

СЕНСОР ДОТИКУ ДЛЯ РОБОТЕХНІЧНИХ І МЕХАТРОННИХ СИСТЕМ

Д.т.н. М. В. Замірець¹, О. О. Чала², А. І. Бронніков², А. В. Кугір², Т. І. Павленко²

1. Державне підприємство Науково-дослідний технологічний інститут приладобудування, м.Харків

2. Харківський національний університет радіоелектроніки

Проаналізовані основні види сенсорів дотику, які використовуються в робототехніці та мехатроніці, технічні особливості та принципи їх проектування. Спроектовано власну конструкцію сенсору дотику для сенсорного вимикача. Проведено розрахунки відстані холостого ходу сенсора до моменту спрацьовування: середнього арифметичного значення, дисперсії та середнього квадратичного відхилення.

Проанализированы основные виды сенсоров касания, которые используются в робототехнике и мехатронике, технические особенности и принципы их проектирования. Спроектирована собственная конструкция сенсора касания для сенсорного выключателя. Проведены расчеты расстояния холостого хода сенсора до момента срабатывания: среднего арифметического значения, дисперсии и среднего квадратического отклонения.

The main types of touch sensors that are used in robotics and mechatronics, technical features and the principles of their design are analyzed. Own design of touch sensor for touch switch is designed. Calculations were made of the sensor idle distance to the instant of operation: arithmetic mean value, variance and standard deviation.

Ключові слова: сенсор, конструкція, числове програмне управління, перетворювач.

Вступ

Для розпізнавання об'єктів, оцінки стану навколишнього середовища, а також визначення дій, які виконуються на основі отриманих даних, в робототехнічних та мехатронних системах впроваджуються сенсорні системи, які базуються на функціях органів чуття та сенсibiлізації.

Існують технічні рішення для давачів механічних величин (лінійних переміщень, відстані, прискорення, сил і моментів) і системи технічного зору, вимірювачі температури, струму і напруги, інтенсивності світлового потоку, радіоактивних і магнітних полів, акустичних сенсорів, детекторів води і газоаналізаторів та інших. Всі вони засновані на різних фізичних принципах, що визначають, як правило, діапазон умов, в яких може бути забезпечена необхідна якість вимірювань.

Сенсори дотику

Сенсор (датчик) дотику є пристроєм, який вимірює інформацію, що отримується від фізичної взаємодії з навколишнім середовищем.

Датчик дотику, як правило, створюється за зразком біологічного відчуття дотику шкіри, який здатний виявляти подразники в результаті механічного подразнення, температури і болю.

Тактильні датчики використовуються в робототехніці, комп'ютерній техніці та системах безпеки.

Загальне призначення датчиків дотику полягає в сенсорних пристроях на мобільних телефонах та в обчислювальній техніці.

В робототехніці широке поширення набув, так званий сенсор дотику – аналоговий датчик, тобто датчик дотику (сенсibiлізації), що можна запрограмувати в залежності від трьох умов: натискання, відпускання і клацання (натиснення і відпуску).

Сенсори дотику використовують, наприклад, в процесі вимірювання на координатно-вимірювальних машинах (КВМ).

Деякі датчики містять шуп з вимірювальним наконечником, механізми підвіски шупів, перетворювачі сигналу при торканні або переміщенні, головку повороту і гойдання давачів, а деякі використовують електромагнітну взаємодію з навколишніми предметами.

З появою КВМ і верстатів з числовим програмним управлінням (ЧПУ) поширення набули оригінальні трикоординатні $\pm X$, $\pm Y$, $\pm Z$ сенсори дотику (рис.1) [1].



Рис.1. Трикоординатний сенсор дотику

Сенсор має просту конструкцію (рис.2), що базується на електроконтактному способі перетворення сигналу. Такі сенсори дотику називають тригерними (механічними).

Сенсор складається з корпусу, в основі якого встановлено три пари кульок (призм), розташованих під кутом в 120 градусів.

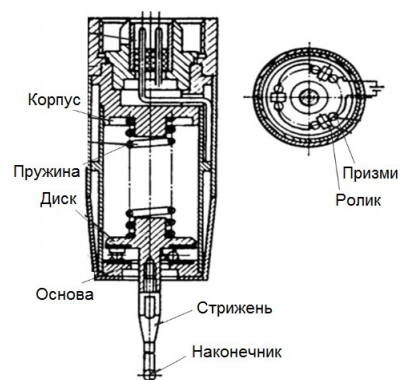


Рис.2. Електроконтактний тригерний датчик дотику

Уздовж осі головки розміщують підпружинений стрижень, що несе на одному кінці вимірювальний наконечник, а на іншому – диск з трьома роликками, що розміщені в одній площині радіально і симетрично під кутом 120 градусів. У вихідному положенні кожен ролик спирається на пару кульок. Такий дотик в шести точках

створює повну однозначність положення контактного наконечника [2]. При цьому кожен ролик замикає пару кульок, які включені послідовно в загальний ланцюг постійного струму (рис.3).

