Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії
(повна назва факультету)
приладів та контрольно-вимірювальних систем
(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

магістр
(назва освітнього ступеня)

на тему: **Інформаційно-вимірювальна система пристрою для вимірювання сил різання при обробці похилих отворів на свердлильних верстатах**

Виконав(ла): студент(ка) 6 курсу, групи РНм-61
спеціальності 153
Мікро- та наносистемна техніка
(шифр і назва спеціальності)

(підпис) Венгер С. В. (прізвище та ініціали)

Керівник (підпис) Зелінський І. М. (прізвище та ініціали)

Нормоконтроль (підпис) (прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри (підпис) Паламар М. І. (прізвище та ініціали)

Рецензент (підпис) (прізвище та ініціали)

Тернопіль
2021

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії
(повна назва факультету)

Кафедра Кафедра приладів та контрольно-вимірювальних систем
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
_____ Паламар М. І.
(підпис) (прізвище та ініціали)
« » 20___ р.

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня магістра
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 153 “ Мікро- та наносистемна техніка”
(шифр і назва спеціальності)

студенту Венгеру Сергію Вікторовичу
(прізвище, ім’я, по батькові)

1. Тема роботи Інформаційно-вимірювальна система пристрою для вимірювання сил різання при обробці похилих отворів на свердлильних верстатах

Керівник роботи Зелінський І. М., кандидат фізико-математичних наук, доцент.
(прізвище, ім’я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від «___» _____ 20___ року № _____

2. Термін подання студентом завершеної роботи _____

3. Вихідні дані до роботи Розробка пристрою для вимірювання сил різання при обробці похилих отворів на свердлильних верстатах

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)
Аналітична частина, основна частина, науково-дослідна частина, спеціальна частина, охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов’язкових креслень, слайдів)
Презентація кваліфікаційної роботи магістра, що складається з наступних плакатів:
Функціональна схема пристрою
Складальне креслення пристрою
Схема повірки приладу
Схема керування пристроєм
Електронна схема приладу
Модель симулювання процесу перетворення сигналу
Графік напруги розбалансу плечей моста
Графік встановлення вихідного сигналу з AD598
Графік функції перетворення вимірювального перетворювача міст-AD598 і похибки її лінеаризації

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Аналітична частина			
Основна частина			
Науково-дослідна частина			
Спеціальна частина			
Охорона праці в галузі			
Безпека у надзвичайних ситуаціях			

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналітична частина		
2	Основна частина		
3	Науково-дослідна частина		
4	Спеціальна частина		
5	Охорона праці та безпека		
	у надзвичайних ситуаціях		
6	Графічна частина		

Студент _____ Венгер С. В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____ Зелінський І. М.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Зміст

ВСТУП
1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА
1.1 Аналіз питання, яке розглядаємо
1.2 Види динамометрів
2 ОСНОВНА ЧАСТИНА
2.1 Опис схеми функціональної приладу
2.2 Розрахунок елементів механічної конструкції
2.2.1 Розрахунок тензобалки навантаження осі динамометра
2.2.2 Розрахунок тензобалки навантаження радіального для динамометра
2.2.3 Розрахунок тензобалки моменту крутного для динамометра
2.2.4 Розрахунок похибки вимірювання динамометра
3 НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА
3.1 Дослідження характеристик процесу передачі та обробки сигналу мікросхемою AD598
3.2 Дослідження залежності показів тензодатчика від осьового навантаження
4 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА
4.1 Опис роботи електричної схеми та розрахунок її елементів
4.2 Алгоритм роботи електричної схеми
4.3 Схема керування пристроєм та опис принципу роботи
4.4 Розробка принципової схеми
4.5 Дослідження залежності показів тензодатчика від осьового навантаження
4.6 Бюджет для визначених похибок вимірювальних каналів
5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ
ВИСНОВКИ
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ
ДОДАТКИ

РЕФЕРАТ

Метою роботи є підвищення точності і зменшення трудоємності вимірювання.

Областю використання розробки приладу є контроль сил різання при свердлінні отворів в похилих поверхнях.

Об’єкт досліджень: Діапазон вимірювань від 5 Н до більш ніж 10 МН. Загальна похибка для вимірювання осьового навантаження 0.86%, для вимірювання радіального навантаження 1.3%, для вимірювання крутного моменту 0.8%. За допомогою пристрою досліджують зусилля різання при свердлінні в різних режимах роботи. Стенд призначений для експлуатації в лабораторних умовах.

Перелік ключових слів:

ТЕНЗОДАВАЧ, РАДІЛЬНА СИЛА, ОСЬОВА СИЛА, КРУТНИЙ МОМЕНТ, СВЕРДЛІННЯ, РЕЖИМИ РІЗАННЯ.

ВСТУП

Вимірювальний процес визначається виявленням і відобранням величин фізичних, тобто визначенням певного значення числового для даної величини, або ж розміру.Значення розміру x для величини X - це відношення виміряного значення до значення N, прийнятого як стандарт або ж як одиницю виміру:

$$X = x \bullet N$$

Створено рівне співвідношення для шкали розмірної:

$$|\alpha| = |-| \cdot |\alpha|$$

Для цих операцій необхідно виконати дві основні вимоги:

- значення фізичної величини має чітко визначена бути;

- вимірювальні одиниці повинні бути пов'язані між собою. Одиниці виміру та величини незалежним чином визначаються у якості абсолютних чи фундаментальних. На генеральній конференції з питань ваг та вимірювань вироблена система, що складається з семи фізичних величин, основними вважаються одиниці вимірювання такі як: довжина, час, маса, температура, струм електричний, сила світла, а також кількість.

За умов виробництва масового характеру, при яких виникають потреби у високопродуктивнизасобах для контролю та відповідній апаратурі, застосовують спеціальне контрольне обладнання та контрольні автомати.

Тому всі контрольні та вимірювальні методи поділяються на наступні категорії:

а) мір чи еталонів;

б) інструментів та приладів вимірювальних;

в) калібрів для контролю;

г) обладнання для контролю та автоматизації.

Різні практичні вимоги та значна кількість вимірювальних приладів призводять до різних методів вимірювання. Методи вимірювання бувають наступних видів:

- прямих і непрямих;

- складних і диференційованих;

- контактових і безконтактових;

- абсолютних і відносних.

Похибкою показів приладів називають різницю між показаннями приладів та значеннями фактичними величин вимірювальних.

1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 Аналіз питання, яке розглядаємо

За умовою роботи нам необхідно розробити пристрій для того, щоб здійснювати повірку динамометра для вимірювання сил різання при обробці похилих отворів на свердлильних верстатах. Для того, щоб виміряти сили, використовуються різні ефекти фізичні, які визначаються певним співвідношенням між силою та іншою величиною, як-от деформація (абсолютна чи відносна), п'єзоелектрика, тиск, магнітострикція тощо. Найпоширенішим способом вимірювання даної сили є той, коли використовують деформацію пружну компонентів пружин (ваг пружинних). Відповідно до закону Гука існує залежність пропорційна між деформацією ε чи Δl, та силою F

1.2 Види динамометрів

В основному використовуються динамометри механічні для того, щоб зробити окремі вимірювання згідно заданих експлуатаційних умов, використовують їх також у місцях де не потрібна особливо висока точність. Однак використання приладів для того, щоб вимірювати деформацію (мікрометри, мікроскопи) дає можливість використовувати механічні динамометри для досягнення хорошої точності. Для динамометрів інших конструкцій зміни довжини пружного елемента є перетворені у переміщення за шкалою індикатора, який обертовим дзеркалом, прикріпленим до пружного елемента, здійснює відхилення (це називають приладом Мартенса). Через численні недоліки ці пристрої використовуються майже виключно для тестування та калібрування.

Динамометри гідравлічні використовуються для того, щоб здійснювати вимірювання середньої точності при складних умовах експлуатації. Як прилади для зняття показів, використовують манометри на базі трубки Бурдона.

З розробкою тензорезисторів з’явилися можливості інакші. Але інші методи електричних вимірювань отримали подальший розвиток і здійснена розробка методів нових.

Динамометри тензорезисторні є різновидом динамометрів електричних. Існують динамометри для заданих сил від 5 Н до 10 МН, таким чином вимірювальний діапазон динамометрів даного типу є досить широким. Проте чинником визначальним є точність досягнутих вимірювань, яка є високою. Залежно від вартості, технічного рівня і потужності виробництва похибка може бути зменшена до 0,03% або до 0,01%. Гнучким елементом динамометра в найпростішому вигляді є стержень, який повздовж осі навантажено. Може використовуватися для вимірювань у межах від 10 кН до 5 МН. Під навантаженням відбувається стиск стержня і в той же час збільшується периметр відповідно до коефіцієнта Пуассона. на двох його протилежних сторонах моста є тонкі тензорезистори, розміщені перпендикулярні до осі стержня чи поздовжньо розміщені на чотирьох мостах Уітстона. На додаток до тензорезистори, до складу моста Уітстона також містять інші компоненти схеми, які компенсують різні температурні ефекти, пов’язані з нульовою нестабільністю, зміною модуля пружності та тепловим розширенням матеріалу сенсорного компонента давача.

Напруга виходу пов’язана з деформацією пропорційно, а остання пропорційно пов’язана з навантаженням на стержень відповідно до закону Гука. З метою розширити діапазон вимірювання до 1 ... 20 МН для того, щоб розподілити краще напруження гнучких елементів зазвичай конструюють у вигляді труби тензорезистори закріплюють на її як внутрішній, так і зовнішній поверхнях.

Чутливі елементи використовуються для вимірювання зусиль з меншими межами (до 5 Н) і збільшення показань, що використовує деформацію згину замість поздовжньої деформації (рисунок 1.1).

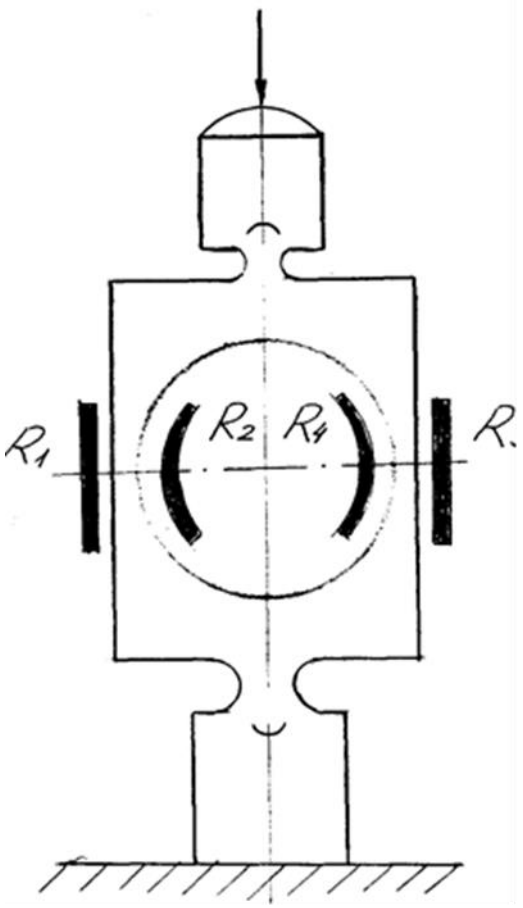


Рисунок 1.1 - Елемент чутливий у вигляді кільця з радіальним навантаженням із тензорезисторами у місцях з найбільшим навантаженням деформації згину

Іншим методом вимірювання міцності є використання деформації внаслідок напружень зсуву. При цьому сенсорний елемент консольної балки використовується у вигляді правильного стержня плоскої форми з гострими краями, для виміру деформацій, що відбуваються під кутом +45° і -45° до площини зсуву за рахунок сили вимірювання, що викликає скручування стержня (рисунок 1.2).

Цей вимірювальний метод дозволяє використовувати високочутливі датчики. Багато чутливих елементів з кількома стержнями, які виконують роботу на зріз, також дають хороші результати. Розміщення стержнів у радіальному порядку дає можливість створювати невеликі динамометри різних розмірів, за допомогою яких можна виміряти не одну силу в спільній точці. Розмістивши їх повздовж сторони платформи, є можливість виміряти розподіл сил, що на дану площину діють.

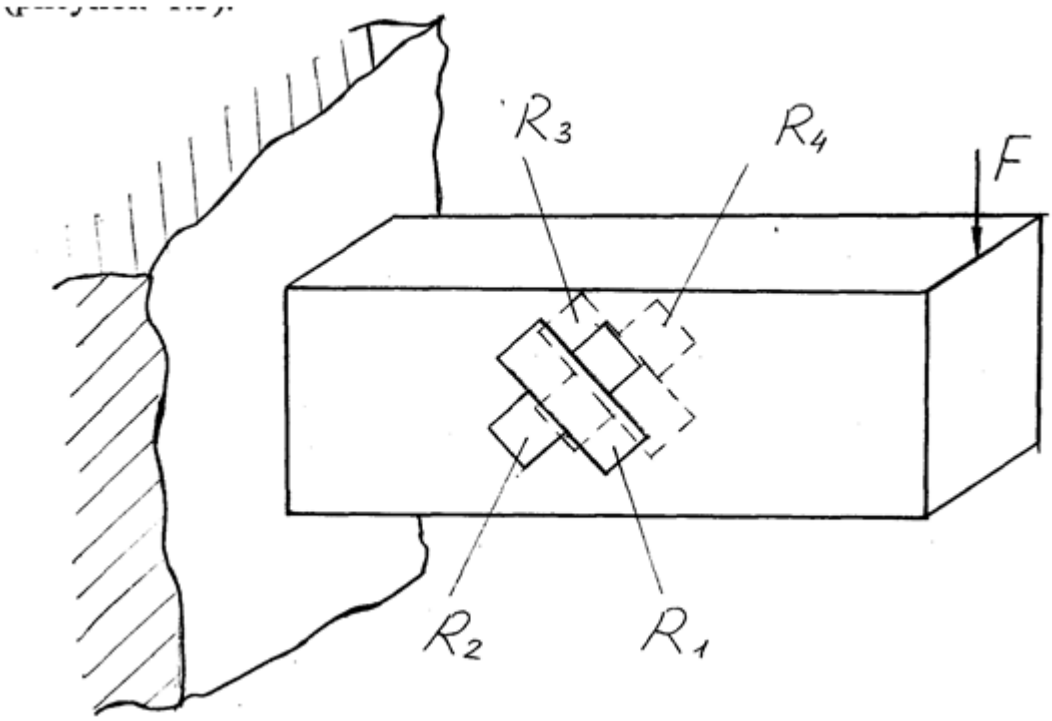


Рисунок 1.2 - Чутливий компонент з тензорезисторами (консольно-торсіонний)

Деякі особливості даного типу:

1. Клас точності динамометрів тензорезисторних від 0,03 до 2%. Динамометри з класом точності 0,1% слід вважати придатними, і добре розраховані. Для навантажень більше 2,5 МН не існує можливості побудувати випробувальний динамометр, який має клас точності вище 0,1%, оскільки пристрої навантаження для нього не існують.

2. Деформації динамометрів тензорезисторних є дуже малі (0,1-0,3 мм). Якщо ці деформації занадто великі для певних застосувань, використовуйте випробувальний стенд з вищою межею вимірювання, та з меншою чутливістю.

3. Динамометри тензорезисторні також використовуються для статичних цілей, а також для вимірювань динамічних. Через значну жорсткість динамометри даного типу можуть мати власну частоту високого рівня – порядку кількох кГц.

4. Діапазон використання методу тензорезисторного є настільки великий, що на даний час їх неможливо ідентифікувати.

5. Характеристикою властивостей матеріалу при навантаженні чутливих компонентів та при зміні навантаження є їх повзучість. У випадку динамометрів тензометричних можна компенсувати повзучість при певній конфігурації тензорезисторів та у такий спосіб досягти відмінно стабільних властивостей.

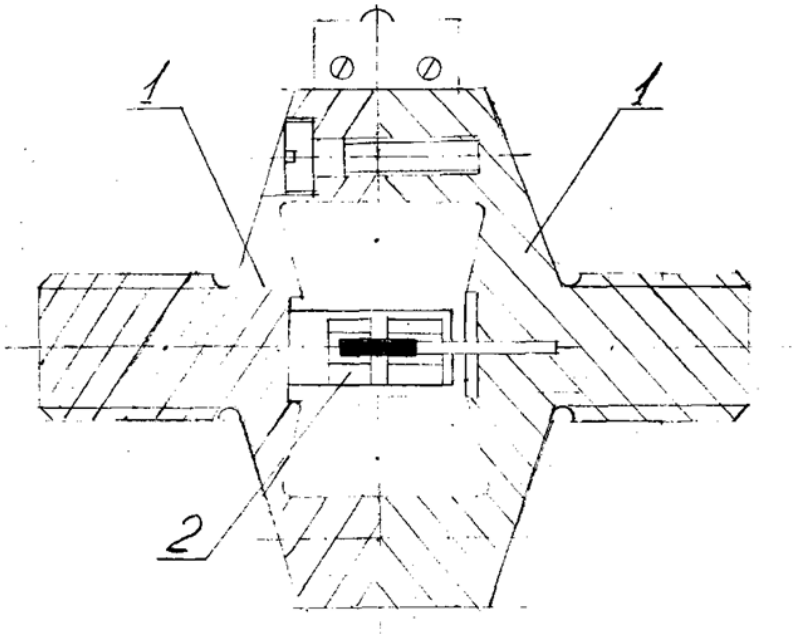
6. У вибухонебезпечних та інших жорстких умовах також можливе використання динамометрів тензорезисторні.

