

Тема 8. Принципи роботи глобальної системи орієнтування. Сенсори лінійного та кутового переміщення

Основою глобальної системи орієнтування, її "космічної складової", є сукупність 28 штучних супутників Землі, які обертаються навколо нашої планети на висоті близько 20 тис. км в семи різних площинах по 4 супутники на кожній. Період їх звернення складає приблизно 12 годин. Ці навігаційні супутники кілька разів в секунду передають радіосигнали з інформацією про свої точні координати і теперішній момент часу. Параметри орбіт розраховані так, що у будь-який момент часу з будь-якої точки на поверхні Землі видно від 5 до 12 супутників. Для роботи системи досить було б бачити 4 супутники і мати в цілому 24 супутники. Додаткові видимі супутники значно підвищують надійність роботи системи і точність визначення координат.

Сукупність навігаційних супутників GPS образно називають "сузір'ям, штучно створеною людиною". Система GPS була розроблена за замовленням Міністерства оборони США спочатку виключно для військових застосувань. В цілому на її створення витрачені близько 12 млрд. доларів США і декілька десятиліть часу. Перший супутник цієї системи був запущений в 1978 році. З 1989 року стали запускати навігаційні супутники нового покоління. І лише з середини 90-х років ХХ ст. система запрацювала в повну силу. Нині космічна складова системи GPS як і раніше підтримується Міністерством оборони США, хоча з 2000 р. вона відкрита і для цивільного використання.

На кожному навігаційному супутнику встановлений високоточний еталонний годинник (для надійності навіть по два годинника різних типів). За синхронізацією і точністю ходу усього годинника на супутниках GPS і за стабільністю їх орбіт невідпинно стежить мережа контрольно-вимірвальних станцій, розташованих по усій земній кулі.

На кожному супутнику розміщені також комп'ютер, що розраховує його точні координати у момент посилки радіосигналу, і радіопередавач, працюючий в діапазоні частот вище за 1 ГГц. У нових моделях навігаційних супутників є

також і двигун для точного коригування орбіти. Через досить короткі проміжки часу супутник передає в ефір в передбаченому форматі свій номер, свідчення свого годинника і свої поточні координати.

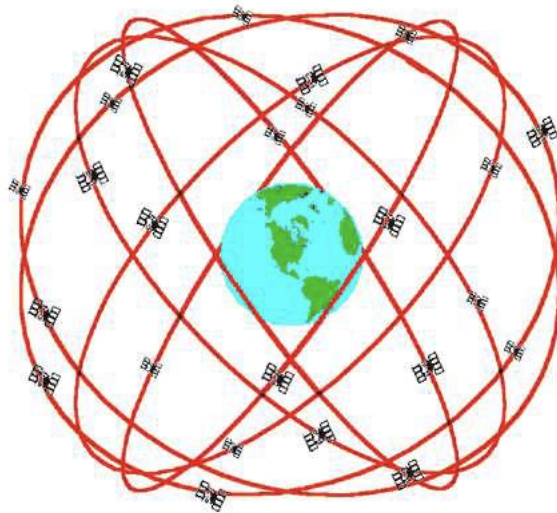


Рисунок 8.1 – Схема розташування орбіт штучних супутників Землі, які входять в систему GPS. Кожен розрахований на 10 років роботи.

В якості системи відліку GPS узяті загальноприйняті географічна довгота і широта, висота над рівнем моря і так званий "час GPS" - час по еталонному годиннику.

Завдяки наявності такої системи супутників завдання точного визначення географічних координат об'єктів на земній кулі значно спростилося. Для цього досить мати при собі відповідний інтелектуальний сенсор - так званий "GPS-приймач" (чи "GPS-ресівер"). До його складу входять багатоканальний приймач радіосигналів від супутників GPS, мікропроцесор і точний власний годинник, який відлічує час GPS. Звичайно, щоб задовольнити вимоги мобільності, портативності і прийнятної вартості, години ці простіше і не так точні, як використовувані на супутниках. Тому їх невелика часова поправка розглядається теж як одна з невідомих величин. Отримавши сигнали від 4-х супутників GPS, мікропроцесор визначає часи запізнювання кожного з сигналів, обчислює відповідну відстань до кожного супутника і вирішує систему з 4-х рівнянь

алгебри з чотирма невідомими: три просторові координати GPS-приймача і часова поправка його годинника. Вичислені координати видаються користувачеві. Якщо приймаються сигнали більш ніж від 4-х супутників, то і число рівнянь виявляється більше за 4, що дозволяє значно зменшити погрішність обчислень, використовуючи алгоритми мінімізації середньоквадратичного відхилення. GPS-приймачі масового користування забезпечують погрішність визначення своїх географічних координат в межах 10-20 м, а високоточні GPS-приймачі для геодезичних вимірів - не більше декількох сантиметрів.

