

**Методичні вказівки
до виконання курсової роботи з дисципліни
«Вимірювальні перетворювачі»
для студентів усіх освітніх програм і форм
навчання спеціальності
152 - «Метрологія та інформаційно-
вимірювальна техніка»**

Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет

Методичні вказівки
до виконання курсової роботи з дисципліни
«Вимірювальні перетворювачі»
для студентів усіх освітніх програм і форм
навчання спеціальності
152 - «Метрологія та інформаційно-
вимірювальна техніка»

Вінниця
ВНТУ
2019

Рекомендовано до друку Методичною радою Вінницького національного технічного університету Міністерства освіти і науки України (протокол № ___ від 00.00.2019 р.)

Рецензенти:

М. Г. Тарновський, кандидат технічних наук, доцент

С.М. Довгалець, кандидат технічних наук, доцент

Ю. В. Булига, кандидат технічних наук, доцент

Методичні вказівки до виконання курсової роботи з дисципліни «Вимірювальні перетворювачі» для студентів усіх освітніх програм і форм навчання спеціальності 152 – «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка» / Укладачі: І.А. Дудатьєв, В.С. Маньковська – Вінниця: ВНТУ, 2019. – 34 с.

Методичні вказівки містять загальні вимоги до написання та оформлення курсової роботи з дисципліни «Вимірювальні перетворювачі» для студентів усіх освітніх програм і форм навчання спеціальності 152 – «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка». У методичних вказівках визначається мета, завдання, вимоги до структури, змісту і оформлення пояснювальної записки, а також необхідні теоретичні відомості та послідовність виконання курсової роботи, наводяться рекомендації щодо написання окремих розділів роботи із наведенням конкретних прикладів розрахунку орієнтовних завдань.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1 ТЕМА, МЕТА І ЗАВДАННЯ	8
2 ПІДГОТОВКА ДО ВИКОНАННЯ	9
3 ЗМІСТ, СТРУКТУРА ТА ОБСЯГ.....	10
3.1 Вимоги до анотації.....	10
3.2 Вимоги до вступу	10
3.3 Вимоги до основної частини роботи	11
3.4 Вимоги до висновків.....	14
4 ПЕРЕЛІК ОРІЄНТОВНИХ ЗАВДАНЬ НА КУРСОВУ РОБОТУ.....	15
5 ПРИКЛАДИ РОЗРАХУНКУ ЗАВДАНЬ	16
5.1 Приклад розв'язування завдання 1	16
5.2 Приклад розв'язування завдання 2.....	20
5.3 Приклад розв'язування завдання 3.....	21
5.4 Приклад розв'язування завдання 4.....	24
6 ПОРЯДОК ОРГАНІЗАЦІЇ ЗАХИСТУ ТА КРИТЕРІЇ ОЦІНЮВАННЯ.....	29
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	30
Додаток А (Довідковий) Зразок оформлення титульного аркуша.....	31
Додаток Б (Довідковий) Завдання на курсову роботу.....	32
Додаток В (Обов'язковий) Розклад функції перетворення в ряд Тейлора.....	33

ВСТУП

Вимірювальна інформація – це кількісна інформація про властивості фізичних об'єктів (про значення фізичних величин), отримана в результаті вимірювань. Особливість вимірювальної інформації впливає із загального визначення поняття вимірювання як знаходження значення фізичної величини дослідно за допомогою спеціально призначених для цього технічних засобів [1]. Використання вимірювальних перетворень є єдиним методом практичної побудови будь-яких вимірювальних пристроїв, тому що кожний вимірювальний засіб використовує ті чи інші функціональні зв'язки (найпростіші або більш складні) між вхідною та вихідною величинами.

Вимірювальний перетворювач – це технічний пристрій, який побудований на певному фізичному принципі дії і виконує одне часткове вимірювальне перетворення. Поняття “вимірювальний перетворювач” значно більш вузьке, більш конкретне, ніж поняття “вимірювальне перетворення”, тому що одне й теж вимірювальне перетворення може виконуватися цілою низкою різних за принципом дії вимірювальних перетворювачів.

Вимірювальне перетворення – це вимірювальна операція, під час якої вхідна фізична величина перетворюється у вихідну, функційно з нею зв'язану. Фізичною основою вимірювального перетворення є перетворення та передавання енергії, зокрема перетворення одного виду енергії в інший. Вимірювальним перетворювачем (ВП) називають засіб вимірювальної техніки, що реалізує вимірювальне перетворення (засіб вимірювальної техніки, призначений для вироблення сигналу вимірювальної інформації у формі, зручній для передачі, для подальшого перетворення, оброблення та зберігання, але непридатній для безпосереднього сприйняття спостерігачем). Вважаємо доцільним звернути увагу на відмінність у поняттях “вимірювальний перетворювач” та “перетворювальний елемент”. ВП як засіб вимірювань має нормовані метрологічні характеристики і виконується звичайно у вигляді окремого засобу певного класу точності. Перетворювальний елемент як частина засобу вимірювань не має окремо нормованих метрологічних характеристик, однак його похибки лімітуються допустимими похибками тих засобів вимірювань, до складу яких він входить [2].

Основна мета методичних вказівок – надати студентам необхідну інформацію, що дозволить виконувати опрацювання результатів вимірювань, контролю та діагностування на основі наведених прикладів і методик розрахунку.

В процесі виконання курсової роботи студенти повинні максимально використати набуті теоретичні знання, виявити вміння застосовувати їх на практиці при розв'язанні завдань відповідно до заданих варіантів, а також продемонструвати високий рівень знань математичного апарату та

прикладних математичних пакетів для опрацювання необхідних результатів на основі концепції невизначеності.

Пропоновані методичні вказівки містять необхідну інформацію, яка сприятиме самостійному та грамотному виконанню курсової роботи. У відповідних розділах подано зміст і методику виконання курсової роботи, завдання, порядок виконання та вимоги до оформлення курсової роботи. Використовуючи рекомендований методичний підхід, студент зможе успішно виконати задані відповідно до варіанту завдання.

Курсова робота виконується студентами самостійно під керівництвом викладача і для успішного її виконання важливим є вивчення відповідної навчальної та методичної літератури з дисципліни «Вимірвальні перетворювачі».

1 ТЕМА, МЕТА І ЗАВДАННЯ

Курсова робота з дисципліни «Вимірювальні перетворювачі» є важливою складовою частиною підготовки технічних фахівців усіх освітніх програм і форм навчання спеціальності 152 – «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка». Написання і захист курсової роботи є обов'язковим етапом вивчення навчальної програми дисципліни.

Метою виконання курсової роботи є поглиблення набутих теоретичних знань з дисципліни «Вимірювальні перетворювачі»; формування практичних навичок опрацювання результатів вимірювань та теоретичних навичок у дослідженні операції вимірювального перетворення.

У процесі досягнення зазначеної мети вирішуються такі завдання:

- закріпити та поглибити знання з дисципліни «Основи теорії невизначеності вимірювань»;
- систематизувати методики оцінювання результатів вимірювань, оволодіти математичними пакетами прикладних програм;
- обґрунтувати вибір відповідних методів та підходів для подальшого вирішення необхідного завдання;
- за потреби побудувати необхідні характеристики зміни невизначеності;
- проаналізувати результати оцінювання, подати отримані результати та зробити відповідні висновки.

Виконання студентами курсової роботи сприяє поєднанню в цілісну систему знань і умінь в галузі коенцепції невизначеності вимірювань, що дозволяє їм сформулювати чіткі уявлення про методологію оцінювання і подання невизначеності результатів вимірювань та навчитись використовувати її на практиці.

Керівник курсової роботи надає допомогу в уточненні змісту, складанні завдання для виконання курсової роботи. Керівник також сприяє процесу збирання та отримання необхідного матеріалу для написання курсової роботи, рекомендує основну та додаткову літературу, проводить регулярні консультації; розробляє календарний графік виконання етапів роботи та слідкує за його дотриманням, перевіряє роботу, робить відповідні зауваження і вирішує питання про можливість допуску до захисту.

