СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

імені ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ

(м. Київ)

Факультет Інформаційних технологій та електроніки
(повне найменування факультету)

Кафедра Електронних апаратів
(повна назва кафедри)

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
до дипломної роботи

освітньо-кваліфікаційного рівня магістр
(бакалавр, спеціаліст, магістр)

спеціальності 171 – Електроніка
(шифр і назва спеціальності)

на тему Пристрій для вимірювання вібрацій

Виконала: студент групи Ел-22дм

Рєсухін Д.І. _____
(прізвище, та ініціали) (підпис)

Керівник Тюндер І.С. _____
(прізвище та ініціали) (підпис)

Завідувач кафедри Паеранд Ю.Е. _____
(прізвище та ініціали) (підпис)

Рецензент Самойлова Ж.Г. _____
(прізвище та ініціали) (підпис)

Київ - 2023

СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

імені ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ

(м. Київ)

Факультет Інформаційних технологій та електроніки

Кафедра Електронних апаратів

Освітньо-кваліфікаційний рівень магістр
(бакалавр, спеціаліст, магістр)

Спеціальність 171 – Електроніка
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ЕА

_____ Ю.Е. Паеранд

“____” _____ 2023 року

З А В Д А Н Н Я

НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТА

Рєсухіну Дмитру Ігоровичу
(прізвище, ім’я, по батькові)

1. Тема роботи Пристрій для вимірювання вібрацій.

керівник проекту (роботи) Тюндер Ірина Сергіївна, ст. викл. .
(прізвище, ім’я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від 21.11.2023 року № 52/14.04

2. Строк подання студентом проекту (роботи) 20.11.2023 .

3. Вихідні дані до роботи Матеріали науково-дослідної практики .

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

1) Аналітичний огляд

2) Аналіз технічного завдання

3) Розробка конструкції пристрою

4) Розрахунок спеціального високовольтного підсилювача

5) Повноглибинний опис пристрою вимірювання вібрації

6) Вплив вібрації на людський організм

5. Дата видачі завдання 01.09.2023

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналітичний огляд	01.08.23 - 19.08.23	
2	Аналіз технічного завдання	20.08.23 - 30.08.23	
3	Розробка конструкції пристрою	01.09.23 - 10.09.23	
4	Розрахунок спеціального високовольтного підсилювача	15.09.23 - 31.09.23	
5	Повноглибинний опис пристрою вимірювання вібрації	01.10.23- 24.10.23	
6	Вплив вібрації на людський організм	25.10.23- 07.11.23	
7	Оформлення пояснювальної записки	08.11.23 - 14.11.23	
8	Передача роботи на перевірку та рецензування	15.11.23 - 19.11.23	

Студент _____ Рєсухін Д.І.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи) _____ Тюндер І.С.
(підпис) (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 79 сторінок, 21 рисунків, 2 таблиці, 20 посилань.

Тема наукової роботи: «Пристрій для вимірювання вібрацій».

Об’єктом дослідження є технологія вимірювання вібрації, а також супутніми їм первинні перетворювачі, що здійснюють перетворення і обробку вібраційних коливань у вид доступний для сприйняття людиною, і подальшого діагностування.

Мета роботи – розгляд первинних віброперетворювачів (таких як п'єзоелектричні датчики, в системі діагностування механічних коливань), а також, розробка пристрою вимірювання вібрації (віброметра).

В процесі роботи проведені аналітичний огляд, вибір перетворювача п'єзоелектричного вібровимірювального ДН4, дослідження ефективності його роботи, а також проведено розробку пристрою для вимірювання вібрації.

Результатом роботи є розроблений пристрій для вимірювання вібрації, який може бути використаний спільно з персональним комп'ютером у галузі машинобудування як потужний діагностичний засіб, що дозволяє здійснювати діагностику та моніторинг стану технологічного обладнання.

Робота виконана за період навчання в магістратурі з 01 серпня 2023 року по 28 листопада 2023 року на кафедрі «Електронних апаратів» (завідувач кафедри, професор, канд. техн. наук Ю.Е. Паеранд).

Метод дослідження – теоретичний із застосуванням комп'ютерної техніки.

ПЕРВИЧНІ ВІБРОПЕРЕТВОРЮВАЧІ, МЕХАНІЧНІ КОЛИВАННЯ, П'ЄЗОЕЛЕКТРИЧНІ ДАТЧИКИ, СИСТЕМА ДІАГНОСТУВАННЯ, ВИМІРЮВАННЯ ВІБРАЦІЇ.

ЗМІСТ

ВСТУП.....6
РОЗДІЛ 1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД……..……..10
1.1 Технічні засоби вимірювання вібрації та принципи їх побудови…10
1.2 Вимірювальні перетворювачі……..14
1.3 П'єзоелектричні вимірювальні перетворювачі.……....24
РОЗДІЛ 2 АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ……..…….....39
2.1 Аналіз призначення……..39
2.2 П'єзоелектричний датчик ДН – 4……...…….43
РОЗДІЛ 3 РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ ПРИСТРОЮ…….....48
3.1 Аналіз вихідних даних пристрою……...48
3.2 Конструктивно–технологічний розрахунок друкованої плати……48
3.3 Остаточна розробка конструкції пристрою ……..57
3.4 Розрахунок теплового режиму ……...59
РОЗДІЛ 4 РОЗРАХУНОК СПЕЦІАЛЬНОГО ВИСОКОВОЛЬТНОГО ПІДСИЛЮВАЧА……..61
4.1 Загальні відомості про високовольтний підсилювач……....61
4.2 Розрахунок високовольтного підсилювача……....62
РОЗДІЛ 5 ПОВНОГЛИБИННИЙ ОПИС ПРИСТРОЮ ВИМІРЮВАННЯ ВІБРАЦІЇ……...…66
РОЗДІЛ 6 ВПЛИВ ВІБРАЦІЇ НА ЛЮДСЬКИЙ ОРГАНІЗМ……...71
6.1 Дія вібрації на людину…….71
6.2 Засоби призначені для захисту від загальної вібрації……...73
ВИСНОВКИ……..…77
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ……78

ВСТУП

Однією з актуальних проблем сучасної техніки є вимірювання параметрів вібрацій, ударів та шумів. Сьогодні не можна назвати практично жодного об'єкта контролю або виробничого процесу, який не відчував би вплив вібраційних, ударних або акустичних навантажень. Дослідження коливальних процесів становлять великий інтерес для всіх галузей народного господарства: металургії, енергетичного машинобудування, ракетної техніки тощо. Ретельно контролюються вузли, що обертаються або переміщаються в різних напрямках з великою швидкістю, і механізми великих споруд і агрегатів, такі, як електрогенератори тепло і гідроелектростанцій, гребні гвинти кораблів, авіаційні та ракетні двигуни тощо, що є джерелом виникнення інтенсивних періодичних. та неперіодичних вібраційних процесів.

Особливу небезпеку становлять відомі множення коливань, що виникають на резонансних частотах пружних конструкцій. Інерційні сили, що виникають при вібраціях і ударах, можуть викликати напруги, що перевищують межу міцності конструкції, або відносні переміщення деталей у недопустимих межах. Під впливом тривалих інерційних сил з'являються втомні руйнування матеріалу: за даними США 60 - 80% поломок авіаційної техніки викликаються саме втомними руйнуваннями матеріалу конструкцій. Через вібрації значно знижується термін служби обладнання, погіршується якість його роботи. Наприклад, вібрації металорізальних верстатів не дають можливості отримати високу якість оброблюваних поверхонь деталей, знижують точність їх виготовлення. Шкідливий вплив на людину робить і шум, що є акустичними коливаннями в повітряному середовищі. З іншого боку, добре відомо і корисне використання вібрацій у народному господарстві. Широко поширені вібромолоти, віброущільнювачі та інші аналогічні механізми будівництва.

Вібраційні процеси можуть бути також джерелом інформації для діагностики машин і механізмів як раннього виявлення їх несправності. Загальновідомі акустичні прилади, що визначають дефекти, розміри та фізико-

механічні властивості матеріалів і виробів без їх руйнування. У медицині вібрації та акустичні коливання використовують для діагностики різних новоутворень та хвороб.

В останні роки все виразніше виявляються основні відмінності між системами управління та контролю складного енергетичного обладнання, з одного боку, та системами їхньої діагностики, з іншого боку. Системи контролю, що є прообразом і складовою сучасних систем моніторингу, використовують, як правило, найпростіші способи вимірювання основних фізичних величин. Діагностичні системи будуються з урахуванням необхідності отримання найбільшого обсягу інформації, що міститься насамперед у сигналах вібрації та шуму. Саме тому для систем діагностики широко використовуються нові інформаційні технології, часто засновані на складніших методах вимірювання та аналізу сигналів.

Методи та засоби оцінки технічного стану машин та енергетичного обладнання розвивалися поетапно. Спочатку використовувалися засоби контролю різних параметрів, потім моніторингу, і на останньому етапі системи діагностики та прогнозу технічного стану. Впровадження кожного наступного виду систем дає користувачеві нові можливості для переходу на обслуговування машин та обладнання за фактичним станом.

Так, контроль дає інформацію про величини параметрів і зони їх допустимого відхилення. При моніторингу з'являється додаткова інформація про тенденції зміни параметрів у часі, яка може використовуватися і для прогнозу. Ще більший обсяг інформації дає діагностування, а саме, ідентифікацію місця, виду та величини дефекту. Найбільш складне завдання прогнозу розвитку дефекту, а чи не змін контрольованих параметрів, рішення якої дозволяє визначити залишковий ресурс чи прогнозований інтервал безаварійної роботи.

В даний час під терміном моніторинг часто розуміється рішення всього комплексу процедур оцінки стану, але існуючі системи, які називаються системами моніторингу, далеко не завжди вирішують питання ідентифікації дефектів і прогнозу їх розвитку. Тому надалі під терміном моніторинг слід розуміти контроль основних параметрів, виявлення тенденцій їх змін та прогноз

розвитку контрольованих параметрів, а під терміном діагностика – ідентифікацію дефектів та прогноз їх розвитку.

В основі всіх засобів вимірювання та аналізу сигналів вібрації та шуму лежать три типи пристроїв, що виконують різні операції. Перший - датчик вібрації або мікрофон, що перетворює коливання на електричний сигнал. Другий - фільтр, що виділяє компоненти сигналу в потрібній області частот. Третій - детектор, що служить для оцінки амплітуди (потужності) виділених компонентів.

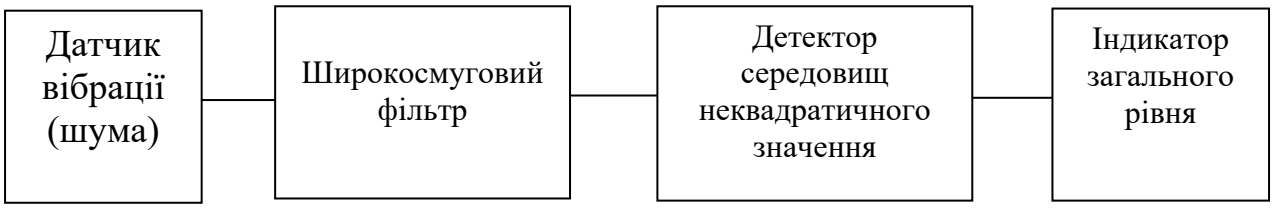


Рисунок 1.а – Вимірювач загального рівня вібрації (шуму).

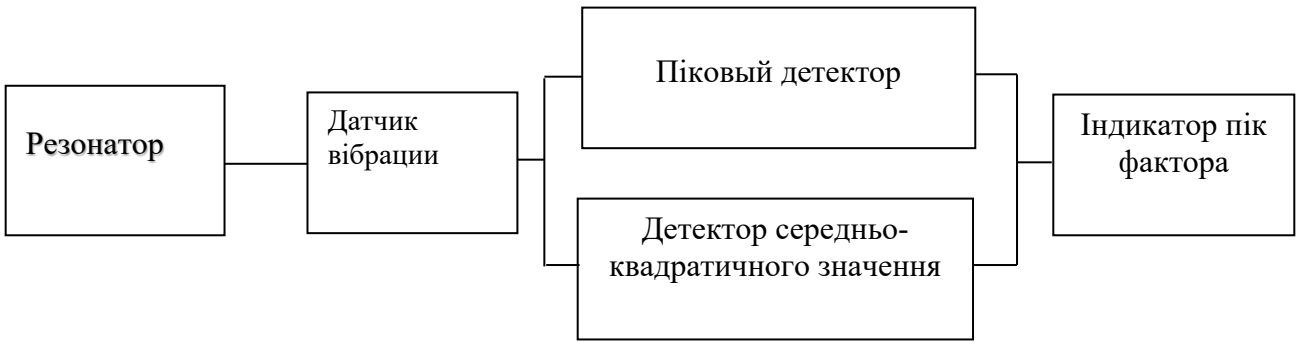


Рисунок 1.б – Вимірювач пік фактора сигналу вібрації

Рисунок 1 – Структура основних видів приладів для вимірювання та аналізу сигналів вібрації та шуму.

Не завжди фільтр підключається до виходу датчика і виконується як електронного пристрою. Він може бути акустичним, як, наприклад, резонатор або механічним, як, наприклад, пружна прокладка, і встановлюватися перед датчиком. Різні прилади містять різні комбінації цих трьох типів пристроїв, залежно від того, з якою інформаційною технологією вони використовуються. Структури основних видів приладів для контролю та діагностики машин та обладнання з вібрації або шуму показані на рисунку 1.

Найпростішими є вимірювач загального рівня вібрації (шуму) та прилад для вимірювання пік фактора сигналу вібрації, тобто реєстратор ударних імпульсів. Структура цих приладів показана на рисунку 1.а і рисунку 1.б відповідно. У вимірнику загального рівня фільтр може відсутні, якщо немає спеціальних вимог до смуги частот вимірюваного сигналу. У вимірнику пік фактора для простоти реалізації зазвичай використовується механічний резонатор у вигляді металевого стрижня з резонансом на частотах вище 25 КГц.

Така висока частота резонансу, з одного боку, знижує габарити резонатора, а з іншого боку, дозволяє отримати більш високу величину пік фактора за рахунок того, що на високих частотах стабільна в часі вібрація, що є перешкодою і збуджується силами тертя в контрольованих вузлах машини , мінімальна.

1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД

1.1 Технічні засоби вимірювання вібрації та принципи їх побудови

Однією з актуальних проблем сучасної техніки є вимірювання параметрів вібрацій, ударів та шумів. Сукупність методів та засобів для вимірювання величин, що характеризують коливання, називається віброметрією. Необхідність у проведенні таких вимірювань на машинобудівному підприємстві виникає з ряду причин, наприклад, для визначення віброактивності машин, що випускаються, режимів роботи вібраційного технологічного обладнання, при вібродіагностиці машин і агрегатів, контролі їх якості. Сьогодні не можна назвати практично жодного об'єкта контролю чи виробничого процесу, який не відчував би вплив вібраційних, ударних чи акустичних навантажень. Вже тривалий час розробляються способи боротьби зі шкідливим впливом вібрацій, ударів і шумів у техніці та природі.

1.1.1 Рівень техніки.

Сучасні вібровимірювальні прилади - це зазвичай електронні малогабаритні прилади з автономним живленням і калібрувальним пристроєм для контролю електричної частини, з вбудованими фільтрами.

Фахівцю, що виконує вимірювання, необхідні знання основ теорії коливань, стандартних методів вимірювання та аналізу вібрації, правил поводження з приладами та їх експлуатації.

Вибір методів та засобів вимірювання визначається поставленими цілями та програмою експериментальних досліджень.

Засобами вимірювання параметрів вібрації служать спеціальні прилади, в яких інформація про величину, що вимірюється, представляється у формі, зручною для сприйняття людиною.

Вібровимірювальний тракт зазвичай формується з декількох послідовно з'єднаних приладів. Залежно від умов проведення вимірів, способу реєстрації одержуваних результатів та інших обставин кількість приладів, що входять до

вимірювального тракту, може змінюватися в широких межах. На рисунку 1.1 наведена блок-схема, що найбільш повно задовольняє вимогам проведення вимірювання вібрації в гігієнічних цілях. Прилади, зазначені в блок-схемі, дозволяють перетворювати енергію механічного коливання в електричний сигнал і потім визначати рівні вібрації, її частотний спектр, реєструвати спектрограми, а також записувати механічні коливання на вимірювальний магнітофон.

