

РОЗДІЛ 6. ПРОСТІ ТА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ СЕНСОРИ

Увесь досвід розвитку людської цивілізації свідчить про те, що чим правильніше і краще люди розуміють світ, чим точніше, більше і глибше знають про нього, і чим у більшій згоді із законами природи діють, тим успішніше і краще облаштовують вони своє життя. У свою чергу, рівень, достовірність і глибина наших знань про світ багато в чому визначаються тим, за допомогою яких засобів сприймаємо ми цей світ, спостерігаємо за ним, стежимо за змінами, що відбуваються в нім, і явищами.

В період становлення людства наші пращури використали для цього тільки свої органи чуття, можливості яких обмежені. Але у міру розвитку технологій, техніки, науки люди стали все ширше застосовувати також і різноманітні технічні пристрої, які доповнюють або замінюють наші органи чуття.

Такі пристрої прийнято називати сенсорами (від латинських слів *sensus* - почуття і *sensorium* - орган чуття).

Можна сміливо стверджувати, що рівень розвитку цивілізації (разом з іншими найважливішими чинниками) характеризується рівнем розвитку сенсорів. Їх роль в забезпеченні нашої правильної орієнтації, в об'єктивнішому, точному і глибокому сприйнятті дійсності, в підвищенні якості і ефективності нашої діяльності важко переоцінити. Особливо це стосується біології, медицини, соціальної сфери, високотехнологічних галузей, де ми маємо справу з дуже складними об'єктами, оцінювати стан яких і процеси, в що них відбуваються, тільки "на око", за зовнішніми ознаками вже недостатньо.

Сенсори до того ж - це саме ті пристрої, в яких відбувається загадковий процес "народження інформації" і в яких фізико-хімічні зміни, що відбуваються в реальній дійсності, перетворюються на інформаційні сигнали, що служать основою для розумної поведінки, для формування і уточнення моделей цієї дійсності, наших уявлень про неї.

По великому рахунку, саме від сенсорів фактично і починається будь-яка розумна поведінка, всякий інтелект, уся інформатика.

Будь-яка розумна система, що виникла природним чином або створена іншою розумною системою, успішно функціонує і виживає у реальному світі лише тоді і доти, коли і доки вона отримує об'єктивну і якісну інформацію про нього.

Вражаюче швидко, можна сказати, "*революційне*", розвиток в останні десятиліття кібернетики, мікроелектронної і оптоелектронної елементної бази інформатики, так, власне, і самих прикладних галузей знань, зробило можливою побудову нового покоління "*розумних*" сенсорів. Такі сенсори стали називати "*інтелектуальними*" - від латинського слова *intellectualis*, яке окрім значення "розумовий" має також значення "*Розсудливий, міркуючий, розумний*".

Створення і усе більш широке застосування інтелектуальних сенсорів - це одна з ознак інформаційної стадії в розвитку суспільства.

Інтелектуальні сенсори - це вже не мрія, не окремі розрізнені досягнення сучасної техніки, що вони вже упевнено увійшли до нашого повсякденного життя. Їх розробка і виробництво стали самостійною важливою інноваційною підгалуззю приладобудування. Поки цей факт не завжди усвідомлюють навіть фахівці - розробники окремих інтелектуальних сенсорів.

Різні автори по-різному трактують поняття "*сенсор*". У одних - це "чутливий прилад", майстерно створений людиною "пильний сторож", у інших - "аналізатор", що розпізнає, дізнається потрібний об'єкт ("аналіт"), у третіх - "датчик" якоїсь фізичної величини (температури, тиску, кута повороту), у четвертих - орган чуття тварини або рослини і так далі.

Сенсори - це "пристрої, які доповнюють або замінюють наші органи чуття". І усе це частково правильно. Дійсно, усі сенсори щось "відчувають" (наприклад, зміна температури, наявність магнітного поля, зміна кислотності розчину і тому подібне); за чимось "пильно спостерігають"; щось "розпізнають" (напр., відхилення від вертикалі, поява в повітрі надлишку вуглекислого газу, наявність у воді збудника холери ...); "вимірюють" яку-небудь

фізичну величину (напр., освітленість, прискорення, тиск ...). Усі вони, дійсно, замінюють або доповнюють наші органи чуття.

У понятті "датчик" акцент робиться на іншій важливій здатності сенсора - на тому, що він видає в зовнішній світ сигнали про те, що він "відчуває", "розпізнає", "вимірює". Щоб точніше визначити поняття "сенсор", потрібно відволіктися від деталей, від того, що саме "відчуває", "розпізнає", "вимірює" сенсор, з якою конкретною метою і як саме він це "робить", яким конкретно образом видає він сигнали в зовнішній світ.

Головне, загальне, що тоді залишається, - це те, що:

1. у сенсора є "об'єкт спостереження";
2. взаємодіючи з об'єктом спостереження, під його впливом сенсор міняє свій стан ("відчуває", "розпізнає", "вимірює") і якимсь чином видає сигнали про це ("сигналізує") "користувачеві".

Об'єктом спостереження є той матеріальний об'єкт, процес, та середовище, з якими взаємодіє сенсор, інформацію про які він "приставлений" збирати. Об'єктом спостереження може бути, зокрема, і усе середовище, що оточує сенсор.

Для *рівня (ватерпаса)*, наприклад, об'єктом спостереження є плоска поверхня, на якій він встановлений; для радіоприймача об'єктом спостереження є те, що оточує його антену електромагнітне поле; для медичного градусника - тіло, що знаходиться в тепловому контакті з його кінцем, в якому знаходиться крапля ртуті.

"Користувачем", одержуючим, розуміючим і використовуючим сигнали від сенсора може бути людина, інша жива істота, автоматична система управління, регулювання або реєстрації, для яких сигнали від сенсора є "інформацією" про об'єкт спостереження. Таким чином, відволікаючись від частковостей, ми приходимо до наступного визначення поняття "сенсор".

Сенсор - це пристрій (прилад, орган, вузол), що перетворює фізичну (фізико-хімічне) зміну в об'єкті спостереження, його фізична дія в інформаційний сигнал для користувача.

Сенсор - ця сполучна ланка між реальним "фізичним" світом і світом інформаційних моделей, між матерією і інформацією.

Сенсори поставляють "користувачеві" найважливішу об'єктивну початкову інформацію, на основі якої тільки і можна передбачати події, розумно поводитися у світі, судити про те, наскільки створені і вживані користувачем інформаційні моделі адекватні реальним процесам і об'єктам, з якими він має справу.

6.1. Прості сенсори

Ще відносно нещодавно люди використали в основному прості сенсори, що дають тільки "сиру", первинну, необроблену інформацію про об'єкти і процеси, за якими ведеться спостереження.

Розшифровку, обробку цієї інформації, зіставлення її з іншими даними виконували самі люди, вони ж оцінювали її значущість і міру важливості.

Одними з перших простих сенсорів, напевно, були схили - для виявлення відхилень від вертикалі; згадані вже вище рівні - сенсори малих відхилень від горизонтального положення плоскої поверхні; флюгери, відстежуючі і показуючі напрям вітри; поплавці у вудках для лову риби; компаси - для точнішого орієнтування на місцевості і т. д.

Функціональна схема простого сенсора

Головними його складовими частинами є чутливий елемент і сигналізатор. Реагуючи на ту або іншу дію з боку об'єкту спостереження, чутливий елемент міняє свій стан, а сигналізатор видає про це якийсь зрозумілий користувачеві сигнал. Цей сигнал і є носієм інформації про об'єкт спостереження [1].

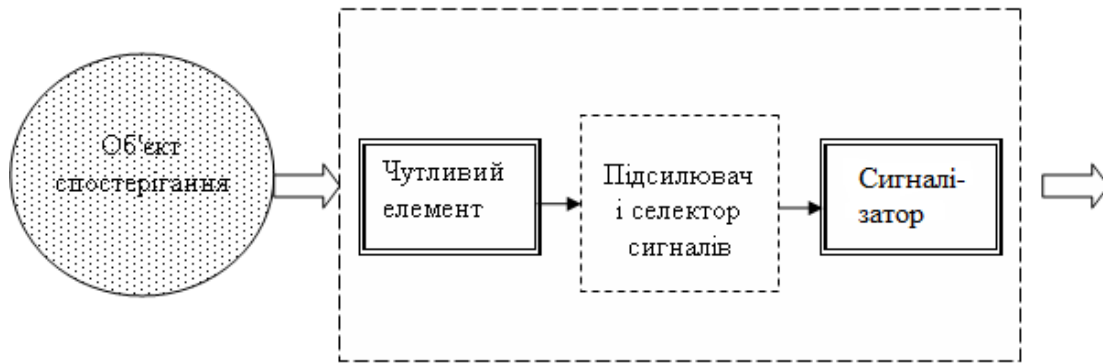


Рис.6.1. Функціональна схема простого сенсора

Якщо зміни в стані чутливого елементу дуже незначні і вихідні сигнали виходять дуже слабкими або "зашумлені" якимись сторонніми впливами, то в сенсорі використовують також вузли посилення і/або селектори корисних сигналів. Проте вони не є обов'язковою складовою частиною сенсора і тому зображені штриховою лінією.

Розглянемо декілька прикладів. У простому сенсорі магнітного поля - в компасі - чутливим елементом є намагнічена тонка стрілка (смужка із заліза або з іншого феромагнетика або з їх сплаву), встановлена і урівноважена на вертикальній осі, навколо якої вона може вільно обертатися. Магніт завжди прагне обернутися своїм північним полюсом у напрямі магнітних силових ліній. Роль сигналізатора спільно виконують тут вістря стрілки і шкала з кутовими діленнями, що полегшує відлік кута між напрямом магнітної стрілки і заданим напрямом (напр., напрямом руху).

Якщо магнітна стрілка досить довга, то в посиленні сигналів немає необхідності. А ось механічні вібрації, особливо під час руху, викликають значні коливання, "рискання" стрілки, що утрудняє відлік напрямку. Для того, щоб зменшити "рискання", внутрішню порожнину компаса заповнюють рідиною з оптимально підбраною в'язкістю, яка, з одного боку, ефективно гасить швидкі хаотичні рискання стрілки, а з іншою, - не викликає значного запізнювання повороту стрілки при зміні напрямку руху. Ця рідина і виконує в компасі роль селектора корисних сигналів або, якщо хочете, частотного фільтру, що "відрізує" коливання з частотами вище приблизно 1 Гц.

У звичних медичних *ртутних термометрах* - сенсорах температури тіла - роль чутливого елементу грає невелика крапля ртуті, залита всередину скляної колби. Будучи приведена в тепловий контакт з нашим тілом, вона нагрівається до його температури. Чим вище температура тіла, тим більше теплове розширення ртуті. Роль підсилювача сигналу грає приєднаний до колби скляний капіляр, в якому невеликі зміни об'єму краплі ртуті трансформуються в помітне подовження ртутного стовпчика. Останній разом з приставленою до капіляра температурною шкалою і виконують роль сигналізатора.

У *простому електрокардіографі* - сенсорі змін електричних потенціалів в різних точках на поверхні грудної клітки - чутливими елементами є електроди з присосками, змочені електролітом для забезпечення електричного контакту з тілом. Оскільки первинні сигнали від них - невеликі електричні потенціали - дуже слабкі, то обов'язково використовують електронні підсилювачі. Як правило, щоб заглушити електромагнітні завади, застосовують також електричний фільтр частот вище приблизно 10 Гц. Роль сигналізатора виконує те або інший пристрій для візуалізації електрокардіограми.

Тільки разом, тільки в сукупності і у взаємодії чутливий елемент і сигналізатор можуть служити сенсором. Вони є обов'язковими, невід'ємними функціональними вузлами сенсора. З розвитком техніки і зростанням вимог з боку прикладних областей (промисловості, наукових досліджень, медицини, технології) в сенсорах також почали виконувати спочатку просту, а з часом усе більш складну обробку інформації. Функціональна схема такого сенсора приведена нижче на рис. 6.2.

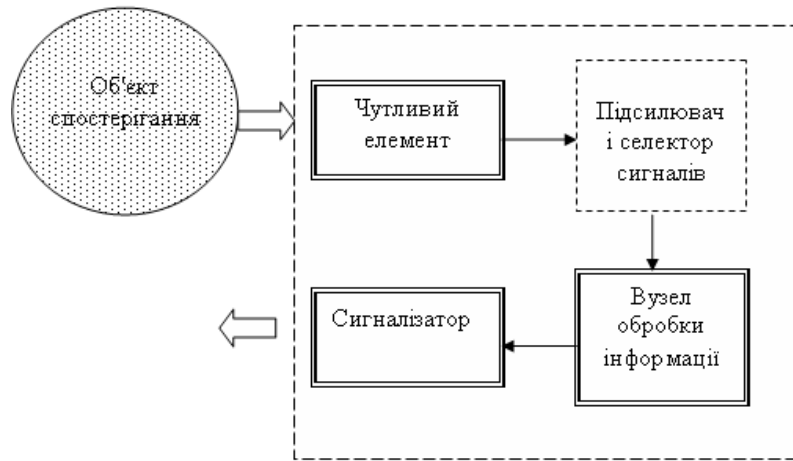


Рис. 6.2. Структура простого сенсора з обробкою інформації

Коли фахівцям з фізіології рослин стало необхідно визначати загальну кількість світла, що отримується рослинами за світловий день, був створений відповідний сенсор, в якому чутливим елементом є фотоприймач.

Під впливом зовнішнього освітлення він генерує фотострум, пропорційний світловому потоку, що падає.

Фотострум після посилення поступає в конденсатор, який і грає роль вузла обробки інформації, в даному випадку - роль інтегратора. Накопичений в нім за світловий день електричний заряд якраз і пропорційний кількості світла, отриманій рослинами ("світлосумі").

У *психрометрі* - сенсорі температури і відносної вологості повітря - роль вузла простої обробки інформації грає вбудована в нього *психрометрична* таблиця. У ній користувач, визначивши свідчення "сухого" і "вологого" термометрів, може знайти відповідне значення відносної вологості.

У деяких психрометрах є також таблиця залежності тиску або щільності насиченої водяної пари від температури. Тоді користувач дістає можливість, визначити не лише відносну, але і абсолютну вологість повітря.

На прикладі психрометра ми бачимо, що у сенсора можуть бути декілька чутливих елементів. В даному випадку в наявності 3 чутливі елементи: 2 колби з ртуттю, спиртом або іншою рідиною, що збільшує свій об'єм з підвищенням температури, і волога тканина, якою обмотана колба "вологого" термометра. Вона якраз і є чутливим елементом, що "відчуває" зміни вологості повітря.

