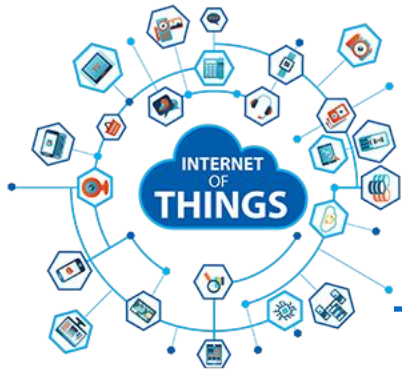




Національний технічний університет України  
«КПІ ім. І. Сікорського»  
Факультет Інформатики та обчислювальної техніки  
Кафедра технічної кібернетики



# Технології Інтернет речей



Лекція 7

## Види механічних сенсорів

Жураковський Б.Ю. (2021)

# Зміст

- 1. Види механічних сенсорів.*
- 2. Представлення про мікросистемні технології.*
- 3. Деформаційні інтелектуальні сенсори.*
- 4. Принципи роботи глобальної системи орієнтування.*
- 5. Сенсори GPS.*
- 6. Сенсори лінійного переміщення.*
- 7. Сенсори кутового переміщення.*



# 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:



# Види механічних сенсорів

- деформаційні сенсори, первинними сигналами в яких є зміни форми, об'єму або розмірів чутливого елемента;
- 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.



# Виды механических сенсоров



# Види механічних сенсорів

- 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.
- Механічним сенсором є, наприклад, і компас.



# Види механічних сенсорів

- ❑ 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).



# Представлення про 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 мікроелектромеханічних інтегральних виробів і цілих систем на кристалі, які дозволяють істотно скоротити терміни розробки виробів, оптимізувати їх конструкцію і технологію виготовлення.





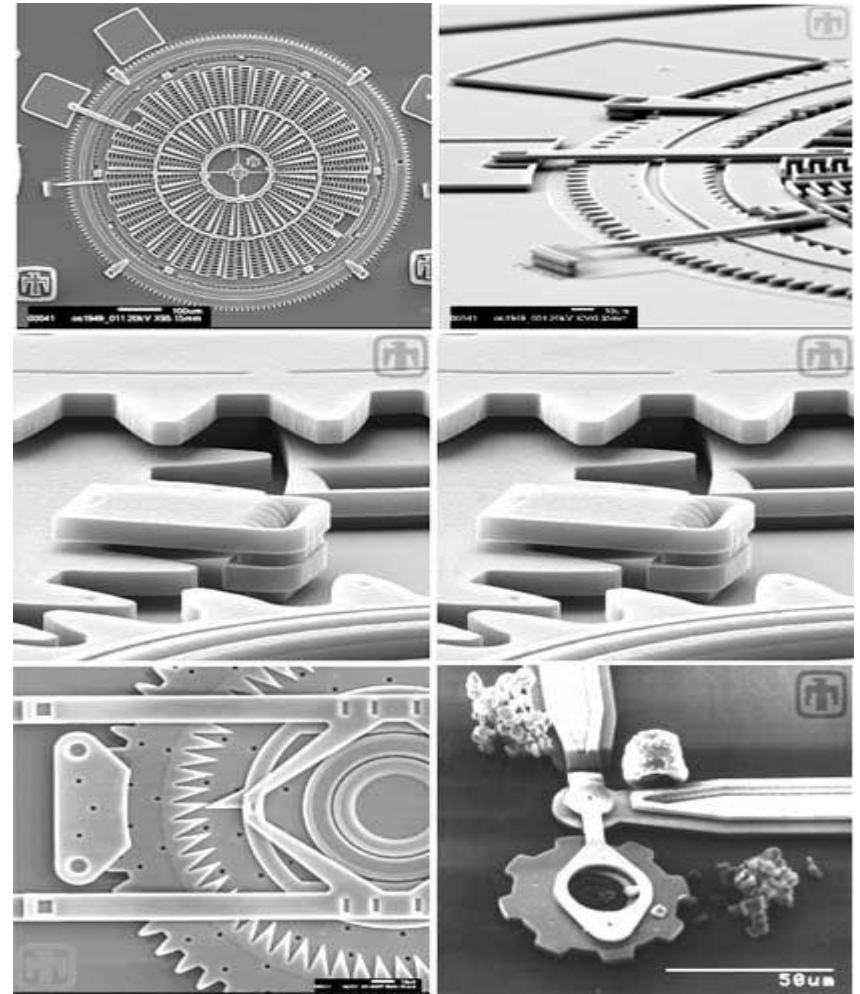
# Представлення про мікросистемні технології

- 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, магнетронне і тому подібне);
- намазування, пульверизація, наплавлення;
- епітаксія; - гальванічне або хімічне осадження;
- окислення;
- легування (дифузія, іонна імплантація і тому подібне).



# Представлення про мікросистемні технології

- 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>)



# Представлення про мікросистемні технології

- *Ліворуч згори* Ви бачите 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 MEMS (мікроелектромеханічні системи, - *Microelektromechanical Systems*)



# Представлення про мікросистемні технології

- 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.



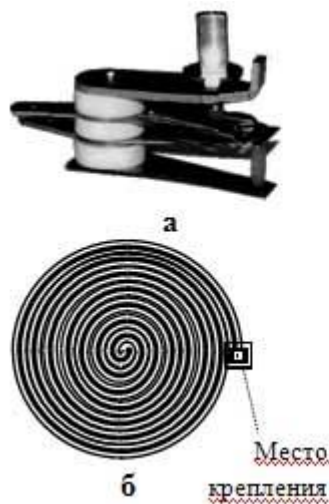
# Деформаційні інтелектуальні сенсори

- 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.



# Деформаційні інтелектуальні сенсори

- **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 С. Один з таких регуляторів - термореле ТК- 52 - показаний на рис. а.



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

# Деформаційні інтелектуальні сенсори

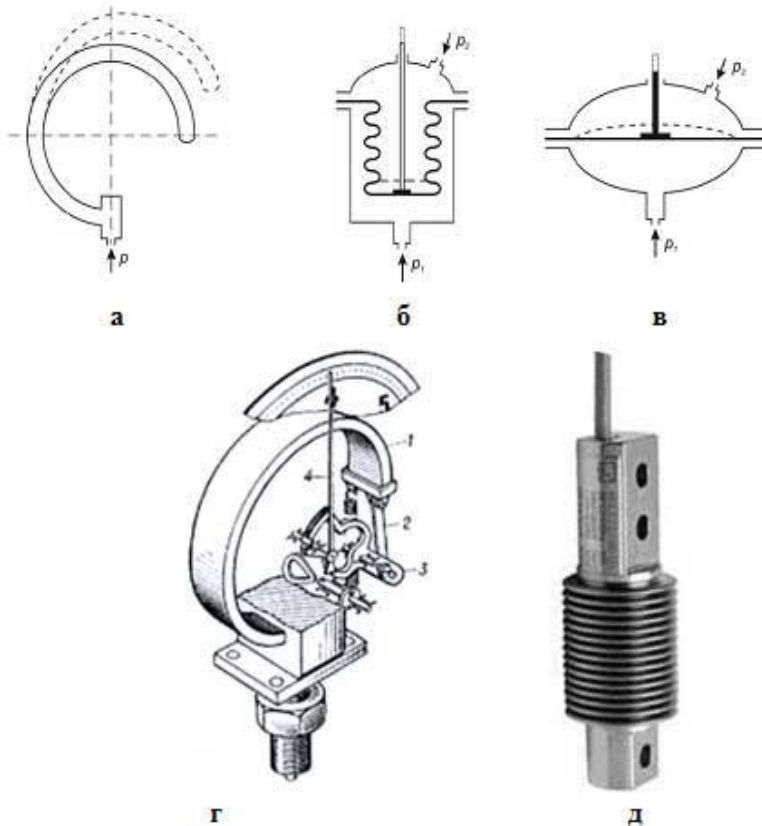
- Вигинання біметалічної пластини можна використати не лише для комутації електричних ланцюгів, але і засобами точної механіки перетворити далі, наприклад, у відхилення стрілки на циферблаті з температурною шкалою. Щоб підвищити чутливість такого термометра і одночасно спростити і здешевити його конструкцію, застосовують біметалічні спіралі з великою кількістю витків ( *рис. 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 Бурдону, сильфони і пружні мембрани - показані на рисунку. Принципи їх дії пояснюють *рис. (а, б, в)*.