При будь-якому зсуві наконечника в момент дотику, один з циліндрів відривається від однієї з кульок, розриваючи ланцюг. Електричний сигнал подається в КВМ. Таким чином, критичний сенсор дотику спрацьовує при найменшому торканні з поверхнею контрольованої деталі в будь-якому напрямку.

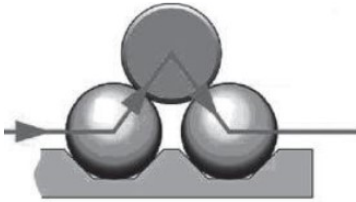


Рис.3. Протікання струму через кульки-ролики

Сенсори дотику проєктують на основі тензоелементів. Типова конструктивна схема сенсору дотику з тензоелементами представлена на рисунку 4.

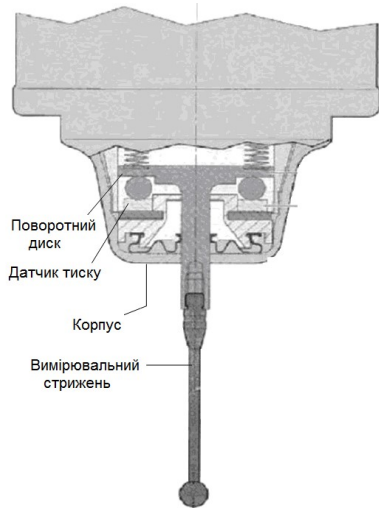


Рис.4. Конструктивна схема датчика дотику з тензоелементами

Відмінність електронних тригерних сенсорів полягає в тому, що, на відміну від електроконтактних, використовується не релейний вихідний сигнал, а вихідний сигнал постійного струму на невеликій ділянці в кілька мкм. Це дозволяє за допомогою електронної схеми посилити сигнал, підвищувати точність вимірювання і запобігати «пелюстковому ефекту».

Сенсор працює у всіх напрямках $\pm X$, $\pm Y$, $\pm Z$. У напрямку $\pm X$ і $\pm Y$ перебіг становить приблизно ± 16 градусів кута повороту щупа, по осі Z перебігаючи ± 5 мм.

При тестових випробуваннях – довжина щупа 50 мм, швидкість підведення до контрольованої поверхні 240 мм / хв – односпрямована повторюваність (2σ) становить $\pm 0,25$ мкм. Вимірювальне зусилля в площині XY – 0,02 Н, по осі Z – 0,15 Н [3].

В робототехніці набули розповсюдження давачів дотику на основі тензоелементів. Наприклад, використовуються в кнопках, які керують роботами: запуск роботи робота за «кляцанням» кнопки, поворот

робота на 90 градусів, продовження або припинення роботи робота.

Скануючі сенсори дотику

Скануючими сенсорами дотику є сенсори відхилення, які на відміну від тригерних сенсорів, подають в систему ЧПУ-машини не один сигнал «торкання», а безперервний сигнал, відповідний відхиленню щупа сенсора при торканні контрольованої поверхні і переміщенню по ній.

Скануючий сенсор видає три сигнали по кожній осі (X , Y , Z), так як має три вимірювальних перетворювача.

Існує кілька аналогічних конструкцій пасивних скануючих сенсорів. Щуп скануючого сенсора встановлено на трьох парах плоскопаралельних пружин (трьох паралелограмах), що переміщуються в трьох координатних напрямках X , Y , Z (рис.5). Це забезпечує переміщення щупу в просторі в будь-якому напрямку.

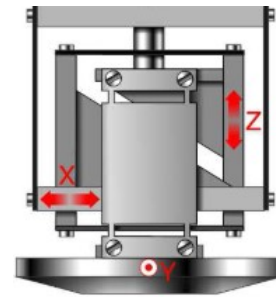


Рис.5. Конструкція підвіски щупа скануючого сенсора дотику на трьох паралелограмах

Такий сенсор може використовуватись, як додатковий елемент пристрою для моделювання та виготовлення об'ємних тіл. Він допомагає отримувати додаткову інформацію про координати у складі систем з ЧПУ.