2 ПІДГОТОВКА ДО ВИКОНАННЯ

На початку семестру студент отримує завдання на курсову роботу, оформлене відповідно до вимог, що висувуються до такого роду документів. Як правило, індивідуальне завдання являє собою аркуш паперу формату А4, на якому в стислій формі подаються завдання, вихідні дані для виконання роботи у вигляді варіантів та наводиться орієнтовний зміст роботи. Індивідуальні завдання для студентів затверджує завідувач кафедри на початку семестру. При отриманні індивідуального завдання у відповідній графі бланку студент ставить свій підпис. Свій підпис у відповідній графі ставить і керівник курсової роботи.

Після отримання індивідуального завдання студент розробляє план роботи, який узгоджує з керівником. На базі розробленого плану формується зміст роботи, перелік розділів та додатків до пояснювальної записки.

Після того, як буде сформовано зміст роботи, студент починає виконувати роботу та формувати пояснювальну записку відповідно до розробленого змісту.

Написання курсової роботи передбачає вивчення літературних джерел і підбір ілюстративного матеріалу. Насамперед доцільно звертатися до навчальних посібників, які в системному порядку викладають основний зміст дисципліни. Інформаційною базою для виконання курсової роботи є наукова література за відповідною тематикою досліджень; підручники і навчальні посібники, які в системному порядку викладають основні проблемні і актуальні питання концепції невизначеності.

Особливу увагу потрібно приділити вивченню змісту основних теоретичних і практичних способів оцінювання результатів вимірювань. При вивченні монографій, фахових статей, іншої спеціальної літератури з питань, що безпосередньо відносяться до теми курсової роботи, необхідно скласти конспект, викладаючи зміст своїми словами. Такий підхід дозволить забезпечити правильне розуміння вивченого матеріалу, а також дасть змогу самостійно викласти зміст курсової роботи. Як ілюстративний матеріал потрібно підібрати заповнені аналітичні таблиці, графіки, рисунки, алгоритми вирішення завдань тощо.

3 ЗМІСТ, СТРУКТУРА ТА ОБСЯГ

План курсової роботи студент розробляє самостійно на основі завдання на курсову роботу, методичних рекомендацій кафедри після огляду та опрацювання переліку рекомендованої літератури.

Незалежно від того, яким буде план виконання курсової роботи, пояснювальна записка до курсової роботи має містити такі структурні елементи:

- титульний аркуш (додаток А);
- завдання на курсову роботу (Додаток Б);
- анотація;
- зміст;
- вступ;
- основна частина;
- висновки;
- перелік використаної літератури;
- додатки.

3.1 Вимоги до анотації

В анотації наводиться коротка характеристика основного змісту курсової роботи та одержаних результатів дослідження, при цьому використовуються переважно прості синтаксичні конструкції, характерні стилю ділових документів, а також загальноприйнята термінологія.

Анотація подається українською та іноземною мовами. Обсяг анотації – 3-4 речення, але не більше 1/3 сторінки для анотації однією мовою. Анотація розташовується на одній окремій сторінці після індивідуального завдання на курсову роботу.

3.2 Вимоги до вступу

Вступ до курсової роботи є досить відповідальною частиною, в якій коротко викладають оцінку сучасного стану досліджень, відзначаючи практично розв'язані або ж нерозв'язані задачі, наукові підходи, що існують у науковому світі, провідних вчених і фахівців, світові тенденції розв'язання поставлених задач та обов'язково обґрунтування доцільності проведення наукових досліджень.

У вступі коротко розкривається актуальність теми, чітко формулюється мета дослідження і завдання, які треба розглянути, щоб досягти поставленої у курсовій роботі мети.

У вступній частині обов'язково необхідно:

- розкрити актуальність теми курсової роботи;
- розкрити ступінь розробленості теми курсової роботи у наукових працях вітчизняних і закордонних учених;

- чітко сформулювати мету та завдання дослідження;
- описати основні методи дослідження.

Опис актуальності теми курсової роботи має бути небагатослівним, оскільки цьому передувала характеристика сучасного стану розвитку досліджень, що стосуються курсової роботи.

Метою написання курсової роботи, як правило, є «розробка методики опрацювання результатів вимірювань ...».

Завдання курсової роботи, сформульовані у вступі, обов'язково формуються за розділами роботи і мають відповідати задачам, поставленим науковим керівником в індивідуальному завданні.

Відповідно до мети дослідження ставляться такі завдання:

- дослідити ...;
- проаналізувати ...;
- оцінити ...;
- побудувати ...;
- перерахувати ...;
- подати

3.3 Вимоги до основної частини роботи

Основна частина роботи має складатися з огляду та аналізу існуючих методів вирішення поставлених в завданні на курсову роботу задач, як правило, це перший розділ пояснювальної записки, а також з результатів розрахунку (виконання) заданих завдань – це другий розділ роботи. Розділи мають складатися з підрозділів, в яких висвітлюється відповідний (необхідний) матеріал. Оформлювати пояснювальну записку до курсової роботи, її розділи, підрозділи, текст, формули, рисунки, додатки, а також перелік використаної літератури потрібно відповідно до затвердженого Положення про курсове проектування у Вінницькому національному технічному університеті.

Пояснювальна записка до курсової роботи виконується згідно з ДСТУ 3008:2015. Мова курсової роботи державна, стиль науковий, чіткий, без орфографічних і синтаксичних помилок; послідовність логічна.

Текст курсової роботи друкується на комп'ютері з одного боку стандартного аркуша одностороннього паперу формату А4 (210×297 мм). Гарнітура Times New Roman, розмір шрифту 14 пунктів, інтервал 1,5 (≈ 28–30 рядків на сторінку).

При написанні дотримуються таких розмірів: верхнє, ліве і нижнє поля – не менше 20 мм, праве – не менше 10 мм. Абзацний відступ повинен бути однаковим впродовж усього тексту і дорівнювати п'яти знакам.

Під час виконання курсової роботи необхідно дотримуватись рівномірної щільності, контрастності й чіткості зображення. Всі лінії, літери, цифри і знаки мають бути чіткими та однаково чорними впродовж усієї роботи.

Номери сторінок потрібно проставляти арабськими цифрами у правому верхньому куті аркуша без крапки в кінці, дотримуючись наскрізної нумерації впродовж усього тексту роботи. Титульний аркуш враховують у загальній нумерації сторінок роботи, проте номер сторінки на титульному аркуші не проставляють.

Заголовки структурних частин (розділів) курсової роботи пишуть великими літерами симетрично до тексту, крапка в кінці заголовку не ставиться. Переноси частини слів в заголовку не допускаються, на інший рядок слово переноситься повністю. Якщо заголовок складається з двох речень, то вони розділяються крапкою. Кожний наступний розділ роботи починають з нової сторінки. Розділи нумеруються арабськими цифрами в межах всієї курсової роботи, проте розділам «ЗМІСТ», «ВСТУП», «ВИСНОВКИ», «ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ» номери не присвоюють. Крапка після цифри не проставляється. Відстань між заголовком і подальшим або попереднім текстом має бути не менше ніж два міжрядкових інтервали.

Заголовки підрозділів (підзаголовки) пишуться малими літерами окрім першої і розміщуються з абзацу. Переноси частини слів в підзаголовку не допускаються, на інший рядок слово переноситься повністю. Якщо підзаголовок складається з двох речень, то вони розділяються крапкою. Не допускається розміщувати назву підрозділу, а також пункту й підпункту в нижній частині сторінки, якщо після неї розміщено тільки один рядок тексту. Підрозділи нумерують арабськими цифрами в межах розділу («1.1 Перший підрозділ першого розділу», «2.3 Третій підрозділ другого розділу»), крапку після останньої цифри не проставляють.

Формули, що входять до курсової роботи, нумерують в межах розділу. Номер формули складається з номера розділу та порядкового номера формули, розділених крапкою. Номер формули розташовують з правого боку на рівні формули в круглих дужках. У багаторядкових формулах або рівняннях їхній номер проставляється на рівні останнього рядка. Посилання в тексті на номер формули подають в дужках, наприклад, «... за формулою (1.1)».

Пояснення символів та числових коефіцієнтів наводять під формулою. Пояснення кожного символу подається з нового рядка в тій послідовності, в якій символи зустрічаються у формулі. Пояснення познач потрібно подавати без абзацного відступу з нового рядка, починаючи зі слова «де» без двокрапки. Позначки, яким встановлюють пояснення, рекомендовано вирівнювати у вертикальному напрямку.