7. Динамометри тензорезисторні завжди використовують принаймні чотири активні вимірювальні тензорезистори на основі мосту Уітстона.

8. Тензорезистори можна застосовувати у великих кількостях, у паралельний чи послідовний спосіб, щоб сумувати чи віднімати окремі зусилля.

9. Найпростіші або найточніші індикатори можуть бути підключені до динамометрів для індикації, а також можна підключати пристрої регулювання, реєстрації та керування.

Індуктивні динамометри мають різні можливості та сфери застосування, якщо порівняти з тензорезисторним методом, що пов'язане з конструктивними особливостями різних типів динамометрів.



1- тарілкоподібний гнучкий елемент;

2- Диференційний давач переміщення (індуктивний).

Рисунок 1.3. Динамометр індуктивний

За допомогою динамометрів індуктивних зміна відстані між двома точками елемента пружного вимірюється під силою, що діє на нього. Як вимірювальний елемент використовують давач переміщення індуктивний. Для того, щоб зменшити асиметричну силову активність чутливий елемент симетрично до обертання (рисунок 1.3). У разі, коли сили є дуже маленькі, то на мосту використовуються одинарні або подвійні балки, що на згин працюють.

Деякі особливості даного типу:

1. Вони характерні сигналом великого масштабу, і тому широко використовуються в практиках як дослідницьких, так і лабораторних.

2. Динамометри індуктивні виготовляються з класами точності від 0,2 до 1%.

3. Номінальна сила до 10 мН або менше; межа верхня становить від 200 кН до 1 МН.

4. Низька чутливість до сил поперечних.

5. Температурні похибки перевищують аналогічні похибки потужності, їх робочий діапазон температур може бути до 200 °С залежно від застосування.

6. Відносно дешеві.

7. Динамометри індуктивні випробувальні мають здійснювати роботу разом з підсилювачем частоти несучої (4-10 кГц).

В динамометрах магнітопружних матеріали феромагнітні, найхарактерніше сплави із заліза та нікелю, міняють свою проникність магнітну під впливом дії сили на розрив або стиск. Цим магнітопружним ефектом можна скористатися того, щоб вимірювати сили. Динамометр магнітопружний можна виготовити з магнітно-м’якого матеріалу. Ця конструкція являє собою котушку, в якій сердечник замкнений. За допомогою електричних схем, які є відомі, можна виміряти зміни індуктивності, що виникають під дією навантаження (рис. 1.4).

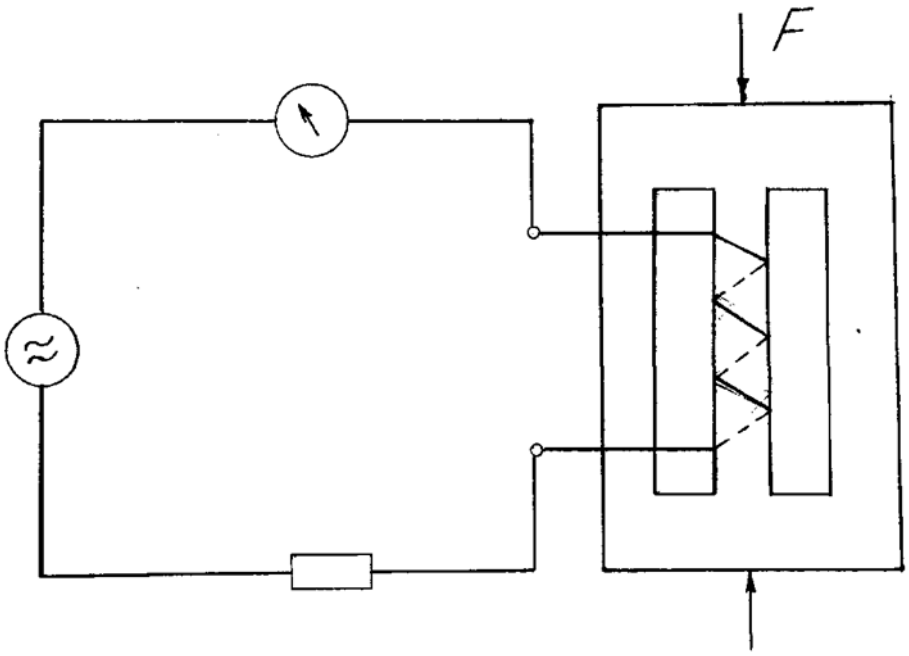


Рисунок 1.4 - Схема установки динамометра магнітопружного

Деякі особливості даного типу:

1. Спеціально розроблені для квазістатичних вимірювань у промисловості.

2. Деформація елемента чутливого внаслідок його питомої ваги менше 0,1 мм.

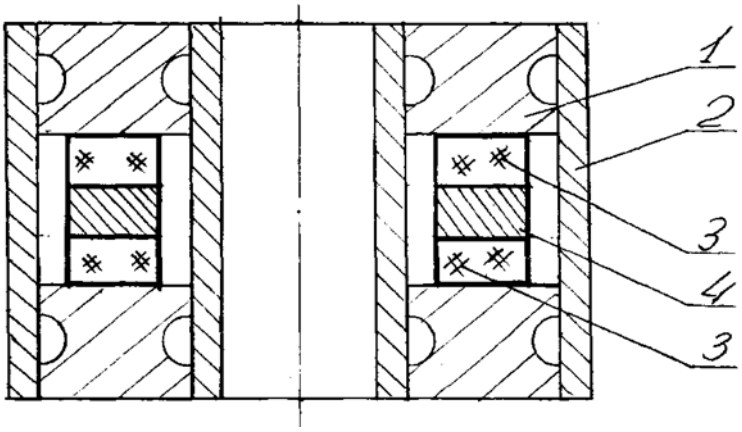
3. Напруга вихідна ~ 0,2 В. Діапазон сил номінальних від 1до 2,5 Н; відсутня потреба у підсилювачах вимірювальних не потрібен. Клас точності від 0,1 до не більше 0,2%.

Динамометри п'єзоелектричні

Для вимірювання динамічних і квазістатичних сил використовуються динамометри п'єзоелектричні; вони не підходять для вимірювання сил статичних. Найбільш чутливими деталями є п'єзоелектричні пластини з п’єзокварцу. Заряд електричний на поверхнях утворюється пропорційно до навантажень. Залежно від розташування площин розрізу по відношенню до осей кристалів, пластини дуже чутливі до зсування чи тиску. Підсилювач високоопірний, підключений до чутливого компонента, здійснює перетворення заряду на електричну напругу відповідно до стану. Пластини з кварцу є дуже міцні у механічному плані, мають низькі лінійні властивості і теплопровідність, а також володіють високим опором електричним, тому взагалі мають хороші

властивості метрологічні. Оскільки під час накладання сил виникає заряд електричний, ці динамометри дуже хороші для вимірювання навантажень швидкозмінних, а ефект гарний навіть при високих температурах.

Цей п’єзоелектричний динамометр можна побачити на рис. 1,5 у розрізі. Кварцові пластини розміщені на кільці між кільцями двома зі сталі; між ними міститься електрод для того, щоб зняти заряд електричний. Залежно від того, наскільки динамометр є міцним, то елемент чутливий бути може створений у вигляді заданої кількості пластинок в ізоляції або єдиного кільця з кварцу (рис. 1.6).



1 - кільця зі сталі для передачі електроенергії;

2 - корпус;

3 - пластини з кварцу;

4 - електрод.

Рисунок 1.5 - п'єзоелектричний динамометр у розрізі

Деякі особливості даного типу:

1. Має високу жорсткість (кілька деформацій, що вимірюють в мікрометрах).

2. Може вимірювати сили динамічні до найвищих частот (понад 100 кГц).

3. Чутливість є високою.

4. Існує потреба в забезпеченні належною ізоляцією існуючих провідників струму

5. Клас точності 1%.

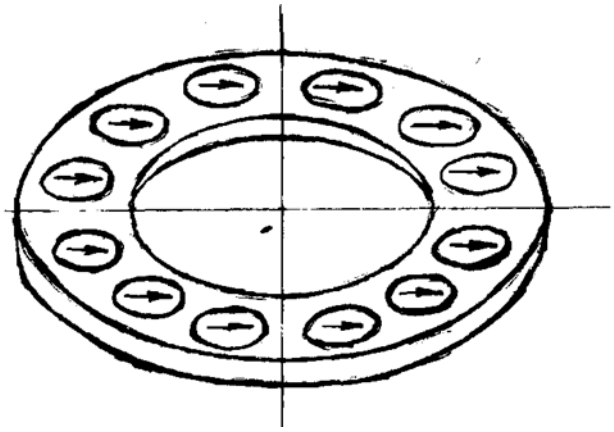


Рисунок 1.6 - Розміщення схематичне пластин з кварцу в ізоляції для того, щоб виміряти сили тангенціальні

Для того,щоб вимірювати сили, використовують також динамометри струнні, механічні, гіроскопічні для вимірювання ваги, та іноді динамометри гідравлічні.

2 ОСНОВНА ЧАСТИНА

2.1 Опис схеми функціональної приладу

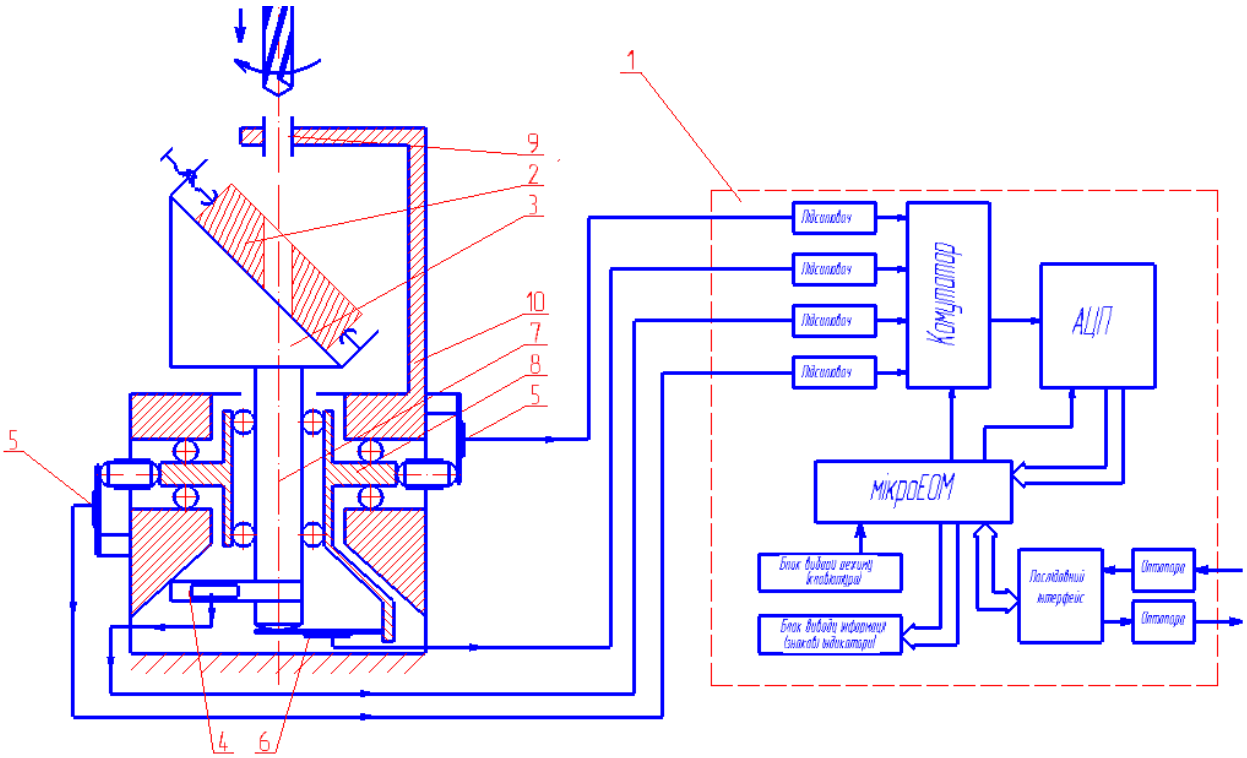


Рисунок 2.1 - Схема функціональна приладу

Динамометр складають такі основні частини: корпус 10, у якому розміщена опора, що рухається на опорах кулькових 8, яка може переміщатися довільно і обертатися горизонтально відповідно до даного корпусу 10. В даній основі рухомій розташований рухомий вал 7, який може вільно переміщатися у напрямку вертикальному відповідно до опори 8 і обертається вільно вздовж вертикальної осі 8. Стіл обертовий 3 з'єднаний з валом, що рухається, на стіл кріплять зразок дослідний 2.

Носій крутного моменту тензометрична балка 4 надійно з’єднана з рухомим валом 7, осьова тензометрична балка 6 надійно з’єднана з опорою рухомою 8, а радіально навантажена тензометрична балка 4 надійно з’єднана з корпусом. Протидія до стола обертового 3 відбувається лише з боку тензобалок, що здійснюють фіксацію сил навантажень на стіл обертовий. Зразок дослідний 2 закріплений на столі 3 під кутом відповідно з віссю оберту свердла. Після того відбувається ввімкнення верстату для свердління та

здійснюється подача свердла до зразка дослідного 2 через втулку кондукторну 9. На тензобалки для вимірювання 4, 5 і 6 передаються всі різальні сили, що відбуваються під час свердління. На блок управління подаються сигнали з тензометричних давачів.

2.2 Розрахунок елементів механічної конструкції

2.2.1 Розрахунок тензобалки навантаження осі динамометра

Як і раніше, тепер обчислюємо тензобалку навантаження осі, який є вузлом, що відповідає за якість роботи пристрою. як давач, що відображає значення прогину балки ми приймаємо два тензорезистори ПКБ-25-400, база яких становить 25 мм, ширина їх 5 мм, деформація найбільші 0,1%, похибка не більше 0,05%. Отже, параметри балки для знаходження похибки задання навантаження найменшої будемо рахувати при похибці навантаження, що буде дорівнювати 0,01%. Для максимальної точності вимірювань максимальна деформація тензорезистора повинна бути відповідною до максимального навантаження балки. Оскільки значення, на яке прогинається балка, відносно його довжини значно мала, то її поверхня видовжиться абсолютно таким чином:

$$l + \Delta l = \sqrt{l^2 + \delta^2}$$

Відповідно до цього:

$$\delta = \sqrt{l^2(1+\varepsilon)^2 - l^2} = l \cdot \sqrt{(1+\varepsilon)^2 - 1}$$

де δ – величина, на яку балка прогинається;

l - довжина частини балки, що є робочою;

ε – деформація балки найбільша.

Тепер ми маючи значення довжини балки l обчислюємо значення прогину:

$$\delta = 70 \cdot \sqrt{(1+0.001)^2 - 1} = 3.13 \text{ мм}$$

З боку іншого, під навантажень балка буде прогинатися на таке значення величини:

$$\delta = \frac{F \cdot l^3}{48 \cdot E \cdot J}$$

де l - довжина балки, яка є робочою;

F- вісь, по якій балка навантажується;

E- модуль пружності для матеріалу балки;

J – момент січення для балки.

Знаючи значення сили F, можна знайти момент інерції поперечного перерізу балки за формулою:

$$J = \frac{F \cdot l^3}{48 \cdot E \cdot \delta}$$

Зробивши підстановку числових значень, ми знаходимо наступне:

$$J = \frac{5000 \cdot 0.07^3}{48 \cdot 2.1 \cdot 10^{11} \cdot 0.00313} = 5.44 \cdot 10^{-11} \text{ м}^4.$$

З другого боку, інерційний момент можливо вивести за формулою:

$$J = \frac{b \cdot h^3}{12}$$

де b - ширина балки;

h - товщина балки.

Оскільки ширина бруса дорівнює 8 мм, товщина її буде:

$$h = \sqrt[3]{\frac{12 \cdot 5.44 \cdot 10^{-11}}{0.008}} = 0.00433 \text{ м}$$

Значення h становить 4,0 мм. Ширина балки тоді становить: 0,00986 м, значення ширини приймаємо b = 10 мм.

2.2.2 Розрахунок тензобалки навантаження радіального для динамометра

Як і раніше, тепер обчислюємо тензобалку для навантаження по радіусу, яка є частиною необхідною приладу для вимірювання. Як давач, що визначає

величину, на яку балка прогинається, беремо два тензорезистори, що мають тип ПКБ-15-300 з базою 15 мм, шириною 4 мм, деформацією найбільшою 0.1% та похибкою найбільшою 0.05%. Отже, дані по балці будемо знаходити для тог, щоб знайти похибку найменшу для задання навантаження та прирівняємо до 0.01%. Для того, щоб забезпечити точність найбільшу при вимірюванні необхідно дотриматися забезпечення відповідності деформації тензорезистора максимальної до максимального навантаження на тензобалку. Оскільки значення, на яке прогинається балка, відносно його довжини значно мала, то її поверхня видовжиться абсолютно таким чином:

$$l + \Delta l = \sqrt{l^2 + \delta^2}$$

Відповідно до цього:

$$\delta = \sqrt{l^2(1+\varepsilon)^2 - l^2} = l \cdot \sqrt{(1+\varepsilon)^2 - 1}$$

де δ – величина, на яку балка прогинається;

l - довжина частини балки, що є робочою;

ε – деформація балки найбільша.