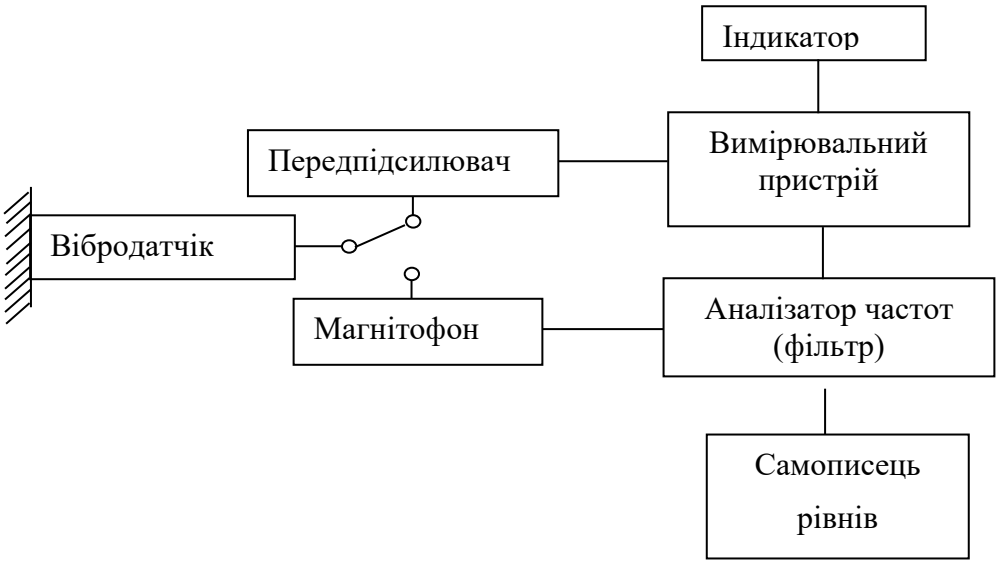


Рисунок 1.1 – Блок-схема універсального вібровимірювального тракту

Первинним елементом схеми є віброперетворювач (вібродатчик), який входить у будь-який комплект вібровимірювальної апаратури. Він виконує роль перетворювача енергії вібраційних коливань, одержуваних від джерела, в електричні сигнали. Широке застосування отримали перетворювачі п'єзоелектричні, ємнісні, індукційні тощо.

У сучасній вібровимірювальній апаратурі (при динамічних процесах) частіше використовують п'єзоелектричні датчики. Їхній перетворюючий елемент складається, як правило, з двох п'єзоелектричних дисків, на яких закріплена інерційна маса, що створює при вібрації змінний тиск на п'єзоелементи, пропорційне віброприскоренню. Внаслідок п'єзоефекту на обкладках дисків виникає змінна напруга, пропорційна доданому зусиллю і, отже, віброприскорення.

Основними перевагами таких перетворювачів є: широкий діапазон робочих частот, велика вібраційна і ударна міцність, простота конструкції, мала чутливість

до магнітних полів, можливість створення високотемпературних перетворювачів з малими розмірами і масою.

Основними параметрами віброперетворювача є його коефіцієнт перетворення, який залежить від властивостей п'єзоматеріалу та маси датчика, а також відносний коефіцієнт поперечного перетворення.

Ємнісні перетворювачі також знаходять застосування для вимірювання параметрів вібрації, але особливо широко вони використовуються для акустичних вимірювань (конденсаторні мікрофони).

Велике поширення мають також індукційні вібродатчики, в яких масою є постійний магніт, що робить вимушені коливання щодо соленоїда, посадженого в корпус і нерухомо скріпленого з точкою вимірювання. Таким чином, в соленоїді наводиться електрорушійна сила, пропорційна відносної швидкості руху магніту і соленоїда.

Підсилювачі включають у вимірювальну блок-схему як для посилення слабкого вихідного сигналу акселерометра, так і для узгодження високоомного виходу акселерометра з наступними низькоомними каскадами.

У вимірювальних приладах здійснюються інтегрування та диференціювання вхідних сигналів і, відповідно, визначення значень віброшвидкості, віброприскорення та їх рівнів.

Виділення необхідної лінії аналізованих частот коливань виробляється фільтрами. Вони, як правило, виконуються з постійною відносною смугою пропускання, переважно кратною часткам октави (октавні, третьоктавні). Використання фільтрів дає можливість вести спектральний аналіз вібрації шляхом вимірювання її рівнів у заданих діапазонах частот, у тому числі і визначених гігієнічними та технічними нормами, тобто в октавних або третина октавних діапазонах.

Індикатори рівнів дають можливість фіксувати результати вимірів за допомогою цифрових або стрілочних покажчиків. Результати експериментальних досліджень зручно фіксувати на паперовій стрічці за допомогою самопишучих приладів, що включаються в вимірювальний тракт, що спрощує процес спектрального аналізу, підвищує надійність вимірювань.

Останнім часом набуває поширення метод аналізу виробничої вібрації, заснований на попередньому запису її вимірювальним магнітофоном і подальшій обробці в лабораторних умовах на стаціонарному вимірювальному тракті.

Вібровимірювальні прилади поділяються на дві групи. У першу з них входять вимірювальні прилади, що забезпечують вимірювання середнього квадратичного значення віброшвидкості і віброприскорення та їх логарифмічних рівнів в октавних або третьоктавних смугах частот, а також коригованого значення віброшвидкості (віброприскорення).

Останнім часом набуває поширення метод аналізу виробничої вібрації, заснований на попередньому записі її вимірювальним магнітофоном та подальшій обробці у лабораторних умовах на стацийарному вимірювальному тракті.

Вібровимірювальні прилади поділяються на дві групи. У перші з них входять вимірювальні прилади, що забезпечують вимірювання середнього квадратичного значення віброшвидкості та віброприскорення та їх логарифмічних рівнів у октавних або третьоктавних полосах частот, а також коригованого значення віброшвидкості (віброприскорення).

Вимірювання дози вібрації відбувається за допомогою електрокінематичного накопичувача. Він містить два реєструючі вузли, виконаних на основі капіляра з пористою перегородкою, заповненого полярною рідиною, і розміщених по різні боки від перегородки електродів.

1.1.2 Вибір прототипа.

Найбільш близьким технічним рішенням є випускається серійно приладу ВШВ-003. Цей прилад є гарною системою діагностування з використанням новітніх технологій. Достоїнствами ВШВ-003 є висока точність вимірювання та обробки коливальних процесів, широкий діапазон частот, що вимірюються (від 10 до 2800 Гц.), живлення приладу здійснюється як від мережі, так і від батарей, та інші технічні характеристики. Основними недоліками таких пристроїв є їх висока ціна, яка недоступна широкому колу споживачів, для використання потрібні спеціальні технічні навички, а також великі габаритні розміри (100280240 мм.) і маса (4 кг).

1.2 Вимірювальні перетворювачі

1.2.1 Класифікація вимірювальних перетворювачів

Вимірювальним перетворювачем називають засіб вимірювань, призначений для вироблення сигналу вимірювальної інформації у формі, зручної для передачі, подальшого перетворення, обробки та зберігання, але не піддається безпосередньому сприйняттю спостерігачем.

Фізична величина, що характеризує об'єкт вимірювань (температура, тиск та інші), називається величиною, що вимірюється. Сукупність операцій, вкладених у встановлення чисельного значення фізичної величини, становить процес виміру. Якщо при вимірі використовуються електронні засоби обробки сигналу, необхідно спочатку перетворити вимірюваний параметр в еквівалентну електричну величину, причому якомога точніше. Це означає, що отримана електронна величина повинна утримувати всю інформацію про вимірюваний параметр.

Датчик це пристрій, який, піддаючись впливу фізичної вимірюваної величини, видає еквівалентний сигнал, зазвичай електричної природи (заряд, струм, напруга або імпеданс).

Вимірювальні перетворювачі характеризуються чутливістю, динамічним діапазоном, межею та похибками перетворень

Під чутливістю перетворювача розуміють відношення зміни сигналу на виході до його зміни, що викликає, вимірюваної величені. Розрізняють абсолютну та відносну чутливість.

Абсолютна чутливість

$$S = \frac{\Delta L}{\Delta X},$$

відносна чутливість

$$S_0 = \frac{\Delta L}{\left(\Delta X / X\right)};$$

де ΔL – зміна сигналу на виході;

X - вимірювана величина;

ΔX – зміна вимірюваної величини.

Межа перетворення - найбільше значення вхідної величини, яке сприймається вимірювальними перетворювачами без спотворень і пошкоджень.

Динамічний діапазон вимірювань характеризується найбільшим та найменшим значеннями вхідних величин, вимірювання яких виробляються без спотворень.

Під похибкою вимірювань у загальному випадку розуміють відхилення результату вимірювання від справжнього значення вимірюваної величини.

Вимірювальні перетворювачі визначаються динамічними характеристиками, які описують їх поведінку при швидких змінах вимірюваних величин.

До динамічних характеристик, зокрема, відносять амплітудно-частотні та фазові характеристики. Частотна характеристика визначає залежність чутливості вимірювачів перетворення від частоти зміни вхідного сигналу, а фазова характеристика - залежність зсуву фаз між векторами вхідний і вихідний вимірюваних величин від частоти синусоідального зміни вхідної вимірюваної величини.

При вимірі параметрів вібрації використовують два принципи виміру. Кінематичний принцип полягає в тому, що вимірюють координати точок досліджуваного об'єкта щодо обраної нерухомої системи координат, наприклад, нерухомих елементів вимірювального приладу або нерухомих об'єктів поза приладом.

Прилади, дія яких заснована на кінематичному принципі вимірювання, називають приладами вимірювання параметрів вібрації щодо нерухомих координат.

Динамічний принцип полягає в тому, що параметри досліджуваного вібраційного процесу вимірюють щодо штучної нерухомої системи відліку, в більшості випадків інерційного елемента, що зчленовується з об'єктом, що вібрує, через пружний підвіс.

Вимірювальні перетворювачі інерційної дії, що реалізують динамічний принцип вимірювання, є вимірювачами абсолютних значень параметрів вібрації

досліджуваних об'єктів. Абсолютні вимірювання вібрацій забезпечуються за рахунок використання інерційної маси, вивішеної на пружному підвісі, який при досить високих частотах вібрації зберігає інерційний елемент практично в стані спокою.

За принципом роботи вимірювальні перетворювачі абсолютної вібрації поділяють на генераторні та параметричні. Вимірювальні перетворювачі абсолютної вібрації є контактними вимірювачами (див. рисунок).

Генераторні вимірювальні перетворювачі здійснюють пряме перетворення механічної енергії електричний сигнал. До них відносять вимірювальні перетворювачі, дія яких заснована на ефект Хол-ла, п'єзоелектричні, індукційні та інші.

Параметричні вимірювальні перетворювачі являють собою пристрої, в яких під дією вхідних механічних величин, що вимірюються, змінюються електричні параметри схем: опір, ємність, частота і так далі.

Особливістю параметричних вимірювачів є наявність зовнішніх джерел живлення та демодуляторів, що фіксують зміну електричних параметрів. До параметричних вимірювальних перетворювачів відносять: резистивні, реостатні, тензорезисторні, ємнісні, індуктивні, трансформаторні, магнітопружні, вихрові струмові, вібраційно-частотні, електронно-механічні та інші.

З усього різноманіття існуючих вимірювачів перетворення найбільшого поширення набули перетворювачі різних конструкцій та принципу дії. Це п'єзоелектричні, тензорезистивні, індукційні, електромагнітні (індуктивні), ємнісні та струнні.

Кожен із перерахованих вимірювальних перетворювачів має власну область раціонального застосування.

Так, п'єзоелектричні вимірювальні перетворювачі найбільш доцільно використовувати за наявності в динамічному процесі широкого спектру частот (до декількох десятків тисяч герц) і великих значень прискорень.

Тензорезистивними, індуктивними, вібраційно-частотними та ємнісними вимірювачами перетворення доцільно одночасно вимірювати змінну та постійну складові динамічного процесу.

Найбільш повно вимогам вимірювань вібрацій і удару машин і механізмів задовольняють п'єзоелектричні та тензорезистивні вібропреобразователи. Тензорезистивні віброперетворювачі мають невеликі розміри чутливого елемента та інерційної маси. Їхні власні частоти знаходяться в межах 10...180 кГц, і тому вони можуть застосовуватися для вимірювань великих рівнів ударних і вібраційних прискорень (до 106 м/с2) у діапазоні частот від 0 до 50...60 кГц.

У той же час використовувані в них як чутливі елементи напівпровідникові тензорезистори забезпечують високу чутливість віброперетворювачів при їх низькому вихідному опорі, що дуже важливо у випадках впливу різних електричних перешкод і наведень. Оскільки їх робочий частотний діапазон починається від нуля, то вони успішно можуть використовуватися для вимірювання параметрів вібрацій і удару в області інфранізких частот.

У робочому діапазоні частот тензорезистивні віброперетворювачі практично не вносять фазових спотворень вимірюваних процесів, що надзвичайно важливо при вимірюваннях амплітудних значень ударних прискорень та визначенні взаємних спектральних і кореляційних характеристик вібраційних прискорень. До недоліків тензорезистивних віброперетворювачів слід віднести їх малу чутливість в області високих частот, потрібні чотири провідна сполучна лінія і джерело живлення чутливих елементів.

Найбільш широко застосовують для вимірювань вібраційних процесів п'єзоелектричні віброперетворювачі, які за своїми технічними та метрологічними характеристиками перевершують всі інші типи вібропреобразователей. Основними перевагами таких перетворювачів є: досить висока чутливість, широкий частотний і динамічний діапазони вимірювань, висока термостійкість, велика вібраційна та ударна міцність, простота конструкції, мала чутливість до магнітних полів, відносно невеликі розміри та маса, можливість створення високотемпературних перетворювачів.Головний недолік п'єзоелектричних віброперетворювачів - їх високий вихідний опір, через який пред'являються підвищені вимоги до завадостійкості та ізоляційних характеристик сполучного кабелю і вхідних ланцюгів підсилювально-перетворювальної апаратури. Попадання вологи або олії у віброперетворювач, сполучний кабель або роз'єм

може призвести до втрати чутливості та додаткової нерівномірності амплітудно-частотної характеристики в області низьких частот. Особливо сильно це позначається при використанні як вторинного пристрою підсилювача напруги з високим вхідним опором.

Велике поширення мають також індукційні вібродатчики, в яких масою є постійний магніт, що робить вимушені коливання щодо соленоїда, посадженого в корпус і нерухомо скріпленого з точкою вимірювання. Таким чином, в соленоїді наводиться електрорушійна сила, пропорційна відносної швидкості руху магніту і соленоїда.

Вимірники перетворення, що розглядаються, є контактними, їх закріплюють на досліджуваному об'єкті і кабелем з'єднують з контрольно-вимірювальною апаратурою. При дослідженні великогабаритних об'єктів і вузлів таке виконання є виправданим і забезпечує досить високу точність вимірювань. Однак у ряді випадків при випробуванні малогабаритних виробів (радіодеталі та інші) застосування контактних вимірювачів перетворення не є можливим.

Розміри (маса) вимірювачів перетворення часто перевищують розміри елементів досліджуваних об'єктів.

У ряді випадків при встановленні вимірювачів перетворення на об'єкті порушується справжній режим випробувань, а за наявності сполучного кабелю спотворюється корисний сигнал.

Також недоліком контактного методу вимірювання вібрацій за допомогою виносного датчика є неможливість контролю амплітуди безпосередньо в ході процесу обробки, а також залежність показань приладу від зусилля навантаження щупа датчика.

Переваги безконтактних вимірювачів вібрації полягають у можливості проведення вимірювань з підвищеною точністю в важко доступних місцях в умовах високих температур і агресивних середовищ за наявності різних зовнішніх полів.

У безконтактних вимірювачах реалізується кінематичний принцип вимірювання параметрів відносних вібрацій і використовуються оптичні,

радіохвильові, акустичні, радіаційні, електромагнітні та магнітні методи (дивися малюнок).

Оптичні методи вимірювання параметрів вібрації за способом виділення інформації про вимірюваний параметр ділять на амплітудні і частотні. .

Вимірювання параметрів вібрації, заснований на зміні частоти випромінювання оптичного генератора, відбитого від об'єкта, виробляючи вимірювальними пристроями, дія яких заснована на використанні ефекту Допплера.

Метод вимірювання вибирають з урахуванням конкретної задачі, а також з урахуванням можливості забезпечення необхідної похибки вимірювання, чутливості методу, діапазону вимірюваних параметрів і так далі.

1.2.2 Фізичні явища, які реалізуються в датчиках

Датчик, що реалізує термоелектричний ефект - термо пара, містить два провідники з різної хімічної природи. Їх спаї, що є при температурах Т1 і Т2, є місцем виникнення температурної Е.Д.С. Температурна Е.Д.С. пропорційна вимірюваній температурі Т1, коли температура Т2 відома (відповідний неробочий спай термопари поміщений в середу з постійною температурою, що дорівнює, наприклад, 0°С).

У датчику з піроелектричним ефектом певні кристали, звані піроелектриками (наприклад, тригліцин-сульфату), відчувають спонтанну електричну поляризацію, що залежить від їх температури, і на двох протилежних поверхнях з'являються електричні заряди протилежних знаків, пропорційні цієї поляризації. Поглинений кристалом потік випромінювання призводить до зростання його температури і до відповідної зміни поляризації, яке вимірюється зі зміни напруги на затискачах конденсатора.

У датчику з п'єзоелектричним ефектом зміна механічної напруги в кристалі п'єзоелектрика, наприклад кварцу, призводить до деформації, що викликає появу на поверхнях, що протилежать, кристала однакових за величиною електричних зарядів протилежного знака. Таким чином, вимірювання сили або приведених до неї величин (тиск, прискорення) здійснюється вимірюванням напруги між затискачами п'єзоелектрика.

У датчику, що використовує явище електромагнітної індукції, при переміщенні провідника в постійному електромагнітному полі виникає Е.Д.С., пропорційна магнітному потоку і, отже, швидкості його переміщення. Аналогічним чином, коли замкнутий контур піддається впливу змінного магнітного потоку при переміщенні в полі контура або джерела поля (наприклад магніту), індукована в контурі Е.Д.С. дорівнює за величиною (і протилежна за знаком) швидкості зміни магнітного потоку. Таким чином, вимір Е.Д.С. електромагнітної індукції дозволяє визначити швидкість переміщення об'єкта, механічно пов'язаного з рухомим елементом подібного датчика.

