

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки
Кафедра комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та робототехніки

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ
з дисципліни «Технічні засоби автоматизації»
(Частина 1)

для студентів усіх форм навчання
спеціальності 151 - Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
освітньо-професійні програми «Системна інженерія», «Автоматизація та
комп'ютерно-інтегровані технології»

Електронне видання

Затверджено
на засіданні кафедри
КІТАР протокол № 1 від
28.08.2023 р.

Харків – 2023

Конспект лекцій з дисципліни «Технічні засоби автоматизації» для студентів усіх форм навчання спеціальності 151 - Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології, освітньо-професійні програми «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології», «Системна інженерія». Частина 1 [Електронне видання] / Упоряд. Іванов Л.С.
– Харків: ХНУРЕ, 2023. – 88 с.

Упорядник: Іванов Л.С.

Рецензент: Новоселов С.П., к.т.н., професор кафедри КІТАР

ЗМІСТ

Вступ.....	4
Лекція 1. Управління технологічними системами.....	6
Лекція 2. Методи стандартизації і структура технічних засобів автоматизації.....	10
Лекція 3. Класифікація виробів ДСП.....	16
Лекція 4. Вироби першої групи ДСП. Первинні перетворювачі. Основні поняття і визначення.....	19
Лекція 5. Класифікація датчиків.....	24
Лекція 6. Характеристики датчиків.....	31
Лекція 7. Датчики механічних величин.....	41
Лекція 8. Датчики механічних величин (індуктивні, ємнісні, потенціо- метричні та імпульсні).....	46
Лекція 9. Гіроскопічний датчик.....	54
Лекція 10. Акселерометр.....	62
Лекція 11. Датчики технологічних параметрів.....	68
Лекція 12. Датчики, ідентифікації об'єктів РТС.....	72
Перелік джерел посилань.....	87

ВСТУП

До дисципліни, яка вивчається, покладені основні положення автоматика. Термін «автоматика» виник з грецького слова αὐτόματος – «автоматос», що означає «саморухомий»; з початку цей термін застосовувався для позначення диковин, саморухомих або самодіючих пристроїв. В наш час це поняття значно розширилося і для нього існують різні визначення. У енциклопедичному словнику слову автоматика надається наступне тлумачення: «Автоматика – технічна наука, яка розробляє принципи побудови автоматичних систем та необхідних для них автоматичних засобів (елементів), методи аналізу та синтезу цих систем». Однак в існуючому лексиконі цьому слову надають більш широкий зміст. Під автоматикою розуміють зібрання великого обсягу теоретичних відомостей про автоматичні системи, їх елементи, а також всі пристрої, які працюють без участі людини, але під його безпосереднім наглядом, хоча і епізодичним [1].

Автоматика складається з двох частин: теорії автоматичного регулювання та керування та технічних засобів побудови автоматичних систем.

Теорія автоматичного регулювання та керування – це наука про принципи побудови автоматичних систем та закономірностях процесів, які протікають в них.

Основна задача цієї науки полягає в побудові за допомогою інженерних методів оптимальних або близьких до них автоматичних систем, а також в дослідженні статистики та динаміки цих систем. Сучасні методи теорії автоматичного керування дозволяють вибрати раціональну структуру системи, визначити оптимальні значення параметрів з врахуванням регулярних та випадкових впливів, оцінити стійкість та показники якості процесів керування (точність, швидкодію, захист від помилок та ін.).

Складність та різноманіття проблем автоматизації призвели до того, що її теоретичні основи являють собою цілий комплекс наук. Одне з головних місць в даному комплексі займає теорія автоматичного регулювання та керування. Теорії автоматичного регулювання (ТАР) та керування (ТАК) будуються на широкій основі з ряду інших дисциплін: механіки, фізики, математики, теоретичної електротехніки, електроніки, обчислювальної техніки та деяких інших, які відображають специфіку об'єктів регулювання та керування.

Якщо говорити, що автоматика звільняє людину від праці чи від необхідності думати, то це вірно лише умовно. Людині все одно доводиться думати та контролювати, щоб створювати методи регулювання та керування, застосовувати, запропоновувати та досліджувати автоматизовані установки на практиці.

Зростання продуктивності праці в приладобудівній промисловості, розробка нових технологій, спрямованих на поліпшення якості і підвищення ефективності виробництва, вимагають відновлення та удосконалювання систем керування на базі новітніх засобів вимірювання і автоматизації.

Тому вивчення технічних засобів автоматизації, зокрема, виконавчих

механізмів і регулюючих органів, що застосовуються для функціонування АСУ ТС, є однією з основ в процесі підготовки фахівців спеціальності 151 - Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології, практична діяльність яких орієнтована на обслуговування, автоматизацію та створення комп'ютерно-інтегрованих технологій та промислової автоматики.

Ефективне вирішення сучасних завдань обробки даних можливе лише за умови знання сучасних технічних засобів, їх функціональних можливостей і техніко-експлуатаційних показників, вміння правильно вибрати і раціонально використовувати окремі пристрої, комплекси, їх системи і мережі.

Об'єктом розгляду даної дисципліни є нижній рівень ієрархічної структури управління технологічними процесами, яку складають технологічні операції, функціонування яких базується на отриманні даних від джерел інформації, що описує стан її виходів і окремих пристроїв, які передаються у вигляді електричних, пневматичних, гідравлічних і інших сигналів. Це рівень вимірювальних приладів і виконавчих механізмів.

Метою навчальної дисципліни є вивчення теоретичних основ технічних засобів автоматизації, різних аспектів використання технічних засобів автоматизації в промисловості.

Зміст лекційного матеріалу відповідає робочій програмі дисципліни та тимчасовій освітньо - професійній програмі підготовки бакалаврів спеціальності 151 - Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології.

ЛЕКЦІЯ 1 на тему: УПРАВЛІННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ СИСТЕМАМИ

Управління (керування) це цілеспрямована сукупність дій, які змушують об'єкт управління виконувати певний алгоритм функціонування з бажаним результатом. Лексикою української мови розмежування термінів

«управління» та «керування» чітко не визначено, однак зазвичай термін «управління» застосовують для позначення функцій управління вищого рівня, які містять операції «командного» (координаційного) управління складними технічними (технологічними) об'єктами, а термін «керування» використовують стосовно до безпосереднього управління функціонуванням єдиного об'єкту (процесу) для виконання завдань, що надходять від системи управління (СУ) вищого рівня ієрархії.

Система управління (керування) це сукупність функціонально пов'язаних підсистем і пристроїв, що забезпечують виконання об'єктом управління (керування) певного (наприклад, технологічного) завдання. Якщо управління (керування) здійснюється без участі людини, то СУ (СК) називається автоматичною (САУ, САК). Прикладами автоматичних систем можуть бути САК робочим органом технологічної машини та САК електроприводом, якщо не приймати до уваги операції вмикання/вимикання, налагодження та ін., що виконуються людиною (групою людей). Якщо окремі операції управління здійснює людина, то такі СУ (СК) називаються автоматизованими. До числа останніх можуть належати *автоматизовані системи управління технологічними процесами (АСУТП)*, СУ технологічного агрегату, СУ технологічною машиною. Приймаючи до уваги співвідношення функцій «управління» та «керування», можна вважати, що системи керування (СК, САК) є частковим випадком систем управління (СУ, САУ). Що стосується технічних і технологічних об'єктів, то їх називають автоматизованими, якщо вони оснащені автоматичними або автоматизованими системами управління (керування).

Узагальнену структурну схему СУ (СК) подано на рис. 1.1.

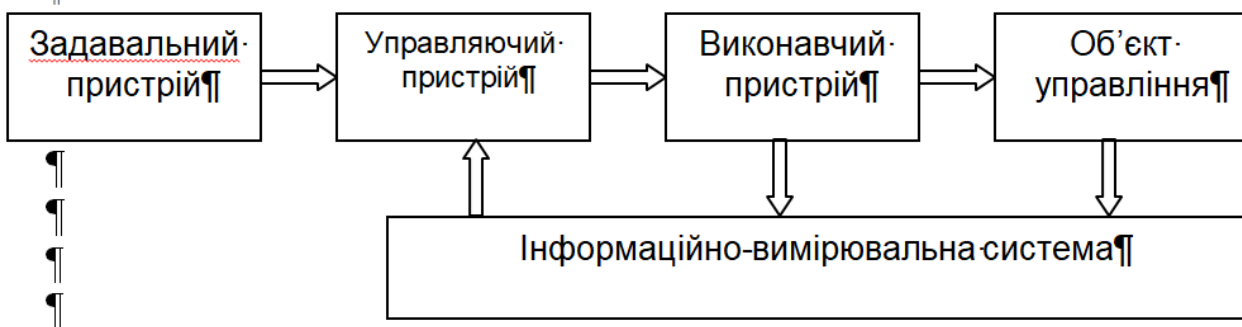


Рисунок 1.1 – Узагальнена структура системи управління

АСУТП здійснює реалізацію впливів на об'єкт управління зі швидкістю з технологічного процесу (або опереждає його), тобто в реальному часі, при цьому забезпечується управління об'єктом в цілому, а технічні засоби АСУТП беруть участь у виробленні управлінських рішень. Зазначеними обставинами АСУТП якісно відрізняється від традиційних систем автоматичного управління (САУ), які представляють технічні засоби для автоматизації дій людини на окремих ділянках технологічного процесу.

На відміну від цього в АСУТП реалізується автоматизований процес прийняття

рішень на управлінські дії технологічним процесом як єдиним цілим, для чого в ній застосовують різне «інтелектуальне» автоматичне обладнання обробки інформації, в першу чергу сучасні багатофункціональні, високопродуктивні мікропроцесорні контролери (МПК). Таким чином, АСУ ТП характеризується єдністю і взаємодією трьох основних складових:

- **об'єкту управління (ОУ)** - це технологічні процеси з агрегатами, апаратами, установками та ін. та трубопроводами матеріальних потоків, що з'єднують все устаткування;
- **технічних засобів (ТЗ)** – це автоматичне обладнання обробки інформації, в тому числі (МПК);
- **оперативного персоналу (ОП)** - оператори-технологи, експлуатаційний персонал.

Щоб одержати уявлення про особливості й характер функціонування сучасних АСУТП, розглянемо їх спрощену загальну структурну схему (рис. 1.2).

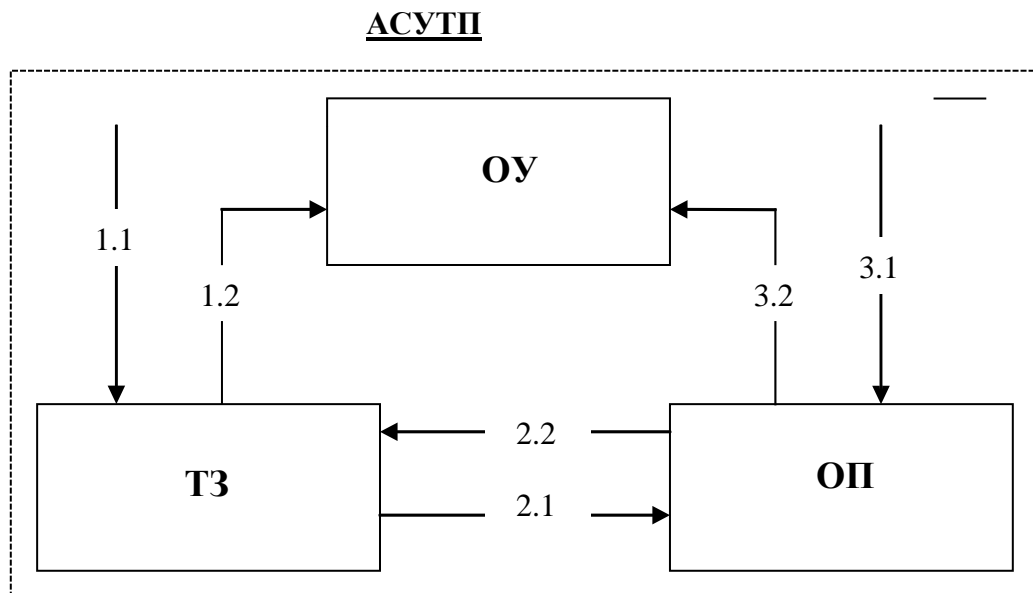


Рисунок 1.2 - Потоки інформації, сигнали в автоматичному режимі

- 1.1 - з ПП та ПрП про стан об'єкта керування;
- 1.2 - керуючі впливи на об'єкт керування (сигнали в діалоговому режимі);
- 2.1 - уточнення значення деяких параметрів;
- 2.2 - корекція при потребі параметрів настройки відповідних регуляторів (сигнали в ручному режимі);
- 3.1 - деякі дані аналітичного контролю;
- 3.2 - дистанційне керування окремими параметрами

Задачею управління технічним (технологічним) об'єктом часто є забезпечення постійності деякої фізичної перемінної (швидкості руху робочого органу технологічної машини (ТМ), тиску, температури та ін.), або її змінення в часі за певним законом. Такий окремий вид управління називається *контролем та регулюванням*. Узагальнена структура системи автоматичного регулювання (САР) відрізняється від загальної структури СУ відсутністю задавального пристрою. Управлінський пристрій САР містить регулятори однієї або декількох фізичних перемінних.

Невід'ємною ознакою САР є наявність зворотних зв'язків з однієї чи декількох регульованих фізичних перемінних (перемінних стану об'єкта управління), причому обов'язково - з головної регульованої перемінної у зовнішньому контурі регулювання. Формування управляючої дії є функцією деякого задавального пристрою, тому очевидно, що САР є структурною складовою системи управління об'єктом, перемінні стану якого підлягають регулюванню. Якщо кількість регульованих перемінних дорівнює двом і більше, то САР (будь-яка СУ) носить назву багатомірної, а в протилежному випадку -одномірної системи.

В літературі, де розглядаються системи управління технічними об'єктами, іноді застосовується термін «система управління об'єкта». Цим терміном характеризується сукупність управляючого пристрою та інформаційно-вимірювальної підсистеми, а також виконавчого пристрою, тобто тих складових СУ, що пов'язані між собою інформаційними зв'язками. Зокрема, така термінологія застосовується в теорії електропривода для зазначення належності інформаційно пов'язаних підсистем (пристроїв) технічному об'єкту - автоматизованому електроприводу (АЕП).

Для систем управління і, зокрема, САР застосовується наступна класифікація.

Автоматичні системи стабілізації, що забезпечують підтримання регульованої фізичної величини на заданому рівні з потрібною точністю. До таких систем відносяться, наприклад, система регулювання температури в нагрівальній печі, система регулювання швидкості двигуна та багато інших. Системи стабілізації поділяються на статичні та астатичні. Статичними системами називаються такі, в яких регульована величина в усталених режимах змінюється при зміненнях збурюючої дії. Астатичні системи забезпечують підтримку регульованої перемінної в усталеному режимі на незмінному рівні при зміненнях збурюючої дії. Інакше кажучи, астатичні САР забезпечують регулювання перемінних в усталеному режимі без похибки, тобто суворо на заданому рівні, а статичні САР з деякою похибкою, викликаною збурюючою дією.

Слідкуючі системи - здійснюють відпрацювання завдання на регулювання величини в часі за законом, якій заздалегідь невідомий. Прикладами такої системи можуть служити система наведення артилерійської гармати на ціль, що рухається, система навігації радіоантени, що забезпечує зв'язок з космічним об'єктом та багато інших.

Системи програмного управління - здійснюють змінення регульованих величин в часі за законами, які заздалегідь запрограмовані (за визначеними програмами). До таких систем відносяться, зокрема, системи числового програмного управління верстатами.

Адаптивні системи - здійснюють оптимальне, за заданим показником якості, управління поточним станом об'єкта при зміненнях умов.

Контрольні запитання:

- 1.Надати пояснення поняттям: управління, система управління, система управління технологічними процесами.
- 2.Перелічить склад системи управління технологічними процесами.
- 3.Надайте пояснення поняттю: автоматизована система управління, які основні завдання вона виконує.
- 4.Наведить класифікацію автоматизованих систем управління технологічними процесами.

ЛЕКЦІЯ 2 на тему: МЕТОДИ СТАНДАРТИЗАЦІЇ І СТРУКТУРА ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ

Використовуючи поняття «управління», можна дати наступне визначення автоматизації виробництва та автоматизованих систем управління.

Автоматизація виробництва - це така його організація, при якій функції управління частково або повністю виконують технічні засоби.

Сучасне виробництво (підприємство) являє собою технологічну систему, що складається із взаємопов'язаних по горизонталі і вертикалі підсистем. Основу діяльності кожної складної ТС, у нашому випадку підприємства, становлять виробничі процеси, які виконуються у відповідних підрозділах. ТС виробничого підрозділу складається із сукупності типових основних і допоміжних технологічних процесів і апаратів, що управляються автоматизованими системами управління технологічними процесами (АСУ ТП). До складу АСУ ТП належать системи, які призначені для управління безперервним виробництвом, автоматизованими поточковими лініями, комплексними лініями агрегатів і верстатів, верстатами з числовим програмним управлінням.

За своїм змістом всяке **управління** - це процес, який передбачає отримання необхідної інформації про систему і оточуюче її середовище (інформація стану), вироблення рішення (переробка та перетворення інформації стану), постановку завдань системі (передача командної інформації) і контроль виконання.

Управління в ТС може здійснюватися безпосередньо людиною (виконавцем) або людиною з використанням технічних засобів, або тільки технічними засобами, що працюють за програмою. Основним завданням цих засобів є збирання, зберігання, попередня обробка, передача і відображення технологічної інформації (даних процесу) для забезпечення ефективної взаємодії системи управління і оператора [3].

Автоматизовані системи управління (АСУ) позбавляють людину необхідності безпосереднього керування великою кількістю робочих машин та технологічних агрегатів, зводячи функцію людини-оператора до формування завдання (рецепту) на виробництво, контролю за ходом технологічного процесу та втручання (за потребою) на деяких його стадіях. Наступний якісно-новий рівень розвитку виробництва пов'язаний з впровадженням повністю автоматичних технологічних ліній та в цілому виробництв, в яких учать людини не є потрібною.

Відповідно до державного стандарту України (ДСТУ) **АСУ ТП** - це людино-машинна система, що забезпечує автоматизований збір інформації з первинних (ПП) або передавальних (ПрП) перетворювачів сигналів і її первинну обробку (фільтрування сигналів, лінеаризація характеристик ПП і ПрП, «офізичення» сигналів, тобто перетворення сигналів у значення параметрів у фізичних одиницях виміру) для розрахунку, видачі та реалізації керуючих впливів на об'єкт керування відповідно до прийнятих критеріїв керування. АСУ ТП здійснює реалізацію впливів на об'єкт керування в темпі з технологічним процесом, тобто в реальному часі, при цьому забезпечує керування об'єктом в цілому, а її технічні засоби беруть участь у виробленні рішень з керування [4].

Будь-яка автоматизована система управління складається з *об'єкта управління, виконавчого механізму, регулятора та датчиків.*

Об'єкт управління – агрегат, у якому відбувається процес, що підлягає

регулюванню (управлінню).

Виконавчий механізм – пристрій, що робить безпосередній управляючий вплив на об'єкт управління.

Регулятор – пристрій (або пристрої), за допомогою якого виробляються управляючі впливи (сигнали).

Датчики – пристрої для вимірювання найважливіших параметрів ТП.

Системи автоматичного управління є складними системами не тільки з погляду апаратного складу, їхнього конструктивного виконання, наявності великої кількості параметрів, але й обсягу інформації. Це обумовлено тим, що навіть в одному ланцюзі управління сигнал може багаторазово перетворюватися з однієї форми в іншу. Для перетворення сигналів, а також для необхідної зміни їхніх величин і забезпечення заданих якостей САУ використовуються **погоджуючі** елементи і пристрої. Ці елементи можуть входити в найрізноманітніші ланки ланцюга управління. При розгляді основних принципів роботи системи автоматичного управління погоджуючі елементи можна не враховувати, маючи на увазі їхню обов'язкову наявність у складі основних частин системи управління [5].

Якість функціонування систем автоматизації в значною мірою залежить від використаної в ній технічного забезпечення [6].

Технічне забезпечення - це комплекс технічних засобів, що застосовується для функціонування АСУ ТС, який повинен будуватися в основному на базі серійно випускаємих технічних засобів, по можливості взаємозамінних і однотипних.

У комплекс технічних засобів АСУ ТС входять, як правило, стандартні мікро - та міні ЕОМ, зовнішні пристрої пам'яті, пристрої міжмашинного зв'язку, різні дисплеї, термінальні пристрої, автоматичні пристрої введення інформації, пристрої реєстрації інформації, пристрої друку і тиражування документації, різного роду датчики, виконавчі механізми та ін.

Типові засоби автоматизації можуть бути *технічними, апаратними, програмно - технічними і загальносистемними* (рис. 2.1) [7].

Необхідність вивчення загальних питань, що стосуються технічних засобів автоматизації (ТЗА) і державної системи промислових приладів і засобів автоматизації (ДСП), диктується тим, що технічні засоби автоматизації є невід'ємною частиною ДСП. Технічні засоби автоматизації представляють собою основу при реалізації інформаційно-керуючих систем у промисловій та непромислової сферах виробництва. Принципи організації ГСП значною мірою визначають зміст етапу проектування технічного забезпечення автоматизованих систем управління технологічними процесами (АСУ ТП). У свою чергу, основу ДСП становлять проблемно-орієнтовані агрегатні комплекси технічних засобів.

Економіка галузі, що виробляє засоби автоматизації вимагає досить вузької спеціалізації підприємств, що випускають великі серії однотипних пристроїв. У той же час з розвитком автоматизації, з появою нових, все більш складних об'єктів управління і збільшенням обсягу функцій, що автоматизуються, зростають вимоги до функціональної різноманітності пристроїв автоматизації і до різноманітності їх технічних характеристик і конструктивних особливостей виконання. Завдання зменшення функціонального і конструктивного різноманіття при оптимальному задоволенні запитів автоматизуються підприємств вирішується за допомогою *методів стандартизації*.

Типові засоби автоматизації

Технічні	Програмно-технічні	Загальносистемні
датчики	аналого-цифрові і цифро-аналогові перетворювачі	пристрою сполучення і адаптери зв'язку
виконавчі механізми		блоки загальної пам'яті
регулюючі органи (РО)	керуючі засоби	магістралі (шини)
лінії зв'язку		пристрої загальносистемної діагностики
вторинні прилади (що показують і реєструють)	блоки багатоконтурного аналогового і аналого-цифрового регулювання	процесори прямого доступу для накопичення інформації
пристрої аналогового і цифрового регулювання	пристрої багатозв'язного програмного логічного управління	
програмно-задаючі блоки	програмовані мікроконтролери	пульти оператора
пристрої логіко-командного управління		локально-обчислювальні мережі
модулі збору і первинної обробки даних і контролю стану технологічного об'єкта		
модулі гальванічної розв'язки і нормалізації сигналів		
перетворювачі сигналів з однієї форми в іншу		
модулі представлення даних, індикації, реєстрації та вироблення сигналів управління		
модулі представлення даних, індикації, реєстрації та вироблення сигналів управління		
буферні запам'ятовуючі пристрої		
програмовані таймери		
спеціалізовані обчислювальні пристрої, пристрої допроцесорної підготовки		

Рисунок 2.1 – Класифікація типових засобів автоматизації

Рішенням по стандартизації завжди передують системні дослідження практики автоматизації, типізація наявних рішень і наукове обґрунтування економічно оптимальних варіантів і можливостей подальшого скорочення різноманіття застосовуваних пристроїв. Прийняті при цьому рішення після їх практичної перевірки оформляються обов'язковими до виконання державними стандартами (ДСТУ). Більш вузькі по сфері застосування рішення можуть оформлятися і у вигляді галузевих стандартів (ГСТ), а також у вигляді мають ще більш обмежену придатність стандартів підприємств (СТП).

Для вимірювання фізичних сигналів, які надходять із виходу різноманітних первинних перетворювачів, потрібна значна кількість різних контрольно-вимірювальних та регулювальних пристроїв, що ускладнює їх експлуатацію та ремонт. Для уникнення цих проблем у нашій країні розробляється Державна система приладів та засобів автоматизації (ДСП).

Побудова ДСП базується на принципах уніфікації сигналів, конструкцій, блоків та модулів; можливості побудови складних систем із простих; обмеження номенклатури технічних засобів з одночасним розширенням їх можливостей; формування гнучких перебудовуючих компонентів системи.

Сучасні системи автоматизації будь-яких рівнів повинні будуватися на базі засобів автоматизації й обчислювальної техніки, що серійно випускаються. Засоби збору і нагромадження первинної інформації, для представлення її спостерігачеві, регулюючі і виконавчі пристрої використовують прилади і засоби автоматизації ДСП, як засоби централізованого збору передачі і переробки інформації варто використовувати засобу агрегатних комплексів (АК). ДСП представляє собою експлуатаційно, інформаційно, енергетично, метрологічно і конструктивно організовану сукупність виробів, призначених для використання в промисловості як технічні засоби АСУ ТП, інформаційно-вимірювальних систем, а також для контролю, виміри і регулювання окремих параметрів [9].

Таким чином, **ДСП - це сукупність уніфікованих та нормалізованих рядів блоків, приладів і засобів для одержання, опрацювання та використання інформації**, які відповідають єдиним технічним і метрологічним вимогам і мають уніфіковані параметри вхідних і вихідних сигналів, нормалізовані габарити, приєднуючі розміри, а також економічно обґрунтовану точність, надійність, довговічність та естетичність.

До складу ДСП входить кілька тисяч найменувань виробів, що дозволяють будувати ефективні АСУ установками, агрегатами і виробництвами різної функціональної складності - від найпростіших систем автоматичного контролю і стабілізації окремих параметрів технологічного процесу до складних багаторівневих систем керування, що реалізують оптимізаційні задачі керування, непрямі виміри, багатозв'язкове регулювання, багатоступінчасті захисти і логічні операції при пуску й зупинці об'єктів.

Можливість спільного використання виробів в комплектних системах і пристроях забезпечується шляхом виконання основних вимог сумісності технічних засобів. Під *сумісністю технічних засобів* розуміється сукупність їхніх властивостей, що забезпечують можливість спільного використання цих засобів у заздалегідь передбачених сполученнях для побудови комплексних пристроїв і систем без необхідності застосування додаткових пристосувань і пристроїв. При цьому повинні забезпечуватися задані характеристики

комплексних пристроїв і систем. ДСП складається з ряду відособлених і досить стійких груп виробів.

Одна з задач ДСП – розробка обмеженої номенклатури уніфікованих пристроїв, здатних максимально задовольняти вимогам побудови автоматичних систем керування і регулювання. Починаючи із середини ХХ століття, конструктивні рішення пройшли наступні три етапи.

1-й етап є етапом приладових систем регулювання – вимірювальний прилад (реєструючий) і регулятор виконувалися в одному корпусі. При цьому реєструючий прилад був одним із елементів системи регулювання, що дуже негативно позначалося на її надійності.

2-й етап – апаратні системи регулювання.

Регулятор і вимірювальний прилад розділили, вторинний прилад вивели зі складу контуру регулювання.

Інформація від давача стала передаватися безпосередньо на регулятор. При цьому в регуляторі з'явився вузол, який повинен забезпечувати стикування різних типів давачів із регулятором. Таким чином, за рахунок змінності вимірювального модуля забезпечені універсальність і підвищена надійність системи в цілому.

3-й етап – агрегатні системи.

Кожна АСР будується шляхом з'єднання у різному порядку, комбінування, підключення різних блоків і модулів, що обмінюються уніфікованими сигналами. Одним із засобів конструювання АСКТП є блочно-модульний принцип – агрегатування.

Агрегатування - принцип формування складу серійно виготовлених засобів автоматизації, спрямований на максимальне задоволення запитів підприємств-споживачів при обмеженій номенклатурі серійно випускаємої продукції.

Агрегатування базується на тому, що складні функції управління можна розкласти на найпростіші складові (так, як, наприклад, складні обчислювальні алгоритми можна представити у вигляді сукупності окремих найпростіших операторів).

Таким чином, *агрегатування ґрунтується на розкладанні загальної задачі управління на ряд простих однотипних операцій, що повторюються в тих чи інших комбінаціях в самих різних системах управління.*

При аналізі великої кількості подібних систем управління можна виділити обмежений набір найпростіших функціональних операторів, на комбінації яких будується практично будь-який варіант АСУТП. В результаті формується склад серійно виготовляємих засобів автоматизації, що включає такі конструктивно завершені і функціонально самостійні одиниці, як блоки і модулі, прилади та механізми.

Блок - конструктивний збірний пристрій, що виконує одну або кілька функціональних операцій по перетворенню інформації.

Модуль - уніфікований вузол, що виконує елементарну типову операцію в складі блоку або приладу.

Виконавчий механізм (ВМ) – це пристрій для перетворення керуючої інформації в механічне переміщення із заданою потужністю, достатньою для впливу на об'єкт управління.

Відповідно до принципу агрегатування, системи управління

створюються шляхом монтажу модулів, блоків, приладів і механізмів з подальшою комутацією каналів і ліній зв'язку між ними. У свою чергу, самі блоки і прилади створюються також шляхом монтажу та комутації різних модулів. Модулі ж збираються з простіших вузлів (мікромодулів, мікросхем, плат, пристроїв комутації і т.п.), що складають елементну базу технічних засобів. При цьому виготовлення блоків, приладів і модулів здійснюється повністю в заводських умовах, у той час як монтаж і комутація АСУТП повністю завершується лише на місці її експлуатації. Такий підхід до побудови блоків і приладів отримав назву *блочно-модульного принципу* виконання технічних засобів автоматизації.

Застосування блочно-модульного принципу не тільки дозволяє проводити широку спеціалізацію і кооперування підприємств в рамках галузі, що виготовляє засоби автоматизації, а й веде до підвищення ремонтпридатності і збільшення *коефіцієнтів використання* цих засобів в системах управління. Зазвичай, підприємства, що випускають засоби автоматизації промислового призначення, спеціалізуються на виготовленні комплексів або систем блоків і приладів, функціональний склад яких орієнтований на реалізацію будь-яких великих функцій або підсистем АСУТП.

При цьому в рамках окремого комплексу всі блоки і прилади виконуються сумісними по інтерфейсу, тобто сумісними за параметрами і характеристикам сигналів-носіїв інформації, так само як і за конструктивними параметрами і характеристикам пристроїв комутації. Такі комплекси і системи засобів автоматизації прийнято називати *агрегатними або агрегатованими*.

Уніфікація - супутній агрегуванню метод стандартизації, який також спрямований на впорядкування і розумне скорочення складу серійно виготовлених засобів автоматизації. Вона спрямована на обмеження різноманіття параметрів і технічних характеристик, принципів дії і схем, а також конструктивних особливостей виконання засобів автоматизації.

Контрольні питання:

1. Розкрити поняття «автоматизація технологічних процесів».
2. Перелічити склад елементів автоматизованої системи управління технологічними процесами.
3. Навести загальну класифікацію типових засобів автоматизації.
4. В чому полягає принцип стандартизації елементів системи автоматизованого управління технологічними процесами?
5. В чому полягає принцип агрегування елементів системи автоматизованого управління технологічними процесами?