Формули, що записані одна за одною та не розділені текстом, розділяються комою. Рівняння і формули необхідно виділяти з тексту в окремий рядок. Найвище та найнижче розташування запису формул(и) та/чи рівняння(-нь) має бути на відстані не менше ніж один рядок від попереднього й наступного тексту.

Графічні матеріали і таблиці розміщуються в тексті пояснювальної

записки до курсової роботи або виносяться в додатки.

Усі графічні матеріали (ескізи, діаграми, графіки, схеми, фотографії, рисунки, кресленики тощо) повинні мати однаковий підпис «Рисунок». Рисунок подають одразу після тексту, де вперше посилаються на нього, або якнайближче до нього на наступній сторінці, а за потреби – в додатках до звіту.

Рисунки нумерують наскрізно арабськими цифрами, крім рисунків в додатках. Дозволено рисунки нумерувати в межах кожного розділу. У такому разі номер рисунка складається з номера розділу та порядкового номера рисунка, розділених крапкою, а назва рисунка подається після номеру і відділяється від нього знаком «тире», наприклад, «Рисунок 1.1 – Схематичне зображення процесу переробки». Номер рисунка додатка складається із позначки додатка та порядкового номера рисунка в додатку, відокремлених крапкою. Наприклад, «Рисунок В.1 – ... ». Назва рисунка має відображати його зміст, бути конкретною та стислою. Якщо з тексту зрозуміло зміст рисунка, його назву можна не наводити. За потреби пояснювальні дані до рисунка подають безпосередньо після графічного матеріалу перед назвою рисунка. Назву рисунка друкують з великої літери та розміщують під ним посередині рядка.

Рисунок виконують на одній сторінці аркуша. Якщо він не вміщується на одній сторінці, його можна переносити на наступні сторінки. У такому разі назву рисунка зазначають лише на першій сторінці, пояснювальні дані – на тих сторінках, яких вони стосуються, і під ними друкують: «Рисунок ____, аркуш ____».

Цифрові дані потрібно оформлювати як таблицю. Горизонтальні та вертикальні лінії, що розмежовують рядки таблиці, можна не наводити, якщо це не ускладнює користування таблицею.

Таблиці нумерують наскрізно арабськими цифрами, крім таблиць у додатках. Дозволено таблиці нумерувати в межах розділу. Тоді її номер складається з номера розділу та порядкового номера таблиці, відокремлених крапкою. Наприклад, «Таблиця 2.1 – ». Номер таблиці додатка складається з позначення додатка та порядкового номера таблиці в додатку, відокремлених крапкою. Наприклад, «Таблиця В.3 – ». Назва таблиці має відображати її зміст, бути конкретною та стислою. Якщо з тексту зрозуміло зміст таблиці, її назву можна не наводити. Назву таблиці друкують з великої літери і розміщують над таблицею з абзацного відступу.

У разі перенесення частини таблиці на інший аркуш (сторінку) слово «Таблиця» та її номер вказують лише один раз – над першою частиною таблиці. Над іншими частинами таблиці з абзацного відступу друкують «Продовження таблиці ____» або «Кінець таблиці ____» без повторення її назви.

Ілюстративний матеріал може бути оформлений у вигляді додатків. Додатки представляють з себе окремі розділи пояснювальної записки до

курсової роботи, що розташовуються після переліку посилань. Як і будь-який розділ додатки мають відобразитись в змісті пояснювальної записки і мати наскрізну нумерацію сторінок.

Щоб уникнути переобтяження викладу тексту основної частини, у структурному елементі «Додатки» наводять відомості, які доповнюють та унаочнюють роботу.

Додатки розміщують у порядку посилання їх у тексті.

На відміну від звичайних розділів заголовків додатку записують маленькими літерами окрім першої симетрично до тексту сторінки. Над заголовком, але посередині рядка, друкують слово «ДОДАТОК» і відповідну велику літеру української абетки, починаючи з А, за винятком літер Г, Є, З, І, Ї, Й, О, Ч, Ъ, яка позначає додаток. наприклад, «Додаток А». Заголовок додатку розташовують симетрично відносно тексту окремим рядком. Текст кожного додатка починають з наступної сторінки.

Рисунки, таблиці та формули, розміщені в додатках, нумерують у межах кожного додатка, наприклад: «Рисунок Д.1.2» (другий рисунок першого розділу додатка Д).

Список літератури повинен містити перелік літературних джерел, на які повинні бути обов'язкові посилання в тексті пояснювальної записки. Література в загальний список записується в порядку посилання на неї в тексті. Оформлення бібліографічного списку оформлюється згідно ДСТУ ГОСТ 7.1:2006.

Оформлена відповідно до сформульованих вимог та повністю укомплектована курсова робота має бути переплетена або скріплена.

На першій (титульній) сторінці студент повинен поставити свій підпис та дату остаточного завершення роботи.

3.4 Вимоги до висновків

Структурний елемент «Висновки» розміщують після викладення суті роботи, починаючи з нової сторінки.

Висновки є заключною частиною, підсумком виконаних завдань, які поставлені в індивідуальному завданні, із зазначенням отриманих результатів.

В тексті пояснювальної записки бажано подавати висновки до кожного розділу або підрозділу.

4 ПЕРЕЛІК ОРІЄНТОВНИХ ЗАВДАНЬ НА КУРСОВУ РОБОТУ

1. Оптичні вимірювальні перетворювачі;
2. П'єзоелектричні вимірювальні перетворювачі;
3. Індуктивні вимірювальні перетворювачі;
4. Мікрохвильові вимірювальні перетворювачі;
5. Ультрафіолетові вимірювальні перетворювачі;
6. Кулонометричні вимірювальні перетворювачі;
7. Сонячна панель як вимірювальні перетворювачі;
8. Вітрогенератор як вимірювальні перетворювачі;
9. Іонізаційні вимірювальні перетворювачі;
10. Акселерометричні вимірювальні перетворювачі;
11. Волоконно-оптичні вимірювальні перетворювачі;
12. Вимірювальні перетворювачі на основі ефекту Хола;
13. Електричні вимірювальні перетворювачі;
14. Вимірювальні перетворювачі рівня речовини;
15. Вимірювальні перетворювачі параметрів радіації;
16. Резистивні вимірювальні перетворювачі;
17. Ємнісні вимірювальні перетворювачі;
18. Тензорезистивні вимірювальні перетворювачі;
19. Термоелектричні вимірювальні перетворювачі;
20. Фотоелектричні вимірювальні перетворювачі;
21. Ультразвукові вимірювальні перетворювачі;
22. Струнні вимірювальні перетворювачі;
23. Вимірювальні перетворювачі на основі ефекту Пельть'є.

Завдання на курсову роботу з дисципліни «Вимірювальні перетворювачі»

1. Розглянути основні принципи роботи вимірювальних перетворювачів (ВП) заданого типу, методи перетворення вхідної фізичної величини у вихідний інформаційний сигнал.
2. Виходячи з основних принципів роботи ВП, вивести рівняння перетворення та представити його в аналітичній і графічній формах. Визначити метрологічні характеристики ВП.
3. Представити структурну та функціональну схеми розробленого ВП.
4. Окреслити сфери використання розробленого ВП, навести його переваги та недоліки.

5 ПРИКЛАДИ РОЗРАХУНКУ ЗАВДАНЬ

5.1 Приклад розв'язування завдання 1

Поняття сенсорів та їх класифікація. Фізична величина m , яка характеризує об'єкт вимірювань (температура, тиск та ін.) називається вимірюваною величиною. Сукупність операцій, які направлені на встановлення числового значення. Якщо при вимірюванні використовуються електронні засоби обробки сигналу, необхідно спочатку перетворити вимірюючихпараметрв еквівалентну електричну величину, до того ж, якомога точніше. Це значить, що отримана електрична величина повинна містити всю інформацію про вимірюваний параметр.