Сенсори GPS

Описані GPS-приймачі - це інтелектуальні сенсори, первинним сигналом для яких є просторове положення самого приймача в системі координат GPS.

Адже саме воно визначає часи запізнювання радіосигналів від навігаційних супутників. Т.е. по фізичній природі первинного сигналу GPS-приймачі є механічними сенсорами. А ось за принципом дії їх часто відносять до електромагнітних сенсорів.

Подальшим істотним їх розвитком є "GPS навігатори". Це спеціалізований навігаційний прилад, який забезпечує орієнтацію в незнайомій місцевості, допомагає планувати найкращі маршрути руху, вибирати орієнтири, запам'ятовує важливу для Вас інформацію про маршрут і т. д.

Разом з GPS приймачем, до його складу входять також кольоровий дисплей і пам'ять з картографічною інформацією. Можна виділити таких 3 групи GPS навігаторів: портативні (кишенькові), автомобільні і професійні.



Рисунок 8.2 – GPS навігатори

Ліворуч на рис. 8.2 показаний приклад кишенькового GPS навігатора. Такі навігатори зазвичай мають невеликі габарити і масу, водонепроникний, стійкий проти ударів корпус і розраховані на туристів, рибалок, геологів, мандрівників, мисливців, грибників і інших масових користувачів. Кольоровий дисплей в таких навігаторах невеликий, але все таки достатній для виведення на нього GPS карти місцевості. Для зберігання картографічної інформації застосовують флеш-пам'ять з картографічною інформацією про потрібний Вам регіон, яку потрібно придбавати окремо. Якщо вона є, то GPS навігатор після автоматичного визначення своїх географічних координат виведе на екран дисплея карту ділянки місцевості, що оточує цей географічний пункт, в заданому Вами масштабі. На карті буде вказано місце Вашого перебування і найпримітніші орієнтири на місцевості, якщо такі є. За Вашою вказівкою GPS навігатор може запам'ятати і показати на карті увесь Ваш маршрут з відмітками часу, зафіксувати координати

Автомобільні GPS навігатори істотно більші, мають більший розмір екрану (рис. 8.2 праворуч), розміщуються на панелі управління автомобілем. Їх картографічні можливості значно розширені: є багатий набір масштабів карти, вказується цінна для автомобілістів інформація про розміщення стоянок, автоінспекцій, станцій заправки паливом, обмежень швидкості і тому подібне.

Дисплей, як правило, сенсорний, є засоби голосових підказок. Діють програми прокладення альтернативних і розрахунку оптимальних маршрутів. Вимірюючи доплерівські зрушення частоти сигналів від супутників, автомобільний навігатор може вчислити напрям і швидкість руху автомобіля і вивести ці дані на дисплей, своєчасно сигналізувати водієві про небезпеку перевищення гранично допустимої швидкості.

Професійні GPS навігатори використовуються в авіації, на океанських, морських і річкових судах, локомотивах, автобусах, на великих вантажних автомобілях далекого дотримання. Окрім вказаних вже вище за функції, вони також підтримують постійний радіозв'язок зі своїми диспетчерськими пунктами, не завантажуючи екіпаж, збирають і автоматично передають диспетчерам інформацію від деяких важливих сенсорів. Завдяки цьому диспетчери мають

оперативну і повну інформацію про стан усієї своєї транспортної мережі, можуть своєчасно реагувати на непередбачені ситуації, змінювати і оптимізувати маршрути, мінімізувати ризики, порожні пробіги і тому подібне

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

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

зв'язатися з трекером, відправивши йому SMS запит. І трекер в SMS повідомленні у відповідь передасть свої поточні координати.

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

Сенсори лінійного переміщення

Невеликі постійні магніти розміщені в тілі поплавця. У кожен момент спрацьовує лише той перемикач, який розташовується усередині поплавця і тому схильний до дії магнітів. Опір електричного ланцюга прямо залежить від місця розташування поплавця і, отже, - від рівня рідини.