# Деформаційні інтелектуальні сенсори

- Механічні деформаційні елементи, чутливі до тиску: а і г - трубка Бурдону; б і д - сільфон; в - мембрана



Трубка Бурдону ( рис. 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.

# Деформаційні інтелектуальні сенсори

- Цей принцип ще в 1848 р. винайшов французький вчений Е. 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 переkritи діапазон тисків від 1 Па до 105 Па і забезпечити точність вимірювань від 4% до 0,1%.



# Деформаційні інтелектуальні сенсори

- **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. Сильфони 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.

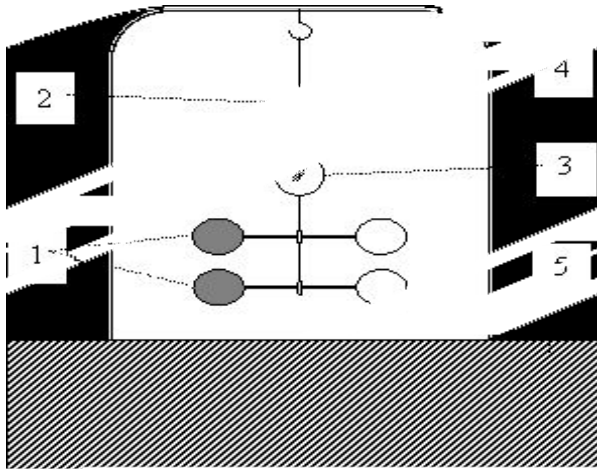


# Деформаційні інтелектуальні сенсори

- **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.



# Принцип дії сенсора світлового тиску П.Н. Лебедева



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

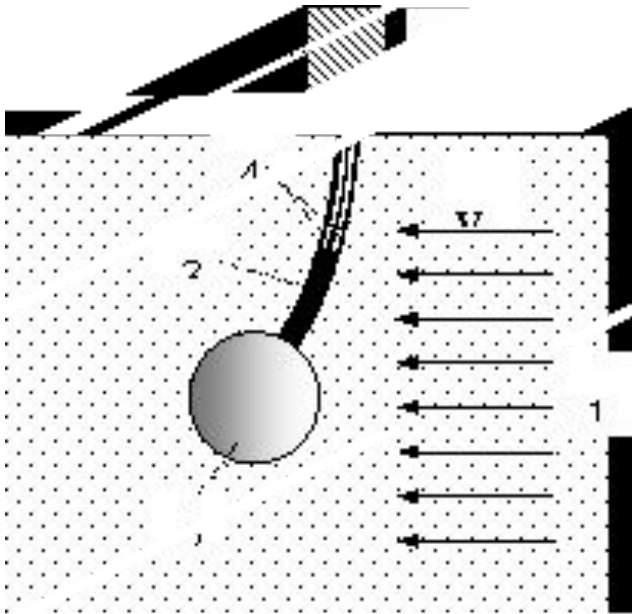
- ❑ Одна із слюдяних пластинок була прозорою або дзеркальною, друга - зачорнена. Коли на крильця падало яскраве світло, його тиск на різні половинки крилець був різним. В результаті нитка закручувалася на кут, при якому виникаючий момент сили пружності точно компенсував момент, що крутить, створюється 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.

# Деформаційні інтелектуальні сенсори

- 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. 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 нерухокої 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".



# 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.

# Деформаційні інтелектуальні сенсори

- 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. 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. справа) безконтактним способом із застосуванням локального мікрохвильового радіозв'язку.





# Деформаційні інтелектуальні сенсори



- ❑ 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. Справа - 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.

# Деформаційні інтелектуальні сенсори

- 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 мал. 2.8 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.



Портативний прецизійний цифровий манометр тиску DPI 740. Розмір 190x90x36 мм, маса 0,5 кг Діапазон робочих температур від - 10 З до +50 С. Клас точності 0,02%. Довготривала стабільність 0,01% за рік

# Деформаційні інтелектуальні сенсори

- Наступний приклад - це портативні цифрові калібратори тиску РМ110. 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.



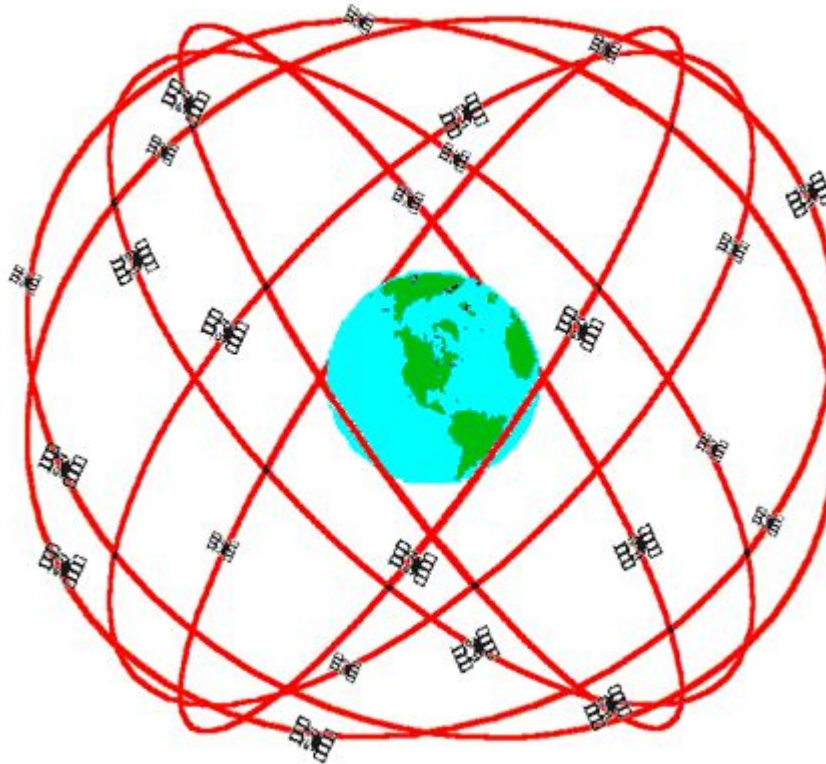
Портативні цифрові калібратори тиску РМ110L і РМ110Н. Розмір цифрового манометра 98x92x33 мм, маса 0,5 кг  
Діапазон робочих температур від - 10 З до +50 С. Клас точності 0,05 %.  
Довготривала стабільність 0,01% за рік

# Принципи роботи глобальної системи орієнтування

- Основою цієї системи, її "космічної складової", є сукупність 28 штучних супутників Землі, які обертаються навколо нашої планети на висоті близько 20 тис. км в семи різних площинах по 4 супутники на кожній. Період їх звернення складає приблизно 12 годин. Ці навігаційні супутники кілька разів в секунду передають радіосигнали з інформацією про свої точні координати і теперішній момент часу. Параметри орбіт розраховані так, що у будь-який момент часу з будь-якої точки на поверхні Землі видно від 5 до 12 супутників. Для роботи системи досить було б бачити 4 супутники і мати в цілому 24 супутники. Додаткові видимі супутники значно підвищують надійність роботи системи і точність визначення координат.
- Сукупність навігаційних супутників GPS образно називають "сузір'ям, штучно створеною людиною". Система GPS була розроблена за замовленням Міністерства оборони США спочатку виключно для військових застосувань. В цілому на її створення витрачені близько 12 млрд. доларів США і декілька десятиліть часу. Перший супутник цієї системи був запущений в 1978 році. З 1989 року стали запускати навігаційні супутники нового покоління. І лише з середини 90-х років XX ст. система запрацювала в повну силу. Нині космічна складова системи GPS як і раніше підтримується Міністерством оборони США, хоча з 2000 р. вона відкрита і для цивільного використання.