ЛЕКЦІЯ 3 на тему: КЛАСИФІКАЦІЯ ВИРОБІВ ДЕРЖАВНОЇ СИСТЕМИ ПРИЛАДІВ (ДСП)

Описати Державну систему промислових приладів і засобів автоматизації (ДСП) не просто. Це надто складна структура, що об'єднує цілу низку гілок системи: електричну, пневматичну, гідравлічну, комбіновану, а кожна із гілок, у свою чергу, має складну функціональну структуру. Проте найважливіше значення для розуміння всієї системи має функціональна структура. За функціональним призначенням виробу ДСП поділяються на такі основні групи (рис. 3.1).

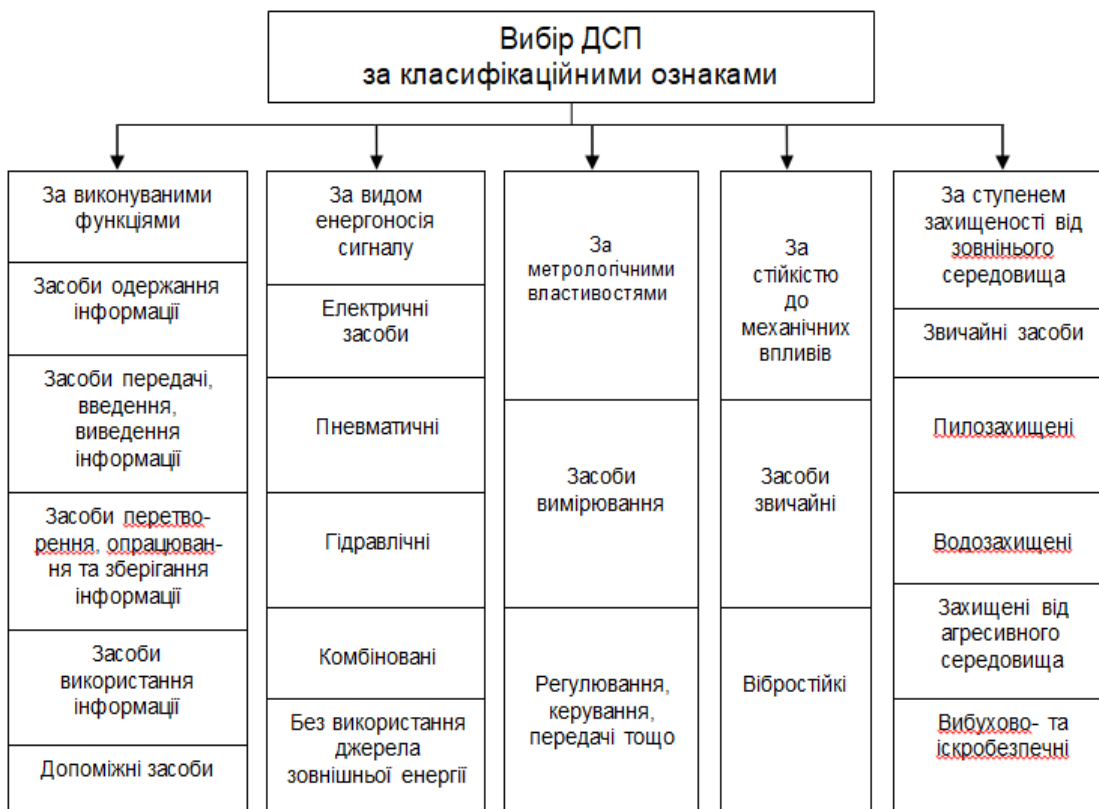


Рисунок 3.1 - Класифікація виробів ДСП згідно державних стандартів

До **першої групи** відносяться первинні вимірювальні перетворювачі (датчики), вимірювальні прилади та виробу, які разом з нормуючими засобами, утворюють групу засобів для одержання вимірювальної інформації. Засоби цієї групи призначені для перетворення вимірюваної величини (параметра) на зручний для сприйняття, передачі й опрацювання сигнал вимірювальної інформації. За принципом дії виробу цієї групи можуть бути різними. Характерною особливістю їх є те, що вони встановлюються безпосередньо на об'єкті і взаємодіють з контрольованим середовищем.

До **другої групи** відносяться різні перетворювачі сигналів і кодів, комутатори сигналів, шифратори і дешифратори, системи дистанційної передачі сигналів вимірювальної інформації та ін.

До **третьої групи** належать технічні засоби для опрацювання та відображення вимірювальної інформації і формування управляючих дій, рішень, порад: аналізатори сигналів, логічні пристрої, операційні перетворювачі, засоби вимірювання, обчислювальні машини, запам'ятовуючі пристрої та ін. У

функціональному відношенні ці засоби найскладніші, оскільки вони реалізують алгоритми автоматичного керування та управління від найпростіших задач стабілізації окремих параметрів до автоматизації підприємств.

Четверту групу становлять вироби електричних пневматичних та гідравлічних виконуючих механізмів, підсилювачі потужності тощо. Вироби цієї групи взаємодіють з об'єктом через регулюючі органи.

Залежно від використовуваної зовнішньої енергії вироби ДСП класифікуються як електрична, пневматична та гідравлічна гілки і гілка без використання зовнішньої енергії.

Електрична гілка ДСП — це прилади і засоби автоматизації, у яких для живлення використовується зовнішня електрична енергія, а енергетичним носієм інформації є електричний сигнал. Електрична гілка розділяється на аналогову та дискретну гілки ДСП з відповідними стандартними уніфікованими сигналами. Найширшого використання набули електричні ЗВТ зі струмовими сигналами 0–5 мА та 4–20 мА, а за напругою 0–10 В.

÷ **Пневматична гілка ДСП** — це прилади і засоби автоматизації, в яких для живлення використовується стиснуте повітря 140 кПа, а енергетичним носієм інформації є стандартний пневматичний сигнал 20÷100 кПа.

Засоби пневмоавтоматики і вторинні прилади широко використовуються у хімічній, нафтопереробній, газовій, харчовій та інших галузях промисловості.

Промисловістю випускається широка номенклатура пневматичних датчиків, перетворювачів, регуляторів, приладів контролю та реєстрації, що дає змогу на їх базі розробити системи автоматичного контролю та керування будь-якими складними технологічними процесами.

Гідравлічна гілка ДСП — це прилади і засоби автоматизації, у яких джерелом зовнішньої енергії є стиснута рідина, а носієм інформації — гідравлічні сигнали. Робоча рідина (турбінне і трансформаторне мастило та вода), що є енергоносієм, перебуває під тиском від 0,16 до 6,4 МПа. Засоби гідравлічної гілки ДСП забезпечують точні переміщення виконуючих механізмів при великих зусиллях. Ця гілка засобів менше поширена у промисловості.

Комбінована гілка ДСП — низка приладів і засобів автоматизації різних гілок ДСП, об'єднаних за допомогою перетворювачів, на базі яких розроблені системи автоматизації з урахуванням конкретних умов роботи та виробництва: висока вологість, вибухонебезпечність, пожежебезпе́чність, інерційність та ін. Найчастіше використовуються пневматичні датчики з електричними приладами та ЕОМ за допомогою пневмоелектричних та електропневматичних перетворювачів.

Гілка приладів і засобів ДСП, які працюють без стороннього джерела енергії, а за рахунок енергії середовища, параметри якого вимірюються та регулюються. Наприклад, регулювання рівнями температури, тиску та ін.

Крім того вироби ДСП класифікуються за метрологічними властивостями стійкості до механічних дій та захищеності від зовнішнього середовища.

Класифікація виробів ДСП наведена відповідно до стандартів ДСП, до

складу яких входять понад 140 державних і 52 галузевих. Стандарти ґрунтуються на загальній методології і складені за принципами ієрархічної підпорядкованості стандартів нижчих рівнів вищим.

ЛЕКЦІЯ 4 на тему: ВИРОБИ ПЕРШОЇ ГРУПИ ДСП. ПЕРВИННІ ПЕРЕТВОРЮВАЧІ. ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ І ВИЗНАЧЕННЯ

Функціонування будь-якої АСУ ТП починається з отримання даних від джерел інформації, що описує стан її виходів і окремих пристроїв, яка передається у вигляді електричних, пневматичних, гідравлічних і інших сигналів. Одним із способів отримання такої інформації є вимірювання виходів керованого об'єкта - всіляких (механічних, теплових, оптичних, електромагнітних і т.п.) фізичних величин. У сучасних системах автоматики найбільшу кількість інформації перетворюється, обробляється і передається у вигляді електричних або оптичних сигналів, тому потреба у вимірювальних приладах в умовах промисловості, що розвивається, зростає, й одночасно потрібне розширення їх можливостей та поліпшення технічних і експлуатаційних характеристик.

Пристрій, який перетворює будь-яку фізичну величину (тиск, швидкість, тепло та ін.) в іншу (сигнал), яку зручніше посилювати, вимірювати, передавати і обробляти називається датчиком. В основному датчик впливає на електричний ланцюг, включаючи або вимикаючи його, змінюючи електричний опір, або виробляючи електрику.

Датчик - це перетворювач вимірюваної (контрольованої) фізичної величини в величину, зручну для подальшого перетворення або вимірювання.

Датчик є обов'язковим елементом вимірювальних приладів, систем контролю і регулювання і т.п. Власне, без датчиків неможливі ні виміри, ні контроль, ні регулювання.

Для побудови датчиків використовується значна (більше 500) кількість фізичних ефектів (принципів).

Розвиток, вдосконалення датчиків в значній мірі визначається досягненнями в галузі фізики, хімії, фізичної хімії, механіки, радіотехніки та інших наук. Особливе місце в розвитку датчиків займають досягнення і можливості сучасних технологій.

Сучасна тенденція - інтегрувати всі необхідні функціональні блоки в одну інтегральну схему, зазвичай звану схемою попередньої обробки сигналу первинного перетворювача / датчика (формувавцем) (рис. 4.1) [10].

Формувач сигналу - це спеціалізована мікросхема (ASIC), яка здійснює компенсацію, посилення і калібрування вхідного сигналу, як правило, в заданому діапазоні температур. Залежно від складності формувача сигналу в ньому є всі або деякі з наступних блоків: схема збудження первинного перетворювача, цифро-аналоговий перетворювач (ЦАП), підсилювач з програмованим коефіцієнтом підсилення, аналого-цифровий перетворювач (АЦП), пам'ять, мультиплексор, ЦПУ, датчик і цифровий інтерфейс.

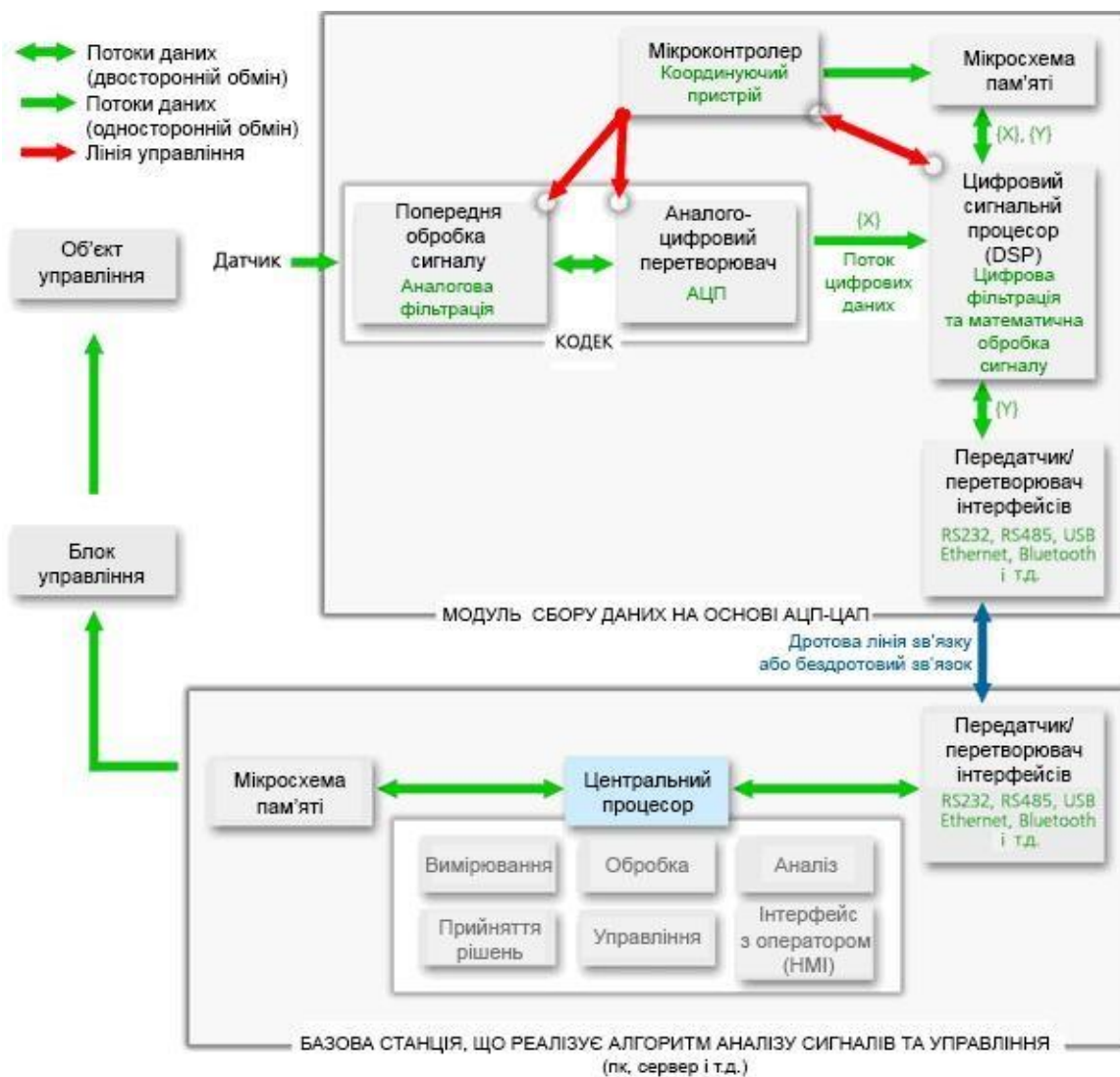


Рисунок 4.1 - Схема попередньої обробки сигналу первинного перетворювача / датчика

Принципи дії датчиків можуть бути самими різноманітними в залежності від фізичної природи вимірюваної величини, її абсолютного значення, необхідної точності перетворення і т.п. Проте в переважній більшості випадків перетворення входних фізичних величин у відповідні вихідні сигнали пов'язано з перетворенням енергії, в тому числі перетворенням енергії одного виду в інший. Енергетичне уявлення принципу роботи вимірювальних перетворювачів, що базується на двох фундаментальних законах - закон збереження енергії і принципі оборотності, стало передумовою для створення основ загальної теорії вимірювальних перетворювачів і їх уявлення у вигляді пасивних чотириполюсників зі сторонами різної фізичної природи.

4.1 Терміни та визначення

Як завжди, починаючи вивчати будь-яке питання, слід домовитися про термінологію. Особливе значення це набуває в області, де існують різні точки зору, застосовуються різні терміни для одного і того ж технічного

пристрою, існують давні традиції, тощо.

Слід уточнити, що визначення - це лінгвістична модель реального явища або об'єкта і, як будь-яка модель, є кінцевою, спрощеною та наближеною, містить як справжню, так і умовно-дійсну і помилкову інформацію. Звідси випливає, що може існувати безліч моделей (отже, і визначень) одного і того ж явища, об'єкта. Тобто, кожне визначення - це якась грань призми, якою є досліджуване явище чи об'єкт.

У літературі досить широко використовуються терміни «вимірювальне перетворення», «вимірювальний перетворювач», «датчик», «чутливий елемент», «сенсор», «вимірювальний прилад», «засіб вимірювань», а їх визначення - найрізноманітніші. Наприклад: Перетворювачами називають пристрої, які перетворюють одні фізичні величини, один вид енергії, один вид інформації в іншу фізичну величину, в інший вид енергії або в інший вид інформації.

У широкому сенсі перетворювач - це, наприклад, пристрій, що перетворює тиск в електричний сигнал (датчик тиску), напруга одного рівня в напругу іншого (трансформатор), електрична напруга в обертання валу (електродвигун), енергію в рух (літак, автомобіль) і т.д. Навіть живий організм - це теж своєрідний перетворювач.

Вимірювальне перетворення - є відображення розміру однієї фізичної величини розміром іншої фізичної величини, функціонально з нею пов'язаної [11].

Вимірювальний перетворювач - це технічний пристрій, побудований на певному фізичному принципі дії, що виконує одне вимірювальне перетворення.

Вимірювальний перетворювач - це перетворювач однієї фізичної величини в іншу, зручну для використання та обробки.

Вимірювальне перетворення це перетворення вхідного вимірювального сигналу в функціонально пов'язаний з ним вихідний сигнал.

Вимірювальний перетворювач (ВП) - це засіб вимірювань, призначений для перетворення вхідного вимірювального сигналу (вимірюваної величини) у вихідний сигнал, більш зручний для подальшого перетворення, передачі, обробки або зберігання, але непридатний для безпосереднього сприйняття спостерігачем.

Вимірювальний прилад є засобом вимірювань, що виробляють вихідний сигнал у формі, що дозволяє спостерігачеві безпосередньо сприйняти значення вимірюваної фізичної величини.

Первинний вимірювальний перетворювач - це технічний пристрій, який безпосередньо взаємодіє з матеріальним об'єктом вимірювання або контролю і призначений для однозначного функціонального перетворення однієї фізичної величини - вхідний - в іншу фізичну величину - вихідну, яка є зручною для подальшого використання.

Об'єкт - це явище або частина зовнішнього або внутрішнього світу, які спостерігає або може спостерігати людина в даний момент.

Матеріальний об'єкт - це предмет матеріального дослідження, відомості про який потрібні досліднику.

Об'єкт вимірювання або контролю - це матеріальний об'єкт або процес, сукупність властивостей якого визначає зміст очікуваної інформації. Об'єкт вимірювання або контролю характеризується вимірюваними фізичними величинами або залежностями між ними.

Чутливий елемент (первинний чутливий перетворювач) - конструктивний елемент або прилад, що сприймає вимірювану фізичну величину. Чутливий елемент є первинним вимірювальним перетворювачем в вимірювальній ланцюга і здійснює перетворення вхідного сигналу (вимірюваної величини) в величину, зручну для подальшої інформаційної обробки.

У різних областях техніки чутливий елемент називають детектором, датчиком, приймачем, зондом або вимірювальною голівкою.

Датчик - чутливий елемент або конструктивно об'єднана група чутливих елементів.

Детектор - чутливий елемент (датчик) для вимірювання або реєстрації випромінювання, полів або частинок.

Головним елементом вимірювального перетворювача є чутливий елемент - сенсор, який ґрунтується на деякому фізичному ефекті (принципі).

Принцип - лат. *principium* - основа, першооснова - основне вихідне положення якої-небудь теорії, вчення науки, основа пристрою або дії будь-якого приладу, механізму і т.д.

Сенсори - від лат. *sensus* - почуття, відчуття - чутливі штучні пристрої або органи живих організмів.

Датчик - це пристрій, що сприймає сигнали і зовнішні впливи і реагує на них. Або:

Датчик - сукупність вимірювальних перетворювачів, об'єднаних в один конструктивний вузол, що виноситься на об'єкт вимірювання.

У загальному випадку датчик може складатися з декількох перетворювачів (рис. 4.2) [11].



Пр1, Пр2, Пр3 - перетворювачі; F1 - вхідна фізична величина; F2, F3 - проміжні фізичні величини; U - вихідний електричний сигнал

Рисунок 4.2 - Функціональна схема датчика

Будь-який датчик є перетворювачем енергії. Незалежно від типу вимірюваної величини завжди відбувається передача енергії від досліджуваного об'єкта до датчика. Робота датчика - це особливий випадок передачі інформації, а будь-яка передача інформації пов'язана з передачею енергії.

Датчик - це пристрій, який безпосередньо приймає і передає

спеціальним приладам дані про діяльність механізму, живого організму або про інші явища.

Вимірювальний перетворювач є засобом вимірювання і для нього можуть нормуватись технічні та метрологічні характеристики.

Датчиком іноді називають засіб вимірювань, що представляє собою конструктивно закінчений пристрій, що розміщується в процесі вимірювання безпосередньо в зоні досліджуваного об'єкта і виконує функцію вимірювального перетворювача.

В англійській мові слово «sensor» означає «сенсор», «датчик», «чутливий елемент».

Незважаючи на майже повний збіг сенсу термінів «датчик» («сенсор», «чутливий елемент») і «первинний перетворювач», між ними існують також і деякі смислові та змістовні відмінності. Датчик (сенсор, чутливий елемент) відчуває (фізичну величину), а перетворювач перетворює (в тому числі і фізичну величину).

Причому «відчувати» в даному випадку означає перетворювати фізичну величину до виду, зручного для подальшого використання або сприйняття. Зазвичай це електричний сигнал, який легко перетворити, наприклад, в показання індикатора. Однак це може бути і неелектричний сигнал, а зміна кольору (наприклад, розчину або лакмусового паперу), яке може бути пов'язане з наявністю якоїсь речовини в розчині або газі.

Поняття «перетворювати» має, як ми вже відзначали, більш широкий зміст.

Засіб вимірювань - технічний засіб, що використовується при вимірах і має нормовані метрологічні характеристики.

Вимірювальний пристрій - засіб вимірювань, в якому виконується тільки одна зі складових процедури вимірювання (вимірювальна операція).

Вимірювальне перетворення (фізичної величини) - це вимірювальна операція, при якій вхідні фізична величина перетворюється в вихідну, функціонально пов'язану з нею.

Вимірювальний перетворювач - засіб вимірювань, призначений для вироблення сигналу вимірювальної інформації у формі, зручній для передачі, подальшого перетворення, обробки і (або) зберігання, але не піддається безпосередньому сприйняттю спостерігачем [12].

Первинний вимірювальний перетворювач (сенсор, датчик) - вимірювальний перетворювач, до входу якого підведена вимірювана величина, тобто перший в вимірювальному ланцюзі.

Вимірювальний прилад - засіб вимірювань, призначений для вироблення сигналу вимірювальної інформації у формі, доступній для безпосереднього сприйняття спостерігачем.

Отже, залишаючи осторонь деякі лінгвістичні та семантичні тонкощі, а також очевидні неточності і протиріччя в наведених визначеннях, відзначимо, що аналіз цих визначень з функціональних і системних позицій показує, що поняття сенсор, датчик, чутливий елемент, первинний вимірювальний перетворювач, детектор, приймач в цілому рівнозначні.

ЛЕКЦІЯ 5 на тему: КЛАСИФІКАЦІЯ ДАТЧИКІВ

Класифікація - операція віднесення заданого об'єкта до одного з класів, всередині яких об'єкти вважаються рівнозначними. Класифікація - це також результат цієї операції. Класифікація - найпростіший вид моделювання, зокрема, найслабший вид вимірювання.

Класифікація - це первинна, найпростіша модель. Повнота класифікації є предметом особливої уваги при її побудові. Часто виявляється необхідним провести розмежування всередині одного класу, не відмовляючись проте від спільності в його рамках. Так з'являються підкласи, що призводить до багаторівневої, ієрархічної класифікації.

Як і в випадку лінгвістичних моделей, класифікація, як і будь-яка модель, є кінцевою, спрощеною та наближеною, містить справжню, умовно-дійсну і помилкову інформацію.

Звідси також випливає висновок, що може існувати (і існує) значна кількість класифікацій перетворювачів і датчиків за різними класифікаційними ознаками.

Завдання класифікації датчиків у першу чергу висуває вимогу встановити доцільні класифікаційні ознаки. Найбільш повне уявлення про всю різноманітність датчиків можна отримати, приводячи загальну класифікацію з урахуванням багатьох класифікаційних ознак (рис. 5.1).

Одна з найбільш загальних класифікацій ділить датчики в залежності від споживача інформації про них.

Для споживачів датчиків важлива інформація про датчики, призначені для вимірювання певних фізичних величин (ФВ), відомості про вихідні і вхідні параметри і сигнали, технічні і метрологічні характеристики. Такий підхід вимагає побудови класифікаційної схеми за видами фізичної величини.

Для розробників датчиків, студентів, фахівців, які вивчають роботу датчиків, - важлива інформація про фізичні принципи їх дії або, точніше, фізичні закономірності, що визначають принцип їх дії.

За видами вхідних і вихідних величин вимірювальні перетворювачі (датчики) можна розділити на 4 великі класи (рис. 5.2):

- електричних величин в електричні, наприклад, безперервних у часі (аналогових) в переривчасті (дискретні, цифрові);

- неелектричних величин в неелектричні, наприклад, тиск в переміщення твердого центра мембрани;

- електричних величин в неелектричні, наприклад, струму в відхилення стрілки приладу;

- неелектричних величин в електричні. Приклади в даному випадку ми приводити не будемо, так як ці перетворювачі (датчики) є найпоширенішими, і їх буде описано далі більш детально.

Класифікація датчиків	
За видом перетворюваних фізичних величин (ФВ)	За функціональним призначенням
За фізичним принципом дії	За методом перетворення фізичних величин
За необхідністю зовнішнього джерела енергії	За кількістю виконуємих функцій
За можливістю безперервного перетворення вхідної ФВ	За наявністю джерела випромінення
За можливістю визначати знак (полярність, фаза) вхідної ФВ	За наявності допоміжного джерела енергії
За просторовою селективністю	За видом допоміжного джерела енергії
За принципом взаємодії з об'єктом	За наявністю вмонтованих обчислювальних пристроїв
За кількістю чутливих елементів	За технологією виготовлення
За видом рівнянь перетворювань	За видом вихідного сигналу
За характером зміни вихідного сигналу	

Рисунок 5.1 - Види класифікацій датчиків

Перетворювачі (датчики)	
Електричні величини в електричні	Неелектричні величини в неелектричні
Електричні величини в неелектричні	Неелектричні величини в електричні

Рисунок 5.2 - Класифікація перетворювачів за видом вхідних і вихідних величин

Найважливішою класифікаційною ознакою для датчиків є фізичний принцип дії - принцип перетворення фізичних величин, який ґрунтується на якомусь фізико-технічному (фізичному, електрохімічному, біоелектронному, хімічному) ефекті (явищі). Така класифікація приведена на рис. 5.3.



Рисунок 5.3 - Класифікація датчиків за принципом дії

Крім того, можна класифікувати датчики по виду вимірюваних неелектричних величин (рис. 5.4.) і електричних величин (рис. 5.5.).

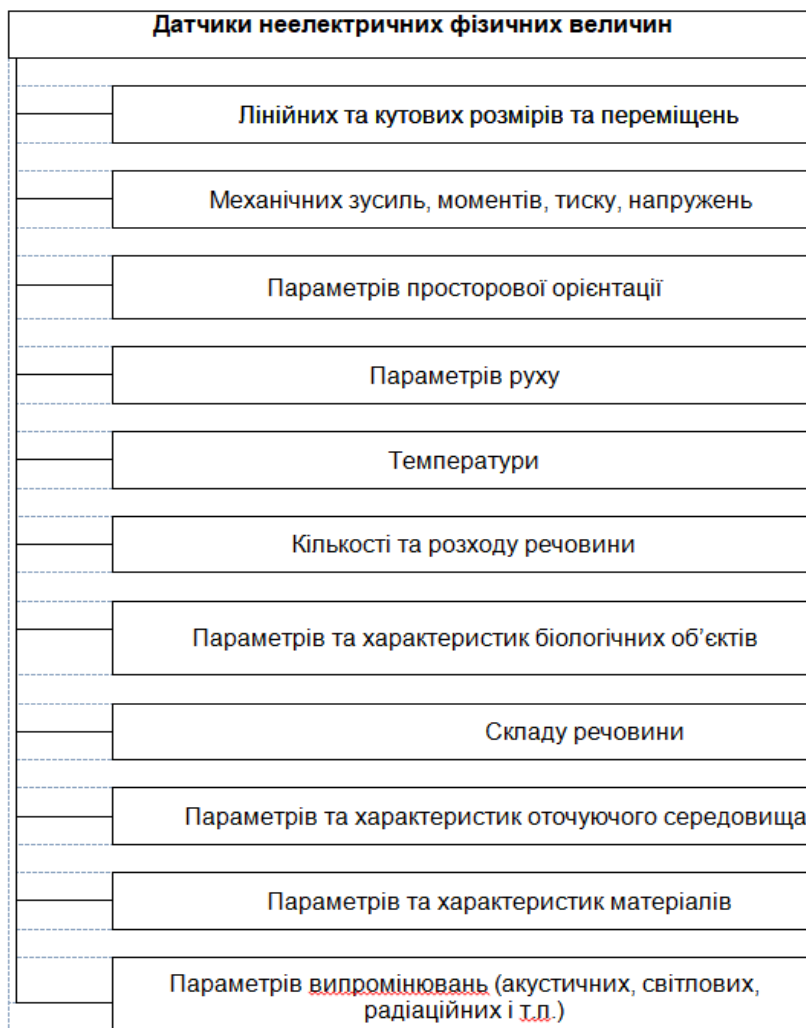


Рисунок 5.4 - Класифікація датчиків за видом вимірюваних неелектричних величин

За фізичним принципом дії датчики (перетворювачі) можуть бути фізичними (електричні, магнітні, теплові, оптичні, акустичні тощо), хімічними і комбінованими (фізико-хімічні, електрохімічні, біоелектричні і таке ін.).

Принцип дії датчика визначається перш за все тим, яка закономірність використовується в ньому. Однак існують датчики, які не належать до жодного з перерахованих класів, наприклад, механоелектричні. Ці датчики називаються комбінованими.

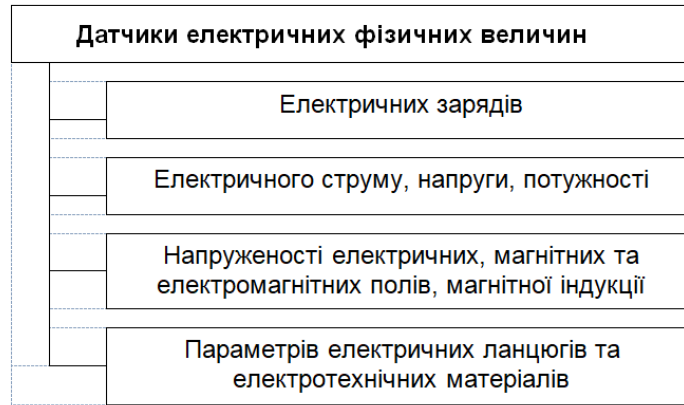


Рисунок 5.5 - Класифікація датчиків за видом вимірюваних електричних величин

По виду вихідної величини і необхідності зовнішнього джерела енергії датчики можна розділити на генераторні (активні), вихідною величиною яких є електричні величини (напруга, заряд, струм, електрорушійна сила (ЕРС), і параметричні (пасивні), вихідною величиною яких є опір, індуктивність, ємність, діелектрична або магнітна проникність тощо.