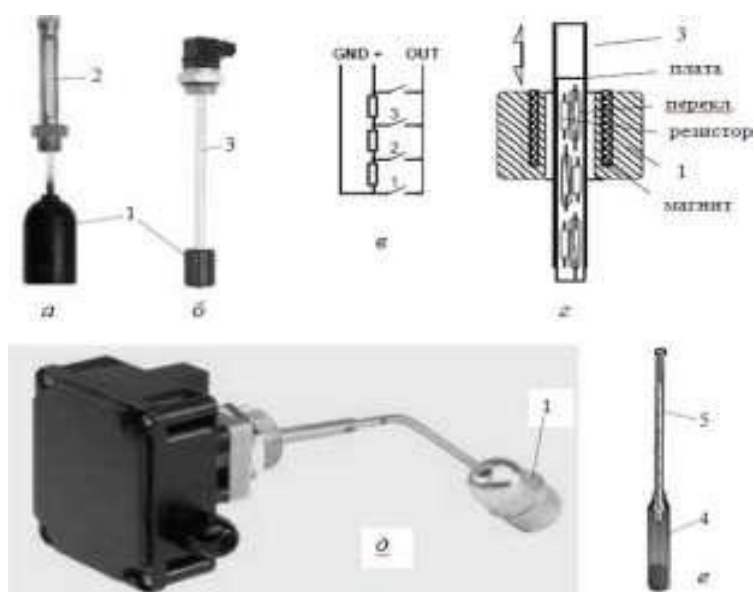


Рисунок 8.3 – Поплавцеві сенсори: а - з візуальним відображенням; б - з електричним прочитуванням; у - електрична схема; г - внутрішня конструкція; д - з механічним замиканням; е - ареометр

Ще одна конструкція поплавцевого сенсора показана на рис. 8.3 д. Тут поплавець жорстко прикріплений до одного кінця трубки, протилежний кінець якої закріплений на осі. При підвищенні рівня рідини і спливанні поплавця, трубка обертається навколо осі і при деякому рівні рідини замикає електричний контакт або перекриває отвір, через який тече рідина.

Для виміру щільності рідин часто застосовують ареометри. Ареометр складається з порожнистої скляної, металевої або пластмасової капсули 4 (рис. 8.3 е), до якої прикріплена тонка "шийка" з шкалою 5. Капсулу 4 заповнюють дробом з таким розрахунком, щоб капсула була повністю занурена в контрольовану рідину, але не тонула в ній, а плавала, і частина шийки з шкалою 5 виступала над поверхнею рідини.

Якщо ж щільність рідини зменшиться, то ареометр зануриться в неї глибше. Таким чином, глибина занурення ареометра в рідину однозначно залежить від її щільності. І вертикальне переміщення шийки ареометра відносно поверхні рідини є сигналом зміни щільності рідини. На цьому принципі побудовані і широко застосовуються:

- спиртоміри - ареометри для визначення об'ємного змісту спирту у воді або води в спирті;
- сахароміри - ареометри для визначення вмісту цукру в сиропі;
- солеміри - ареометри для визначення вмісту солі в розсолі;
- кислотоміри - ареометри для визначення змісту кислот в розчині;
- ареометри для визначення щільності молока, морської води, нафти і нафтопродуктів, електролітів і т. д.

Сенсори кутового переміщення

Серед сенсорів кутового переміщення виділяють 2 групи: сенсори кута нахилу (крену) і сенсори кута повороту.

Інклінометри

Сенсори кута нахилу називають ще "інклінометрами" (від латинського *incline* - нахиляю). Найчастіше йдеться про кутове відхилення від вертикалі або від горизонтальної площини. Вже найдревніші будівельники використали з цією метою схили, ватерпаси (рис. 8.4 а, б, в), пізніше - рівні (рис. 8.4 в).

На початку ХХ століття почали використати ртутні вимикачі, принцип дії яких показаний на рис. 8.4 г. В герметично закритій капсулі вільно переміщається крапелька ртуті. У капсулу з діелектрика введені 2 металеві електроди. Коли капсула розташована вертикально, крапля ртуті знаходиться в центрі і електрично сполучає ці електроди. Якщо ж капсула і плата, на якій вона закріплена, нахиляються до горизонту на кут, який перевищує критичний, крапля ртуті під дією сили тяжіння зміщується, і електричний контакт розривається, сигналізуючи про небезпечний крен.