# Принципи роботи глобальної системи орієнтування



- Схема розташування орбіт штучних супутників Землі, які входять в систему GPS. Кожен розрахований на 10 років роботи



# Принципи роботи глобальної системи орієнтування

- На кожному навігаційному супутнику встановлений високоточний еталонний годинник (для надійності навіть по двоє годинника різних типів). За синхронізацією і точністю ходу усього годинника на супутниках GPS і за стабільністю їх орбіт невпинно стежить мережа контрольно-вимірювальних станцій, розташованих по усій земній кулі.
- На кожному супутнику розміщені також комп'ютер, що розраховує його точні координати у момент посилки радіосигналу, і радіопередавач, працюючий в діапазоні частот вище за 1 ГГц. У нових моделях навігаційних супутників є також і двигун для точного коригування орбіти. Через досить короткі проміжки часу супутник передає в ефір в передбаченому форматі свій номер, свідчення свого годинника і свої поточні координати.
- В якості системи відліку GPS узяті загальноприйняті географічна довгота і широта, висота над рівнем моря і так званий "час GPS" - час по еталонному годиннику.





## Принципи роботи глобальної системи орієнтування

- Завдяки наявності такої системи супутників завдання точного визначення географічних координат об'єктів на земній кулі значно спростилося. Для цього досить мати при собі відповідний інтелектуальний сенсор - так званий " GPS- приймач " (чи " GPS-ресівер" ). До його складу входять багатоканальний приймач радіосигналів від супутників GPS, мікропроцесор і точний власний годинник, який відлічує час GPS. Звичайно, щоб задовольнити вимоги мобільності, портативності і прийнятної вартості, години ці простіше і не так точні, як використовувані на супутниках. Тому їх невелика часова поправка розглядається теж як одна з невідомих величин. Отримавши сигнали від 4-х супутників GPS, мікропроцесор визначає часи запізнювання кожного з сигналів, обчислює відповідну відстань до кожного супутника і вирішує систему з 4-х рівнянь алгебри з чотирма невідомими: три просторові координати GPS- приймача і часова поправка його годинника. Вчислені координати видаються користувачеві. Якщо приймаються сигнали більш ніж від 4-х супутників, то і число рівнянь виявляється більше за 4-і, що дозволяє значно зменшити погрішність обчислень, використовуючи алгоритми мінімізації середньоквадратичного відхилення. GPS-приймачі масового користування забезпечують погрішність визначення своїх географічних координат в межах 10-20 м, а високоточні GPS-приймачі для геодезичних вимірів - не більше декількох сантиметрів



# Сенсори GPS

- Описані GPS- приймачі - це інтелектуальні сенсори, первинним сигналом для яких є просторове положення самого приймача в системі координат GPS.
- Адже саме воно визначає часи запізнювання радіосигналів від навігаційних супутників. Т.е. по фізичній природі первинного сигналу GPS- приймачі є механічними сенсорами. А ось за принципом дії їх часто відносять до електромагнітних сенсорів.
- Подальшим істотним їх розвитком є " GPS навігатори ". Це спеціалізований навігаційний прилад, який забезпечує орієнтацію в незнайомій місцевості, допомагає планувати найкращі маршрути руху, вибирати орієнтири, запам'ятовує важливу для Вас інформацію про маршрут і так далі.
- Разом з GPS приймачем, до його складу входять також кольоровий дисплей і пам'ять з картографічною інформацією. Можна виділити таких 3 групи GPS навігаторів: портативні (кишенькові), автомобільні і професійні.





# Сенсори GPS



Ліворуч на рис. показаний приклад кишенькового GPS навігатора. Такі навігатори зазвичай мають невеликі габарити і масу, водонепроникний, стійкий проти ударів корпус і розраховані на туристів, рибалок, геологів, мандрівників, мисливців, грибників і інших масових користувачів. Кольоровий дисплей в таких навігаторах невеликий, але все таки достатній для виведення на нього GPS карти місцевості. Для зберігання картографічної інформації застосовують флеш-пам'ять з картографічною інформацією про потрібний Вам регіон, яку потрібно придбавати окремо. Якщо вона є, то GPS навігатор після автоматичного визначення своїх географічних координат виведе на екран дисплея карту ділянки місцевості, що оточує цей географічний пункт, в заданому Вами масштабі. На карті буде вказано місце Вашого перебування і найпримітніші орієнтири на місцевості, якщо такі є. За Вашою вказівкою GPS навігатор може запам'ятати і показати на карті увесь Ваш маршрут з відмітками часу, зафіксувати координати

# Сенсори GPS

- Автомобільні GPS навігатори істотно більші, мають більший розмір екрану ( рис. справа), розміщуються на панелі управління автомобілем. Їх картографічні можливості значно розширені: є багатий набір масштабів карти, вказується цінна для автомобілістів інформація про розміщення стоянок, автоінспекцій, станцій заправки паливом, обмежень швидкості і тому подібне.
- Дисплей, як правило, сенсорний, є засоби голосових підказок. Діють програми прокладення альтернативних і розрахунку оптимальних маршрутів. Вимірюючи доплерівські зрушення частоти сигналів від супутників, автомобільний навігатор може вичислити напрям і швидкість руху автомобіля і вивести ці дані на дисплей, своєчасно сигналізувати водієві про небезпеку перевищення гранично допустимої швидкості.



# Сенсори GPS

- Професійні GPS навігатори використовуються в авіації, на океанських, морських і річкових судах, локомотивах, автобусах, на великих вантажних автомобілях далекого дотримання. Окрім вказаних вже вище за функції, вони також підтримують постійний радіозв'язок зі своїми диспетчерськими пунктами, не завантажуючи екіпаж, збирають і автоматично передають диспетчерам інформацію від деяких важливих сенсорів. Завдяки цьому диспетчери мають оперативну і повну інформацію про стан усієї своєї транспортної мережі, можуть своєчасно реагувати на непередбачені ситуації, змінювати і оптимізувати маршрути, мінімізувати ризики, порожні пробіги і тому подібне



# Сенсори GPS

- GPS приймачі дозволили також по-новому вирішити завдання пересування сліпих людей. У складі портативного інтелектуального навігатора для сліпих, який розміщується в рюкзаку людини, GPS приймач обчислює поточні координати. На голові у сліпої людини в спеціальному шоломі розміщені мініатюрні електронний компас і гіроскоп, що визначають напрям повороту голови, 4 маленьких відеокамери і звуковий сигналізатор з передачею звуку на кістці черепа. Уші залишаються вільними, щоб зберегти важливу для орієнтації сліпих можливість добрі чути що відбувається навкруги. Сліпа людина голосом називає пункт призначення, що цікавить його. Мовна програма, налаштована на його голос і на множину з 30-40 можливих пунктів призначення, розшифровує це звукове повідомлення. Далі мікрокомп'ютер навігатора планує маршрут і починає "вести" сліпого. Він вказує сліпому напрям руху за допомогою імітації звуку дзвінка, витікаючого нібито з того напрямку, в якому слід рухатися.