Сенсор – це пристрій, який, піддаючись дії фізичної вимірюваної величини, видає еквівалентний сигнал, зазвичай електричної природи (заряд, струм, напруга або імпеданс), яка являється функцією вимірюваної величини:

$$S=F(m), \quad (5.1)$$

де S – вихідна величина сенсора, а m – вхідна величина. Вимірявши значення S , можна визначити тим самим значення m . Співвідношення $S=F(m)$ виражає в загальній теоретичній формі фізичні закони, які покладені в основу роботи сенсорів. Будучи вираженими чисельно, ці закони зумовлюють вибір конструкцій (геометрії і розмірів) і матеріалів для виготовлення, допустимі характеристики навколишнього середовища, при яких сенсори можуть працювати і умови застосування. Для всіх сенсорів характеристика перетворення – співвідношення $S=F(m)$ – в чисельній формі визначається експериментально в результаті градування, при проведенні якої для ряду точно відомих значень m вимірюють відповідні значення S , що дозволяє побудувати градувану криву.

Сенсори – це пристрої, які сприймають зовнішню дію та реагують на цю дію зміною електричного сигналу.

Під зовнішньою дією потрібно розуміти кількісну характеристику об'єкту вимірювання, а також його властивості та якості.

Зовнішніми факторами являються різні природні субстанції такі як рідина, повітря, атмосфера, ґрунт та ін.

Сенсори, які вимірюють ці зовнішні фактори поділяються на електричні та неелектричні. Після того як сенсор увійшов у взаємодію із зовнішніми факторами на його виході формується неуніфікований електричний сигнал. Цей сигнал поступає на первинний вимірювальний перетворювач, який конвертує цей сигнал зі зміною його роду. Із первинного вимірювального перетворювача сигнал поступає на вторинний вимірювальний перетворювач, роль якого полягає у масштабуванні неуніфікованого сигналу до уніфікованого рівня. Зазвичай вихід вторинного вимірювального перетворювача з'єднаний з

мікроконтролером, програмованим логічним контролером або однокристальною ЕОМ. Після того як контролер конвертував сигнал його необхідно обчислити та представити у зручному для оператора вигляді. Всі сенсори можна розділити на сенсори прямої дії і зіставні. Сенсори прямої дії перетворюють зовнішній вплив безпосередньо в електричний сигнал, використовуючи для цього відповідні фізичні явища (наприклад, фотоефект). У зіставних сенсорах вихідний електричний сигнал отримують після проведення декількох перетворень енергії з одного виду в інший і нарешті в електричну.

У складі вимірювальних систем сенсори можуть бути зовнішніми і вбудованими. Зовнішні реагують на зовнішні впливи і повідомляють систему про зміни в навколишніх умовах. Вбудовані здійснюють контроль за функціонуванням вимірювальних систем, що необхідно для підтримки коректної роботи всіх внутрішніх пристроїв системи.

Системи класифікації сенсорів можуть бути самими різноманітними, залежно від мети проведення класифікації. Наприклад, одна з найбільш поширених – сенсори можуть бути розділені на активні і пасивні. Активні сенсори для своєї роботи потребують електричний сигнал збудження від зовнішнього джерела енергії (наприклад, резистивний тензосенсор, що міняє свій опір в залежності від величини деформації). Ці сенсори називаються також параметричними. Пасивні сенсори не потребують додаткового джерела енергії і у відповідь на зовнішній вплив або його зміну на виході такого сенсора з'являється електричний сигнал (фотодіод, наприклад).

Залежно від вибору точки відліку сенсори можна поділити на абсолютні та відносні. Абсолютний датчик визначає зовнішній сигнал в абсолютних фізичних одиницях, не залежних від умов вимірювань. Вихідний сигнал відносного сенсора в кожному вимірюванні може трактуватися по-різному, в залежності від умов вимірювань. Наприклад, термістор є абсолютним сенсором, оскільки його електричний опір безпосередньо залежить від абсолютної температури, в той час як термопара є відносним датчиком, оскільки напруга на його виході залежить від градієнта температури, а не абсолютного її значення.

Залежно від виду вхідної (вимірюваної) величини розрізняють:

- сенсори механічних переміщень (лінійних і кутових);
- пневматичні;
- електричні;
- витратоміри;
- датчики швидкості;
- прискорення;
- зусилля;
- температури;
- тиску та ін.

В даний час існує приблизно наступний розподіл частки вимірювань

різних фізичних величин в промисловості:

- температура - 50%;
- витрата (масовий і об'ємний) - 15%;
- тиск - 10%;
- рівень - 5%;
- кількість (маса, об'єм) - 5%;
- час - 4%;
- електричні і магнітні величини - менше 4%.

По виду вихідної величини, в яку перетворюється вхідна величина, розрізняють неелектричні та електричні:

- сенсори постійного струму (ЕРС або напруги);
- сенсори амплітуди змінного струму (ЕРС або напруги);
- сенсори частоти змінного струму (ЕРС або напруги);
- сенсори опору (активного, індуктивного або ємнісного) та ін.

Більшість сенсорів є електричними. Це обумовлено наступними перевагами електричних вимірювань:

- електричні величини зручно передавати на відстань, причому передача здійснюється з високою швидкістю;
- електричні величини універсальні в тому сенсі, що будь-які інші величини можуть бути перетворені в електричні та навпаки;
- вони точно перетворюються на цифровий код і дозволяють досягти високої точності, чутливості і швидкодії засобів вимірювань.

За принципом дії сенсори можна розділити на два класи:

- генераторні;
- параметричні (датчики-модулятори).

Генераторні сенсори здійснюють безпосереднє перетворення вхідної величини в електричний сигнал.

Параметричні датчики вхідну величину перетворюють в зміну якого-небудь електричного параметра (R, L або C) датчика.

За принципом дії сенсори також можна розділити на резисторні, реостатні, фотоелектричні (оптико-електронні), індуктивні, ємнісні і д.р.

Розрізняють три класи сенсорів:

- аналогові сенсори, (що виробляють аналоговий сигнал, пропорційно зміні вхідної величини);
- цифрові сенсори, генеруючі послідовність імпульсів або двійкове слово;
- бінарні (двійкові) датчики, які виробляють сигнал тільки двох рівнів: «включено/вимкнено» (інакше кажучи, 0 або 1).

Відповідно до зовнішнього впливу сенсори класифікуються:

- Акустичні сенсори;
- Біологічні;
- Хімічні;
- Оптичні;
- Механічні;

- Магнітні;
- Теплові.

Класифікацію сенсорів можна проводити і за іншими ознаками. Наприклад, за їхніми характеристиками, матеріалами, з яких вони виготовлені, за коштами, механізмами перетворення енергії впливу в електричний сигнал, областями застосування та т.п [2].

Принцип дії тензорезистивного сенсора заснований на тензоефекті.

Тензоефектом називається властивість провідникових і напівпровідникових матеріалів змінювати електропровідність (електричний опір) при зміні об'єму або напруженого стану.

У напівпровідників матеріалів тензоефект пов'язаний зі значною зміною питомого опору; знак тензоефекта залежить від типу провідності напівпровідникового матеріалу, а величина – від кристалографічного напрямку. Найбільше тензорезистивний ефект виражений в напівпровідникових кристалах германію та кремнію. Для створення напівпровідникових тензорезистивних елементів застосовується переважно кремній, оскільки він, порівняно з германієм, має більш високу тензочутливість, велику механічну міцність і витримує більш високі температури. Тензометричні властивості кремнію анізотропні і залежать від кристалографічних напрямків. Найбільшу тензочутливість і мають тензорезистори, у яких напрямок деформації збігається з кристалографічним напрямком.

Тензорезистивні сенсори класифікують:

Фольгові тензорезистивні сенсори – це тонка стрічка з фольги товщиною 0,01...0,02 мм, на якій частина матеріалу вибрана (наприклад, травленням) так, що та її частина, котра залишилась, утворює плоску решітку з виводами. Ця решітка закріплюється між двома плівками з лаку.

Поширені також плівкові тензорезистивні сенсори, в яких тензочутливий елемент наноситься методом вакуумної сублімації (перегону) з подальшою конденсацією на плівку. Для виготовлення плівкових тензорезисторів застосовуються як металеві (наприклад, титаноалюмінієвий сплав), так і напівпровідникові (германій, кремній) матеріали.

Навісні тензорезистивні перетворювачі мають дротяний тензочутливий елемент у вигляді струни чи декількох струн, натягнених між двома планками, відносно переміщення яких є вхідною величиною.

Напівпровідникові монокристалічні тензорезистивні сенсори виготовляються головним чином з германію та кремнію, які мають кубічну кристалічну ґратку. Тензочутливість напівпровідникового тензорезистора залежить від орієнтації його чутливого елемента відносно кристалографічних напрямків.

