на важкій станині 5, добре захищеною від вібрацій.

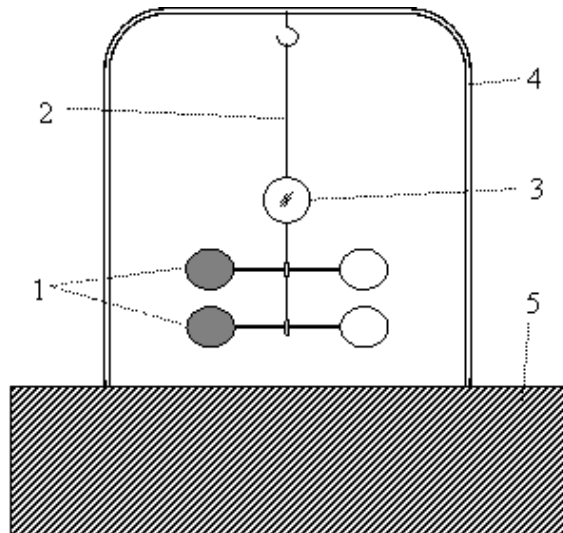


Рисунок 7.7 – Принцип дії сенсора світлового тиску П.Н. Лебедева

1 - "крильця"; 2 - кварцевий волосок; 3 - люстерко; 4 - скляний вакуумний ковпак; 5 - захищена від вібрацій станина

Об'єктом спостереження в цьому сенсорі є світловий потік, що падає на крильця 1. Первинний сигнал деформації скручування нитки 2 посилюється за допомогою люстерка 3 і перетворюється на сигнал лінійного переміщення відбитого від нього світлового "зайчика". Величина переміщення прочитувалася фізиком-експериментатором. Тепер цю роботу може автоматично виконувати лінійка фотоприймачів.

На рис. 7.8 показаний принцип дії деформаційного чутливого елемента для контролю і виміру ще однієї величини - швидкості течії. У потоці рідини або газу 1 на кулясту мішень 2 діє сила, пропорційна квадрату швидкості потоку. Мішень кріпиться до гнучкої пружної "ніжки" 3, другий кінець якої прикріплений до нерухомої опори 5. Чим більше швидкості потоку, тим більше вигинається ніжка. Цей первинний сигнал деформації перетворюється на електричний сигнал за допомогою вбудованих в ніжку тензорезисторів 4. На один з тензорезисторів діє

те, що стискає, а на іншій - розтягуюче зусилля. Електричні сигнали передаються назовні через провідники, пропущені усередині тіла "ніжки".

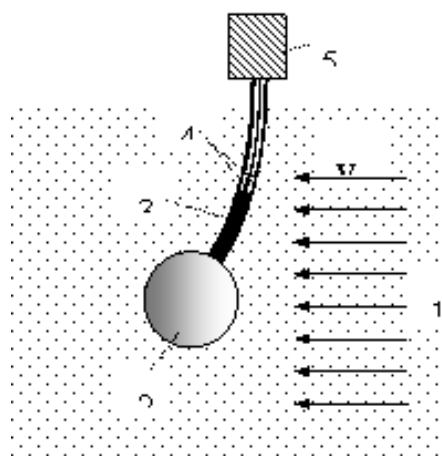


Рисунок 7.8 – Деформаційний елемент для контролю швидкості течії

Подібний принцип використали вже і наші предки, які "на око" оцінювали швидкість вітру за величиною вигину пружних стволів дерев. Чутливі елементи, що використовують пружну деформацію кручення або вигину, застосовують теж лише в межах їх пружної деформації, зазвичай навіть - в межах лінійної деформації, коли величина деформації пропорційна докладеному зусиллю.

При застосуванні мікросистемних технологій з усіх перелічених вище деформаційних елементів найпростіше реалізувати мембрани. Їм зазвичай і віддають перевагу. Безпосередньо у кремнієвій мембрані формують і кремнієві тензорезистори, які перетворюють механічну деформацію в електричні сигнали. Поряд з мініатюрною мембраною в тому ж кристалі кремнію формують також і мікросхеми, потрібні для прочитування і електронної обробки сигналів.

Таким чином створюють, наприклад, мініатюрні датчики тиску повітря в автомобільних шинах (рис. 7.9 ліворуч). Їх розміщують усередині кожної шини біля її штуцера так, щоб вони не заважали експлуатації шин, їх обертанню, монтажу, демонтажу, балансуванню.

Інформація з сенсорів передається в центральний блок індикації і сигналізації (рис. 7.9 праворуч) безконтактним способом із застосуванням локального мікрохвильового радіозв'язку.



Рисунок 7.9 – Система контролю тиску і температури в шинах автомобілів

Ліворуч - мікроелектронний сенсор тиску і температури повітря в автомобільних шинах. Маса 32 р. Термін служби батареї 5 років. Праворуч - центральний блок індикації і сигналізації.

Кожен датчик має свій індивідуальний код, тому від кожного з них незалежно приймається своя інформація. Центральний блок з мікрокомп'ютером розміщується в кабіні водія і є інтелектуальною частиною сенсора. На його індикаторі показаний умовний вигляд автомобіля зверху з розташуванням усіх шин і відображаються виміряні значення температури і тиску в кожній шині. Необхідна періодичність і порядок перевірки, бажані одиниці виміру температури і тиску (градуси Цельсія або Фаренгейта, одиниці тиску) і критичні значення параметрів задає користувач. У разі виходу контрольованих параметрів за задані безпечні межі видається світлова і звукова сигналізація.

Наступним прикладом компактного портативного інтелектуального сенсора з деформаційними чутливими елементами, виготовленими із застосуванням МСТ, може бути і прецизійний цифровий манометр тиску DPI 740, показаний на рис. 6.15 і розрахований на застосування як в лабораторних, так і в польових умовах. З його допомогою можна вимірювати атмосферний тиск від 0,75 панів до 1,25 панів і абсолютний тиск будь-якого хімічно неагресивного газу в діапазонах від 3 кПа до 130 кПа, до 250 кПа і до 360 кПа.

Наступний приклад - це портативні цифрові калібратори тиску PM110. Вони призначені для перевірки і калібрування засобів виміру тиску (візуальних і записуючих манометрів, реле тиску і тому подібне). Для цього, окрім

цифрового манометра, до складу калібратора входить також ручний насос з точним регулюванням тиску. Пневматичний ручний насос дозволяє створювати і регулювати тиск до 2 МПа, гідравлічний ручний насос - до 20 МПа. До складу сенсора входить також вимірник температури, який потрібний для точної термокомпенсації погрешностей виміру тиску. Калібратор здатний фіксувати не лише статичний тиск, але і короточасні скачки тиску тривалістю від 50 мс. Є вбудована пам'ять і інтерфейс RS232.



Рисунок 7.10 – Прецизійний цифровий манометр тиску DPI 740



Рисунок 7.11 – Портативні цифрові калібратори тиску PM110L і PM110H.

Розмір цифрового манометра 98x92x33 мм, маса 0,5 кг. Діапазон робочих температур від - 10 °С до +50 °С. Клас точності 0,05 %. Довготривала стабільність 0,01% за рік.