В генераторних датчиках зовнішнє джерело енергії не потрібне. Наприклад, в п'єзоелектричному датчику під дією вимірюваного зусилля на електродах п'єзоелемента виникає електричний заряд (або електрична напруга).

У параметричних датчиках під дією вимірюваної фізичної величини змінюється будь-який з параметрів (наприклад, електричний опір в тензорезисторах). Для отримання вихідного електричного сигналу потрібно джерело енергії (струму або напруги). Таким чином, датчики можуть мати (або не мати) допоміжне джерело енергії.

Допоміжні джерела енергії в датчику можуть бути електричними, гідравлічними, пневматичними, механічними, оптичними тощо. Таких джерел в одному датчику може бути кілька.

За функціональним призначенням датчики (перетворювачі) можна розділити на:

- індикаторні (метрологічні характеристики не нормуються). Датчик видає інформацію про наявність чи відсутність фізичної величини;
- вимірювальні (метрологічні характеристики нормуються);
- комбіновані.

За методом перетворення фізичної величини датчики (перетворювачі) діляться на (рис. 5.6):

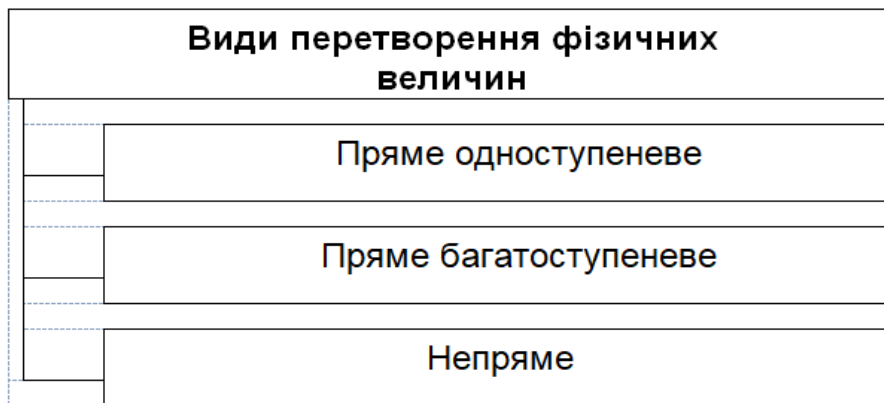


Рисунок 5.6 - Класифікація видів перетворення фізичних величин

- датчики (перетворювачі) прямого одно- або багатоступеневого перетворення, в яких вимірювана фізична величина перетворюється в іншу фізичну величину - вихідний сигнал датчика;
- датчики (перетворювачі) непрямого перетворення, в яких вимірювана фізична величина перетворюється в проміжну фізичну величину, а вже потім ця величина перетворюється у вихідний сигнал датчика;
- датчики комбінованого типу.

За характером перетворення значень фізичної величини датчики ділять на дві групи:

- датчики безперервної дії;
- датчики дискретної (циклічної) дії.

За типом взаємодії з об'єктом і кількістю елементів датчики можуть бути

- стаціонарними або рухомими;
- контактними або безконтактними;
- просторово-розподіленими (безперервними, дискретними або багатоелементними);
- зосередженими (одноелементними).

За просторової селективності датчики ділять на дві групи:

- датчики спрямованої дії;
- датчики ненаправленої дії.

За наявності джерела випромінювання датчики діляться на ті, в яких таке джерело є (наприклад, іонізаційний датчик газоаналізатора), і на ті, в яких джерел випромінювання немає.

Дедалі більшого поширення набувають перетворювачі з вмонтованими електронними і обчислювальними пристроями, які роблять попередню обробку вихідного сигналу датчика. Така обробка може включати коригування похибок датчика в залежності від факторів, що впливають і т.д.

По виду рівняння перетворення датчики бувають з лінійною і нелінійною залежністю вихідного сигналу від вимірюваної фізичної величини.

За технологією виготовлення датчики можуть бути виготовлені з використанням об'ємного, друкованого монтажу, гібридної і напівпровідникової технології, мікро- і нанотехнологій.

За здатністю розрізняти зміну фази або полярності вхідної фізичної величини датчики ділять на фазочутливі (реверсивні) і нефазочутливі (нереверсивні), у яких вихідний сигнал не залежить від полярності вхідної величини.

За характером зміни вихідного сигналу датчики ділять на три групи:

- датчики з аналоговим вихідним сигналом, який безперервно змінюється;
- датчики з дискретним (наприклад, імпульсно змінний) вихідним сигналом.

Методи перетворення фізичних величин діляться на методи безпосереднього перетворення, диференційний метод, заміщення і нульовий метод (рис. 5.7).

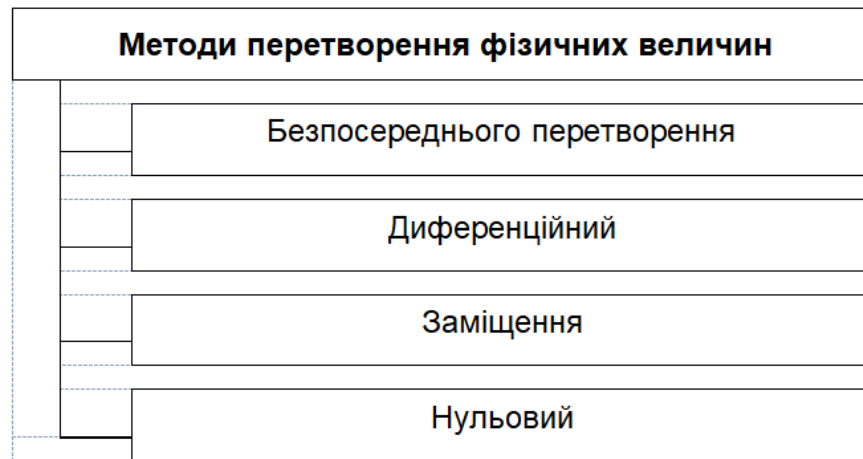


Рисунок 5.7 - Методи перетворення, які використовуються в датчиках

Диференційний метод, метод заміщення і нульовий метод відносяться до узагальненого методу порівняння.

Всі методи перетворення діляться також на методи безпосереднього перетворення і методи врівноважуючого перетворення.

Метод врівноважуючого перетворення здійснюється в умовах, коли є два ланцюги - прямого перетворення і зворотного зв'язку.

За характером виконуваних в датчиках (перетворювачах) інформаційних перетворень і способу отримання вихідних сигналів датчики можна розділити на кілька груп (рис. 5.8)

За характером адаптації до особливостей перетворення фізичних величин датчики діляться на адаптивні і неадаптивні, які, в свою чергу, можуть бути одно- і багатофункціональні.

По виду вихідної інформації датчики (перетворювачі) можуть бути аналоговими, дискретними (цифровими) і аналого-цифровими, при цьому в датчиках можуть здійснюватися принципи порівняння або врівноваження.

Перетворювачі, виконані з використанням принципу порівняння, можуть бути безперервної або циклічної дії.

Перетворювачі, виконані з використанням принципу врівноваження, можуть бути сліdkуючої або розгортуючої дії.

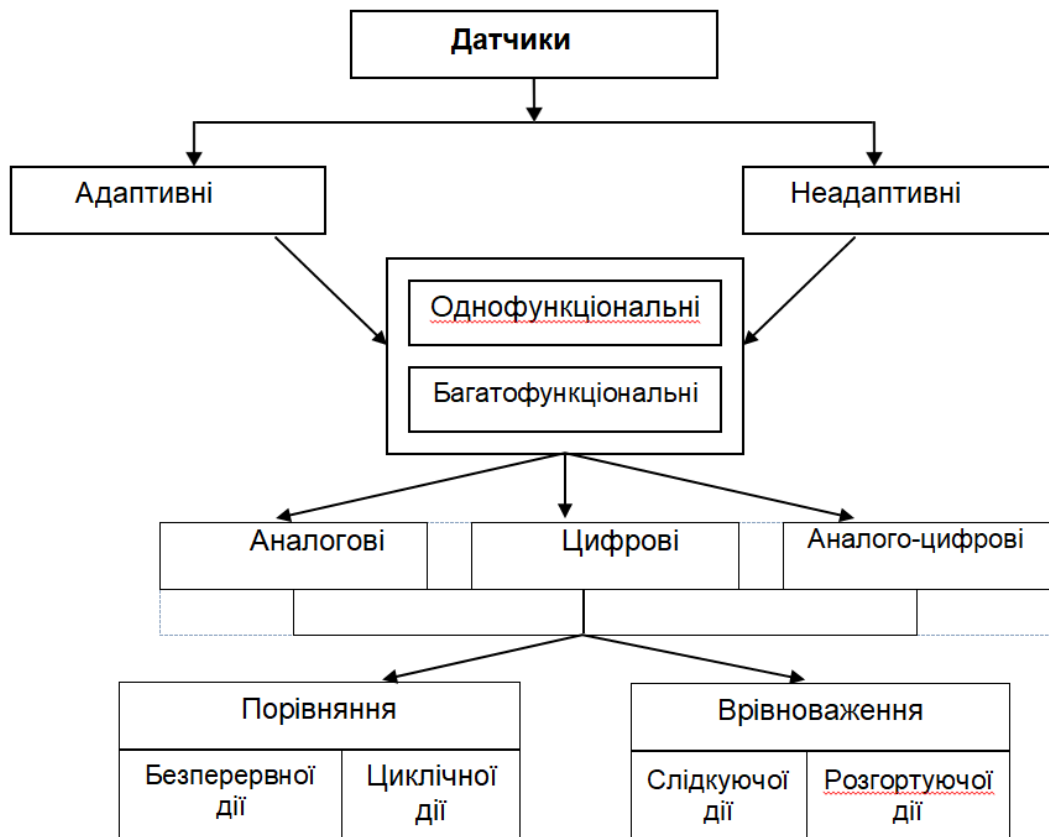


Рисунок 5.8 - Класифікація датчиків за способом отримання вихідних сигналів і за характером виконуваних в них інформаційних перетворень

Наведені класифікації датчиків, хоча і широко використовуються у вимірювальній техніці і автоматичному управлінні, не є абсолютно коректними і остаточно завершеними, а характеризують лише наш рівень знань в цій області.

ЛЕКЦІЯ 6 на тему: ХАРАКТЕРИСТИКИ ДАТЧИКІВ

При розробці АСУ датчики складають окремі ланки системи. Виходячи з видів інформації, що підлягає введенню в АСУ, визначаються конкретні вимоги, що пред'являються до датчиків при їх виборі та установці їх на технологічному обладнанні.

Датчики є найважливішим вузлом систем автоматики, тому їх неточність впливає на роботу системи в цілому. У реальних умовах датчики знаходяться в місцях з більш небезпечним зовнішнім середовищем, ніж інші вузли систем автоматики і практично їх неможливо захистити від впливу високих температур, вібрації, екстремальних моментів і сил, а також інших факторів. На роботу датчиків також можуть впливати всілякі сигнали випадкового характеру, в тому числі вимірювальні шуми.

При виборі датчиків технологічних параметрів та інших засобів виділення інформації слід враховувати ряд факторів метрологічного і режимного характеру, найбільш суттєві з яких наступні: допустима для АСУ похибка, визначений клас точності датчика; інерційність датчика, яка характеризується його постійною часу; межі виміру з гарантованою точністю; вплив на нормальну роботу датчика фізичних параметрів контрольованого і навколишнього середовища: температури, щільності, вологості та ін.

Перетворення сигналів в датчиках відбувається в два етапи:

- перетворення виду сигналу, наприклад механічний в електричний;
- додання перетвореному сигналу стандартного виду, прийнятного для систем автоматики – нормування (рис. 6.1).

Первинний перетворювач в датчику є чутливим елементом до вимірюваної фізичної величини і перетворює її в електричну, яка вимірюється за допомогою стандартних схем.

Вторинне перетворення здійснюється: підсилювачами, аналого-цифровими перетворювачами (АЦП), цифро-аналоговими перетворювачами (ЦАП), імпульсними і кодовими перетворювачами і т.п.

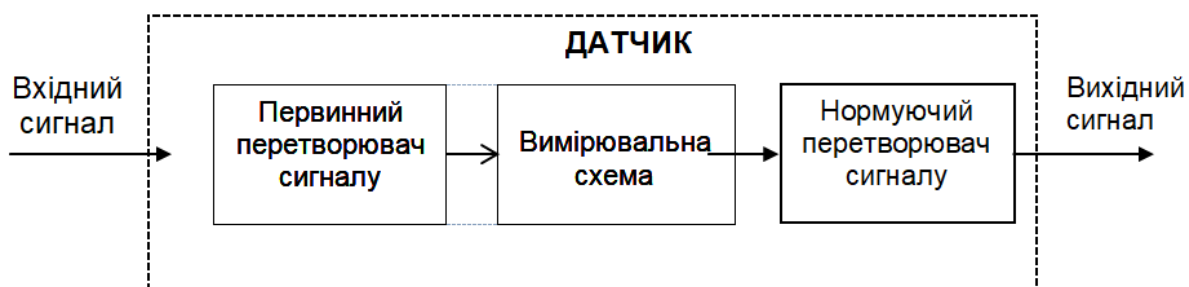


Рисунок 6.1 - Структурна схема датчика

Фактично датчик представляє сукупність трьох елементів:

- первинного перетворювача;
- вимірювальної схеми;
- вторинного, нормуючого перетворювача для надання сигналу на виході датчика стандартного виду.

Розрізняють три класи датчиків:

- *аналогові датчики*, тобто датчики, що виробляють аналоговий сигнал;
- *цифрові датчики*, що генерують послідовність імпульсів або двійкове слово;
- *бінарні (двійні) датчики*, які виробляють сигнал тільки двох рівнів: «включено/вимкнено» (інакше кажучи, 0 або 1).

Залежно від обсягу інформації, що збирається, датчики поділяються наступним чином:

- що визначають наявність або відсутність сигналу - *однобітові*;
- що визначають чи відповідає сигнал бажаному, а також знак відхилення - *двобітові*;
- що видають значення вимірюваної величини із заданою точністю в цифровому вигляді - *n*-бітові, точність вимірювання і число біт в двоїчному слові пов'язані між собою;
- точність вихідного сигналу, яких залежить від вхідного сигналу - при великих менше, а при малих вище (*n*-бітові), при цьому кількість біт є функцією вхідного рівня сигналу.

Перші 2 групи (по своїй дії) відносяться до вимірювальних реле, відповідно до двох і трьохпозиційних - кількість станів їх виходів.

Датчики є найважливішим вузлом систем автоматики, тому що їх неточність впливає на роботу системи в цілому. У реальних умови датчики знаходяться в місцях з більш небезпечною зовні середовищем, ніж інші вузли систем автоматики і практично їх неможливо захистити від впливу високих температур, вібрації, екстремальних моментів і сил, а також інших факторів. На роботу датчиків також можуть впливати різноманітні сигнали випадкового характеру, в тому числі вимірювальні шуми.

Під зовнішнім впливом розуміється кількісна характеристика об'єкта, його властивість чи якість, які необхідно сприйняти і перетворити в електричний сигнал. У деяких літературних джерелах для цих цілей використовується термін вимірювана величина, що має аналогічне значення, проте в цьому терміні робиться акцент на кількісній характеристиці сенсорної функції.

Призначення датчиків – реакція на певну зовнішню фізичний вплив і перетворення його в електричний сигнал, сумісний з вимірювальними схемами. Іншими словами, можна сказати, що датчик – це перетворювач фізичної величини (часто неелектричної) в електричний сигнал. Під терміном електричний сигнал розуміється сигнал, який може бути перетворений за допомогою електронних пристроїв, наприклад, посилено або переданий по лінії передачі.

Вихідними сигналами датчиків можуть бути напруга, струм або заряд, які описуються наступними характеристиками: амплітудою, частотою, фазою або цифровим кодом. Цей набір характеристик називається форматом вихідного сигналу. Таким чином, кожен датчик характеризується набором вхідних параметрів (будь-якої фізичної природи) і набором вихідних електричних параметрів.

Будь-який датчик є перетворювачем енергії. Незалежно від типу вимірюваної величини завжди відбувається передача енергії від досліджуваного об'єкта до датчика. Робота датчика – це особливий випадок передачі інформації, а будь-яка передача інформації пов'язана з передачею енергії. Очевидним є той факт, що передача енергії може проходити в двох напрямках, тобто вона може бути як

позитивною, так і негативною, наприклад, енергія може передаватися від об'єкта до датчика, і, навпаки, від датчика до об'єкта.

Особливим випадком є ситуація, при якій енергія дорівнює нулю, але і в цьому випадку відбувається передача інформації про існування саме такої особливої ситуації. Наприклад, інфрачервоний датчик температури виробляє позитивне напруження, коли об'єкт тепліше датчика (інфрачервоне випромінювання направлено в сторону датчика), або негативна напруження, коли об'єкт холодніше датчика (інфрачервоне випромінювання направлено від датчика на об'єкт). Коли датчик і об'єкт мають однакову температуру, інфрачервоний потік дорівнює нулю, і вихідна напруження також дорівнює нулю. У цій ситуації і поміщена інформація про рівність температур датчика і об'єкта.

Поняття датчик необхідно відрізнити від поняття перетворювач. Перетворювач конвертує один тип енергії в інший, тоді як датчик перетворює будь-який тип енергії зовнішнього впливу в електричний сигнал. Прикладом перетворювача може служити гучномовець, що конвертує електричний сигнал в змінне магнітне поле для подальшого формування акустичних хвиль. Тут мова не йде ні про яке сприйняття зовнішньої інформації. (Цікаво відзначити той факт, що якщо гучномовець підключити до входу підсилювача, він буде працювати як мікрофон. У цьому випадку його можна назвати акустичним датчиком.)

Перетворювачі можуть виконувати також функції приводів. Привід можна визначити як пристрій, протилежне датчику, оскільки він перетворює електричну енергію, як правило, в неелектричну енергію. Прикладом приводу є електричний мотор, що перетворює електричну енергію в механічну.

Статичні характеристики датчика показують, наскільки коректно вихід датчика відображає вимірювану величину через деякий час після її зміни, коли вихідний сигнал встановився на нове значення. Важливими статичними параметрами є: чутливість, роздільна здатність або дозвіл, лінійність, дрейф нуля і повний дрейф, робочий діапазон, повторюваність і відтворюваність результату [17].

- *Чутливість (sensitivity)* датчика визначається як відношення величини вихідного сигналу до одиничної вхідної величиною (для тонких вимірювальних технологій визначення чутливості може бути більш складним).

- *Дозвіл (resolution)* – це найменша зміна вимірюваної величини, яке може бути зафіксовано і точно показано датчиком.

- *Лінійність (linearity)* не описується аналітично, а визначається виходячи з градуировочной кривої датчика. Статична градуировочна крива показує залежність вихідного сигналу від вхідного при стаціонарних умовах. Близькість цієї кривої до прямої лінії і визначає ступінь лінійності. Максимальне відхилення від лінійної залежності виражається у відсотках.

- *Статичне посилення (static gain)* або посилення по постійному струму (dc gain) – це коефіцієнт посилення датчика на дуже низьких частотах.

Великий коефіцієнт посилення відповідає високої чутливості вимірювального пристрою.

- *Дрейф (drift)* визначається як відхилення показань датчика, коли вимірювана величина залишається постійною протягом тривалого часу. Величина дрейфу може визначатися при нульовому, максимальному або деякому проміжному значенні вхідного сигналу. При перевірці дрейфу нуля вимірювана величина витримується на нульовому рівні або рівні, який відповідає нульовому вихідному

сигналу, а перевірка дрейфу на максимумі виконується при значенні вимірюваної величини, відповідному верхньої межі робочого діапазону датчика. Дрейф датчика викликається нестабільністю підсилювача, зміною навколишніх умов (наприклад, температури, тиску, вологості або рівня вібрацій), параметрів електропостачання або самого датчика (старіння, вироблення ресурсу, нелінійність і т.д.). Робочий діапазон (operating range) датчика визначається допустимими верхнім і нижнім межами значення вхідної величини або рівня вихідного сигналу.

- *Повторюваність (repeatability)* характеризується як відхилення між кількома послідовними вимірами при заданому значенні вимірюваної величини в однакових умовах, зокрема наближення до заданого значення має відбуватися завжди і або як наростання, або як спадання. Вимірювання повинно бути виконані за такий проміжок часу, щоб не виявлявся вплив дрейфу. Повторюваність зазвичай виражається у відсотках від робочого діапазону.

- *Відтворюваність (reproducibility)* аналогічна повторюваності, але вимагає більшого інтервалу між вимірами. Між перевітками на відтворюваність датчик повинен використовуватися за призначенням і, більше того, може бути підданий калібрування. Відтворюваність задається у вигляді відсотків від робочого діапазону, віднесених до одиниці часу (наприклад, місяця).

Модуляція - зміна в часі одного або декількох параметрів сигналу. Застосовується для декількох параметрів сигналу. Застосовуються амплітудна і частотна модуляції.

Кодування - відображення стану однієї системи за допомогою іншої. Мета цього процесу - зберігання, передача та обробка інформації, що знаходиться в дискретних повідомленнях. Кодування застосовується для представлення інформації у вигляді, зручному для обробки в ЕОМ.

6.1 Характеристики датчиків (статична, динамічна, частотна)

Розрізняють статичну і динамічну характеристику датчика.

Під статичною характеристикою датчика розуміють залежність між ustalеними значеннями вхідної і вихідної величин.

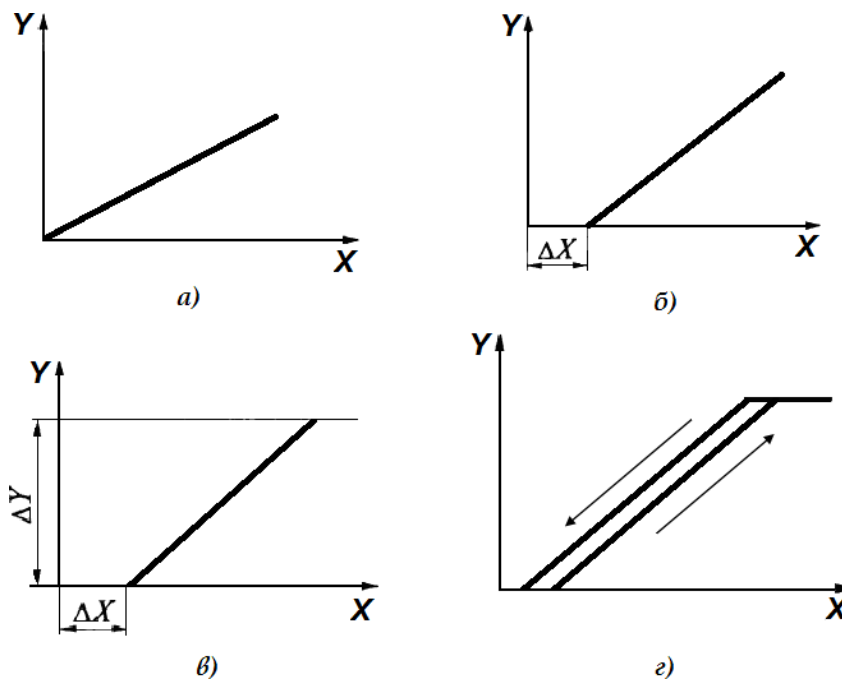
Під динамічною характеристикою датчика розуміють поведінку вихідної величини під час перехідного процесу у відповідь на миттєву (ступінчасту) зміну вимірюваної вхідної величини.

Якщо в статичній характеристиці датчика будується залежність тільки між значенням вихідної величини Y у відповідь на зміну вхідної величини X , то в динамічній характеристиці датчика бере участь параметр часу і така характеристика є залежністю виду $Y = Y(t)$.

Очевидно, що значення ustalеної вихідної величини датчика є тим значенням, яке приймає його вихідна величина після закінчення усіх перехідних процесів.

Залежність між значеннями, що встановилися, вхідної і вихідної величин стосовно датчиків називається тарировочною кривою.

Різні види статичних характеристик вимірювальних датчиків з пропорційним виходом приведені на рис. 6.2.



а) – ідеалізована статична характеристика; б) – статична характеристика, що ідеалізується, із зоною нечутливості; в) – ідеалізована статична характеристика із зоною нечутливості і насиченням; г) – ідеалізована статична характеристика із зоною нечутливості, насичення і гістерезисом виходу

Рисунок 6.2 - Статичні характеристики датчиків з пропорційним виходом

На рис. 6.2, а приведено статичну характеристику ідеалізованого датчика. Нульовому значенню вхідної величини в цьому випадку відповідає нульове значення величини на виході.

На рис. 6.2, б приведено ідеалізовану статичну характеристику датчика із зоною нечутливості. У такого датчика зміна вхідної величини до значення ΔX , що називається порогом чутливості, не веде до появи якого-небудь сигналу на виході. Лише після того, як виявиться, що $X > \Delta X$, вихідна величина буде зростати, починаючи від нуля, пропорційно зміні вхідної величини.

На рис. 6.2, в приведено ідеалізовану статичну характеристику датчика із зоною нечутливості і насиченням.

Нарешті, на рис. 6.2, г приведено ідеалізовану статичну характеристику датчика із зоною нечутливості на вході, з насиченням на виході і з петлею гістерезису. У такого датчика, після досягнення порогу чутливості вихідна величина росте пропорційно зростанню вхідної величини, але до деякого граничного значення ΔY , яке називають значенням насичення вихідної величини. Після того, як виявиться, що $Y > \Delta Y$, подальше зростання вхідної

величини X не призводить ні до якого зростання Y .

Гістерезисом називають відмінність між характером відповідності вихідної і вхідної величин при прямому і зворотному ході зміни вхідної величини. Практично це виражається в тому, що значення вихідної величини при зростанні вхідної величини не співпадає з її ж значеннями при зменшенні вхідної величини, а отже, за наявності гістерезису чутливість датчика при «прямому» і «зворотному»

ходах неоднакова. Значення вихідної величини при зростанні вхідної величини може як «випереджати», так і «відставати» в порівнянні з її ж значеннями при зменшенні вхідної величини. У першому випадку говорять про позитивний гістерезис, а в другому – про негативний.

Абсолютна величина різниці в значеннях X при зростанні і зменшенні вхідної величини, при яких на виході має місце одне і теж значення, називається шириною петлі гістерезису. Якщо ширина петлі гістерезису настільки велика, що тарировочна крива датчика заходить в область негативних значень вхідної величини, то це означає, що $Y = 0$ при $X < 0$, а при $X = 0$ $Y > 0$. У такому разі говорять, що цей елемент має «пам'ять»,

оскільки на його виході залишається ненульове значення і після того, як на його вході встановиться нульове значення. Але це матиме місце лише у тому випадку, якщо перед цим величина на вході здійснила цикл зростання з подальшим зменшенням хоча б до нуля. Якщо ж такого циклу на вході не відбувалося, то на виході датчика продовжуватиме зберігатися нульове значення. Іншими словами, спостерігаючи за станом виходу датчика в даний момент, можна зробити висновок про те, що відбувалося на його вході в попередні моменти. Це і є те, що прийнято називати «пам'яттю».

Проте в реальному житті практично не існує датчиків з пропорційною (лінійною) залежністю між значеннями вихідної і вхідної величин. Це означає, що приріст вихідної величини у відповідь на одиничний приріст вхідної величини не є постійним в усьому інтервалі зміни вимірюваної величини. Може створитися така ситуація, коли на початку зміни вхідної величини зміни, що сталися в ній, призводять до істотних змін вихідної величини, а у кінці зміни вхідної величини призводять до малих змін вихідної величини. Може мати місце і зворотна картина. У ряді випадків для зручності подальшого аналізу фактична нелінійна статична характеристика датчика в певних межах вимірювання і з певним впливом на показання цього датчика може бути приблизно замінена деяким лінійним еквівалентом. У певних умовах така операція є допустимою і тоді вона носить назву лінеаризації.

У ряді випадків нелінійний характер статичної характеристики датчика не є шкідливим, а може бути ефективно використаний для різних завдань автоматизації. Прикладом такого роду, широко використовуваним в різних засобах автоматизації, є датчик із статичною характеристикою релейного типу. При зростанні вхідної величини, до того як вона досягне порогу спрацьовування, на виході датчика спостерігатиметься нульове значення вихідної величини, а як тільки вхідна величина досягне порогу спрацьовування, вихідна величина відразу ж («стрибком») досягне своєї максимальної величини і при подальшому зростанні вхідної величини зростати більше не буде. Прикладом такого роду може служити так зване двопозиційне регулювання температури в звичайному домашньому холодильнику. Як тільки температура усередині холодильника досягне заданої величини, датчик температури (термостат), що має релейну характеристику, увімкне електромотор, холодоагент (фреон) почне прокачуватись. При пониженні температури електромотор відключається і температура усередині холодильника перестає знижуватися.

Раніше розглядалися статичні характеристики таких датчиків, у яких вхідна

величина, зростаючи і убуваючи, залишалася більшою від нуля. Як правило, це і має фактично місце при змінах параметрів технологічних процесів машинобудування. Наприклад, це характерно при вимірюванні переміщень робочих органів верстатів, тиску в гідросистемах або температури в гартівних печах. Проте у ряді випадків можливе відхилення вимірюваної величини як в позитивну, так і в негативну сторону. Вихідна величина при цьому може виявлятися пропорційною модулю зміни вхідної величини (або ж залежною від нього нелінійно) як без гістерезису, так і з гістерезисом.

Зазвичай для порівняння за рівних умов динамічних характеристик різних датчиків вважають, що на їх входи поступають дії одного і того ж виду, а саме: ступінчасті. Це означає миттєве «накидання» вхідної величини.

Практично це відповідає, наприклад, включенню напруги на електродвигун або приміщенню термопарі в гартівну піч і т.д.

Двигун набиратиме оберти не миттєво, а відповідно до динамічних властивостей приводу, в який він включений. Показання термопарі також почнуть відображати температуру в печі не миттєво, а у міру розігрівання спаю цієї термопарі і т.д.

Для динамічних характеристик датчиків характерні три випадки.

Перший випадок відповідає чистому запізнюванню в датчику, коли його вихідна величина просто повторює (у певному масштабі) вхідну величину, запізнюючись по відношенню до неї на постійну величину. Другий випадок відповідає аперіодичному характеру перехідного процесу, коли вихідна величина поступово наближається до нового значення, що встановилося, монотонним чином (монотонно убуваючи або ж монотонно зростаючи).

Третій випадок відповідає коливальному характеру перехідного процесу, коли вихідна величина поступово наближається до нового значення, що встановилося, здійснюючи за час перехідного процесу одне або декілька коливань, перевищуючи на якийсь час нове значення вихідної величини, а потім повертаючись до нього.

Динамічні процеси в датчиках характеризуються показниками якості перехідного процесу. До їх числа відносяться:

- час завершення перехідного процесу;
- величина перевищення впродовж перехідного процесу вихідного параметра над його новим значенням, що встановилося;
- число коливань вихідної величини за час завершення перехідного процесу.

Використовується також інтегральний показник якості перехідного процесу, що зазвичай є підінтегральною площею кривої перехідного процесу.