Характерною особливістю напівпровідникових тензорезисторів є те, що характер функції перетворення за інших однакових умов залежить від питомого електричного опору тензорезистора. Нелінійність функції

перетворення найменше проявляється в матеріалах з малим питомим електричним опором.

5.2 Приклад розв'язування завдання 2

При вимірюванні пружних деформацій наклеєний тензорезистор розташовується на деталі в напрямку головної (вимірюваної) деформації.

В межах пружних деформацій тензорезистор характеризує невелику відносно зміна опору.

Невеликі збільшення опорів тензорезисторів необхідно перетворити в великі відносні зміни вихідних електричних величин.

Найчастіше вимірювальним ланцюгом є подільник напруги або міст опору зображений на рисунку 5.1.

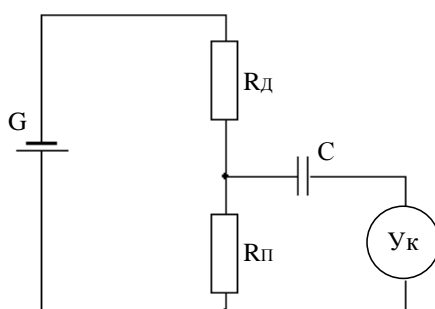


Рисунок 5.1 – Подільник напруги з живленням постійного струму

Подільник напруги з живленням постійного струму застосовують лише в тому випадку, коли цікавляться тільки змінної вимірюваної величини, при цьому постійна складових падіння напруги на опорі $R_{п}$ тензоперетворювача, в сотні разів перевищує змінну складової, фільтрується розділовим конденсатором C . У всіх інших випадках у якості вимірювального ланцюга використовується ланцюг моста, що живиться постійним або змінним струмом.

Високу точність вимірювання можуть забезпечити методи порівняння: нульовий і диференціальний.

Обидва методи реалізуються в одній схемі включення мостовій.

Нульовому методу відповідає усталений режим роботи моста, диференціального – нерівноважний.

Схема найпростішого моста рисунок 5.2 містить R_1, R_2, R_3, R_4 – резистори окремих плечей моста; джерело живлення U , що характеризується внутрішнім опором R_i ; вольтметром V . Джерело живлення підключене до так званої діагоналі живлення, вольтметр – вимірювальної діагоналі. Тензорезистор, що сприймає деформації, включають в одне з плечей. Стан моста характеризує напруга на вимірювальній діагоналі – напруга між точками а і б.

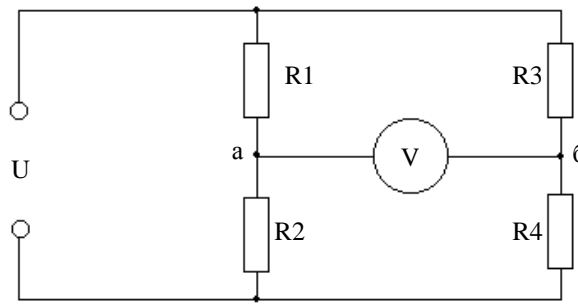


Рисунок 5.2 – Мостова схема включення

На точність вимірювання деформацій і напружень тензорезисторами великий вплив робить зміна температури. Однак міст опору дозволяє досить легко виключити температурні похибки. З цією метою в сусідній з датчиком плече моста включається другий тензорезистор, також розташований на деталі, але в такому напрямку, що вимірюється деформація не змінює його опору. У деяких випадках перетворювачі можна розмістити на деталі так, що вони будуть перебувати при однаковій температурі, але відчувати деформації різного знака. При цьому поряд з термокомпенсацією в два рази підвищується чутливість перетворення.

5.3 Приклад розв'язування завдання 3

До останнього часу методи розрахунку тензорезистивних сенсорів не були відомі, і розробка перетворювачів проводилася чисто емпіричним шляхом. Однак у зв'язку з розвитком кваліметрії вимірювальних перетворювачів виявилось, що основні співвідношення режиму роботи тензорезисторів досить добре описується математично, і при проектуванні тензорезисторів і порівняно нових типів з відомими корисно проводити їх розрахунок. Розрахунок тензорезисторів зводиться до визначення при обраних їх розмірах допустимої тензорезистором потужності розсіювання (а отже, і допустимого значення струму при даному опір) або навпаки – до визначення розмірів тензорезистора, необхідних для забезпечення заданої потужності.

Потужність P , що розсіюється в тензорезисторами, обмежена його нагріванням, що викликає появи підвищених значень похибки. Перегрів Θ тензорезистора в порівнянні з температурою деталі, на яку він наклеєний, дорівнює

$$\Theta = PR_T = \frac{P}{S_0 \xi} = \frac{P_{уд}}{\xi}, \quad (5.2)$$

де R_T – тепловий опір, К/Вт;

S_0 – площа поверхні тепловіддачі матеріалу резистора, м²;

ξ – коефіцієнт тепловіддачі, Вт / (м²·К);

$P_{уд} = P/S_0$ – питома теплова навантаження, Вт/м².

При тепловому контакті тензорезистора з деталлю через шар клею і підкладку відводиться в 200-300 разів більший тепловий потік, ніж при тепловіддачі тензорезистора в навколишнє повітря. Це пояснюється тим, що коефіцієнт тепловіддачі в повітря дорівнює $\xi=10 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$. Тому з високою точністю можна вважати, що практично весь тепловий потік від тензорезистора відводиться через шар клею в деталь, на яку він наклеєний. Звідси площею S_0 поверхні тепловіддачі для плівкових і фольгових тензорезисторів слід вважати поверхню резистора, звернену до деталі, а для дротяних – з досить точним наближенням половину циліндричної поверхні їх дроту.

Необхідні для розрахунку значення питомого теплового навантаження $P_{уд}=P/S_0$ більшості використовуваних зараз дротяних, фольгових і напівпровідникових тензорезисторів (з потужністю від 25 до 630 мВт і повної площею, займаної ґратами, від 0,9 до 250 мм²) коливаються в дуже вузьких межах $P_{уд}=26\div 28 \text{ кВт}/\text{м}^2$ (або мВт/мм²). Лише в рідкісних випадках, використовуючи дуже тонку підкладку, вдається досягти $P_{уд}=38\div 39 \text{ мВт}/\text{мм}^2$.

Допустиме значення струму $I_{доп}$ через тензорезистор визначається зі співвідношення $P=I^2R=P_{уд}S_0$. Так, наприклад, для дротяних тензорезисторів з базою довжиною, z n проводів в решітці з діаметром d , виготовлених з матеріалу з питомим опором ρ

$$S_0 = \frac{\pi d}{2} n, \quad (5.3)$$

$$R = \frac{4n\rho}{\pi d^2}, \quad (5.4)$$

і допустиме значення струму

$$I_{доп} = \sqrt{\frac{P_{уд}S_0}{R}} = \sqrt{\frac{P_{уд}\pi^2 d^3}{8\rho}}. \quad (5.5)$$

Для константової дроту $\rho=0,46\cdot 10^{-6} \text{ Ом}\cdot\text{м}$, тоді при $P_{уд}=27 \text{ кВт}/\text{м}^2$ допустиме значення струму

$$I_{доп} = \sqrt{7,3 \cdot 10^{10} d^3}, \quad (5.6)$$

де $I_{доп}$ в амперах і d в метрах.

Похибки вимірювання тензорезистивних сенсорах виникають за рахунок наступних основних факторів:

- впливу температури перетворювача на його опір і лінійне розширення;
- повзучості характеристики, тобто її зміни, що викликається

залишковими деформаціями в перетворювачі при тривалій дії значних за величиною навантажень, близьких до допустимих;

- зміни крутизни характеристики перетворення від часу через старіння матеріалів, особливо через зміну властивостей клеять компонентів;
- зниження чутливості при збільшенні частоти деформацій, коли довжина розповсюджується в деталі звукової хвилі деформації стають сумірною з базою перетворювача.