У древньому пісочному годиннику - сенсорі часу - ніякої обробки інформації не було. А ось в механічному годиннику з'явилися зубчасті передачі, які і є в цьому сенсорі часу вузлом обробки інформації. Вони перераховують періоди коливань маятника в задані інтервали часу - хвилини і годинник.

На прикладі стрілочного механічного годинника ми бачимо, що сенсор може мати і декілька сигналізаторів. В даному випадку є 2 обов'язкові сигналізатори - хвилинна і годинна стрілки з циферблатом, і може бути навіть 3-ою - секундна стрілка.

6.2. Активні та пасивні сенсори

Досі розглядалися приклади простих сенсорів, які тільки реагують на вплив з боку об'єкту спостереження. Такі сенсори називають "пасивними".

На відміну від них "активні" сенсори самі якимсь спеціальним чином впливають на об'єкт спостереження (предмет або процес) і сприймають викликані цим зміни.

Одним з прикладів може бути тонометр - сенсор артеріального тиску крові. Вузлом дії на об'єкт є в нім манжета, яка накладається на плече або на передпліччя пацієнта і створює усебічний тиск на біотканину і кровоносні судини.

Задатчиком дії є надувна гумова "груша" або мініатюрний компресор. Чутливим елементом і одночасно підсилювачем сигналів служить стетоскоп, який приставляють до артерії, розташованої по напрямку потоку крові за манжетою.

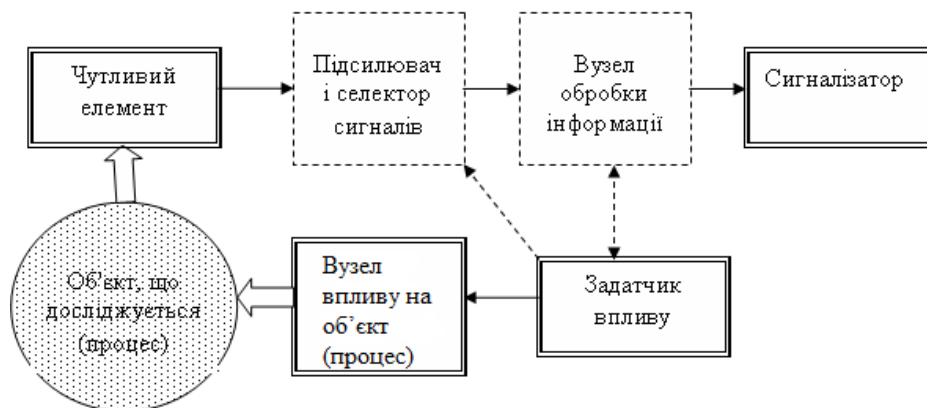


Рис. 6.3. Функціональна схема активних сенсорів

Поступово підбурюючи повітря і зменшуючи тим самим зовнішній тиск на артерії, лікар повинен уловити той момент, коли пульсація крові поновлюється. У цей момент тиск повітря в манжеті і її тиск ззовні на артерії приблизно дорівнюють систолічному артеріальному тиску крові усередині артерій.

При подальшому зниженні тиску в манжеті пульсові хвилі спочатку посилюються, а потім починають слабшати.

Коли тиск в манжеті порівнюється з артеріальним тиском діастоли і опускається нижче, то пульсові удари значно ослаблюються.

Сигналізатором в цьому сенсорі є сполучений з манжетою манометр, на якому лікар прочитає значення систолічного (у момент відновлення пульсації крові) і діастоли тиску (у момент значного послаблення пульсації).

Вузла обробки інформації в простих тонометрах немає. Цю обробку виконує людина - лікар.

У тонометрі одночасно є присутніми і використовуються 2 чутливі елементи - мембрана, що приставляється до артерії, стетоскопа и манометр, що реагує на зміни тиску в манжеті. Одночасно використовуються і 2 сигналізатори - слухові виходи стетоскопа, які лікар вставляє у вуха, щоб прослуховувати биття пульсу, і стрільця манометра з відповідною шкалою.

Інший приклад "активного" сенсора наведемо знову з області фізіології рослин. Там свого часу з'явилася необхідність визначати об'ємний потік рідини крізь стебло або по гілках рослини і зміни цього потоку з часом. Вирішено це завдання була так. На стебло (гілку) в одному з місць встановлюють тонкий нагрівач, наприклад, вольфрамовий дріт, крізь який пропускається електричний струм. Нагріваючи гілку в місці свого розташування, нагрівач разом з нею нагріває і рідину, поточну по гілці, до фізіологічно допустимої температури, наприклад, до 39-40 С.

Нагрівач і є в даному випадку вузлом дії на об'єкт. Задатчиком дії служить регульоване джерело струму через нагрівач. Далі по ходу руху рідини уздовж стебла на відстані близько сантиметра встановлюють другий термочутливий елемент (термістор, термопару).

Сигнал від нього посилюють, фільтрують по частоті і подають в електронний вузол обробки інформації. Там визначається різниця температур гілки в місцях нагрівання і контролю.

Чим сильніше потік рідини, тим більше тепла переносить з собою рідина, і тим менше різниці температур.

Таким чином, по зміні різниці температур визначають зміни об'ємного потоку рідини усередині стебла (гілки).

6.3. Сенсорно-комп'ютерні системи

З появою в другій половині минулого століття електронних обчислювальних машин з'явилася і можливість виконувати досить складну обробку первинної інформації, що отримується від сенсора.

У зв'язку з цим інженери і учені почали створювати "розумні" сенсорно-комп'ютерні системи.

Сенсори тут грають роль зовнішніх "органів чуття" комп'ютера, поставляючи йому первинну інформацію.

Складну її обробку, підготовку до видачі отриманих результатів в найбільш зручній для користувача формі, її документування, систематизацію, упаковку і тривале зберігання виконує комп'ютер.

З появою в другій половині минулого століття електронних обчислювальних машин з'явилася і можливість виконувати досить складну обробку первинної інформації, що отримується від сенсора.

У зв'язку з цим інженери і учені почали створювати "розумні" сенсорно-комп'ютерні системи.

Сенсори тут грають роль зовнішніх "органів чуття" комп'ютера, поставляючи йому первинну інформацію.

Складну її обробку, підготовку до видачі отриманих результатів в найбільш зручній для користувача формі, її документування, систематизацію, упаковку і тривале зберігання виконує комп'ютер.

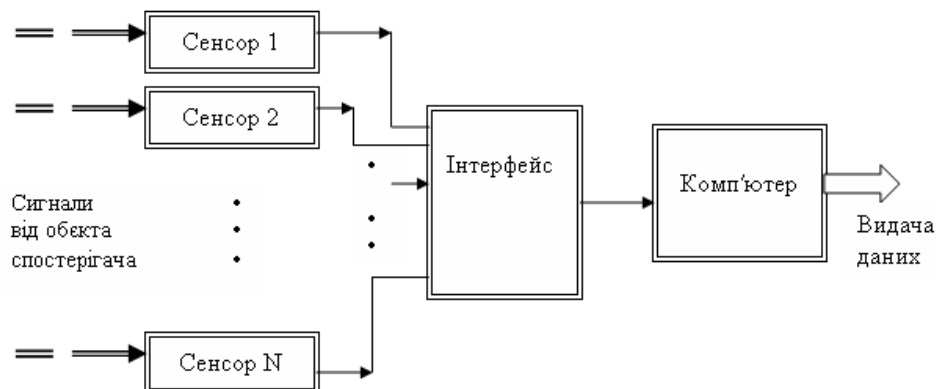


Рис. 6.4. Структура "пасивної" сенсорно-комп'ютерної системи

Наприклад, сучасні комп'ютеризовані електрокардіографи і електроенцефалографи.

У них від багатьох, встановлених в певних позиціях, електродів збираються, посилюються і обробляються слабкі змінні електричні сигнали, обумовлені роботою відповідно серця або головного мозку. А комп'ютер аналізує їх і видає в найбільш зручній формі лікарям [2].

У комп'ютерних електрокардіографах, наприклад, не лише обчислюються інтервали часу між "зубцями" кардіограми, що відповідають скороченням м'язів серця, і діапазон їх варіювання, середня частота пульсу і інші кількісні показники.

Шляхом зіставлення електрокардіограм, отриманих від різних точок грудної клітки, встановлюється орієнтація електричної осі серця, фіксуються екстрасистоли і інші порушення координації скорочень різних м'язів серця.

У комп'ютеризованій системі магнітокардіографії [3, 4] чутливими елементами є певним чином розташовані в просторі надпровідні квантові інтерферометри, які здатні з високою частотою і точністю сприймати мінімальні зміни магнітного потоку, пов'язані з роботою серця.

Окрім квантових інтерферометрів, використовують також до десятка чутливих електродів, які дозволяють паралельно знімати також електрокардіограму.

Інтерфейс складається з електронних схем посилення і попередньої аналогової обробки сигналів і з аналого-цифрових перетворювачів.

З виходу останніх інформація поступає в комп'ютер, який обробляє отримані дані відповідно до досить складних алгоритмів, видає результати аналізу на екран монітора у вигляді зрозумілих лікареві умовних зображень, цифрових і текстових даних і пропонує деякі діагностичні висновки.

Ще одним прикладом є пасивні комп'ютерні системи охорони і відеоспостереження.

Чутливими елементами в них служать відеокамери і датчики наближення, присутності, зміни обстановки.

Сигнали від датчиків і отримані зображення передаються в комп'ютер, де вони маркуються вказівкою місця виявлення і поточного часу.

Далі вони обробляються, зіставляються між собою і із стандартними сигналами, зафіксованими в пам'яті. У разі виявлення тривожних змін комп'ютер фіксує їх у своїй довготривалій пам'яті і виробляє сигнали привертання уваги службовців, а на моніторі виводиться поліекранна інформація.

Тут до складу системи входять також засоби дії на досліджуваній об'єкт або процес. Цими засобами управляє комп'ютер, який може автоматично змінювати динаміку, інтенсивність і склад дій залежно від тих, що поступають від сенсорів даних.

Одним з прикладів такої системи є комп'ютерні томографи.

Об'єктом дослідження для них є головний мозок або інша частина людського тіла. Як вузли дії використовуються точкові джерела рентгенівського випромінювання, місце розташування яких можна міняти відносно досліджуваній частині тіла.

В якості сенсорів використовують детектори рентгенівського випромінювання, розташовані в одній площині у різних напрямках і під різними кутами.

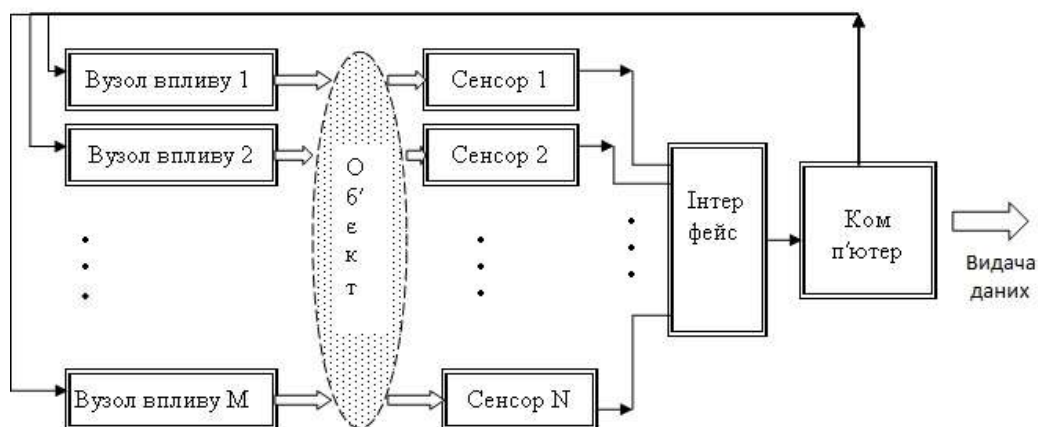


Рис. 6.5 Структура "активних" сенсорно-комп'ютерних систем

У сучасних томографах, які стали могутнім засобом діагностики захворювань, застосовують вже сотні таких детекторів одночасно. Високопродуктивний комп'ютер на основі великого масиву даних, отриманих багатьма детекторами під різними кутами, виконує складні обчислення, визначаючи за цими даними розподіл щільності живих тканин у відповідному перерізі тіла. Отримані зображення і вчислені показники видаються лікарям [5]. За допомогою комп'ютера лікар, який проводить дослідження, залежно від мети може змінювати режими роботи, переміщати вузли дії і масиви сенсорів відносно людського тіла, отримуючи зображення його внутрішньої структури також і в інших перерізах, і так далі. Таким чином ("переріз за перерізом") може бути отримана 3-мірна картина внутрішньої будови досліджуваного органу. Одним із засобів дії може бути також введення в організм людини контрастних речовин, що істотно підвищують контрастність зображень і дозволяють досліджувати також і динаміку фізіологічних процесів.

У магніторезонансній томографії засобами дії на досліджуваній орган людини є постійне однорідне магнітне поле, послідовності радіочастотних електромагнітних імпульсів

і додаткові слабкі градієнтні магнітні поля [6]. Магнітні моменти атомних ядер з некомпенсованим напівцілим спіном (1H , ^{13}C , ^{13}Na , ^{13}P , ...) орієнтуються уздовж постійного магнітного поля. А високочастотне електромагнітне поле збуджує їх прецесію навколо відповідного напрямку. При виключенні електромагнітного поля прецесія ще деякий час триває. Збуджені ядра випромінюють при цьому електромагнітні сигнали характерної частоти.

Це називають "спіновою луною". Сенсорами є чутливі радіоприймачі, налаштовані на частоту ядерного магнітного резонансу, а селекторами - синхронні детектори відповідних імпульсних послідовностей. Амплітуда прийнятих сигналів пропорційна концентрації відповідних ядер в живих тканинах тіла.

Управління випромінюванням електромагнітних імпульсів і накладенням слабого градієнтного магнітного поля, а також математичну обробку сукупності отримуваних сигналів виконує комп'ютер. На відміну від рентгенівської комп'ютерної томографії магніторезонансне дослідження не супроводжується шкідливим опроміненням організму, яке у великих дозах може бути небезпечним.

Застосування комп'ютерів надало користувачам не лише можливість отримувати значно збільшені об'єми набагато краще обробленої і достовірнішої інформації про досліджувані об'єкти. Воно підняло сенсоріку на принципово більш високий рівень - на рівень діагностики. Старогрецьке слово "*diagnostikos*" означає "*здатний розпізнати*".

За відсутності комп'ютера інтерпретацію отримуваних від сенсорів даних, виведення з них здатні були виконувати тільки фахівці.

Фізики на основі отримуваних даних робили висновки про внутрішню структуру, функціонування, поточний стан і властивості досліджуваних фізичних об'єктів, інженери - про стан відповідних машин, технічних систем, про хід технологічних процесів.