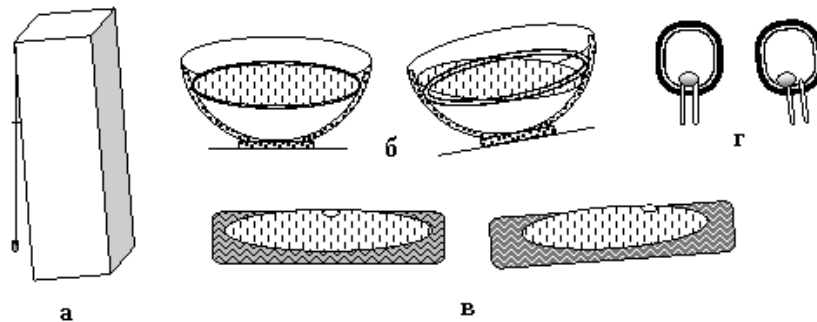


Рисунок 8.4 – Прості сенсори нахилу : а - схил; б - ватерпас; в - рівень; г - ртутний вимикач

За останні десятиліття створені і знайшли широке застосування точніші інклінометри з електричними вихідними сигналами. На рис. 8.5 показаний принцип дії електролітичних інклінометрів.

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

повітряна бульбашка - над центральним електродом, то електричні опори електроліту між електродами 5 і 4, 4 і 6 однакові.

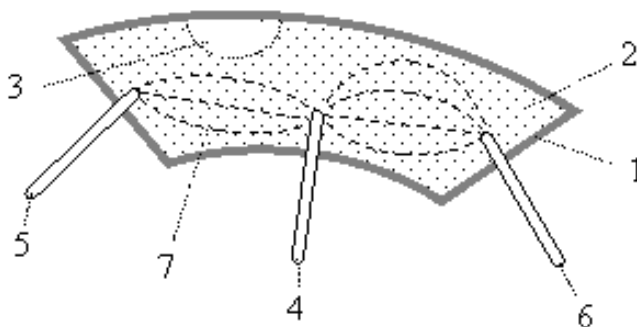


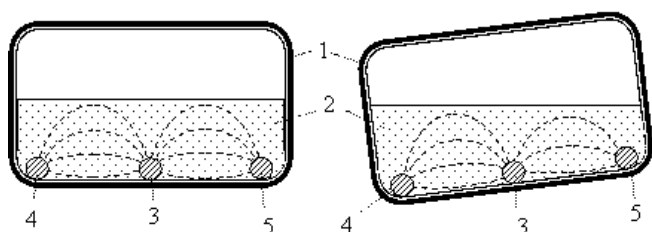
Рисунок 8.5 – Принцип дії електролітичного інклінометра

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

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

Інший варіант конструкції електролітичного інклінометра показаний на рис. 8.6. Електроди у вигляді тяганини розміщені тут паралельно осі, перпендикулярній до площини малюнка, навколо якої при нахилах обертається сенсор. Рідкий електроліт 2 заповнює корпус 1 лише частково. Коли нахилу немає, електричні опори між центральним електродом 3 і бічними електродами 4, 5 однакові. Ці опори включені в плечі мостової схеми змінного струму. Мостову схему балансують так, щоб напруга на виході дорівнювала нулю. При нахилах сенсора кількість електроліту з одного боку зростає, а з іншою зменшується. Відповідно змінюються і електричні опори. Сигнал на виході

мостової схеми і після підсилювача стає тим більшим, чим більше кута нахилу. А його полярність вказує напрям нахилу.



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

Рисунок 8.6 – Конструкція електролітичного інклінометра

Висока точність, невеликі розміри, простота установки на об'єктах зумовили широкий діапазон їх застосування.

Це і контроль за вертикальним положенням висотних споруд, точне визначення напрямку буріння нафтових, газових і інших бурових свердловин, визначення ухилу автомобільних доріг, залізничних колій, штреків в шахтах, крену кораблів, автомобілів, будівельних кранів і екскаваторів, вимір деформаційного прогину мостів, опорних балок і тому подібне.

Випускаються не лише прості, але і інтелектуальні інклінометри зі вбудованими мікропроцесорами, які виконують досить широкий набір функцій.