Найбільш істотний вплив на величину похибки має перший фактор. Зміна опору перетворювача від зміни температури можна порівняти зі зміною опору від дії деформації. Температура тензорезистора залежить від температури навколишнього середовища і величини струму, що протікає через резистор. Зміни температури повинно враховуватися при обробки результатів шляхом введення корекцій або, що більш бажано, автоматичною компенсацією температурної похибки. Для зниження температурної похибки використовують кілька шляхів:

- вибирають матеріал для тензорезистора з малим температурним коефіцієнтом лінійного розширення, близьким до коефіцієнта розширення деталі;
- застосовують компенсаційні перетворювачі, що розташовуються в безпосередній близькості від однотипного робочого, але не подвергаєми дії деформації;
- використовують самокомпенсуючі тензорезистори, що складаються з двох частин. Одна частина має позитивним температурним коефіцієнтом опору, друга – негативним. Правильним підбором величин і температурних коефіцієнтів опорів частин датчика домагаються високого ступеня компенсації температурної похибки. Особливо широке застосування такої спосіб знайшов при виготовленні напівпровідникових тензорезисторів.

Основна похибка випускаються в даний промисловістю дротяних і фольгових тензорезисторів при компенсації температурної похибки не перевищує 1%.

Цих даних достатньо, щоб здійснити нормування точності ВП в статичному режимі. Бажано, щоб і математичний апарат дослідження засобів вимірювань в статичному режимі дозволяв достатньо просто отримувати наведені метрологічні характеристики. Складність полягає в тому, що функція вимірювального перетворення описує для різних засобів вимірювань різні фізичні процеси, які відносяться до різних галузей знань і є функціями багатьох змінних. Необхідно мати узагальнений для всіх них метод дослідження, який був би незалежним від фізичних явищ, покладених в основу побудови засобів вимірювань.

Таким математичним апаратом дослідження статичних метрологічних характеристик є використання розкладу функції перетворення в ряд Тейлора (Додаток В).

5.4 Приклад розв'язування завдання 4

У техніці вимірювання неелектричних величин тензорезистивні сенсори використовуються за двома напрямками.

Перший напрямок – використання тензоефекта провідника, що знаходиться в стані об'ємного стиснення, коли природною вхідною величиною перетворювача є тиск навколишнього його газу або рідини. На цьому принципі будуються манометри для вимірювання високих і надвисоких тисків, перетворювачі яких представляють собою котушку дроти (зазвичай манганінового) або напівпровідниковий елемент (найчастіше германієвого або кремнієвий), поміщені в область вимірюваного тиску (рідини або газу). Вихідною величиною перетворювача є зміна його активного опору.

Другий напрямок – використання тензоефекта розтягнутого або стискаючого тензочутливого матеріалу. При цьому тензорезистори застосовуються у вигляді «вільних» перетворювачі.

«Вільні» перетворювачі виконуються у вигляді однієї або ряду дротів, закріплених на кінцях між рухомою і нерухомою деталями і, як правило, виконують одночасно роль пружного елемента. Природною вхідною величиною таких перетворювачів є досить мале переміщення рухомий деталі.

Пристрій найбільш поширеного дротяного типу тензорезистивного сенсора зображено на рисунку 5.3.

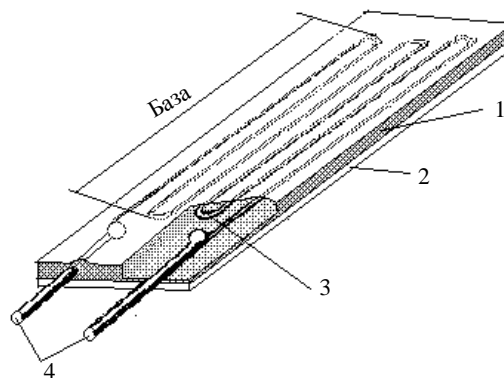


Рисунок 5.3 – Тензорезистивний сенсор дротяного типу

На смужку тонкого паперу або лакову плівку 2 наклеюється так звана решітка з зигзагоподібно покладеної тонкого дроту 3 діаметром 0,02-0,05 мм. До кінців дроту приєднуються (пайкою або зварюванням) вивідні мідні провідники 4. Зверху перетворювач покривається шаром лаку 1. Такий перетворювач, будучи приклеєним до випробуваної деталі, сприймає деформації її поверхневого шару. Таким чином, природною вхідною величиною наклеюваного тензопотребувача є деформація поверхневого шару деталі, на яку він наклеєний, а вихідний – зміна опору перетворювача, пропорційне цієї деформації.

Вимірювальною базою перетворювача є довжина деталі, яку займає дріт. Найбільш часто використовуються перетворювачі з базами 5-20 мм, що володіють опором 30-500 Ом.

Крім найбільш поширеною петлевою конструкцією дротяних тензорезисторів, існують і інші. При необхідності зменшення вимірювальної бази перетворювача (до 3-1 мм) його виготовляють двошаровим так званим витковим способом, який полягає в тому, що на оправці круглого перетину на трубку з тонкого паперу намотується спіраль з тензочутливого дроту. Потім ця трубка проклеюється, знімається з оправлення.

Коли треба отримати від ланцюга з тензорезистором струм великої величини, часто використовують «потужні» дровові тензорезистори.

Вони складаються з великого числа (до 30-50) паралельно з'єднаних дротів, відрізняються великими габаритами (довжина бази 150-200 мм) і розвивають потужність, достатню для вібратора осцилографа без використання підсилювачів.

Фольгові тензорезистивні сенсори зображені на рисунку 2.2 являють собою дуже тонку стрічку з фольги товщиною 4-12 мкм, на якій частина металу обрана травленням таким чином, що залишилася його частина утворює показану на рисунку 5.4.

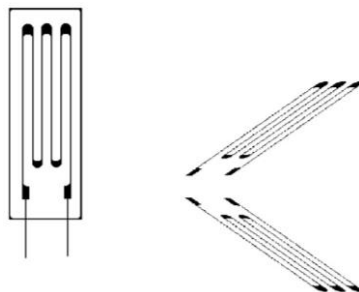


Рисунок 5.4 – Фольгові тензорезистивні сенсори

В останні роки з'явився ще один спосіб масового виготовлення тензорезисторів, що полягає у вакуумній сублімації тензочутливого матеріалу і подальшої конденсації його на підкладку. Такі тензорезистори отримали назву плівкових.

Для виготовлення плівкових тензорезисторів, крім металевих матеріалів (наприклад, титаноалюмінієвий сплав 48Т-2, що забезпечує вимір деформацій до 12% при коефіцієнті тензочутливості близько 0,2), використовується також цілий ряд напівпровідникових матеріалів, наприклад германій, кремній ($k = 100 \div 120$) і ін.

При виготовленні фольгових і плівкових перетворювачів можна передбачити будь-який малюнок решітки, що є істотним їх гідністю.

Напівпровідникові тензорезисториможуть бути виготовлені безпосередньо вирізуванням з напівпровідникового матеріалу. Однак

можливі й інші шляхи. Можна вирощувати монокристали у вигляді «вусів» шляхом конденсації пари, але виходять при цьому тензорезистори мають великий розкид за розмірами і властивостями. Вирощування дендритних кристалів дозволяє отримати більш однорідні тензорезистори. Таким способом одержують тензорезистори, призначені для наклеювання на пружний елемент. Клей або цемент в цьому випадку виконує роль ізолятора. Наклеєні тензорезистори не отримали широкого застосування, тому що склейка не дозволяє отримати безгізтерезисне з'єднання.

Для отримання наклеєних тензорезисторів використовуються дифузна або епітаксіальна технологія. В обох випадках електрична ізоляція тензорезистора забезпечується великим опором ррр переходу.

Тензорезистори утворюються за рахунок локальної дифузії домішок в підкладку. При цьому тип електричної провідності тензорезистивних плівок повинен бути протилежний типу електричної провідності підкладки. Зазвичай маскою є оксидна плівка, в якій методом фотолітографії витравлюються вікна відповідних розмірів.

Температура і тривалість процесу дифузії визначають товщину і опір одержуваних тензорезисторів.

В якості підкладок застосовується сапфір або шпінель. Підкладка з монокристалічного сапфіру має виняткові пружними властивостями. Сапфір досить міцний, має високу стійкість до агресивних середовищ. У вакуумі сапфір добре спаивається з металами твердими припоями.

Тензорезистивний сенсор зазвичай являє собою спеціальну пружну конструкцію із закріпленням на ній тензорезистором і іншими допоміжними деталями. Після калібрування, по зміні опору тензорезистора можна обчислити ступінь деформації, яка буде пропорційна силі, яка додається до конструкції.