Для датчиків виробничих параметрів важливими характеристиками є також:

- діапазон вимірювань, тобто різниця між допустимими максимальним і мінімальним значеннями вимірюваної величини, що встановилися;
- смуга пропускання, тобто різниця між максимальною і мінімальною частотами зміни вхідної величини, для роботи з якими призначений цей датчик.

6.2 Похибки вимірювання

Що стосується похибок вимірювання виробничих параметрів, що

неминуче виникають у будь-яких практичних системах автоматизації, то їх прийнято класифікувати таким чином:

- систематичні;
- прогресуючі;
- випадкові;
- похибки застосування.

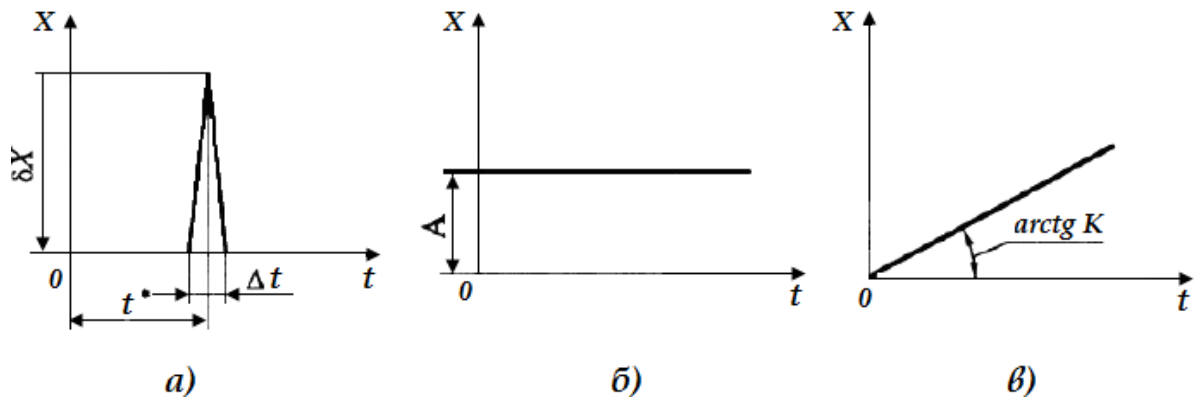
6.3 Типові вхідні дії

Для отримання статичних і динамічних характеристик датчиків параметрів на входи цих датчиків подають типові дії і спостерігають, як випробовуваний датчик реагує на дію, що подається.

До таких типових вхідних дій належать:

- ударна, або миттєва;
- ступінчаста;
- лінійна;
- гармонійна.

Ударна вхідна дія, що називається також S - функцією, є «піковою» дією, яка має нескінченно велику (прямуючу до ∞) ординату при нескінченно малій (прямоючій до 0) ширині Δt (тривалість цієї дії). У разі, коли вимірюваним параметром є якась сила, вона може бути дійсно інтерпретована як удар. Графік такої типової вхідної дії, що додається до датчика у момент часу t^* , приведений на рис. 6.3, а.



а) – ударної вхідної дії; б) – ступінчастої вхідної дії; в) – лінійної вхідної дії

Рисунок 6.3 - Графіки типових ударної, ступінчастої і лінійної вхідних дій

Ступінчаста вхідна дія – це миттєва зміна вхідного параметра на кінцеву величину. Записується воно звичайно у вигляді $X = A^{\text{step}}$.

Це трактується таким чином, що при $t < 0$ $X = 0$, а при $t > 0$ $X = A$.

Ступінчаста дія, при якій величина стрибка на вході датчика дорівнює 100 % усієї вимірюваної величини, називається одиничною дією. Графік дії такого роду показаний на рис. 6.3, б.

Прикладом ступінчастої дії може служити замикання або розмикання кола постійного струму, прикладання або скидання навантаження за допомогою механізму зчеплення або керованої муфти та ін. Ступінчаста дія є настільки

поширеною і важливою у виробничій практиці, що вихідна реакція на дію такого роду виділяється серед інших динамічних характеристик і носить спеціальну назву тимчасової характеристики.

Графік ступінчастої вхідної дії, приведений на рис. 6.3, б, є ідеалізованим, оскільки він припускає «миттєве» (тобто за відрізок часу, рівний 0) наростання вхідної величини від 0 до A . Насправді таке «миттєве» наростання вхідної величини неможливе і станеться за відрізок часу $\Delta t \neq 0$.

На цьому відрізку часу вхідну величину можна вважати наростаючою за лінійним законом, що також є ідеалізацією. У загальному випадку таке наростання вхідної величини датчика реально повинне відбуватися за тим або іншим нелінійним законом.

Лінійна вхідна дія на датчик має на увазі зміну в часі вхідної величини за лінійним (пропорційним) законом. В цьому випадку

$$X = K_t, \quad \text{де } K - \text{константа.}$$

Такий вид типової дії широко застосовується при випробуваннях слідкуючих систем, а саме таких систем, коли вихідний параметр системи повинен відтворювати в тому або іншому масштабі деяку задавальну величину, характер змін якої заздалегідь не зумовлений. Прикладом такого роду є слідкуюча система, у якій переміщення силового супорта повинне «відстежувати» переміщення задавального копіювального щупа, що взаємодіє без особливого навантаження з шаблоном. Графік лінійної вхідної дії зображений на рис. 6.3, в.

Гармонійна вхідна дія – це така дія, при якій вхідна величина змінюється за гармонійним законом, тобто за законом синуса або косинуса.

Така дія застосовується тоді, коли здійснюється випробування виробу або його компонента за допомогою частотних методів. Прикладом такого роду є дослідження підвіски автомобіля на вібростенді. Суть таких випробувань полягає в тому, що досліджувану підвіску «трясуть» так, що змінюється частота і амплітуда і дивляться, що при цьому відбувається. Метою дослідження виробу або його компонентів частотними методами є отримання частотних характеристик цього виробу або компонента.

6.4 Частотні характеристики

Частотними характеристиками називають залежності, що установлюються в режимі, що встановився, вхідні і вихідні величини лінійної системи, коли величини, що подаються на її вхід, змінюються в часі за гармонійним законом. Звернемо увагу на те, що усталений режим зовсім не означає нерухомості. Це означає лише те, що після закінчення часу перехідного періоду в системі встановиться рух з параметрами, що не змінюються.

Зокрема, якщо на вхід такого компонента системи подається гармонійна дія виду:

$$X(t) = a \sin \omega t$$

з частотою ω і амплітудою a , то через деякий час, необхідний для завершення перехідного процесу, на виході цього компонента також встановляться синусоїдальні коливання з тією ж частотою, але відмінні за амплітудою і

зміщенням по відношенню до синусоїдального сигналу на вході цього компонента по фазі, що записується наступним співвідношенням:

$$Y(t) = A \sin(\omega t + \varphi).$$

На комплексній площині вхідна $X(t)$ і вихідна $Y(t)$ величини для кожного моменту часу t зображуються векторами a і A , проведеними з початку координат під кутами ωt і $(\omega t + \varphi)$. Дійсні частини гармонійних вхідних і вихідних величин, представлених в комплексній формі, дорівнюють відповідно $a \cos \omega t$ і $A \cos \omega t$, а уявні частини – $a \sin \omega t$ і $A \sin \omega t$.

Графічне зображення гармонійної дії представлено на рис. 6.4. Вертикальна вісь координат відповідає уявним частинам вхідної і вихідної величин, а горизонтальна вісь – їх дійсним частинам.

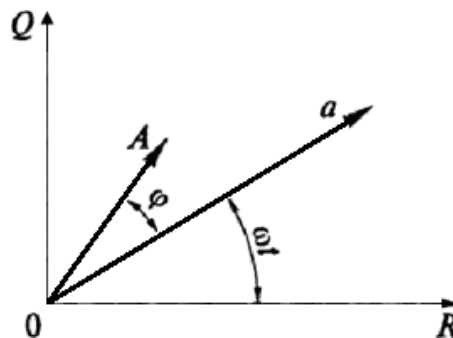


Рисунок 6.4 - Зображення гармонійної дії на комплексній площині

Позначивши $Y(t) / X(t) = W(j\omega)$, отримаємо:

$$W(j\omega) = [A \exp j(\omega t + \varphi)] / a \exp j\omega t = (A / a) \exp(j\varphi)$$

Відношення $W(j\omega)$ називається *комплексним передаточним коефіцієнтом*. На комплексній площині цей коефіцієнт фактично зображується у вигляді точки. При зміні частоти дії ω від 0 до ∞ змінюються і значення модуля вихідної величини (довжина відрізка від початку координат до цієї точки), і зрушення її фази ν відносно вхідної дії. Кінець відрізка, що знаходиться в цій точці, при цьому описуватиме деяку криву, характерну для цього датчика, вона називається *годографом*. Цей годограф називається *амплітудно-фазовою характеристикою (АФХ)* цього датчика.

Залежність модуля комплексного передаточного коефіцієнта W від частоти ω називається *амплітудно-частотною характеристикою (АЧХ)* цього датчика.

Залежність зсуву фази ν від частоти ω називають *фазово-частотною характеристикою (ФЧХ)* цього датчика.

Амплітудно-фазова характеристика і витікаючи з неї АЧХ і ФЧХ відносяться тільки до усталених режимів.

ЛЕКЦІЯ 7 на тему: ДАТЧИКИ МЕХАНІЧНИХ ВЕЛИЧИН

Механічні величини є найважливішими параметрами, контрольованими в технологічних процесах практично в усіх галузях народного господарства. Збільшення точності вимірювання механічних параметрів підвищує вірогідність одержуваних результатів вимірів і надійність функціонування систем.

Потреба у вимірювальних приладах в умовах промисловості, що розвивається, наростає, й одночасно потрібне розширення їхніх можливостей та поліпшення технічних і експлуатаційних характеристик. Це досягається застосуванням нових конструкцій вимірювальних перетворювач механічних величин (ПМВ), схемотехнічних рішень, а також засобів сучасної цифрової електроніки й алгоритмічних методів корекції похибок і т. ін.

Питання підвищення точності вимірів, довгострокової стабільності метрологічних характеристик, розширення функціональних можливостей перетворювачів і зниження собівартості є закономірними в постійному еволюційному процесі розвитку й удосконалювання засобів вимірювань.

Механічні величини можна розділити на три основні групи:

- лінійні та кутові розміри, геометричні параметри площин;
- узагальнені сили, напруження, тиски, моменти сил;
- параметри руху — положення, швидкості та прискорення (лінійні та кутові).

Вимірювання проводять за допомогою різноманітних датчиків, що здійснюють функцію первинного елемента перетворення, що сприймає інформацію від об'єкта та перетворює її для передачі в канали інформаційно-вимірювальних систем. Якщо датчики будуть мати недостатню швидкодію, велику похибку, низьку надійність, то й уся система, незалежно від ступеня досконалості обчислювальних пристроїв, буде працювати незадовільно. Датчики — це джерела вихідної інформації, їхня похибка не може бути скорегована ніякими наступними пристроями.

Технічна досконалість датчиків механічних величин залежить від безлічі конструктивно-технологічних і схемотехнічних рішень. При цьому величезний потенціал закладено у питаннях реалізації пружного елемента, його фізико-механічних властивостях, конструкції та технології виготовлення. Тиск незмінно посідає перше місце серед усіх контрольованих параметрів, до того ж багато видів вимірювань базуються на перетворенні тисків (сила, рівень, витрата, переміщення та т. ін.).

Вимір нестационарних тисків і переміщень пред'являє низку особливих вимог до пружних елементів перетворювачів.

Пружний елемент повинен мати певні динамічні властивості, мати лінійну пружну характеристику та високу чутливість.

Від динамічних властивостей пружного елемента залежить одержання правильного запису швидкозмінних величин. Найважливішими параметрами, що характеризують якість системи, є власна частота коливань і величина сил опору коливальної системи. Однак найбільш повне уявлення про динамічні властивості коливальної системи можна одержати за допомогою амплітудно-частотної та фазочастотної характеристик.

7.1 Датчики кінцевих і проміжних положень (ДКП) переміщення об'єкта

Датчики кінцевих і проміжних положень (ДКП) переміщень об'єкта (вихідної механічної ланки ВМЗ) відносяться до датчиків положення і фіксують його бінарний стан «знаходиться / чи не знаходиться в даній точці простору». Такі датчики є невід'ємною частиною, наприклад, роботів з циклових управлінням.

Первинними перетворювачами ДКП найчастіше виступають елементи прямого електричного контакту, мікрореле, геркони, оптопари з відкритим оптичним каналом, індуктивні датчики, ємнісні датчики, датчики Холла і т. п. При організації взаємодії датчика з ВМЗ часто використовують механізми включення, приклад одного з них показаний на рис. 7.1 [17].

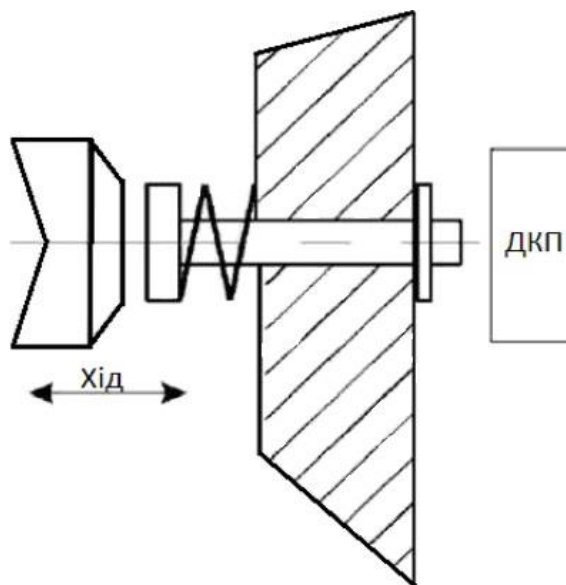


Рисунок 7.1 - Механізм включення ДКП

7.2 ДКП на основі елементів прямого електричного контакту

Такі датчики складаються з двох контактних елементів, виконаних з металів з високою провідністю і хорошою захищеністю контакту від окислення.

Один елемент встановлюється на рухомому об'єкті, другий - на іншому рухомому або нерухомому об'єкті. При збігу встановленого положення об'єктів контакти замикаються. Для надійності замикання контакти встановлюють на пружних елементах, які забезпечують необхідну силу підтискання контактів. При проектуванні датчиків прямого електричного контакту можна починати з вибору конструкції і матеріалів контактів.

Точкові контакти (рис. 7.2а) застосовують при малій потужності навантаження, приєднуючи плоский контакт до негативного полюса джерела живлення. Лінійні і площинні контакти (рис. 7.2 б,в) застосовують для комутації потужних сигналів.

Вимоги до матеріалу контактів: висока твердість і механічна міцність, стійкість до окислення, висока температура плавлення і випаровування, висока тепло - і електропровідність.

Найбільш вживані матеріали: мідь, срібло, платино - іридієві сплави,

вольфрам, платино - срібні сплави, срібло в сплаві з окисом кадмію.

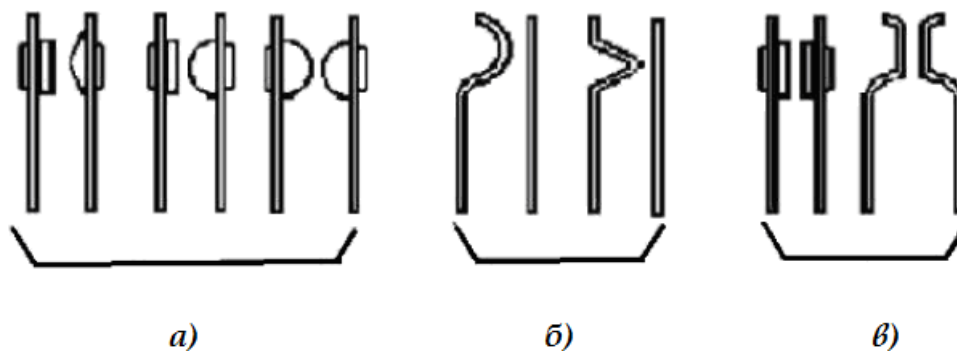
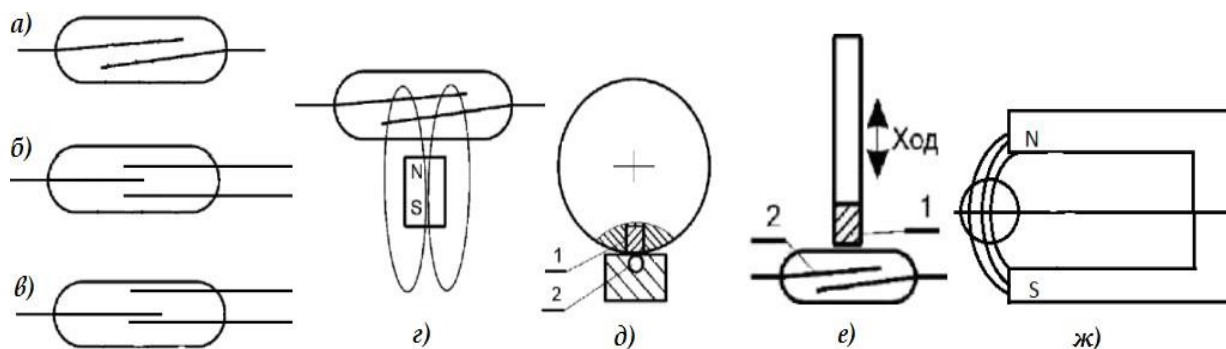


Рисунок 7.2 - Типи контактів: а) точкові; б) лінійні; в) площинні

7.3 Герметизовані контакти (геркони)

Герметизовані магнітокеровані контакти являють собою пластинки з пермаллоя, впаяні в колбу з вакуумом (див. рис. 7.3).



а – замикає з нормально розімкненим контактом; б – нейтральний з двома нормально розімкнутими контактами; в – переключачий з нормально замкнутим і нормально розімкненим контактами; г – схема впливу поля постійного магніту з контактами; д – схема визначення кутового положення диска; е – схема визначення кінцевого положення штока: 1 – магніт; 2 – геркон; ж – схема розміщення геркона і магніту з максимальним використанням магнітного потоку магніту

Рисунок 7.3 – Геркони

У відсутності магнітного поля пластинки розімкнуті/замкнуті, при появі магнітного поля вони замикаються/розмикаються. Контактні кінці пластинок покривають золотом, сріблом, родієм, змочують ртуттю.

Магнітне поле створюється постійним магнітом або електромагнітом. Таке конструктивне рішення забезпечує:

високу надійність комутації в будь-якому середовищі (кількість комутацій до 10⁹);

- високу швидкодію,
- вібростійкість,
- радіаційну стійкість;
- невелику вартість геркона;

хорошу технологічність монтажу.

Зазвичай геркон встановлюють на нерухомому об'єкті, а маленький постійний магніт – на рухомому. Геркон і магніт можна встановити на посадці з натягом або приклеїти.

7.4 Датчики Холла

Датчики Холла – це напівпровідникові прилади (пластинки або плівки), електричний потенціал на виході яких $i_x = K_H/g, nV$ є функцією індукції магнітного поля, в яке поміщений датчик.

Величина i_x – струм живлення датчика Холла, який визначається умовами включення і вихідний вольт + амперною характеристикою;

K_H – чутливість типового датчика при номінальному струмі живлення, $1Xn$;

B – індукція магнітного поля.

Датчик перетворює магнітну індукцію в вихідну напругу.

Ефект Холла застосовується для вимірювання напруженості магнітного поля.

Датчики, що використовують ефект Холла, відносяться до генераторних. Вони самі виробляють електричну напругу, що однозначно визначає характеристики вимірюваного магнітного поля. Ефект Холла має місце у всіх матеріалах, хоча і в різному ступені. Практично ж промислові датчики такого роду реалізують на базі напівпровідників.

Сутність ефекту Холла показана на рис 7.4 .

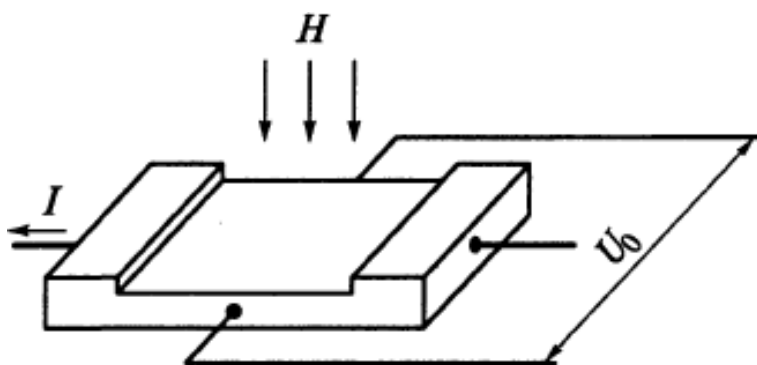


Рисунок 7.4 - Сутність ефекту Холла

Якщо пластина напівпровідника одиничної товщини поміщається в магнітне поле з напруженістю H , а вздовж неї тече струм величиною I і при цьому вектор напруженості електричного поля становить прямий кут з вектором напруженості магнітного поля, то на бічних гранях цієї пластини виникає різниця потенціалів U_0 , яка визначається виразом:

$$U_0 = K_H I H ,$$

де K_H - постійна Холла, яка залежить від концентрації вільних носіїв зарядів (електронів та іонів) в матеріалі пластини.

Для того щоб ефект Холла проявлявся в найбільшою мірою, товщина пластини перетворювача повинна бути найменшою. Як напівпровідникові матеріали для пластин датчиків, що використовують ефект Холла, застосовуються зазвичай арсенід індію і фосфід-арсенід індію. Фосфід- арсенід індію використовується при високих температурах.

Область застосування: в якості первинного вимірювального перетворювача в приладах для виміру магнітної індукції і в пристроях для вимірювання лінійних і кутових переміщень.

Датчики Холла випускаються у вигляді мікросхем в прямокутному пластмасовому корпусі, який при монтажі може приклеюватися. Приклад датчика Холла показаний на рис. 7.5.

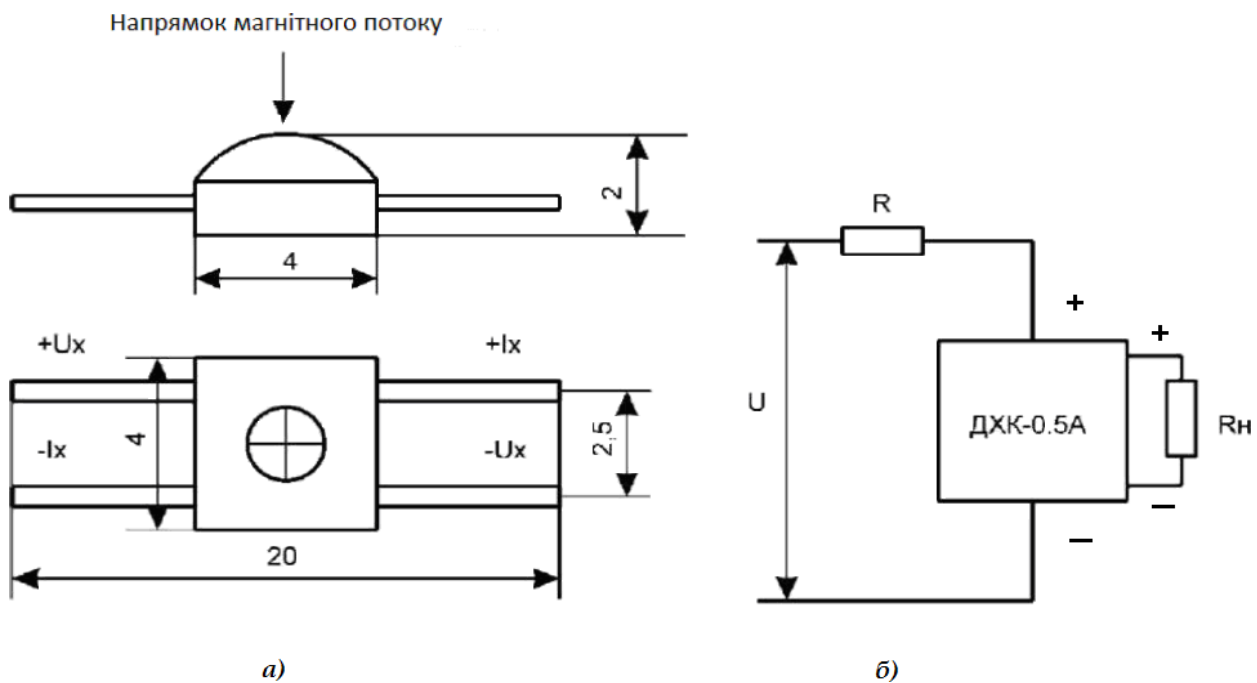


Рисунок 7.5 - Датчики Холла ДХК-0,5А: а) загальний вигляд; б) схема включення

ЛЕКЦІЯ 8 на тему: ДАТЧИКИ МЕХАНІЧНИХ ВЕЛИЧИН (ІНДУКТИВНІ, ЄМНІСНІ, ПОТЕНЦІОМЕТРИЧНІ ТА ІМПУЛЬСНІ)

8.1 Датчики наближення

Датчики наближення формують сигнал логічної одиниці при попаданні рухомого ланки в зону дії датчика. Форма зони дії може бути різною, але повинна враховувати число ступенів свободи рухомого ланки і їх тип. Датчики наближення можуть застосовуватися як типові, так і вбудовуються в конструкцію.

1. Індуктивні датчики наближення – твердотільні датчики, що не включають до свого складу механічні частини. Вони працюють на високій частоті магнітного поля для виявлення перешкоди з феромагнетика або кольорового металу на відстані від одиниць до десятків мм.

Підключення до цифрового контролера виконується ланцюжком перетворювачів:

«міст Уінстона (детектор) – фільтр низьких частот – підсилювач (якщо потрібно) – компаратор – порт введення бінарних сигналів» при детектуванні точки в зоні або «міст Уінстона (детектор) – фільтр низьких частот – підсилювач (якщо потрібно) – АЦП» при детектуванні зони.

2. Ємнісні датчики визначають перепони з електрично проводячих, непровідних матеріалів, паперу, порошків, рідин і т.д. Датчик спрацьовує при наближенні до об'єкту в зоні від одиниць до десятків міліметрів. Датчик має активну поверхню, що складається з двох електрично ізольованих частин, що складають електричну ємність (відкритий конденсатор). При попаданні тіл в поле дії цього конденсатора його ємність змінюється, і формується сигнал логічної одиниці.

Підключення до цифрового контролера виконується ланцюжком перетворювачів:

«міст Уінстона (детектор) – фільтр низьких частот – підсилювач (якщо потрібно) – компаратор – порт введення бінарних сигналів» при детектуванні точки в зоні або «міст Уінстона (детектор) – фільтр низьких частот – підсилювач (якщо потрібно) – АЦП» при детектуванні зони.

3. Фотоелектричні датчики наближення працюють на принципі зміни одержуваної світлової енергії. Випромінюється потік світлової енергії переривається або відбивається наближаються предметами. Залежно від типу датчика використовується переривання світлового потоку, його відображення чи розсіювання. Перешкоди залежно від якості їх поверхонь і типу датчика виявляються на відстані від десятків до сотень міліметрів. Для підвищення надійності.

Оптодатчики застосовують інфрачервоні світлові потоки та (або) їх модуляцію, поляризоване світло.

Підключення ДКП на основі фотоприймача до цифрового контролера виконується ланцюжком перетворювачів:

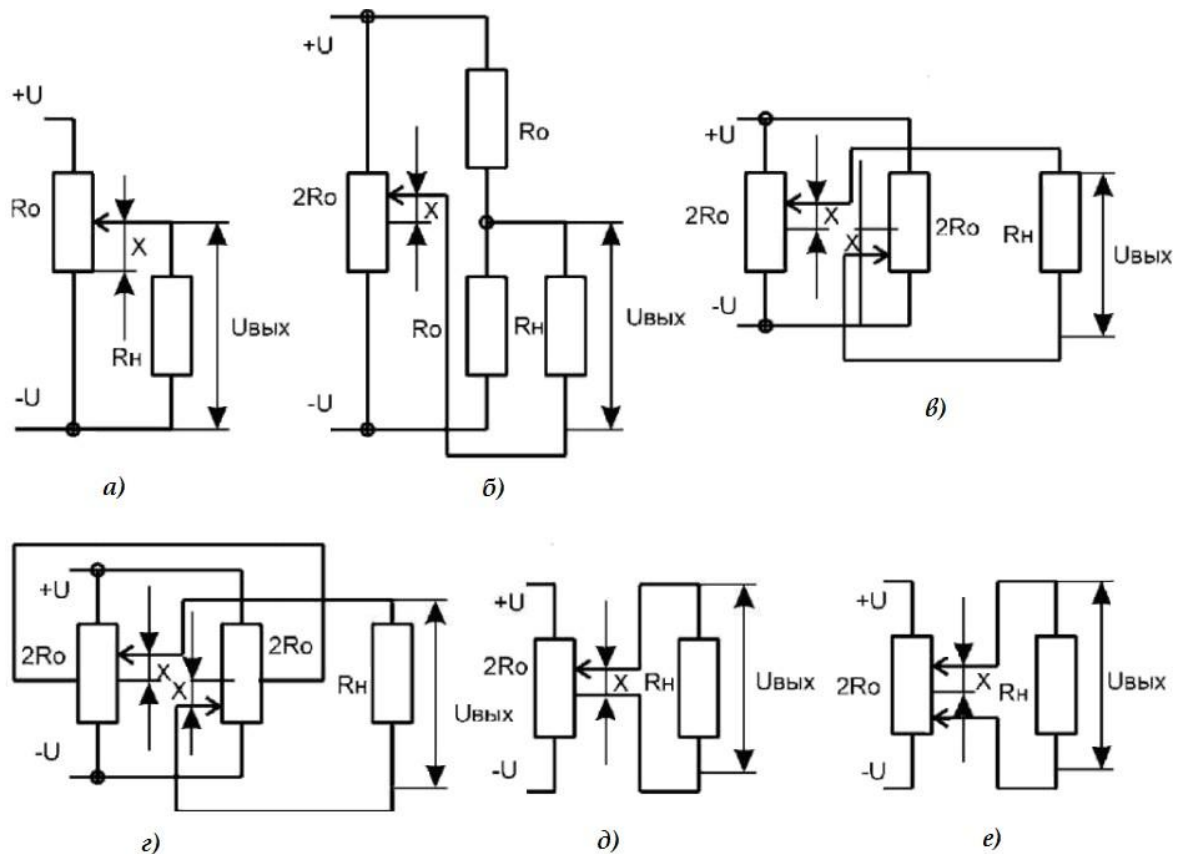
«фотоприймач – підтягуючий резистор (якщо потрібно) або підсилювач потужності (якщо потрібно) – компаратор – порт введення бінарних сигналів» при детектуванні точки в зоні або «фотоприймач – підтягуючий резистор (якщо

потрібно) або підсилювач потужності (якщо потрібно) – підсилювач (якщо потрібно) – АЦП» при детектуванні зони.