У датчиках використовуються і фотоелектричні ефекти, різні за своїми проявами, але об'єднані загальною причиною їх виникнення - звільненням електричних зарядів в речовині під дією світлового або, в більш загальному сенсі, електромагнітного випромінювання, довжина хвилі якого ше деякого порогового значення, що є характеристикою чутливого матеріалу.

Вакуумний фотоелемент із зовнішнім фотоефектом. Звільнені в ньому фотоелектрони залишають освітлений фотокатод і утворюють пропорційний освітленості струм, що тече до анода під дією прикладеного електричного поля.

Напівпровідниковий фотодіод із внутрішнім фотоефектом. Електрони і дірки, звільнені в околицях освітленого переходу в напівпровіднику, переміщаючись під дією електричного поля, викликають зміну напруги на кордонах напівпровідника.

Датчик на основі фотоелектромагнітного ефекту. Додаток магнітного поля, перпендикулярного падаючого випромінювання, викликає в освітленому напівпровіднику поява електричної напруги в напрямку по нормалі до поля і падаючого випромінювання.

Датчик на основі ефекту Холла. При пропущенні електричного струму через зразок (пластину) напівпровідника, що знаходиться в однорідному магнітному полі, в напрямку, перпендикулярному полю, виникає Е.Д.С. Датчик Холла використовують для вимірювання переміщень об'єктів, а також величин, що перетворюються в переміщення, наприклад тиску. Постійний магніт датчика

механічно пов'язують з об'єктом, і при зміщенні магніту пропорційно змінюється вихідна напруга датчика (струм при цьому постійний).

1.2.3 П'єзоелектричний ефект

Дія п'єзоелектричних датчиків заснована на використанні п'єзо-електричного ефекту (п'єзоефекту), що полягає в тому, що при стисненні або розтягуванні деяких кристалів на їх гранях з'являється електричний заряд, величена якого пропорційна діючій силі

$$q = d1 \times F1,$$

де q – електричний заряд, Кл/м2;

d1 – п'єзоелектрична постійна, Кл/Н;

F - сила, прикладена до кристала, Н.

П'єзоефект звернемо, тобто прикладена електрична напруга викликає деформацію п'єзоелектричного зразка, тобто стиснення або розтяг його відповідно знаку прикладеної напруги. Це явище, зване зворотним п'єзоефектом, використовується для збудження та прийому акустичних коливань звукової та ультразвукової частоти.

Датчики, в основі дії яких лежить прямий п'єзоефект, використовуються для вимірювання змінних механічних зусиль. Заряд, що виникає на гранях п'єзоелемента під дією зовнішніх сил, дуже малий і зберігається лише за відсутності витоку, тобто при нескінченно великому вхідному опору вимірювального ланцюга. Оскільки це практично нездійсненно, необхідно заряд постійно поповнювати, що можливо при впливі змінних сил. Тому п'єзоелектричні перетворювачі застосовують тільки для вимірювання швидкомінних величин: тисків у вибухових процесах, в двигунах внутрішнього згоряння, звукових коливань, вібраційних прискорень тощо.

П'єзоефект мають діелектричні кристали - кварц, турмалін, сегнетова сіль, титанат барію та інші. Найбільше поширення отримав кварц, так як він за наявності сильно вираженого п'єзоефекту одночасно має високу механічну міцність, відрізняється високими ізоляційними властивостями, крім того, його властивості мало залежать від температури.

У кристалі кварцу, що представляє собою шестигранну призму, показану на малюнку , розрізняють три головні осі: оптичну z, електричні x і механічні y. Якщо з кристала кварцу вирізати відповідним чином орієнтований по відношенню до осей кристала паралелепіпед, то при додатку сил Fx і Fy, що діють перпендикулярно оптичної осі, на гранях b і з виникають заряди, що не залежать від геометричних розмірів паралелепіпеда.

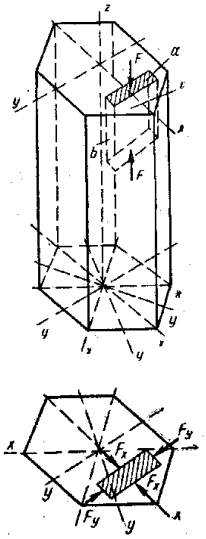


Рисунок 1.2 - Кристал кварцу з осями симетрії.

П'єзоефект, що виникає під дією сил Fx вздовж електричної осі, називається поздовжнім п'єзоефектом, а п'єзоефект, що виникає при дії сил Fy, спрямованих вздовж механічної осі, поперечним п'єзоефектом. При дії сили Fz уздовж оптичної осі п'єзоефект не спостерігається.

Для виготовлення п'єзодатчиків із кристалів вирізають пластинки, орієнтовані зазвичай вздовж електричної осі, тобто з подовжнім п'єзоефектом

П'єзодатчик у найпростішому виконанні показаний на рисунку 1.3, він складається з двох п'єзопластин 1, між якими розташований металевий електрод 2, що має ізольований висновок 3. Зовнішні сторони п'єзопластин електрично з'єднані з корпусом 4. Товщина застосовуваних кварцових пластин близько 4 мм. При цій товщині частота власних коливань пластин становить приблизно 600 кГц, що визначає дуже високі динамічні властивості кварцових п'єзодатчиків.

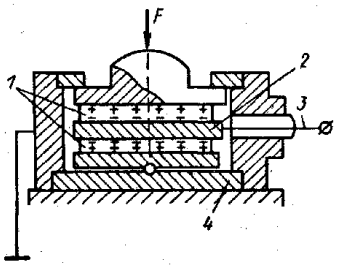


Рисунок 1.3 – Конструкція п'єзоелектричного датчика

Вимірюване зусилля F діє на пластини, розташовані так, що на їх внутрішніх гранях, що стикаються з металевим електродом, виникають негативні однойменні заряди, а на зовнішніх - позитивні. Заряд з електрода 2 подається до вимірювального приладу.

Напруга на датчику, обумовлена дією сили визначається виразом

$$U = \frac{d_1 \cdot F}{C + C_0},$$

де С – ємність датчика;

С0 - ємність вимірювальної схеми;

d1 – п'єзоелектрична постійна (для кварцу d1 = 2,3×1012 Кл/Н).

Напруга на виході датчика має порівняно малу величину, тому зазвичай потрібно його подальше посилення.

Чутливість датчика визначається зарядом, що виникає на п'єзоелементі при зміні зусилля на 1 Н/см2

$$S = \frac{d_1}{C + C_0}.$$

Для збільшення чутливості датчика його складають з декількох пластин, розташовуючи їх стовпчиком таким чином, що механічно вони виявляються включеними послідовно, а електрично - паралельно.

До переваг п'єзодатчиків слід віднести малі розміри, простоту пристрою, надійність у роботі, можливість вимірювання швидкозмінних величин, а до недоліків - невисоку чутливість, непридатність до вимірювання статичних величин, залежність п'єзоелектричної постійної d1 від температури.

1.3 П'єзоелектричні вимірювальні перетворювачі

1.3.1 Властивості п'єзоелектричних датчиків

В даний час для вимірювань динамічних процесів найбільш широко застосовують п'єзоелектричні вимірювальні перетворювачі, тобто перетворювачі, в яких як чутливий елемент використовують монокристалічні або полікристалічні матеріали, що володіють п'єзоелектричними властивостями.

Область застосування п'єзоелектричних датчиків безперервно розширюється. Раніше їх застосовували лише для вимірювання вібрації та удару в області високих частот. Зараз п'єзоелектричні датчики почали успішно використовувати для вимірювання віброшвидкості та вібропереміщення. Вже розроблено схеми вимірювальних підсилювачів, що дозволяють здійснювати вимірювання від одиниць і десятих часток герца.

Успіхи в суміжній області призводять до якісних змін у підході до розробки та використання п'єзоелектричних датчиків. Так, розробки польових транзисторів модульних елементів, що дозволяють зменшити обсяг схеми узгоджувального підсилювача, призвели до створення перетворювачів, поєднаних в одному корпусі з узгоджувальним підсилювачем, так званих п'єзотронів.

Для п'єзотронів не потрібні дефіцитні спеціальні антивібраційні кабелі, вони дозволяють встановлювати датчики на будь-якій відстані від вимірювального приладу (в межах кількох сотень метрів). Однак їх технічні характеристики (наприклад, динамічний діапазон і температура) обмежені можливостями деталей підсилювача, що узгоджує. Ці перетворювачі перспективно використовуватиме експлуатаційний контроль вібрації машин з обмеженим динамічним діапазоном (до 200 м/с2) при температурах до 100°С.

Завдяки створенню п'єзотронів і схем підсилювачів заряду змінився погляд на можливості кварцових датчиків, які стали конкурентоспроможними з датчиками, що мають керамічний чутливий елемент.

Використовуючи підсилювачі заряду, можна усунути вплив довжини з'єднувального кабелю на коефіцієнт перетворення датчика. Широкому

застосуванню п'єзоелектричних датчиків для вимірювання динамічних процесів сприяла поява нових типів п'єзоелементів. Так, американська фірма «Ендевко», розробивши високотемпературні п'єзоелементи, створила високотемпературні п'єзоелектричні датчики кількох моделей, здатні працювати при температурах до 760 0С.

Дія п'єзоелектричних датчиків заснована на використанні прямого п'єзоефекту, тобто властивостей деяких матеріалів (п'єзоелектриків) генерувати заряд під дією доданої до них механічної сили. Конструктивна схема п'єзоелектричного вимірювального перетворювача прискорення показана рисунку 1.4.

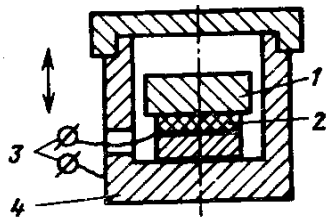


Рисунок 1.4 – Конструктивна схема п'єзоелектричного вимірювального перетворювача прискорення: 1 – інерційний елемент; 2 – п'єзоелемент; 3 – висновки; 4 – корпус.

Інерційний елемент 1 прикріплений до верхньої грані п'єзоелемента 2, а нижня грань п'єзоелемента прикріплена до корпусу 4. При встановленні перетворювача на досліджуваному об'єкті перетворювач сприймає вібрацію об'єкта. Внаслідок прагнення інерційного елемента зберегти стан спокою, п'єзоелемент деформується від впливу на нього інерційної сили

$$F = ma,$$

де m – маса інерційного елемента;

a – прискорення об'єкта.

Деформація п'єзоелемента і електричний заряд, що виникає при цьому, пропорційні прискоренню. Тому ці перетворювачі часто називають п'єзоакселерометрами.

Як п'єзоелемент використовують полікристалічні та монокристалічні п'єзоелектричні речовини.

Основні переваги п'єзоелектричних датчиків:

- простота конструкції;
- широкий діапазон робочих частот;
- мала чутливість до магнітних полів;
- велика вібраційна та ударна міцність;
- можливість створення високотемпературних перетворювачів;
- можливість створення перетворювачів з малими розмірами та масою.

Основними недоліками п'єзоелектричних датчиків є:

- наявність великого вихідного опору;
- залежність вихідного сигналу від довжини кабелю (при роботі з підсилювачем напруги);
- неможливість вимірювання постійної складової динамічного процесу.

Основними технічними характеристиками п'єзоелектричних датчиків є:

- коефіцієнт перетворення, мВ×с2/м;
- резонансна частота закріпленого перетворювача, кГц;
- відносний коефіцієнт поперечного перетворення, %;
- ємність, пф;
- діапазон робочих температур, °С;
- динамічний діапазон;
- граничне прискорення, м/с2;
- температурна похибка, м/с2;
- акустична чутливість, м/с2;
- чутливість до деформації, м/с2;
- чутливість до змінного магнітного поля, м/с2;
- розміри, маса та тип кріплення на об'єкті.

1.3.2 Класифікація п'єзоелектричних датчиків

Конструктивні схеми основних типів датчиків представлені на рисунку. Існує велика кількість моделей п'єзоелектричних датчиків, які можна класифікувати за такими ознаками:

- за видом деформації п'єзоелемента (працюючі на стиснення, зсув, вигин);

- за способом закріплення п'єзоелемента (клеєні, з попереднім підтисканням, клеєно-підібгані);

- за способом закріплення на об'єкті (притискні, клеєно-притискні та приклеєні).

За принципом використання розрізняють п'єзоелектричні датчики:

- які мають високий коефіцієнт перетворення (більше 10 мВ×с2/м);
- віброударомічні (більше 10000 м/с2);
- високочастотні (понад 10 кГц);
- високотемпературні (більше 80 ° С);
- стійкі до впливу різних факторів, що впливають (акустичних шумів, механічних деформацій, електричних і магнітних нулів, температурі, тиску, радіації тощо);
- мають малий коефіцієнт поперечного перетворення;
- які мають низьку добротність;
- поєднані в одному корпусі з узгоджувальним підсилювачем;
- оснащені внутрішнім калібрувальним пристроєм;
- призначені для експлуатаційного контролю;
- еталонні.

Удосконалення конструкцій п'єзоелектричних датчиків спрямовано шляхом поліпшення їх технічних характеристик і створення більш досконалих і надійних моделей.

Великі значення коефіцієнта перетворення на п'єзоелектричних датчиках в основному виходять чотирма шляхами:

- збільшенням інерційного елемента;
- зменшенням ємності п'єзолементу;
- використанням згинальних або зсувних деформацій п'єзоелементу; використанням п'єзокераміки з великим значенням п'єзомодуля.

Слід пам'ятати, що із збільшенням коефіцієнта перетворення здебільшого знижується резонансна частота датчика.

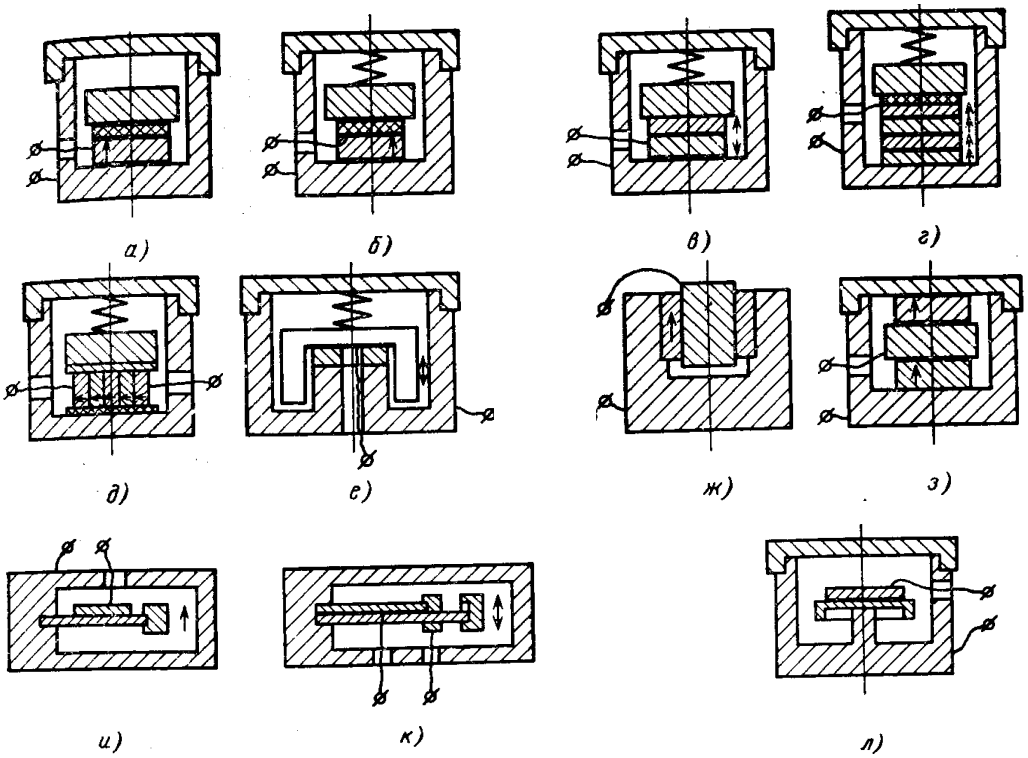


Рисунок 1.5 – Конструктивні схеми основних типів п'єзоелектричних вимірювальних перетворювачів прискорення:

а – клеєний датчик; б - клеєно-підібганий; в – з паралельно включеними п'єеоелементами; г – із послідовно включеними п'єзоелемеїтами; д - з використанням поперечного п'єзоефекту; е – центровані; ж– з п'єзоелементом, що працює на зсув; з – схема тандем; і–к– з згинальним консольним елементом, підкріпленим та біморфним відповідно; л - з згинальним грибообраеним чутливим елементом

Вібраційну і ударну міцність датчиків можна підвищити, застосувавши клеєно-підібгані чутливі елементи і датчики, що працюють на зсув; збільшивши міцність зчеплення інерційного елемента з п'єокерамікою і останньою з корпусом і підвищивши вимоги до матеріалів і якості поверхонь, що контактують, вибравши діаметр і висоту інерційного елемента і величину підтиснення останнього.

Частотний діапазон п'єзоелектричних датчиків є однією з найважливіших його технічних характеристик. Нижня межа діапазону робочих частот датчиків визначається її ємністю (разом із сполучним кабелем) і вхідним опором використовуваного в комплекті з ним вимірювального приладу. Тому для

зниження межі частотного діапазону використовують датчики з великою ємністю і вимірювальні прилади з високим вхідним опором. Як правило, великою ємністю (кілька тисяч піко-фарад) і високим коефіцієнтом перетворення мають п'єзоелектричні датчики з чутливим елементом, що працює на вигин.