# Сенсори GPS

- Ще одним важливим застосуванням GPS приймачів стало створення так званих "трекерів" - інтелектуальних сенсорів для дистанційного визначення GPS координат людей або предметів, на яких вони встановлені. Сфера їх застосування - це підвищення безпеки і прискорення пошуку дітей, престарілих, хворих на амнезію і інших людей, що втрачають орієнтацію, а також тварин, викрадених автомобілів, цінних вантажів. Один з таких трекерів TR - 102 показаний на рис. У нім застосовується високочутливий мініатюрний GPS приймач "SiRF Star III", який сприймає навіть слабкі відбиті сигнали від навігаційних супутників і здатний визначати GPS координати навіть при значному екрануванні прямих сигналів будівлями, горами і тому подібне. Трекер підтримує прямий мобільний радіотелефонний зв'язок з 10 задалегідь запрограмованими телефонними номерами. Кожен з цих абонентів у будь-який час може зв'язатися з трекером, відправивши йому SMS запит. Кожен з цих абонентів у будь-який час може зв'язатися з трекером, відправивши йому SMS запит. І трекер в SMS повідомленні у відповідь передасть свої поточні координати.



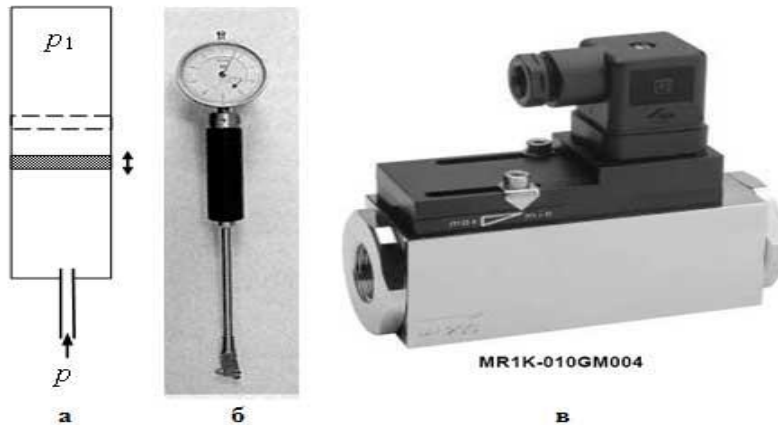
# Сенсори GPS



- Якщо у того, що просить є комп'ютер з картографічною програмою, то вона допоможе побачити на екрані монітора карту ділянки місцевості, в якій знаходиться відстежуваний об'єкт, і місце знаходження трекера. На трекерах, призначених для носіння людьми, є кнопка екстреного виклику (SOS), при натисненні на яку трекер відправляє на вказані в його пам'яті 3 телефонні номери сигнал тривоги і SMS сполучення з вказівкою своїх координат. Є також 3 кнопки швидкого з'єднання з цими номерами. У пам'ять трекера можна занести значення тимчасового інтервалу, після закінчення якого трекер відправлятиме SMS повідомлень своїх координат автоматично.

# Сенсори лінійного переміщення

- Відомим видом механічних чутливих елементів, в яких первинний сигнал з'являється у формі лінійного переміщення, є поршні. Принцип дії поршня показаний на *рис. а*. На одній стороні рухливого поршня в герметично закритій частині циліндра знаходиться газ, а з іншого боку - середовище, в якому вимірюється тиск. Це може бути теж газ або рідина. Коли вимірюваний тиск зростає, рухливий поршень переміщається, стискаючи газ в закритій частині циліндра до тих пір, поки його тиск не зрівняється із зовнішнім. Коли вимірюваний тиск зменшується, то поршень переміщається в протилежному напрямі до досягнення нового стану рівноваги. А рух поршня приводить в дію механізм відліку тиску. На *рис. б* показаний один з поршневих манометрів, в якому рух поршня механічно перетворюється на поворот стрілки.



Поршневі сенсори

# Сенсори лінійного переміщення

- На *рис. в*, впоказан приклад іншого поршневого сенсора, призначеного для контролю і регулювання потоку рідини. У нім рухливий поршень з одного боку контактує з рідиною, потік якої вимірюється, а з іншого боку прикріплений до пружини.
- Якщо рідина тече, то за відомим законом Бернуллі тиск в ній зменшується, що змушує поршень дещо зміщуватися у бік рідини. Зміщення це тим значніше, чим швидше потік рідини. Коли потік рідини зменшується, пружина відтягує поршень назад. Лінійні переміщення поршня фіксуються в даному випадку за допомогою невеликого магніта і датчиків Холу.
- Сенсор нечутливий до забруднень і до в'язкості рідини. Він може вимірювати потік рідини (води, олії, гасу і тому подібне) в діапазоні від 0,4 л/мін до 60 л/мін з точністю до 3%. Невелика електронна схема, герметично відокремлена від гідравлічного вузла, забезпечує швидку реакцію на зміни швидкості потоку. Є можливість видачі аналогового сигналу і сигналів виходу виміряних значень потоку за встановлені користувачем межі, відображення величини потоку на світлодіодному індикаторі.

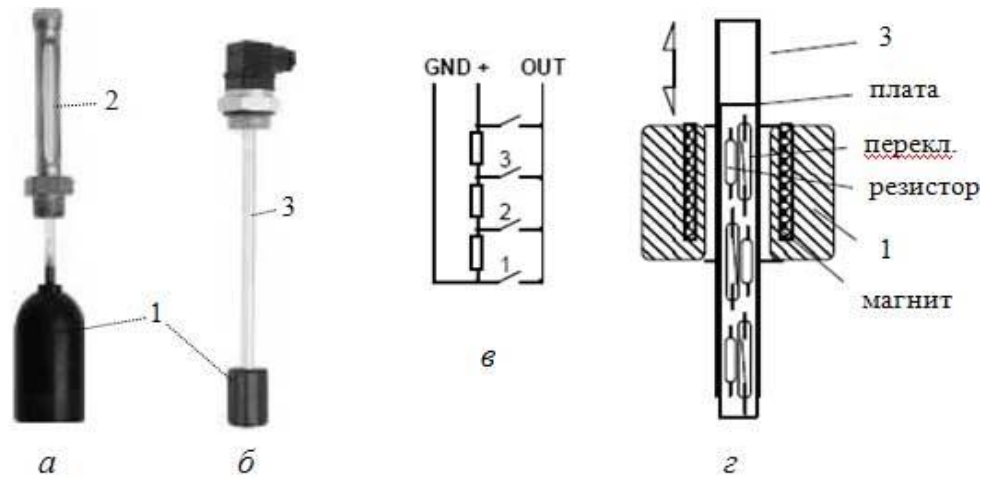




# Сенсори лінійного переміщення

- Наступним відомим механічним чутливим елементом з лінійним переміщенням є поплавець. Це один з прадавніх видів сенсорів - такий же древній, як лов риби на вудку, коли поплавець використовують як сенсор клювання риби. У датчиках рівня рідини використовують той факт, що поплавець переміщається разом з переміщенням поверхні рідини. А його переміщення можуть бути різними способами перетворені в електричні, візуальні або інші види сигналів.
- На *рис. а* наприклад, показаний поплавець 1, жорстко пов'язаний з рухливою трубкою. При піднятті рівня рідини, поплавець спливає, і разом з ним піднімається трубка. Її верхній кінець видно крізь прозоре віконце 2 з шкалою, встановлене над резервуаром.
- У сенсорі, показаному на *рис. б*, поплавець 1 може вільно переміщатися уздовж трубки 3, відстежуючи рівень рідини в резервуарі.
- Принцип перетворення лінійного переміщення поплавця в електричний сигнал розкривається на *рис. в, г*. У середині трубки 3 розміщена плата з резисторами, послідовно включеними в електричний ланцюг, і мікроперемикачами, які наводяться в дію магнітним полем.