Тепер ми маючи значення довжини балки l обчислюємо значення прогину:

$$\delta = 25 \cdot \sqrt{(1+0.001)^2 - 1} = 1.12 \text{ мм}$$

З боку іншого, під навантажень балка буде прогинатися на таке значення величини:

$$\delta = \frac{F \cdot l^3}{48 \cdot E \cdot J}$$

де l - довжина балки, яка є робочою;

F- вісь, по якій балка навантажується;

E- модуль пружності для матеріалу балки;

J – момент січення для балки.

Знаючи значення сили F, можна знайти момент інерції поперечного перерізу балки за формулою:

$$J = \frac{F \cdot l^3}{48 \cdot E \cdot \delta}$$

Зробивши підстановку числових значень, ми знаходимо наступне:

$$J = \frac{2500 \cdot 0.025^3}{48 \cdot 2.1 \cdot 10^{11} \cdot 0.00112} = 3.46 \cdot 10^{-12} \text{ м}^4$$

З другого боку, інерційний момент можливо вивести за формулою:

$$J = \frac{b \cdot h^3}{12}$$

де b - ширина балки;

h - товщина балки.

Оскільки ширина бруса дорівнює 6 мм, товщина її буде:

$$h = \sqrt[3]{\frac{12 \cdot 3.46 \cdot 10^{-12}}{0.006}} = 0.0019 \text{ м}$$

Значення h становить 2 мм. Ширина балки тоді становить: 0.00519 м, значення ширини приймаємо b=5.4 мм.

2.2.3 Розрахунок тензобалки моменту крутного для динамометра

Як і раніше, тепер обчислюємо тензобалку моменту крутного, що є частиною важливою цього приладу для вимірювання. Як давач, призначений для того, щоб визначити величину, на яку балка прогин, робить, візьмемо 2 тензорезистори, що відносяться до типу тПКБ-15-300, мають базу15 мм та ширину 4 мм, деформацією найбільшу 0.1% та похибку найбільшу 0.05%. Отже, параметри балки знаходитимемо для того, щоб забезпечити похибку найменшу для задання навантаження та прирівняємо до 0.01%. Для того, щоб забезпечити точність найбільшу при вимірюванні необхідно дотриматися забезпечення відповідності деформації тензорезистора максимальної до максимального навантаження на тензобалку. Оскільки значення, на яке

прогинається балка, відносно його довжини значно мала, то її поверхня видовжиться абсолютно таким чином:

$$l + \Delta l = \sqrt{l^2 + \delta^2}$$

Відповідно до цього:

$$\delta = \sqrt{l^2(1+\varepsilon)^2 - l^2} = l \cdot \sqrt{(1+\varepsilon)^2 - 1}$$

де δ – величина, на яку балка прогинається;

l - довжина частини балки, що є робочою;

ε – деформація балки найбільша.

Тепер ми маючи значення довжини балки l обчислюємо значення прогину:

$$\delta = 40 \cdot \sqrt{(1+0.001)^2 - 1} = 1.79 \text{ мм}$$

З боку іншого, під навантажень балка буде прогинатися на таке значення величини:

$$\delta = \frac{a \cdot F \cdot l^2}{48 \cdot E \cdot J}$$

де l - довжина балки, яка є робочою;

F- вісь, по якій балка навантажується;

E- модуль пружності для матеріалу балки;

a- плече, по якому сила F прикладена до балки;

J - момент січення для балки.

Зусилля навантаження на балку ми знайти можемо згідно формули:

$$F = \frac{M}{a}$$

де M–крутний момент найбільший, що прикласти треба до балки;

a- плече прикладання сили F до балки.

Знаючи значення моменту M, можна знайти момент інерції поперечного перерізу балки за формулою:

$$J = \frac{M \cdot l^2}{48 \cdot E \cdot \delta}$$

Зробивши підстановку числових значень, ми знаходимо наступне:

$$J = \frac{30 \cdot 0.04^2}{48 \cdot 2.1 \cdot 10^{11} \cdot 0.00179} = 2.66 \cdot 10^{-12} \text{ м}^4$$

З другого боку, інерційний момент можливо вивести за формулою:

$$J = \frac{b \cdot h^3}{12}$$

де b– ширина балки;

h– товщина балки.

Оскільки ширина бруса дорівнює 10 мм, товщина її буде:

$$h = \sqrt[3]{\frac{12 \cdot 2.66 \cdot 10^{-12}}{0.01}} = 0.00225 \text{ м}$$

Значення h становить 2.3 мм. Ширина балки тоді становить: 0,00956, значення ширини приймаємо b=9.6 мм.

2.2.4 Розрахунок похибки вимірювання динамометра

На точність вимірювань динамометра впливають декілька факторів: нестабільність модуля пружності і нуля через температурні зміни, нелінійний стан тензорезисторів, розширення матеріалів чутливих компонентів через температуру, похибки параметрів випромінювання, точність балок тезометричних, похибки при виході сигналу при вимірюванні. Для того, щоб зменшити або виключити вплив температури на точність вимірювання, умови роботи приладу встановлюються в межах 20˚C ± 2˚C. Отже похибка при вимірюванні повинна бути такою:

$$\varepsilon = \varepsilon_б + \varepsilon_е$$

де εb - похибка через неточність виготовлення тензобалки;

εe - похибка на виході сигналу з тензорезистивних давачів при обробці електричною схемою.

Похибку через неточність при виготовленні балки тензометричної можна визначити за такою формулою:

$$\varepsilon_б = 4 \cdot \left(\frac{\Delta l}{2 \cdot l} + \frac{\Delta b}{4 \cdot b} + \frac{3 \cdot \Delta h}{4 \cdot h} \right)$$

де l, b, h – відповідні робоча довжина, ширина і товщина балок;

Δl, Δb, Δh- конструктивні похибки по робочій довжині, ширині та товщині балок;

Δ a - похибка для діючої на балку сили навантаження;

a- відносно балки плече сили навантаження.

Замість попередніх числових значень беремо осьове навантаження для давача:

$$\varepsilon_{бо} = 4 \cdot \left(\frac{0.063}{2 \cdot 70} + \frac{0.004}{4 \cdot 10} + \frac{3 \cdot 0.002}{4 \cdot 4} \right) = 0.0037 = 0.37\ \%$$

для тензодавача радіального навантаження:

$$\varepsilon_{бр} = 4 \cdot \left(\frac{0.054}{2 \cdot 25} + \frac{0.004}{4 \cdot 5.4} + \frac{3 \cdot 0.002}{4 \cdot 2} \right) = 0.0081 = 0.81\ \%$$

для давача крутного моменту:

$$\varepsilon_{бм} = 4 \cdot \left(\frac{0.054}{2 \cdot 40} + \frac{0.004}{4 \cdot 9.6} + \frac{3 \cdot 0.002}{4 \cdot 2.3} \right) = 0.0031 = 0.31\ \%$$

Похибка зняття сигналів з вимірювачів через схему електричну однакова буде для всіх вимірювальних балок техніки, оскільки схеми формування сигналу однакові для всіх вимірювальних давачів, εe = 0,49%.

Похибка загальна при вимірюванні навантаження на вісь буде наступною:

$$\varepsilon_o = 0.37 + 0.49 = 0.86\ \%$$

Вимірювання навантаження радіального буде таким:

$$\varepsilon_p = 0.81 + 0.49 = 1.3 \ \%$$

Вимірювання моменту крутного буде таким:

$$\varepsilon_м = 0.31 + 0.49 = 0.8 \ \%$$

3 НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА

3.1 Дослідження характеристик процесу передачі та обробки сигналу мікросхемою AD598

AD598 приведена на рис. 3.1. Процес перетворення сигналу в мікросхемі відтворено на S - моделі в середовищі MATLAB SIMULINK як показано на рис. 3.2.

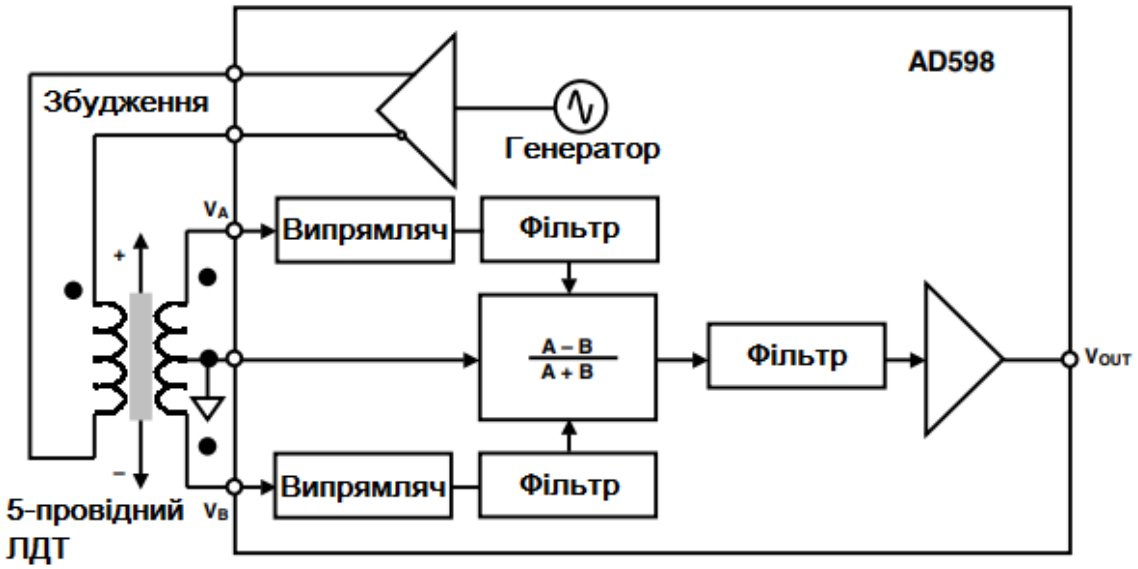


Рисунок 3.1 - Структурна схема AD598

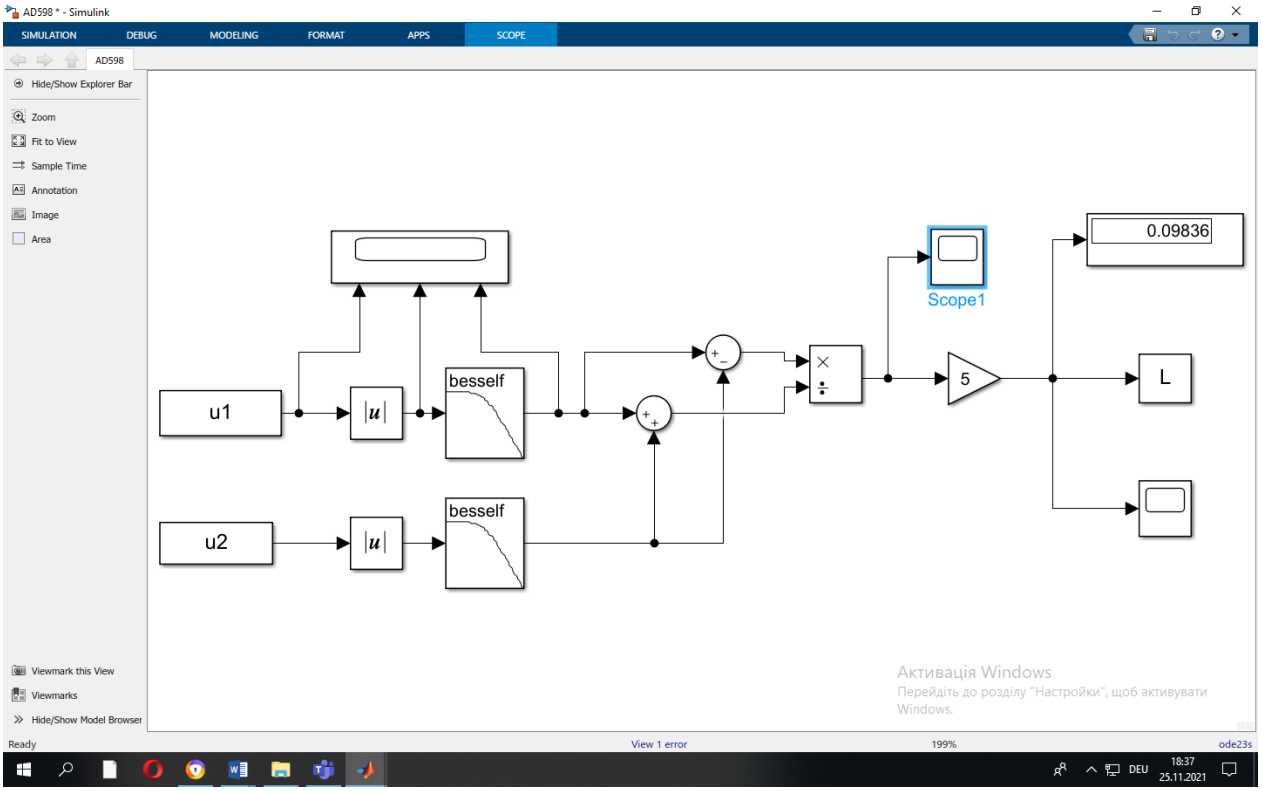
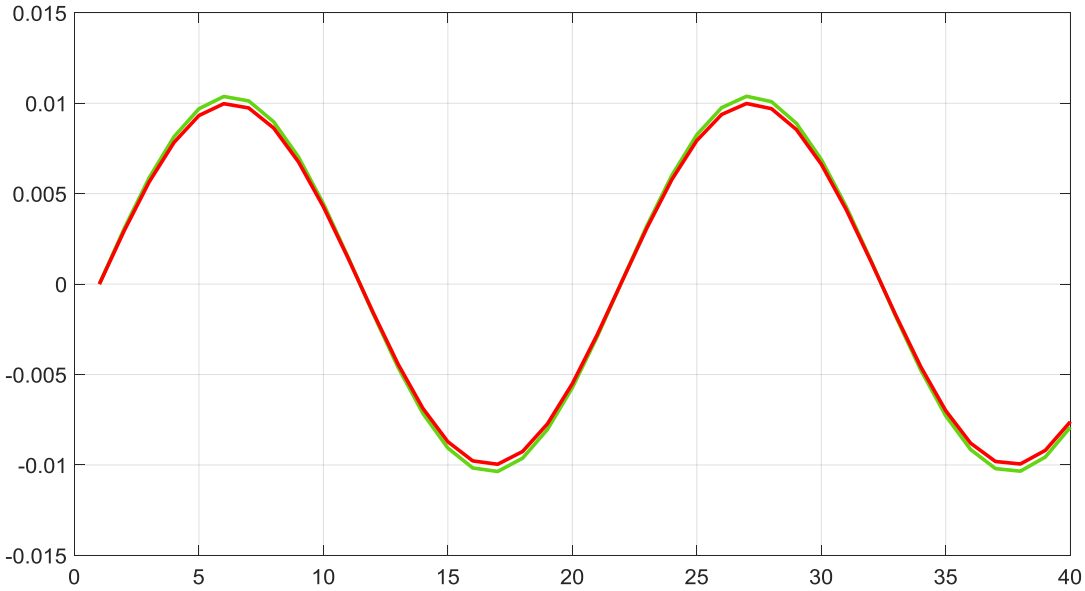
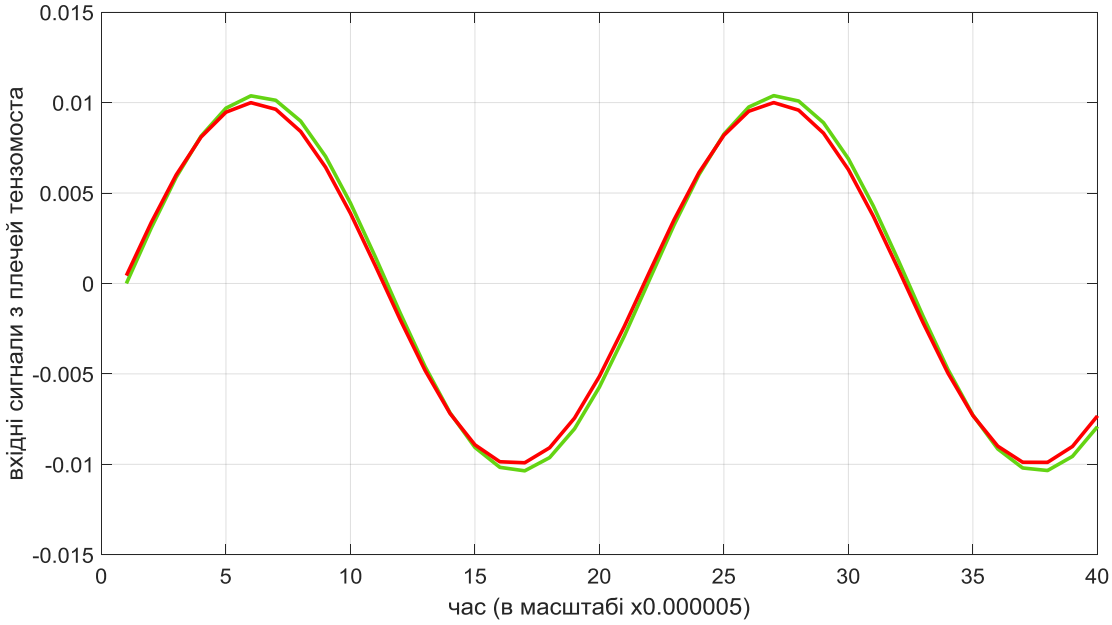


Рисунок 3.2 - S – модель для симулювання процесу перетворення сигналу в мікросхемі AD598

Вхідні сигнали V_A і V_B генеруються в зовнішньому програмному забезпеченні MATLAB (див. нижче). Розглянуто випадки, коли між цими сигналами існує незначна різниця по амплітуді (рис.3.3 а), а також коли має місце і незначна різниця по фазі (рис.3.3 б).