Лікарі визначали стан внутрішніх органів людини, причини, суть захворювань, оцінювали хід лікування. У сенсорно-комп'ютерних системах значну частину складної розумової роботи, накопичення баз даних, цінного досвіду, необхідних для високоякісної діагностики, вдалося вже перекласти на комп'ютер.

6.4. Інтелектуальні сенсори

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.

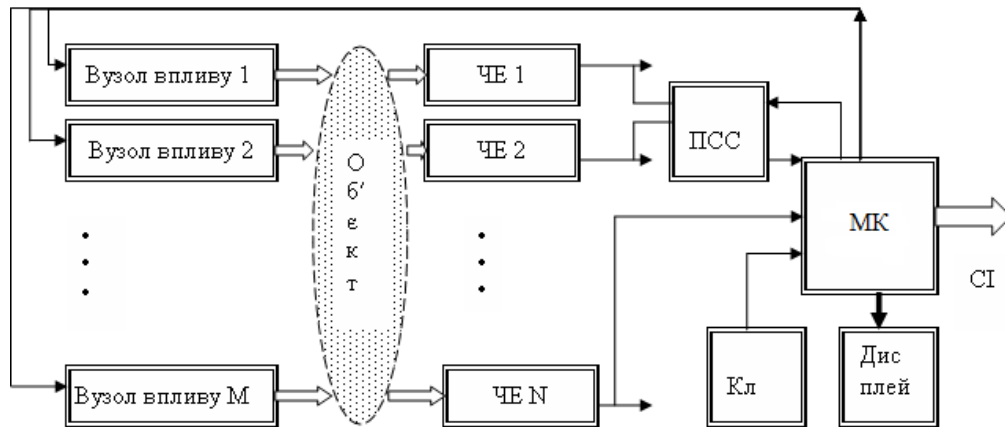


Рис. 6.6. Функціональна схема "інтелектуального" сенсора
 ЧЕ - чутливі елементи; ПСС - підсилювачі-селектори сигналів; МК - мікрокомп'ютер;
 Кл – клавіатура, СІ – стандартний інтерфейс.

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 [7].

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.

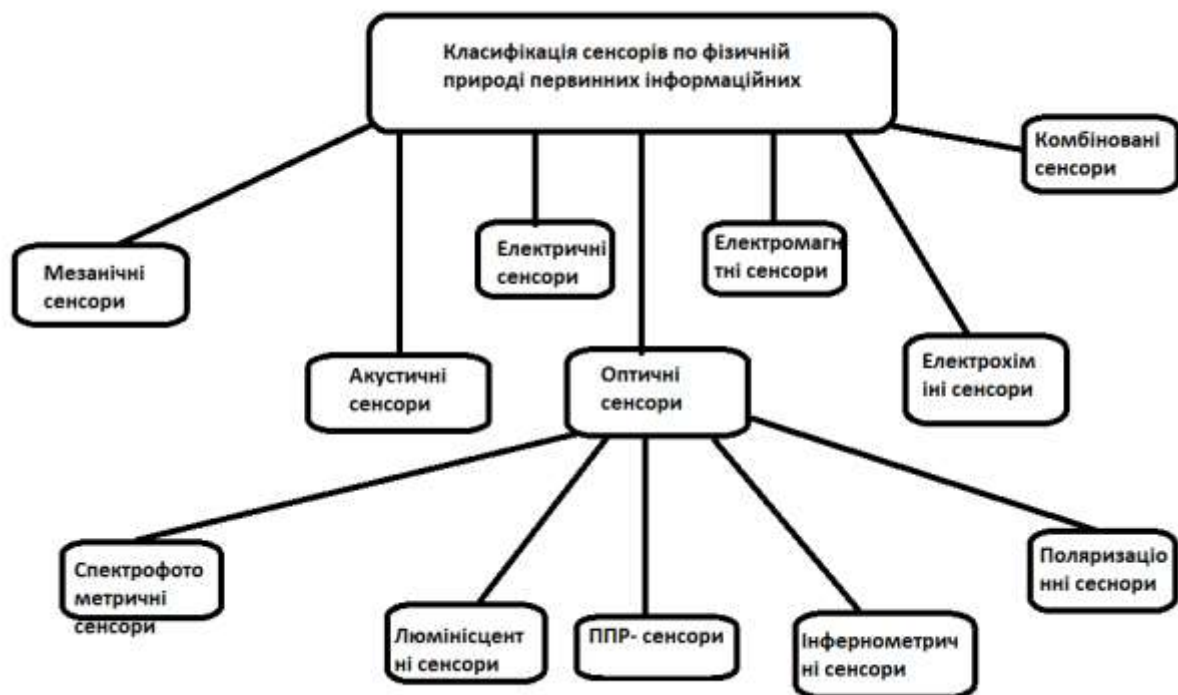


Рис. 6.7. Класифікація сенсорів по фізичній природі первинних інформаційних сигналів

До класу "комбінованих" відносяться сенсорні, 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.

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 кутових 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 ньому 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* - сенсорні 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 врахувати 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*.

6.5. 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 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.

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 налитої 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.

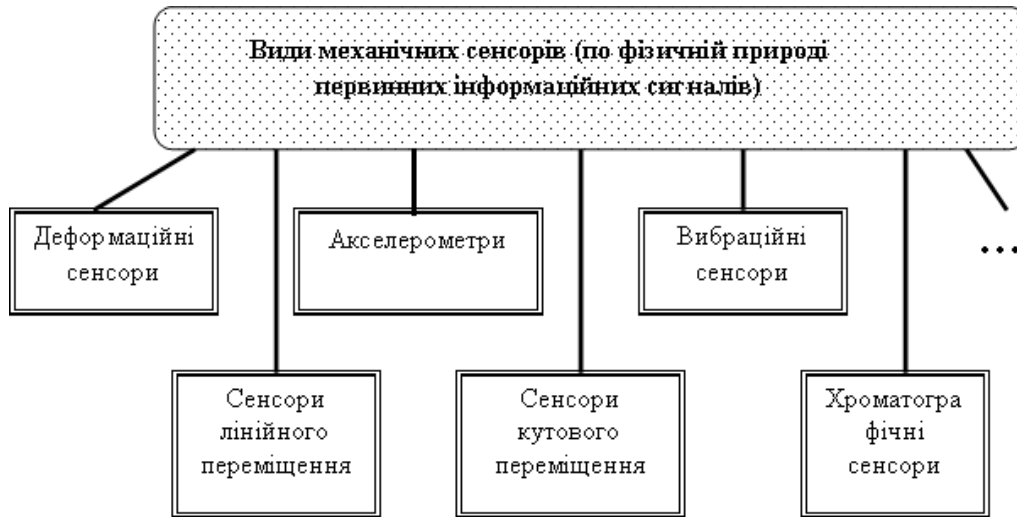


Рис. 6.8. Види механічних сенсорів

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).

6.6. 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.

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>)

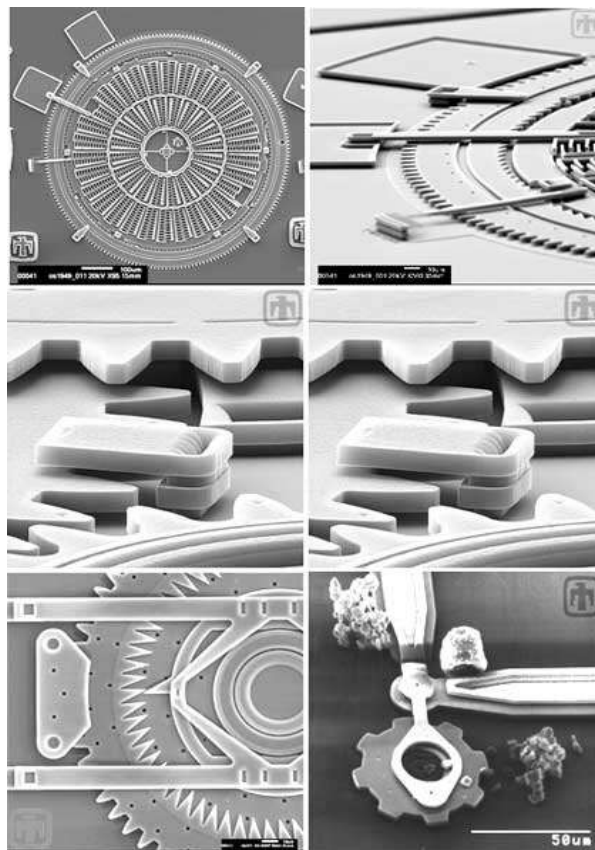


Рис. 6.9. Розробки американської лабораторії *Sandia National Laboratories*

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 *MEMS* (мікроелектромеханічні системи, - *Microelektromechanical Systems*) [8].

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.

6.7. 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 °С. Один з таких регуляторів - термореле ТК- 52 - показаний на рис. 6.10 а.

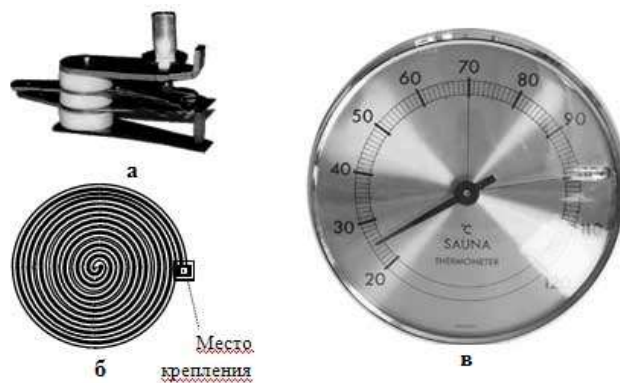


Рис. 6.10. Актуатор

- 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. 6.10 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. 6.10 (а, б, в).

Механічні деформаційні елементи, чутливі до тиску: *а* і *г* - трубка Бурдона; *б* і *д* - сільфон; *в* - мембрана (рис.6.11).



Рис. 6.11. Механічні деформаційні елементи, чутливі до тиску

Трубка Бурдона (рис. 6.11 *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, Δl – 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 [9].

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 плавненого кварцу (рис. 6.12).

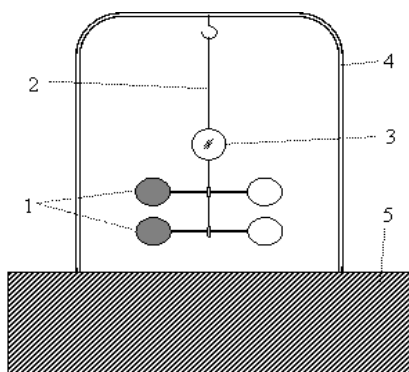


Рис. 6.12. Принцип дії сенсора світлового тиску П.Н. Лебедева

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.

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. 6.13. 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".

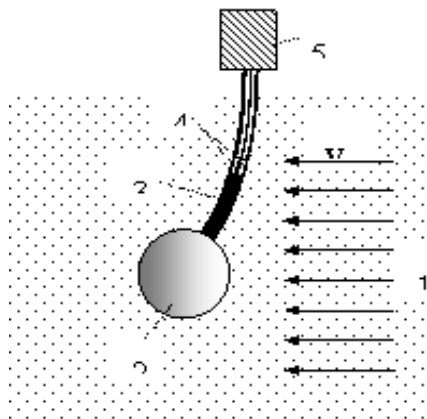


Рис. 6.13. Деформаційний елемент для контролю швидкості течії

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. 6.14 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. 6.14 праворуч) безконтактним способом із застосуванням локального мікрохвильового радіозв'язку.



Рис. 6.14. 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 вимірні 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.



Рис. 6.15. Прецизійний цифровий манометр тиску DPI 740

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 погрішностей 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.



Рис. 6.16. 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.

6.8. 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.

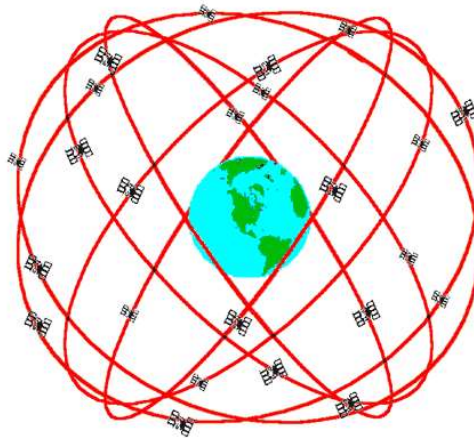


Рис. 6.17. Схема розташування орбіт штучних супутників Землі, які входять в систему GPS. Кожен розрахований на 10 років роботи.

На кожному навігаційному супутнику встановлений високоточний еталонний годинник (для надійності навіть по два годинника різних типів). За синхронізацією і точністю ходу усього годинника на супутниках GPS і за стабільністю їх орбіт невинно 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 [10].

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. Вичислені координати видаються користувачеві. Якщо приймаються сигнали більш ніж від 4-х супутників, то і число рівнянь виявляється більше за 4, 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 т. д.

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.



Рис. 6.18. GPS навігатори

Ліворуч на рис.6.18 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

Автомобільні GPS навігатори істотно більші, мають більший розмір екрану (рис.6.18 праворуч), 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.

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

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.

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 ньому 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 [11].

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.

6.9. Сенсори лінійного та кутового переміщення

Сенсори лінійного переміщення

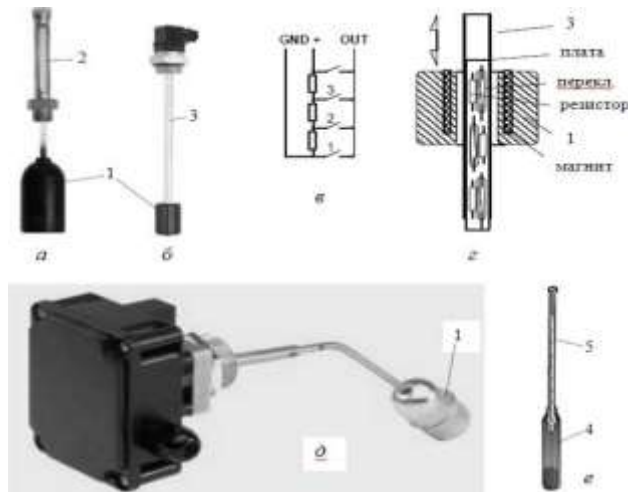


Рис. 6.19. Поплавцеві сенсори: *a* - з візуальним відображенням; *б* - з електричним прочитуванням; *у* - електрична схема; *г* - внутрішня конструкція; *д* - з механічним замиканням; *е* - ареометр

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. 6.19 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. 6.19 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.