# Сенсори лінійного переміщення



- Поплавцеві сенсори: а - з візуальним відображенням; б - з електричним прочитуванням; в - електрична схема; г - внутрішня конструкція; д - з механічним замиканням; е - ареометр

# Сенсори лінійного переміщення

- Невеликі постійні магніти розміщені в тілі поплавця. У кожен момент спрацьовує лише той перемикач, який розташовується усередині поплавця і тому схильний до дії магнітів. Опір електричного ланцюга прямо залежить від місця розташування поплавця і, отже, - від рівня рідини.
- Ще одна конструкція поплавцевого сенсора показана на *рис. д*. Тут поплавець жорстко прикріплений до одного кінця трубки, протилежний кінець якої закріплений на осі. При підвищенні рівня рідини і спливанні поплавця, трубка обертається навколо осі і при деякому рівні рідини замикає електричний контакт або перекриває отвір, через який тече рідина.
- Для виміру щільності рідин часто застосовують ареометри. *Ареометр* складається з порожнистої скляної, металевої або пластмасової капсули 4 ( *рис. е* ), до якої прикріплена тонка "шийка" з шкалою 5. Капсулу 4 заповнюють дробом з таким розрахунком, щоб капсула була повністю занурена в контрольовану рідину, але не тонула в ній, а плавала, і частина шийки з шкалою 5 виступала над поверхнею рідини.



# Сенсори лінійного переміщення

- Якщо ж щільність рідини зменшиться, то ареометр зануриться в неї глибше. Таким чином, глибина занурення ареометра в рідину однозначно залежить від її щільності. І вертикальне переміщення шийки ареометра відносно поверхні рідини є сигналом зміни щільності рідини. На цьому принципі побудовані і широко застосовуються:
  - спиртоміри - ареометри для визначення об'ємного змісту спирту у воді або води в спирті;
  - сахароміри - ареометри для визначення вмісту цукру в сиропі;
  - солеміри - ареометри для визначення вмісту солі в розсолі;
  - кислотоміри - ареометри для визначення змісту кислот в розчині;
  - ареометри для визначення щільності молока, морської води, нафти і нафтопродуктів, електролітів і т. д.



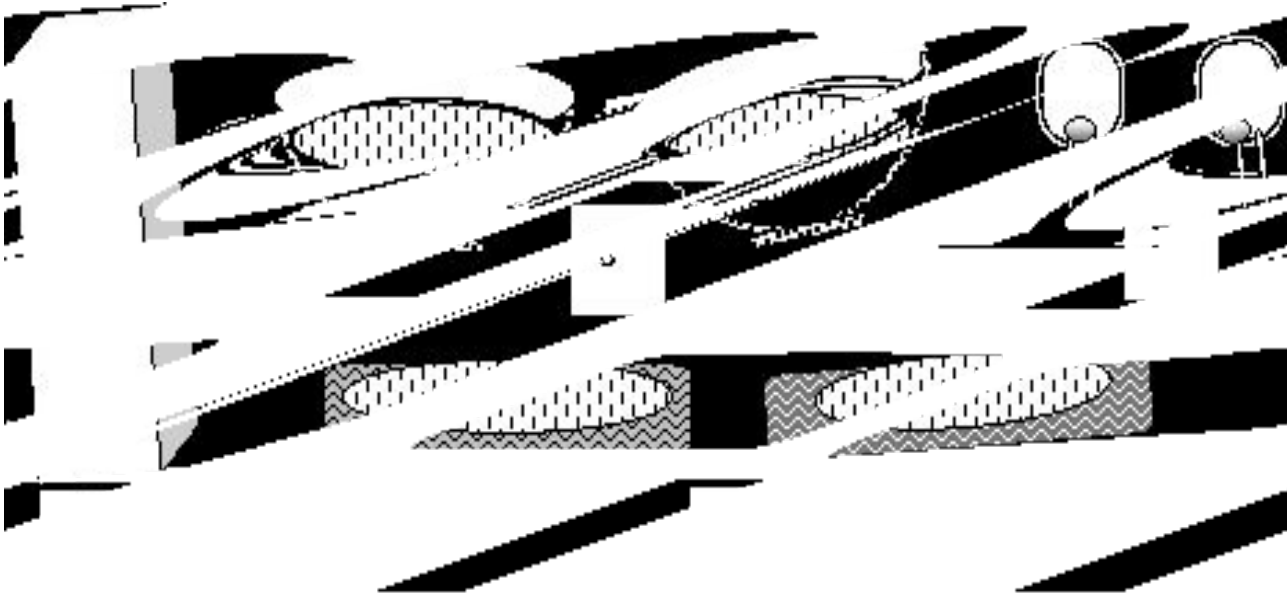
# Сенсори кутового переміщення

- Серед сенсорів кутового переміщення виділяють 2 групи: *сенсори кута нахилу (крену) і сенсори кута повороту*.
- **Інклінометри**
- Сенсори кута нахилу називають ще "інклінометрами" (від латинського *inclina* - нахилляю). Найчастіше йдеться про кутове відхилення від вертикалі або від горизонтальної площини. Вже найдревніші будівельники використали з цією метою схили, ватерпаси ( *рис. а, б, в* ), пізніше - рівні ( *рис. в* ).
- На початку ХХ століття почали використати ртутні вимикачі, принцип дії яких показаний на *рис. г*. В герметично закритій капсулі вільно переміщається крапелька ртуті. У капсулу з діелектрика введені 2 металеві електроди. Коли капсула розташована вертикально, крапля ртуті знаходиться в центрі і електрично сполучає ці електроди. Якщо ж капсула і плата, на якій вона закріплена, нахилляються до горизонту на кут, який перевищує критичний, крапля ртуті під дією сили тяжіння зміщується, і електричний контакт розривається, сигналізуючи про небезпечний крен.



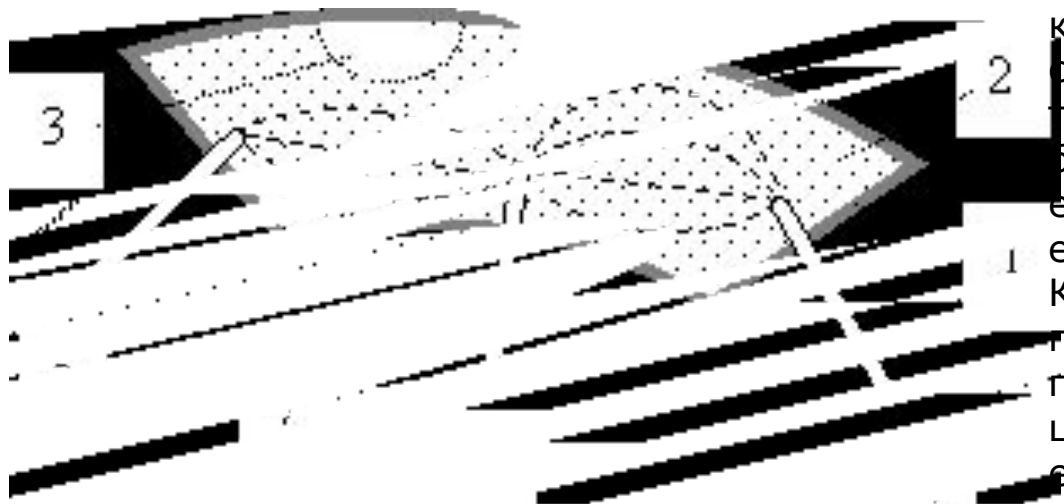
# Сенсори кутового переміщення

- Прості сенсори нахилу : а - схил; б - ватерпас; у - рівень; г - ртутний вимикач



За останні десятиліття створені і знайшли широке застосування точніші інклінометри з електричними вихідними сигналами. На рис. показаний принцип дії електролітичних інклінометрів.