4. Ультразвукові датчики наближення складаються з передавача і приймача. Передавач посилає ультразвуковий промінь, а приймач приймає прямий або відбитий промінь. Ослаблення потужності звукового променя свідчить про наявність перешкоди. При появі перешкоди відбувається спрацювання датчика. Ультразвукові датчики мають зону спрацювання, залежну тільки від потужності випромінювача і чутливості приймача, яка може досягати одиниць метрів. Ультразвукові датчики підключаються до цифрового контролера за рекомендаціями Виробника.

8.2 Потенціометричні датчики переміщень

Розрізняють **потенціометричні датчики лінійних і кутових переміщень**. Застосовують кілька схем включення потенціометрів (рис. 8.1). За типом матеріалу і конструкції розрізняють мастичні, плівкові і дротяні потенціометри.



а) типове; б) мостове з постійними резисторами; в) мостове з двома постійними резисторами; г) мостове з двома постійними резисторами, з додатковими виходами; д) для потенціометра з додатковим середнім виходом; е) типове для потенціометра з двома зв'язаними повзунками

Рисунок 8.1 - Схеми включення потенціометрів

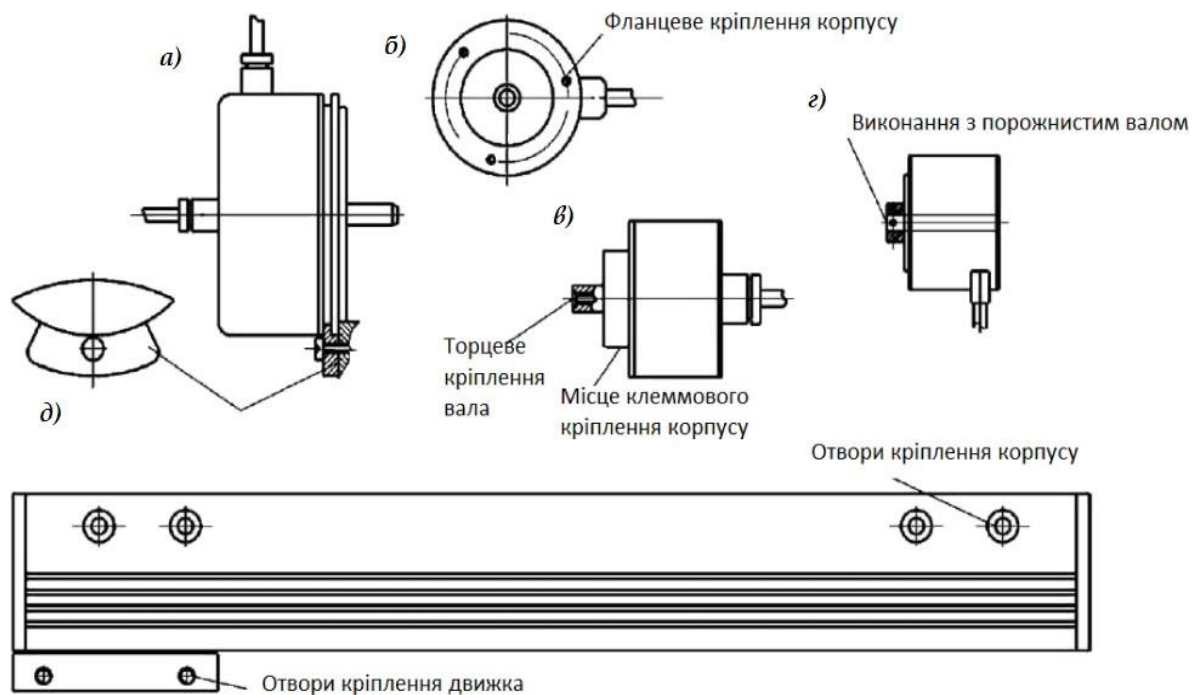
Потенціометри як елементи мають багато недоліків: обмежену шкалу, низьку роздільну здатність, великий простір, залежність від стабільності живлення, помилку послідовності, істотне зусилля рушання і тертя, але є області застосування потенціометрів, де недорогий альтернативи для них немає, наприклад, в умовах радіоактивності.

Інкрементальні цифрові датчики відображають вимірюється становище кількістю імпульсів, які потім підраховуються з урахуванням напрямку переміщення. Датчики цього типу мало схильні дестабілізуючим чинникам навколишнього середовища, мають велику довговічність, дуже високу точність, але й відносно високу вартість. Їх застосування виправдовується там, де потрібні точність і надійність.

Імпульсні датчики переміщень формують на свій вихід послідовності імпульсів напруги електричного струму, параметри яких (сума імпульсів, фазовий зсув, частота) або їх комбінація дозволяють оцінити спостережувані змінні. Імпульси формуються за рахунок модуляції потоків енергії - світловий, електромагнітної і т. п. - і перетворення сигналів приймачів цієї енергії в електричні імпульси.

Імпульсні датчики, як правило, мають відносну шкалу відліку, і при запуску приводу з таким датчиком застосовують алгоритми базування за сигналами датчиків кінцевих положень або референтним шкалами.

Імпульсні датчики використовуються у вигляді типових комплектуючих блоків (енкодери, лінійні датчики) або вбудовуються подетально в конструкцію мехатронного пристрою. Приклади компоновальних рішень типових імпульсних датчиків і способів їх кріплення наведено на рис. 8.2.



а, б, в, г) перетворювач кутового переміщення; д) перетворювач лінійного переміщення

Рисунок 8.2 - Типові імпульсні датчики

Лазерні датчики лінійних переміщень – це відносно новий клас перетворювачів, що вважається досить перспективним. Лазерні датчики будуються за принципом вимірювання зсуву фаз випромінюваного сигналу лазерного променя і сигналу лазерного променя, відбитого від мішені, відстань до якої вимірюється. Лазерні датчики лінійних і кутових переміщень будуються також за принципом запису на рухомому щодо зчитувача шкалу цифрового коду так, як це робиться, наприклад, на CD дисках.

Параметри вибору лазерних датчиків: спосіб вимірювання переміщень, діапазон вимірюваних переміщень, ціна розподілу шкали, тип вихідного сигналу (аналоговий або цифровий), тип коду для цифрового сигналу (паралельний або послідовний), тип інтерфейсу, рівень вихідних сигналів, гранична швидкість зсуву, напруга живлення, споживана потужність, спосіб кріплення датчика, ОТП.

Введення даних в контролер від лазерних датчиків переміщення здійснюється, як правило, через послідовні або паралельні порти.

Індуктивні датчики переміщень в якості активного елементу використовують змінну індуктивність або взаємну індуктивність. Якщо рухомим елементом є феромагнітний сердечник, то його переміщення проявляється у зміні коефіцієнта самоіндукції котушки (змінна індуктивність) або в зміні коефіцієнта зв'язку між первинною і вторинною обмотками трансформатора (диференційний трансформатор), що призводить до зміни вторинної напруги.

У трансформаторі зі змінним зв'язком одна обмотка може обертатися щодо іншої. Первинна обмотка утворює індуктор, а вторинна обмотка з наведеним струмом дає напругу у функції кута обертання. Індуктивні датчики підключаються в ланцюг, живляться джерелом синусоїдальної напруги з частотою декількох кГц і можуть вимірювати безпосередньо лінійне або кутове переміщення. Індуктивні датчики, з одного боку, чутливі до зовнішніх електромагнітних полів, а з іншого – здатні самі їх індукувати. Тому їх необхідно екранувати.

Переваги індуктивних датчиків: слабка залежність від атмосферних умов, придатність до використання в умовах надзвичайно агресивного середовища; значний час напрацювання на відмову; хороша точність і лінійність.

Недоліки індуктивних датчиків: відносно висока вартість як перетворювача, так і каналу введення даних; складність точної обробки знімаються сигналів; потреба живлення стабільним синусоїдальною напругою.

Індуктивні датчики переміщень випускаються серійно у вигляді готових елементів, які залежно від конструкції і способу перетворення вхідного сигналу називаються **сельсинами, синус-косинусними трансформаторами, індуктосинами, респансинами, резольверами.**

Параметри вибору типових індуктивних датчиків переміщення: напруга живлення, частота живлячої напруги, число фаз живлячої напруги, діапазон виміру, максимальна допустима похибка, роздільна здатність, лінійність, вхідний опір по всіх входів, вихідний опір, спосіб кріплення корпусу і вхідного валу, ОТП. Не зважаючи на відносну простоту технології виготовлення індуктивних датчиків іноді стає технічно і економічно обґрунтованим застосування нетипових вбудованих датчиків (рис. 8.3).

Принцип дії магніторезисторів заснований на зміні електричного опору під впливом магнітного поля. Це дозволяє будувати на їх базі датчики обертання і лінійного переміщення, безконтактні потенціометри збільшень і абсолютних величин (рис. 8.4).

Особливістю магніторезисторів є те, що перетворювач можна помістити на великій відстані від рухомого об'єкту з джерелом магнітного поля. Крім того, такі датчики високошвидкісні.

Магніторезистори використовують як частину бруківки резистивної схеми. Напряга холостого ходу моста визначається виразом

$$U_m = K_0 UB$$

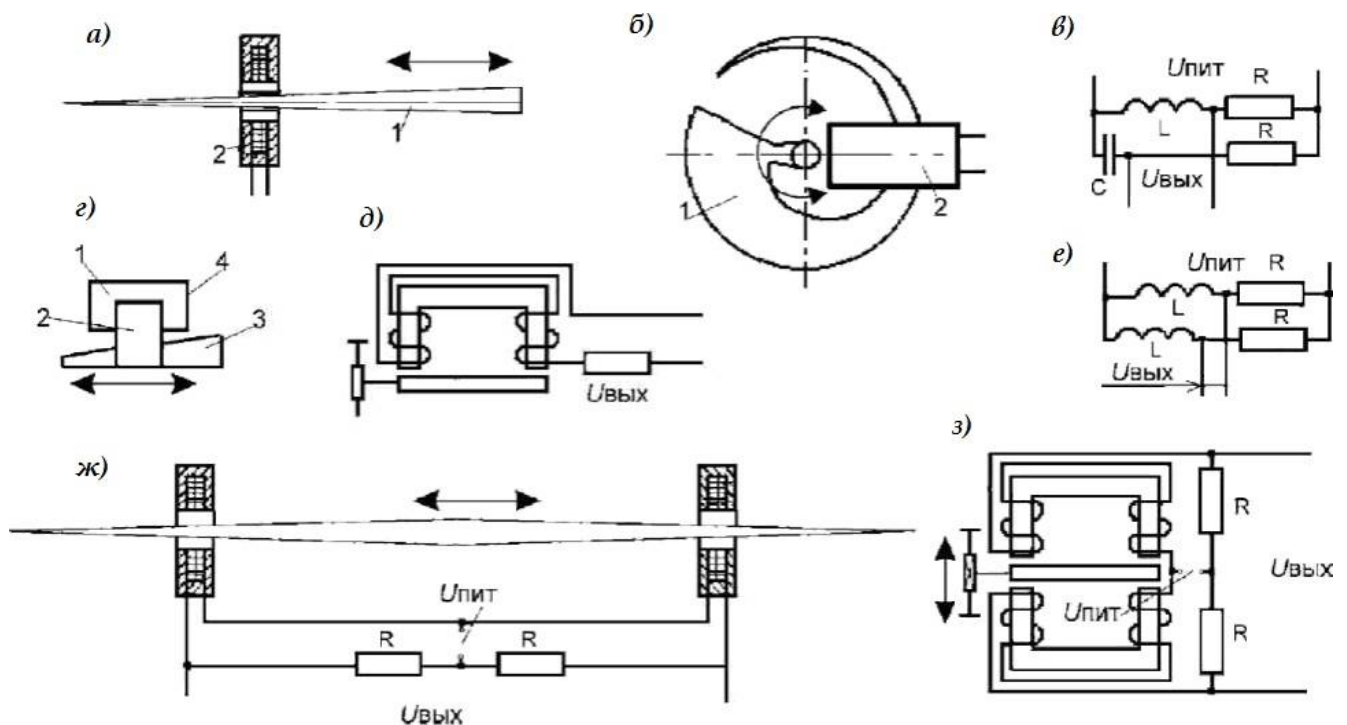
де: K_0 – чутливість моста;

U – напруга живлення моста;

B – індукція в чутливій зоні.

Магніторезистори найчастіше випускаються у вигляді мікросхем мостів, деякі з них мають ще й підсилювач вихідного сигналу.

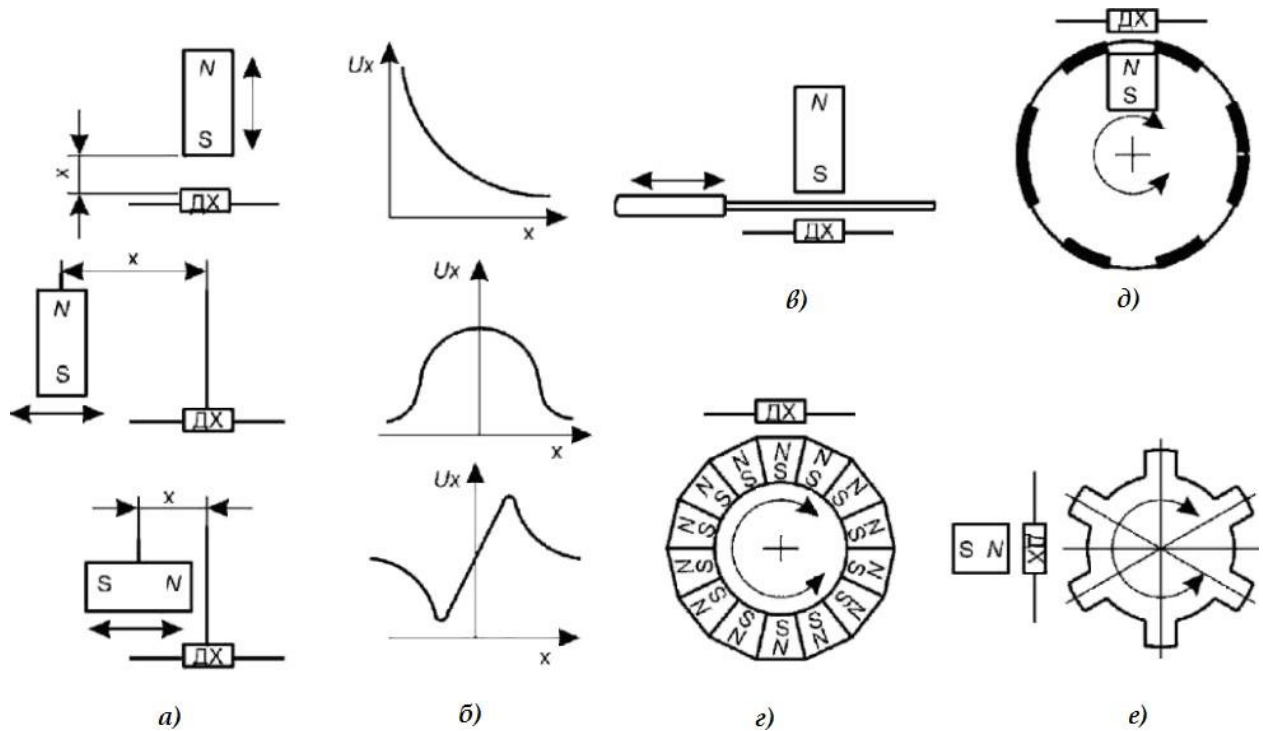
Ємнісні датчики представляють собою плоский або циліндричний конденсатор, одна з обкладок якого відчуває вимірюване переміщення, викликаючи зміну ємності. Вони простоті, що дозволяє створювати міцні і надійні конструкції.



а) датчик лінійних переміщень плунжерного типу: 1 – вхідний елемент (сердечник перемінного перерізу), 2 – котушка; б) датчик кутових переміщень плунжерного типу: 1 – вхідний елемент, 2 – котушка; в) мостова схема виділення сигналу з реактивною ємністю; г) датчик лінійних переміщень щілинного типу: 1 – обмотка, 2 – сердечник зі щілиною, 3 – вхідний елемент (рухома вставка), 4 – кришка обмотки; д) датчик лінійних переміщень з плоско-паралельним зазором; е) мостова схема виділення сигналу з реактивною індуктивністю; ж) диференціальний двоактний датчик з роздільними котушками; з) диференціальний двоактний датчик з роздільними магнітопроводами

Рисунок 8.3 - Схеми переміщень індуктивних датчиків

Діелектриком зазвичай служить повітря, так що параметри конденсатора залежать тільки від геометричних характеристик і не залежать від властивостей використовуваних матеріалів. Якщо матеріали правильно підібрані, то можна зробити дуже незначним вплив температури на зміни площі поверхні і відстані між обкладинками. З іншого боку, необхідно захищати датчик від тих факторів навколишнього середовища, які можуть погіршити ізоляцію між обкладинками: від пилу, вологості, корозії, іонізуючої радіації.



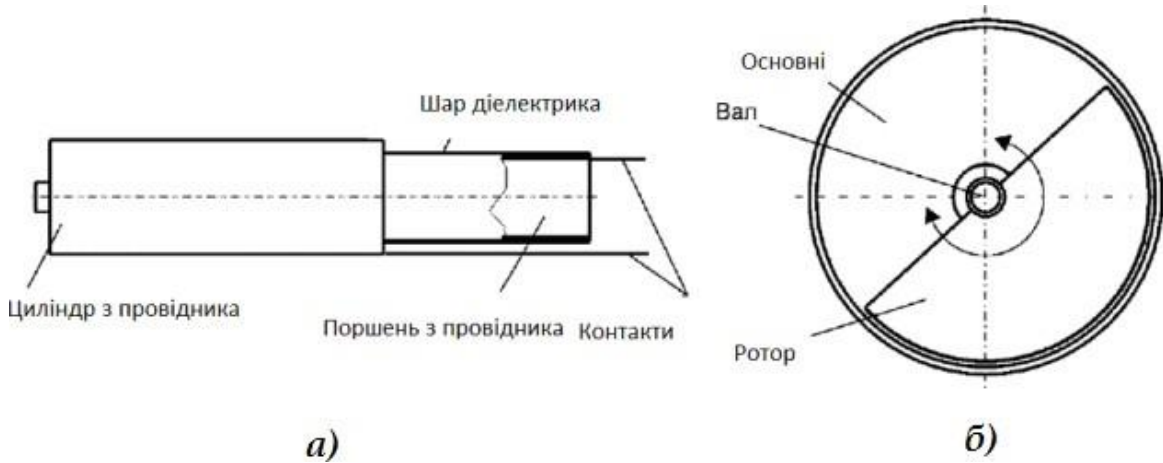
а) схеми розміщення збудника щодо ДХ; б) характеристики перетворювачів; в-е) конструктивні схеми датчиків

Рисунок 8.4 - Схеми застосування елементів Холла в датчиках переміщення

Для живлення ємнісних датчиків переміщень використовується змінна біполярна напруга високої частоти. Чим вище частота, тим менше розміри чутливого елемента – конденсатора зі змінними параметрами.

Ємнісні датчики переміщень випускаються у вигляді типових комплектуючих або вбудовують в МУ, об'єднуючи деталі датчика і елементи МУ.

В даний час випускаються типові ємнісні датчики малих лінійних переміщень, що охоплюють діапазон вимірювань від десятків мікрон до десятків міліметрів. Конструктивно лінійні датчики являють собою циліндричний конденсатор з однією з обкладок, що переміщується уздовж осі, виконаний як циліндр з ходовим поршнем (рис. 8.5).



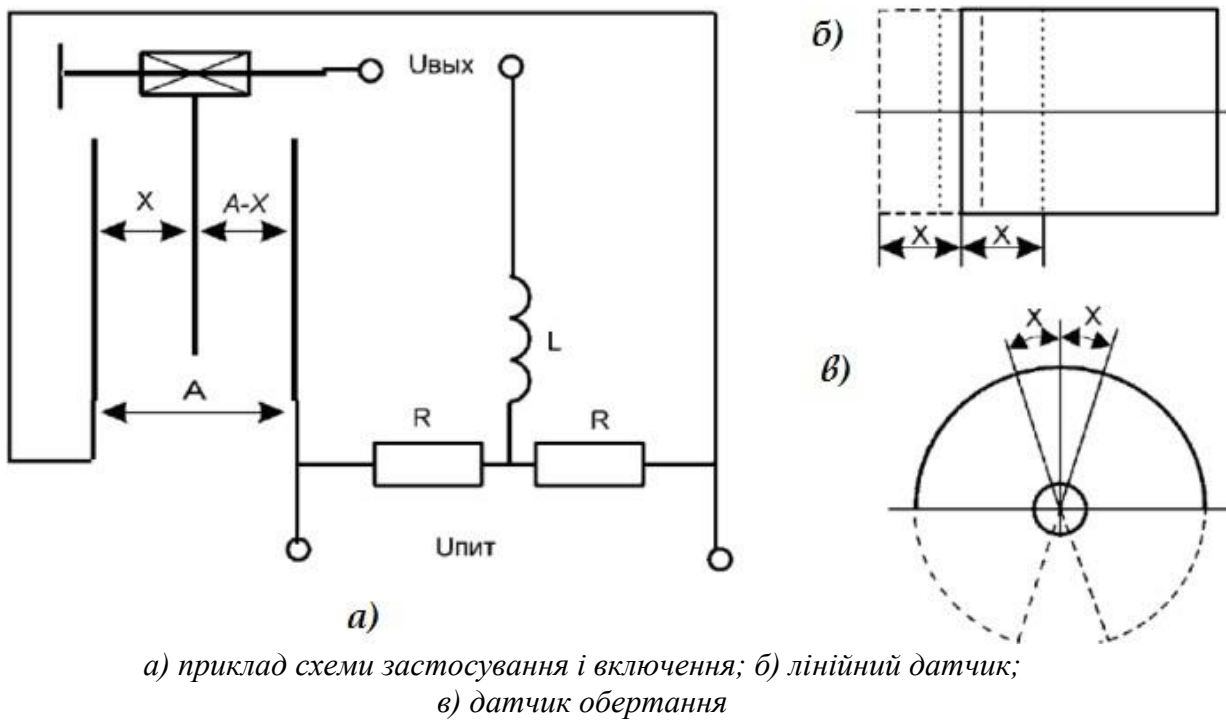
а) лінійного; б) кутового

Рисунок 8.5 - Конструкції типових ємнісних датчиків [17]

Датчики вимірювання кута виконують у вигляді пелюсток, що перекривають один одного при обертанні.

Параметри вибору типових об'ємних датчиків: діапазон вимірювання, мм, радий; основна похибка відносна, %; діапазон робочих температур, °C; додаткова температурна похибка нуля і шкали, % / °C; смуга пропускання, Гц; мінімальна і максимальна довжина датчика в робочому положенні, мм; вага рухомої частини датчика, кг; ОТП.

Схемні і конструвальні рішення об'ємних датчиків можуть мати найрізноманітніші рішення, одне з яких представлено на рис. 8.6.



а) приклад схеми застосування і включення; б) лінійний датчик; в) датчик обертання

Рисунок 8.6 - Об'ємні датчики

Властивості об'ємних датчиків: велика потужність і рівень напруги вихідного сигналу, незалежність від температури і радіації.

Недоліки об'ємних датчиків: істотна нелінійність, малі діапазони вимірювань, живлення змінним струмом, залежність від паразитних ємностей монтажу, великі розміри чутливих елементів, необхідність в індуктивному реакторі.

Виходом датчика є амплітудно-модульований сигнал, який необхідно детектувати і через АЦП вводити в процесор.

Датчики нахилу, на відміну від датчиків кутового положення, вимірюють відхилення в системі координат, пов'язаної із землею, а точніше, з гравітаційним полем землі. До таких датчиків належать насамперед **гіроскопічні датчики і рідинні інклінометри**.

ЛЕКЦІЯ 9 на тему: ГІРОСКОПІЧНИЙ ДАТЧИК

Гіроскопи – це прилади, що дозволяють відраховувати напрямки в просторі відносно вихідного заданого напрямку, стабілізувати положення об'єкта в просторі. Вони використовуються для навігації, орієнтації, цілевказання та ін.

Гіроскоп (Gyroscope). Альтернативою акселерометра є гіроскоп. Він також є інерційним датчиком. Його назва походить від двох давньогрецьких слів: γῦρος – «коло» і σκοπέω – «дивлюся».

Гіроскоп – це пристрій, який здатний реагувати на зміну кутів повороту навколо трьох осей координат X , Y , Z , при цьому відстеження переміщення відбувається відносно трьох площин одночасно. Гіроскоп дозволяє визначити орієнтацію пристрою в просторі і пов'язує ці дані з віртуальним світом.

Гіроскопічний датчик кутових переміщень використовує властивість гіроскопа з трьома ступенями свободи зберігати незмінним положення осі власного обертання в просторі. Гіроскоп визначає кути відхилення в системі координат, пов'язаної з гравітаційним полем.

У техніці вимірювання переміщень і швидкостей переміщень застосовуються такі типи гіроскопічних датчиків: електромеханічні, оптичні (лазерні), волокнисті оптичні, хвильові твердотільні, квантові, п'єзокерамічні (п'єзоелектричні): у формі тригранної призми, біморфний.

Електромеханічний гіроскоп – це прилад, основним елементом якого є швидко обертається ротор, закріплений так, що вісь його обертання може повертатися. Три ступені свободи (осі можливого обертання) ротора гіроскопа забезпечуються двома рамками карданова підвісу (карданного підвісу, кардана). Якщо на такий пристрій не діють зовнішні збурення, то вісь власного обертання ротора зберігає постійний напрям в просторі. Якщо ж на нього діє момент зовнішньої сили, що прагне повернути вісь власного обертання, то вона починає обертатися не навколо напрямки моменту, а навколо осі, перпендикулярної йому (ефект прецесії). У добре збалансованому (астатичному нестійкий) і досить швидко обертається гіроскопі, встановленому на довершених підшипниках з незначним тертям, момент зовнішніх сил практично відсутня, так що гіроскоп довго зберігає майже незмінною свою орієнтацію в просторі. Тому він може вказувати кут повороту підстави. Якщо ж поворот осі гіроскопа обмежити пружиною, то при відповідній установці його, скажімо, на рухомій платформі, яка виконує розворот, гіроскоп буде деформувати пружину, поки не урівноважиться момент зовнішньої сили.

Параметри вибору електромеханічних гіроскопів: кількість вимірюваних змінних; похибка вимірювання, радий; час готовності, хв; крутизна статичної характеристики, мВ/град; тип вихідного сигналу (аналоговий, цифровий); вихідна напруга, В; вихідний опір, Ом; рід струму живлення (змінний з числом фаз і частотою, постійний); напруга, В; ресурс, год; ОТП.

Відцентрові датчики використовують вимір відцентрової сили як функції кутової швидкості обертання тіла. Чутливим елементом зазвичай служить підпружинене тіло, що переміщається в радіальному каналі обертового ланки. Величина його переміщення є функцією кутової швидкості. Джерела похибок – втрати на тертя, нестабільність і нелінійність пружних елементів, роздільна здатність вимірників переміщення. Істотний недолік - складність виведення інформаційного сигналу в нерухому частину пристрою, відносно висока похибка вимірювання. Спосіб перетворення вихідного сигналу пов'язаний зі способом виміру відцентрової сили. Якщо застосовуються динамометри на властивостях закону Гука, то тип вихідного сигналу пов'язаний зі способом вимірювання положення підпружиненого тіла, якщо відцентрова сила вимірюється тензомостом, то введення сигналу реалізується АЦП.

Гіроскопічні датчики в режимі вимірювання швидкості можуть виявитися ефективним засобом вимірювання швидкості.

Існують різні типи гіроскопів: з обертовою механічною масою, лазерні, мікромеханічні з коливними рамками, з вібруючим кільцем.

До переваг мікрогіроскопів коливального типу (МГКТ) можна віднести наступне:

- можливість мікрвиконання електронної та механічної підсистем приладу;
- досить високу точність вимірювання кутових параметрів;
- можливість групового виготовлення пристроїв;
- висока надійність, можливість резервування.

Механічні системи мікрогіроскопів коливального типу (рис. 9.1) містять декілька рухомих рамок (2 або 3), які можуть коливатися у взаємно перпендикулярних площинах. Коливання в одній площині є змушеними, визначають вихідний напрямок. Коливання, що наводяться, в інших площинах з'являються тоді, коли гіроскоп повертається відносно вихідного напрямку.

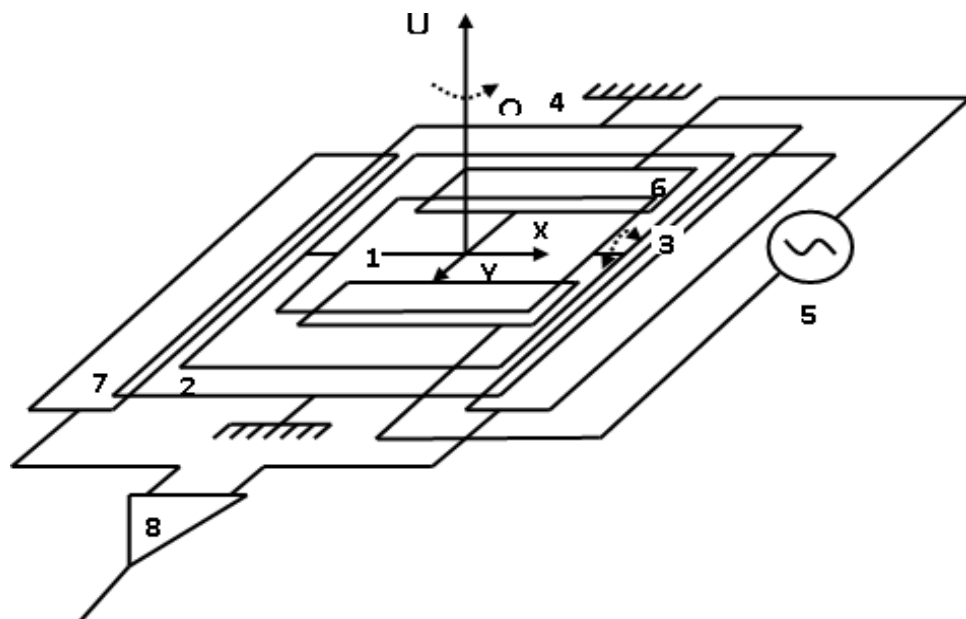


Рисунок 9.1 - Структурна схема МГКТ

МГКТ містить внутрішню коливальну систему 1 і зовнішню рамку 2. Між собою вони з'єднані за допомогою пружних торсіонів 3. Зовнішня рамка з'єднана

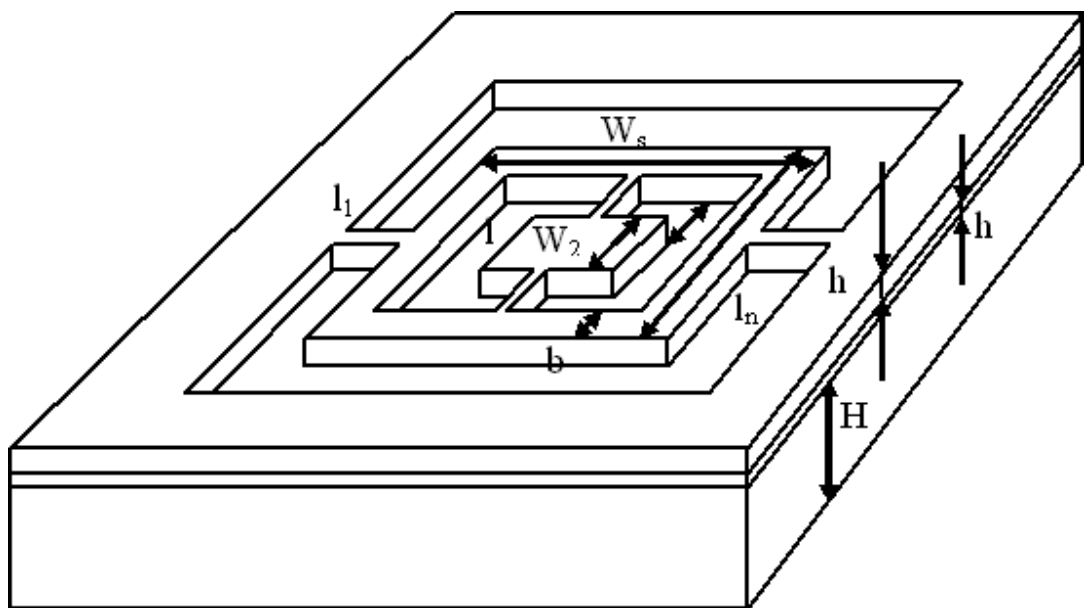
з нерухомою опорою за допомогою аналогічних пружних торсіонів

4. Зовнішня рамка та внутрішня коливальна система електрично з'єднані між собою та підключені до нульової шини. Внутрішня коливальна система може здійснювати змушені коливання відносно осі X під впливом генератора гармонійних коливань 5 і системи обкладин 6, які разом із внутрішньою коливальною системою утворюють плоский конденсатор. У випадку обертання системи навколо осі Z зовнішня рамка буде здійснювати коливання відносно осі Y , амплітуда яких є функцією кутової швидкості Ω та частоти коливань внутрішньої коливальної системи. Інформація про кутову швидкість знімається за допомогою обкладин 7 (що утворюють із зовнішньою рамкою плоский конденсатор) і пристрою обробки інформації 8.