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 *incline* - нахилляю). Найчастіше йдеться про кутове відхилення від вертикалі або від горизонтальної площини. Вже найдревніші будівельники використали з цією метою схили, ватерпаси (рис. 6.20 а, б, в), пізніше - рівні (рис. 6.20 в).

На початку ХХ століття почали використати ртутні вимикачі, принцип дії яких показаний на рис.6.20 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, нахилиються до горизонту на кут, який перевищує критичний, крапля ртуті під дією сили тяжіння зміщується, і електричний контакт розривається, сигналізуючи про небезпечний крен.

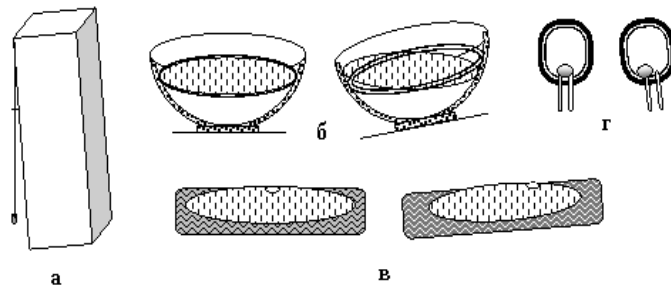


Рис. 6.20. Прості сенсори нахилу : а - схил; б - ватерпас; в - рівень; г - ртутний вимикач

За останні десятиліття створені і знайшли широке застосування точніші інклінометри з електричними вихідними сигналами. На рис. 6.21 показаний принцип дії електролітичних інклінометрів.

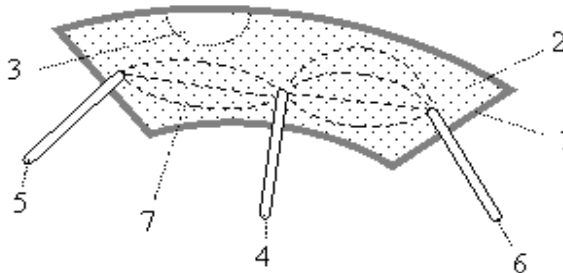


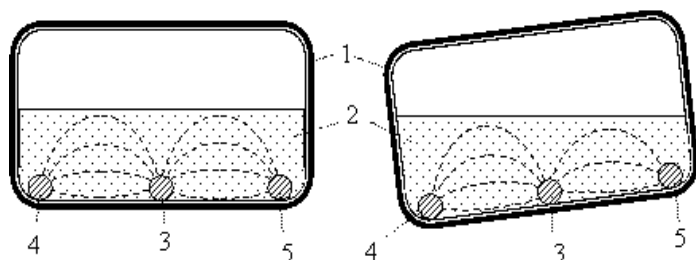
Рис. 6.21. Принцип дії електролітичного інклінометра

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.

Інший варіант конструкції електролітичного інклінометра показаний на рис. 6.22. 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 [12].



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

Рис. 6.22. Конструкція 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.



Рис. 6.23. Деякі зразки двокоординатних інтелектуальних інклінометрів фірми *HL - Planartechnik GmbH*

Деякі промислові зразки таких інклінометрів показані на рис. 6.23. Двокоординатність досягається шляхом використання двох окремих одновісних інклінометрів, зорієнтованих у взаємно перпендикулярних напрямках.

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

Принцип дії абсолютного енкодера, розрахованого на один оборот, пояснюється на рис. 6.24. На вал, закріплений на двох прецизійних підшипниках і кінематично сполучений з вузлом, обертання якого контролюється, насаджений кодовий диск.

На останньому виділені кілька 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.

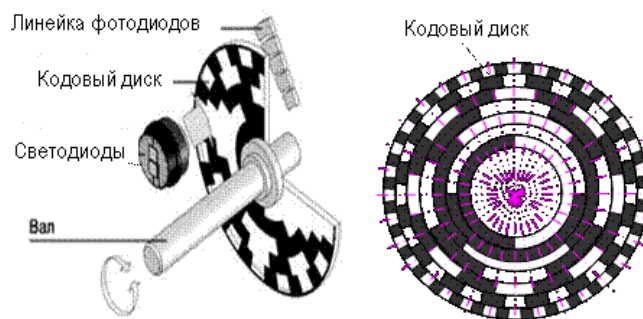


Рис. 6.24. Конструкція абсолютного енкодера

Один з можливих варіантів кодування диска показаний на рис. 6.24 справа. Сфокусований циліндричною лінзою в радіальну риску світло від світлодіодів проєктується 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".

Загальне число можливих n -разрядних двійкових кодів складає 2^n . 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° до 360° , 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.

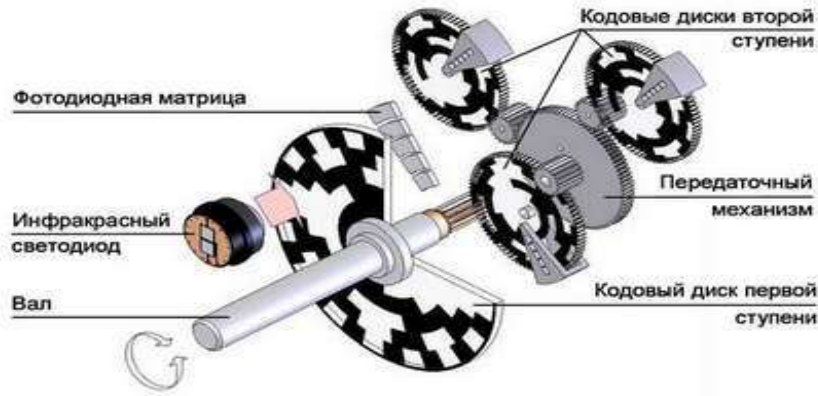


Рис. 6.25. Принцип дії багатооборотного абсолютного енкодера

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.

В інкрементних енкодерах використовують конструкцію, аналогічну показаній на рис.6.25, 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. 6.26 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.

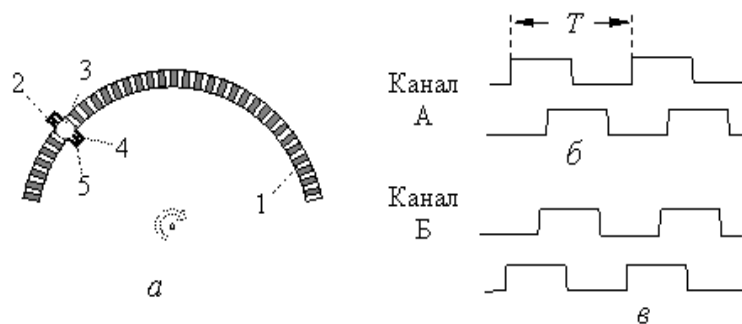


Рис. 6.26. Принцип дії інкрементного енкодера

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.6.26 б). При обертанні диска за годинниковою стрілкою порядок появи імпульсів - зворотний (рис.6.26 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.

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 [13].

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 вичислити 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.

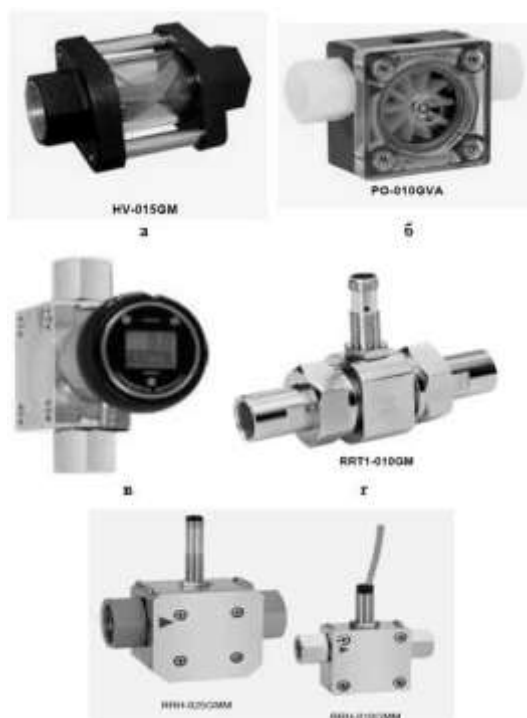


Рис. 6.27. Промислові сенсори для виміру об'ємного потоку рідини
а - турбінний сенсор; б - роторний сенсор; в - сенсор разом з інтелектуальним лічильником "Omni-rr"

На рис. 6.27 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. 6.27 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%.

6.10. Інтелектуальні акустичні сенсори

Фізичні основи роботи акустичних сенсорів

У акустичних сенсорах первинні інформаційні сигнали є акустичними. Це, наприклад, звуки живої мови, музика, спів птахів, сигнали ехолокації дельфінів або акустичні сигнали в ультразвуковій діагностиці, поверхневі акустичні хвилі і тому подібне.

Акустичні хвилі - це коливання тиску, що поширюються в повітрі (газах), рідини або в твердому середовищі. Відомо, що акустичні хвилі поширюються значно повільніше, ніж радіохвилі: в повітрі, наприклад, зі швидкістю близько 340 м/с, у воді - близько 1,5 км/з, в твердих тілах - 3-6 км/с. І це має свої позитивні сторони.

По частоті коливань акустичні хвилі підрозділяють на:

- інфразвуки (частота менше 16 Гц);
- звуки (діапазон частот від 16 Гц до 20 кГц), які сприймає людське вухо;
- ультразвуки (від 20 кГц до 1 ГГц);
- гіперзвуки (понад 1 ГГц, аж до 10^{13} Гц).

Інфразвуки у воді можуть поширюватися на сотні кілометрів. Сприймаючи їх, мешканці моря задалегідь "чують" наближення шторму. Гіперзвуки і ультразвуки сильно розсіюються, поглинаються і тому затухають набагато швидше.

Ультразвукові хвилі по частоті зазвичай ділять на три діапазони:

- низькочастотний (16-100 кГц, довжина хвилі в повітрі 3-20 мм, у воді 15-90 мм);
- середніх частот (0,1-10 МГц, довжина хвилі в повітрі 0,034-3,4 мм, у воді 0,15-15 мм);
- високочастотний (10-1000 МГц, довжина хвилі в повітрі 0,34-34 мкм, у воді 1,5-150 мкм).

Акустичні хвилі природного походження, як правило, є складними, несуть з собою коливання різних частот. Їх частотний склад зазвичай характеризують частотно-амплітудним спектром - залежністю інтенсивності або амплітуди коливань від частоти.

Музичні звуки мають в основному дискретний спектр, інші - безперервний спектр. Звукові шуми мають дуже широкий безперервний спектр частот.

Інтенсивність акустичних, як і усіх інших видів хвиль характеризують середньою енергією, переносимою ними за одиницю часу через одиницю площі, перпендикулярної до напряму поширення, і вимірюють у Вт/м².

Специфічною характеристикою інтенсивності акустичних хвиль є амплітуда коливань тиску (Па). У області звуків, які чує людина, використовують і логарифмічну міру гучності звуку - так званий "рівень звукового тиску". Його виражають в децибелах (дБ) і обчислюють за формулою

$$N=20 \lg(p/p_0).$$

де p - амплітуда коливань тиску в паскалях, а p_0 - це так званий "порог чутності", тобто мінімальна амплітуда звукових коливань, які здатне почути людське вухо.

Оскільки акустичні хвилі - це коливання тиску, то для сприйняття їх застосовують елементи, чутливі до швидких коливань зовнішнього тиску.

Як правило, це легкі мембрани або діафрагми, що перетворюють коливання тиску повітря, рідини або твердого тіла в механічні коливання, які, у свою чергу, перетворюються далі на електричні сигнали або в сигнали іншої природи.

Датчики, чутливі до звукових хвиль, що поширюються в повітрі або в газах, зазвичай називають мікрофонами; датчики, чутливі до акустичних хвиль, які поширюються у воді або

в рідинах, - гідрофонами; а датчики акустичних хвиль в твердих тілах, - стетоскопами. Лікарі, наприклад, вже багато століть застосовують механічні стетоскопи для прослуховування звуків усередині грудної клітки людини, скорочень серця, що виникають в результаті, проходження повітря по дихальних шляхах і т.д.

Основними параметрами акустичних датчиків є: частотний і динамічний діапазони, чутливість, діаграма направленості і амплітудно-частотна характеристика (АЧХ).

Мікрофони

Перші мікрофони були резистивними. Для перетворення механічних коливань в електричний сигнал в них використали вугільний (графітовий) порошок, електричний опір якого зменшувався із зростанням тиску. Потім набір принципів роботи акустичних датчиків значно розширився. Нині використовуються: електростатичні (конденсаторні, ємнісні), волоконно-оптичні, п'єзоелектричні, п'єзорезистивні, електретні і інші типи таких датчиків.

Електретні мікрофони відрізняються тим, що для них не потрібне зовнішнє джерело напруги, оскільки джерелом електричного поля в них є електрет - матеріал з постійною (іноді говорять "замороженій") електричною поляризацією.

Промисловість випускає зараз багато типів високоякісних мікрофонів. Для прикладу на рис. 6.28 показані деякі мікрофони компанії Sanken.



Рис. 6.28. Мікрофони компанії Sanken

Ліворуч - конденсаторний мікрофон CS - 1 масою 100 г і завдовжки 180 мм Завдяки відповідній конструкції приймальної трубки (чутлива мембрана глибоко втоплена, а пластинчата м'яка бічна поверхня трубки глушить звукові коливання, що поступають збоку) цей мікрофон має вузьку діаграму спрямованості в діапазоні частот від 50 Гц до 100 кГц, майже плоску амплітудно-частотну характеристику, високу чутливість (- 30 дБ/Па). Він не спотворює звук, навіть якщо встановити його поряд з джерелом, відмінно працює аж до гучності звуку в 137 дБ. Його використовують у тому числі і для професійного звукозапису найвищої якості.

Нове "дихання" удосконаленню мікрофонів дало застосування мікросистемних технологій. Разом з чутливим до звуку датчиком з'явилася можливість сформуванню в тому ж кристалі кремнію і усі електронні схеми, потрібні для посилення, селекції і обробки звукових сигналів. Це привело до зменшення на порядок розмірів, маси і вартості мікрофонів, що дуже важливо для усіх портативних пристроїв. Різко покращали чутливість і інші характеристики мікрофонів, зменшився вплив зовнішніх перешкод і шумів. "MEMS мікрофони", як їх стали називати, вже знайшли широке застосування в портативних відеокамерах, в мобільних телефонах, відеотелефонах.

Фирма Akustica Inc. почала промисловий випуск першою у світі акустичної системи на КМОП кристалі розміром 3,65x3x0,5 мм, виконуючій функції багатьох мікрофонів, електронних блоків і програмного забезпечення. Система перекриває частотний діапазон від 100 Гц до 10 кГц, має чутливість - 40 дБ, споживану потужність - лише 0,4 мВт.