# Принцип дії електролітичного інклінометра



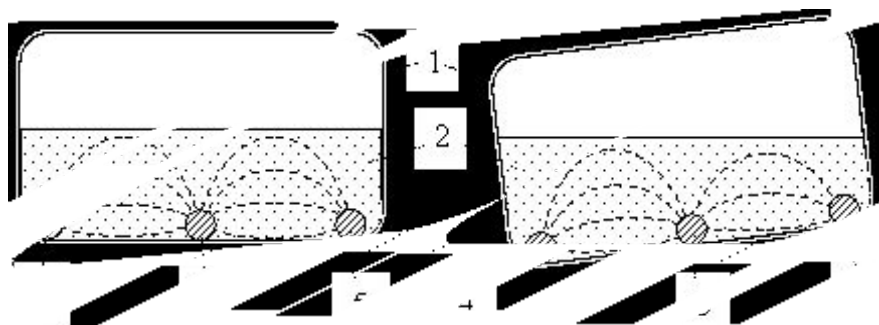
У дещо вигнутий герметичний корпус 1, наприклад, з кераміки або скла, залитий рідкий електроліт 2 так, щоб в нім залишилася повітряна бульбашка 3. У корпус введені три електроди: електрод 4 - в центрі, електроди 5 і 6 - на кінцях корпусу. Коли корпус знаходиться точно в горизонтальному положенні, а повітряна бульбашка - над центральним електродом, то електричні опори електроліту між електродами 5 і 4, 4 і 6 однакові.

Ці електричні опори включені в плечі мостової схеми, вихід якої сполучений з операційним підсилювачем. При рівності опорів міст збалансований, і сигнал на виході дорівнює нулю.

Якщо сенсор злегка нахилиється, то повітряна бульбашка зміщується убік. Електричний опір між електродами змінюється. Баланс мостової схеми порушується, і на її виході з'являється сигнал тієї або іншої полярності, величина якого пропорційна куту нахилу. Щоб виключити вплив поляризації електроліту, для балансування мостової схеми і для її живлення використовують змінний струм.



# Принцип дії електролітичного інклінометра



Інша конструкція електролітичного інклінометра : 1 - герметичний корпус; 2 - рідкий електроліт; 3 - центральний електрод; 4, 5 - бічні електроди

- Інший варіант конструкції електролітичного інклінометра показаний на рис. Електроди у вигляді тяганини розміщені тут паралельно осі, перпендикулярній до площини малюнка, навколо якої при нахилах обертається сенсор. Рідкий електроліт 2 заповнює корпус 1 лише частково. Коли нахилу немає, електричні опори між центральним електродом 3 і бічними електродами 4, 5 однакові. Ці опори включені в плечі мостової схеми змінного струму. Мостову схему балансують так, щоб напруга на виході дорівнювала нулю. При нахилах сенсора кількість електроліту з одного боку зростає, а з іншою зменшується. Відповідно змінюються і електричні опори. Сигнал на виході мостової схеми і після підсилювача стає тим більшим, чим більше кута нахилу. А його полярність вказує напрям нахилу.



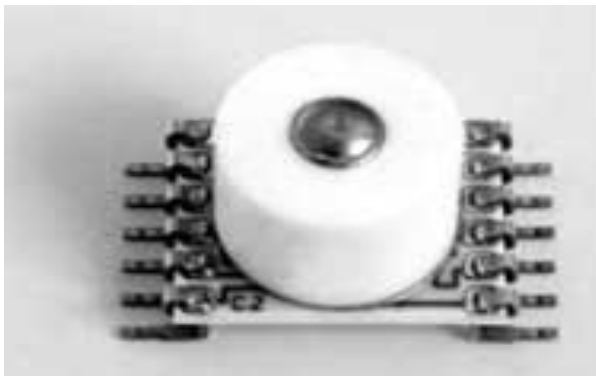
# Принцип дії електролітичного інклінометра

- Висока точність, невеликі розміри, простота установки на об'єктах зумовили широкий діапазон їх застосування.
- Це і контроль за вертикальним положенням висотних споруд, точне визначення напрямку буріння нафтових, газових і інших бурових свердловин, визначення ухилу автомобільних доріг, залізничних колій, штреків в шахтах, крену кораблів, автомобілів, будівельних кранів і екскаваторів, вимір деформаційного прогину мостів, опорних балок і тому подібне.
- Випускаються не лише прості, але і інтелектуальні інклінометри зі вбудованими мікропроцесорами, які виконують досить широкий набір функцій.
- Це можуть бути одно- і двокоординатні інклінометри з цифровим інтерфейсом, з можливістю автоматичного управління запобіжними механізмами, з можливістю завдання користувачем критичних значень кутів нахилу, з видачею попереджувальних сигналів і т. п.



# Принцип дії електролітичного інклінометра

- Деякі промислові зразки таких інклінометрів показані на рис. Двокоординатність досягається шляхом використання двох окремих одновісних інклінометрів, зорієнтованих у взаємно перпендикулярних напрямках.



Деякі зразки двокоординатних інтелектуальних інклінометрів фірми HL - Planartechnik Gmb

# Абсолютні енкодери

- Сенсори кута повороту пройшли великий шлях вдосконалення. За багато століть розвитку техніки створені немало різних методів і пристроїв.
- Спочатку це були виключно механічні пристрої. У них за допомогою механічних передач кут повороту або кількість виконаних оборотів перетворювалися і відображалися у вигляді переміщення стрілки уздовж шкали з градусними діленнями або у вигляді числа, що формується в прозорому віконці системою коліщаток, на ободі яких нанесені цифри.
- В середині ХХ століття популярнішими стали магнітні і електричні сенсори кута повороту або кількості оборотів.
- Нині для виміру кутів повороту і кількості оборотів все частіше стали використовувати оптоелектронні енкодери. За принципом дії прийнято розрізняти так звані " абсолютні " і "інкрементні" енкодери.