Приклад технічних характеристик гіроскопа:

Габарити коливальної системи, мм.....	5-10
Точність виготовлення деталей, мкм.....	1-2
Довжина торсіона, мкм.....	50
Висота рамок, мкм.....	50
Дрейф гіроскопа, угл. град/год.....	<1
Максимальна вимірювана кутова швидкість, угл. град/с.....	200
Похибка вимірювань кутової швидкості, %.....	0,05

Конструкція МГКТ і її конструктивні елементи представлені на рис. 9.2.



l_1 – довжина внутрішньої рамки; W_b – ширина внутрішньої рамки;
 l_n – довжина зовнішньої рамки; W_s – ширина зовнішньої рамки; h – товщина SiO_2 ;
 H – товщина базової підкладки; b – товщина; l_2 – довжина торсіона

Рисунок 9.2 - Конструкція МГКТ

9.1 Гіроскоп з вібруючим кільцем

Гіроскопам з вібруючим кільцем в останні роки приділяється досить багато уваги через можливість широкого застосування цих мініатюрних пристроїв для різних цілей. Вони можуть використовуватися разом з МЕМС- акселерометрами для одержання інформації керування в інерційній навігації або самостійно для вимірювання параметрів обертання, наприклад, у системах контролю та стабілізації траєкторії, виявлення перенавантажень.

До побутових застосувань можна віднести стабілізацію кадру в цифрових відеокамерах і інерційних «мишах» комп'ютерів, у роботах. Існують великі області використання у військових застосуваннях, таких як супровід космічних апаратів і стабілізація платформ, пристроїв вимірювання крену в автоматичних пристроях з роздільною здатністю та стабільністю на рівні 0,5 град/с. Однак у багатьох застосуваннях потрібні більш досконалі гіроскопи, наприклад, інерційна навігація та супровід космічних апаратів. Досягнення довгострокової стабільності кращої за 1-10 град/год і більш високої точності в широкому діапазоні частот (0-100 Гц) вимагає використання нових технологій для створення гіроскопів, зокрема технологій МЕМС.

Гіроскоп з вібруючим кільцем представлений на рис. 9.3.

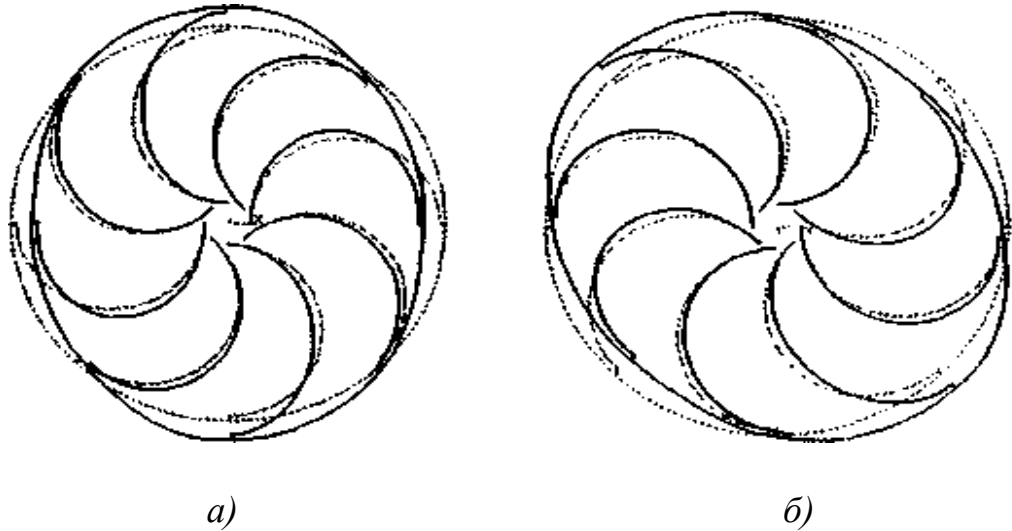


Рисунок 9.3 - Структура гіроскопа з вібруючим кільцем

Він складається з кільця, восьми підтримуючих пружин у вигляді півкіл і електродів збудження, вимірювання та керування. Міркування симетрії вимагають використання, принаймні, восьми підтримуючих у збалансованому пристрої із двома модами коливань однакової частоти ідентичної еліптичної форми, зсунутих одна відносно іншої на 45° . Як показано на рис. 9.3, антивузли другої коливальної моди (тобто напрямках, у яких амплітуда коливань найбільша) розміщені у вузлах коливань першої моди. У кільці електростатично збуджуються коливання першої моди з фіксованою амплітудою. Якщо пристрій повертається навколо перпендикулярної осі, то сила Кориоліса викликає передачу енергії від першої моди коливань до другої, розташованої під кутом 45° від першої, викликаючи коливання, амплітуда яких пропорційна до другої моди (рис. 9.4). Ця структура управляється за допомогою ємнісного способу. Амплітуда другої моди при

розімкнутій петлі (розімкнутому контури) вимірюваної моди ($q_{вим}$) пропорційна до кутової швидкості.

Коефіцієнт дуже стабільний у відношенні температури та часу життя пристрою.



a – перша мода; b – друга мода, зсунута на 45° відносно першої, з однаковими резонансними частотами

Рисунок 9.4 - Моди коливань згину, що використовуються для функціонування гіроскопа з вібруючим кільцем

Вібруюче кільце має низку важливих властивостей у порівнянні з іншими типами вібраційних гіроскопів.

Перше, це *збалансована симетрична структура*, що забезпечує меншу чутливість до випадкових зовнішніх коливань. Тільки якщо кільце має асиметрію маси або жорсткості, зовнішні коливання наводять помилкові коливання системи.

Друге, оскільки використовуються *ідентичні коливальні структури* з рівними резонансними частотами для порушення та виявлення обертання, чутливість датчика збільшується в Q раз.

В-третьє, вібруюче кільце менш чутливе до температури, тому що обидві моди коливань підпадають під дію однієї й тієї ж температури.

Нарешті, є можливим *електронне підстроювання в конструкції*. Будь-які розбіжності резонансних частот збудження та вимірювань, викликаних процесами виробництва (розходженням мас або асиметрії жорсткостей), можуть бути скомпенсовані електрично за допомогою використання підстроювальних електродів, які розташовані навколо кільця під різними кутами до збуджувальних електродів.

Гіроскоп може бути виготовлений за допомогою різних методів:

- у товстому шарі фоторезистора ПММА з нікелевими провідними компонентами, розміщеними на кремнієвій підкладці;
- за допомогою реактивно-іонного травлення монокремнієвої підкладки з коливальною системою в ній і зміцнення структури шляхом анодного зварювання зі скляною підтримуючою підкладкою (ф. British Aerospace Systems and Equipment), що забезпечує високу добротність коливальної системи, але має анізотропію модуля Юнга, що властиво для монокремнію, асиметрію механічних властивостей кільця (модуль Юнга для кремнію змінюється залежно від кристалографічної орієнтації пропорційно « $\cos 4\theta$ »);
- з використанням HARPSS MEMS технологій.

Відповідно до цієї технології вібруюче кільце та підтримуючі пружини створені додатковим шаром полікремнію, нанесеного на жертвний шар оксиду кремнію, який отриманий за методом LPCVD (лазерного стимульованого осадження з газової фази).

Кожен із чутливих електродів з острівця монокристалічного кремнію з низьким опором, що захищений з боків глибокими заповненими пазами та від'єднаними на дні від підкладки за допомогою сухого травлення SF_6 , що повністю виконане під час глибокого реактивно-іонного травлення (DRIE). Острівці монокристалічного кремнію повністю закріплені на підтримуючому шарі полікремнію, що прикріплений через нітридний шар до підкладки. Полікремнієве кільце закріплене віссю на підкладці та підтримується за допомогою пружин, розташованих над порожниною, отриманою під час травлення кремнієвої підкладки за допомогою SF_6 , у процесі DRIE.

На рис. 9.5 наведена фотографія полікремнієвого кільцевого гіроскопа з розмірами $1,7 \times 1,7$ мм², отримана за допомогою скануючого електронного мікроскопа. Кільце діаметром 1,1 мм, діаметр опори (осі) 120 мкм. Ширина кільця та підтримуючих пружин дорівнює 4 мкм. Шістнадцять електродів розташовані навколо кільця; їхні розміри приблизно 60 мкм за висотою та 150 мкм за довжиною та відділені від кільця ємнісним повітряним проміжком 1,4 мкм.

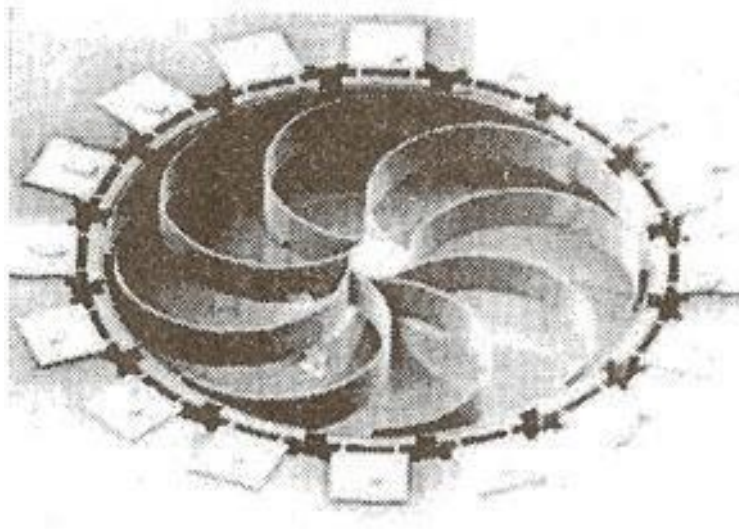


Рисунок 9.5 - Гіроскоп з вібруючим кільцем $1,7 \times 1,7$ мм, ширина кільця 80 мкм, діаметр 1,1 мм, діаметр осі-анкера 120 мкм

Технологія забезпечує декілька важливих характеристик, що необхідні для MEMS гіроскопів високої якості.

По-перше, вона дозволяє одержати полікремнієве кільце та електроди, що його оточують, товщиною в сотні мкм у процесі DRIE.

По-друге, оскільки проміжок між кільцем і вимірювальним електродом визначається за товщиною жертвовного шару, він може бути зменшений до субмікронного рівня. Ці два фактори разом будуть істотно збільшувати ємність зв'язку, а отже й вихідний сигнал.

По-третє, конструкційним матеріалом є полікремній, що має високу добротність і незалежний від орієнтації модуль Юнга.

По-четверте, повністю кремнієва технологія поліпшує довгострокову стабільність і температурну чутливість.

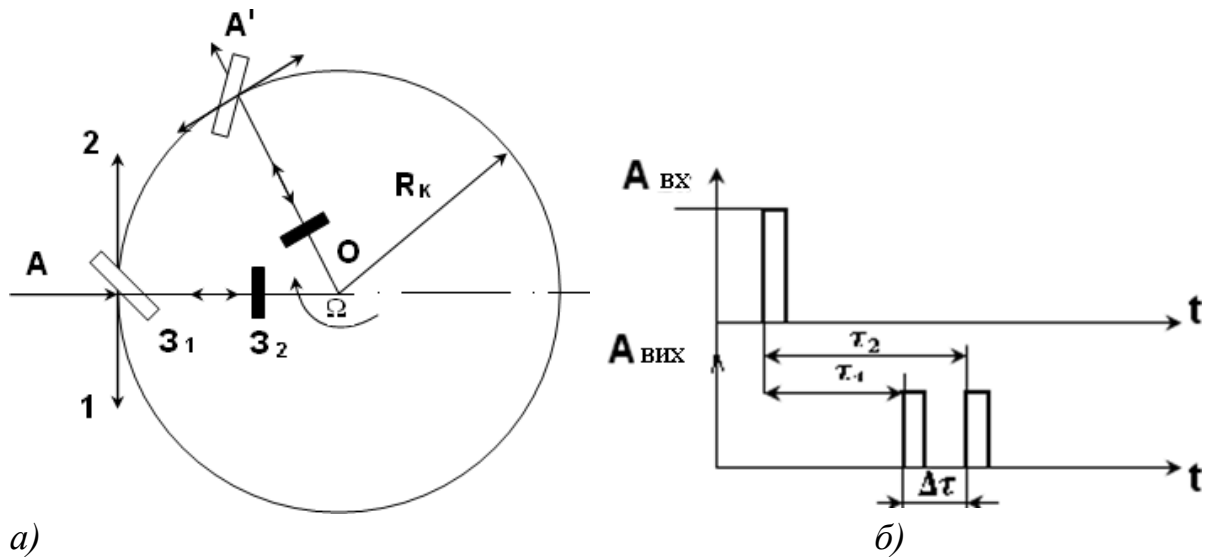
Ці риси дозволяють поліпшити характеристики гіроскопів з вібруючим кільцем до наступних значень:

Висота монокремнієвих електродів, мкм.....	60
Ємнісні проміжки, мкм	1,4
Чутливість із розімкнутою петлею ОЗ, $\frac{мкВ}{град/с}$	200.
Динамічний діапазон, град/с.....	250
Q	1200
Амплітуда збуджуваних коливань, мкм	0,15
Паразитна ємність вузлів коливань, кФ.....	2
Роздільна здатність град/с(Гц) ^{0,5}	0,01

Оптоволоконний гіроскоп

Принцип дії гіроскопа заснований на ефекті Саньяка, що полягає в тому, що в нерухомому замкнутому оптичному контурі час проходження променів, що поширюються в протилежних напрямках, однаковий, а при обертанні контуру відносно осі, перпендикулярної до його площини, різниця часу проходження протилежно спрямованими променями прямо пропорційна до кутової швидкості Ω . Ця різниця визначається різною довжиною шляху, що викликана зсувом вихідної точки падаючого променя А в напрямку поширення променя 1 і в протилежному напрямку для променя 2 (рис. 9.6).

Імпульс світла надходить до точки А та розщеплюється за допомогою напівпрозорої лінзи Z_1 і дзеркала Z_2 на два промені, що поширюються в протилежних напрямках вздовж оптоволоконного кільця. За допомогою цієї ж оптичної системи промені, що пройшли вздовж кільця, складаються та надходять на вихід. Вимірювання $\Delta\tau$ дозволяє розрахувати кутову швидкість.



а) – схема проходження променів 1 і 2; б) – час проходження променів 1 і 2

Рисунок 9.6 - Проходження імпульсу світла при обертанні гіроскопа [20]

У разі нерухомого контуру довжина шляху 1-го та 2 променів однакова, однаковий і час проходження їх вздовж кільця:

$$c\tau = 2\pi R_K.$$

При обертанні контуру шлях одного із променів подовжується, а іншого скорочується:

$$c\tau_1 = 2\pi R_K - R_K \Omega \tau_1.$$

Для малих швидкостей $\Omega \tau_1 \ll c$

$$\frac{\Delta\tau}{c^2} = \frac{2\pi R_K \Omega}{c^2} = 2\pi R \Omega$$

ЛЕКЦІЯ №10 на тему: АКСЕЛЕРОМЕТР

Акселерометр – пристрій для вимірювання прискорення, що виникає при русі об'єктів. Акселерометр визначає прискорення в системі координат гравітаційного поля. Широко застосовуються в різних рухомих об'єктах: транспортних, космічних, промислових, дослідних і ін.

Термін «акселерометр» утворився від двох слів: латинського *accelero* – «прискорюю» і грецького *metréō* – «вимірюю» [21]. Його ще називають G-сенсором. Наявність цього інерційного датчика в планшеті чи смартфоні є важливою, оскільки дозволяє виміряти прискорення одночасно в декількох площинах (уздовж осей X, Y, Z). Це допомагає визначати положення пристрою в просторі, встановлюючи кут його нахилу відносно поверхні Землі. Завдяки акселерометру гаджет реагує на перевертання: альбомна орієнтація перетворюється на книжкову і навпаки. Крім того, пристрій реагує на струшування або удар.

Класифікація акселерометрів.

1. За типом руху (поступальний, обертальний).
2. За принципом дії (механічний, механоелектричного, п'єзоелектричний, молекулярно-електронний).
3. За способом вимірювання (безперервний, пороговий).
4. За кількістю осей (компонентів) знімання інформації (одно-, дво-трикоординатні (компонентні)).
5. По виду вихідного сигналу (аналоговий, цифровий).
6. За діапазону вимірювань (низькочастотні, середньочастотні, високочастотні).
7. За кількістю додаткових функцій (вимірювання кута відхилення від вертикалі, вимірювання статичного прискорення (гравітації), вимірювання кутової швидкості обертання, вимір частоти вібрацій і сили ударів).
8. За виконанням (монокорпусні, одноплатні, багатокорпусні).

В електромеханічному акселерометрі маятникового або пружинного типу рухлива маса m , у тому числі і що є невід'ємним елементом конструкції, відхиляється від положення рівноваги, створеного силою ваги або пружиною. Це відхилення вимірюється датчиком переміщення деякої точки, жорстко пов'язаної з масою, на величину X , і вводиться в систему управління рухом. Перетворювачем переміщення може бути будь датчик переміщень, розглянутий вище.

У п'єзоелектричному акселерометрі вихідна електрична напруга виникає при механічному стискуванні п'єзоелемента під дією сил інерції. При цьому роль пружного стрижня або пружини грають самі п'єзоелементи з високими показниками пружності і механічної міцності, наприклад п'єзокерамічні пластини.

П'єзоелектричні акселерометри призначені для вимірювання параметрів вібрації в широких діапазонах частот, амплітуд, температур. У молекулярно-електронних акселерометрах відбувається перетворення механічних коливань в електричний сигнал на основі електрокінетичного ефекту. Акселерометр являє собою заповнений робочою рідиною корпус, усередині якого

розташовані пориста перетворююча діафрагма з струмознімачами – електродами і пружний елемент – сильфон з укріпленою на ньому інерційною масою. При впливі на акселерометр механічних коливань відбувається стиснення або розтягнення сильфона, а через перетворюючу діафрагму відбувається витікання робочої рідини, що приводить до появи на електродах заряду, пропорційного прискоренню.

У мікромеханічних датчиках рухома механічна частина приводиться в високочастотні коливання за допомогою електростатичного приводу гребінчатого виду. Управління електростатичним приводом здійснюється генератором, що працює в автоматичному режимі. Для знімання інформації у вигляді напружень, пропорційних проекція абсолютної кутовий швидкості і лінійного прискорення, використовується ємнісний датчик, утворений елементами конструкції рухомої і нерухомої механічної частини. Управління, знімання і попередня обробка корисного сигналу будь-якого мікромеханічного датчика виробляються за допомогою інтегральних схем.

Все більше розповсюдження одержують інтелектуальні сенсори в МЕМС-виконанні, що забезпечують і вимірювання, і перетворення сигналів пропорційних до прискорення. Масове виробництво акселерометрів для автомобільної промисловості забезпечило підвищення надійності. швидкодії систем повітряних подушок безпеки, зменшення вартості датчика системи приблизно на два порядки, ГМХ на 2...-...3 порядки. Ці акселерометри були одним з перших комерційних МЕМС-виробів, що дали значні кошти для робіт в області МСТ.

Зараз це широко розповсюджені інтелектуальні сенсори, реалізовані на одній підкладці, або акселерометри, якими вимірюють швидкість гальмування при зіткненні з перешкодою. Значення прискорення перетворюється в напругу, що керує запуском тригера, який формує імпульс електричного струму через нагрівальну спіраль, розміщену в капсулі з азидом натрію (NaN_3). Миттєве нагрівання призводить до вибухоподібного

розкладання вмісту капсули відповідно до реакції $2NaN_3 \rightarrow 2Na + 3N_2$.

Газоподібний азот, що виділяється при цьому, надуває подушку безпеки. Пристрої вагою більше кілограма, що коштували раніше сотні доларів, в МЕМС-виконанні за розмірами стали меншими ніж 1 см, їхня вартість знизилася до декількох доларів.

МЕМС акселерометри призначені для вимірювання лінійних прискорень і є масово вироблюваними інерційними перетворювачами фізичних величин і компонентами датчиків.

В основу роботи акселерометрів можуть бути покладені різні фізичні ефекти: ємнісний, п'єзорезистивний, п'єзо- та сегнетоелектричний, електромагнітний, оптичний, тунельний. Акселерометр, по суті, є ємнісним або п'єзоелектричним пристроєм, що складається з підвішеної маси жорстких пластин і набору пластин, жорстко закріплених на платі. Прискорення діє на підвішену масу пластин, змінюючи ємність між ними та

пластинами, жорстко закріпленими на платі. Зміна ємності залежить від прискорення, що визначає зсув підпружинених пластин.

Сенсори повітряних автомобільних подушок безпеки стали фундаментальним успіхом МЕМС-технології. Більше 100 млн. акселерометрів продані та працює понад 10 років, підтвердивши надійність їхньої технології. Прикладом успіху в цей час є автомобіль BMW 740, що має більше 70 МЕМС пристроїв, включаючи антиблокувальну систему гальмування, електроприлади та керуючі навігаційні системи, вимірювання вібрацій, датчики палива, шумозаглушення, індикацію перекидання, натяг ременів безпеки та ін. У результаті цього автомобільна промисловість стала головним збудником розвитку МЕМС для інших умов експлуатації.

Акселерометри також знайшли застосування для виявлення землетрусів, у відеоіграх віртуальної реальності, джойстиках, крокомірах, високоякісних приводах дисків, системах озброєння та ін., для вимірювання вузлів нахилу, сил інерції, ударних навантажень і вібрацій. Одним з перспективних застосувань вважаються датчики тиску шин автомобілів із пристроями дистанційного вимірювання. Вони знаходять широке застосування не тільки на транспорті, але й у медицині, у промислових системах вимірювань і керування, в інерційних системах навігації, системах озброєння, для виявлення землетрусів. Акселерометри починають використовуватися в моніторах верстатів і механізмів, роботах, діагностичних системах, у тих місцях, де необхідно вимірювати прискорення, удари, вібрації.

Промисловість випускає багато видів акселерометрів, з різними принципами дії, на різні діапазони прискорення, габаритно-масових показників і цін. Провідними виробниками акселерометрів є фірми Analog Devices, Motorola, Sensor Nor, Nippondenco, SNL.

Акселерометр розміщений на одному кристалі й забезпечує вимір прискорень у діапазоні $\pm 50g$ (статичних і динамічних у діапазоні до 1 кГц). Забезпечено температурну компенсацію, формування опорної напруги й самоконтроль датчика.

Весь кристал акселерометра розміром $3,05 \times 3,05$ мм зайнятий, головним чином, схемами формування сигналу, які оточують мініатюрний ЧЕ датчика розміром 1×1 мм, розташований у його центрі. ЧЕ представляє собою диференціальну структуру з можливим діелектриком, обкладинки якого витравлені в полікремнієвій плівці товщиною 2 мкм. Нерухомі обкладинки цього конденсатора представляють собою прості консольні стрижні, розташовані на висоті 1 мкм від поверхні кристала на полікремнієвих опорах – анкерах, приварених до кристала на молекулярному рівні.

Фактично датчик має 54 пари елементів, аналогічних до тих, що наведені на рисунку 10. Інерційна маса датчика при зміні швидкості переміщення кристала зміщується відносно корпусу кристала. Система штирів утворює рухому обкладинку конденсатора змінної ємності. З кожного кінця ця структура опирається на анкери, аналогічні за конструкцією до тримачів нерухомих обкладинок. Розтяжки по кінцях інерційної маси, які

утримують її у висячому положенні, є пружинами постійної пружності, що обмежують переміщення та повернення рухомої маси у вихідне положення. Таким чином, сила інерції врівноважується силою пружності пружини:

$$ma = kx, \quad (10.1)$$

де m – маса;

a – прискорення;

k – жорсткість пружини;

x – зсув маси відносно вихідного стану.

Звідси

$$a = \frac{k}{m} x, \quad (10.2)$$

причому k/m – конструктивний параметр датчика.

Акселерометри можуть виготовлятися методами поверхневої або об'ємної обробки.

Датчики прискорення, реалізовані на дискретних об'ємних мікроконденсаторах, одержали широке розповсюдження завдяки малим габаритно-масовим характеристикам, енергоспоживанню та вартості, високій надійності, стабільності параметрів, масовості виробництва. На рис. 10.1 наведений ЧЕ МЕМС-акселерометр фірми Draper Laboratory (США) у вигляді зустрічно-пластинчастої структури. Монокристалічні гребінки з високою площинністю елементів забезпечують високу точність перетворення в широкому діапазоні прискорень (до 100g). Під час виготовлення датчика застосоване прецизійне об'ємне травлення підкладки після формування в ній шарів сильно легованих бором. Ці шари (стоп-шар) забезпечують зупинку процесу травлення та одержання площинок під металізацію.

Методи поверхневої обробки передбачають осадження тонких п'єзорезистивних плівок на підкладку з наступним витравлюванням необхідного малюнка рухомої діафрагми. Проміжок між діафрагмою та поверхнею пластини та, отже, ємність утвореного ними конденсатора залежать від прискорення. Перевагою таких приладів є гнучкість конструкції, можливість побудови датчика прискорення за трьома осями і формування схеми зчитування на одному з них кристалі. Така технологія названа integrated MEMS (iMEMS).

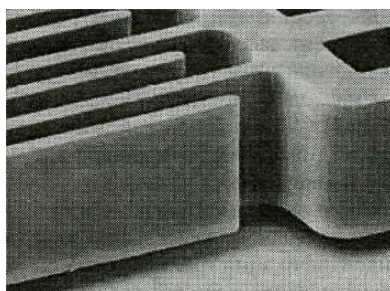


Рисунок 10.1 - Ємнісний ЧЕ акселерометра

Як приклад розглянемо акселерометри, виготовлені за поверхневою технологією iMEMS, одно- та двокоординатні акселерометри фірми Analog Devise (США) – ADXL 103/ ADXL 203.

- Розмір керамічного безвивідного корпусу LCC, мм 5×5×2
- Напруга живлення, В..... – 5-3
- Споживаний струм, мА 0,7
- Діапазон вимірюваних прискорень, g..... ± 1,7
- Роздільна здатність за кутом, градус 0,1
- Витримуване прискорення, g..... 3500
- Наробіток на відмову, год..... 10⁹
- Структурна схема акселерометрів наведена на рис. 10.2.

Обидва акселерометри містять полікремнієвий сенсор, отриманий поверхневою обробкою полікремнієвої структури на кремнієвій підкладці (над видаленим шаром SiO_2). Полікремнієві пружини підтримують штири

рухомого електрода конденсатора та створюють пружну протидію силі прискорення (інерції). Зсув рухомої обкладини диференціального конденсатора відносно двох незалежних нерухомих обкладин, на які подається напруга живлення, зрушена по фазі на 180°. Прискорення відхиляє рухомий електрод, розбалансуючи диференціальний конденсатор, у результаті чого виходить вихідна напруга прямокутної форми, амплітуда якої пропорційна до прискорення. Фазочутливий демодулятор випрямляє сигнал для визначення напрямку прискорення. Вихідна напруга демодулятора підсилюється та подається на навантагу через резистор 32 кОм. На виході користувач встановлює начіпний конденсатор, що визначає ширину смуги пропускання датчика. Така фільтрація поліпшує роздільну здатність і запобігає помилковим спрацьовуванням від перешкод.

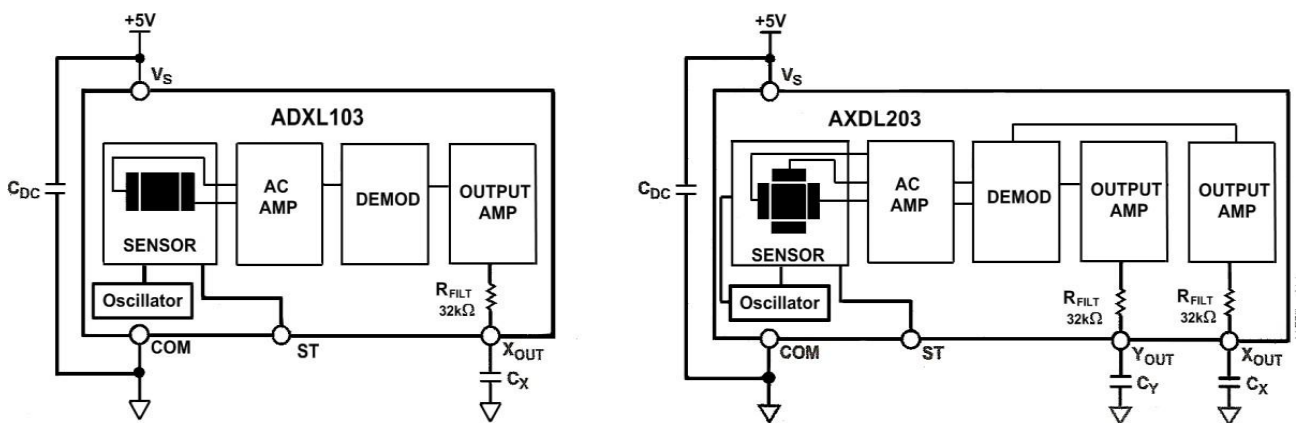


Рисунок 10.2 - Блок-схема акселерометрів ADXL 103/ ADXL 203

Залежність вихідної постійної напруги від кута нахилу площини, на якій встановлено датчик, відносно горизонтального напрямку чутливої осі наведена на рис. 10.3, а зовнішній вигляд корпусу акселерометра – на рис. 10.4. Рис. 10.3 показує, що залежність $U_{вих} = U(\psi)$ нелінійна, нагадує

синусоїду. Чутливість акселерометра найбільша поблизу горизонтального положення датчика, мінімальна – за кутів $\pm 90^\circ$.