Стетоскопи

У стетоскопах акустичні коливання зовнішньої грані твердого тіла перетворюють у відповідні коливання тиску газу або рідини. Вони по звукопровідній трубці передаються на чутливий до акустичних коливань елемент. З метою підвищення чутливості площу контакту стетоскопа з твердим тілом збільшують, а стінки звукопровідної трубки поступово звужують, щоб сконцентрувати акустичні коливання тиску на невеликій площі і збільшити їх амплітуду. Звуження, як правило, робиться за експоненціальним законом.

Тривалий час чутливим елементом стетоскопа було тільки вухо людини. Промисловість продовжує випускати такі стетоскопи і зараз - вже не лише для медичних і ветеринарних, але і для технічних застосувань. Фірма *Draper*, наприклад, випускає стетоскоп D54503, призначений для виявлення (по змінах звукової "картини") дефектів в двигунах, підшипниках і в інших рухливих деталях працюючих машин (<http://www.voltra.ru>).

Зараз в стетоскопах застосовують вже і "штучне вухо". На рис. 6.29 ліворуч показаний медичний електронний стетоскоп *CADIScope* фірми CADITEC (Швейцарія), який сам через грудну клітку людини сприймає звуки роботи серця, посилює їх і відтворює у вигляді осцилограми на рідкокристалічному дисплеї разом з шкалою і відмітками часу. Таким чином можна виявити і наочно побачити ознаки навіть нечутних вухом хрипів в дихальних шляхах, сердечних аритмій і тахікардії.

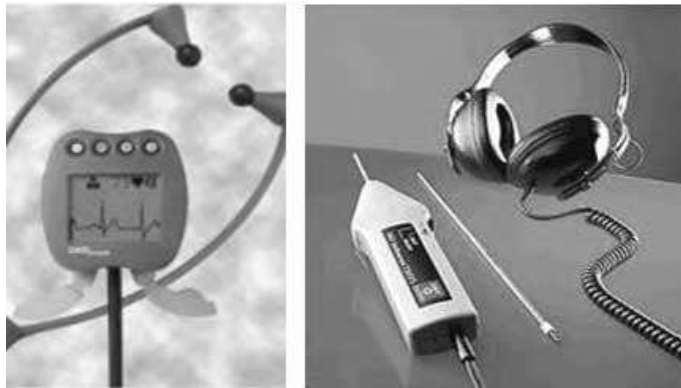


Рис. 6.29. Стетоскопи

У разі потреби фонограму роботи дихальних шляхів і серця можна передати на комп'ютер і задокументувати. З комп'ютера її можна передати також на великі відстані через Інтернет і отримати термінову консультацію найдосвідченіших фахівців. На цей же дисплей можна вивести також синхронну електрокардіограму, отриману від електрокардіографа. Це робить електронний стетоскоп дуже цінним медичним інструментом для діагностики захворювань серця.

З використанням вищеописаних приймачів акустичних сигналів будують інтелектуальні акустичні сенсори, у тому числі такі, в яких за допомогою мікропроцесора виконується професійна обробка первинних сигналів і забезпечується зручний сервіс.

Диктофони

Одним з видів таких сенсорів є сучасні диктофони. Ще декілька десятиліть тому акустичні сигнали, які сприймалися мікрофоном, посилювалися і записувалися на магнітну стрічку в магнітофонах. Сучасні диктофони вже не мають рухливих вузлів, і тому їх можна застосовувати в дорозі, в умовах вібрацій, запиленої, в значно ширшому діапазоні температур довкілля. Наявність вбудованого мікропроцесора і програмного забезпечення дозволяє в реальному часі фільтрувати, обробляти, формувати музику, живу мову і інші звукові послідовності в стандартні звукові файли, організувати зручні для користувача каталоги цих файлів, інтерфейс із зовнішнім комп'ютером або мережею зв'язку.

Використовуючи флеш-пам'ять, можна записувати і зберігати дуже великі об'єми звукових файлів.

Цифровий диктофон SM розрахований на запис звуку на зовнішню флеш-пам'ять не лише зі вбудованого в нього мікрофону, але і з телефонної лінії. Запису у вигляді стандартних звукових файлів (в цілому до 1120 хвилин живої мови) можна прослуховувати за допомогою навушника, переносити на комп'ютер. В ході запису диктофон сам автоматично видаляє довгі паузи в мові, що дозволяє ефективно використати пам'ять. Маса цього диктофона тільки 17 г, габаритні розміри 51 x 42 x 11 мм. Літій-полімерні акумулятори забезпечують 55 годин автономної роботи в режимі запису і до 2,5 місяців роботи в режимі очікування.

Портативний цифровий диктофон *Olympus VN - 1100* легкий, зручний, має типовий дизайн, дружнє до користувача меню. Забезпечує можливість запису до 17 годин розмови. Записи автоматично датуються і можуть зберігати позначки користувача, легко переносяться в комп'ютер. Можуть відтворюватися, починаючи з будь-якого місця.

Портативні звукоаналізатори

Відколи людство зрозуміло позитивну роль мелодійних звуків і негативний вплив на наше здоров'я шумів і дратівливих надмірно гучних звуків, з'явилася і почала зростати потреба в їх акустичних вимірах. Потреба ця стала особливо актуальною, коли в технічно розвинених країнах світу були ухвалені закони, регулюючі допустимі рівні промислових і побутових шумів. Ще до недавнього часу для вимірів гучності звуку, часу реверберації звуків в приміщеннях, для виявлення і визначення резонансних частот і інших важливих акустичних характеристик приміщень використовувалася складна стаціонарна апаратура. Але зростаюча потреба у вимірах привела до створення відносно недорогих портативних вимірників гучності звуку і інших параметрів звукових коливань.

Портативний аналізатор звуку 2250 фірм *Bruel & Kjaer* є двоканальним. Схема його застосування показана на рис. 6.30 б. До входу приєднуються приймачі звуку зі вбудованим передпідсилювачем.

З'єднання може бути як безпосереднім, так і через спеціальний кабель завдовжки в десятки метрів. Аналізатор вийшов дуже зручним і різнобічним помічником для фахівців з акустики. Залежно від закладеного в його мікрокомп'ютер програмного забезпечення, він може використовуватися: як вимірника інтенсивності або гучності звуку; як реєстратор середнього рівня шуму на вулицях міста, в районах аеропортів, на промислових підприємствах в різних частотних діапазонах; для дослідження акустичних властивостей приміщень, концертних залів; для точного налаштування музичних інструментів, для контролю їх якості, пошуку шляхів їх поліпшення.

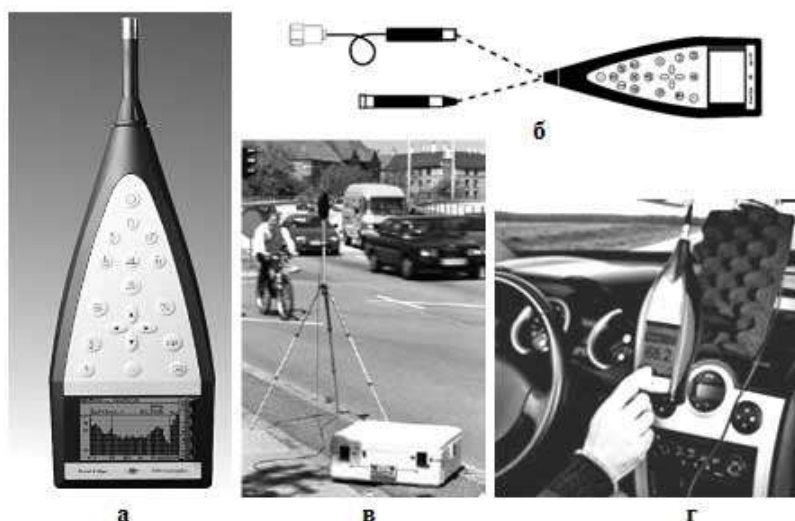


Рис. 6.30. Портативний аналізатор звуку сімейства 2250 фірми *Bruel & Kjaer*

Аналізатор може швидко розкласти звукові коливання в спектр, який виводить на свій рідкокристалічний дисплей. При цьому він може працювати як з тривалими, так і з короткочасними звуками, а також з механічними вібраціями, записуючи їх у свою пам'ять. З його допомогою можна по зміні характеру звуку оперативно виявити збої і порушення в роботі двигунів, машин, швидко знаходити причини неполадок.

На рис. 6.30 в показано застосування аналізатора звуку для оперативного контролю шумів на вулицях і площах міста, а на рис.6.30 г - для мобільних вимірів рівня шумів і створення шумової карти міста, околиць аеропорту, місцевості, що оточує занадто "шумні" підприємства. В цьому випадку мікрофони встановлюють на даху автомобіля, на якому об'їжджають контрольовану місцевість, фіксуючи в пам'яті приладу виміряні рівні шуму, що відповідає координати і час. Якщо в автомобілі є GSM навігатор, то результати вимірів рівня шуму автоматично прив'язуються до карти. Вимірний рівень шуму може автоматично порівнюватися з допустимим рівнем. При перевищенні рівня шуму подається сигнал, і мікропроцесор сам складає відповідний протокол.

Все більше власників мобільних телефонів починають користуватися так званою "*Bluetooth гарнітурою*". Ці невеликі легені акустичні сенсори кріплять до вуха з метою вивільнення рук від необхідності тримати мобільний телефон, яким можна тепер дистанційно користуватися на відстані до 10-20 м. З цією метою в гарнітуру вбудовуються мініатюрний мікрофон, схеми посилення сигналів від нього, *Bluetooth* радіоприймач-передавач, навушник і необхідні елементи управління. Деякі зразки з широкого вибору наявних на ринку гарнітур *Bluetooth* показані на рис. 6.31. Цілий ряд гарнітур підтримує сервіс видачі команд, що управляють, голосом, голосовий набір номера, а через деякі з них за допомогою голосу можна навіть управляти декількома домашніми пристроями, оснащеними інтерфейсом *Bluetooth*. Це може бути, наприклад, кондиціонер або обігрівач, радіоприймач або телевизор [14].



Рис. 6.31. Безпроводова гарнітура

Підслуховуючі пристрої

Серед інтелектуальних акустичних сенсорів є і прилади для непомітного прослуховування розмов. Відразу ж обумовимо, що це є законним лише за наявності дозволу суду або прокурора. Одним з видів таких сенсорів є спрямовані приймачі звуку (рис.6.32) з рупорною 1 або з параболічною антеною 2.

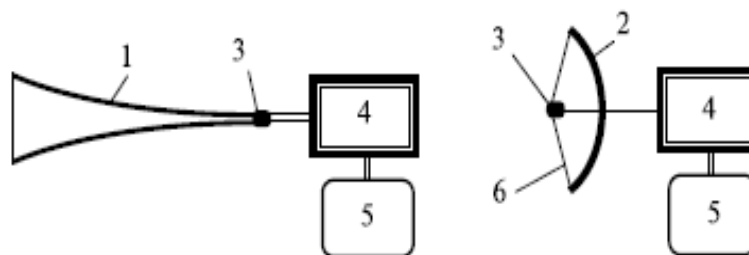


Рис. 6.32. Функціональна схема спрямованих приймачів звуку : ліворуч - з рупорною 1; справа - з параболічною антеною 2; 3 - мікрофон; 4 - електронний блок; 5 - навушники або гучномовець; 6 - розтяжки для кріплення мікрофону

Така антена не лише забезпечує гостру спрямованість і фільтрацію звуків, що приходять з інших напрямів, але і, збираючи звук з великої поверхні, концентрує його на малій площі мікрофону 3, чим забезпечує підвищення чутливості. У електронному блоці 4 робляться фільтрація, посилення і попередня обробка сигналів. Посилені звукові сигнали можна прослуховувати через навушники або гучномовець. Паралельно робиться запис розмови в пам'ять сенсора.

З параболічною антеною діаметром 0,4-1 м вдається досягти гостроти діаграми спрямованості і чутливості, достатніх для того, щоб за відсутності значного стороннього акустичного шуму почути і зафіксувати розмову, що ведеться на відстанях до 1200 м. У реальних умовах міста за наявності значного звукового фону ця дистанція скорочується до 100 м. Якщо розмова ведеться усередині приміщення або автомобіля за закритими вікнами, то для його прослуховування розроблені так звані «лазерні мікрофони».

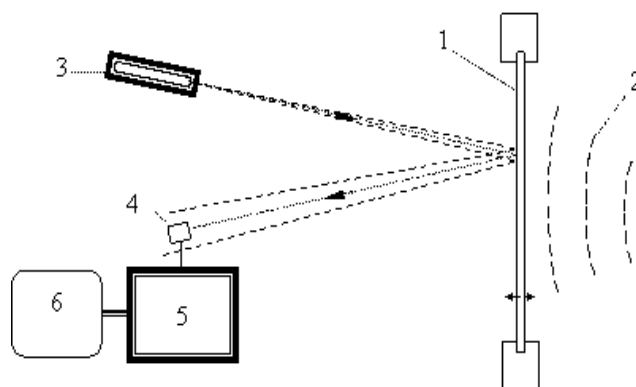


Рис. 6.33. Функціональна схема лазерного мікрофона

Звукові хвилі 2, досягаючи скла 1, викликають його вібрацію з відповідними звуковими частотами. Тут скляна пластина вікна грає роль мембрани - чутливого елемента сенсора, який перетворює звукові сигнали на механічні коливання. На значній відстані від скла (до 100-200 м) встановлюють лазер 3, невидимий (як правило, інфрачервоний) модульований промінь якого направляють на скло. На такій же приблизно відстані в межах конуса відбитого від скла лазерного променя розташовують приймальний пункт, до складу якого входять один або декілька фотоприймачів 4, електронний блок 5 і генератор звуку 6 (навушники або гучномовець). При вібраціях скла змінюється фаза світлових коливань, що потрапляють на фоточутливий елемент в точці прийому.

Сигнали від нього в електронному блоці посилюються, фільтруються, детектуються і записуються, а також можуть бути прослухані через навушники 6.

Можливо для прослуховування використовувати пристрої із застосуванням стетоскопа. Мініатюрний стетоскоп кріплять до стіни приміщення, що примикає до того, що охороняється, - до бетонної панелі стелі, пола або до стіни тієї ділянки системи вентиляції, яка підходить до приміщення, що прослуховується. Чутливість сучасних стетоскопів дозволяє прослуховувати розмову за бетонною стіною завтовшки до 1 м. Сигнал від стетоскопа передається на електронний блок, який його посилює, обробляє і через кабель посиляє до передавача.