# Абсолютні енкодери

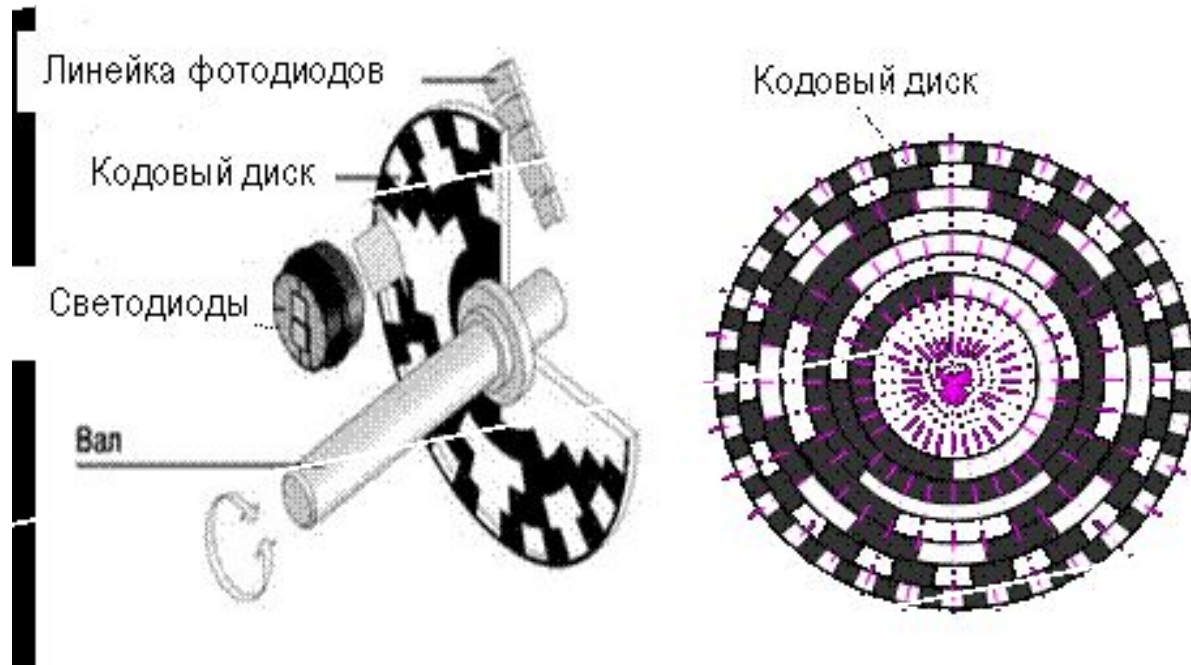
Абсолютні енкодери видають на свій вихід цифрові коды, які відповідають абсолютному значенню кута повороту відносно положення, прийнятого за нуль.

Принцип дії абсолютного енкодера, розрахованого на один оборот, пояснюється на рис. На вал, закріплений на двох прецизійних підшипниках і кінематично сполучений з вузлом, обертання якого контролюється, насаджений кодовий диск.

На останньому виділені кільцевих доріжок з прозорими і непрозорими ділянками. Навпроти доріжок з одного боку диска встановлені світлодіоди з циліндричною лінзою, а з іншого боку - лінійка фотодетекторів, по одному на кожен доріжку. Прозорий і непрозорий ділянки на доріжках підібрані так, щоб кожному кутовому положенню кодового диска відповідав свій унікальний двійковий код на виходах лінійки фотодетекторів.



# Конструкція та принцип дії абсолютного енкодера



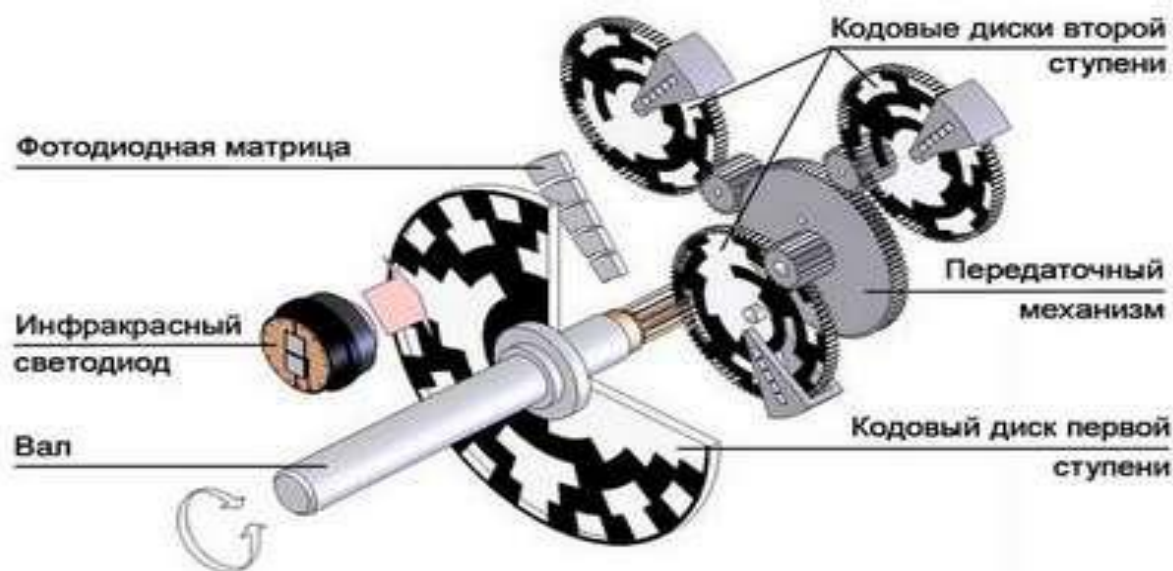
- Один з можливих варіантів кодування диска показаний на рис. справа. Сфокусований циліндричною лінзою в радіальну риску світло від світлодіодів проектується на кодовий диск. Світло вільно проходить крізь прозорі ділянки доріжок і, потрапивши на відповідні фотодетектори, викликає появу сигналу "1" на виходах відповідних підсилювачів. Крізь непрозорі ділянки доріжок світло не проходить, і на виходах відповідних підсилювачів формуються сигнали "0".

# Конструкція та принцип дії абсолютного енкодера

- Загальне число можливих  $p$ -разрядних двійкових кодів складає  $2^p$ . При сучасному стані технології мікроелектроніки це виявляється зовсім недорого. І тому такі енкодери стали дуже популярними. Їх широко застосовують в антенних системах, в астрономії для визначення небесних координат зірок, в геодезичних приладах, в системах кругового спостереження і т. д.
- Проте, є багато практичних завдань, коли окрім знання кутового положення в межах одного обороту потрібно реєструвати також кількість повних обертів і їх напрям. Т.е. потрібно визначати кути не в межах від  $0^\circ$  до  $360^\circ$ , а в межах від  $-\infty$  до  $+\infty$ . Для цього нині використовують багатооборотні енкодери, принцип дії яких показаний на рис. За допомогою зубчастих або інших механічних редукторів кут повороту зменшується в потрібну кількість разів, і кодові диски додаткових мір відлічують кількість оборотів в потрібних користувачам межах.



# Принцип дії багатооборотного абсолютного енкодера

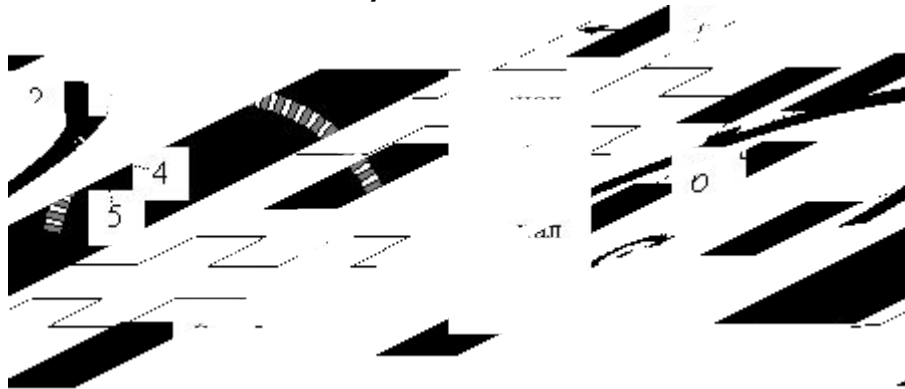


- У абсолютних енкодерах інформація про кутове положення валу зберігається навіть при відключенні живлення, оскільки фіксується фізично положенням кодкових дисків. При використанні для кодування положення валу звичайного двійкового коду перехід до сусіднього положення може послужити причиною зміни декількох біт одночасно. Наприклад, при переході від 0111 до 1000 змінюються одночасно 4 біта. Тому поблизу позиції переходу із-за деякої несинхронної зміни розрядів можуть короткочасно видаватися невірні коди.