Це можуть бути одно- і двокоординатні інклінометри з цифровим інтерфейсом, з можливістю автоматичного управління запобіжними механізмами, з можливістю завдання користувачем критичних значень кутів нахилу, з видачею попереджувальних сигналів і т. п.

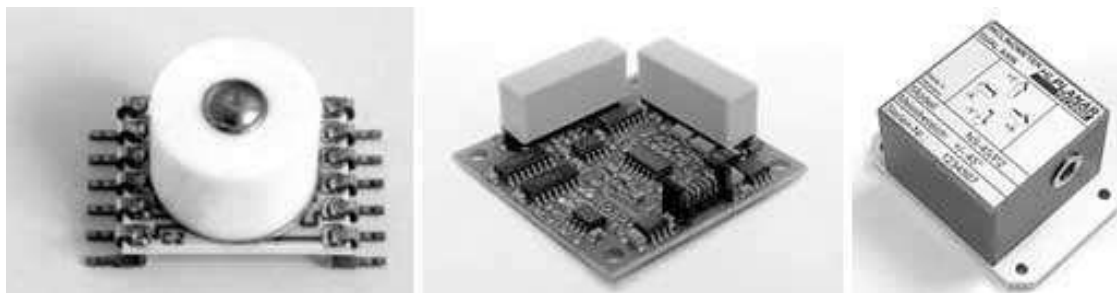


Рисунок 8.7 – Деякі зразки двокоординатних інтелектуальних інклінометрів фірми HL - Planartechnik GmbH

Деякі промислові зразки таких інклінометрів показані на рис. 8.7. Двохкоординатність досягається шляхом використання двох окремих одновісних інклінометрів, зорієнтованих у взаємно перпендикулярних напрямках.

Абсолютні енкодери

Сенсори кута повороту пройшли великий шлях вдосконалення. За багато століть розвитку техніки створені немало різних методів і пристроїв.

Спочатку це були виключно механічні пристрої. У них за допомогою механічних передач кут повороту або кількість виконаних оборотів перетворювалися і відображалися у вигляді переміщення стрілки уздовж шкали з градусними діленнями або у вигляді числа, що формується в прозорому віконці системою коліщаток, на ободі яких нанесені цифри.

В середині ХХ століття популярнішими стали магнітні і електричні сенсори кута повороту або кількості оборотів.

Нині для виміру кутів повороту і кількості оборотів все частіше стали використовувати оптоелектронні енкодери. За принципом дії прийнято розрізняти так звані " абсолютні " і "інкрементні“ енкодери.

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

Принцип дії абсолютного енкодера, розрахованого на один оборот, пояснюється на рис. 8.8. На вал, закріплений на двох прецизійних підшипниках і кінематично сполучений з вузлом, обертання якого контролюється, насаджений кодовий диск.

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

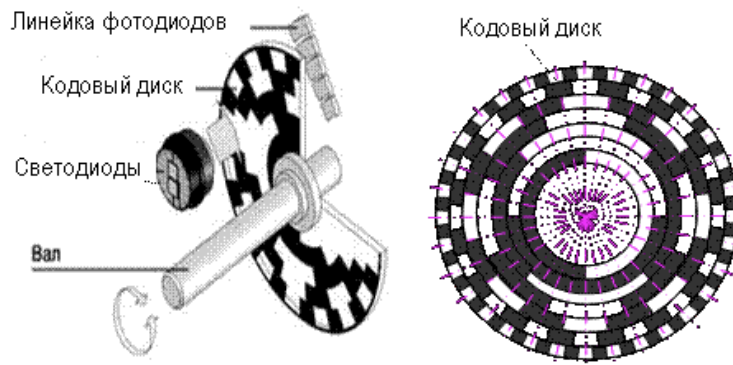


Рисунок 8.8 – Конструкція абсолютного енкодера

Один з можливих варіантів кодування диска показаний на рис. 8.8 справа. Сфокусований циліндричною лінзою в радіальну риску світло від світлодіодів проєктується на кодовий диск. Світло вільно проходить крізь прозорі ділянки доріжок і, потрапивши на відповідні фотодетектори, викликає появу сигналу "1" на виходах відповідних підсилювачів. Крізь непрозорі ділянки доріжок світло не проходить, і на виходах відповідних підсилювачів формуються сигнали "0".