Розроблено датчики із чутливістю за однією (перша цифра в позначенні), двома та трьома осями.

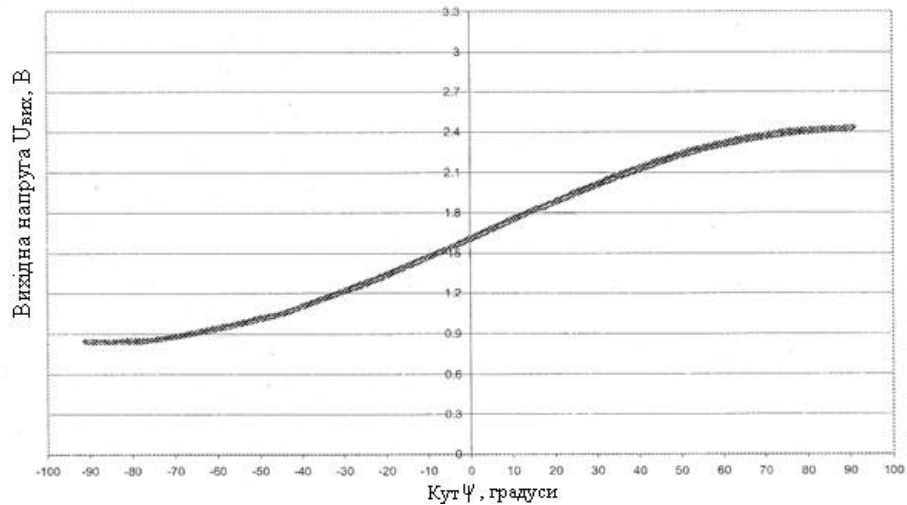


Рисунок 10.3 - Залежність вихідної напруги від кута нахилу датчика

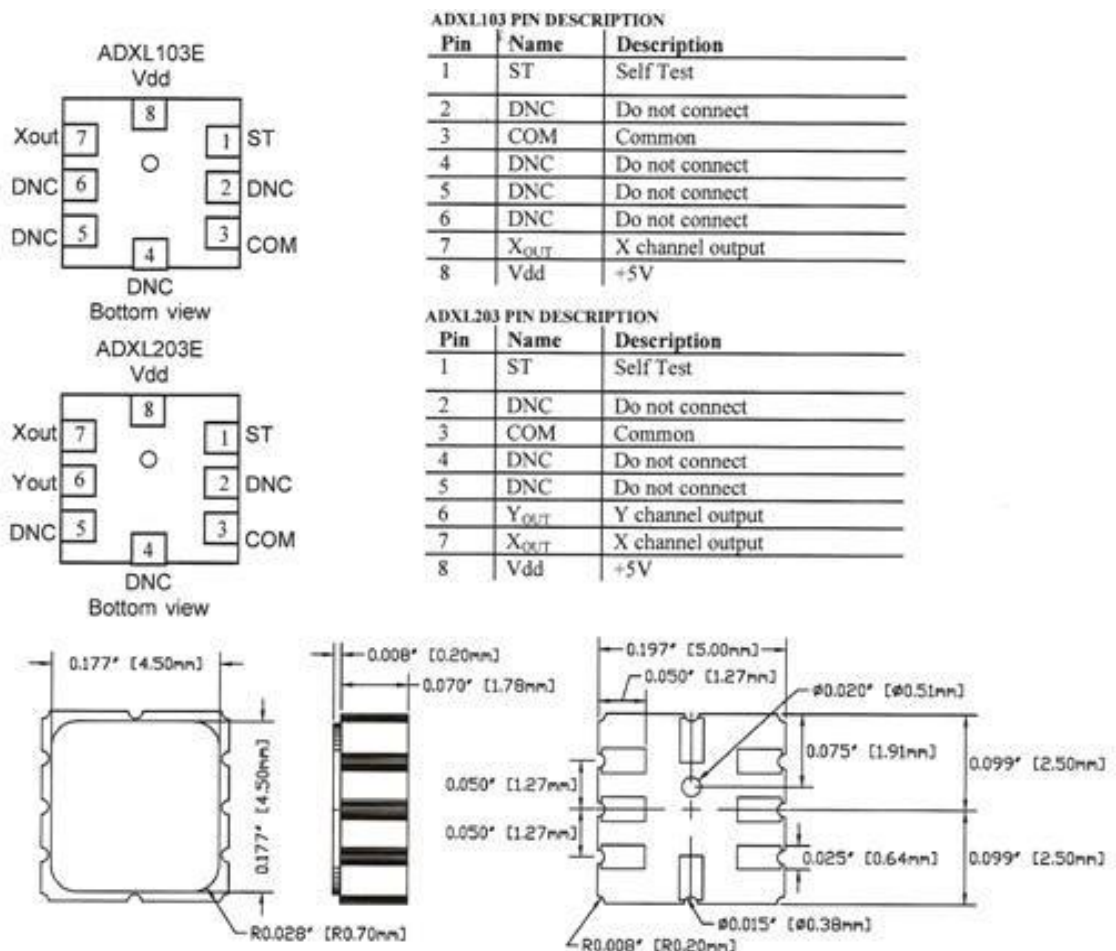


Рисунок 10.4 - Зовнішній вигляд корпусу акселерометра

ЛЕКЦІЯ №11 на тему: ДАТЧИКИ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ

Датчики технологічних параметрів дозволяють отримати інформацію про змінні мехатронної системи, яка бере участь в тому чи іншому технологічному процесі. До цих датчиків можна віднести датчик сили, моменту, температури, маси та інші.

Вимірювання сили полягає в врівноваженні її протидією силою таким чином, що тіло, до якого воно докладено, залишається в спокої, і тоді результуюча сила дорівнює нулю.

Датчик сили містить чутливий елемент, що піддається дії невідомої сили. У цьому елементі виникає деформація, яка породжує протидіючу силу. У зоні пружності деформація, відповідно до закону Гука, пропорційна силі.

В робототехніці, біомеханіки за допомогою датчиків сили вимірюється вага тіла. Ці вимірювання дають можливість визначити масу тіла (об'єкта), що має найважливіше значення, оскільки в ряді випадків дозволяє виключити датчики витрати матеріалу.

Деформація, а, отже, сила може бути виміряна побічно, якщо будь-яка з електричних властивостей матеріалу залежить від деформації (наприклад, п'єзоэффект).

Явище п'єзоэффекту полягає у виникненні (або в зміні) електричної поляризації в деяких діелектриках таких як: кварц, турмалін, сульфат літію, спеціально оброблена кераміка і т.п.

Якщо розташувати пару обкладок на протилежних сторонах п'єзоелектричній пластини і прикласти до неї силу, то на обкладинках з'являться заряди протилежних знаків, тобто різницю потенціалів, яка буде пропорційна доданої силі.

Такий конденсаторний пристрій дозволяє виміряти силу, тиск, прискорення.

За винятком кварцу, відомого своєю стабільністю і твердістю, в датчиках зазвичай використовується кераміка як дешевша, більш зручна в обробці, володіє досить високою чутливістю.

Схема формування сигналу з електричним зарядом на вході від п'єзодатчика і пропорційним йому напругою на виході показана на рис. 11.1.

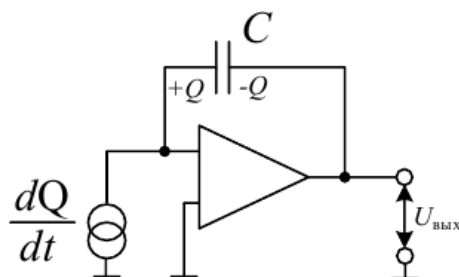
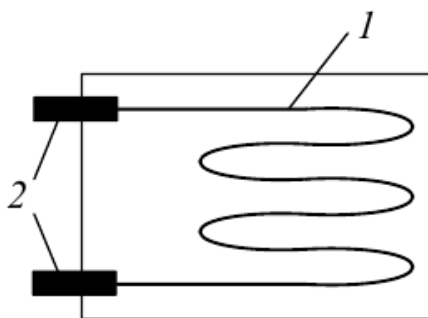


Рисунок 11.1 - Схема формування сигналу з електричним зарядом на вході від п'єзодатчика

Наявність конденсатора забезпечує повний розряд п'єзодатчика при будь-якому вхідному опорі підсилювача.

Часто на практиці для вимірювання деформації використовуються досить прості тензодатчики. Робота тензодатчика заснована на ефекті, при якому електричний провідник з високим питомим опором і малим температурним коефіцієнтом при зміні довжини змінює свій електричний опір.

Тензодатчики наклеюються на деформується поверхню так, щоб прямолінійні ділянки провідника розтягувалися або звужувалися відповідно до деформацією деталі. Конструкція розповсюдженого тензодатчика спірального типу показана на рис. 11.2.



1 - дротова спіраль, 2 - контакти підведення
Рисунок 11.2 - Конструкція тензодатчика

Такі датчики спільно з тензопідсилювачами дозволяють вимірювати малі механічні деформації складові кілька мікронів.

При вимірюванні моменту, що виникає внаслідок застосування сили до важеля, існує проблема передачі інформації з рухомого датчика в стаціонарну вимірювальну ланцюг. Цей зв'язок може здійснюватися контактним або безконтактним шляхом. При контактній зв'язку застосовуються ковзаючі контакти, або занурені в ртуть обертаються контакти. Очевидно, що робочий ресурс таких датчиків обмежений ресурсом контактів. Тому в сучасних системах набула поширення безконтактна зв'язок. В цьому випадку для передачі електричного сигналу використовується ємнісна (обертається конденсатор) або індуктивна (обертається трансформатор) зв'язок. Такий датчик складається з передавальної і приймальної частин. У передавальній частині, для вимірювання моменту, може бути використаний магнітострикційний вимірювач. Його робота заснована на явищі зміни магнітної проникності μ ферромагнітного матеріалу в разі застосування до нього зусилля. Так, наприклад, μ зростає в області розтягування матеріалу і зменшується в області стиснення. Якщо на ферромагнітний циліндричний стрижень діє момент, вісь якого збігається з віссю стержня, то виникають напруги визначають на його поверхні два взаємно перпендикулярних напрямки до осі

циліндра, уздовж яких зміна магнітних проникностей μ_1 і μ_2 максимально і

протилежно по знаку. Для виявлення цих змін можна використовувати сердечник хрестоподібної форми, показаний на рис. 11.3.

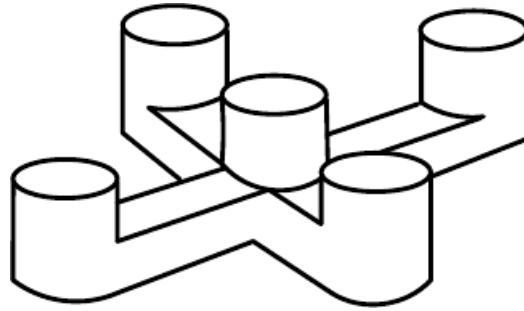


Рисунок 11.3 - Хрещатий сердечник

На осерді розташована первинна обмотка і дві пари з'єднаних послідовно вторинних обмоток, включених диференційно, як показано на рис. 11.4.

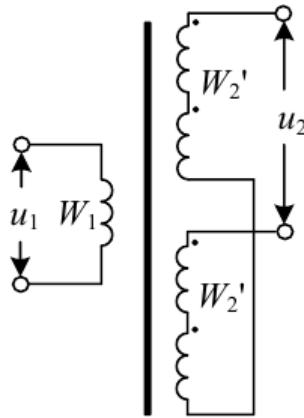


Рисунок 11.4 - Схема обмоток

Якщо момент відсутній, то $\mu_1 = \mu_2$, $U_2 = 0$. При появі моменту ці умови не виконуються, тобто $\mu_1 \neq \mu_2$ і $U_2 \neq 0$.

Більш високою точністю вимірювання моменту має датчик, який використовує п'єзоэффект або датчики індуктивного типу з вимірюванням кута кручення.

Впровадження мікропроцесорної техніки дозволяє перейти від процедури вимірювання до процедури обчислення моменту. Якщо рушійний момент створюється двигуном постійного струму, у якого магнітний потік - величина постійна, то в цьому випадку момент пропорційний току, який легко визначити за допомогою датчика струму (в найпростішому випадку шунта).

Вимірювання потоку двигуна можливо за допомогою датчиків Холла, які виготовляють з германію, сурм'янистого індію та інших напівпровідникових матеріалів.

Крім того, необхідно відзначити, що момент асинхронного двигуна пропорційний квадрату статорної напруги, тому використовуються датчики

напруги (в найпростішому випадку дільник напруги).

Розвиток робототехніки викликало появу тактильних датчиків, що відтворюють відчутні властивості людської шкіри. Тактильні датчики матричного типу дають цілісне уявлення про форму предмета, оскільки кожна клітинка матриці, є не що інше, як мікроелектронних датчик сили або деформації, що виробляє електричний сигнал, що дозволяє розпізнавати образ. Тактильні датчики на інтегральних схемах із застосуванням кремнію, кварцу і полікристалічній кераміки можуть забезпечити достатньо високий діапазон вимірювань при відносно невеликій вартості.

Найбільш часто вимірюваної фізичної величиною різних технологічних процесів є температура. Температура є найважливішу характеристику стану речовини. Працездатність будь-якої системи обмежена деяким діапазоном температур.

Для вимірювання температури використовують термодатчики. Їх робота заснована на здатності провідників і напівпровідників змінювати питомий опір під дією температури.

У термодатчику використовують терморезистори, що представляють собою резистори з явно вираженою залежністю $R(T)$.

Зазвичай терморезистори виконуються у вигляді циліндрів, таблеток, намистин, на кінцях яких зміцнюються електроди. Як правило напівпровідниками використовують оксиди, сульфіді і нітриди металів.

Температурна характеристика $R(T)$ терморезистора має вигляд, показаний на рис. 11.5.

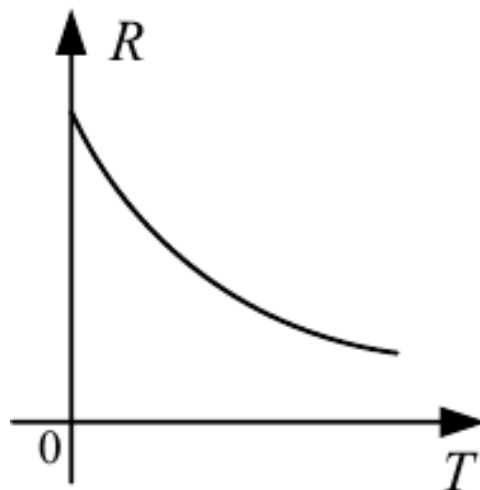


Рисунок 11.5 - Температурна характеристика $R(T)$ терморезистора

Терморезистори можуть використовуватися в якості датчиків вакууму, швидкості і напрямку потоку рідини або газу, оскільки в залежності від цих параметрів змінюється коефіцієнт тепловіддачі.

ЛЕКЦІЯ № 12 на тему: ДАТЧИКИ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ОБ'ЄКТІВ РТС

«Сенсоризація» виробничої та наукової діяльності, тобто заміна органів чуття людини на датчики, може розглядатися в якості третьої промислової революції за першими двома - машинно-енергетичною та інформаційно-комп'ютерною. Потреба в датчиках стрімко зростає у зв'язку з швидким розвитком автоматизованих систем контролю та управління, впровадженням нових технологій і переходом до гнучких автоматизованих виробництв.

Сучасний етап НТП все більше пов'язується з такими її пріоритетними напрямками як: автоматизація, роботизація, розвиток мікроелектроніки, інформатики, комплексна механізація виробництва.

Сьогодні питання мініатюризації є ключовими у всіх галузях промисловості - мікроелектроніці, нанотехнологіях, генетиці та ін.

Мікроелектроніка забезпечила істотний розвиток мехатроніки. Сучасні мікроелектронні пристрої відкрили принципово нові можливості для об'єднання (інтегрування) механіки і електроніки, які за своїм рівнем значно перевершують існуючу раніше електромеханіку.

Мікроелектроніка грає ключову роль в реалізації машин нового покоління - мікроелектромеханічних систем (MEMS) або мікросистемних технологій (MST).

MEMS (або MEMS) - конструктивно представляють сформовані на одній підкладці датчики, виконавчі механізми, пристрої управління з розмірами елементів до декількох одиниць мікрон і менше, мають, як правило, тривимірну структуру.

Вони виготовляються здебільшого по напівпровідниковій технології: поверхнева і об'ємна мікрообробка матеріалів (полікристалічний кремній), LIGA і SIGA - технології, а також MUMPs - процес.

Прискорення науково-технічного прогресу на теперішньому етапі розвитку виробництва значною мірою пов'язано з широким використанням комп'ютеризованих систем та робототехніки. Обсяг інформації, що використовується у роботизованих системах, зростає пропорційно рівню їх адаптації до умов навколишнього середовища, у якому здійснюється функціонування системи.

Як відомо, адаптивні здібності роботизованих систем набуваються використанням засобів адаптації різного роду, зокрема, систем технічного зору, тактильних, силомоментних, навігаційних та інших датчиків. Обробка інформації від таких засобів складає окрему сторінку розвитку робототехніки, зі своїми моделями, характерними засобами моделювання та конструювання. Їх розвиток і сьогодні складає сутність досліджень у галузі роботизованих систем.

Однією з найбільш складних задач, які потрібно вирішувати у гнучких комп'ютеризованих та робототехнічних системах (РТС) є ідентифікація об'єктів роботизації (ОР).

У ряді автоматизованих інформаційних систем (ІС) (вимірювальних, автоматизації наукових досліджень, управління технологічними процесами) використовуються також засоби безпосереднього введення інформації від джерел, що включають в себе аналого-цифрові та інші перетворювачі, блоки сполучення з ЕОМ.

Вибір інформаційної системи електронно - механічної системи (ЕМС) проводять відповідно до її функціонального призначення і характеру розв'язуваної задачі. Наприклад, для сприйняття зовнішнього середовища, для контролю стану обладнання, для забезпечення техніки безпеки, для контролю наявності об'єкту, контролю координат переміщуваного об'єкта, для визначення фізичних параметрів об'єктів.

Інформаційна система забезпечує збір, первинну обробку та передачу в систему управління даних про функціонування вузлів і механізмів промислового робота (ПР) (у тому числі і блоків системи управління) і про стан зовнішнього середовища.

ІС входить до складу системи програмного управління (СПУ) і включає в себе пристрій зворотного зв'язку (ПЗЗ), пристрій порівняння сигналів (ППС) і комплекс датчиків зворотного зв'язку (ДЗЗ) різного функціонального призначення.

Інформаційні системи ПР за функціональним значенням умовно можна розділити на три підсистеми:

1. Сприйняття і переробки інформації про зовнішнє середовище, в якому функціонує робот;
2. Внутрішньої інформації про стан вузлів, механізмів і систем ПР;
3. Забезпечення техніки безпеки.

Умовність такого поділу визначається тим, що одні й ті ж датчики і блоки обробки інформації можуть на основі міжсенсорної і сенсомоторної взаємодії брати участь як у сприйнятті зовнішньої інформації, так і в контролі власного стану ПР, а інформаційна підсистема забезпечення техніки безпеки функціонує в результаті взаємодії двох перших підсистем.

Підсистема зовнішньої інформації визначає функціональні можливості ПР і ступінь складності розв'язуваних їм завдань; вона призначена для збору інформації про зовнішнє середовище і контролю стану об'єкта праці, що обслуговується. Залежно від способу взаємодії з об'єктами зовнішнього середовища ця підсистема може бути розділена на дистантну (візуальну, локаційну) і контактну (дотику).

Контактні датчики застосовують для виявлення об'єкта, встановлення моменту зіткнення з ним, визначення розмірів об'єкта, контролю тиску на об'єкт, виконання різних виробничих операцій, встановлення підготовленості основного технологічного устаткування до обслуговування роботом, а також для організації безпечної роботи.

Призначення дистантних (безконтактних) датчиків те ж, що і контактних. Їх перевага - відсутність безпосереднього зіткнення з об'єктом, внаслідок чого вони не відчувають силових впливів. Однак відсутність контакту з поверхнею накладає свої обмеження на розв'язувані завдання з їх

допомогою. Так, використання дистантних датчиків ускладнює визначення деяких фізичних параметрів об'єктів маніпулювання - шорсткості поверхні, теплоємності, електропровідності і т.п., а також ускладнює захоплення тендітних (деформівних) об'єктів і контроль за надійним утриманням цих об'єктів в процесі маніпулювання з ними.

Підсистема внутрішньої інформації в залежності від розв'язуваних завдань може містити різні пристрої:

- оцінки положення і швидкості руху ступенів рухливості ПР, що реєструє фактичний його стан у кожний момент часу і порівнює інформацію, що надходить з необхідними параметрами руху;

- аварійного блокування, що запобігають поломці механічної системи ПР і взаємодіючого з ним обладнання при появі випадкових збоїв;

- діагностики та прогнозування ресурсу ПР, призначених для визначення причин відмов, попереднього повідомлення про них і скорочення часу відновлення працездатності ПР, а також для зменшення числа відмов ПР шляхом своєчасного проведення профілактичних робіт.

Як датчики внутрішньої інформації застосовують граничні вимикачі, безконтактні перемикачі, фотореле, реле тиску, силові датчики і датчики моментів. Датчиками внутрішньої інформації можуть бути й елементи системи зовнішньої інформації (оцінка положення ступенів рухливості ПР в просторі шляхом проходження контрольних точок, оцінка правильності перебігу робочого циклу за відповіддю командам від зовнішнього технологічного устаткування і т.п.). Якщо в ПР використовуються гідро- або пневмомеханізми зі зворотним зв'язком, то для визначення положень виконавчих органів застосовують потенціометри, сельсіни, резольвер, індуктивні датчики різних типів, генератори імпульсів, кодові датчики та інші пристрої. За допомогою зазначених датчиків в СПУ робота передається інформація про положення (лінійних і кутових) виконавчих механізмів ПР, про підготовленість до роботи приводів і т.п.

Основна увага при розробці засобів внутрішньої інформації приділяють датчикам дотику, які дозволяють не тільки пізнавати об'єкти, а й (що найбільш важливо) забезпечувати надійний їх захоплення та утримання. Таким чином, виключається небезпека перехоплення деталі або її вильоту в процесі транспортування, що зменшує в першому випадку можливість виникнення аварійної ситуації для обладнання, а в другому - можливість травматизму для обслуговуючого персоналу.

Інформаційне забезпечення роботи ПР складається з трьох послідовно реалізованих етапів (фаз):

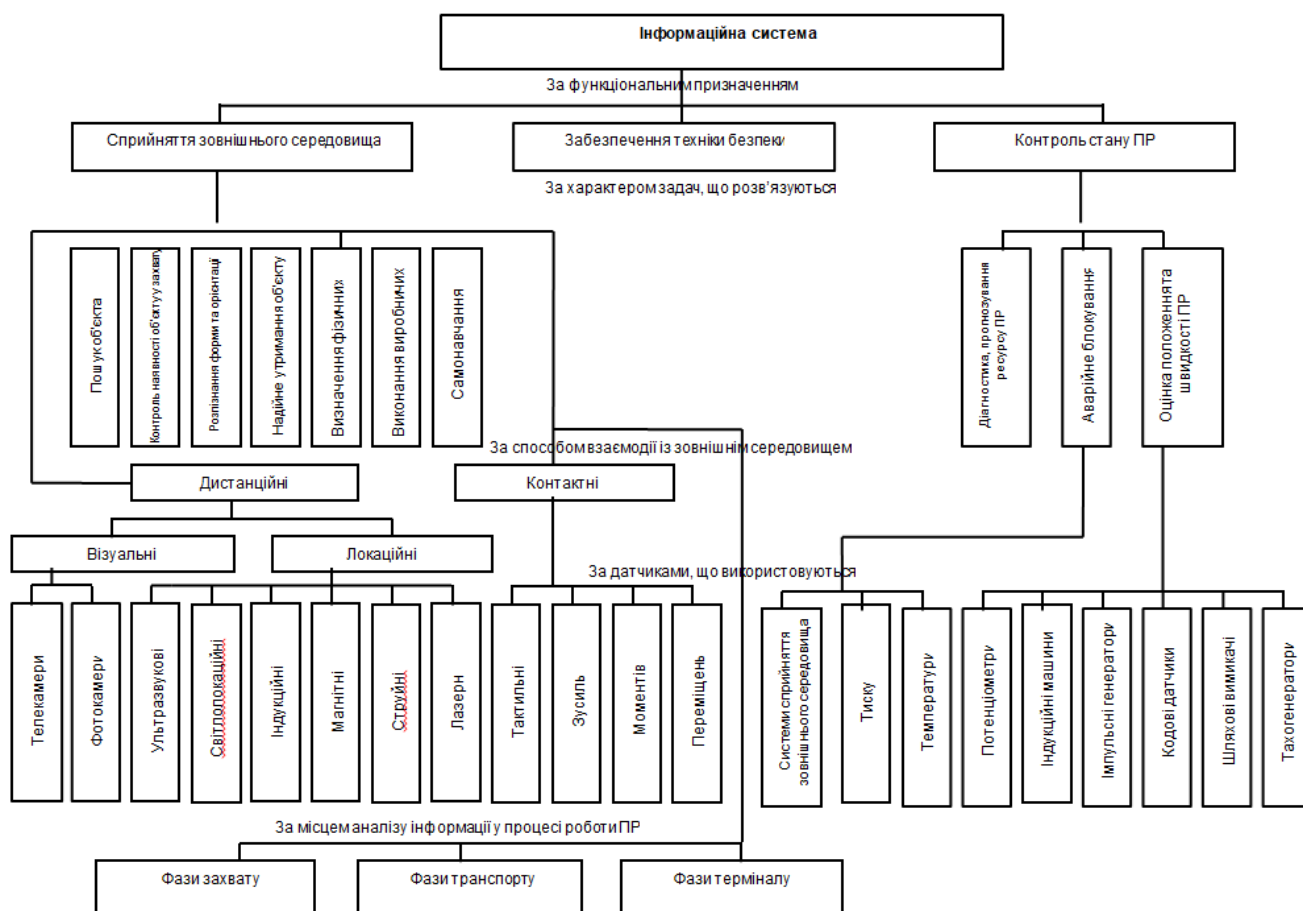
1. Захват об'єкту маніпулювання;
2. Його переміщення в просторі (транспортування);
3. «Терміналу».

Остання фаза може переслідувати три основні цілі: досягнення кінцевого положення і орієнтацію об'єкта маніпулювання щодо інших об'єктів у робочому просторі; отримання надійного контакту (взаємозв'язку) об'єкта маніпулювання або кінцевої ланки ПР з якими-небудь об'єктами

зовнішнього середовища; забезпечення на кінцевій ланці ПР зусиль або моментів, достатніх для виконання виробничих операцій. Кожній з цих фаз потрібно різне інформаційне забезпечення. Фази захвату об'єкта і терміналу можуть здійснюватися під контролем підсистем зовнішньої і внутрішньої інформації. Фаза транспортування вимагає в основному використання пристроїв оцінки положення і швидкості переміщень ступенів рухливості ПР, а також пристроїв аварійної блокування.

Інформаційна система значною мірою визначає функціональні можливості ПР, складність розв'язуваних роботами завдань, експлуатаційну надійність та ефективність використання їх у виробничих умовах, а також є важливою ланкою в забезпеченні безпеки обслуговуючого персоналу. Залежно від функціонального призначення, характеру вирішуваних завдань інформаційні системи ПР можуть бути умовно розділені так, як це показано на рис. 12.1.

Умовність прийнятої класифікації визначається тим, що одні й ті ж датчики і блоки обробки інформації можуть на основі міжсенсорної і сенсомоторної взаємодії брати участь як у сприйнятті зовнішньої інформації, так і в контролі власного стану ПР. Підсистема техніки безпеки формується поєднанням і взаємодією окремих елементів підсистем сприйняття зовнішнього середовища і контролю власного стану ПР.



12.1 Системи штучного дотику

Датчики грають в робототехніці одну з найважливіших ролей. За допомогою різних сенсорів робот відчуває навколишнє середовище і може орієнтуватися в ній. За аналогією з живим організмом - це органи чуття. Навіть звичайний саморобний робот не може повноцінно функціонувати без найпростіших датчиків. У цій статті ми детально розглянемо всі види датчиків, які можна встановити на робота, і корисність їх застосування.

Тактильні сенсори наділяють робота можливістю реагувати на контакти (сили), що виникають між ним і іншими об'єктами в робочій зоні. Зазвичай цими датчиками оснащують промислові маніпулятори, а також роботів з медичним застосуванням. Машини, оснащені тактильними сенсорами, ефективно справляються з операціями складання і контролю, тобто функції, які вимагають враховувати тонкощі роботи.

Розробляючи сучасних гуманоїдних роботів, виробники оснащують їх цими сенсорами, щоб зробити машини ще більш «живими», здатними сприймати інформацію про навколишній світ буквально на дотик.

Особливістю роботи систем штучного дотику є наявність контакту датчиків з поверхнею об'єкта. З їх допомогою можуть бути вирішені наступні завдання: пошук, виявлення предметів і визначення їх положення; захват і маніпулювання з неорієнтованими об'єктами; розпізнавання форми предметів і їх класифікація; визначення фізичних властивостей об'єктів (маса, твердість, шорсткість поверхні, температура, тепло- і електропровідність і т.п.); надійне захоплення й утримання об'єкта з контролем зусилля затиску (з метою запобігання руйнування крихких і легкодеформуємих предметів); контроль за мікропереміщенням деталей при виконанні деяких складальних операцій; контроль зсувів об'єкта в захватному пристрої ПР при впливі на нього динамічних навантажень.

Найпростішими датчиками системи штучного дотику є тактильні датчики контактного типу. Ці датчики зазвичай розташовують на зовнішніх і внутрішніх поверхнях захватного пристрою ПР. В якості чутливих елементів зазвичай використовують мікроперемикачі. Рідше датчики створюють на основі електропровідних полімерів.

Такі датчики можна рекомендувати для вирішення завдання контролю наявності деталі в захватному пристрої ПР, контролю правильності центрування об'єкта у захватному пристрої, а також для пошуку, розпізнавання, захоплення і маніпулювання з просторово неорієнтованими предметами.

Останнє дозволить спростити вимоги до спеціального оснащення ПР, що призведе до зниження її вартості.