а)

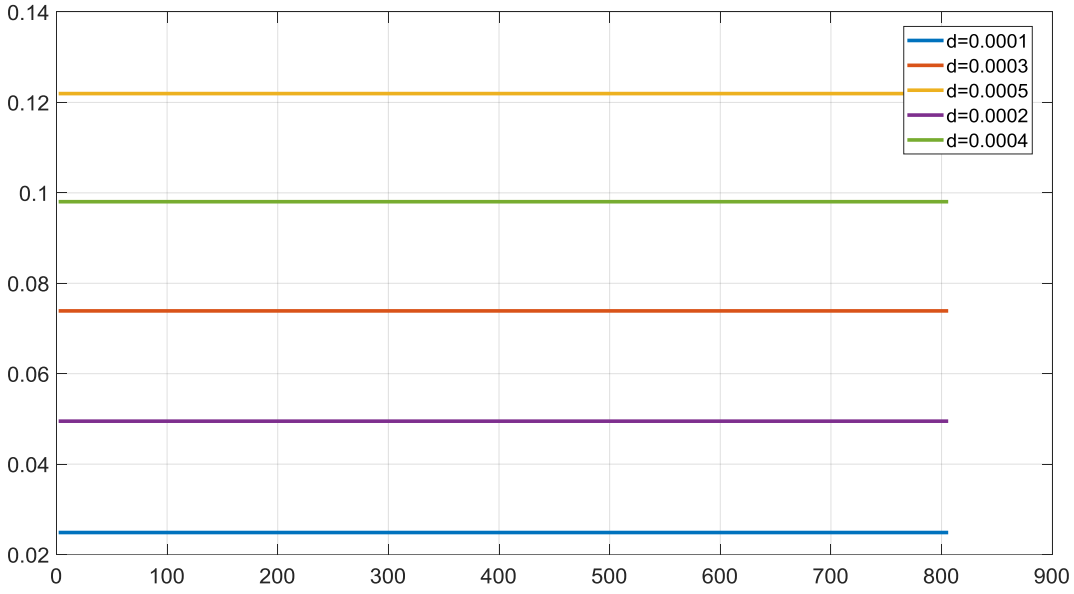


б)

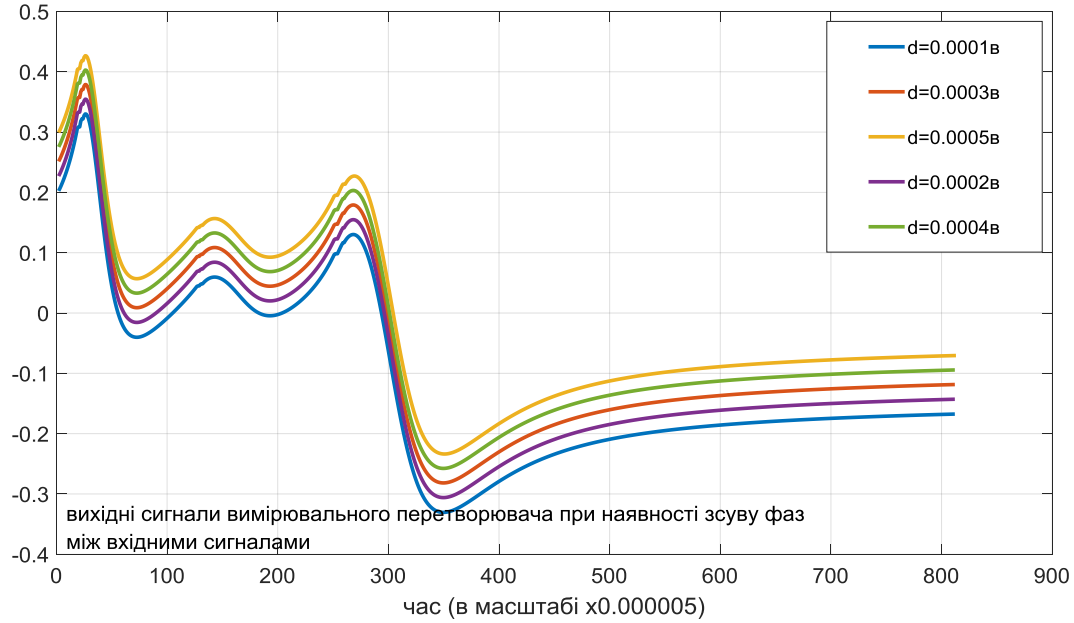
Рисунок 3.3 - Напруги розбалансу з плечей моста при відсутності зсуву фаз (а) і при наявності (б)

Як показують результати моделювання у першому випадку на виході мікросхеми отримуємо встановлене значення напруги, рівень якої

пропорційний до наявної різниці амплітуд вхідних сигналів (рис. 3.4 а). В другому – встановленню рівня передує перехідний процес (рис. 3.4 б).



а)



б)

Рисунок 3.4 - Встановлення вихідного сигналу з AD598 при відсутності (а) і наявності (б) зсуву фаз між вхідними сигналами

І в першому і в другому випадках даному фрагменту вимірювального перетворювача властива функція перетворення, яку із несуттєвими похибками можна вважати лінійною (рис. 3.5).

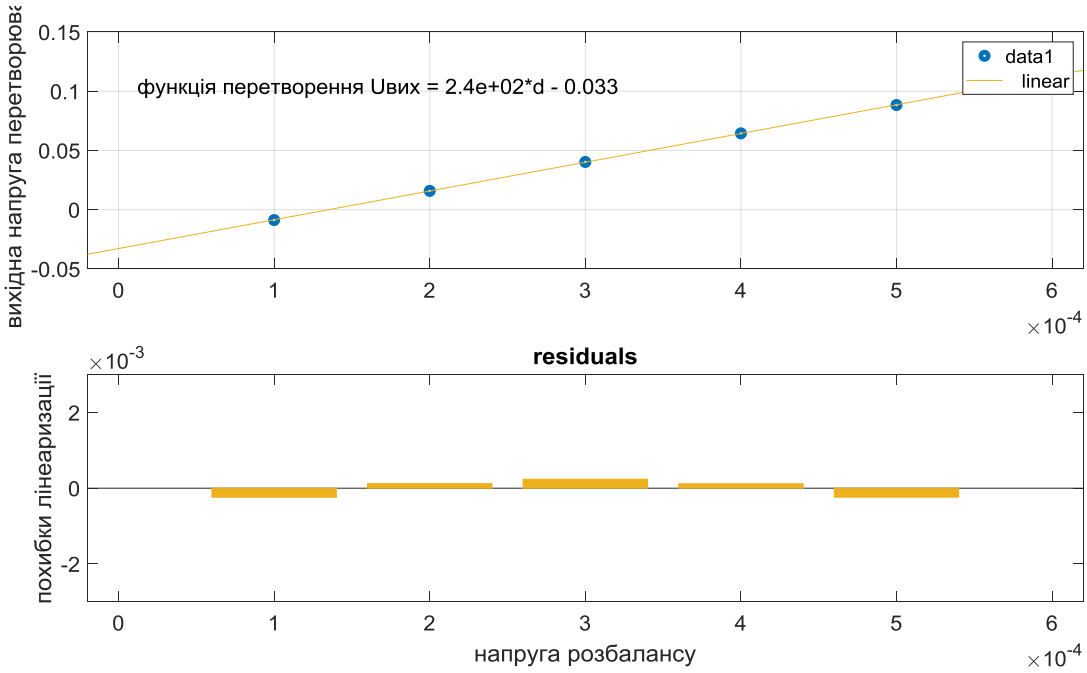


Рисунок 3.5 - Функція перетворення вимірювального перетворювача міст-AD598 і похибки її лінеаризації

Програмне забезпечення для симулювання вхідних сигналів з плечей тензомоста, виклику S - моделі для симулювання процесу опрацювання вхідних сигналів в AD598 і візуалізації отриманих результатів приведене нижче^

```
clear all
a0=.01;
i=1;
% зсув фаз між вхідними сигналами
f1=0;
f2=pi/7200;
%вимірювані зміщення тензобалки
da=[.0001  .0003 .0005 .0002 .0004]
na=[4e-5:4e-5:4e-4];
%da=sin(na).*sin(10*na);
n=length(da)
```

```
% імітування процесу опрацювання сигналу розбалансу моста
на AD598
for w=1:n
a2=a0;
a1=a0+da(i);
t=0:.000001:.0001;
u11=a1*sin(15e4*t+f1);
u22=a2*sin(15e4*t+f2);
for k=1:40
u1(k,2)=u11(k);
u2(k,2)=u22(k);
u1(k,1)=k;
u2(k,1)=k;
end
%звертання до S-моделі AD598
simOut=sim('AD598');
% вихідні сигнали S-моделі для AD598
plot(L.signals.values);
hold on
L1(i)=L.signals.values(40);
K(:,1)=na;
K(i,2)=L1(i);
i=i+1;
end
grid
% сигнали на входах AD598
figure
plot(u11)
hold on
plot(u22,'r'),grid
axis([0,40,-.015,.015])
```

```
%функція перетворення для перетворюючого пристрою міст-
AD598
figure
plot(da,L1,'o'),grid
```

3.2 Дослідження залежності показів тензодавача від осьового навантаження

Коротко розглянемо принцип, за яким працює пристрій. Тоді, коли діє осьова сила, стрижень P розміщується на незафіксованому кінці балки тензометричної 2, з розміщеними на ній двома тензометричними резисторами 3 на відстані x_1. Відбувається деформація одного тензометричних резисторів під дією напруги розтягу, а іншого — під час під дією напруги стиску.

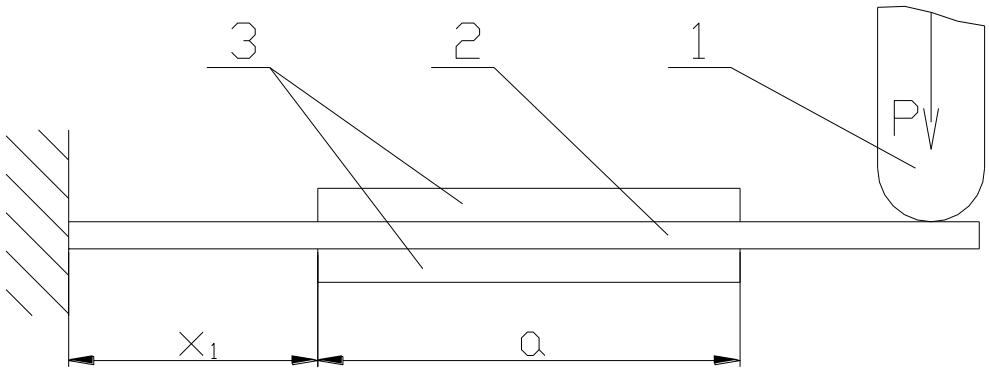


Рисунок 3.6 - Схема роботи приладу.

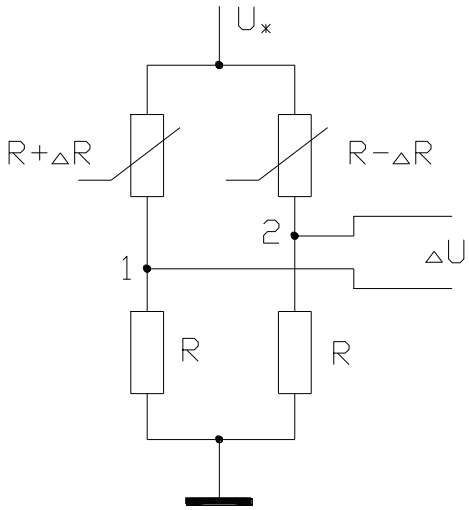


Рисунок 3.7 - Схема включення тензорезисторів

Як бачимо з рисунку два тензорезистори включені у мостову схему і живляться напругою $U_{ж}$. Вихідна напруга з тензомоста буде:

$$\Delta U = U_2 - U_1,$$

де U_2 і U_1 – напруги в точках 1 і 2 мостової схеми відносно загальної шини живлення.

Напруги U_2 і U_1 ми можемо знайти за формулами:

$$U_1 = \frac{R}{R + R + \Delta R} \cdot U_{ж},$$

$$U_2 = \frac{R}{R + R - \Delta R} \cdot U_{ж}.$$

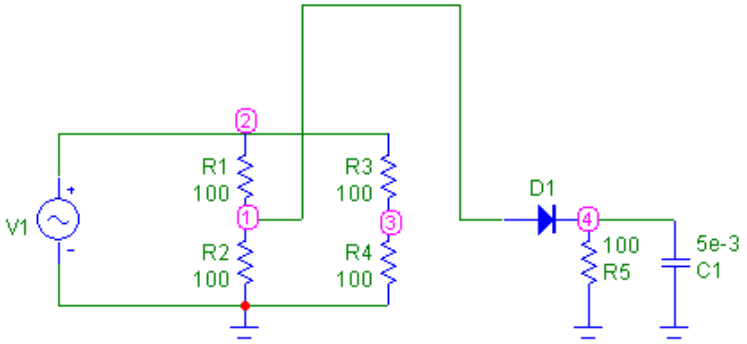


Рисунок 3.8 Схема моделювання тензомоста в програмі Micro-Cap 8

Отже, напруга на виході становитиме:

$$\Delta U = \left(\frac{R}{R + R - \Delta R} - \frac{R}{R + R + \Delta R} \right) \cdot U_{ж} = \frac{2R^2 + \Delta R \cdot R - 2R^2 + \Delta R \cdot R}{(2R + \Delta R)(2R - \Delta R)} \cdot U_{ж} = \frac{2\Delta R \cdot R}{4R^2 - \Delta R^2} \cdot U_{ж}$$

Відношенням, по якому опір резистора тензометричного ΔR міняється під час деформації Δl можна обчислити наступне:

$$\frac{\Delta R}{R} = \frac{\Delta a}{a},$$

де ΔR – значення, на яке міняється опір резистора тензометричного під час навантаження на балку тензометричну,

Δa –деформація резистора тензометричного абсолютна,

R –опір резистора тензометричного номінальний,

a – значення довжини резистора тензометричного.

У такому разі напругу, що виходить з давача, зобразити можна:

$$\Delta U = \frac{2\Delta a \cdot a}{4a^2 - \Delta a^2} \cdot U_{ж}.$$

Значення, яке має абсолютна максимальна деформація резистора тензометричного в діапазоні, становить величину, меншу значно ніж довжина його (візьмемо для прикладу, Δa = 0,1 мм у разі коли a=20 мм, Δa=0.1 мм, а також $\Delta a^2=0.01<<4a^2=1600$). У разі відсутності практичної суті похибка в цих значеннях може бути проігнорована для наступних розрахунків. Тоді знаходимо:

$$\Delta U = \frac{2\Delta a \cdot a}{4a^2 - \Delta a^2} \cdot U_{ж} \approx \frac{2\Delta a \cdot a}{4a^2} \cdot U_{ж} = \frac{\Delta a}{2a} \cdot U_{ж}$$

Деформацію тензорезистора Δa знаходимо за формулою:

$$\Delta a = \int_{x_1}^{x_1+a} \frac{h}{2} \varphi(x) dx,$$

де h – товщина тензобалки для розташування тензорезисторів;

x_1 – положення тензорезистора відносно кінця тензобалки зафіксованого;

$\varphi(x)$ – кут, на який тензобалка прогинається за координатою x, на рис. 3.9.