Загальне число можливих n -разрядних двійкових кодів складає 2^n . При сучасному стані технології мікроелектроніки це виявляється зовсім недорого. І тому такі енкодери стали дуже популярними. Їх широко застосовують в антенних системах, в астрономії для визначення небесних координат зірок, в геодезичних приладах, в системах кругового спостереження і т. д.

Проте, є багато практичних завдань, коли окрім знання кутового положення в межах одного обороту потрібно реєструвати також кількість повних обертів і їх напрям. Т.е. потрібно визначати кути не в межах від 0° до 360° , а в межах від $-\infty$ до $+\infty$. Для цього нині використовують багатооборотні енкодери, принцип дії яких показаний на рис. За допомогою зубчастих або інших механічних редукторів кут повороту зменшується в потрібну кількість разів, і кодові диски додаткових мір відлічують кількість оборотів в потрібних користувачам межах.

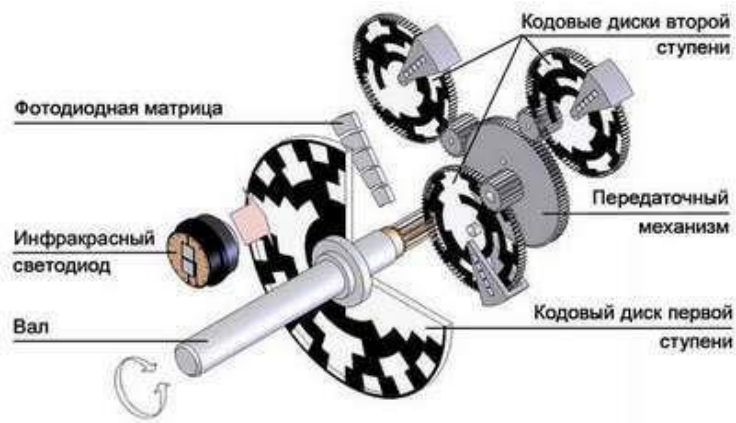


Рисунок 8.9 – Принцип дії багатооборотного абсолютного енкодера

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

В інкрементних енкодерах використовують конструкцію, аналогічну показаній на рис. 8.9, проте рахунковий диск має, як правило, лише одну доріжку, на якій прозорі і непрозорі ділянки чергуються. І відповідно замість лінійки фотодетекторів використовують лише 1 або 2 фотодетектори - залежно від того, можливе обертання диска лише в одному або в обох напрямках. На рис. 8.10 а показано взаємне розташування рахункового диска 1, блоку фотодетекторів 2 і світлового зонду 3 від світлодіода. Якщо диск 1 може обертатися лише в одному напрямі, то досить одного фотодетектора. На виході сенсора формуватиметься послідовність імпульсів з періодом, обернено пропорційним до швидкості обертання диска. Поява наступного імпульсу свідчить про поворот диска на кут $360^\circ / n$, де n - кількість пар непрозорих і прозорих ділянок на диску.

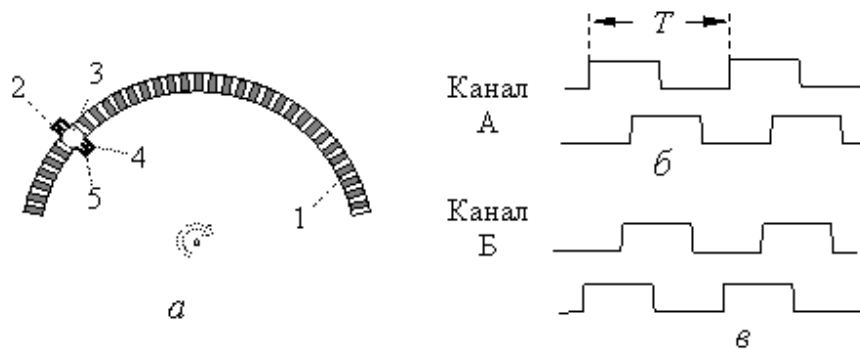


Рисунок 8.10 – Принцип дії інкрементного енкодера

Якщо диск може обертатися в обох напрямках, і інформація про це важлива, то блок 2 складається з двох фотодетекторів 4 і 5, розміщених уздовж доріжки на відстані менше, ніж ширина прозорої або непрозорої ділянки. Вихід сенсора в цьому випадку є двоканальним. На виході А формуються імпульси від фотодетектора 4, а на виході б - від фотодетектора 5. Якщо диск 1 обертається проти годинникової стрілки, то імпульси на виході А з'являються трохи раніше, ніж імпульси на виході б (рис. 8.10 б). При обертанні диска за годинниковою стрілкою порядок появи імпульсів - зворотний (рис. 8.10 в).