Ємнісний сенсор дотику

Конструкція ємнісного сенсорного екрана передбачає нанесення з одного боку прозорого провідного шару, наприклад оксиду індію та олова. На цей шар у чотирьох кутах екрана подається напруга, яка утворює однорідне електричне поле. При доторканні контролер пристрою визначає координати дотику за зміною ємності на підставі зміни напруги в кутах панелі.

Ємнісна технологія застосовується на малих екранах і, у яких одночасно опрацьовується тільки один дотик. Ємнісна сенсорна технологія не дозволяє реалізовувати мультиточок, а також може генерувати фальшиві повідомлення різких змін електричних параметрів навколишнього середовища. Зазвичай, у дисплеях великого формату використовується інфрачервона сенсорна технологія, недоліком якої є певне запізнення [4].

У проєкційно-ємнісному сенсорному екрані на два паралельні скляні листи наносяться горизонтальні і вертикальні провідні доріжки. Фактично, утворюється сітка тонких доріжок, на які по черзі подається напруга (рис.6).

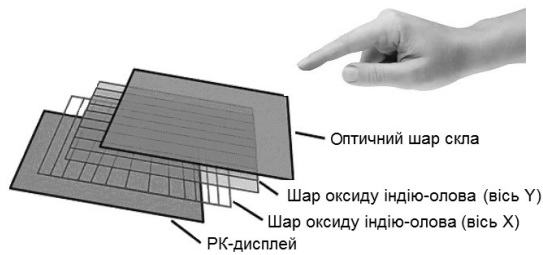


Рис.6. Модель сенсорного екрану

У момент дотику до екрана контролер визначає зміну ємності між сітками доріжок. Проекційно-ємнісні екрани здатні розпізнавати одночасно декілька дотиків.

Ємнісний сенсор дотику використовується при виготовленні сенсорних екранів в сучасних пристроях, таких як смартфони, планшети, старт системи та інше чи для панелі управління мехатронними системами.

Розглянемо ємнісний сенсор на базі друкованої плати. Досить просто створити конденсатор, використовуючи лише електропровідні шари, розділені друкованою платою. Наприклад, розглянемо наступні вид зверху і вид збоку друкованого конденсатора, що використовується в якості сенсорної кнопки дотику (рис.7).

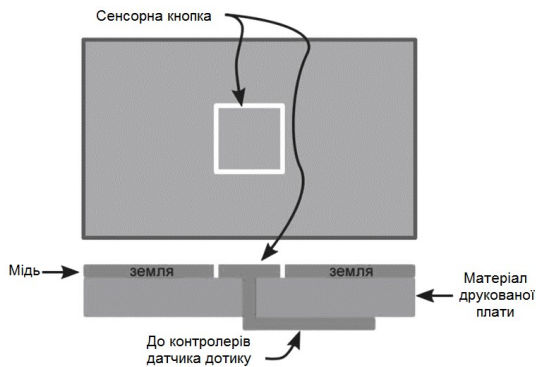


Рис.7. Вид зверху та збоку друкованого конденсатора

Ізолюючий поділ між сенсорною кнопкою і навколишньою міддю створює конденсатор. В цьому випадку, навколишня мідь підключена до землі, і, отже, сенсорна кнопка може бути змодельована, як конденсатор між сенсорним сигнальним майданчиком і землею [5, 7, 8].

Функціонування схеми сенсора (рис. 8) ґрунтується на застосуванні наявного електромагнітного поля, яке створює електропровідка.

Дотик до датчика сенсора, наприклад, рукою рівносильно приєднанню антени до чутливого входу підсилювача. В результаті цього наведений мережевий струм надходить на затвор польового транзистора, який грає роль електронного перемикача.

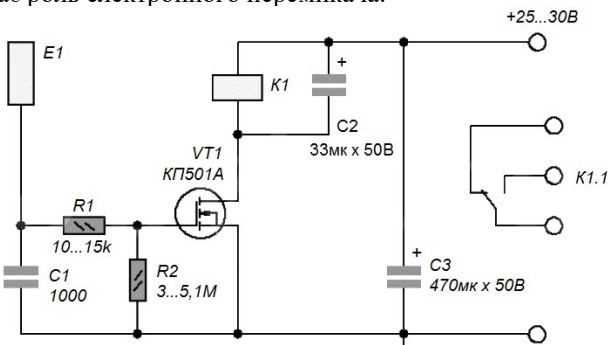


Рис.8. Схема сенсору дотику

Даний сенсор дотику досить простий за рахунок застосування польового транзистора КП501А. Даний транзистор забезпечує пропускання струму до 180 мА при граничному напруженні витік-стік до 240В. Для захисту від статичної електрики на його вході є діод. Польовий транзистор має великий вхідний опір для його вистачає статичної напруги, яка більше порогового значення. Для даного типу польового транзистора номінальне порогове напруга становить 1... 3 В, а максимально допустима дорівнює 20 В.