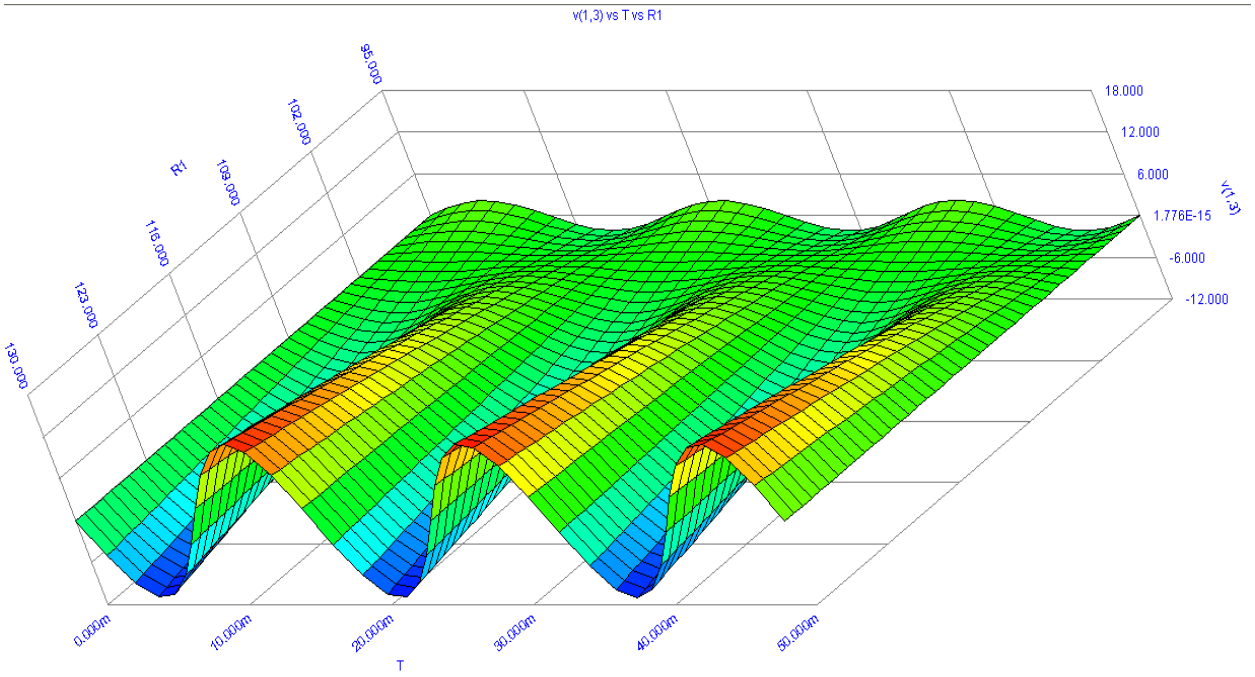


Рисунок 3.9 – Зображення графіку амплітуди і опору. Залежність напруги розбалансування моста від часу та значень показів резистора тензометричного

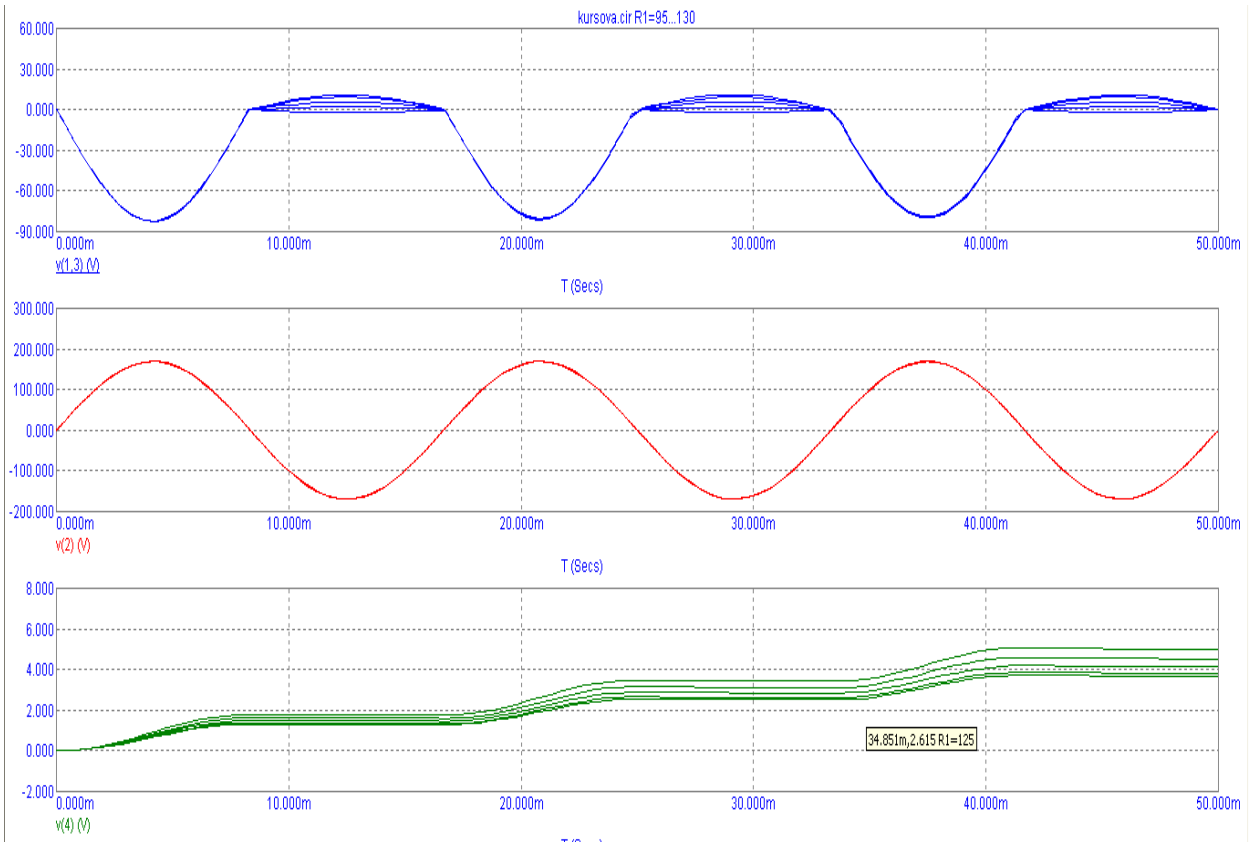


Рисунок 3.10 - Графік випрямленої напруги

4 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

4.1 Опис роботи електричної схеми та розрахунок її елементів

Схему електричну даного пристрою складають з таких базових частин: блок введення інформації та блок для обробки інформації, блок відображення інформації, блок давача та блок механізмів виконавчих.

Основою блоку, що обробляє інформацію є мікрокомп’ютер з одним кристалом. Від портів P1.4 та P1.7 мікрокомп’ютер керує процесом робочим схеми керування двигуном DV, що працює покроково. Шляхом проходження через P3.4 та P3.5 мікрокомп'ютер починає приводити в дію схеми керування для приводу гідравлічних циліндрів. Схема керування складається із змінних DD3.1 DD3.2 та ключів транзисторних, тобто транзисторів VT1 та VT2), які керують робочим процесом середніх реле P1та P2, а дані реле активують привід гідроциліндра. Від портів P0.0 до P0.7 мікрокомп’ютер, використовуючи інтерфейс паралельний DD1, проводить сканування клавіатури, встановленої на клавішах K1-K16, для того, щоб вводити дані і керувати пристроєм, а також відображає поточну інформацію про результати роботи та вимірювань в динамічному вигляді. Зібрані на мікросхемах DA5-DA8 динамічні сигнали,, контролюються перемикачами транзисторними, встановленими за допомогою транзисторів VT3-VT6, які з індикаторів DA5-DA8 приводять в дію один. Компоненти сигналу приводяться в дію однокристальним мікрокомп’ютером і паралельним пристроєм DD1та буфером DD4. Зробимо огляд того, як працює схема обробки сигналу ланцюга від тензометричного давача: сигнал від тензометричного давача, що складений з двох перемикачів R1 та R2 мостової схеми, подається до входу підсилювача, який зібраний на базі мікросхеми DA1, де відбувається його підсилення. Збірки, встановлені на базі мікросхемі DA2 та тензорезисторах R3 і R4, працюють аналогічно.

Напруги з підсилювача виводяться на комутаторні входи DA3, де відбувається комутація на вхід АЦП який є десятирозрядним (мікросхема DA4).

Комутатор контролюється з порту P3.3 мікрокомп'ютера. Відповідно до коду, занесеного до комутатора, один з виходів підсилювача підключений на вхід АЦП. Активація АЦП починається з порту P1.3 мікрокомп'ютера, потім

трансформується до двійкового коду напруга на вході АЦП і передається сигнал доступності даних з АЦП на порт P1.2, після чого посилає мікрокомп'ютер на портах P2.0-P2.7 і P1.0-P1.1 зчитує вихідні дані з АЦП. Розрахуємо елементи схеми.

Виберемо транзистори:

(a) Транзистори VT1 і VT2 можуть бути підібрані до реле електромагнітних за таких умов:

$$I_{кmax} > I_н, \quad U_{кemax} > U_ж,$$

де $I_н$ - струм, споживаний релейною обмоткою;

$U_ж$ - живлення напруга, $U_ж$ = 15 В.

Для того випадку, який існує, реле P1 і P2 працюють зі струмом 0,2 А та 27 В.

Робимо вибір реле типу РЭС-91 з паспортом РФО.452.100, яке спрацьовує при струмі 30 мА Тому вибираємо транзистори КТ815V VT1 та VT2 з такими параметрами: $U_{кemax}$ = 70 В, $I_{кmax}$ = 1,5 А, $h_{21} \geq 40$.

b) Транзистори VT3 - VT6 можуть бути підібрані до ключів вмикання:

$$I_{кmax} > I_н, \quad U_{кemax} > U_ж,$$

де $I_н$ - в даний момент споживається індикатором, $I_н$ = 0,03 А;

$U_ж$ - напруга живлення, $U_ж$ = 5 В.

Виберемо транзистори КТ361Ж типу VT3-VT6 з параметрами наступними: $U_{кemax}$=10 В, $I_{кmax}$=0.05А, $h_{21Э}$=50…350.

Робимо вибір АЦП на основі таких умов:

$$\varepsilon_{АЦП} \leq \varepsilon - \varepsilon_д - \varepsilon_{оп}$$

де ε –похибка для вимірювання загальна для електричної схеми, ε=1%

$\varepsilon_д$ – давача похибка, $\varepsilon_д$=0.3%

$\varepsilon_{оп}$ – підсилювача похибка, $\varepsilon_{оп}$=0.4%

$$\varepsilon_{АЦП} \leq 1 - 0.3 - 0.25 = 0.45\%$$

Видно, що похибка найбільша у АЦП бути має 0.45%. обираємо із книги АЦП з 10розрядами, о має тип К1113ПВ1 і має значення такі:

розрядність–10

похибка диференціальна, $\varepsilon_д$=0.075% (3/4 м.р.);

похибка інтегральна, $\varepsilon_і$=0.2% (2 м.р.);

квантування похибка, $\varepsilon_{кв}$=0.1% (1 м.р.);

похибка, що спостерігається при впливі напруги по зміщенню (для того, щоб зменшити похибку цю, слід ввести коректування напруг для схемн та зміщення програмного. Це забезпечує зменшення зміщення програмного до рівня, який має квантування похибка), $\varepsilon_{зм}$=0.1%.

$t_{перетв}$=30 мкс

$U_ж$=+5±5% (В); -15±5% (В)

$U_{оп}$=10 (В).

Коли приймемо, що значення цих похибок рівномірно розподілено, тоді тоді буде значення похибки АЦП:

$$\varepsilon_з = \sqrt{\frac{\varepsilon_{кв}^2 + \varepsilon_i^2 + \varepsilon_д^2 + \varepsilon_{зм}^2}{3}} = \sqrt{\frac{0.1^2 + 0.2^2 + 0.075^2 + 0.1^2}{3}} = 0.148\%$$

Тоді похибка АЦП, що обрали, не буде вищеза те, яке задали, умова задоволена повністю.

Знайдемо опір резистора зворотнього зв’язку R12 підсилювача диференційного, що на мікросхемі знаходиться DA1 згідно формули:

$$K = \frac{R12}{R8}$$

де к- коефіцієнт підсилення підсилювача, згідно формули який визначимо:

$$K = \frac{U_{вих}}{U_{вх}}$$

де $U_{вих}$ – напруга, що з підсилювача виходить, $U_{вих}$=10 В у випадку для мікросхем, що приймемо для АЦП

1113ПВ1 по даних її паспортних діапазон, на який напруга вхідна міняється на 0…10 В);

$U_{вх}$ - напруга на вході підсилювача.

Визначення напруги вхідної на підсилювачі DA3 відповідно мосту резисторів тензометричних згідно формули:

$$U_{BX} = \frac{\Delta R}{2 \cdot R} \cdot U_{Ж}$$

де $U_{ж}$ - живлення напруга для моста, $U_{ж}$=5 В;

ΔR- зміна опору резистора тензометричного найбільша, ΔR=2 Ом;

R- резистора тензометричного опір номінальний, R=500 Ом;

числові значення вставивши, мати будемо:

$$U_{BX} = \frac{2}{2 \cdot 500} \cdot 5 = 0.01$$

Матимемо формулу виходу для того щоб знайти значення резистора R12 що входить у підсилювач DA3:

$$R12 = \frac{U_{вих}}{U_{вх}} \cdot R8$$

Підставляючи значення числові, мати будемо:

$$R12 = \frac{10}{0.01} \cdot 1000 = 1000000$$

Тому значення R12 беруться з ряду стандартних значень, такі, що дорівнюють 910 кОм. Резистори мають значення опору R8 = R7 = 1 кОм, R10 = R12 = 910 кОм.

Оскільки тензорезисторні параметри змінюються з часом (плавають), щоб зменшити похибку вимірювань і покращити підсилювач по точності, встановіть резистор R13, включений ланцюг послідовно (опір резистора) дорівнює 100 кОм а послідовно з опором R10 в ланцюг також R9, що має опір 100 кОм.

Оскільки схема приєднання іншого давача (R3-R4) схожа на попередню схему, то для мікросхеми DA2 береться таке ж значення резисторів R16-R22.

Знаходимо опір резистора бази для транзисторів, які призначені для комутації обмоток реле проміжних. Щоб транзистор був повністю заряджений, базовий струм бути має таким:

$$I_б > I_{бнас} = \frac{I_К}{h_{21Э}}$$

де $I_б$- базовий струм, А;

$I_к$- колекторний струм а, $I_к$=0.03 А;

$h_{21Э}$- коефіцієнт, на який транзистор підсилюється, $h_{21Э}$=40.

$$I_б > I_{бнас} = \frac{0.03}{40} = 0.00075$$

Згідно формули опір резистора знаходити будемо:

$$R_б = \frac{U_Ж - 0.6}{I_б}$$

де $U_ж$- живлення напруга, $U_ж$=15 В.

Підставляючи значення числові, мати будемо:

$$R_б = \frac{15 - 0.6}{0.00075} = 19200$$

Вибираємо опір від резистора R29 до R32 посеред значень стандартних, що будуть 18 кОм.

Опори шукаємо для резисторів базових транзисторів, призначених для ввімкнення індикаторів знакових. Для того, щоб наситити повністю транзистор, базовий струм має значення мати:

$$I_б > I_{бнас} = \frac{I_К}{h_{21Э}}$$

де $I_б$- базовий струм, А;

$I_к$- колекторний струм, $I_к$=0.03 А;

$h_{21Э}$- коефіцієнт, на який транзистор підсилюється, $h_{21Э}$=50.

$$I_б > I_{бнас} = \frac{0.03}{50} = 0.0006$$

Згідно формули опір резистора знаходити будемо:

$$R_б = \frac{U_Ж - 0.6}{I_б}$$

де $U_ж$- живлення напруга, $U_ж$=5 В.

Підставляючи значення числові, мати будемо:

$$R_б = \frac{5 - 0.6}{0.0006} = 7333$$

Вибираємо від резистора R41 до R44 посеред значень стандартних, що будуть 6.8 кОм.

Розрахуємо похибку при обробці схемою електричною сигналу, що від давачів надходить. У цій схемі електричній вимірювання величини навантаження проводимо. Тому буде визначено похибку вимірювання схеми згідно формули:

$$\varepsilon = \varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3$$

де ε_1 - тензодавача похибка;

ε_2 - підсилювача похибка;

ε_3 - АЦП похибка.

Визначається похибка давача тензометричного згідно параметрів фізичних та параметрами резисторів тензометричних та буде 0.05%.

Похибка підсилювача має складові як адитивну так і мультиплікативну.