# Інкрементні енкодери

- В інкрементних енкодерах використовують конструкцію, аналогічну показаній на рис., проте рахунковий диск має, як правило, лише одну доріжку, на якій прозорі і непрозорі ділянки чергуються. І відповідно замість лінійки фотодетекторів використовують лише 1 або 2 фотодетектори - залежно від того, можливе обертання диска лише в одному або в обох напрямках. На *рис. а* показано взаємне розташування рахункового диска 1, блоку фотодетекторів 2 і світлового зонду 3 від світлодіода. Якщо диск 1 може обертатися лише в одному напрямі, то досить одного фотодетектора. На виході сенсора формуватиметься послідовність імпульсів з періодом, обернено пропорційним до швидкості обертання диска. Поява наступного імпульсу свідчить про поворот диска на кут  $360^\circ / n$ , де  $n$  - кількість пар непрозорих і прозорих ділянок на диску.





# Інкрементні енкодери

- Якщо диск може обертатися в обох напрямках, і інформація про це важлива, то блок 2 складається з двох фотодетекторів 4 і 5, розміщених уздовж доріжки на відстані менше, ніж ширина прозорої або непрозорої ділянки. Вихід сенсора в цьому випадку є двоканальним. На виході А формуються імпульси від фотодетектора 4, а на виході б - від фотодетектора 5. Якщо диск 1 обертається проти годинникової стрілки, то імпульси на виході А з'являються трохи раніше, ніж імпульси на виході б (*рис. б*). При обертанні диска за годинниковою стрілкою порядок появи імпульсів - зворотний (*рис. в*).
- Іноді на рахунковому диску роблять додаткове прозоре віконце на сусідній доріжці (одно на усю доріжку) і ставлять ще один фотодетектор, сигнал від якого виводять на додатковий канал синхронізації. Цей канал використовують для фіксації початку відліку і для компенсації погрешностей, які можуть накопичуватися при великому числі оборотів.



# Інкрементні енкодери

Промислові абсолютні і інкрементні енкодери ■

- Для механічного з'єднання валу кутового енкодера з контрольованим механізмом використовують спеціальні з'єднувачі, які, з одного боку, точно передають поворот практично без люфта, і в той же час, завдяки гнучкості, гасять биття валів як упоперек, так і уздовж осі обертання. Це потрібно для захисту прецизійних підшипників і оптоелектронних деталей.
- Їх зовнішній діаметр складає 50-60 мм, кількість імпульсів, які видаються за один повний оберт, - від 2 до 32768, максимальна робоча швидкість обертання - від 3000 об./хв до 12000 об./хв.



# Інтелектуальні тахометри

- Кутові енкодери нині все частіше застосовують спільно з інтелектуальними електронними модулями. Такі сенсори називають "інтелектуальними тахометрами". На входи такого невеликого пристрою поступає від енкодера послідовність імпульсів, яку в реальному часі швидко обробляє мікропроцесор. Він підраховує загальне число імпульсів, що прийшли від інкрементного енкодера, починаючи від вказаного моменту часу. А знаючи кут повороту, який відповідає одному імпульсу, тахометр миттєво обчислює кутове положення контрольованого об'єкту у будь-який момент часу, може запам'ятовувати усю динаміку обертання із заданою дискретністю.
- Отримуючи імпульси від двоканальних інкрементних енкодерів, інтелектуальний тахометр при обчисленні поточного кутового положення може враховувати і зміну напрямку обертання. По тимчасових інтервалах між вступом імпульсів мікропроцесор може вчислити миттєву кутову швидкість. Він може також визначати середню кутову швидкість за певний інтервал часу, мінімальні і максимальні значення величин і тому подібне, - все, що треба користувачеві.



# Роторні і турбінні сенсори

- Ще одним прикладом сенсорів, в яких обертання є первинним механічним сигналом, служать роторні і турбінні вимірники об'ємного потоку рідини.
- Чутливими елементами в них є лопаті колеса або міні-турбіни. У потоці рідини вони починають обертатися, і кут їх повороту, число оборотів прямо залежать від об'єму рідини, яка протікає через поперечний переріз труби, в якій вони встановлені.
- Кут повороту, число оборотів перетворюються потім, як правило, в електричні сигнали за допомогою інтегрованих в конструкцію сенсора оптоелектронних, індуктивних, ємнісних або магніточутливих елементів.



# Промислові сенсори для виміру об'ємного потоку рідини

а - турбінний сенсор; б - роторний сенсор; в - сенсор разом з інтелектуальним лічильником "Omni-rr"



а



б



в



г



RRH-025GMM

RRH-010GMM

- На рис. вгорі справа показаний роторний сенсор з прозорою кришкою, - щоб був видний принцип його дії. Рідина, поточна крізь сенсор, передає частину свого механічного імпульсу лопатям, внаслідок чого колесо обертається. А вбудована оптоелектронна схема перетворює обертання на послідовність електричних сигналів.
- "Інтелектуальну" частину подібних сенсорів випускають у вигляді автономних електронних модулів, які можуть бути розміщені безпосередньо біля сенсора (рис. в). Залежно від конструктивного виконання і вживаних матеріалів такі сенсори придатні для виміру потоків води, нафтопродуктів, олій і інш. з температурою до 100 З в діапазоні від 0,025 л/хв до 100 л/хв з точністю від 1% до 5%.

# Питання для самоперевірки

- 1. Що таке механічні сенсори переміщення?
- 2. Що є основою глобальної системи орієнтування?
- 3. Поясніть принципи роботи глобальної системи орієнтування.
- 4. Для чого призначений GPS навігатор? Коротко розкажіть, з яких частин він полягає і як функціонує?
- 5. Назвіть основні групи GPS навігаторів. Чим вони відрізняються?
- 6. Опишіть можливості застосування авіаційних GPS навігаторів для вимушеної "сліпої" посадки літаків.
- 7. Як GPS приймачі дозволили по-новому вирішити завдання пересування сліпих людей?
- 8. Що таке трекер? Яке його призначення і як він функціонує?
- 9. Назвіть основні види сенсорів лінійного переміщення.
- 10. Що таке "інклінометр"? Які види інклінометрів Ви знаєте?
- 11. Що таке "енкодер"? Які види енкодерів Ви знаєте?



# Література

1. Amarasinghe R. et al Design and fabrication of miniaturized six-degree of freedom piezoresistive acceleromete MEMS 2005: 18th IEEE International Conference on microelectromechanical systems. – P. 351 – 354.
2. Anderson R. R., Parrish J. A. The optics of human skin J. Invest. Dermatol. – 1981. – 77. – P. 13 – 19.
3. Bruls W. A. G. and Van der Leun J. C. Forward scattering properties of human epidermal layers. Photochem. Photobiol. – 1984. – 40. – P. 231 – 242.
4. Bruulsema J. T., Essenpreis M., Heinemann L. et al. Detection of Changes in Blood Glucose Concentration in-vivo with Spatially Resolved Diffuse Reflectance. OSA Conf. On Biomedical Optical Spectroscopy and Diagnostics. – 1996.
5. Budnyk M. M., Chaikovsky I. A., Voytovych I. D. et al. Supersensitive magnetocardiographic system for early identification and monitoring of heart diseases (Medical Applications). Управляючі системи і машини. – 2005. – № 3. – С. 50 – 62.
6. Budnyk M. M., Minov Yu. D., Voytovych I. D. et al. Supersensitive magnetocardiographic system for early identification and monitoring of heart diseases (hardware). Управляючі системи і машини. – 2004. – №6. – С. 21 – 30.
7. Budnik N., Sosnitsky V., Vojtovich I. et all. Pulse-relaxation oscillation SQUID-magnitometer. Proc. 13 IMEKO World Congress, Torino (Italy), 1994. – 3. – P. 2383 – 2387