Останнім часом для зниження нижньої межі діапазону робочих частот застосовують підсилювач зарядів.

Верхня межа частотного діапазону fВ визначається значеннями установочного резонансу (який завжди лежить нижче частоти власних коливань) і згасанням датчиків.

Настановний резонанс підвищується зі збільшенням площі і підвищення якості контактних поверхонь між чутливим елементом і корпусом, корпусом і об'єктом, розміщення чутливого елемента безпосередньо у корпусі об'єкта, зменшенні маси корпусу. Збільшення контактної площі забезпечується:

- щільним різьбовим з'єднанням акселерометра з об'єктом;

- посадкою акселерометра на конусну поверхню.

Для зменшення маси корпусу використовують матеріали малої густини типу: титану, дюралюмінію.

Зазначені заходи дозволяють значно підвищити настановний резонанс і наблизити його до частоти власних коливань акселерометра.

Діапазон частот п'єзоелектричних ІП можна розширити також шляхом корекції (за допомогою коригувальних ланцюгів) амплітудночастотної характеристики датчиків або підсилювального каналу.

Відносний коефіцієнт поперечного перетворення є важливою метрологічною характеристикою п'єзоелектричних датчиків. Значення коефіцієнта поперечного перетворення найбільш поширених датчиків з п'єзоелементом, що працює на розтягнення, залежить від багатьох факторів, тому створення датчиків з малою поперечною чутливістю не проста задача.

Коефіцієнт поперечного перетворення можна зменшити такими способами:

– застосуванням ІП правильної геометричної форми, з однорідним складом за механічними та електричними властивостями;

– використанням кількох п'єзоелементів у чутливому елементі, що дозволяє усереднити механічну та електричну неоднорідності окремих п'єзоелементів;

– поєднанням центру тяжкості інерційного елемента із середньою площиною п'єзоелемента;

– створення конструкцій датчиків, в яких зберігається електрична симетрія чутливого елемента при виготовленні та експлуатації.

Для окремих зразків датчиків значення коефіцієнта поперечного перетворення дорівнюють 1%, проте для більшості такого типу датчиків коефіцієнт поперечного перетворення становить більше 4 - 5%. Малі значення коефіцієнта поперечного перетворення можна отримати для датчиків з п'єзоелементом, що працює на згин і зсув.

Температурний діапазон датчиків можна розширити за рахунок використання кварцу або температуростійкої п'єзокераміки і компенсації похибки від температури за допомогою температурно-залежних елементів (конденсатора, резистора). Таким шляхом у певному температурному діапазоні можна домогтися відсутності залежності коефіцієнт поперечного перетворення від температури.

Температурний діапазон датчиків можна розширити також, застосувавши повітряне або водяне охолодження або за допомогою перехідника, що охолоджується.

Температурну стабільність п'єзоелектричних датчиків підвищують штучним старінням п'єзоелементів шляхом їх нагрівання або механічного та електричного навантаження, а також застосуванням температуростійких клеїв та матеріалів.

На використовувані в промислових умовах датчики часто впливають різні електричні та магнітні поля, акустичні шуми, механічні деформації та інші перешкоди.

П'єзоелектричні датчики малочутливі до різних перешкод електричного, акустичного і механічного походження, але в ряді випадків, особливо при дослідженні малих вібрацій, вплив тієї чи іншої перешкоди є суттєвим.

Іноді між об'єктом, на якому закріплений перетворювач, і місцем заземлення вторинного приладу існує досить велика різниця потенціалів. У разі застосування

перетворювачів з струмопровідними елементами, електрично пов'язаними з корпусом, на вході вимірювального приладу, з яким з'єднаний перетворювач, з'явиться значна величина паразитного наведення.

При кріпленні перетворювачів через ізоляційну прокладку електрична перешкода на вході вимірювального приладу знижується приблизно в сто разів.

Способи електричної ізоляції перетворювачів від об'єкта представлені на рисунку 1.6.

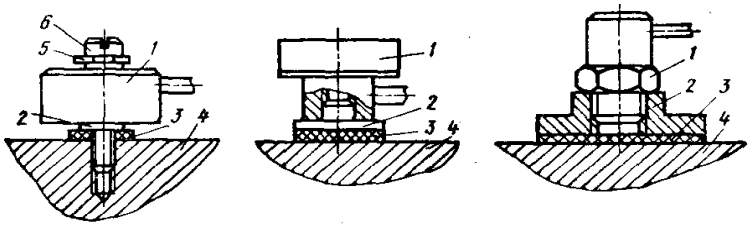


Рисунок 1.6 - Способи електричної ізоляції перетворювачів від об'єкта:
1 – перетворювач; 2 – перехідник; 3 та 5 – ізолятори; 4 – об'єкт; 6 – гвинт.

Описані вище перетворювачі з ізольованими від корпусу струмопровідними елементами іноді називають диференціальними. Більшість конструкцій датчиків з ізольованими струмопровідними елементами мають повністю симетричний вихід.

Диференціальні перетворювачі мають ще більшу перешкоду-захищеність. Диференціальні датчики і перетворювачі з ізолюваними струмопровідними елементами володіють також малою чутливістю до впливу деформацій кабелю, змінним магнітним полям та іншим перешкодам.

При вимірі вібрації статорів, корпусів, підшипників і фундаментів електричних машин типу електричних двигунів і генераторів вимірювальні перетворювачі можуть піддаватися впливу інтенсивних змінних магнітних полів, напруженість яких іноді досягає десятків тисяч ампер на метр.

Вплив змінного магнітного поля на п'єзоелектричний датчик обумовлений трьома причинами:

– наведенням електромагнітної ЕРС на вивідні дроти та струмопровідні елементи;

– явищем магнітострикції в деталях із феромагнітних матеріалів;

– виникненням вихрових струмів у деталях датчиків.

Чутливість п'єзоелектричних датчиків до змінного магнітного поля носить нелінійний характер, тому її не можна характеризувати величиною електричної напруги на виході перетворювача (поміщеного в магнітне поле), віднесеного до одиниці індукції або напруженості магнітного поля. При цьому слід вказувати значення індукції або напруженості магнітного поля, при яких перетворювач випробовувався. Внаслідок нелінійності цієї характеристики електричне напруження перешкоди, викликаної магнітним полем, містить ряд гармонійних складових: 50, 100, 150 Гц і так далі. Основними є складові 50 та 100 Гц.

Чутливість датчиків до механічних деформацій особливо виявляється при встановленні їх на тонких стінках таких об'єктів, як редуктори, насоси тощо. У цих випадках у місцях установки перетворювача можуть виникнути великі згинальні деформації, які викликають у корпусі та в п'єзоелементі значні механічні напруги, що призводить до зміни коефіцієнта перетворення.

Для зменшення впливу механічної деформації (зменшення тіно-чутливості) датчиків:

- збільшують товщину основи між п'єзоелементом і корпусом акселерометра вводять проміжний елемент;

- використовують двокорпусну конструкцію;

- застосовують перехідник, що видаляє п'єзоакселерометр від об'єкта; пре-утворювач приклеюють через прокладку або встановлюють на мастику.

Вібровимірювальні перетворювачі з чутливим елементом, що працює на вигин внаслідок особливості конструкції, практично не схильні до впливу механічних деформацій.

У більшості випадків при вимірюванні вібрацій механічна деформація в місці установки перетворювача буває невеликою, тому зміною коефіцієнта перетворення можна знехтувати.

Схема кріплення перетворювача на перехіднику показано рисунку 1.7.

Слід пам'ятати, що у разі його настановний резонанс знижується у півтири, двічі. Найменшою чутливістю до механічних деформацій об'єкта мають двокорпусні перетворювачі, а також перетворювачі, у яких чутливий елемент значно віддалений від місця кріплення корпусу до об'єкта.

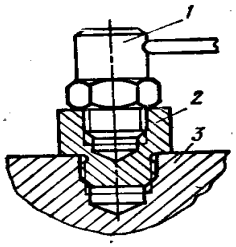


Рисунок 1.7 - Схема кріплення перетворювача на перехіднику.

1 – перетворювач; 2 – перехідник; 3 - об'єкт.

При нагріванні п'єзоелектричного перетворювача його основні характеристики (коефіцієнт перетворення і ємність) значно змінюються. Це відбувається внаслідок залежності п'єзомодуля та діелектричної проникності від температури. У різних матеріалів ці параметри змінюються по-різному. Існують матеріали, п'єзомодуль яких з підвищенням температури змінюється мало, а діелектрична проникність значно. Тому для зменшення температурної похибки датчика ці матеріали слід використовувати в перетворювачах, що працюють з підсилювачем заряду.

При створенні високотемпературних датчиків використовують високотемпературні клеї, проводи, ізоляційні матеріали і високотемпературні антивібраційні кабелі.

При нагріванні перетворювача на електродах п'єзоелемента з'являється статичний заряд, викликаний явищем піроефекту і температурною деформацією п'єзоелемента. При включенні перетворювача на вхід вимірювального приладу, що має вхідний опір мене 100 МОм, цей заряд зазвичай не впливає на показання приладу при невеликій швидкості нагрівання або охолодження датчика.У разі застосування приладу з вхідним опором більше 200 МОм або при значній швидкості нагрівання та охолодження можуть спостерігатися порушення роботи приладу. Якщо перетворювач необхідно використовувати в умовах термоциклування, то його слід піддати додатковим випробуванням. Більшість моделей перетворювачів не призначені для роботи в цих умовах, і заводи-виробники не перевіряють їх на термоциклювання.

Вібрація деяких агрегатів (високооборотні компресори, насоси, редуктори та інші) при певних режимах супроводжується інтенсивним акустичним шумом,

який через акустичну чутливість п'єзо-електричних перетворювачів (чутливість до тиску) впливає на вихідний сигнал останніх. Як правило, цей вплив невеликий, але при вимірі вібрації невеликого рівня для оцінки

Похибки вимірювання важливо знати акустичну чутливість перетворювачів.

П'єзоелектричні датчики більшості моделей мають високу вібраційну і ударну міцність і стійкість, причому найбільші значення мають перетворювачі з чутливим елементом, стиснутим в корпусі і працюючим на зсув.

Перетворювачі з чутливим елементом, що працює на вигин, характеризуються меншою вібраційною та особливо ударною міцністю. Ці перетворювачі не слід застосовувати для дослідження вібраційних процесів або ударних імпульсів, частотний спектр яких містить складові прискорення значного рівня (до 200-500 м/с2), а частота збігається з власною частотою перетворювача, так як може порушитися цілісність п'єзоелемента, приклеєного до сталевого пружного елемента. З цієї причини не можна допускати падіння таких перетворювачів. При падінні перетворювача на цементну або металеву підлогу може виникнути значне прискорення (до 10000 м/с2 і більше). У разі використання перетворювачів для вимірювання великих прискорень (більше 10000 м/с2), особливо в області низьких частот (менше 1000 Гц), через великі переміщення виникає небезпека пошкодження вивідного кабелю поблизу місця закладення його в корпусі перетворювача або у рознімання. Для запобігання кабелю, залишаючи невелику петлю, його слід кріпити через м'яку прокладку до корпусу перетворювача або об'єкта, на якому встановлено перетворювач.

Для стаціонарного експлуатаційного контролю вібрації машин, а також у разі труднощів при зніманні датчика з машини зручно використовувати датчики, що мають внутрішній калібрувальний пристрій (у вигляді додаткового п'єзоелемента або електромагнітного збудника коливань).

Відомі й інші схеми контролю справності датчиків, наприклад шляхом подачі на п'єзоелемент імпульсної напруги і знімання з нього відгуку. Великий недолік п'єзоелектричних датчиків є обмежена довжина вивідного кабелю, що з'єднує акселерометр з високоомною частиною вимірювального приладу. Зі

збільшенням довжини кабелю зменшується коефіцієнт перетворення датчика при роботі останнього з підсилювачем заряду. Крім того, антивібраційний радіочастотний кабель, що застосовується для цієї мети, дефіцитний і дорогий. Тому створення датчиків, суміщених з вхідним підсилювачем (п'єзотронів) є важливим завданням.

У кожному конкретному випадку для вимірювання параметрів вібрації або удару вибирають датчики моделі, що найбільш підходить.

Для вимірювання низькочастотних вібрацій малого рівня прискорень необхідні перетворювачі, що володіють високим коефіцієнтом перетворення.

В умовах високих температур за наявності інших факторів, що впливають (акустичних шумів, механічних деформацій, електричних або магнітних полів, тисків, радіації тощо) необхідно застосовувати малочутливі до впливових факторів датчики або вживати заходів щодо захисту перетворювача від їх впливу.

Для контролю вібрації в експлуатаційних умовах головними характеристиками є надійність перетворювача, його вібраційна і ударна міцність і стійкість, здатність тривалий час працювати в умовах безперервного впливу різних впливових факторів.

Частотний діапазон датчиків визначають виходячи із спектру частот вібраційного або ударного прискорення випробуваного об'єкта. Якщо спектр частот невідомий, слід використовувати широкодіапазонні датчик. Коефіцієнт перетворення датчиків назад пропорційний квадрату частоти його резонансних коливань, тому доцільно вибирати датчики, що має настановний резонанс, в два, три рази перевищує верхню межу спектра частот прискорень об'єкта. При заданій нерівномірності амплітудно-частотної характеристики датчика верхню межу неспотвореного відтворення спектр частот досліджуваного об'єкта (без урахування згасання) визначають з виразу

$$\eta = 1/(1-(f/f0)2)$$

де f, fo – поточна та резонансна частоти відповідно, Гц.

Настановний резонанс можна значно знизити, якщо датчик закріпити на об'єкті через маложорсткий перехідник або на маложорсткій частині об'єкта.

Настановний резонанс закріпленого датчика слід перевіряти безпосередньо на об'єкті.

Широкі можливості п'єзоелектричних датчиків можуть бути реалізовані тільки при дотриманні правильних методів використання перетворювачів у складних умовах експлуатації.

На точність виміру впливають такі фактори:

спосіб та якість кріплення перетворювача на об'єкті;

можлива вібрація вивідного кабелю;

- температура;

- змінні електричні та магнітні поля;

- механічні деформації;

- акустичні шуми;

- перепади тиску;

- проникнення до струмоведучих елементів датчика вологи або олії.

При встановленні перетворювача на досліджуваному об'єкті часто використовують різні перехідники.

Приклади кріплення перетворювача наведено рисунку 1.8.

На рисунку 1.8 представлені еквівалентні механічні схеми преобразователя, закріпленого без перехідника і з перехідником. Як видно з цих схем, за наявності перехідника утворюється двох масова система замість одномасової і знижується настановний резонанс.

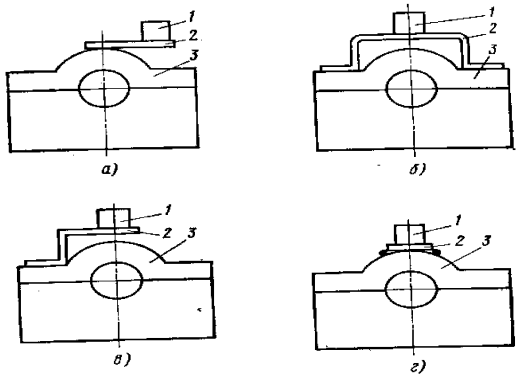


Рисунок 1.8.– Приклади кріплення перетворювача на підшипнику:

а - на консольній пластині; б – на П-подібному перехіднику; в – на Г-подібному перехіднику; г – на привареному чи приклеєному фланці; 1 перетворювач; 2 - перехідник; 3-підшипник.

Якщо неможливо виконати отвори кріплення на об'єкті, то для кріплення перетворювача може бути рекомендований спосіб, на рисунку 3.5,б. При цьому способі кріплення невелику легку планку з отворами кріплення приварюють або приклеюють на об'єкті (настановний резонанс для високочастотних перетворювачів може зменшиться майже в два рази).

Якість кріплення датчика визначається: методом його кріплення (дивися рисуноки); оптимальним значенням крутного моменту кріплення, з яким перетворювач закріплений на об'єкті; якістю та точністю виготовлення кріпильного отвору.

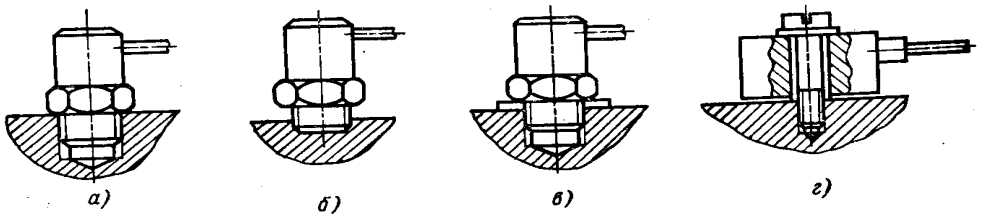


Рисунок 1.9. - Схеми кріплення перетворювачів на об'єкті:

а - з опорою на буртик; б - з упором на торець; в – через прокладання; г - гвинтом.

На рисунку 1.9 представлені схеми кріплення двох моделей датчиків, що часто зустрічаються: з опорою на буртик (рисунок 1.9, а); з упором на торець (рисунок 1.9, б); через прокладку (рисунок 1.9, в); окремий випадок кріплення з опорою на буртик і гвинтом через центральний отвір (рисунок 1.9, г).