При дотику до сенсора E_1 , ступінь наведеного потенціалу на затворі є достатньою для відкриття транзистора. При цьому на стоці VT_1 генерується електричні імпульси тривалістю 35мс з частотою 50 Гц. Для перемикання більшості електромагнітних реле необхідно всього 3...25мс. Для запобігання контактів реле, в момент дотику, в схему включений конденсатор C_2 . За рахунок накопиченого заряду на конденсаторі, реле буде включеним навіть в той напівперіод мережевої напруги, коли VT_1 буде закритий. На час дотику до сенсора, реле знаходиться включеному стані.

Конденсатор C_1 збільшує стійкість сенсора до високочастотних радіоперешкод.

Механізм регулювання чутливості дотику до сенсора забезпечується шляхом зміни ємності C_1 і опору R_1 . Група контактів K_1 здійснює управління зовнішніми електронними пристроями [9].

Додавши до цієї схеми тригер і вузол комутації мережевого навантаження було отримано сенсорний вимикач (рис. 9), що може бути використаний у складі робототехнічних систем.

Пристрій переводить тригер в один із стійких станів і відповідно вмикає джерело при першому торканні до сенсорного датчика E_1 і при повторному торканні переводить його в інший стан. Тривалість перебування тригера в будь-якому з двох стійких станів нічим не обмежена, до тих пір, поки на пристрій подається напруга живлення.

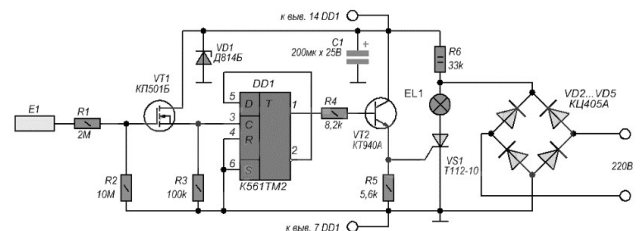


Рис.9. Схема сенсорного вимикача

Модуль тригера побудований за типовою схемою на логічній інтегральній мікросхемі $DD_1 K_{561}TM_2$ [10, 11].

У схемі був використаний тільки один з двох наявних елементів даної мікросхеми. З виходу 1 мікросхеми DD_1 керуючий сигнал йде на підсилювач струму побудованого на транзисторі VT_2 . Керуючий вивід тиристора VS_1 підключений до емітеру (біполярного транзистору) VT_1 і при досягненні на ньому напруги в 3В тиристор (напівпровідниковий прилад, виконаний на основі монокристала) відкривається, тим самим включаючи світло.

Оскільки польовий транзистор VT_1 має великий опір переходу стік-витік-затвор, в ланцюзі сенсора включені мегаомові резистори R_1 і R_2 , то це перешкоджає появі напруги електромережі на сенсорній пластині. Транзистор VT_1 відкривається під впливом напруги електромережі, яка наводиться на сенсор.

Резистор R3 шунтує вхід 3 тригера DD1. Тригер змінює стан під час кожного позитивного сигналу на виході 3. Унаслідок цього сигнал на його виході 1 змінюється на протилежний.

У той час, коли на виході 1 тригера DD1 буває логічний нуль, транзистор VT2 замкнений і навантаження відключене. При ілогічній одиниці на виході 3, транзистор і відповідно тиристор відкриті і в результаті цього навантаження підключається до електромережі. При робочих деталях і безпомилковому монтажі пристрій починає працювати відразу і в налаштуванні не потребує [12 - 13].

Сенсорний вимикач збирають на друкованій платі і встановлюють у відповідному за розміром корпусі з пластику. При пайці елементів потрібно домогтися, щоб виводи радіодеталей були короткими (для ослаблення паразитних впливів).

Зміна чутливості сенсора виконується шляхом підбору необхідного опору R_2 . Сенсор виготовляється з будь-якого металу діаметром не менше 3 см.

Даний сенсорний вимикач забезпечує включення і виключення джерела, наприклад, системи освітлення має потужність не більше 60 Вт. При більшій потужності, тиристор необхідно розмістити на радіаторі.

Було визначено відстань холостого ходу датчика до моменту спрацьовування за допомогою мікрометра. Для точності експерименту було спроектовано чотири датчики дотику.