Похибка мультиплікативна підсилювача виникає через не дуже точні резистори та через не дуже стабільний коефіцієнт підсилення, що задають у підсилювачі коефіцієнт підсилення:

$$\varepsilon_{оп} = \varepsilon_R + \varepsilon_{коп}$$

Значення похибки нестабільності для коефіцієнта підсилення:

$$\varepsilon_{коп} = \frac{\delta_к}{K_o \cdot \beta + 1}$$

де K_o – значення коефіцієнта підсилення в підсилювачі, К=39810 (90 дБ);

$\delta_к$ – значення нестабільності коефіцієнта підсилення згідно характеристик технічних

х ОП; $\delta_к$=0.1%;

β – значення коефіцієнту зв'язку зворотного, β≈0.001.

$$\varepsilon_{коп} = \frac{0.1}{39810 \cdot 0.001 + 1} = 0.0029\%$$

Похибка, спричинена виливом нестабільності і неточності опорів підсилювача:

$$\varepsilon_R = \sqrt{\varepsilon_{R28}^2 + \varepsilon_{R29}^2 + \varepsilon_{R30}^2 + \varepsilon_{R31}^2 + \varepsilon_{R33}^2 + \varepsilon_{R34}^2}$$

У резисторах типу С2-14-0.125 похибка рівна 0.05%:

$$\varepsilon_R = \sqrt{0.05^2 + 0.05^2 + 0.05^2 + 0.05^2 + 0.05^2 + 0.05^2} = 0.1\%$$

Адитивна частина в основному визначається напругою, струмом і температурою зміщення, а також перешкодами і шумами фази. Поле підсилювача використовує стабілізоване джерело живлення, корекцію напруги зміщення та періодичне програмне калібрування, яке усуває та розраховує всі навантаження незалежно від температури. Тому важливою складовою адитивних похибок залишаються лише шум і неточність. Отже, формула для додаткових елементів похибки має бути:

$$\varepsilon_U = \frac{\left(U_{вх.ш} + I_{вх.ш} \cdot R_{вх} + \kappa_{нел} \cdot U_{вх}\right) \cdot \kappa}{U_{вих}}$$

де $К_{нел}$ – значення коефіцієнту відсутності лінійності підсилення підсилювача , $К_{нел}$=0.001%;

$U_{вх.ш}$ – для шумів напруга вхідна, В;

$I_{вх.ш}$ – для шумів струм вхідний, А;

$R_{вх.}$ – для підсилювача опір вхідний, Ом;

к – для підсилювача коефіцієнт підсилення, К=1000;

У даному підсилювачі буде $К_{нел}$=0.001%, $U_{вх.ш}$=0.3 мкВ, $I_{вх.ш}$=0.02 нА, $R_{вх.}$=1.3 МОм. Так що:

$$\varepsilon_U = \frac{\left(0.3\cdot 10^{-6} + 0.02\cdot 10^{-9}\cdot 1.3\cdot 10^{6} + 10^{-5}\cdot 0.02\right)\cdot 1000}{10}\cdot 100\% = 0.19\%$$

Так що похибка підсилювача загальна буде:

$$\varepsilon_2 = \varepsilon_R + \varepsilon_{коп} + \varepsilon_U = 0.1 + 0.0029 + 0.19 = 0.293\%$$

Визначаємо похибку АЦП за допомогою оцінки групи похибок кількісного оцінювання та інструментальних помилок через відсутність ідеальності компонентів електронних. Припускаючи рівномірний розподіл цих значень похибок, тоді похибка АЦП буде:

$$\varepsilon_3 = \sqrt{\frac{\varepsilon_{кв}^2 + \varepsilon_i^2 + \varepsilon_д^2 + \varepsilon_{зм}^2}{3}}$$

де $\varepsilon_{кв}$ – квантування похибка, $\varepsilon_{кв}$=0.1% (1 м.р.);

ε_i – інтегральна похибка, ε_i=0.2% (2 м.р.);

$\varepsilon_д$ – диференційна похибка, $\varepsilon_д$=0.075% (3/4 м.р.);

$\varepsilon_{зм.}$ – це є похибка, спричинена впливом напруги при зміщенні (щоб зменшити дану похибку, було зроблено введення як схемної, так і програмної корекції напруги зміщення, це дало можливість забезпечити її зменшення в напрямку рівня похибки квантування), $\varepsilon_{зм}$=0.1%.

$$\varepsilon_3 = \sqrt{\frac{0.1^2 + 0.2^2 + 0.075^2 + 0.1^2}{3}} = 0.148\%$$

Отже похибка загальна виміру зусилля натягу схеми електричної буде:

$$\varepsilon = 0.05 + 0.293 + 0.148 = 0.491\%$$

Подібним чином визначимо похибку виміру другого тензодавача.

4.2 Алгоритм роботи електричної схеми

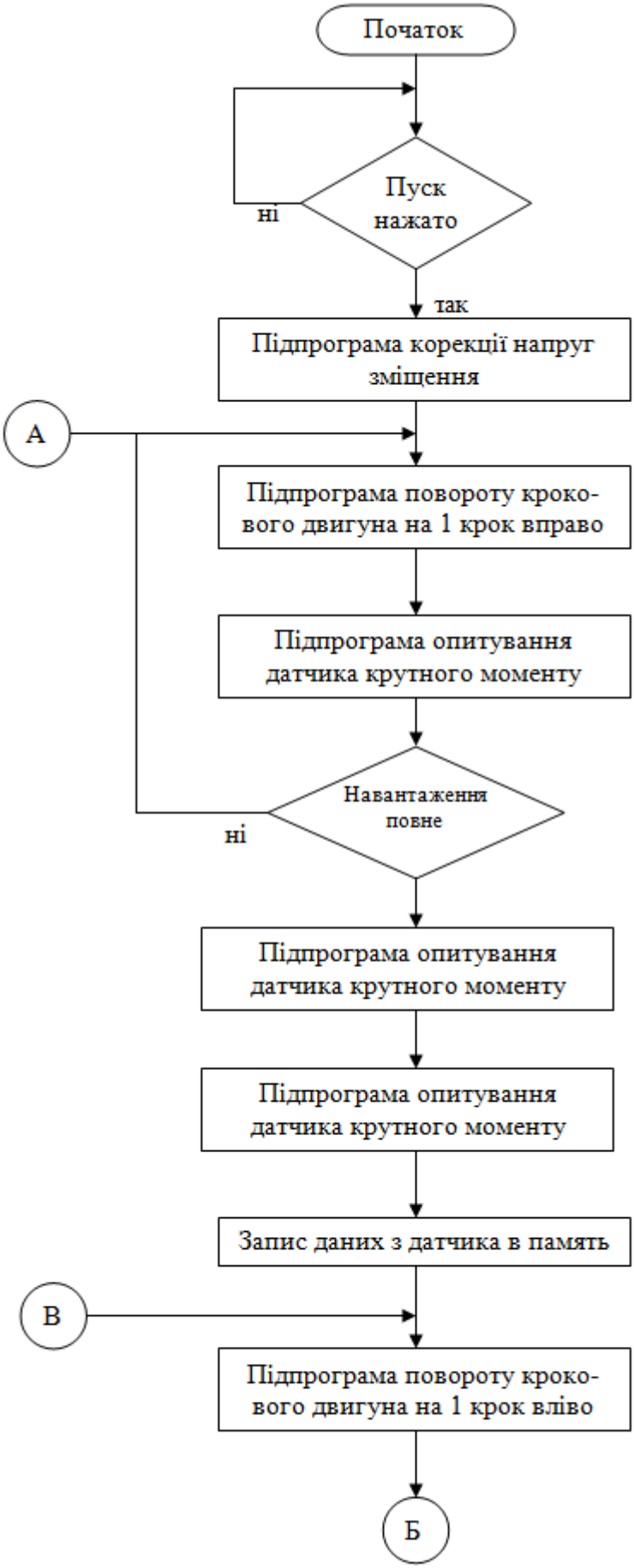


Рисунок 4.1 - Алгоритм роботи електричної схеми

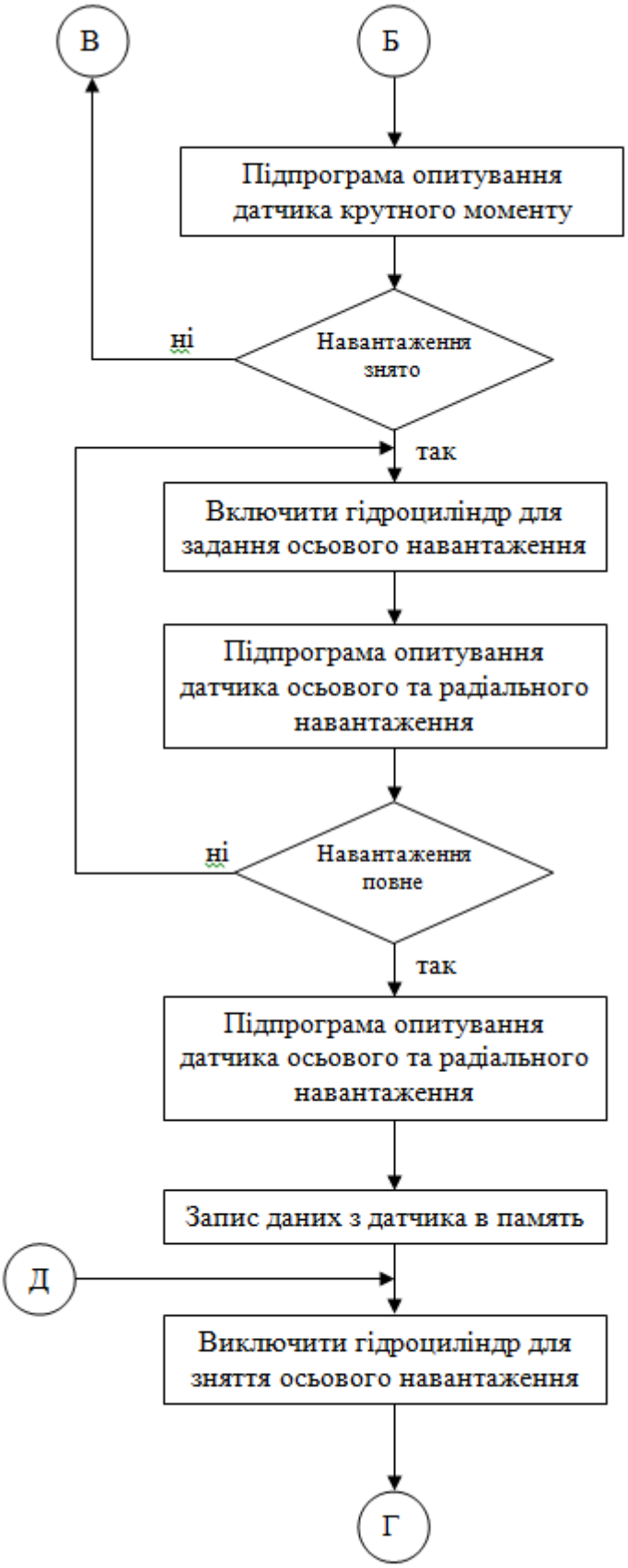


Рисунок 4.2 - (Продовження) Алгоритм роботи електричної схеми

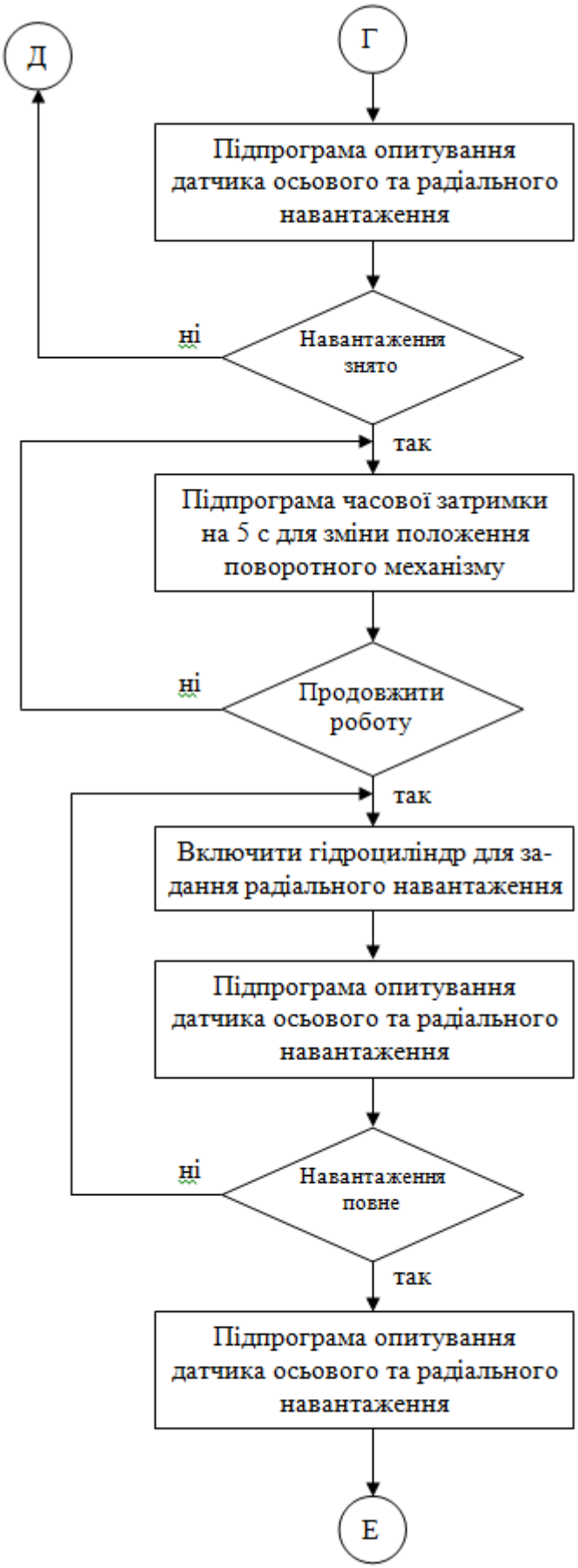


Рисунок 4.3 (Продовження) Алгоритм роботи електричної схеми

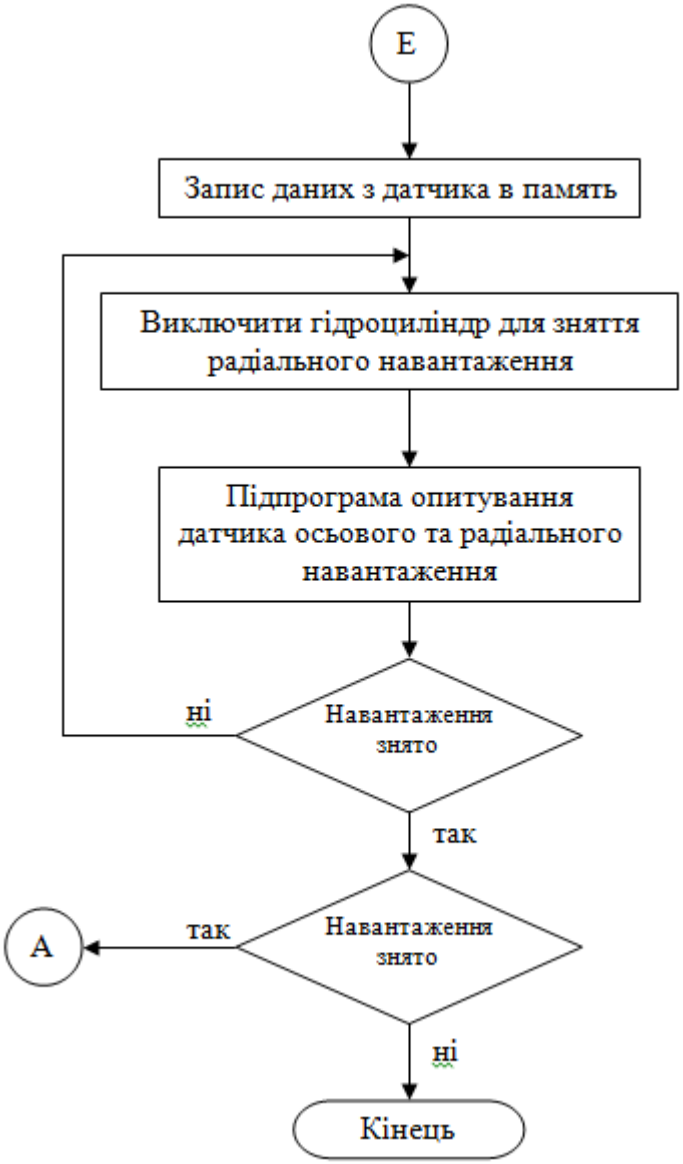


Рисунок 4.4 (Продовження) Алгоритм роботи електричної схеми

4.3 Схема керування пристроєм та опис принципу роботи

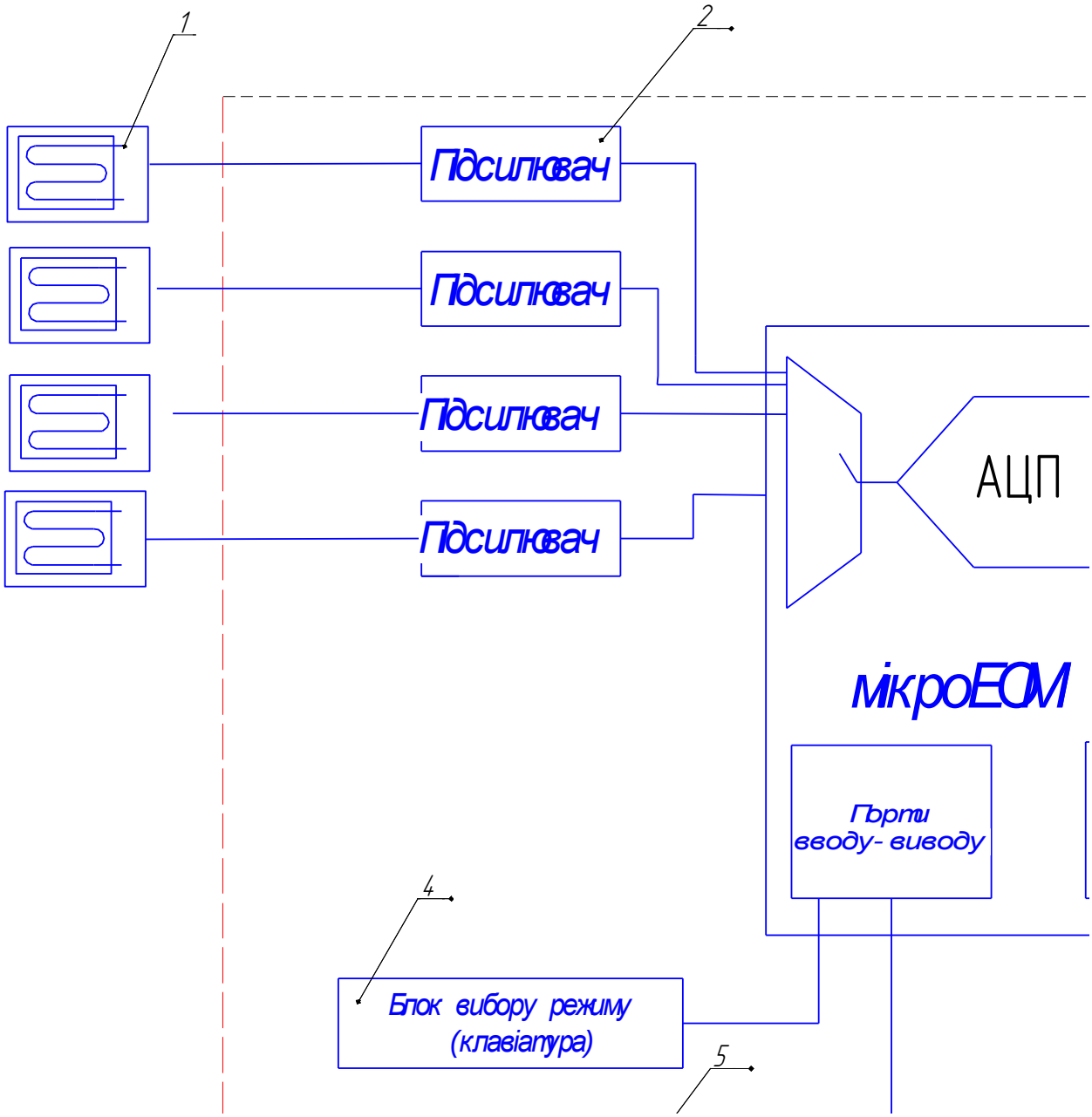


Рисунок 4.5 - Схема керування пристроєм

Розглянемо роботу схеми обробки сигналу від тензодавача: сигнал від тензодавача, що складається з двох тензорезисторів R1 і R2 що приєднані згідно схеми мостової, заходить на підсилювач складений на базі мікросхеми DA1, де підсилення відбувається. У спосіб подібний схема складена на базі мікросхеми DA2 та резисторів тензометричних R3 і R4 працює. З підсилювачів сигнали напруги поступають на входи в комутатор DA3, там відбувається комутація на вході АЦП з десятьма розрядами (мікросхема DA4). Проводиться керування комутатора через порт P3.3 мікрокомп’ютера. Підключення одного з