Абсолютно неприпустиме кріплення перетворювача з упором на торець, як показано рисунку 1.9, б. У цьому випадку значно змінюється коефіцієнт перетворення і відносний коефіцієнт поперечного перетворення, причому для кожного датчика ці параметри змінюються по-різному.

При кріпленні перетворювачів з опорою на буртик (рисунок 1.9, а) отримують значно кращі результати. У разі кріплення датчика з опорою на буртик відносний коефіцієнт поперечного перетворення практично не залежить від моменту кріплення. Кріплення датчиків через різні проміжні шайби, що мають різну товщину до 0,3 мм, практично не призводить до помітної зміни його характеристик.

Неприпустимим є кріплення датчика за допомогою струбцини або планки, що притискає корпус до об'єкта. При цьому змінюються умови закріплення п'єзоелементу і, отже, коефіцієнт перетворення і відносний коефіцієнт поперечного перетворення.

Джерелом похибки при вимірюванні вібрації за допомогою п'єзо-електричних датчиків може бути перешкода, що виникла через виникнення електростатичного заряду на ізоляції внутрішньої вивідного кабелю. Це явище спостерігається за наявності великих переміщень кабелю і в більшості випадків проявляється на низьких частотах. Для зменшення явища кабель жорстко закріплюють на об'єкті. Істотно менше електризація спеціальних антивібраційних кабелів.

Для вимірювання вібрації при температурі навколишнього середовища, що перевищує 80 ° С, використовують високотемпературні датчики. Крім того, застосовують охолоджуваний водою перехідник і металевий екран, що оберігає вивідний кабель від радіаційного нагріву. Для додаткового охолодження кабелю використовують обдув повітрям.

2 АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ

2.1 Аналіз призначення

Метою дипломної роботи є розгляд первинних вібропреобразователей (таких як п'єзоелектричні датчики, в системі діагностування механічних коливань), а також, розробка, конструювання пристрою вимірювання вібрації (віброметра).

Область застосування п'єзодатчика - пристрої вимірювання вібрації, а також пристрої вібраційної діагностики технологічного обладнання.

Область застосування пристрою вимірювання вібрації застосовується для електричних машин і механізмів для раннього виявлення їх несправності.

Склад виробу:

– п'єзоелектричний датчик ДН–4;

– підсилювач електричного заряду;

– вимірювальний прилад.

Технічні вимоги:

– живлення здійснити від джерела постійного струму напругою, ±15;

– споживана потужність від джерела живлення має бути не більше, Вт 1;

– частотний діапазон вимірювання повинен бути не меншим, Гц 1000;

– транспортування: на всіх видах транспорту.

Вимоги щодо надійності:

– напрацювання на відмову 10-15тис.ч;

– інтенсивність відмови 10-4 – 10-9 год-1;

Конструктивні вимоги:

– органи управління винести на панель;

– маса, форма та габарити встановлюються в процесі проектування;

– забарвлення у білий колір.

2.1.1 Технічна характеристика.

Винахід відноситься до радіоелектроніки, більш конкретно, до вимірювальних засобів, і використовується у вимірювальній техніці, автоматиці, механіці та інших областях. Метою створення пристрою були такі характеристики як: відносно мала вартість (досягана за рахунок сучасної елементної бази), простота застосування не вимагає спеціальних технічних навичок, досить високий частотний спектр (не менше 1000 Гц), малі масогабаритні параметри .

Пропонований пристрій, як і аналогічні прилади, що використовуються в системі вимірювання, поєднує в собі:

Віброперетворювач, що перетворює коливання в електричний сигнал, що подається на підсилювач по лінії зв'язку.

Підсилювач електричного сигналу, що збільшує та узгоджує значення заряду, доступного для вимірювання.

Вимірювальний прилад рівня напруги дає можливість візуально фіксувати результати вимірів.

На рисунку 2.1 наведено блок-схему вимірювальної системи.

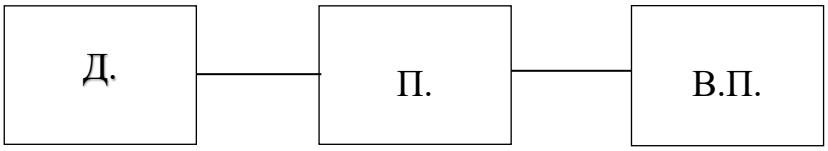


Рисунок 2.1– Блок-схема вимірювальної системи

Віброперетворювач (вібродатчик), який входить у будь-який комплект вібровимірювальної апаратури. Він виконує роль перетворювача енергії вібраційних коливань, одержуваних від джерела вібрації, в електричні сигнали. У запропонованому пристрої використовується перетворювач п'єзоелектричний вібровимірювальний ДН4. Сигнал з п'єзоелектричного датчика передається на підсилювач по лінії зв'язку, що екранується.

Основні характеристики віброперетворювача:

– робочий діапазон частот від 0 до 12500 Гц;

– електричний опір ізоляції: в нормальних умовах не менше 1 ГОм (в умовах підвищеної вологості не менше 0,1 ГОм);

– електрична ємність віброперетворювача, включаючи ємність кабелю, не менше 1000 пФ;

– номінальне значення коефіцієнта перетворення на частоті 1000Гц

$$1\frac{мВ \cdot с^2}{м};$$

– відносний коефіцієнт поперечного перетворення не більше ±5%;

– маса віброперетворювача (без роз'єму) не більше 0,013 кг.

Підсилювач включений у вимірювальну схему як для посилення слабкого вихідного сигналу з віброперетворювача, так і для узгодження високоомного виходу віброперетворювача з низькоомними наступними каскадами.

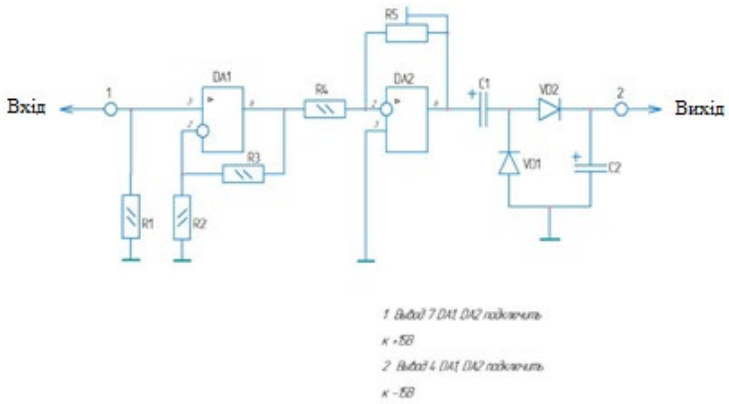


Рисунок 2.2 – Схема електрична принципова підсилювача пристрою вимірювання вібрації

Основним елементом підсилювача є операційний підсилювач КР574УД2. Вибір даної мікросхеми був зумовлений тим, що вона має малий вхідний струм і великий вхідний опір (ці параметри необхідні узгодження з датчиком).

Основні технічні характеристики підсилювача:

- напруга живлення – 9В;
- споживаний струм - 5 мА;
- вхідний струм - 0,5 нА;
- вхідний опір - 103 МОм;

Вимірювальний прилад рівня напруги дає можливість візуально фіксувати результати вимірів вібрації. Як вимірювальний прилад виступає стрілочний електромагнітний вольтметр.

Технічні характеристики пристрою діагностування наведено у таблиці 2.1

Таблиця 2.1 - Основні технічні характеристики пристрою

Напруга живлення, В	9
Споживаний струм, А	0,01
Частотний діапазон, Гц	50 ÷ 1000
Діапазон робочих температур, 0С	-30 ÷ +50
Габаритні розміри, мм	70x80x60
Напруга живлення,	0,5

Перевагоми даного приладу є такі характеристики як:

– низька собівартість (доступний широкому колу споживачів);

– простота застосування не потребує спеціальних технічних навичок;

– простота конструкції та мала елементна база;

– широке коло застосування (ремонт та налагодження електродвигунів, автомобілів, трансформаторів, насосів, редукторів та інших засобів техніки);

– малі масогабаритні параметри.

Недоліками цього приладу є:

– точність значень, що вимірюється, є середньо вираженою;

– відносно низький частотний спектр.

2.1.2 Технічне обслуговування системи

Обслуговування системи полягає у плановому огляді та ремонті (в основному вимірювального приладу) пристрою, у плановій заміні електробатарів (“Крона”) (один раз на квартал або за потребою) та спостереженням за ходом видачі остаточного результату про стан технологічного обладнання.

2.2 П'єзоелектричний датчик ДН – 4

Перетворювач п'єзоелектричний вібровимірювальний ДН-4 призначений для перетворення механічних коливань в електричні сигнали, пропорційні прискоренню об'єкта, що коливається. Віброперетворювач використовується спільно з вібровимірювальними пристроями для вимірювання параметрів вібрації в заводських та лабораторних умовах.

2.1.1 Умови експлуатації

– температура від мінус 30°С плюс 70°С (при кріпленні воском до температури плюс 40°С);

– відносна вологість 90% при температурі навколишнього повітря плюс 27°С;

– атмосферний тиск 10000± 4000 Па (750±80 мм. рт.ст.)

– акустичні шуми 140 дБ, при цьому значення напруги на виході віброперетворювача не більше 2,5 мВ;

– змінні магнітні поля напруженістю 400 А/м, напруга на виході віброперетворювача не більше 50 мкВ;

– ударні навантаження із прискоренням 5000 м/с, тривалістю імпульсу в межах 0,015 – 12,5 мс.

2.2.1 Технічні характеристики.

– робочий діапазон частот від х до 12500 Гц. (Значення х визначається вхідними параметрами вібровимірювальних пристроїв);

– електричний опір ізоляції: в нормальних умовах не менше 1 ГОм, в умовах підвищеної вологості не менше 0,1 ГОм.

Нормальні умови:

- температура навколишнього повітря від плюс 15 ° С до плюс 25 ° С;

- відносна вологість від 50 до 80%;

- атмосферний тиск від 96 до 104 кПа (від 720 до 780 мм.рт.ст.);

- електрична ємність датчика, з ємністю кабелю, не менше 1000 пФ;

- дійсне значення коефіцієнта перетворення може відрізнятись від номінального не більше ніж на ± 10%;

- нерівномірність частотної характеристики щодо рівня вихідного сигналу на частоті 1000 Гц у діапазонах частот від 1000 до 12500 Гц не більше ±10%;

- відносний коефіцієнт поперечного перетворення не більше ± 5%;

- нелінійність амплітудної характеристики до значення прискорення 1200 м/с2 не більше ±10%;

- зміна коефіцієнта перетворення датчика по відношенню до коефіцієнта перетворення за нормальних умов не більше ± 0,3 % / °С;

- габаритні розміри датчика (без кабелю) 18,8×17,0×14,0 мм;

- маса віброперетворювача (без кабелю та штекера) не більше 0,013 кг.

2.2.2 Принціп роботи

Загальний вигляд віброперетворювача наведено на рисунку 2.3. Віброперетворювач складається з основи 1, п'єзоелементів 2, інерційної маси 3, контакту 6 для зняття електричного потенціалу, втулки 7. Статичне навантаження на п'єзоелементи здійснюється пружинною гайкою 5, конструкцією.

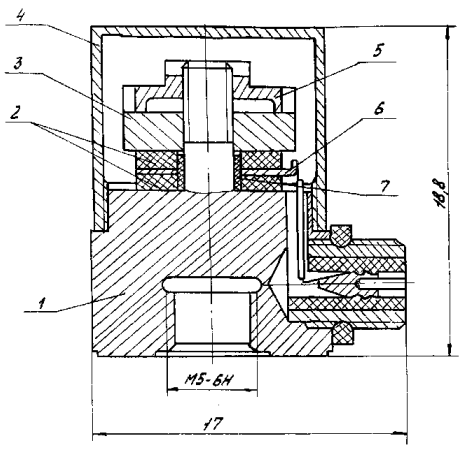


Рисунок 2.3 – Загальний вигляд віброперетворювача ДН - 4.

Принцип роботи віброперетворювача заснований на прямому п'єзоефекті. При дії механічних коливань на основу вібропреобразователя з прискоренням, інерційна маса зазнає дії сили, що дорівнює виробленню маси на прискорення

П'єзоелементи віброперетворювача піддаються деформації стиснення, внаслідок чого на гранях п'єзоелементів виникають електричні заряди, пропорційні діючому прискоренню.

Підготовка віброперетворювача до роботи проводиться у такому порядку:

– виконайте опорний майданчик на поверхні об'єкта діаметром 15 мм та неплощинністю не більше 0,02 мм;

– виконайте в центрі майданчика отвір з різьбленням М5, глибиною 8 мм при неперпендикулярності осі отвору (щодо поверхні майданчика) не більше 3°;

– протріть сухим бавовняним тампоном різьбовий отвір, видаливши з останнього металеву стружку та мастило;

–наріжте на досліджуваному об'єкті два різьбових отвори М03, необхідних для кріплення кабелю скобою (див. рисунок 3.8 а, б).

а) Встановлення віброперетворювача на об'єкт за допомогою шпильки (див. рисунок 3.8, а) провадиться в наступному порядку:

– витягніть з ящика для укладки віброперетворювач, кабель з'єднувальний, шпильку, скобу, два гвинти М03 і дві шайби;

– вкрутіть до упору в різьбовий отвір корпусу віброперетворювача шпильку М5 і, обертаючи віброперетворювач, вверніть його до упору в різьбовий отвір опорного майданчика;

– кабель з'єднайте з віброперетворювачем та прикріпіть кабель скобою до об'єкта. Спосіб кріплення вказаний на рисунку 3.8, а;

– зчленуйте штекер кабелю з входом вібровимірювального пристрою (натяг кабелю неприпустимий).

– щоб уникнути наведень на кабель віброперетворювача не допускається перетин кабелю сполучного з іншими проводами, що мають сильні змінні або пульсуючі електричні поля.

б) Встановлення віброперетворювача на об'єкт за допомогою заглушки та воску (див. рисунок 2.4, б) провадиться в наступному порядку:

– вверніть заглушку в корпус віброперетворювача;

– нанесіть тонкий шар розігрітого до 65 ° С-67 ° С воску, і відразу, не даючи затвердіти воску, віброперетворювач з заглушкою ставте на об'єкт;

– після затвердіння воску, віброперетворювач витримують при температурі об'єкта протягом двох годин. Вимірювання при кріпленні на воску рекомендується проводити в діапазоні частот до 1000 Гц.

Рисунок 2.4,а – Встановлення датчика за допомогою шпильки

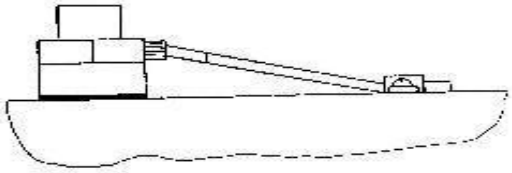


Рисунок 2.4, б – Установка датчика за допомогою заглушки та віска

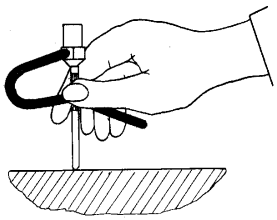


Рисунок 2.4,в – Вимірювання датчиком за допомогою щупа.

Рисунок 2.4, а, б, в – Способи встановлення віброперетворювача на об'єкті

в) Вимірювання за допомогою щупа (див. рисунок 2.4, в) виробляють у тих випадках, коли практично неможливо здійснити міцне кріплення віброперетворювача на об'єкті. Перед виміром необхідно зробити наступне:

– віброперетворювач з'єднайте з кабелем сполучним;

– вкрутіть в отвір для шпильки щуп до упору;

– згорніть кабель петлею і притисніть його до корпусу щупа, і встановіть вістря щупа перпендикулярно до поверхні, що вібрує;

– при вимірі слідкуйте, щоб вістря щупа мало надійний контакт з поверхнею, що вібрує.

Вимірювання із щупом рекомендується проводити в діапазоні частот від 10 до 600 Гц.

2.2.3 Вказівка заходів безпеки

Віброперетворювач спеціальних заходів з тих безпеки не вимагає.

Заходи щодо безпечних методів експлуатації забезпечуються загальними вимогами з техніки безпеки, що пред'являються до вібровимірювальних пристроїв, з якими він працює.

При експлуатації вібропереторювача необхідно стежити за станом електричного контакту в місцях зчленування кабелю з'єднувального і не допускати, щоб кабель мав надмірний натяг або різкий вигин.

На час тривалих перерв у роботі віброперетворювач, приналежності та інструмент зберігати в ящику для укладки.

3 РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ ПРИСТРОЮ

3.1 Аналіз вихідних даних пристрою

При розробці конструкції пристрою були враховані вимоги, наведені в пункті 1.2. Конструкція повинна мати достатню механічну міцність, мати захист від дестабілізуючих факторів. Пристрій вимірювання вібрації також повинен бути ремонтопридатним і забезпечувати зручності експлуатації. Для забезпечення поставлених вимог розглянемо на даному етапі два варіанти компонування проектованого пристрою.

3.1.1 Вибір типу електричного монтажу

У конструкції, що розробляється, використовується два типи монтажу: друкарський і об'ємний. Друкарський монтаж застосовується для з'єднання між собою радіоелементів, що входять до функціонально закінченого вузол. Об'ємний монтаж застосовується для з'єднання один з одним функціонально закінчених вузлів схеми.

3.1.2 Вибір способів захисту пристрою від зовнішніх впливів

Пристрій виміру вібрації для технологічного обладнання необхідно оберігати від пилу, води та механічних впливів. Для цього застосовується часткова герметизація пристрою за допомогою пластмасового корпусу.