Існують такі види тензорезистивних сенсорів:

- сенсор сили (вимірює зусилля і навантаження);
- сенсор тиску (вимірювання тиску в різних середовищах);
- акселерометри (сенсор прискорення);
- сенсор переміщення;
- сенсор крутного моменту.

Найбільш типовим застосуванням тензорезистивного сенсора є ваги. В залежності від конструкції вантажоприймальної платформи застосовуються вагові тензорезистивні сенсори різного типу:

- тензорезистивні сенсори консольні (балочні тензодатчики);
- тензорезистивного сенсори s-подібні;
- тензорезистивні сенсори «шайба» (тензорезистивні сенсори мембранного типу);
- тензорезистивні сенсори «бочка» (тензорезистивні сенсори колонного типу).

Конструкція. Тензорезистивні сенсори представляють собою пружний елемент на якому зафіксован тензорезистор, під дією сили (вага вантажу)

відбувається деформація пружного елемента разом з тензорезисторів. По зміні опору тензорезистора можна обчислити ступінь деформації, яка буде пропорційна силі, яка додається до конструкції.

Принцип вимірювання ваги за допомогою тензорезистивного сенсора заснований на зрівноважуванні маси вантажу, що зважується з пружною механічною силою тензорезисторів і подальшого перетворення цієї сили в електричний сигнал для наступної обробки.

Тензорезистивні сенсори є найбільш вразливим компонентом ваговимірювальної системи. В процесі експлуатації на вагові тензорезистори впливають: агресивне навколишнє середовище, ударні динамічні навантаження, електростатичний вплив, вібрації і т.д. Тому в періоди технічного обслуговування, перед установкою в обладнання, а також в аварійних випадках, існує необхідність діагностики вагових тензорезистивних сенсорів.

При перевірці стану тензорезистивних сенсорів для початку необхідно перевірити загальний технічний стан системи вимірювання ваги:

- наявність заземлюючого контуру (шунта), затяжку різьбових з'єднань;
- перевірка відсутності слідів корозії, пошкодження тензодатчиків, вузлів встройки, вантажопідйомного пристрою;
- перевірка підсумовуючих плат; вагового індикатора на імітаторі тензодатчика;
- тестування вагового індикатора, підключення до імітатора тензодатчика;
- огляд стану кабельної продукції, герметичність кабельного вводу на тензодатчику.

Розглянемо послідовність виконання тестів перевірки тензорезистора:

- Перевірка нульового балансу.

Вимірювання нульового балансу необхідне для перевірки стану тензорезистора в ненавантаженому стані, для цього тензорезистор витягують з вузла встройки і прибирають з датчика ваги всю прикладену навантаження. Далі підключають джерело живлення 10 В в ланцюг порушення тензорезистора, з вихідний ланцюга знімають сигнал в 10мВ і порівнюють зі значенням в калібрувальному аркуші. Наприклад, при чутливості тензодатчика 2мВ/В і живленні 10 В, напруга нульового балансу відповідає $\pm 0,02$ мВ.

У разі якщо значення вихідного сигналу суттєво відрізняються від паспортних значень, можна судити про деформації пружного елемента тензодатчика, а також порушенні ізоляційного шару тензорезисторів.

- Перевірка опору ізоляції.

Виробляється підключенням мегомметра до кабелю тензодатчика та перевірки на наявність струму витоку між корпусом тензодатчика і струмоведучими частинами. Низьке значення опору ізоляції менше 1кОм свідчить про коротке замикання (к.з.). Нормальним значенням є опір

5мОм. Коротке замикання може бути між корпусом тензорезистора і струмоведучими частинами, а також в кабелі. При к.з. в кабелі і появі струму витoku, кабель можна замінити, якщо це передбачає конструкція тензорезистора.

- Перевірка цілісності тензометричного моста (Міст Уїтстона).

Цілісність моста перевіряється шляхом вимірювання вхідного і вихідного опору, а також опору балансу моста. Від'єднайте сенсор з коробки або вимірювального приладу. Вхідні і вихідні опору вимірюється омметром, що підключається до кожної пари вхідних і вихідних проводів тензорезистора. Далі проводиться порівняння вхідного і вихідного опору зі значеннями в калібрувальному сертифікаті або до технічної специфікації оригінального тензодатчика. Опір балансу моста вимірюється почерговим підключенням омметра до кожної пари висновків кабелю. Значення опору між парами, не повинно відрізнятися більш ніж на 1-2 Ома.

Відмінність вхідного і вихідного опору тензорезистора від паспортних значень, свідчить про несправність тензорезистивного моста, поява опору розбалансу, означає непрацездатність тензорезистора і необхідність заміни. Подібні несправності з'являються, як правило, в слідстві електричного впливу (зварювання, статичне поле, електричний пробій), фізичного (удари, прокручування, бічні навантаження), термічного.

- Перевірка під навантаженням.

Тензорезистор повинен бути підключений до вагового індикатора або до приладу зі стабільним джерелом живлення не менше 10 В. За допомогою мілівольтметра, підключеного до виходу тензорезистора, навантажують сенсор і фіксують показання вихідного сигналу, при знятті навантаження показання вихідного сигналу повинні повернутися до вихідних U разі якщо при проведенні тесту свідчення будуть відрізнятися при постійно прикладається навантаженні і не повертатися до вихідних значень, можна судити про порушення контакту в клейовому шарі між тензорезисторами і пружним елементом. Тензорезистор вимагає заміни.

6 ПОРЯДОК ОРГАНІЗАЦІЇ ЗАХИСТУ ТА КРИТЕРІЇ ОЦІНЮВАННЯ

Виконана курсова робота у встановлений термін подається викладачеві на перевірку. Після чого робиться висновок щодо допуску до захисту роботи.

Захист курсової роботи здійснюється перед комісією у складі не менше двох викладачів з обов'язковою присутністю керівника. Термін захисту визначається графіками навчального процесу. Процедура захисту передбачає стислий (до 5 хвилин) виклад студентом основних результатів проведеного дослідження. Після доповіді студент відповідає на всі запитання членів комісії. Склад комісії з захисту курсових робіт (не менше двох осіб) призначається завідувачем кафедри.

Оцінка вноситься у відомість та залікову книжку студента і перегляду (повторному захисту) не підлягає.

Курсова робота не допускається до захисту і повертається на доопрацювання, якщо:

- роботу подано на перевірку з порушенням термінів, установлених кафедрою (викладачем, який викладає дану дисципліну);
- роботу написано на тему, що не внесена до переліку тем курсових робіт з даної дисципліни або не погоджена з викладачем;
- структура і логіка побудови плану роботи не відповідає вимогам та темі курсової роботи;
- курсову роботу не зброшуровано (тобто аркуші не скріплені).