виходів на підсилювачах відбувається залежно від значення коду, що подається на комутатор у вхід АЦП. Запуск АЦП відбувається з порту P1.3 мікрокомп'ютера проводиться, у такому разі на вході АЦП відбувається зміна напруги у код двійковий та подається сигнал готовності даних на вхід порту P1.2 з АЦП, потім мікрокомп'ютер зчитує дані з виходу АЦП у порти P2.0-P2.7 і P1.0-P1.1.

Система запускається при ввімкненні кнопки ВКЛ. на клавіатурі. При натиску кнопки СТАРТ відбувається початок вимірювального процесу. Початок відліку розпочинається в момент коли зусилля на тензодавачі різко зростає, а кінець - коли різко спадає. Відстань яку пройде наконечник індуктивного давача за цей момент часу і буде становити товщину досліджуваного зразка. Інформація отримана з індуктивного давача виводиться на дисплей. При натиску кнопки СТОП вимірювання зупиняється. Для запуску нового вимірювання дані стираються за допомогою клавіші ОБНУЛ. Завершення роботи з вимірювальною системою здійснюється кнопкою ВИКЛ.

4.4 Розробка принципової схеми

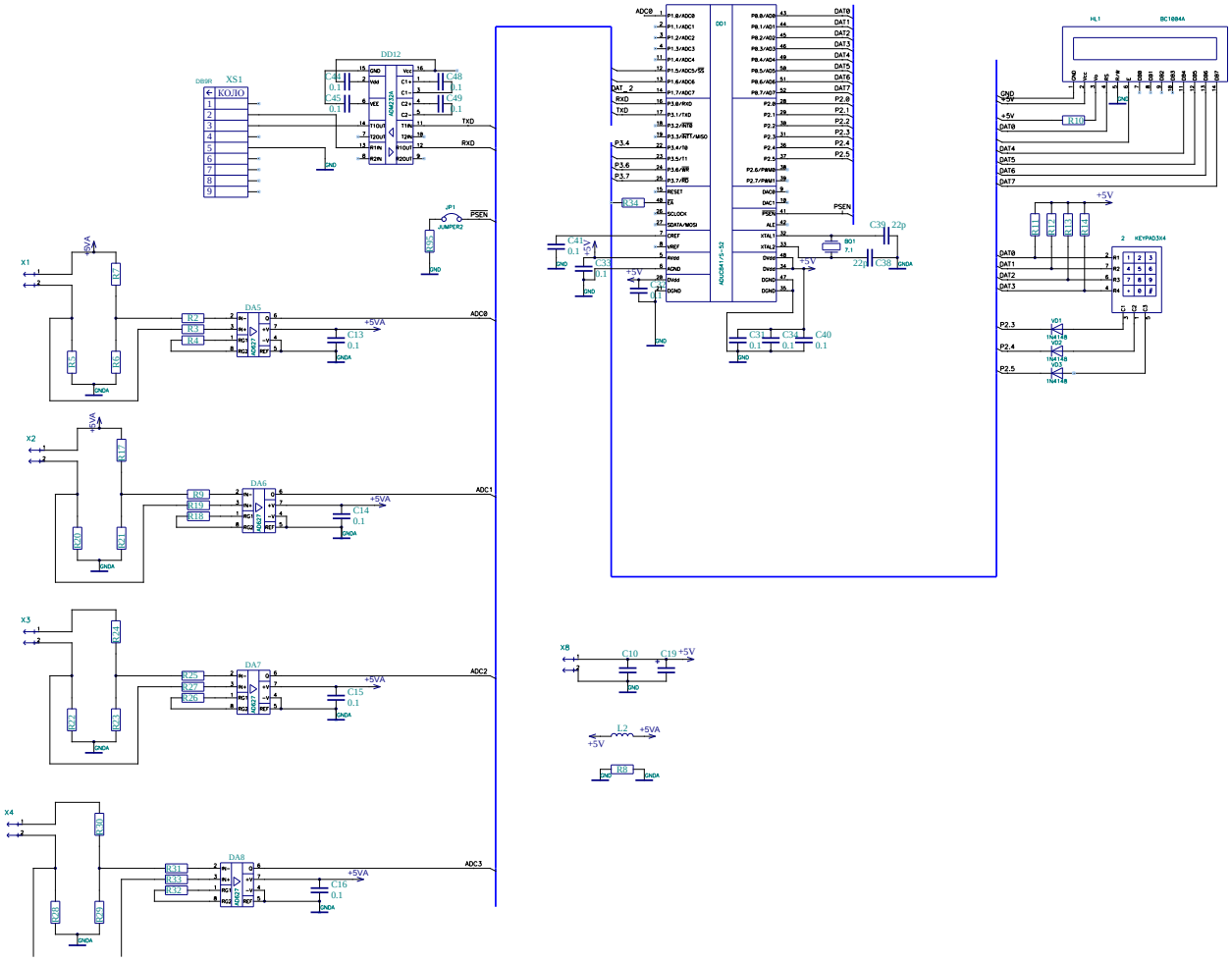


Рисунок 4.6 - Електрична схема приладу

Для того, щоб збільшити чутливість давача тензорезистивного, його вводять у якості елементу моста, діагональ підключена до входів підсилювача операційного.

Характеристика тензодавача ПКП-25-400:

Коефіцієнт чутливості	k=1.9,
База тензодавача	25 мм,
Ширина тензодавача	5 мм,
Деформація максимальна	0.1%
Похибка максимальна	0.05%.
Опір номінальний	50...400 Ом

Ми приймемо опір номінальний резисторів тензометричних таким, що є рівним 200 Ом.

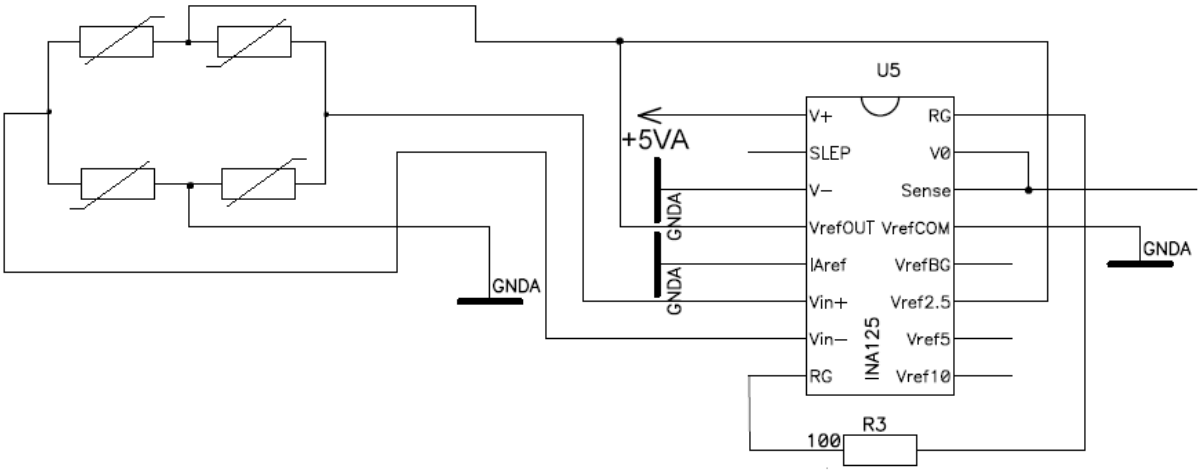


Рисунок 4.7 - Схема ввімкнення тензодавачів

Розглядаємо далі розрахунок номіналів для елементів пасивних, якими задається робочий режим мікросхеми.

Для даного розрахунку потрібно створити забезпечення смуги пропуску f_S=250Hz.

Найменша частота збудження, яка є допустимою. $f_{EXC} \approx 10 \cdot f_s$. Для даного випадку частота збудження мінімальна f_{EXC}=2.5kHz.

Даний давач працює у частоті збудження 500Hz..5kHz, що достатньо для задоволення вимог. Давач вимірює у межах ±1mm за умови лінійності ±0.5%.

Для забезпечення лінійності найбільшої та стійкості до завад AD598 її напруги вхідні мікропроцесора V_A і V_B повинні мати зміни у межах (1..3.5) В. Так як коефіцієнт трансформації V_{TR} для давача типу MACT2 будемо приймати таким, що дорівнює 0.57, в такому разі напруга збудження V_{EXC} повинна становити V_A/V_{TR}

V_{EXC}=3В/0.57=5.26В

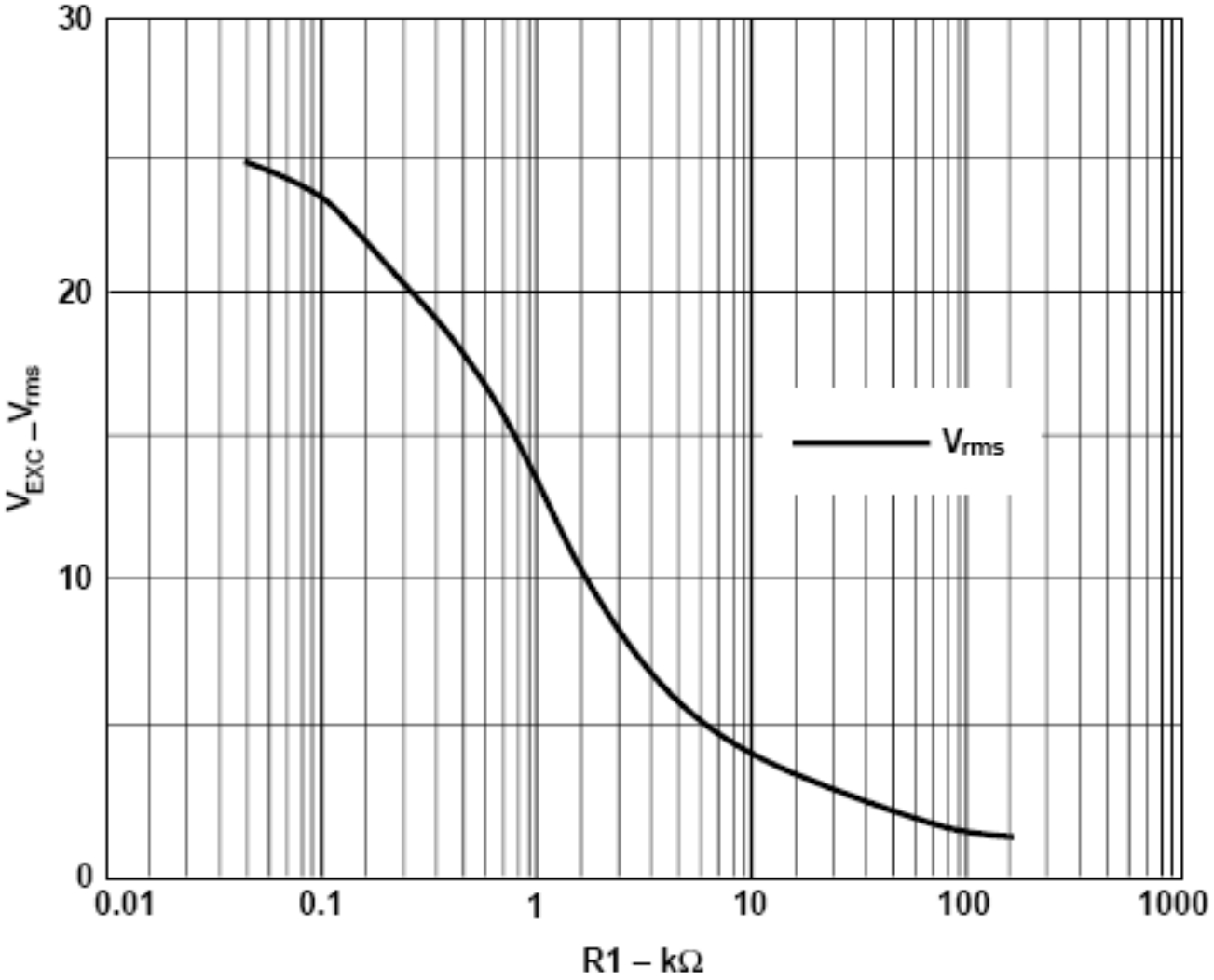


Рисунок 4.8 - Залежність напруги збудження від опору резистора R1 (V_S=±15V)

За допомогою зображеного на рисунку графіку, виберемо значення номінальне для опору R1. У даному випадку (V_{EXC}=5.26) R1=4.7kΩ. значення амплітудне напруги V_{EXC} повинно бути нижчим на 2.5 В за значення напруги живлення +Vs та -Vs. У даному випадку значення напруги збудження амплітудне буде дорівнювати V_{EXC} р.р.=5.26 В$\cdot\sqrt{2}$=7.5 В. Отже, значення напруги живлення дорівнюватиме

$$V_{CC}= V_{EXC\ p.p.}+2.5\ В=7.5\ В+2.5\ В=10В$$

Приймаємо напругу живлення рівною ±12 В.

Визначаємо ємність конденсатора C1, який задає частоту напруги збудження.

$$C_1 = \frac{35\mu F \cdot Hz}{f_{EXC}}$$

Для забезпечення обраної частоти збудження 2.5kHz C_1=35μF·Hz/(2.5kHz)=14nF. Приймаємо C1=15nF

Ємність конденсаторів C2, C3, C4 залежать від бажаної смуги пропускання.

$$C_2 = C_3 = C_4 = \frac{100\mu F \cdot Hz}{f_S}$$

Для обраної смуги f_S=250Hz C_2=C_3=C_4=100μF·Hz/(250Hz)=400nF. Приймаємо C_2=C_3=C_4=0.47μF

Визначаємо номінал опору R2, який задає підсилення мікросхеми. Оскільки

$$V_{OUT} = \frac{V_A - V_B}{V_A + V_B} \cdot R_2 \cdot 500\mu A = \frac{S \cdot d \cdot V_{EXC}}{V_A + V_B} \cdot R_2 \cdot 500\mu A = S \cdot d \cdot VTR' \cdot R_2 \cdot 500\mu A,$$

$$R_2 = \frac{V_{OUT}}{S \cdot d \cdot VTR' \cdot 500\mu A}, \text{ де}$$

S – Чутливість давача S=(V_A-V_B)/(V_{EXC}·d) (Для даного давача S=165mV/V/mm);

d – зміщення осердя;

$$VTR' = \frac{V_{EXC}}{V_A + V_B}.$$

VTR’ приймаємо рівним VTR`=3Vrms/2.7Vrms=1.11.