3.2 Конструктивно–технологічний розрахунок друкованої плати

3.2.1 Розрахунок розмірів друкованої плати

Першим етапом об'ємно-компонувального розрахунку визначимо розміри друкованої плати пристрою. Площу друкованої плати розрахуємо виходячи з площ поверхонь елементів. Площі настановних поверхонь наведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Площі настановної поверхні елементів

Елементы	Площа одного елемента, мм^2	Кількість елементів	Загальна площа, мм^2
Резистори R1-R4	22	4	88
Резистори R5	40	1	40
Конденсатори C1, C2	16	2	32
Діоди VD1,VD2	30	2	60
Мікросхеми DA1, DA2	67.5	2	135

Загальну площу друкованої плати знайдемо, використовуючи таку формулу

$$S = SR + SC + SVD + SMC,$$

де SR – площа, необхідна установки резисторів на ПП;

SC – площа, необхідна для встановлення конденсаторів на ПП;

SVD – площа, необхідна для встановлення діодів на ПП;

SMC – площа, необхідна для встановлення мікросхем на ПП;

Загальна площа, займана електронними радіоелементами на друкованій платі S = 355 мм2. Враховуючи коефіцієнт заповнення друкованої плати, отримаємо її площу

$$Sпл = S/0.6 = 591.66 \text{ (мм2)}$$

Розглянуто кілька варіантів співвідношення сторін друкованої плати, але враховуючи площу провідників та монтажної зони, за конструктивними параметрами пристрою було вибрано наступне співвідношення сторін: 30×50 мм.

Для вибору раціонального компонування блоку використовуємо три параметри:

– наведена площа зовнішньої поверхні;

– коефіцієнт наведених площ;

– коефіцієнт заповнення обсягу.

Розглянемо два варіанти компонування пристрою (рисунок а, б). Вважаємо обсяги модулів, що входять у пристрій.

Об'єм основного модуля:

V10 = 30x50x17 = 25500 (мм3)

Об'єм модуля комутації:

V20 = 15x7x60 = 63000 (мм3)

Повний об'єм першого варіанта:

V1=30×100×70 = 210000 (мм3)

Площа поверхні корпусу:

S1 = 2(hb+hl+lb) = 2(3000+7000+2100) = 24200 (мм2)

Площа поверхні кулі:

$$S_{1шара} = \sqrt[3]{36 \cdot \pi \cdot V_1^2} = \sqrt[3]{36 \cdot 3.14 \cdot 210000^2} = 17090 \text{ (мм2)}$$

Повний обсяг другого варіанта:

V2= 50×80×50 = 200000 (мм3)

Площа поверхні корпусу:

S2 = 2(hb+hl+lb) = 2(4000+2500+4000) = 21000 (мм2)

Площа поверхні кулі:

$$S_{2шара} = \sqrt[3]{36 \cdot \pi \cdot V_2^2} = \sqrt[3]{36 \cdot 3.14 \cdot 200000^2} = 16540 \text{ (мм2)}$$

Наведені площі зовнішніх поверхонь корпусів:

Sпр1=S1/V1=24200/210000 = 0.115 (мм -1);

Sпр2=S2/V2=21000/200000 = 0.105 (мм -1) .

Наведені площі зовнішніх поверхонь куль:

Sпр1шара = S1шара/V1=17090/210000 = 0.081 (мм -1);

Sпр2шара = S2шара/V2=16540/200000 = 0.083 (мм -1).

Коефіцієнти наведених площ корпусів:

Кпр1 = Sпр1/Sпр1шара = 0.115/0.081 = 1.416;

Кпр2 = Sпр2/Sпр2шара = 0.105/0.083 = 1.27.

Так як коефіцієнт наведених площ для другого корпусу менше, то з двох варіантів другий варіант компонування найбільш оптимальний по площі зовнішньої поверхні.

Коефіцієнт заповнення обсягу знаходимо за формулою:

Кз.о.=Vп / V

- для першого варіанта:

$$КЗ1 = (V10+V20) / V1 = 88500 / 210000 = 0.421;$$

- для другого варіанта:

$$КЗ2 = (V10+V20) / V2 = 88500 /200000 = 0.442;$$

Коефіцієнт заповнення обсягу більше у другого варіанта компонування, отже, у нього обсяг використовується більш ефективно.

Як вихідне компонування блоку вибираємо другий варіант, так як у нього елементи більш доступні (легше здійснювати ремонт) і коефіцієнт заповнення обсягу більше.

3.2.2 Розрахунок друкарського монтажу

Двостороння друкована плата розміром 30×50 виконана комбінованим позитивним методом зі склотекстоліту фольгованого СФ-2Н-50Г-1.5 (ГОСТ 10316-78) за третім класом точності.

Основні технічні параметри друкованої плати:

- товщина плати, мм 1.5;

-максимальний струм, що протікає по провідникам живлення, Imaxп, мА100;

- товщина фольги h, мм 0.05;

- допустима щільність струму ідоп, А/мм2
38;

- допустиме падіння напруги на провіднику Uдоп,
0.05;

- питомий опір друкованого провідника ρ, Ом·мм2/м 0.0175;

- максимальна довжина друкованого провідника l, м 0.06;

- крок координатної сітки, мм 1.25.

Основні конструктивні параметри друкованих плат для третього класу точності (ДСТУ 23751-86):

- мінімальне значення номінально ширини провідника t1min, мм
0.15;

- номінальна відстань між провідниками S, мм 0.15;

- допуск на ширину провідника без покриття Δt, мм ±0.03;

- допуск на розташування отворів δd, мм 0.05;

- допуск на розташування контактних майданчиків δр, мм 0.15;

-допуск на отвір Δd, мм –0.1 ÷ +0.05;

- допуск на розташування провідників на ДПП δl, мм 0.03;

- гарантійний поясок bм, мм

0.05.

3.2.3 Розрахунок ширини провідника по постійному та змінному струму

Розрахунок ведеться визначення стабільності роботи друкованих провідників, отже і друкованої плати.

Мінімальна ширина друкарського провідника по постійному струму для ланцюгів живлення та заземлення

$$b_{\min n1} = \frac{I_{\max n}}{i_{доп} \cdot h},$$

де Imaxп - максимальний постійний струм;

iдоп - допустима щільність струму, А/мм2;

h – товщина провідника, мм.

$$b_{\min} = \frac{0.1}{38 \cdot 0.05} = 0.052 мм.$$

Мінімальна ширина провідника живлення, виходячи з допустимого падіння напруги на ньому

$$b_{\min n2} = \frac{I_{\max n} \rho \cdot l}{U_{доп} h},$$

де ρ - питомий опір, Ом·мм2/м;

l – довжина провідника, м;

Uдоп - допустиме падіння напруги, В.

$$b_{\min} = \frac{0.1 \cdot 0.0175 \cdot 0.06}{0.05 \cdot 0.05} = 0.042 мм.$$

Для того, щоб визначити стабільність роботи друкованих провідників, а отже і всієї друкованої плати, необхідно, щоб ширина друкованих провідників була більшою за розраховані мінімальні значення ширини друкованого

провідника по постійному струму bmin1 і ширини друкованого провідника, виходячи з допустимого падіння напруги на ньому bmin2.

Виходячи з технічних можливостей виробництва плат за четвертим класом точності, ширина сигнального провідника дорівнює 0.15 мм. Це значення більше ніж bminc1 і bminc2. Вибираємо ширину провідників b = 2 мм. Це значення більше, ніж bminп1 та bminп2.

Розрахунок по змінному струму не проводиться через низьку частоту роботи схеми, тобто впливом паразитних ємностей і індуктивностей провідників можна знехтувати.

3.2.4 Конструктивно-технологічний розрахунок

Номінальне значення діаметрів монтажних отворів

$$Д = Двив + |\Delta dн.о.| + \Delta з,$$

де Д вив - діаметр виведення встановлюваного ЕРЕ, мм;

Δdн.о.- нижнє граничне відхилення від номінального діаметра монтажного отвору, мм;

Δз - різниця між мінімальним діаметром отвору і максимальним діаметром виведення ЕРЕ, її вибирають у межах 0.1...0.4 мм.

Діаметр перехідного отвору:

$$Дmin = Нрас\ \nu = 1.5 \times 0.33 = 0{,}5 \text{ мм.}$$

Отвори для виводів мікросхем, діодів, конденсаторів,

Двив=0.6 мм:

$$Д1 = 0.6 + 0.1 + 0.1 = 8 \text{ мм.}$$

Отвори для виводів резисторів, Двив= 1.0 мм:

$$Д2 = 1.0 + 0.15 + 0.1 = 1.25 \text{ мм.}$$

Максимальний діаметр просвердленого отвору

$$Д_{0max} = Д + \Delta d + (0.1...0.15),$$

де Δd - допуск на отвір, мм.

$$Д_{0max1} = 0.8 + 0.05 + 0.1 = 0.95 \text{ мм;}$$

$$Д_{0max2} = 1.25 + 0.1 + 0.1 = 1.45 \text{ мм;}$$

Мінімальний діаметр контактного майданчика для оплавлюваного покриття олово-свинець:

$$Д_{\min} = 2 \cdot (b_м + \frac{Д_{0\max}}{2} + \delta_d + \delta_p) + 1.5 \cdot h_ч,$$

де bм - гарантійний поясок, мм;

δd и δр - допуски на розміщення отворів контактних майданчиків, мм.

$$Д_{\min 1} = 2 \cdot (0.05 + \frac{0.95}{2} + 0.05 + 0.15) + 1.5 \cdot 0.05 = 1.525 \approx 1.53 мм;$$

$$Д_{\min 2} = 2 \cdot (0.05 + \frac{1.45}{2} + 0.05 + 0.15) + 1.5 \cdot 0.05 = 2.025 \approx 2.03 мм.$$

Максимальний діаметр контактного майданчика:

$$Дmax = Дmin + (0.02 \ldots 0.06);$$

$$Дmax1 = 1.53 + 0.02 = 1.55 \approx 1.6 \text{ мм};$$

$$Дmax2 = 2.03 + 0.02 = 2.05 \approx 2.1 \text{ мм}.$$

Мінімальна ширина провідника:

$$tmin = t1\ min + 1.5hч + \Delta t,$$

де t1min - мінімальне значення номінальної ширини провідника, мм;

Δt - допуск на ширину провідника, мм;

$$tmin = 0.15 + 1.5 \cdot 0.05 + 0.03 = 0.255 \text{ мм}.$$

Максимальна ширина провідника

$$tmax = tmin + (0.02 \ldots 0.06);$$

$$tmax = 0.255 + 0.04 = 0.295 \approx 0.3 \text{ мм}.$$

Мінімальна відстань між провідником та контактним майданчиком

$$S_{\min} = L_э - \left[\left(\frac{Д_{\max}}{2} + \delta p \right) + \left(\frac{t_{\max}}{2} + \delta l \right) \right],$$

де Lэ - Відстань між центрами аналізованих елементів, мм;

δl - допуск на розташування провідника, мм.

$$S_{\min 1} = 1.25 - \left[\left(\frac{1.6}{2} + 0.15 \right) + \left(\frac{0.3}{2} + 0.03 \right) \right] = 0.12 мм;$$

$$S_{\min 2} = 2.5 - \left[\left(\frac{2.1}{2} + 0.15\right) + \left(\frac{1}{2} + 0.03\right)\right] = 0.77 мм$$

.

Результати розрахунку показують, що відстані між елементами провідного малюнка більше мінімально допустимих.

Мінімальна відстань між провідниками

Smin1 = L3 – (tmax + 2 δl) = 1.25 – (0.3 +2·0.03) = 0.94 мм;

Мінімальна відстань між двома контактними майданчиками:

$$S_{\min} = L_3 - (Д_{\max} + 2\delta p) = 2.5 - (1.6 + 2 \cdot 0.15) = 0.6 мм;$$

$$S_{\min} = L_3 - (Д_{\max} + 2\delta p) = 2.5 - (2.1 + 2 \cdot 0.15) = 0.1 мм.$$

Мінімальна відстань між двома контактними майданчиками металізованих отворів, необхідна для проведення між ними проводника

$$S_{\min} = 0.5(Д_{1\max} + Д_{2\max}) + 2\delta_р + (t_{\max} + \delta_l)N_л + S(N_л + 1);$$

де Nп – число провідників у магістральному каналі, що дорівнює одиниці;

S – номінальна відстань між провідниками, 0.15 мм

$$S_{\min} = 0.5(1.5 + 1.5) + 2 \cdot 0.15 + (0.3 + 0.03)1 + 0.15(1 + 1) = 2.43 мм.$$

Мінімальна відстань між провідником живлення та сигнальним провідником

$$S_{\min} = L_Э - \left(\frac{t_{\max}}{2} + \frac{b}{2} + 2 \cdot \delta_l\right) = 2 - \left(\frac{0.3}{2} + \frac{2}{2} + 2 \cdot 0.03\right) = 0.79 мм.$$

Таким чином, параметри друкованого монтажу відповідають вимогам, що висуваються до плат третьогоо класу точності.

3.2.5 Розрахунок електричних параметрів друкованої плати

Ємність між провідниками при їх паралельному взаємному розташуванні

$$C = \frac{0.12 \cdot E_к \cdot l}{\lg \frac{2a}{b + h}},$$

де Er = 8.85 пФ/м – діелектрична проникність середовища;

l = 7 мм – довжина близько розташованих провідників;

a = 1.25 мм – відстань між провідниками;

b = 0,3 мм – ширина провідника;

h = 0.05 мм – товщина фольги.

$$C = \frac{0.12 \cdot 8.85 \cdot 0.007}{\lg \frac{2 \cdot 1.25}{0.3 + 0.05}} = 0.0087 пФ$$

.

За інших варіантів значення ємності менше отриманого.

Власна індуктивність паралельних провідників

$$L = 0.0002 \cdot l \cdot (\lg \frac{2 \cdot l}{h + b} + 0.2235 \cdot \frac{h + b}{l} + 0.5)$$

;

$$L = 0.0002 \cdot 7 \cdot (\lg \frac{2 \cdot 7}{0.05 + 0.3} + 0.2235 \cdot \frac{0.05 + 0.3}{7} + 0.5) = 0.003 мкГн$$

.

Взаємоіндуктивність провідників розраховується за умови

$$l >> 10(b_1 + b_2 + a)$$

,

де b1 = 0.3 мм – ширина першогоо провідника;

b2 = 0.3 мм – ширина другого провідника;

a = 1.25 мм – відстань між провідниками.

Так як l не набагато більше за розраховане значення (18,5 мм), тобто, умова не виконується, то взаємоіндуктивність на провідники впливає незначно.

Трасування, одержання креслень і конструкторської документації виконано на ЕОМ за допомогою системи автоматизованого проектування.Креслення друкованої плати й складальне креслення представлені на рисунках 3.1, 3.2.

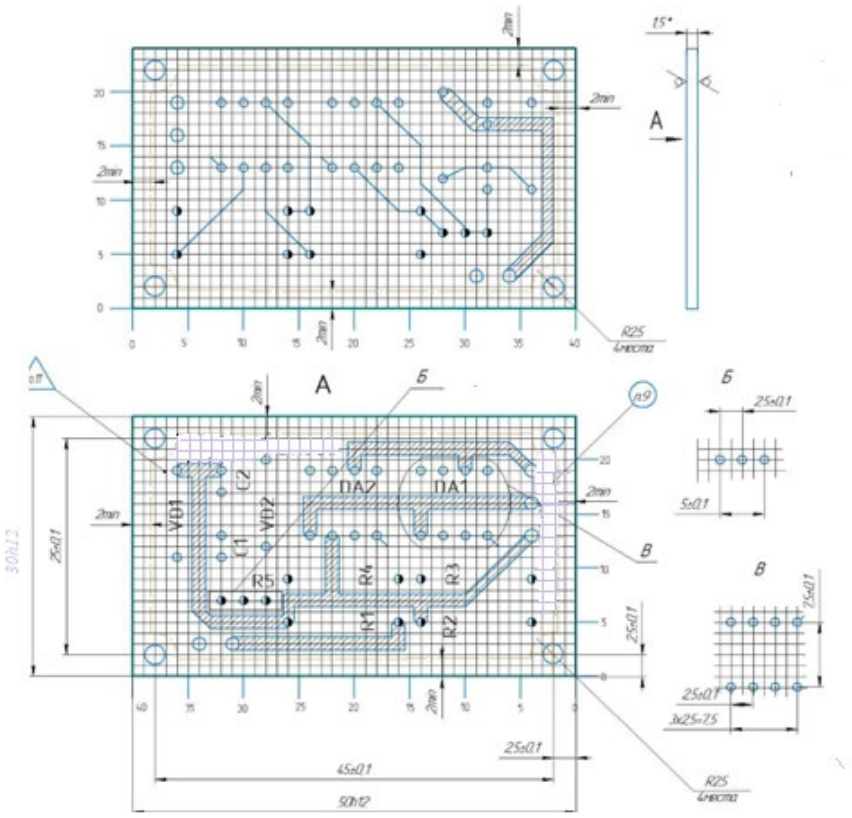


Рисунок 3.1 – Трасування провідників

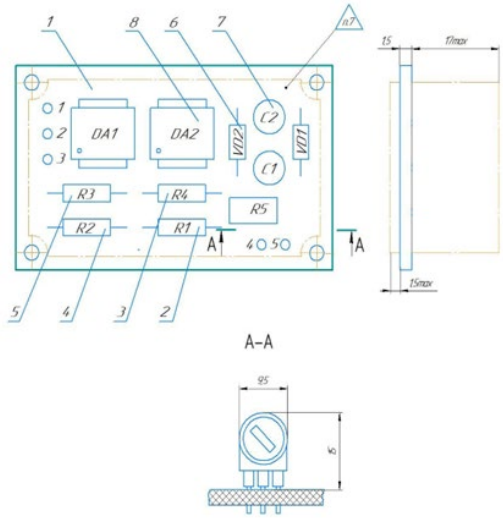


Рисунок 3.2 – Складальне креслення підсилювача

3.3 Остаточна розробка конструкції пристрою

Розроблений пристрій є блоком і відноситься до другого рівня конструктивної складності.