Раніше це були радіопередавачі на ультракоротких хвилях. Тепер частіше застосовують оптичні інфрачервоні передавачі з великою кутовою апертурою випромінювання. Це дозволяє встановити приймач у будь-якому зручному місці досить широкої зони, оскільки радіус прийому складає 500 м і більше. Передачу інфрачервоними променями виявити значно важче, ніж радіопередачу. Тим паче, що наявний в електронному блоці мікропроцесор дозволяє розбити розмову на фрагменти, стиснути соответствующу

Тонометри

Артеріальний тиск - це один з дуже важливих показників фізіологічного стану серцево-судинної системи людини. Тиск крові в артеріях змінюється в такт з роботою серця. Коли серце стискається і виштовхує кров в артерії, тиск в них короткочасно підвищується і досягає свого піку, який називають систолічним або "верхнім" тиском. У фазі максимального розслаблення сердечних м'язів тиск крові в артеріях найбільш низький, - його називають тиском діастолі або "нижнього".

Всесвітня організація охорони здоров'я затвердила норми, відповідно до яких нормальних (допустимими) для дорослої людини вважаються систолічний тиск від 100 до 140 мм рт. ст. і тиск діастолі від 60 до 90 мм рт. ст. Підвищений артеріальний тиск прискорює зношування, старіння кровоносних судин, невиправдано збільшує інтенсивність роботи серця і навантаження на нього, підвищує ризик інсультів, інфарктів. Знижений артеріальний тиск викликає у людини апатію, млявість, зниження життєвого тону. Тому як з гіпертензією, так і з гіпотензією потрібно боротися за допомогою здорового способу життя, ліків або засобів народної медицини. Але для правильного лікування потрібно контролювати артеріальний тиск. Для цього і потрібні тоннометри - прилади для виміру артеріального тиску.

У XVIII- XX повіках використовувалися ручні тоннометри, сучасний варіант яких показаний на рис. 6.34. Такий тоннометр складається з манжети 1, гумової груші 2, сполучних гумових трубок 3, механічного манометра 4, фонендоскопа 5 і вентиля 6 для випуску повітря.

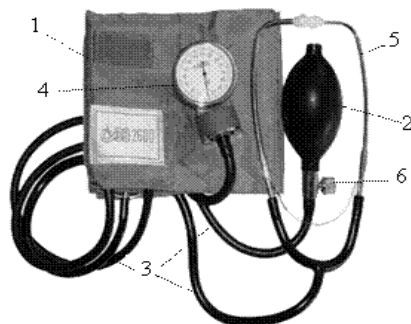


Рис. 6.34. Ручний тоннометр

Перед виміром манжету 1 накладають на плече пацієнта так, щоб її гумовий мішечок охопив увесь обвід руки, і застібають. Навушники фонендоскопа 5 вставляють у вухо (лікаря, медсестри або самого пацієнта, якщо він вимірює тиск сам собі), а слуховий елемент фонендоскопа (стетоскоп) вставляють під край манжети у згині ліктя над артерією. Закривають клапан 6 і за допомогою гумової "груші" 2 через сполучну трубку 3 нагнітають в манжету повітря до тих пір, поки в навушниках фонендоскопа не зникне звук пульсації крові в артерії.

Таким чином, звук пульсації крові в артерії і є тут тим первинним інформаційним сигналом, який дозволяє вимірювати артеріальний тиск крові. Тому тоннометри і відносимо ми до класу акустичних сенсорів. Тоннометри є активними сенсорами тому, що вони активно впливають на кровоносні артерії, чинячи на них зовнішній тиск, що міняється. Т.е. манжета служить в тоннометрі вузлом активного впливу на контрольований об'єкт (кровоносні артерії). А фонендоскоп служить акустичним чутливим елементом, що дозволяє спостерігати реакцію об'єкту на відповідну дію.

Нині усе більш споживаними стають інтелектуальні електронні (цифрові) тоннометри. Їх розділяють на 2 групи: *напівавтоматичні* і *автоматичні*. У *напівавтоматичних* тоннометрах ручною залишається тільки операція нагнітання повітря в манжету (за допомогою гумової груші), а в деяких - ще і операція поступового зниження тиску в манжеті (за допомогою ручного вентиля).

Дві з багатьох марок напівавтоматичних тоннометрів показані на рис. 6.35. Такі тоннометри складаються з манжети, гумової "груші", електронного блоку і сполучних трубок.

До складу електронного блоку входить мікрофон, підсилювач і селектор звукових сигналів, датчик тиску в манжеті, автоматично керований повітряний клапан, звуковий сигналізатор, мікрокомп'ютер, рідкокристалічний індикатор і кнопки управління приладом.



Рис. 6.35. Напівавтоматичні тонометри

Як тільки з мікрофону поступає перший звуковий тон, який свідчить про початок пульсації крові в артерії за манжетою, мікропроцесор фіксує значення систолічного тиску. А в мить, коли інтенсивність звукових тонів різко зменшується, фіксує тиск діастолі. Крім того, мікропроцесор в ході виміру тиску обчислює і інтервали часу між послідовними ударами серця, підраховує середню частоту пульсу і варіації тривалості інтервалів між ударами. Після фіксації тиску діастолі, сам мікропроцесор відкриває клапан. Повітря виходить з манжети, і тиск в ній швидко падає до нуля. Вимір закінчується, а комп'ютер виводить на екран дисплея знайдені значення верхнього і нижнього артеріального тиску, частоту пульсу і попередження у разі помилок або виявлення істотної серцевої аритмії.

У деяких тонометрах усі ці значення разом з датою і часом виміру фіксуються в енергонезалежній пам'яті приладу, де можуть зберігатися дані 30-100 вимірів. В цьому випадку мікропроцесор може обчислювати і виводити значення середнього артеріального тиску і частоти пульсу за останній період, кількість випадків аритмії, і тому подібне. Деякі напівавтоматичні тонометри мають також кольорову шкалу артеріального тиску, на якій у вигляді стовпчиків відображаються виміряні рівні тиску і червоним кольором виділяються небезпечні зони.

Деякі марки *автоматичних тонометрів* показані на рис. 6.36. У їх комплектацію вже не входить гумова груша, оскільки процес нагнітання повітря в цих тонометрах теж автоматизований. Для цього в електронному блоці є мініатюрний керований електронасос. Користувачеві залишається лише правильно накласти манжету на плече і натиснути кнопку. Увесь подальший процес виміру відбувається автоматично. Якщо в процесі виміру з'являються якісь перешкоди (перебої серцевого ритму, ворухіння руки, кашель, сторонній гучний звук і тому подібне), то вбудований в прилад мікропроцесор сам запускає процес виміру повторно.



Рис. 6.36. Автоматичні тонометри

Повністю автоматичний режим дає також можливість підвищити точність виміру. Запам'ятавши артеріальний тиск цього користувача, мікропроцесор при наступних вимірах сам регулює рівень нагнітання повітря так, щоб він лише на необхідну величину перевищував систолічний тиск цього пацієнта, і забезпечує тим самим комфортніші умови виміру. Деякі з автоматичних тонометрів мають також інтерфейс до зовнішнього комп'ютера, виводять на свій дисплей поточну дату і час. Вони можуть бути запрограмовані на різні сервісні дії. Наприклад, нагадувати звуковим сигналом і значками на дисплеї про необхідність прийому ліків або чергового виміру тиску.

Гідролокатори

Ще активнішими акустичними сенсорами є ехолокатори, які самі генерують акустичні хвилі для того, щоб зібрати потрібну інформацію про контрольовані об'єкти. У цьому вони подібні до радіолокаторів, але зондування довкілля ведеться не радіохвилями, а акустичними хвилями. Оскільки акустичні хвилі поширюються значно повільніше, ніж радіохвилі, той час запізнювання відбитих сигналів значно більше, що істотно спрощує обробку сигналів при зондуванні на невеликі відстані.

Перевагу в ехолокації зазвичай віддають ультразвуковим (далі УЗ) хвилям, оскільки вони:

- мають меншу довжину хвилі і тому більш високу роздільну здатність;
- при тій же амплітуді коливань тиску мають значно більш високу інтенсивність (яка пропорційна квадрату частоти);
- не сприймаються людським вухом, тому не створюють для нас небажаний звуковий фон.

УЗ хвилі середніх і високих частот досить сильно поглинаються і швидко затухають в повітрі і газах. Тому для ехолокації в повітрі застосовують переважно низькочастотні УЗ хвилі.

Ехолокацію у водній і взагалі в рідкому середовищі прийнято називати гідролокацією. Перші гідролокаційні прилади вимірювали тільки глибину водойми, тобто відстань від акустичної антени до дна моря (океану, річки, озера). Саме такі прилади спочатку і називали ехолотами. Якщо судно з ехолотом переміщалося, то на основі таких вимірів будувався профіль дна відносно поверхні води уздовж траєкторії переміщення судна.

Нині поняття "ехолот" значно розширилося. Ехолотами називають усі сенсори, які діють за принципом сприйняття звуків, відбитих від розташованих віддалік предметів, тобто за принципом луни (від грецького "луна" - відбитий звук, відгомін, відгук). У гідролокації назви "гідролокатор" і "ехолокатор", "ехолот", "сонар" (аббревіатура від англійської назви "SOund NAvigation and Ranging", приблизний переклад - звукова навігація і вимір відстаней) стали практично синонімами.

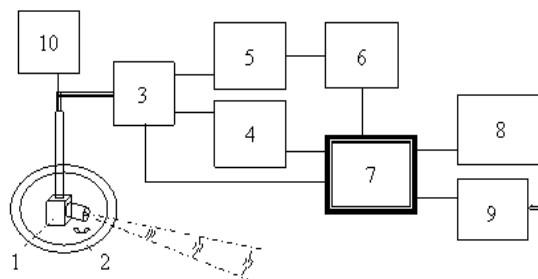


Рис. 6.37. Принцип роботи гідролокатора

Акустична антена 1, герметично захищена оболонкою 2, зробленою з прозорого для звуку матеріалу, знаходиться у воді. Через кабель вона сполучена з комутатором 3, який по черзі підключає до неї генератор 4 або приймач-підсилювач акустичних сигналів 5. Останній сполучений з селектором сигналів 6, вихід якого підключений до мікропроцесора 7. Виходи

останнього підключені до індикатора 8 і до інтерфейсного блоку 9. Роботою гідролокатора автоматично управляє мікропроцесор 7. Він подає на генератор 4 сигнал про початок зондування водного простору і команди про параметри цього зондування (частота ультразвуку, тривалість, структура і потужність УЗ імпульсів, періодичність їх повторення і тому подібне). Потім мікропроцесор 7 подає сигнал на комутатор 3, який пропускає електричні коливання від генератора 4 до антени 1. Там вони за допомогою п'єзоелектричного осцилятора перетворюються на потужні акустичні коливання і випромінюються антеною в навколишній водний простір.



Рис. 6.38. Базовий блок гідролокатора Furuno CH - 250, який випускається для застосування на рибпромисловому флоті.

Акустична антена кругового і вертикального сканування встановлюється на підводній частині корпусу корабля.

Гідролокатор може працювати у восьми режимах:

- відображення ехо-профілю пройденого маршруту;
- точне визначення координат об'єктів. - секторне або кругове сканування водного простору по азимуту;
- вертикальне сканування;
- комбінація секторного і вертикального сканування для оцінки розподілу косяка одночасно в горизонтальній і вертикальній площинах;
- прокладення маршруту з уважним обстеженням усіх можливих підводних перешкод;
- забезпечення гідролокаційного "захоплення" вказаного оператором об'єкту (косяка, підводної перешкоди) і автоматичне стеження за ним пучком УЗ хвиль.

Інтелектуальні сенсори

Існує багато простіших інтелектуальних сенсорів, в яких використовується активна гідролокація. Один з них - вимірник потоку рідини *Sonartron ST* фірми *Honsberg* показаний на рис.6.39.



Рис. 6.39. УЗ вимірнювач потоку рідини *Sonartron ST* фірми *Honsberg*

У проточну металеву трубу, крізь яку пропускається рідина, один проти одного вбудовані випромінювач і приймач УЗ імпульсів. Ці імпульси проходять уздовж осі потоку. Час запізнювання прийнятого імпульсу відносно моменту випромінювання залежить від швидкості руху рідини. Електронна схема, яка вимірює час запізнювання, перераховує цей

час за даними попереднього калібрування у величину потоку рідини і видає це значення в цифровій формі. Потік води в діапазоні від 0,04 л/хв. до 40 л/хв. вимірюється з точністю до 2,5 %. Сенсор має також аналоговий електричний вихід і захисне електричне реле, що замикається при перевищенні потоком рідини заздалегідь заданої в цифровому виді величини.

Інтелектуальні акустичні сенсори для УЗВ

Одним із застосувань ехолокації вже не у воді, а в повітрі, являється УЗ виявлення присутності об'єкту в контрольованій зоні і вимір відстані до нього. Особливо важливим стає це в складних умовах густого туману, задимленості, запыленій і тому подібне, коли оптичні методи "працюють" погано. А для УЗ хвиль це усе - не перешкода. В якості джерела ультразвуку найчастіше застосовують п'єзоелектричні перетворювачі. Деякі типи УЗ сенсорів відстані, що промислово випускаються, показані на рис.6.40.



Рис. 6.40. УЗ сенсорів відстані, що промислово випускаються.

Випромінювач і приймач УЗ хвиль знаходяться в одному корпусі разом з необхідною для вимірів електронікою і з елементами, що забезпечують спрямованість - концентрацію випромінюваних УЗ хвиль, що приймаються, в певному секторі простору. УЗ хвилі з частотою 65-400 кГц у вигляді короткочасного імпульсу випромінюються у напрямі контрольованої зони 10-200 разів кожену секунду. Якщо в контрольованій зоні з'являється об'єкт, то відбита або розсіяна від нього УЗ хвиля повертається назад до сенсора і сприймається приймачем з деяким запізнюванням. По виміряному часу запізнювання розраховується відстань до об'єкту.

Випускаються УЗ сенсори відстані з різними параметрами, розрахованими як на невеликі відстані - від 15 до 200 мм з точністю до 0,2 мм, так і на середні відстані - від 0,3 до 6 м з точністю до 1 мм, а також на відстані в десятки метрів.

Вихід таких сенсорів може бути як цифровим, так і аналоговим. Якщо до складу УЗ сенсора входить мікрокомп'ютер, то завдяки вбудованим датчикам температури і тиску легко вирішується питання корекції результатів зроблених вимірів з урахуванням залежності швидкості поширення УЗ хвилі в повітрі від вказаних параметрів.