Отже, для розмаху вихідної напруги ±1.25V при переміщенні осердя на ±1mm, опір R2=1.25V/(165mV/V/mm·1mm·1.11·500μA)=13.65kΩ≈13kΩ

Вибір R3 та R4 дозволяє змістити вихідну напругу в додатному або від’ємному напрямі. Напруга зміщення V_{OS} визначається виразом:

$$V_{OS} = 1.2V \cdot R_2 \left(\frac{1}{R_3 + 5k\Omega} - \frac{1}{R_4 + 5k\Omega} \right)$$

Для зміщення вихідного діапазону ±1.25 В в додатну область встановимо V_{OS} рівною 1.25 В. Для цього

$$R_4 = \infty$$
$$R_3 = \frac{1.2V \cdot R_2}{V_{OS}} - 5k\Omega = 7.5k\Omega$$

4.5 Дослідження залежності показів тензодавача від навантаження осьового

Коротко розглянемо принцип, за яким працює пристрій. Тоді, коли діє осьова сила, стрижень Р розміщується на незафіксованому кінці балки тензометричної 2, з розміщеними на ній двома тензометричними резисторами 3 згідно відстані, що буде x_1. Відбувається деформація одного тензометричних резисторів під дією напруги розтягу, а іншого — під час під дією напруги стиску.

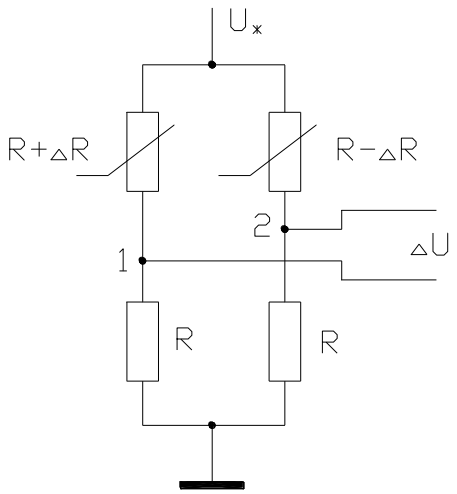


Рисунок 4.9 - Схема підключення резисторів тензометричних

На рисунку можемо побачити, що два резистори тензометричні приєднані згідно схеми мостової та отримують живлення напругу $U_{ж}$. Напруга вихідна, що виходить з моста тензометричного буде:

$$\Delta U = U_2 - U_1,$$

де U_2 та U_1 – це у точках 1 і 2 напруги у схемі мосту по відношенню до шини живлення загальної.

Напруги U_2 та U_1 знайти можемо згідно формул:

$$U_1 = \frac{R}{R + R + \Delta R} \cdot U_{ж},$$

$$U_2 = \frac{R}{R + R - \Delta R} \cdot U_{ж}.$$

4.6 Бюджет для визначених похибок вимірювальних каналів

Для того, щоб оцінити похибку статистичну перетворення аналогово-цифрового треба зробити визначення вклад кожного із джерел у похибку приведену. Згодом робимо оцінку похибку сумарну при додаванні похибки квадратичної всіх некорельованих джерел. Оцінимо сумарну приведену похибку аналогово-цифрового перетворення сигналу розмахом $V_{FS} = 2.5B$, опір джерела сигналу $R_S = 150Ом$, температурний діапазон $\square T = \pm 10^0 C$, нестабільність напруги живлення $\square V_S = \pm 0.1B$, використовується внутрішнє джерело опорної напруги (ДОН).

Таблиця 4.1- Бюджет похибок каналів приладу

Джерело похибки	Розрахунок вкладу	γ, ppm	Характер	Калібрування
Квантування	$1/2*2^{-И}$	123	Нелін.	-
Інтегральна нелінійність	$INL*2^{-N}$	245	Нелін.	-
Похибка зміщення	$Offset*2^{-N}$	733	Адит.	+
Похибка підсилення	$Gain*2^{-N}$	733	Мульт.	+
Струм входів	R_s*I_{IN}/V_{FS}	60	?	-
Допуск ДОН	$\Delta V_{REF}/V_{REF}$	4000	Мульт.	+
ТКН ДОН	$TC_{REF}*\Delta T$	225	Мульт.	-
КПНЖ ДОН	$(\Delta T*10^{-PSRR/20})/V_{REF}$	23	Мульт.	-

$$\gamma_u = \sqrt{\sum_{i=1}^{8} \gamma_i^2} = 4132\, ppm$$

$$\gamma_c = \sqrt{\gamma_1^2 + \gamma_2^2 + \gamma_5^2 + \gamma_7^2 + \gamma_8^2} = 360\, ppm$$

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

5.1 Підвищення стійкості роботи підприємств машинобудівної галузі у воєнний час

5.1.1 Визначення надзвичайної ситуації воєнного характеру

Надзвичайні ситуації воєнного характеру є порушенням нормальних умов життя та діяльності людей на території всієї країни, окремій території чи об'єкті або на водному об'єкті (акваторії), спричинене застосуванням зброї масового ураження або звичайної зброї, під час якого виникають вторинні чинники ураження населення внаслідок зруйнування радіаційно, хімічно, біологічно та гідродинамічно небезпечних об'єктів, транспортних та інженерних комунікацій. Фактично, можна говорити про те, що надзвичайні ситуації воєнного характеру реалізуються під час ведення військових дій на певній території, та призводять до значних матеріальних втрат й загибелі цивільного населення. Науково-технічний прогрес за останні десятиліття докорінно змінив потенційні можливості людини і суспільства. На даний час постійно виникають локальні війни і військові конфлікти, які призводять до значних людських втрат. Цивілізаційні, етнічні і конфесійні протиріччя призвели до нових видів війн, які відрізняються новим політичним змістом і новими способами ведення. Їх масштаби можуть бути самими найрізноманітнішими: від військових конфліктів і війн малої інтенсивності до великомасштабних війн. Характерними рисами сучасних воєн і збройних конфліктів є: 1) масове застосування високоточної зброї; 2) поява зброї на нових вражаючих принципів; 3) зростаюча роль повітряно-космічного нападу; 4) можливість обмеженого застосування ядерної зброї; 5) терористичний характер військової боротьби; 6) масовий інформаційний вплив; 7) повні руйнування найважливіших об'єктів і елементів інфраструктури країни; 8) постійна загроза розширення масштабів конфлікту; 9) поступове зникнення межі між мирним і воєнним конфліктом. Можливими наслідками від сучасних воєн і збройних конфліктів для населення і території країни є: 1) значні втрати серед цивільного населення; 2) масовий психологічний інформаційний вплив; 3) порушення систем управління; 4)

параліч економіки; 5) руйнування систем життєзабезпечення; 6) виникнення масштабних осередків ураження від вторинних факторів; 7) масштабні екологічні катастрофи.

5.2 Класифікація заходів по забезпеченню стійкості підприємств

Однією з основних завдань цивільного захисту є підвищення стійкості роботи машинобудівних підприємств у воєнний час. Для цього на кожному підприємства завчасно організовується і проводиться великий обсяг робіт, спрямованих на підвищення стійкості його роботи в умовах застосування зброї масового ураження. До них відносяться інженерно-технічні, технологічні та організаційні заходи.

Інженерно-технічними заходами забезпечується підвищення стійкості промислових будівель, споруд, обладнання та комунікацій підприємства до впливу вражаючих факторів.

Технологічними заходами здійснюється підвищення стійкості шляхом зміни технологічного режиму, що виключає можливість виникнення вторинних вражаючих факторів, викликаних впливом різного виду зброї.

Організаційними заходами передбачається завчасна розробка і планування дій особового складу штабу, служб і формувань цивільного захисту машинобудівного підприємства в умовах застосування противником зброї масового ураження.

З усього комплексу заходів, що підвищують стійку роботу машинобудівних підприємств у воєнний час, особливо важливе значення має проведення інженерно-технічних заходів.

До таких заходів належать:

забезпечення захисту робітників і службовців від зброї масового ураження;

підвищення стійкості управління підприємства;

захист устаткування;

підвищення стійкості постачання електроенергією, газом, парою, водою і роботою мереж комунального господарства;

захист підприємств від пожеж та інших вторинних факторів ураження;

підвищення стійкості матеріально-технічного постачання;

підготовка до відновлення порушеного виробництва.

5.3 Забезпечення захисту робітників і службовців від зброї масового ураження

Основним способом захисту робітників і службовців підприємства є укриття їх в захисних спорудах (сховищах і укриттях).

Сигнал "Повітряна тривога" подається для всіх працівників. Попереджається про небезпеку ураження противником даного району. По радіо передається текст: "Увага! Увага! Повітряна тривога! Повітряна тривога!". Одночасно сигнал дублюється сиренами та гудками підприємства. Тривалість сигналу 2-3 хв. При цьому сигналі підприємство припиняє роботу і всі працівники укривається в захисних спорудах. Робітники і службовці припиняють роботу відповідно до інструкції і вказівок адміністрації. Там, де неможливо через технологічний процес або через вимоги безпеки зупинити виробництво, залишаються чергові, для яких мають бути захисні споруди. Сигнал може застати у будь-якому місці й будь-який час. В усіх випадках необхідно діяти швидко, спокійно, впевнено, без паніки. Сигнал "Відбій повітряної тривоги". Органами цивільного захисту через радіотрансляційну мережу передається текст: "Увага! Увага! Громадяни! Відбій повітряної тривоги!". За цим сигналом працівники залишають захисні споруди і повертається на свої робочі місця.

Для захисту персоналу, що обслуговує агрегати, зупинка яких внаслідок особливості процесу виробництва неможлива навіть при оголошенні сигналу доцільно зводити спеціальні захисні споруди. Для захисту відпочиваючих змін в заміській зоні з виникненням загрози нападу противника будуються протирадіаційні укриття. Будівництво їх планується в мирний час.

5.4 Підвищення стійкості управління підприємства

Управління складає основу діяльності начальника цивільного захисту підприємства і його штабу і полягає в здійсненні постійного керівництва робітниками і службовцями, формуваннями цивільного захисту. У цих умовах

повинна бути розроблена схема оповіщення і зв'язку, яка є складовою частиною загального плану цивільного захисту підприємства.

Управління має бути постійним на всіх етапах: при загрозі нападу, в умовах проведення розосередження і евакуації, а також при проведенні рятувальних та інших невідкладних робіт.

На важливих машинобудівних підприємствах при загрозі нападу противника створюються дві групи управління: одна безпосередньо на підприємстві, а друга в заміській зоні, в районі розосередження робітників і службовців.

5.5 Підвищення стійкості будівель і споруд

Руйнування виробничих будівель і споруд в більшості випадків тягне за собою поломку верстатного обладнання та вихід з ладу комунікацій. Особливо чутливі до впливу ядерного вибуху різні прилади та електронна техніка. При підвищенні міцності окремих слабких елементів досягається стійкість всіх частин об'єкта і його працездатність в цілому при дії ядерного вибуху. Підвищення механічної міцності знову споруджуваних будинків досягається відповідним плануванням їх, а також застосуванням більш міцних конструкцій і матеріалів. Найбільш важливі споруди для підвищення стійкості можуть будуватися заглиблені або зі зниженою парусністю (зменшеною площею стін) і висотністю, що значно збільшує опірність їх ударної хвилі ядерного вибуху.

Збудовані будівлі та споруди для підвищення їх міцності посилюються металевими стійками та балками.

Цехи можуть збиратися з легких конструкцій. У цьому випадку при руйнуванні вони меншою мірою зашкодять обладнання.

Низькі споруди для підвищення міцності частково обсипаються грунтом

Високі споруди (труби, вишки, башти, колони) закріплюються відтяжками для посилення їх конструкції.

Споруди, де зберігаються легкозаймисті рідини (ЛЗР), вибухові речовини (ВР), доцільно оточити земляним валом.

Трубопроводи різного призначення доцільно будувати заглиблені в грунт, що підвищує їх стійкість в 5-7 разів. Для захисту об'єктів, розташованих у зонах можливого затоплення, будуються дамби.

5.6 Захист обладнання

Надійно захистити все обладнання від впливу ударної хвилі практично неможливо. Завдання полягає в тому, щоб звести до мінімуму небезпеку руйнування та пошкодження обладнання, ЕОМ, верстатів і т.д.

Захист обладнання та готової продукції може здійснюватися шляхом розміщення деяких видів найціннішого обладнання в заглиблених приміщеннях і використання для цього захисних пристроїв (камери, шатри, кожухи, парасольки і т.д.).

Крім застосування захисних пристроїв велике значення має міцне кріплення верстатів на фундаментах, підвищують їх стійкість до перекидання.

5.7 Підвищення стійкості постачання електроенергією, газом та водою

Підвищення стійкості системи електропостачання досягається базуванням підприємства на двох і більше джерелах, віддалених на таку відстань, щоб виключалася можливість руйнування їх одним ядерним вибухом. При відсутності можливості живлення від двох джерел на випадок виходу з ладу основного джерела електропостачання готується резервне автономне джерело. Доцільно також провести заходи щодо захисту існуючих і будівництва резервних підстанцій, а розподільну апаратуру і прилади розмістити в захисних спорудах. Електропостачання слід перевести з повітряної на підземно-кабельне.

Для запобігання виходу з ладу електричних мереж слід встановлювати пристрої автоматичного відключення їх при утворенні перенапруг, які можуть бути створені електромагнітними полями, що виникають при ядерному вибуху.

На багатьох машинобудівних підприємствах газ може використовуватися як паливо. При руйнуванні газових мереж газ може бути причиною вторинних вражаючих факторів.

На випадок пошкодження джерел газопостачання або газопроводів на великих підприємствах рекомендується мати підземні ємності, службовці

акумуляторами газу. Газ під великим тиском закачується в підземні ємності - і служить резервом. Крім того, необхідно готувати підприємство до роботи на різних видах палива і створювати їхні запаси. На газопроводах слід встановити запірну арматуру та крани з дистанційним управлінням, що дозволяє автоматично перемикати потік газу при розриві труб.

Котельні зазвичай розміщуються в підвальних приміщеннях, які можуть бути відповідним чином укріплені.

Вихід з ладу системи водопостачання тягне за собою зупинку підприємства і припинення випуску продукції. Для забезпечення сталої роботи об'єктів необхідно:

створення резервних джерел водопостачання;

заглиблення в грунт всіх ліній водопроводів;

оборотне водопостачання з повторним використанням води для технічних цілей.

5.8 Захист об'єктів від вторинних факторів ураження

Для захисту машинобудівних підприємств від вторинних факторів ураження передбачаються наступні заходи:

підвищення вогнестійкості дерев'яних конструкцій (вогнезахисна фарбування, побілка та ін);

спорудження водоймищ для гасіння пожеж;

будівництво сховищ для ЛЗР, нафти, бензину, мазуту, отрутохімікатів за межами території об'єкта.

Щоб виробництво велося безперебійно, необхідно забезпечити його сировиною, матеріалами, паливом, електроенергією, інструментами. Гарантійний запас всіх матеріалів повинен зберігатися, по можливості, розосереджено в місцях, де він менше всього може піддатися знищення під час нападу противника. Підприємство повинно підготуватися до роботи в різних видах палива (газ, нафта, вугілля).

ВИСНОВКИ

У даній кваліфікаційній роботі магістра під час її написання були наступні питання опрацьовані:

1. Пророблено аналіз як методів, так і засобів проведення вимірів, які на даний час існують, описано типи вимірювальних приладів
2. Описано схему функціональну даного приладу, проведено розрахунок його елементів механічних при різних видах навантажень, проведено розрахунок похибки приладу
3. Проведено дослідження характеристик процесу передачі та обробки сигналу мікросхемою, що входить до складу системи керування вимірювального приладу, створено модель математичну, що описує залежність показів давачів тензометричних від навантаження
4. Здійснено створення та опис роботи електричної схеми, зроблено розрахунок її елементів, розроблено схему керування та принципову схему з описом роботи та формуванням алгоритму роботи електричної схеми
5. Зроблено огляд запобіжних заходів, необхідних для впровадження безпеки життєдіяльності та охороні праці під час виготовлення даного приладу
6. Здійснено оформлення у графічному вигляді креслень, розрахункових схем та результатів досліджень, зроблених у результаті роботи

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Измерения в промышленности, справочник,/Под ред. П. Профоса/, том 2, М., Металлургия, 1990,-384с.
2. Гузенков П. Г. Детали машин. М.: Высшая школа. 1982,-351 с.
3. Ободовский Б. А., Ханин С. Е. Сопротивление материалов в примерах и задачах. -Харьков.: Издательство при Харьковском государственном университете издательского объединения "Высшая школа". 1981,-343 с..
4. Орлов И Й. Основы конструирования. Справочно-методическое пособие. В 3-х томах - М.: Машиностроение. 1977.
5. Полищук Е. С. Измерительные преобразователи.-К.Вища школа. 1981.
6. Элементы приборных устройств. Курсовое проектирование. В 2-х частях. Под редакцией проф. Тимощенко О. Ф. - М.: Высшая школа. 1978,-236 с.
7. Микроэлектродвигатели приборных устройств / Под. ред. А. П. Савула, В.О. Герахов -М.: Высшая школа. 1987,-236 с.
8. Терещук М. Р. Полупроводниковые приёмно-усилительные устройства.-К.: Наукова думка. 1989,-802 с.
9. Готра З. Ю., Матвиив В. И., Паскур П. П. Справочник регулировщика радиоэлектронной аппаратуры.-Львов: Каменяр, 1987,-184 с.
10. Боборыкин А. В., Липовецкий Г. П., Литвинский Г. В. Однокристальные микроЭВМ.-М.:МИКАП, 1994,-400 с.
11. Жарковский Б. И., Приборы автоматического контроля и регулирования.-М.: Высшая школа, 1989,-336 с.
12. Шило В. Л., Популярные цифровые микросхемы: Справочник.-Челябинск: Металлургия, 1989,-352 с.

.