Пристрій має форму прямокутного паралелепіпеда розміром 50×80×50 мм, усередині якого розташований друкована плата підсилювача розміром 30×50×17 мм і модуль комутації (що складається з трьох роз'ємів) розміром 15х7х60 мм.

Корпус пристрою має форму прямокутного паралелепіпеда і виготовлений з міцного полістиролу методом лиття під тиском. Корпус складається з двох частин: основи (дна), виконаної за одне ціле з бічними панелями, та кришки, виконаної як єдине ціле з лицьовою та задньою панелями.

Основа і кришка пристрою з'єднуються за допомогою гвинтів, які вкручуються в різьбові стійки, виконані як одне ціле з основою. Ніжки виконані як одне з дном. На підставі корпусу встановлюється друкована плата основного модуля на стійках, що є частиною корпусу, з різьбовими отворами під гвинти. Кнопка кріпиться до внутрішньої сторони кришки гвинтами і гайками. Фіксація кнопки на відстані від кришки провадиться за допомогою втулок. На лицьовій панелі просвердлено одне прямокутне віконце для кнопки і два отвори для кріплення цих кнопок. На бічних та лицьовій панелях корпусу просвердлено по два отвори під гвинти для кріплення роз'єму підключення з датчиком вібрації, живленням підсилювача та вимірювальним приладом.

Основний модуль виконаний у вигляді комірки, що несе конструкцією якої є двостороння друкована плата розміром 30×50 мм, і відноситься до першого рівня конструктивної складності. Друкована плата виготовлена комбінованим позитивним методом, матеріал для виготовлення – склотекстоліт.

Зв'язок між радіоелементами здійснюється друкованим монтажем, електричні з'єднання виконуються за допомогою паяння. З'єднання виводів друкованої плати з модулем комутації здійснюється об'ємним монтажем (проводом з поліхлорвінілової ізоляцією). Джгут в'язати капроновою крученою ниткою. Місця паяння ізолювати поліхлорвінілової трубкою.

Корпус пристрою має бути світлого кольору. Забарвлення проводиться шляхом додавання до маси полістиролу відповідного барвника під час лиття корпусу. Для захисту від атмосферних впливів друковані плати покриваються безбарвним лаком.

Складальне креслення пристрою для вимірювання вібрації представлено на рисунку 3.3.

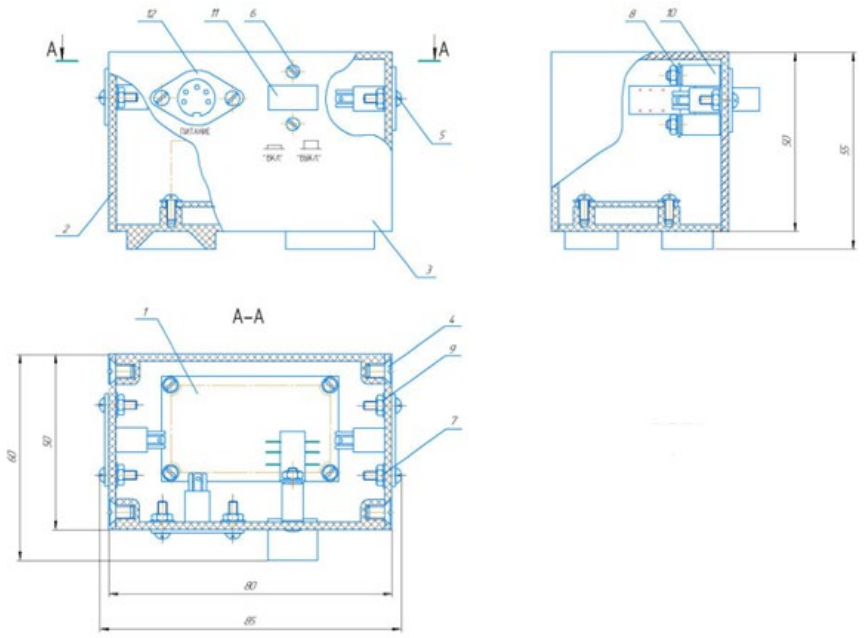


Рисунок 3.3 – Складальне креслення пристрою

3.4 Розрахунок теплового режиму

Тепловий режим блоку характеризується сукупністю температур окремих його точок.

Визначимо умовну поверхню нагрітої зони Sз, м2 для повітряного охолодження:

$$Sз = 2\cdot(ab + (a + b)h\cdot Kз.о),$$

де a,b,h – геометричні розміри блока, м;

Кз.о – коефіцієнт заповнення обсягу;

a = 50·10-3 м;

b = 80·10-3 м;

h = 50·10-3 м.

Sз = 2(50·10-3·80·10-3+(50·10-3+8·10-3) ·50·10-3·0.442) = 14·10-3 м2.

Визначимо питому потужність нагрітої зони q3, Вт/м2, як кількість теплоти, що розсіюється з одиниці площі

$$q3 = Q/S3,$$

Максимально-можливий струм, що споживається пристроєм, як видно зі схеми електричної принципової, не перевищить 100 мА.

$$Q = I \cdot U = 100 \cdot 10\text{-}3 \cdot 9 = 0.9 \text{ Вт},$$

де Q = 0,9 Вт – потужність, що розсіюється блоком.

qз = 0.9 / 14·10-3 =64.2 Вт/м2.

Визначимо температуру зони. Приймемо температуру зони Тз = 550С. Вона не досягає максимального значення робочої температури елементів наведеного в пункті 1.2. Нормальна температура навколишнього середовища, при якій працює пристрій Тс = 20 0С. Тоді різниця температур t визначатиметься за формулою:

$$\Delta t = Тз\text{-}Тс = 55\text{-}\ 20 = 35\ 0С.$$

Для вибору способу охолодження використовуємо графік наближеного визначення необхідного способу охолодження приладу (рисунок 3.4). З графіка видно, що прилад відноситься до зони 1', отже, для блоку, що розробляється вентиляція не потрібна.

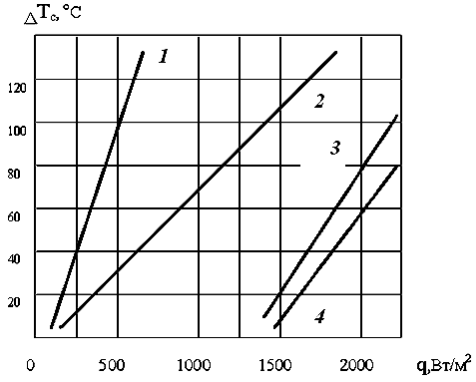


Рисунок 3.4 - Графік наближеного визначення способу охолодження приладу

1, 2, 3 – для вертикального розташування блоків;

1′, 2′, 3′ - для горизонтального розташування блоків;

1-1′ - без вентиляції;

2-2′ - природна вентиляція;

3-3′ - примусова вентиляція.

4 РОЗРАХУНОК СПЕЦІАЛЬНОГО ВИСОКОВОЛЬТНОГО ПІДСИЛЮВАЧА

4.1 Загальні відомості про високовольтний підсилювач

Історично першими розробками в галузі отримання високої напруги були некеровані випрямлячі змінної напруги, призначені для живлення різних пристроїв. Така схема не могла забезпечити хорошої якості випрямленої високої напруги. Низька частота опорної напруги обумовлювала великі габарити і вага практично всіх елементів структури.

Дія високовольтних підсилювачів ґрунтується на наступному принципі дії. Низькочастотна напруга від джерела опорної напруги випрямляється низьковольтним випрямлячем, і подається для живлення конвертора, який виробляє високочастотні коливання, що надходять через високовольтний трансформатор на помножувач напруги.

Достоїнствами високовольтних підсилювачів, що розробляються, є малі габарити і вага, а також можливість плавного регулювання вихідної напруги з великим коефіцієнтом посилення по потужності. Зміна вагогабаритних параметрів відбувається за рахунок високої частоти, а плавна зміна вихідної напруги можлива завдяки використанню в конверторах регульованих елементів: ламп, транзисторів, тиристорів.

Всі різновиди високовольтних підсилювачів обумовлені різницею або у схемах конверторів, або у конструкціях трансформаторів, або у схемах помножувачів напруги.

Область застосування високовольтних підсилювачів є блок живлення електронно-променевих трубок, моніторів ЕОМ, телеіндикаторів рекламних щитових табло, приладів рентгенодіагностики, нейтралізатори статичної електрики на нафтоналивних танкерах.

4. 2 Розрахунок високовольтного підсилювача

Розрахунок високовольтного підсилювача напруги ведемо за методикою академіка Власова В.В.

Вихідні дані:

Потужність джерела на виході на високій стороні P=17 Вт

Висока вихідна напруга в навантаженні Uвих = 8 кВ

Число ступенів множення n=3

Робоча частота f = 6250 Гц

5.2.1 Розрахунок підсилювача.

Вихідний струм у навантаженні

Івых = P/Uвых = 17/ 8000 = 2,125 . 10-3 А,

За кількістю каскадів множення визначаємо необхідну напругу висококовольтного трансформатора

Uт = Uвых/n = 8000/ 3 = 2 666 В,

Оскільки передбачається використання стандартного високовольтного трансформатора, то в якості базових вибираємо параметри трансформатора вихідний рядкової розгортки ТВС-90ЛЦ2-1.

Паспортні данні

Ртр=110 Вт; Uтр=4,5кВ; fраб=6250 Гц; Lтр=1,68Гн.

Кількість послідовно включених за вторинною обмоткою висококовольтних трансформаторів.

Nтр = Uт/Uтр = 2,666 кВ/4,5 кВ = 0,59

Приймаємо Nтр = 1.

Таким чином, будемо вважати, що послідовно включених трансформаторів у схемі три, і на кожному з них необхідно мати істинну вихідну напругу рівну.

Uист = Uт/Nтр = 2,666 кВ/1 =2,666 кВ,

На кожному з послідовно включених трансформаторів включається помножувач напруги з числом каскадів рівним двом.

Обчислюємо ємності кожного помножувача напруги у погодженому режимі. Будемо вважати, що трансформатор ТВС-90ЛЦ2-1 поки працює віч-на-віч каскад помножувача напруги.

$$Ci = 2n+1-i / 4\pi 2f2Lтр,$$

де n - число каскадів, і - порядковий номер конденсатора.

Знаємо,що С1 = С2.

С1 = С2 = 23+1-1/4×π2× 62502× 1,68 =23/2,589×109=3090×10-12Ф,

С3 = 1545×10-12 Ф,

Отримане значення ємності конденсаторів складають так звану верхню межу вилки ємностей помножувача напруги.

Розрахуємо необхідну потужність трансформаторного блоку, який живить помножувач напруги в узгодженому режимі.

Ртр = (Uист)2×С1×f×(27,6 - 6×23-n - 1,2(0,25)(n - 1)/2) =

= (2666)2×3090×10-12×6250×(27,6 - 6 . 20 - 2,52× 0,252) = 2924 Вт

Оскільки потужність блочного трансформатора значно перевищує потужність обраного ТВС-90ЛЦ2-1 узгоджений режими принципового техніко-економічно марнотратний і від нього за рахунок зниження ємності конденсаторів.

Порахуємо коефіцієнт корисної дії використання блочного трансформатора під час харчування помножувача напруги.

$$\eta_{не} = \frac{0,91 - 0,66(0,25)^{\frac{n-1}{2}}}{27.6 - 6(2)^{3-n} - 1.2(0.25)^{\frac{n-1}{2}}} = 0,04$$

Отриманий коефіцієнт корисної дії відображає частку потужності блочного трансформатора, який надходить через нього навантаження.

Вважаємо потужність кожного трансформаторного блоку за формулою.

Ртр бл=Р/Nтр=17/1=17 Вт

Розрахуємо потужність кожного блокового трансформатора.

$$Рбл=Ртр\ бл/\eta=17/0,035=485,7\ Вт$$

Оскільки потужність обраного трансформатора 110 Вт, то одного трансформатора мало, є два методи вирішення проблеми: або вибирати інший живильний трансформатор, або паралельно включати кілька трансформаторів.

Вибираємо другий шлях.

Вважаємо кількість трансформаторів у кожному блоці.

$$nтр\ твс = Рбл/Ртр = 4,41$$

Обираємо nтр твс=5.

Порахуємо потужність накачування від низьковольтного конвертора в кожному трансформаторі блоку за формулою

$$Ртр\ инд = Р\ бл/\ nтр\ твс = 485,7/\ 5 = 97,14\ Вт$$

Оскільки отримали потужність менше 110 Вт, виходячи з рекомендацій як генератор накачування, вибираємо мультивібратор Ройра.

На розрахункову блокову потужність порахуємо потужність помножувача напруги.

$$C1 = Ртр\ инд\ /U2\ ист \times f(27,6-6\times 23-n-1.2\times 0.25(n-1)/2) = 513,3\times 10\text{-}12\ Ф,$$

$$C1 = C2$$

$$C3 = 256,65\times 10\text{-}12\ Ф,$$

Отримані значення ємностей відповідають блокової потужності трансформатора, але не в чисто узгодженому режимі, а з відходом від нього і становлять нижню межу значень ємностей.

Узгоджений режим.

$$C1=C2=3090\ пФ > C1=C2 > 513,3пФ;$$

$$C3=1545\ пФ > C3 > 256,65\ пФ;$$

Оскільки визначальним фактором є потужність блоку трансформаторів, то вибираємо праве значення вилки, але оскільки номінали не стандартні, конденсатори набираються у вигляді батарей послідовно-паралельно включених стандартних конденсаторів.

Набираємо батарею конденсаторів.

Вибираємо ємність типу К15-4 з номінальною напругою.

$$Uc >= 2\times Uтр = 6,00\ кВ,$$

Набираємо батареї конденсаторів.

C11=250 пФ, C12=250 пФ, C13=15 пФ.

C21=250 пФ, C22=55 пФ.

Вибираємо високовольтні діоди для помножувача напруги за двома параметрами:

прямий струм за формулою

$$I_{тр} \geq \frac{P^{б}_{тр}}{U^{б}_{тр}} = \frac{485,7}{2666} = 0,182\ A$$

,

пробійна напруга

Uобр ≥ 2×Uист = 2×2666 = 5332 В.

Виходячи з довідкових матеріалів, вибираємо Д1007 в сухому виконанні з параметрами. Uобр=8 кВ, I=30 А

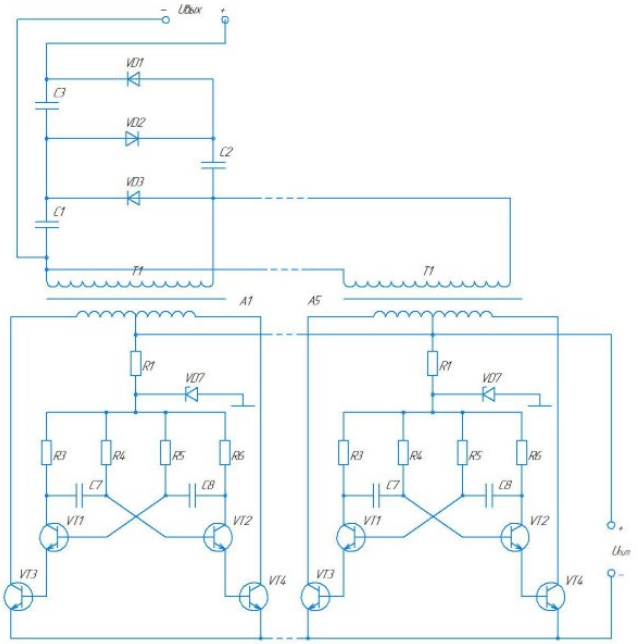


Рисунок 4.1 – Схема електрична принципова високовольтного підсилювача напруги

5 ПОВНОГЛИБИННИЙ ОПИС ПРИСТРОЮ ВИМІРЮВАННЯ ВІБРАЦІЇ

Однією з актуальних проблем сучасної техніки є вимірювання параметрів вібрацій, ударів та шумів. Сьогодні не можна назвати практично жодного об'єкта контролю або виробничого процесу, який не відчував би вплив вібраційних, ударних або акустичних навантажень. Дослідження коливальних процесів становлять великий інтерес всім галузей народного господарства. Вже тривалий час розробляються способи боротьби зі шкідливим впливом вібрацій, ударів і шумів у техніці та природі.

Знаходження способів виявлення дефектів, що зароджуються, не перериваючи роботу обладнання є важливим завданням, що забезпечує підвищення конкурентоспроможності продукції на ринку і економічної ефективності виробництва.

Впровадження пристрою вимірювання вібрації у виробництві значно підвищить ефективність використання технологічного обладнання та дозволить виключити такі заходи, як плановий ремонт.