До датчиків дотику відносяться: датчики торкання, що визначають контакт захватного пристрою (ЗП) з об'єктом або з якою-небудь перешкодою; датчики зусилля затиску деталі (прослизання), що визначають переміщення захопленої деталі щодо ЗУ; тактильні датчики, що визначають геометричний образ об'єкта.

Датчики дотику являють собою різного роду мікровимикачі, встановлені на пальцях «руки». Їх перевага полягає в простоті конструкції; недоліком є те, що факт контакту з предметом такий датчик визначає тільки в точці його розміщення. Досить зручні і перспективні в застосуванні є пневматичні датчики типу сопло-заслінка. Їх основна перевага полягає в тому, що чутливі елементи можна вивести за межі «руки» маніпулятора, залишивши в ній тільки вихідне сопло; недолік - подовження комунікаційних ліній, що з'єднують вихідне сопло з чутливим елементом.

Перспективними є також *електретні датчики*, які характеризуються малими розмірами (2,7x2,9мм), з електретною напругою 500 В. Електретна напруга є результатом поляризації високою напругою пластинки датчика, що складається з полімерної плівки-діелектрика з підкладкою з алюмінієвої фольги. Вихідний сигнал подається з електретного електрода на інтегральну схему підсилювача і від нього - на блок управління пальцями «руки». Зусилля, на яке реагує електретний датчик, дорівнює $0,015 \pm 0,005$ Н. Перевага таких датчиків складається у тому, що вони одночасно є генераторами електричної енергії і не вимагають окремих джерел живлення.

Для нагрітих деталей датчиками торкання можуть служити різні *температурні датчики*. Зокрема, може бути використана система термографування з інфрачервоними оптичними волокнами. Оснащення пальців ЗП засобами волоконної оптики дозволяє досить просто за величиною затемнення окремих волокон судити про місця контакту пальця з об'єктом; а по мірі їх освітлення - і про його прослизання. Безсумнівно, що застосування волоконної оптики в засобах сенсibiliзації, особливо в засобах ближньої локації, перспективно.

Всі *датчики зусилля затиску деталі* засновані на властивості пружних тіл деформуватися пропорційно прикладеному до них зусиллю. Тому будь-який датчик зусилля включає в себе деформуючий пружний елемент, що контактує з деталлю, і схему перетворення величини деформації у відповідний сигнал, що характеризує собою зусилля затиску. Одним з таких пружних елементів служить електропровідна гума, струм в якій залежить від ступеня її деформації. До електропровідних датчиків відноситься, наприклад, спінений поліуретан, укладений з обох сторін між тонкими металевими пластинками, зміна тиску в датчику перетвориться в зміну опору між пластинами.

Датчики прослизання засновані на реєстрації руху деталі щодо ЗП. Такі датчики виконуються контактними і безконтактними. Перші мають елементи, що входять в контакт з деталлю, що затискається, другі при ковзанні деталі змінюють своє положення щодо деяких базових елементів ЗП, що є сигналом про початок прослизання. В одній з поширених конструкцій безконтактних датчиків прослизання останній забезпечений перетворювачем, який оснащений роликом малого діаметру, який провертається при прослизанні деталі. Обертання ролика перетворюється в електричний сигнал за допомогою фотоелектричного кругового датчика. При прослизанні зусилля захоплення збільшується до тих пір, поки ковзання не

припиниться. Для збільшення тертя між деталлю і роликком останній армується гумою.

Інший пристрій, що визначає прослизання деталі і зусилля затиску, відрізняється тією особливістю, що в кожному з пальців ЗП вільно розташована гумова мембрана, що перекриває отвір в ньому. При захопленні деталі в порожнину пальців подається стисле повітря, тиск якого регулюється. Повітря під тиском притискає мембрану до отвору і деформує її. Тим самим деталь затискається в пальцях за допомогою мембран. Зусилля затиску визначається деформацією мембрани, а прослизання по ній деталі веде до зміни цієї деформації. Вимірювання останньої дозволяє оцінити комплексно умови затиску. В даному випадку мембрана відіграє роль первинного перетворювача, вимірювання деформацій якого дозволяє судити про характер затиску деталі. Для збільшення коефіцієнта чутливості такого перетворювача до мембрани можна прикріпити важелі, що впливають на вторинні перетворювачі, керуючі подачею повітря в порожнині пальців.

Датчики зусиль (моментів) застосовують в роботах, що здійснюють маніпулювання крихкими і легкодеформуючими предметами або виконують прості операції складання.

У першому випадку датчики зусиль дозволяють регулювати зусилля захвату пропорційно масі захоплюваних об'єктів. Такі датчики зазвичай встановлюють у захваті, і тому вони повинні бути невеликих розмірів.

Застосовують два способи вимірювання зусиль: за пружною деформацією чутливого елемента і по переміщенню рухомої частини чутливого елемента.

Для вимірювання малих зусиль придатні різні конструкційні рішення з використанням дрових і напівпровідникових тензометрів опору або струмопровідних полімерів. Для вимірювання великих зусиль застосовують магнітопружні елементи, а для точних вимірювань - градуйовані пружини та інші пружночутливі елементи.

При виконанні найпростіших операцій складання доцільно введення деякої адаптації ПР до умов виконання операції шляхом використання більш складних датчиків зусиль (моментів). Така адаптація дозволяє забезпечити реалізацію посадочних операцій з точністю в межах декількох мікрометрів.

Конструктивна складність застосовуваного датчика зусилля (моменту) визначається в першу чергу складністю розв'язуваного за їх допомогою завдання. У загальному випадку для отримання повної картини силової взаємодії захвату ПР із зовнішнім об'єктом необхідно використовувати шестикомпонентний датчик, що вимірює три складові зусилля уздовж координатних осей і три моменти щодо цих осей.

Перспективним є розташування силового датчика не тільки на руці ПР, а всередині складального столу. Це спрощує конструкцію, знижує вимоги до габаритних розмірів. Такий датчик може бути виконаний у вигляді квадрата з пластин, розташовуваних одна над іншою і закріплених на робочій поверхні стола, між якими розташовуються тензометри.

Силовий датчик повинен бути захищений від перевантажень і пошкоджень.

Датчики реєстрації переміщень об'єкта призначені для захвату і надійного утримання предметів без їх деформації.

Більшість відомих конструкцій мають недоліки, що обмежують можливість їх застосування на практиці. До них відносять низьку перешкодозахищеність залежно від їх орієнтації щодо напрямку переміщення захоплюваних предметів, реєстрацію переміщення тільки в одному напрямку, а також обмеження величин реєстрованих переміщень. Так, датчики, в яких контакт з поверхнею предмета здійснюється за допомогою різноманітних конструкцій роликів, реєструють переміщення предмета тільки в одному напрямку.

Перспективним конструктивним рішенням є *електромеханічний датчик*. Він дозволяє реєструвати переміщення предмета в будь-якому щодо датчика напрямку. У його конструкції передбачено періодичне переривання контакту датчика з поверхнею предмета за допомогою електромеханічного соленоїда (вібратора). Це дозволяє протягом відрізка часу, поки відсутній контакт з поверхнею деталі, здійснювати механічну компенсацію (завдяки пружинним властивостям стрижня) попереднього переміщення сприймаючого елемента датчика. Таким чином, період часу, при якому здійснюється контакт датчика з поверхнею предмета, служить для реєстрації можливого переміщення предмета в захваті. Під час відсутності контакту датчик приходить в початковий стан. Вибравши певним чином частоту перемикачання соленоїда і тривалість періодів контакту датчика з поверхнею предмета, можна реєструвати його переміщення без обмежень величини. Чутливість такого датчика буде визначатися, з одного боку, швидкістю переміщення захопленого об'єкту, а з іншого - його конструктивними параметрами і частотою перемикачання соленоїда.

У більшості розробок здійснюється постійне прирощення зусилля захвату предмета у відповідь на сигнал датчика вислизання. Якщо цього недостатньо для здійснення тонких маніпуляцій, то необхідна організація взаємодії рухових і сенсорних систем для вирішення завдань надійного утримання предметів з урахуванням їх маси, властивостей поверхні і діючих на них динамічних збурень.

Об'єднання контактних датчиків в *матриці* з погляду інформаційного змісту додає нову розмірність, при якій сукупність датчиків впорядкована в просторі. Це дозволяє отримувати інформацію про зону контакту між захватом маніпулятора та об'єктом. Форма зони контакту може бути використана для розпізнавання предметів, а за допомогою аналізу часових змін тактильного образу вона може бути використана для виявлення прослизання предмета у захваті.

При використанні матриць слід враховувати ряд факторів. При низькій щільності розташування датчиків в матриці можуть бути застосовані мікроперемикачі, реле і т.п.

Більш високі функціональні можливості ПР забезпечуються при використанні матриць з пропорційних датчиків, які застосовують

для вирішення задачі класифікації і визначення форми об'єктів маніпулювання.

При розробці пропорційних тактильних датчиків перспективно застосування різних струмопровідних полімерних матеріалів, а також інтегральної технології, що дозволить створити різні мініатюрні датчики тиску.

Для застосування матриць потрібна розробка спеціальних алгоритмів обробки інформації, що дозволяють на основі міжсенсорної і сенсомоторної взаємодії здійснювати як одномоментне розпізнавання форми тривимірних об'єктів, так і розпізнавання шляхом активного і цілеспрямованого щупання їх поверхні.

Однак експлуатаційна надійність матриць пропорційних датчиків ще досить низька. Крім того, збільшення набору предметів, що класифікуються, вимагає здійснення щупання їх поверхні, що викликає певні труднощі.

Можна припустити, що в більшості випадків для цих цілей більш виправданим є оснащення ПР візуальними системами, а матриці пропорційних датчиків будуть використовуватися тільки в окремих випадках застосування ПР, коли зоровий контроль утруднений.

12.2 Радіолокаційні системи

Системи локації зважаючи на відсутність безпосереднього контакту між датчиками і поверхнею об'єкта мають більш високу надійність до механічних пошкоджень. Крім цього вони дозволяють істотно знизити обмеження на швидкість переміщення зовнішніх об'єктів щодо ПР порівняно з системами штучного дотику.

Радіолокаційні системи умовно можна розділити на два класи: системи дальньої і системи ближньої локації робочого простору. Перші можуть бути побудовані з використанням ультразвукових, лазерних і світлокаційних (оптичних) систем.

Ультразвукові дальноміри дозволяють вимірювати відстані до об'єкта в діапазоні 0,2-2 м з похибкою 2%. Точність кутових координат, тобто положення об'єкта, значно нижче, оскільки опромінюється більша частина поверхні предмета, що ускладнює виділення його локальної ділянки для вимірювання. Тому ультразвукові системи використовують для виявлення об'єкта і визначення його положення в просторі.

Локаційні пристрої на основі лазерних випромінювачів дозволяють визначити просторове положення об'єктів з вельми високою точністю.

Широке застосування можуть знайти світлокаційні системи. В них робочий простір «ощупують» світловим або інфрачервоним випромінюванням. В якості випромінювачів використовують лампи розжарювання, світлодіоди та інші засоби, в якості приймачів - різні конструкції з використанням фотодіодів.

Для прийому сигналів розробляються спеціальні фотоматриці. Точність визначення відстані за допомогою світлокаційних систем може досягати 2 мм

на відстані до 2 м.

Системи ближньої локації можуть бути побудовані і на основі індукційних, магнітних та струменевих датчиків. Серед них найкращими експлуатаційними характеристиками володіють магнітні й струменеві датчики.

Основним недоліком дистантних датчиків є те, що їх вихідні сигнали залежать від відбивної здатності, нерівності поверхні і матеріалу досліджуваних предметів. Недоліком є і те, що досліджувана поверхня повинна бути перпендикулярна до світлового променя (або повітряного потоку), що, наприклад, для пошукових операцій в більшості випадків нездійсненно. Доцільність використання їх визначається в кожному конкретному випадку умовами розв'язуваної задачі. Більш універсальне застосування мають локаційні датчики, що працюють на просвіт (наприклад, для контролю наявності деталі у схваті).

12.3 Звукові датчики

Ці датчики служать для безпечного пересування роботів в просторі за рахунок вимірювання відстані до перешкоди від декількох сантиметрів до декількох метрів. До них відносяться мікрофон (дозволяє фіксувати звук, голос і шум), далекоміри, які представляють собою датчики, які вимірюють відстань до найближчих об'єктів та інші ультразвукові сенсори. УЗ особливо широко використовуються практично у всіх галузях робототехніки.

Робота ультразвукового датчика заснована на принципі ехолокації (рис. 12.2). Ось як це працює: динамік приладу видає УЗ імпульс на певній частоті і заміряє час до моменту його повернення на мікрофон. Звукові локатори випромінюють спрямовані звукові хвилі, які відбиваються від об'єктів, і частина цього звуку знову надходить в датчик. При цьому час надходження і інтенсивність такого поворотного сигналу несуть інформацію про відстань до найближчих об'єктів.

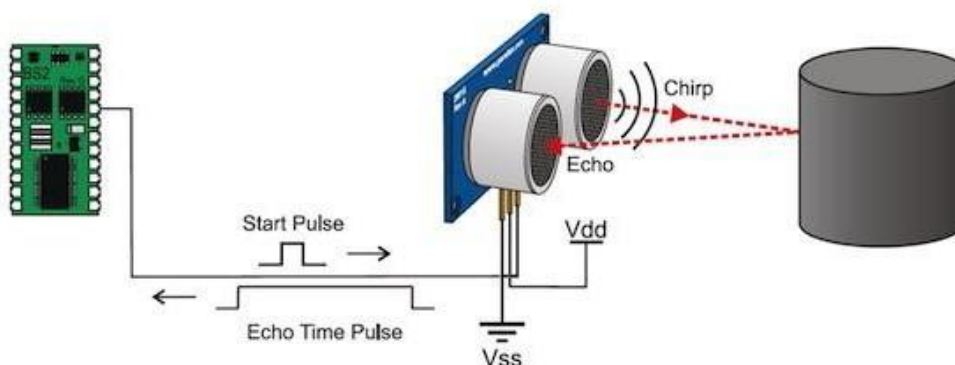


Рисунок 12.2 - Принцип роботи звукового датчика

Для автономних підводних апаратів переважно використовуються технології підводних гідролокатором, а на землі звукові локатори в основному використовуються для запобігання зіткнень лише навколо міста,

оскільки ці датчики характеризуються обмеженим діапазоном.

До числа інших пристроїв, альтернативних по відношенню до звукових локаторам, відносяться радари, лазери і лідари. Замість звуку, в цьому типі далекомірів використовується відбитий від перешкоди лазерний промінь. Ці датчики отримали більш широке застосування в розробці автономних автомобілів, так як дозволяють транспортному засобу більш ефективно справлятися з дорожнім рухом.

12.4 Візуальні системи

Для отримання зорового зображення зазвичай використовують пристрої монокулярного або бінокулярного штучного зору. Як датчики застосовують відікони, фотоматриці і т.п., а для вирішення завдань управління ПР - ЕОМ.

При побудові робота просто не обійтися без оптичних датчиків (рис. 12.3). З допомогою них апарат буде «бачити» все навколо. Ці сенсори працюють за допомогою фоторезистора. Датчик відображення (випромінювач і приймач) дозволяє визначати білі або чорні ділянки на поверхні, що дозволяє, наприклад, колісному роботу рухатися по намальованій лінії або визначити близькість перешкоди. Джерелом світла часто служить інфрачервоний світлодіод з лінзою, а детектором - фотодіод або фототранзистор.



Рисунок 12.3 - Оптичний датчик

На окрему увагу заслуговують відеокамери. По суті, це очі робота. Цей тип датчиків на сьогоднішній широко використовується завдяки зростанню технологій в сфері обробки зображень. Як розумієте, крім роботів, застосувань відеокамер досить: системи авторизації, розпізнавання образів, виявлення руху в разі охоронної діяльності і т.п.

Питання використання візуальних систем вивчені досить повно, розроблено відповідне математичне забезпечення. Це дозволяє здійснити широке застосування на практиці систем технічного зору (СТЗ) для

вирішення складних завдань щодо класифікації та розпізнаванню зовнішніх об'єктів в тому випадку, коли присутні перешкоди для зорового контролю (маніпулювання об'єктами в невеликих і закритих об'ємах, коли окремі вузли ПР і устаткування можуть заважати зоровому контролю, робота в середовищах з різною оптичною проникністю, недостатня освітленість поля зору і т.п.). У виробничих умовах додаткові перешкоди для візуального розпізнавання об'єкта можуть бути викликані станом і характером обробки його поверхні, наявністю іржі і забруднення і т.п.

12.5 Системи технічного зору

Серед систем адаптації роботів найбільшою інформативною ємністю володіють СТЗ, що повідомляють роботу інформацію про властивості об'єкта і середовища маніпулювання за допомогою перетворення, аналізу та обробки відеоінформації за допомогою ЕОМ.

Системи технічного зору досить широко і успішно застосовуються в багатьох галузях промисловості на таких операціях, як контроль і обробка різних деталей і виробів за зовнішнім виглядом, завантаження обробних верстатів деталями з конвеєрів або з бункерів, сортування і орієнтоване укладання в касети деталей і заготовок, в тому числі ті, що неупорядковано рухаються по конвеєру, або надходять в тарі навалом, складання та комплектація вузлів, зварювання, фарбування, упаковка деталей, монтаж електронних схем та інших. СТЗ використовують також для забезпечення умов техніки безпеки на роботизованих робочих місцях, організації обліку та складування предметів виробництва, маршрутизації матеріалопотоків в гнучких виробничих системах, управління транспортними мобільними роботами.

Область технічного зору стала прикладом складної технології, в якій швидко поява нових удосконалених аналізаторів візуальної інформації постійно викликає моральне старіння вже існуючих.

Функціональне призначення СТЗ робота в залежності від області і конкретних умов його застосування досить різноманітне. Найбільш типовими функціями, виконуваними СТЗ у робототехніці, є наступні: реєстрація наявності об'єкта в полі зору датчика зовнішньої (стосовно до робота) відеоінформації - відеосенсорів; підрахунок числа об'єктів, що знаходяться в полі зору або пройшли перед відеосенсорами; зчитування і розшифровка міток (колірних або штрихових кодів, буквено-цифрових кодів, буквено-цифрових символів, етикеток та інших маркерів); виявлення перешкод, що заважають рухам робота; вимірювання геометричних і фізичних параметрів об'єктів; контроль виробів на наявність видимих дефектів, повноту комплектації, відповідність стандартам; класифікація (розпізнавання) об'єктів; визначення місцезнаходження і орієнтації об'єктів в робочій зоні робота; пошук потрібних об'єктів на робочій сцені; вимірювання швидкості рухомих об'єктів; стеження за переміщеннями і змінами швидкості об'єктів; візуальне визначення змін у часі спостережуваних фізичних і технологічних

процесів; забезпечення інформації для завдання і корекції траєкторій робочого органу робота в адаптивному режимі; навігація і наведення мобільних роботів; візуальний контроль правильності виконання операцій роботом; калібрування геометричних параметрів маніпулятора, прив'язка його системи координат до системи координат робочого простору; забезпечення вимог техніки безпеки.

Чим складніші завдання з урахуванням всієї сукупності описаних критеріїв здатна вирішувати СТЗ, тим вище рівень функціональної гнучкості («інтелекту») робота може бути забезпечений з її допомогою.

Для виконання свого функціонального призначення СТЗ робота в загальному випадку повинна забезпечувати: сприйняття оптичного сигналу і формування зображення; попередню обробку зображення з метою ослаблення впливу шумів, поліпшення контрастності, корекції спотворень, стиснення інформації і т.д.; сегментацію зображення сцени на складові частини - виділення потрібних об'єктів, їх фрагментів або характерних особливостей; опис зображень - розрахунок їх геометричних і інших характеристик, обчислення класифікуючих ознак, визначення місцеположення і орієнтації; аналіз зображення з розпізнаванням образів або класифікації об'єктів і інтерпретацією сцен на основі моделі проблемного середовища; передачу отриманих результатів в систему управління робота.

Засоби збору інформації в ЕМС можуть включати в себе локаційну систему, тактильну систему, систему зусиль і моментів і систему технічного зору в найбільш досконалих мехатронних систем.

До числа основних вимог, що висуваються до СТЗ адаптивних роботів, в першу чергу можна віднести наступні:

а) підвищений ступінь універсальності. СТЗ універсальних роботів за своєю суттю повинні забезпечувати вирішення якнайширшого кола різноманітних функціональних завдань і бути придатними для роботи в різних, у тому числі нестационарних умовах;

б) гнучкість. Це поняття включає в себе: можливість частішої змінюваності вирішуваних завдань, швидкість і зручність переходу до нових типів сцен і класам об'єктів, у тому числі шляхом перенавчання СТЗ; здатність працювати з об'єктами, розміри, форма та інші параметри яких змінюються в широкому діапазоні; бажаність цілеспрямованого вибору точності вимірювань, роздільної здатності, поля зору, числа градацій яскравості та інших характеристик на різних стадіях огляду сцени; простоту оперативної перебудови (аж до автоматичної) при змінах освітленості, контрастності фону, відстані до об'єктів, кута огляду і т. п.;

в) високу швидкодію. СТЗ робота повинна задовольняти жорстким вимогам роботи в реальному часі, тобто не затримувати дії робота і не знижувати темп роботизованого процесу;

г) стійкість до впливів навколишнього середовища. При візуальному наданні чутливості роботів необхідно приймати спеціальні заходи щодо захисту відеоапаратури від впливу шкідливих факторів, а також щодо підвищення стійкості СТЗ до впливу електромагнітних наведень і оптичних

перешкод, механічних поштовхів і вібрацій, вологості та інших несприятливих впливів;

д) необхідність мініатюризації. Елементи СТЗ, що встановлюються на рухомих ланках маніпуляторів, а також на мобільних роботах, повинні мати якомога менші розміри і масу, щоб не погіршувати маневреність і динамічні характеристики роботи;

е) зв'язок з існуючими пристроями управління роботів. Потрібно забезпечити апаратну і програмну сумісність зі стандартними системами управління роботів, відповідність характеристикам застосовуваних обчислювальних засобів, можливість ефективного сполучення з наявними інтерфейсами.

У системах технічного зору застосовують і відеокамери, основним елементом яких є *відікон*. Відікони бувають з магнітним і електростатичним перетворенням променя.

В даний час в СТЗ широко застосовуються прилади із зарядним зв'язком (ПЗЗ). ПЗЗ знаходять застосування у виробництві ІМС, в аналогово-цифрових перетворювачах, в запам'ятовуючих пристроях. СТЗ на базі ПЗЗ мають матричну структуру чутливого поля, що забезпечує високу щільність елементів, дискретизацію зображення, високу інформативність, швидкодію і малі габарити.

Позитивні характеристики: низький рівень вхідних шумів, висока лінійність фотоелектричного перетворення, мале енергоспоживання, висока стійкість до механічних, електромагнітних і акустичних впливів, висока надійність і довговічність.

Пристрої сполучення засобів управління з об'єктом (ПСО) дозволяють виконати квантування відеосигналу по яскравості і перетворення його, наприклад, в 16-розрядний код, для обробки в ЕОМ. Завдання розпізнавання характеристик об'єкта вирішується методом порівняння з еталонними даними, що знаходяться в пам'яті ЕОМ.

Програмне забезпечення інформаційної підсистеми ЕМС складається зазвичай з декількох частин, які реалізують функцію розпізнавання об'єкта, обробки і відображення інформації.

Для виконання свого функціонального призначення СТЗ робота в загальному випадку повинна забезпечувати: сприйняття оптичного сигналу і формування зображення; передачу отриманих результатів в систему управління робота.

На рис. 12.4 представлена функціональна схема забезпечення чутливості робота, оснащеного СТЗ.

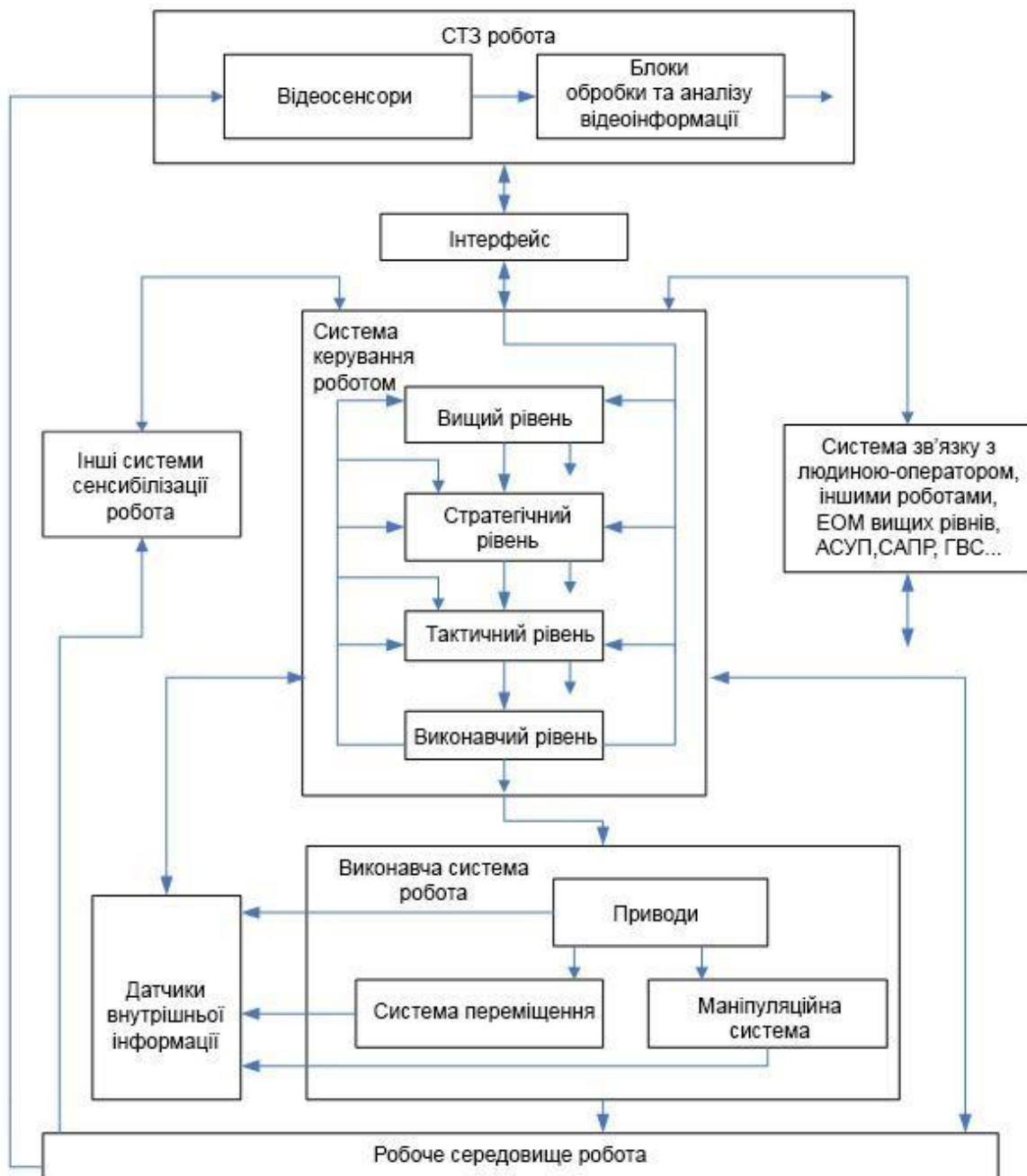


Рисунок 12.4 - Функціональна схема забезпечення чутливості робота, оснащеного СТЗ

Згідно представленій блок-схемі в інформаційному пристрої можна виділити три групи сенсорів:

- 1) датчики інформації про стан зовнішнього середовища і об'єктів робіт (системи технічного зору, локаційні датчики і далекоміри тощо);
- 2) датчики інформації про рух механічної частини (датчики переміщень, швидкостей, прискорень, сил і моментів);
- 3) датчики зворотного зв'язку блоку приводів (дають інформацію про поточні значення електричних струмів і напруг в силових перетворювачів).

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Базова література

1. Комплекс навчально-методичного забезпечення навчальної дисципліни «Технічні засоби автоматизації» підготовки бакалаврів спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології», освітня програма «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» та «Системна інженерія» [Електронний ресурс] / ХНУРЕ; розроб. Л.С. Іванов. – Х., 2022. <http://catalogue.nure.ua/knmz>.

2. Технічні засоби автоматизації: навч. посіб. / Воробйова О.М., Флейта Ю.В. – Одеса: ОНАЗ ім. О.С. Попова, 2018. – 208 с.

3. Технічні засоби автоматизації: підручник. / І.Ш. Невлюдов, А.О. Андрусевич, О.І. Филипенко, Н.П. Демська, С. П. Новоселов – Кривий Ріг: Криворізький коледж НАУ, 2019. – 366 с.

2. Допоміжна література

1. Технічні засоби автоматизації (частина 2) / Лукінюк М.В., Лисенко В.П., Лукін В.С., Гладкий А.М., Шворов С.А., Руденський А.А., Заверткін А.А. - Ніжин: Видавець ПП Лисенко М.М., 2018. - 455 с.

2. Industrial Automation: Hands On / Lamb F. - McGraw-Hill Education; 1st edition, 2013. - 368 p.

3. Методичні вказівки до різних видів занять

1. Методичні вказівки до лабораторних занять з дисципліни «Технічні засоби автоматизації» (ч.1-2) для студентів усіх форм навчання спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» освітня програма «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» та «Системна інженерія» [Електронний ресурс] /Розроб. Л.С. Іванов. – Харків: ХНУРЕ, 2022. – 65 с. <http://catalogue.nure.ua/knmz>.

2. Методичні вказівки до самостійної роботи з дисципліни «Технічні засоби автоматизації» для студентів усіх форм навчання спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології, спеціалізації «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» Ч.1-2 / Упоряд. Л.С. Іванов, ХНУРЕ. – Харків: ХНУРЕ, 2022. – 56 с.

3. Методичні вказівки до курсового проектування з дисципліни «Технічні засоби автоматизації» для студентів заочної форми навчання спеціальності 151 - Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології, спеціалізації «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» та «Системна інженерія» [Електронне видання]/ Упоряд. Л.С. Іванов. – Харків: ХНУРЕ, 2022. – 37 с.

ІНФОРМАЦІЙНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

1. Сучасні технології автоматизації процесів виробничих підприємств – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://op.edu.ua/education/programs/components/3440#>

2. Обладнання для автоматизації – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: - <http://www.owen.ua>

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

з дисципліни «Технічні засоби автоматизації»
(Частина 1)

для студентів усіх форм навчання
спеціальності 151 - Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані
технології

освітньо-професійні програми «Системна інженерія»,
«Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

Упорядник: ІВАНОВ Л.С.



Видавець та виготовлювач ТОВ «Друкарня Мадрид»

Через ФОП Гобельовська Л.П.

61024, м. Харків, вул. Максиміліанівська, 11 Тел.: (057) 756-53-25

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи: Серія ДК № 4399 від 27.08.12

e-mail: info@madrid.in.ua

Відповідальний випусковий Невлюдов І.Ш.

Авторська редакція