Необхідні консультації надає викладач кафедри, який перевіряє якість виконання курсової роботи та робить відповідні зауваження.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Метрологічне забезпечення вимірювання і контролю: навчальний посібник / Є.Т. Володарський, В.В. Кухарчук, В.О. Поджаренко, Г.Б. Сердюк. – Вінниця: ВДТУ, 2001. – 219 с.
2. Датчики измерительных систем.: в 2-х книгах. Пер. с франц./ Ж. Аш с соавторами. – М.: Мир, 1992 г. – 480 с.
3. Титце У. Напівпровідникова схемотехніка. 12-е издание. Том II: Пер. с нем./ Титце У., Шенк К. – М.: ДМК Пресс, 2007. – 942 с.
4. Левшина Е.С. Электрические измерения физических величин (Измерительные преобразователи) / Левшина Е.С., Новицкий П.В. – Л.: Энергоатомиздат, 1983. – 320 с.
5. Метрологія та вимірювальна техніка: Навчальний посібник / В.В. Кухарчук, В.Ю. Кучерук, В.П. Долгополов, Л.В. Грумінська. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2004. – 252 с.
6. Кулис Ю.Ю. Биомолекулярные устройства / Кулис Ю.Ю. // Приборы и системы управления. 1990. №6. С.13-15
7. Кулис Ю.Ю. Аналитические системы на основе иммобилизованных ферментов / Кулис Ю.Ю. // Вильнюс: Изд-во Мокслас, 1981. – 200 с.
8. Талакчук П.М. Сенсори в контрольно-вимірювальній техніці / Талакчук П.М., Голубков С.П. та інші. – К.: Техніка, 1991. – 367 с.
9. Виглеб Г. Датчики / Виглеб Г. // – М.: Мир, 1989. – 196 с.
10. Бусурин В.И. Волоконно-оптические датчики: физические основа, вопросы расчета и применение / Бусурин В.И., Носов Ю.Р. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 256 с.
11. Основи метрології та електричних вимірювань: підручник / Кухарчук В.В., Кучерук В.Ю., Володарський Є.Т., Грабко В.В. – Вінниця, ВНТУ, 2011. – 522 с. – ISBN 978-966-641-455-0.
12. Луцик Я. Застосування ультразвукових сенсорів / Луцик Я., Буняк Л., Стадник Б. – Львів: СП “Бак”, 1998. – 232 с.
13. Поскачей А.А. Оптико-электронные системы измерения температуры / Поскачей А.А., Чубаров Е.П. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 248 с.
14. Таланчук П.М. Сенсоры в контрольно-измерительной технике / Таланчук П.М., Голубков С.П., Маслов В.М. и др. – К.: Техніка, 1991. – 175 с.
15. Полупроводниковые и твердотелектромагнитные сенсоры / Таланчук П.М., Шматко Б.А., Заика Л.С., Цветкова О.Е. – К.: Техніка, 1992. – 192 с.
16. Окоси Т. Волоконно-оптические датчики / Окоси Т., Окамото К. й др. – Л.: Энерго-атомиздат, 1990. – 256 с.
17. Федотов А.В. Расчет и проектирование индуктивных измерительных устройств / Федотов А.В. // – М.: Машиностроение, 1979. – 176 с.

Додаток А
Зразок оформлення титульного аркушу
Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет
Факультет комп'ютерних систем та автоматики
Кафедра метрології та промислової автоматики

КУРСОВА РОБОТА

з дисципліни «Вимірювальні перетворювачі»

на тему: «Тензорезистивні вимірювальні перетворювачі»

08-03.КР.ВП.01.01.000 ПЗ

Студента 2-го курсу групи ІЯП-19
спеціальності 152 – «Метрологія та
інформаційно-вимірювальна техніка»

_____ Іванова І.І.

(підпис)

Керівник к.т.н., ст вик. Дудатьєв І.А.

(вчене звання, науковий ступінь, прізвище та
ініціали)

Національна
шкала

Кількість балів

Оцінка ECTS

Члени комісії:

(підпис)

(прізвище та ініціали)

(підпис)

(прізвище та ініціали)

(підпис)

(прізвище та ініціали)

м. ВІННИЦЯ – 2019 рік

Додаток Б
Завдання на курсову роботу

ЗАТВЕРДЖУЮ
Зав. кафедрою МПА
В.Ю. Кучерук

Протокол №___ від __.__. 2019р.

Завдання на курсову роботу з дисципліни

«Вимірювальні перетворювачі»

студенту Іванову Івану Івановичу

групи ІЯП-19б

Варіант № 3

«Тензорезистивні вимірювальні перетворювачі»

1. Розглянути основні принципи роботи ВП заданого типу, методи перетворення вхідної фізичної величини у вихідний інформаційний сигнал.
2. Виходячи з основних принципів роботи ВП, вивести рівняння перетворення та представити його в аналітичній і графічній формах. Визначити метрологічні характеристики ВП.
3. Представити структурну та функціональну схеми розробленого ВП.
4. Окреслити сфери використання розробленого ВП, навести його переваги та недоліки.

Завдання видав:

ст. викл. Дудатьєв І.А.

Завдання отримав:

ст. Іванов І.І.

Додаток В

Розклад функції перетворення в ряд Тейлора

Припустимо, що має місце засіб вимірювань, функція перетворення якого має вигляд

$$y = y(x, \Delta f),$$

де y – вихідна величина засобу вимірювань; x – вхідна величина; Δf – впливні величини.

Розкладемо дану функцію перетворення в ряд Тейлора і отримаємо

$$y = y_0 + \left[\frac{\partial y}{\partial x} \right]_0 x + \left[\frac{\partial^2 y}{\partial x^2} \right]_0 x^2 + \frac{1}{6} \left[\frac{\partial^3 y}{\partial x^3} \right]_0 x^3 + \dots +$$

$$+ \left[\frac{\partial^2 y}{\partial x \partial f} \right]_0 x \cdot \Delta f + \left[\frac{\partial y}{\partial f} \right]_0 \Delta f + \frac{1}{2} \left[\frac{\partial^2 y}{\partial f^2} \right]_0 \Delta f^2 + \dots$$

Індекс «0» біля частинних похідних показує, що вони визначаються для значень впливних величин, які відповідають нормальним умовам $f = f_0$ (умовам градування). Проаналізуємо складові попереднього рівняння.

1. y_0 – вільний член розкладу, який дорівнює y при $x = 0$ і $\Delta f = 0$.

2. $\left[\frac{\partial y}{\partial x} \right]_0 = S_0$ – номінальний коефіцієнт перетворення або чутливість засобу вимірювання.

3. $\frac{1}{2} \left[\frac{\partial^2 y}{\partial x^2} \right]_0 = \dot{S}_0$, $\frac{1}{6} \left[\frac{\partial^3 y}{\partial x^3} \right]_0 = \ddot{S}_0$ – зміна чутливості в діапазоні перетворення.

4. $\left[\frac{\partial y}{\partial f} \right]_0 = \beta_0$ і $\frac{1}{2} \left[\frac{\partial^2 y}{\partial f^2} \right]_0 = \dot{\beta}_0$ – коефіцієнти впливу впливних величин на вихідний параметр y засобу вимірювання.

5. $\left[\frac{\partial^2 y}{\partial x \partial f} \right]_0 = \alpha_0$ – коефіцієнт впливу впливних величин на номінальну чутливість S_0 засобу вимірювань.

З урахуванням прийнятих позначень рівняння розкладу в ряд Тейлора представимо у вигляді

$$y = y_0 + S_0 \cdot x + \dot{S}_0 \cdot x^2 + \ddot{S}_0 \cdot x^3 + \dots + \alpha_0 \cdot x \cdot \Delta f + \beta_0 \cdot \Delta f + \dot{\beta}_0 \cdot \Delta f^2 + \dots$$

де $y = S_0 x + \dot{S}_0 x^2 + \ddot{S}_0 x^3$ – номінальна функція перетворення;
 $\Delta y_H = \dot{S}_0 x^2 + \ddot{S}_0 x^3$ – похибка нелінійності номінальної функції перетворення;
 $\Delta y_M = \alpha_0 \cdot x \cdot \Delta f$ – мультиплікативна похибка перетворення в умовах зміни f_0 на величину Δf , тобто зміна чутливості S_0 на величину $\Delta S = \alpha_0 \cdot \Delta f$;
 $\Delta y_A = \beta_0 \cdot \Delta f + \dot{\beta}_0 \cdot \Delta f^2$ – адитивна похибка перетворення в умовах зміни f_0 на величину Δf , тобто зміна y_0 під дією впливних величин.

Навчальне видання

Методичні вказівки
до виконання курсової роботи з дисципліни
«Вимірювальні перетворювачі»
для студентів усіх освітніх програм і форм
навчання спеціальності 152 – «Метрологія та
інформаційно-вимірювальна техніка»

Редактор В. Дружиніна

Укладачі: Дудатьєв Ігор Андрійович
Маньковська Вікторія Сергіївна

Оригінал-макет підготовлено В. Маньковська

Підписано до друку
Формат 29,7×42¼. Папір офсетний.
Гарнітура Times New Roman.
Друк різнографічний. Ум. друк. арк.
Наклад ... пр. Зам. № 2015-

Вінницький національний технічний університет,
навчально-методичний відділ ВНТУ.
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95,
ВНТУ, к. 2201.
Тел. (0432) 59-87-36.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
серія ДК № 3516 від 01.07.2009 р.

Віддруковано у Вінницькому національному технічному університеті
в комп'ютерному інформаційно-видавничому центрі.
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95,
ВНТУ, ГНК, к. 114.
Тел. (0432) 59-85-32,
publish.vntu.edu.ua; email: kivc.vntu@gmail.com.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
серія ДК № 3516 від 01.07.2009 р.