Якщо частота УЗ коливань фіксована, то за допомогою таких сенсорів можна визначати і швидкість руху об'єкту, вимірюючи доплерівське зрушення частоти відбитої хвилі. Якщо кутова діаграма спрямованості УЗ сенсора досить вузька (а це залежить від конструкції

корпусу і наявності параболічного або сферичного рефлекторів) те, поступово повертаючи його в певному кутовому секторі, можна, як і в гідролокаторах, сканувати УЗ зондом і оглядати значнішу зону простору.



Рис. 6.41. УЗ вимірник рівня рідини Omni – L

Рівень рідини визначається з точністю близько 1 мм за часом запізнювання відбитого від поверхні рідини УЗ імпульсу. Багато спеціалізованих інтелектуальних акустичних сенсорів створені і застосовуються для дефектоскопії металевих заготовівель (прокату, відливань...) і готових металоконструкцій. У основі їх роботи теж лежить принцип ехолокації, але вже в твердих тілах. У якихось місцях металевої конструкції збуджуються УЗ коливання, в інших - встановлені приймачі УЗ хвиль. Прийняті ними УЗ коливання піддаються математичному аналізу в мікрокомп'ютері. За результатами аналізу можна визначити механічний стан конструкції.

Такі спеціалізовані інтелектуальні акустичні сенсори дозволяють своєчасно виявляти тріщини, порожнечі, сторонні включення і інші дефекти в металевих виробках, явища "втоми" металів, небажані механічні зміни в конструкціях і запобігати можливим аваріям. У разі виникнення ушкоджень трубопроводів, безстикових рейок надшвидкісних залізниць і так далі інтелектуальні УЗ акустичні сенсори дозволяють швидко локалізувати місце ушкодження і відновити функціонування цих важливих магістралей.

Інтелектуальні портативні сенсори для УЗ досліджень

Одним з важливих видів ехолокації є ультразвукові дослідження внутрішніх органів людини, які широко застосовують в медицині. Швидкість поширення УЗ хвиль в тканинах людського тіла складає близько 1540 м/с, тобто близька до швидкості у водному середовищі. Але із-за акустичної неоднорідності людського тіла на межах розділу органів і тканин з різною щільністю і пружністю, відбувається часткове відображення, розсіяння і заломлення УЗ хвиль. Чим більше перепаду щільності, тим вище амплітуда відбитої УЗ хвилі. Це і дозволяє визначати, а потім і відтворювати у вигляді зображення просторові межі між органами, тканинами і різними структурними елементами тканин, їх форму, розміри, взаємне розташування, локальні особливості. Застосовуючи УЗ хвилі високої частоти (1-15 МГц), вдається досягти високої роздільної здатності - до 0,1 мм. При відображенні від рухливих об'єктів (дихальні переміщення грудної клітки, діафрагми, скорочення серця, пульсація артерій, просування крові по судинах і тому подібне) змінюється частота відбитою УЗ хвилі (ефект Доплера). Вимірюючи величину зміни частоти, можна вичислити відповідну швидкість руху і візуально виділяти ділянки внутрішніх органів, які рухаються з різною швидкістю, - навіть досить повільно (менше 1 см/с).

На рис. ліворуч показаний сучасний апарат *SonoAce Pico* для УЗ сканування людського тіла. Будучи переносним (357x320x204 мм, маса менше 10 кг), він має практично такі ж діагностичні можливості, як і традиційні стаціонарні апарати для УЗІ. Завдяки цифровій технології формування УЗ пучків і обробки сигналів він дозволяє отримувати кольорові зображення стану внутрішніх органів з високою роздільною здатністю [7].



Рис. 6.42. Портативні апарати для УЗ досліджень : ліворуч - *SonoAce - Pico*; справа - *Fukuda UF - 750XT*

Окрім можливості формування об'ємних зображень і застосування ширококутових мультичастотних датчиків, він може виконувати функції формування трапецеїдального зображення, збільшення масштабу зображення при дослідженні малих органів. Він розрахований також на застосування мікроконвексного датчика, має програми кардіологічних досліджень. Можлива глибина сканування - до 30 см У базову комплектацію входять також електрокардіографічний модуль з програмним забезпеченням, система SonoView Lite для архівації і подальшого перегляду ехограм, містка пам'ять, виходи для одночасного приєднання до базового блоку двох датчиків.

Можливе застосування багатьох прогресивних технологій ультразвукографії :

- *Multi - beam* - технологія цифрового формування УЗ пучків з пригніченням впливу багатократних відображень, нелінійних спотворень, неточності інтервалів затримки і т. п.
- *OTI (Optimum Tissue Imaging)* - технологія формування оптимального зображення тканини завдяки корекції швидкості (вибір оптимальної швидкості для кожної області, щоб забезпечити високу якість зображень одночасно усіх видів тканини, таких як жирова, м'язи або паренхіма печінки).
- *THI (Tissue Harmonic Imaging - "тканинна" або друга гармоніка)* - підвищує якість зображень, їх контраст і лінійну роздільну здатність у пацієнтів з ускладненою візуалізацією (наприклад, з товстими жировими прошарками).
- *OHI (Optimized Harmonic Imaging)* - застосовується в особливо важких для дослідження випадках. FINE (Filtered Image for Noise reduction & Edge enhancement) - технологія поліпшеної фільтрації УЗ сигналів, яка зменшує рівень шумів і забезпечує більш високий контраст.
- *SAFE (Compound Automatic Flash Elimination)* - забезпечує адаптивну нелінійну фільтрацію для видалення кольорових точок, які виникають внаслідок випадкових артефактів. Покращує візуалізацію кровотоку в доплерівських режимах.

Ультразвуковий діагностичний сканер Fukuda UF - 750xt показаний на рис. 6.43.



Рис. 6.43. Ультразвуковий діагностичний сканер *Fukuda UF - 750xt*

Він призначений для невідкладної (на виїздах) УЗ функціональної діагностики серцево-судинних захворювань, щитовидної і молочної залоз, бруньок, печінки, шлунку, жовчного

міхура, статевих органів. Кольоровий рідкокристалічний дисплей з діагоналлю 265 мм забезпечує високу якість зображень. Загальні габаритні розміри сканера 380x220x370 мм, маса - менше 13 кг. Оснащений магнітооптичним диском пам'яті на 640 Мбайт, на якому можуть зберігатися до 6 тисяч ехограм. Маючи приблизно такі ж функціональні можливості, як і попередній сканер, він забезпечує також УЗ дослідження слабкого і повільного кровотоку.

До складу програмного забезпечення входять:

- програмні пакети для вимірів, обчислень і автоматичного створення звітів (для акушерства, кардіології, ангіології, радіології, урології, гінекології, хірургії, педіатрії);
- програми об'ємної реконструкції з можливістю мультипланового аналізу, підтримки протоколу безпроводного зв'язку;
- програма формування і підтримки бази цих пацієнтів з можливістю перенесення даних на зовнішні носії і на зовнішній комп'ютер.

Сенсори на поверхневих акустичних хвилях

Досі розглядалися сенсори, які використовують акустичні хвилі в об'ємі газів, рідин або твердих тел. Але є ще і велика група сенсорів, в яких використовується поширення акустичних хвиль по поверхні твердих тіл або в їх приповерхневій області.

Такі хвилі називають *поверхневими акустичними хвилями (ПАХ)* і відповідно *приповерхневими акустичними хвилями (ППАХ)*. Для збудження і детектування ПАХ і ППАХ використовують прямий і зворотній п'єзоелектричний ефект. Найчастіше з цією метою на поверхні п'єзокристала, п'єзокерамики або на п'єзоелектричній плівці формують так звані *зустрічно-штирьові перетворювачі (ЗШП)*. Це - електроди, що мають форму гребінки, в яких довжина кожного штиря набагато більше ширини (рис.6.44).

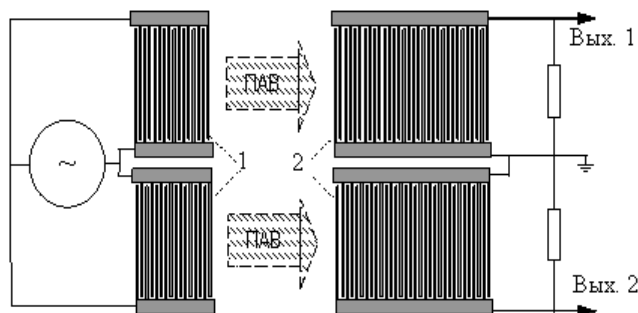


Рис. 6.44. Принцип дії сенсорів на ПАХ:

- 1 - зустрічно-штирьові перетворювачі електричного сигналу в ПАХ;
2 - зустрічно-штирьові перетворювачі ПАХ в електричний сигнал.

Коли на ЗШП 1 подається змінна напруга, в п'єзоелектричному матеріалі виникають хвилі механічного стискування і розтягування з частотою змінної напруги. Якщо відстань між штирями дорівнює довжині хвилі, то хвилі від усіх штирів виявляються синфазними і посилюють одна іншу. Виникає сильна резонансна поверхнева акустична хвиля. Швидкість поширення ПАХ в п'єзоматеріалах складає 3,8-4,2 км/с. Тому ПАХ з частотою 1 ГГц має довжину хвилі приблизно 4 мкм. Поширюючись уздовж поверхні п'єзоелектрика, ПАХ проходить відстань в 1 мм приблизно за 250 нс. Коли хвиля доходить до електродів 2, вона стає причиною виникнення між парою сусідніх штирів змінної електричної напруги тієї ж частоти. Коливання напруги між сусідніми парами штирів, складаються. Тому напруга на виході ЗШП виявляється найбільшою у разі збігу їх фаз, тобто тоді, коли відстань між штирями сусідніх пар дорівнює довжині хвилі [9].

Таким чином, геометрична структура ЗШП забезпечує високу вибірковість приладів на ПАХ. Якщо ця структура строго періодична, то вона функціонує як високодобротний частотний фільтр. Якщо ж повинні прийматися лише сигнали, що певним чином модулюються по амплітуді, частоті, фазі і тому подібне, то використовується і відповідна

геометрична структура ЗШП. Прилад на ПАХ функціонує тоді як вискоефективний корелятор, що видає на виході пік напруги тільки тоді, коли просторово-часова структура поверхневої акустичної хвилі точно співпадає з геометричною структурою ЗШП. Прилад фазується і синхронізується з сигналом, який поступає на його вхід, автоматично, тобто сам і тільки у момент повного збігу структури хвилі і структури ЗШП.

Саме з цих причин прилади на ПАХ широко використовують в сучасній радіотехніці: і в мобільному радіозв'язку, і в системі глобального орієнтування GSM, в системах цифрового і локального безпроводного зв'язку і т.п. Із застосуванням ЗШП і ПАХ побудовані ефективні фільтри проміжної частоти, вихідні і багатомодові фільтри, що калібруються лінії затримки з дуже малим загасанням, фільтри Найквіста для цифрового телебачення і цифрового радіозв'язку, лінії затримки для кодового і тимчасового розділення каналів, фільтри систем волоконно-оптичного зв'язку і т.д.

Цікавим застосуванням відносно дешевих сенсорів на ПАХ стала автоматична радіоідентифікація багажу, контейнерів, транспортних одиниць, важливих поштових відправлень. Схема їх радіоідентифікації показана на рис. У багаж, що підлягає пильному контролю, за додаткову плату вкладають невеликий радіоідентифікатор з індивідуальним кодом. У аеропортах, на вокзалах, в морських або річкових портах, на транспортних вузлах і контрольних пунктах встановлюють системи автоматичної радіоідентифікації. До складу такої системи входить *мікрокомп'ютер 1*, що приймає через канали зв'язку запити на перевірку контрольованих вантажів. Отримавши запит з кодами контрольованих вантажів, він через *генератор 2* і *радіоантену 3* автоматично організовує випромінювання радіосигналів, що фазо-маніпульованих, на частоті близько 1 ГГц з позивними відповідних вантажів. Радіоідентифікатори, вкладені у вантажі, приймають ці позивні, посилюють і подають на свій індивідуальний ПАХ селектор.

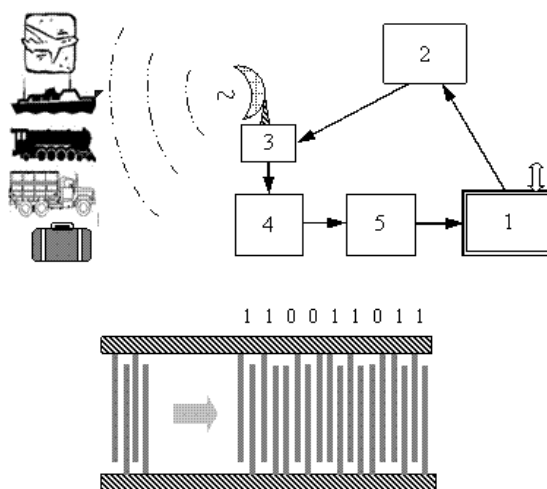


Рис. 6.45. Схема функціонування системи радіоідентифікації багажу. Знизу – структура ЗШП, що відповідає коду "110011011"

Цей відгук приймається *антенною 3*, посилюється *радіоприймачем 4* і передається на фазовий *детектор 5*, який формує двійковий код. *Мікрокомп'ютер 1* порівнює цей код з кодом контрольованого вантажу і, якщо вони співпадають, фіксує це у своїй пам'яті. Потім за допомогою *генератора 2* і *радіоантени 3* випромінюються позивні наступного контрольованого вантажу, і процес повторюється. Після обробки усього запиту мікрокомп'ютер формує відповідь на нього і через канали зв'язку автоматично інформує того, що просить про наявність або відсутність в цьому контрольному пункті відповідних вантажів.



Рис. 6.46. Мікроваги *XP - Micro* компанії Метлер Толедо на ПАХ

З використанням ПАХ елементів нині випускають дуже чутливі мікроваги. Як приклад на рис. 6.46. показані мікроваги *XP - Micro* компанії Метлер Толедо. Зважування маси до 52 г з дискретністю 1 мкг. Габаритні розміри 263 x 490 x 322 мм. Вони мають вбудований мікрокомп'ютер, електронний контроль горизонтального рівня, подвійний термостатований кожух зі знепилюванням, кольоровий сенсорний дисплей, можливість під'єднання до електронної інформаційної мережі, безпроводного зв'язку через інтерфейс *BlueTooth*. Ретельно продумані усі нюанси зважування дуже малих доз дорогих речовин. Зазвичай зважувану дозу кладуть в "човник", бюксу або на листочок кальки, і при перенесенні можливі її втрати. У цих вагах забезпечується можливість дозування навішування відразу ж в кінцеву тару через маленьке віконце в дверцях, завдяки чому виключаються небезпечні рухи повітря усередині робочого об'єму вагів при зважуванні. Досягається відтворюваність результатів зважування краще 1,5 мкг, і значно знижуються втрати дуже дорогих реагентів.