Порядок проведення експерименту:

- підключаємо датчик до контролеру;
- включаємо контролер та забезпечуємо виведення даних на дисплей;
- ставимо датчик і мікрометр на стенд;
- повільно, зближуючи поверхню і датчик, знімаємо данні з мікрометра в момент спрацьовування датчика.

Було розраховане середнє значення холостого ходу для кожного з датчиків за (1):

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n x_i, \quad (1)$$

де n – загальна кількість проведених експериментів;

x_i – значення, отриманні в ході експерименту.

Середнє арифметичне значення холостого ходу сенсора:

$$\bar{x} = \frac{1}{5} \cdot (2,5 + 2,51 + 2,45 + 2,49 + 2,51) = 2,492.$$

За даними було розраховано дисперсію значень холостого ходу за (2):

$$D[X] = \frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2, \quad (2)$$

де n – загальна кількість проведених експериментів;

x_i – значення, отриманні в ході експерименту;

\bar{x} – середнє арифметичне значення холостого ходу.

Дисперсія холостого ходу сенсора:

$$D[X] = \frac{1}{4} \cdot ((2,5 - 2,492)^2 + (2,51 - 2,492)^2 + (2,45 - 2,492)^2 + (2,49 - 2,492)^2 + (2,51 - 2,492)^2) = 0,001349$$

Розрахуємо середнє квадратичне відхилення за (3):

$$\sigma = \sqrt{D[X]}. \quad (3)$$

Середнє квадратичне відхилення холостого ходу сенсора:

$$\sigma = \sqrt{0,001349} = 0,367.$$

Графік показів мікрометра для сенсора зображений на рисунку 10.



Рис.10. Показання мікрометра

Висновки

Розглянуто сучасні сенсори дотику, їх види, принцип роботи та технології створення. Такі сенсорні системи можуть знайти використання в роботизованих та мехатронних системах.

В спроектованому сенсорі було проведено розрахунки відстані холостого ходу сенсора до моменту спрацьовування: середнього арифметичного значення, дисперсії та середнього квадратичного відхилення. Вимірювання показали, що у сенсорів дотику середній холостий хід 2,5мм.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ:

1. Гуманюк, М. Н. Магнітоупругі датчики в автоматизації / М.Н. Гуманюк. - М.: Техніка, 1997. - 264 с
2. Казарян, А. А. Плівкові датчики тиску / А.А. Казарян. - М.: Паперова галерея, 2006. - 320 с.
3. Кашкаров, А. П. 500 схем для радіоаматорів. Електронні датчики / А.П. Кашкаров. - М.: Наука і техніка, 2008. - 288 с.
4. Кашкаров, А. П. Датчики в електронних схемах. Від простого до складного / А.П. Кашкаров. - М.: ДМК Пресс, 2013. - 200 с.
5. Клаасен, К. Основи вимірювань. Датчики і електронні прилади / К. Клаасен. - Москва: Наука, 2008. - 352 с.
6. Конюхов, Н. Е. Електромагнітні датчики механічних величин / Н.Е. Конюхов, Ф.М. Медников, М.Л. Нечаєвський. - М.: Машинобудування, 1987. - 254 с.
7. Малов, В. В. Пьезорезонансні датчики / В.В. Малов. - М.: Вища школа, 1989. - 272 с.
8. Платт, Чарльз Електроніка. Логічні мікросхеми, підсилювачі і датчики для початківців / Чарльз Платт. - М.: БХВ-Петербург, 2015. - 464 с.
9. Невлюдов І.Ш., Андрусевиц А.О., Пономарьова Г.В., Функенлорф А.О. Виробничі процеси та обладнання об'єктів автоматизації. Збірник задач: Навч. посібник. - Кривий Ріг; Криворізький коледж НАУ, 2018 р. - 332 с.
10. Технічні засоби автоматизації: Підручник / І.Ш. Невлюдов, А.О. Андрусевиц, О.І. Филипенко, Н.П. Демська, С.П. Новоселов. - Кривий Ріг: Криворізький коледж НАУ, 2019. - 366 с.
11. Невлюдов І.Ш. Автоматичне управління технологічними об'єктами / І.Ш. Невлюдов, О.В. Токарева. - Київ: НАУ, 2018. - 200 с.
12. Невлюдов І. Ш., Палагин В. А., Чалая Е. А. Технології мікросистемної техніки (частина II) // Технологія приборостроєння. - 2015. - №. 2. - С. 5-10.
13. Невлюдов І. Ш., Палагин В. А., Чалая Е. А. Технології мікросистемної техніки (частина II) // Технологія приборостроєння. - 2015. - №. 2. - С. 5-10.