Іноді на рахунковому диску роблять додаткове прозоре віконце на сусідній доріжці (одно на усю доріжку) і ставлять ще один фотодетектор, сигнал від якого виводять на додатковий канал синхронізації. Цей канал використовують для фіксації початку відліку і для компенсації погрешностей, які можуть накопичуватися при великому числі оборотів.

Кутові енкодери нині все частіше застосовують спільно з інтелектуальними електронними модулями. Такі сенсори називають "інтелектуальними тахометрами". На входи такого невеликого пристрою поступає від енкодера послідовність імпульсів, яку в реальному часі швидко обробляє мікропроцесор. Він підраховує загальне число імпульсів, що прийшли від інкрементного енкодера, починаючи від вказаного моменту часу. А знаючи кут повороту, який відповідає одному імпульсу, тахометр миттєво обчислює кутове положення контрольованого об'єкту у будь-який момент часу, може запам'ятовувати усю динаміку обертання із заданою дискретністю.

Отримуючи імпульси від двоканальних інкрементних енкодерів, інтелектуальний тахометр при обчисленні поточного кутового положення може враховувати і зміну напрямку обертання. По тимчасових інтервалах між вступом імпульсів мікропроцесор може вичислити миттєву кутову швидкість. Він може також визначати середню кутову швидкість за певний інтервал часу, мінімальні і максимальні значення величин і тому подібне, - все, що треба користувачеві.

Роторні і турбінні сенсори

Ще одним прикладом сенсорів, в яких обертання є первинним механічним сигналом, служать роторні і турбінні вимірники об'ємного потоку рідини.

Чутливими елементами в них є лопаті колеса або міні-турбіни. У потоці рідини вони починають обертатися, і кут їх повороту, число оборотів прямо залежать від об'єму рідини, яка протікає через поперечний переріз труби, в якій вони встановлені.

Кут повороту, число оборотів перетворюються потім, як правило, в електричні сигнали за допомогою інтегрованих в конструкцію сенсора оптоелектронних, індуктивних, ємнісних або магніточутливих елементів.

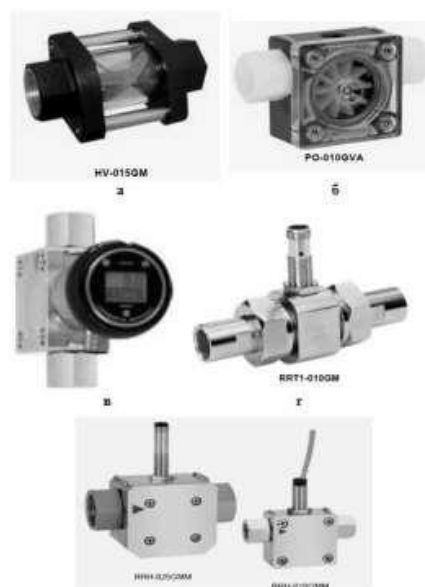


Рисунок 8.11 – Промислові сенсори для виміру об'ємного потоку рідини
а - турбінний сенсор; б - роторний сенсор; в - сенсор разом з інтелектуальним лічильником "Omni-rr"

На рис. 8.11 вгорі справа показаний роторний сенсор з прозорою кришкою, - щоб був видний принцип його дії. Рідина, поточна крізь сенсор, передає частину свого механічного імпульсу лопатям, внаслідок чого колесо обертається. А вбудована оптоелектронна схема перетворює обертання на послідовність електричних сигналів.

"Інтелектуальну" частину подібних сенсорів випускають у вигляді автономних електронних модулів, які можуть бути розміщені безпосередньо біля сенсора (рис. 8.11 в). Залежно від конструктивного виконання і вживаних матеріалів такі сенсори придатні для виміру потоків води, нафтопродуктів, олій і інш. з температурою до 100 З в діапазоні від 0,025 л/хв до 100 л/хв з точністю від 1% до 5%.