Такі високоточні і швидкодіючі ваги використовуються, наприклад, в лабораторіях тонких хімічних і біохімічних аналізів і синтезів в таких сферах застосування, як фармацевтична і косметична промисловість, здобич і обробка дорогоцінних рідкісних металів, геологічна розвідка, мікроелектроніка, кольорова металургія, судова експертиза, наукові дослідження і т.п.

Хімічні і біохімічні сенсори на ПАХ

Якщо на чутливу зону нанести спеціальне покриття (оксиди металів, полімерні плівки і тому подібне), що вибірково сорбувало молекули певного газу або пари з навколишнього повітря, то отримаємо досить чутливий ПАХ сенсор присутності в повітрі відповідних речовин. Вже розроблені і промислово випускаються ПАХ сенсори для контролю наявності більшості важливих органічних і неорганічних газів в технологічному середовищі і в атмосфері приміщень.

За останнє десятиліття були створені також матричні ПАХ сенсори. Їх ще називають мультисенсорами. У них на одному кристалі формується одночасно цілий масив ППАХ сенсорів, на кожного з яких наносять свою чутливу плівку. Більшість розробок виконана в області мультисенсорних газоаналізаторів, в яких контрольований об'єм повітря аналізується на присутність відразу десятків різних речовин.

6.11. Електричні сенсори

У широкому сенсі все або майже усі інтелектуальні сенсори можна віднести до класу електричних. Адже, врешті-решт, будь-які сигнали в інтелектуальних сенсорах перетворюються на електричні сигнали, з якими працює мікрокомп'ютер. В механічних і в акустичних сенсорах майже завжди є чутливі елементи, що перетворюють механічні або

акустичні сигнали на електричні. Така ситуація дуже часто має місце і в усіх інших класах інтелектуальних сенсорів. Електричні сенсори, що є складовими частинами інших сенсорів, зазвичай розглядаються в таких випадках як "трансдюсери", - перетворювачі інших видів сигналів в електричну форму. У них зміна електричних властивостей є вже вторинною, - наслідком первинних змін механічних, акустичних або інших властивостей. Перехід до електричної форми сигналів потрібний лише для зручності їх подальшої обробки. Проте, такі трансдюсери і у складі інших сенсорів самі по собі залишаються електричними сенсорами.

Електричними властивостями тіл є: їх електричний заряд, електричний потенціал, конфігурація створюваного електричного поля, електроємність і тому подібне. До електричних властивостей речовин належать їх електропровідність або електричний опір, діелектрична постійна і, в загальнішому випадку, - їх комплексна діелектрична постійна. До властивостей електричних ланцюгів можна віднести напругу на тій або іншій ділянці ланцюга; струм, що протікає через них; для ланцюгів змінного струму - імпеданс, амплітуду, частоту і фазу коливань струму, власні резонансні частоти і тому подібне. Якщо будь-яка з цих властивостей змінюється під дією чинників або процесів, за якими вимагається "спостерігати", то ці зміни можна реєструвати і на цій основі будувати певні висновки про об'єкт спостереження.



Рис. 6.47. Класифікація електричних сенсорів по фізичному принципу дії

До активних чутливих елементів відносять транзистори, діоди, нелінійні електронні елементи, що мають ділянки вольтамперної характеристики з негативним нахилом, газорозрядні і інші елементи, усередині яких викликані зовнішнім впливом невеликі зміни відразу ж значно посилюються за рахунок зовнішнього джерела енергії. Зазвичай вважають, що усі активні чутливі елементи є "струмовими", тобто під впливом контрольованого зовнішнього чинника змінюється електричний струм, що протікає крізь них.

Пасивні чутливі елементи класифікують по виду електричної характеристики, що змінюється під впливом контрольованого чинника, на резистивні, ємнісні і так далі. Далі їх можна класифікувати на підвиди залежно від того, під дією якого саме зовнішнього чинника змінюються їх електричні характеристики (п'єзореzystори, термореzystори, фоторезистори ...).

Резистивні сенсори

Одними з простих електричних сенсорів є резистивні сенсори, в яких під дією зовнішнього чинника змінюється опір тієї або іншої ділянки електричному ланцюгу. Як сказано вже вище, їх ми класифікуватимемо, виходячи з того зовнішнього чинника, під дією якого змінюється електричний опір резистора.

Відомим прикладом резисторів, що реагують на механічну дію, є сенсори -"вахтери" для спостереження за цілісністю шибок. По поверхні скла простягають "мереживо" з тонкої, майже непомітної тяганини. Сенсор вимірює і контролює загальний опір цього "мережива" тяганини. Якщо скло розбивається, то деяка тяганина неминуче розривається, внаслідок чого загальний електричний опір змінюється. Реєструючи таку зміну, сенсор подає сигнал тривоги.

Терморезистори

Терморезистори – резистори, у яких електричний опір провідника або напівпровідника залежить від температури.

Значніші за величиною і різні по знаку температурні коефіцієнти електричного опору мають напівпровідники. Напівпровідникові терморезистори прийнято називати *термісторами*. Вводячи в кремній незначні домішки, можна отримати в певних температурних діапазонах як позитивний, так і майже нульовий, а також негативний температурний коефіцієнт опору. Особливо широко в ролі термісторів застосовують оксиди металів. Їх виготовляють у вигляді тонких і товстих плівок, маленьких керамічних пластинок, стержнів, циліндрів, невеликих намистинок і т.д.

Одним з прикладів можливої реалізації інтелектуального сенсора на основі терморезисторів є так звані "PID-регулятори температури" (наприклад, типів T16/P16 і T48), які випускаються промислово. Невеликі по розмірах (50×50×106 мм), вони задовольняють жорстким вимогам промислових застосувань IP65.

Їх входи розраховані на підключення стандартних платинових терморезисторів Pt100 (2 або 3, діапазон зміни опору від 1 до 320 Ом) або терморезисторів типів S, T, J, N, K, E, R, B. Виміри відбуваються кожні 0,4 с.

Користувач може вибрати різні режими роботи: пасивне стеження за змінами температури, автоматична сигналізація про вихід температури за задані межі, автоматичне регулювання температури через вихідні силові реле по декількох різних оптимальних алгоритмах. Поточне значення температури чітко висвічується на світлодіодних індикаторах у вказаних користувачем одиницях. Туди ж виводиться і інша важлива інформація. Про розробку аналогічного інтелектуального сенсора температури з погрешністю вимірів, що не перевищує 0,1%.

З використанням мікрокомп'ютерів і набору мініатюрних термісторів, що мають дуже малу власну теплоємність і незначну теплову інерцію, можна будувати складніші інтелектуальні сенсори.

Приклад інтелектуального сенсора для спостереження за змінами об'ємного потоку рідини уздовж стебла або гілок рослини. У таких сенсорах використовують 3 термістори: один - для контролю температури в місці нагріву, другий - для виміру температури стебла на заданій відстані від місця нагріву, третій - для виміру температури довкілля. Сигнали від першого служать для точного регулювання і підтримки заданої температури в місці нагріву. Це важливо, оскільки підвищення температури вище за фізіологічну межу може негативно вплинути на життєдіяльність рослини. Сигнали від другого термістора дозволяють мікрокомп'ютеру вчислити об'ємний потік рідини. А сигнали від третього дають можливість врахувати поправку, пов'язану з віддачею тепла в те, що оточуючий простір.

Їх електричний опір залежить від освітленості. Фоторезистори виготовляють найчастіше з напівпровідників групи $АІІВVI(CdS, CdSe, CdTe, \dots)$ шляхом напилення тонких шарів або намазування товстих шарів з подальшим спіканням пластинок, рідше - з монокристалів. Зміна їх електричного опору під дією світла відбувається завдяки

внутрішньому фотоефекту, тобто завдяки тому, що при поглинанні квантів світла в напівпровіднику з'являються додаткові вільні носії електричного заряду [15].

Від матеріалу, з якого виготовлений фоторезистор, і від внесених в нього домішок залежить спектральна характеристика, тобто залежність чутливості фоторезистора від довжини хвилі світла, що падає. Спектри чутливості існуючих фоторезисторів перекривають увесь широкий оптичний діапазон спектру від ультрафіолетової до далекої інфрачервоної області. Синтезовані також фоторезистори, які практично повторюють спектральну криву чутливості людського ока. Саме їх рекомендують застосовувати для точної фотометрії, тобто для вимірів характеристик світла в так званих "світлових одиницях" (люменах, люксах, канделах і т.п.).

З використанням фоторезисторів можна побудувати багато видів інтелектуальних сенсорів як дослідницького, так і прикладного характеру. В якості прикладів можна згадати схеми автоматичного визначення витримки у фотоапаратах, в автоматах друку фотознімків, схеми автоматичного управління штучним освітленням і т.д.

П'єзрезистори

Якщо на металевий дріт діє сила, яка розтягує її, то в результаті деформації довжина дроту дещо збільшується, а площа поперечного перерізу дещо зменшується. Через це електричний опір дроту зростає. Таке явище називають п'єзрезистивним (від грецького кореня) або тензорезистивним (від латинського кореня) ефектом.

Значно більш високу тензочутливість, ніж металеві, мають напівпровідникові п'єзрезистори, оскільки механізм зміни електричного опору в них набагато складніший. Тензочутливість резисторів, наприклад, з кремнію в десятки разів вище, ніж у металевих. Але їх електричний опір також значно сильніше залежить від температури. Для зменшення впливу на результати вимірів неконтрольованих змін температури застосовують мостові схеми. У одно їх плече включений навантажений п'єзрезистор (на який діє вимірювана сила), а в інше - такий самий резистор, але механічно не навантажений. При змінах температури співвідношення опорів і баланс моста не змінюються.

Гігристиори

Електричний опір деяких гігроскопічних матеріалів істотно залежить від вологості навколишнього повітря. Резистори з таких матеріалів називають гігристиорами і застосовують в сенсорах вологості. Для цього синтезовані спеціальні матеріали: нонілфенілполіетиленглікольєфір, гідроксіетілцелюлоза і тому подібне з наповненням вугільним порошком. У складі інтелектуального сенсора можна врахувати зміни цієї залежності з температурою, а також деяке запізнювання зміни електричного опору гігристиора при швидких змінах вологості повітря, запам'ятовувати динаміку змін вологості за певний період для подальшої передачі в комп'ютерну мережу, для документування, прогнозування і т.д.

Магніторезистивні сенсори

У магніторезистивних сенсорах використовується здатність деяких матеріалів істотно змінювати свою електропровідність залежно від напрямку і напруженості зовнішнього магнітного поля. До таких матеріалів відносяться, наприклад, плівки пермалою (*NiFe*). Найчастіше застосовують структуру, в якій чутливий елемент складається з 4 плівкових резисторів з пермалою, напилених на поверхню кремнію і сполучених у вигляді мостової вимірювальної схеми. Згори магніторезистивні плівки захищають тонким шаром нітриду танталу. Поруч формують мініатюрні плоскі плівкові котушки. Коли через одну з них пропускають електричний струм, створюване ним магнітне поле орієнтує домени пермалоевих плівок уздовж осі резисторів. Саме у такому стані вони мають найбільшу чутливість. Це робиться кожного разу перед початком серії вимірів.

Через іншу котушку при вимірах пропускають постійний електричний струм, необхідний для компенсації залишкового зовнішнього магнітного поля, перпендикулярного до площини резисторів, і таким чином балансують вимірювальну мостову схему. При появі вимірюваного зовнішнього магнітного поля відбувається розбаланс моста, а вихідний сигнал пропорційний магнітній індукції зовнішнього поля. Усі необхідні схеми формують в тому ж самому кристалі кремнію.

Компенсаційну котушку використовують також для калібрування і для повного балансування моста. Різниця між струмом балансування і початковим компенсаційним струмом пропорційна індукції зовнішнього магнітного поля. Така схема забезпечує високу лінійність вимірів, малу їх залежність від температури і від інших перешкод (наприклад, від наявності поблизу деталей з феромагнітних матеріалів).

Окрім "одновісних" магніторезистивних датчиків, чутливих до магнітного поля одного напрямку, випускають також "двовісні" і "тривісні" датчики, в яких 2 або 3 магніторезистивні датчики орієнтовані у взаємно перпендикулярних напрямках. З них виготовляють також сучасні високоточні компаси без магнітної стрілки і взагалі без рухливих деталей, а також високоточні сенсори напрямку руху ("датчики курсу") для авіаційних, морських, автомобільних транспортних засобів.

На рис. 6.48 ліворуч показаний аналоговий магніторезистивний компас НМС6052, в якому використовується двовісний сенсор НМС1052 розміром 3,5×3,5 мм з мінімальним вимірюваним магнітним полем 80 мкГс (магнітне поле Землі близько 600 мГс). Компас працює в діапазоні температур від - 45°С до +120°С, має інтерфейс до ПК.

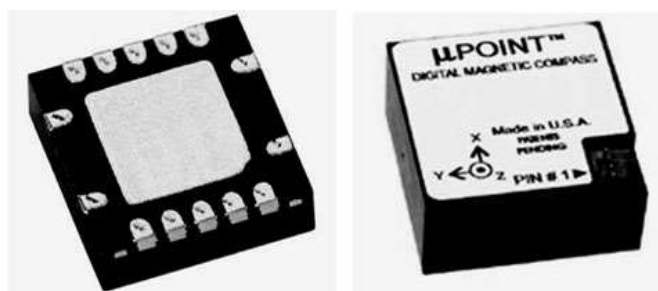


Рис. 6.48. Магніторезистивні компаси

На рис. 6.48. праворуч показаний мініатюрний цифровий гіростабілізований прецизійний компас НМР3600, призначений для визначення азимута, працюючий при будь-якій орієнтації в просторі. Окрім трьох магніторезистивних магнітометрів, до його складу входять три акселерометри і гіроскоп. Компас визначає азимут, подовжній і поперечний крен з точністю $\pm 0,5^\circ$ при роздільній здатності $0,1^\circ$. Застосовується в авіації, мореплаванні, на наземному транспорті, в лазерних далекомірах, блоках управління відеокамерами, при підземній і підводній орієнтації.

Висновки

Сенсор - цей пристрій (прилад, орган, вузол), що перетворює фізичну (фізико-хімічне) зміну в об'єкті спостереження, його дія на чутливий елемент в інформаційний сигнал для користувача. Сенсор - ця сполучна ланка між реальним "фізичним" світом і світом інформаційних моделей, між матерією і інформацією.

Інтелектуальний сенсор - це сенсор, що має у своєму складі мікрокомп'ютер і завдяки цьому здатний виконувати досить складну обробку первинної інформації; враховувати усі необхідні поправки і нелінійності; 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; легко переходити до виконання інших функцій і т. д.