5.1 Основні технічні риси

Область застосування пристрою вимірювання вібрації застосовується для електромашин і механізмів для раннього виявлення їх несправності. Застосування цих приладів на виробництві дозволяє зменшити час на визначення несправностей, а також уникати простою технологічного обладнання через проведення планових оглядів і ремонтів, проводячи ремонтні роботи по фактичному стану обладнання. Впровадження даного пристрою дозволяє уникнути аварійних режимів роботи технологічного обладнання через дефектів, що швидко розвиваються, так як проводиться постійний моніторинг його працездатності. Вона дозволить забезпечити високу ефективність і конкурентоспроможність виробництва шляхом скорочення часу простою

технологічного обладнання та постійного спостереження за його фізичним станом. Такі якості, а також досить низька вартість пристрою залучають покупців, забезпечуючи високий попит на цю продукцію.

Основні технічні характеристики пристрою:

- напруга живлення, 9;
- споживаний струм, А 0,05;
- частотний діапазон, Гц 50 ÷ 1000;
- діапазон робочих температур, 0С -30÷+50;
- робоча вологість, % 35-80;
- атмосферний тиск, кПа 86-106;
- габаритні розміри, мм 70х80х60;
- маса, кг, трохи більше 0,5;

Розроблений виріб призначений для використання по IV категорії умов експлуатації (закриті, опалювані та вентильовані приміщення).

Напрацювання на відмову 5-10 тисяч годин, інтенсивність відмов 10-4-10-9 год-1.

5.1.1 Комплект поставки.

Пристрої виміру вібрації, шт 1;

Посібник з експлуатації (з гарантійним та відривними талонами та електричною схемою), шт 1;

П'єзоелектричний датчик ДН4, шт 1;

Паспорт п'єзоелектричного датчика, шт. 1;

Кабель оплетковий зі штекером, шт. 1;

Роз'єм для п'єзоелектричного датчика, шт. 1;

Запобіжник, шт. 1;

Індивідуальна пакувальна тара, шт. 1;

5.1.2 Порядок роботи.

1 – кнопка включення живлення;

2 – знімна кришка місця встановлення живлення;

3 - гніздо для вимірюваного сигналу;

4 – штекер;

5 - кабель оплетковий;

6 – п'єзоелектричний датчик;

7 - роз'єм для п'єзоелектричного датчика;

8 – вимірювальний прилад;

9 – роз'єм для підключення зовнішнього джерела живлення

10 – запобіжник

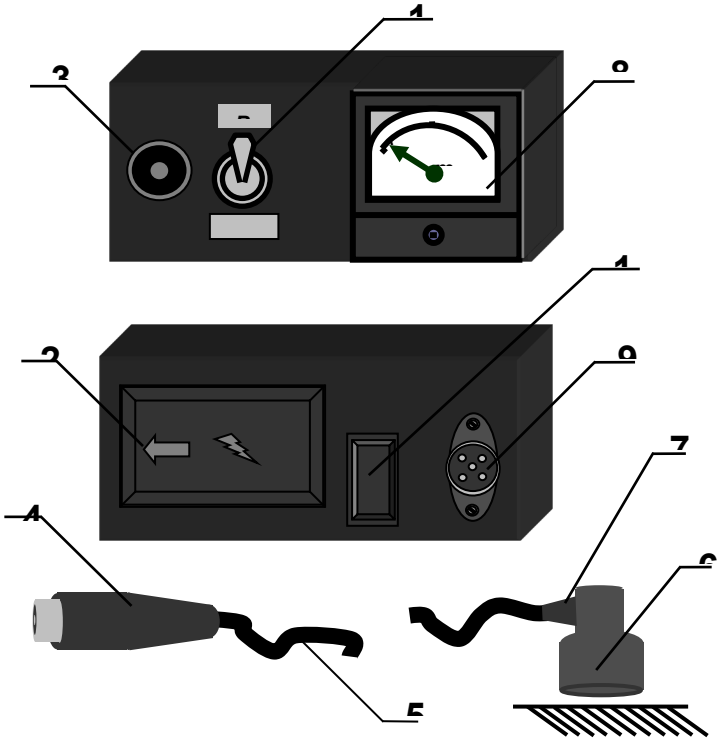


Рисунок 6.1 - Пристрій вимірювання вібрації

Встановіть датчик вібрації 6 на досліджуваний об'єкт чи пристрій. Методи та правила встановлення, а також технічні характеристики п'єзоелектричний датчик ДН–4, зазначені в його паспорті, що додається в комплект поставки. З'єднайте гніздо 7 з п'єзоелектричним датчиком.

Вставте штекер 4 у гніздо для вимірюваного сигналу 3. Перемістіть перемикач живлення 1 на лицьовій панелі у положення «Увімк.» і вимірювальний прилад 8 буде показувати інформацію про вібрації на досліджуваному об'єкті.

5.1.3 Вказівки заходів безпеки.

При експлуатації та ремонті пристрою вимірювання вібрації небезпеки для життя та здоров'я користувача, даний пристрій не несе. Ця властивість обумовлена тим, що віброметр використовує автономне джерело живлення, що складається з двох батарей. Небезпека ураження електричним струмом може виникнути в тому випадку, якщо користувач захоче підключити зовнішнє джерело живлення через відповідний роз'єм 9.

Роз'єм для підключення зовнішнього джерела живлення 9, призначений для введення в пристрій постійного електричного струму напругою живлення не перевищує 15 В. У цьому випадку небезпека ураження електричним струмом, виходить від зовнішнього джерела живлення і користувачеві необхідно дотримуватися запобіжних заходів.

5.1.4 Технічне обслуговування

Роботи з технічного обслуговування проводяться з метою забезпечення нормальної роботи і збереження параметрів пристрою протягом усього терміну експлуатації. Користувач повинен поводитися з системою відповідно до цієї інструкції. У разі неправильного використання звернутись до представника нашої фірми.

Гарантії виробника дійсні лише за умови проведення профілактичних робіт.

Періодичність робіт з технічного обслуговування встановлюється підприємствами, що експлуатують вібровимірювач, з урахуванням інтенсивності його експлуатації, але не рідше одного разу на рік.

До складу профілактичних робіт з технічного обслуговування входять:

1 – зовнішній огляд пристрою, очищення його від пилу, бруду, видалення слідів вологи;

2 – перевірка справності роз'ємів та кнопки включення живлення;

3 – перевірка комплектності пристрою, своєчасний ремонт кабелів;

4 - перевірка збереження та стану батарей (заміна джерел живлення здійснюється один раз на квартал або за необхідності);

5 – перевірка працездатності та точності показань вимірювального приладу;

У разі несправності або поломки системи зверніться до виробника пристрою або до його філії (також можна звернутися до дилерів виробника).

5.1.5 Транспортування пристрою

Пристрої вимірювання вібрації в упаковці транспортується будь-яким видом закритого транспорту, в тому числі і повітряним транспортом в опалювальних герметизованих відсіках, відповідно до правил перевезення вантажів, що діють на кожному виді транспорту.

5.1.6 Правила зберігання

Пристрій повинен знаходитись у приміщенні при температурі повітря від 5 до 40°С та відносній вологості 80%. У повітрі не повинно бути домішок агресивних парів та газів. Пристрій повинен бути доступним лише особам, які працюють з ним.

Упаковка пристрою вимірювання вібрації забезпечує збереження перетворювачів при зберіганні та транспортуванні.

Упаковування проводиться в закритих вентильованих приміщеннях при температурі навколишнього повітря від 15 до 40 оС та відносній вологості до 80 % за відсутності в навколишньому середовищі агресивних домішок

При появі проблем пов'язаних з незадовільною роботою джерела живлення перед зверненням до фахівців ремонтного підприємства, пропонується уважно прочитати рекомендації наведені в таблиці.

5.1.7 Ринковий опис пристрою вимірювання вібрації.

Однією з актуальних проблем сучасної техніки є вимірювання параметрів вібрацій, ударів та шумів. Знаходження способів виявлення дефектів, що зароджуються, не перериваючи роботу обладнання є важливим завданням, що забезпечує підвищення конкурентоспроможності продукції на ринку та економічної ефективності виробництва.

Впровадження пристрою вимірювання вібрації у виробництві значно підвищить ефективність використання технологічного обладнання та дозволить виключити такі заходи, як плановий ремонт.

6 ВПЛИВ ВІБРАЦІЇ НА ЛЮДСЬКИЙ ОРГАНІЗМ

6.1 Дія вібрації на людину

Темою дипломної роботи є розгляд первинних віброперетворювачів, таких як п'єзоелектричні датчики, в системі діагностування механічних коливань. Інерційні сили, що виникають при вібраціях і ударах, можуть викликати напруги, що перевищують межу міцності конструкції, або відносні переміщення деталей у неприпустимих межах. Особливе місце у виробництві займає оцінка умов праці за вібраційним фактором, тобто впливу вібрації на людський організм.

Внаслідок цього в рамках дипломної роботи, необхідно розглянути дію вібрації на людину та методи боротьби з нею у виробництві.

Виробничою вібрацією прийнято називати найбільш поширений вид механічних коливань, обумовлений роботою машин і агрегатів. Внесок машинобудівних підприємств у це негативне явище дуже значний і за кількістю випадків захворювань на вібраційну хворобу, і за контингентом робочих вібронебезпечних професій, що збільшився в останні роки. Особливої уваги в цьому відношенні заслуговують умови праці формувальників, обрубувачів лиття, слюсарів механозбірних робіт, клепальників, операторів ковальсько-пресового та іншого віброактивного обладнання.

Проблема захисту від вібрації існує практично на кожному машинобудівному підприємстві, з одного боку, по відношенню до продукції, а з іншого, у зв'язку з необхідністю захисту виробничих об'єктів і поліпшення умов праці працюючих. Її успішне рішення багато в чому залежить від вмілого використання прийомів управління коливальними процесами, що виникають в машинах, реалізації ефективних способів та засобів віброзахисту.

З цієї точки зору виробничу вібрацію доцільно підрозділяти на контактну і неконтактну. Це розмежування має важливе, практичне значення в оцінці вібронебезпечності праці і є однією з умов виявлення вібронебезпечних машин.

Вплив вібрації на людину класифікують: за способом передачі коливань, за напрямом дії вібрації, за тимчасовою характеристикою вібрації.

Знання механізму та наслідків впливу вібрації на організм людини необхідно фахівцям і лікарям для того, щоб передбачати надійні заходи віброзахисту людини-оператора та здійснювати профілактичні та лікувальні заходи.

Виробнича вібрація, маючи широкий частотний діапазон (від десятих часток до кількох тисяч Герц) коливань, впливає за допомогою подразнення периферичних нервових закінчень у місцях контакту, викликаючи зміну як фізіологічного, так і функціонального стану організму людини.

За певних умов дія вібрації стає небезпечною для здоров'я працюючих, знижуються продуктивність і якість праці, може виникнути професійне захворювання, зване вібраційною хворобою. Загальна характеристика негативного впливу вібрації на працюючих наведена в таблиці.

Подальші дослідження показали, що систематичний вплив виробничої вібрації обумовлює судинні порушення, суттєві зрушення у функціональному стані різних систем організму. В основі цих порушень лежать рефлекторні впливи, що надаються вібрацією на нервову систему, особливо її вегетативні відділи.

Встановлено, що вібрація є подразником периферичних нервових закінчень, розташованих на ділянках тіла людини, що сприймають зовнішні коливання. Внаслідок впливу вібрації виникають нервово-судинні розлади, ураження косно-суглобової та інших систем організму. Відзначаються, наприклад, зміни функції щитовидної залози, сечостатевої системи та інші захворювання.

Сучасна медицина розглядає виробничу вібрацію як потужний стрес-фактор, що надає негативний вплив на психомоторну працездатність, емоційну сферу і розумову діяльність людини, що підвищує ймовірність виникнення різних захворювань і нещасних випадків. Особливо небезпечний тривалий вплив вібрації для жіночого організму. Цей широкий комплекс патологічних відхилень, викликаних впливом вібрації на організм людини, і названий вібраційною хворобою.

Прийнято розрізняти дві основні форми вібраційної хвороби: периферичну, що виникає від впливу вібрації на руки, і церебральну, що виникає від переважного впливу вібрації на весь організм людини. Можлива також змішана форма, від сукупного впливу загальної та локальної вібрації.

Вібраційна хвороба може тривалий час протікати компенсовано, коли хворі зберігають працездатність і не звертаються за лікарською допомогою. З часом систематичний вплив вібрації зумовлює посилення хвороби, яка може мати три стадії (ступеня).

Єдина класифікація вібраційної хвороби, розроблена на основі сучасних уявлень про це захворювання. В основу класифікації покладено синдромний принцип, і виділяються три стадії прояви вібраційної хвороби: початкова (1 стадія), помірковано виражена (2 стадія) і виражена (3 стадія).

Необхідно мати на увазі, що вібраційна хвороба відноситься до групи професійних захворювань, ефективне лікування яких можливе лише на ранніх стадіях.

Робітники вібронебезпечних професій машинобудівних підприємств працюють, як правило, у складних виробничих умовах, де крім вібрації мають місце й інші, шкідливі та небезпечні фактори.

6.2 Засоби призначені для захисту від загальної вібрації

Ці засоби призначені для захисту від загальної вібрації, встановлюють їх безпосередньо на робочих майданчиках, тобто на тих обмежених ділянках робочих місць, де в основному знаходиться людина-оператор, що виконує роботу.

Робочі майданчики стаціонарних робочих місць розташовують у безпосередній близькості від знарядь і предметів праці (у металообробних верстатів, формувальних машин, пресів і так далі). Такими майданчиками служать зазвичай ділянки підлоги, фундаменти машин або нерухомі частини самих машин та інших конструкцій.

Загальна вібрація робочих майданчиків сприймається оператором через взуття чи сидіння. Застосування віброзахисних підставок, сидінь, кабін дозволяє зменшити рівні загальної вібрації до безпечних значень.

Віброзахисні підставки є найбільш прийнятними засобами віброзахисту від загальної вібрації при виконанні роботи стоячи. Основною частиною такої підставки служить опорна плита, на якій стоїть оператор. Кошти віброізоляції можуть розміщуватися як зверху цієї плити, так і знизу або з обох боків одночасно. Залежно від прийнятої схеми їхнього взаємного розташування віброзахисні підставки виготовляють з опорними, вбудованими, накладними або комбінованими віброізоляторами (рисунок).

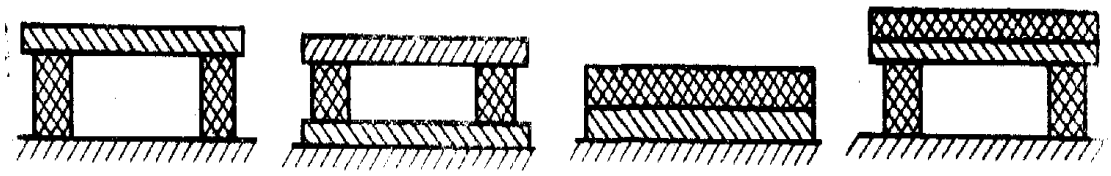


Рисунок 6.1 - Схеми віброзахисних підставок для віброізоляторів:
а) опорного; б) вбудованого; в) накладного; г) комбінованого;

Стаціонарні робочі місця оснащують віброзахисними сидіннями, якщо характер трудових операцій дозволяє оператору виконувати роботу сидячи, а контактна вібрація має небезпечні рівні. Рухливі робочі місця, розташовані на транспортуючих і технологічних агрегатах, що переміщаються, а також транспортних засобах, як правило, оснащують сидіннями, вбудованими в їх конструкції.

Перетворення звичайного сидіння на віброзахисне досягається введенням у його конструкцію засобів віброізоляції. Не відступаючи від загальних ергономічних вимог, окремі конструктивні елементи сидіння замінюють віброзахисними.

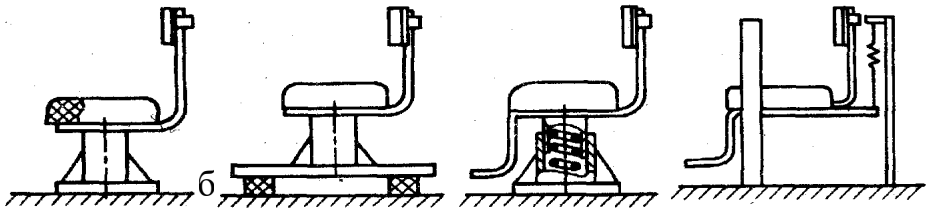
а)  б

Рисунок 6.2 - Віброзахисні сидіння з віброізоляторами:
а–пружна накладка; бпружні опори; - пружини, вбудовані в опору; гпружні підвіски

Принципи розрахунку віброзахисних сидінь ті ж, що використовуються при проектуванні віброзахисних підставок; в розрахункову схему вводяться лише додаткова маса та пружні елементи.

Особливість засобів індивідуального захисту полягає в тому, що вони призначені для використання однією людиною. Вони повинні підбиратися або виготовлятися для кожної окремої людини з урахуванням її антропометричних даних, характеру виконуваної роботи, смакових та естетичних вимог. Основу індивідуального захисту працюючих складає спецодяг: костюми, комбінезони, халати, фартухи та інші її види. Вона захищає тіло людини від впливу шкідливих факторів навколишнього середовища. Доповнюють захист робочі рукавиці та взуття, а також засоби захисту очей, органів дихання та слуху.

Розрізняють два види засобів індивідуального віброзахисту: для рук та ніг (тіла) оператора.

У ряді випадків, при експлуатації окремих зразків техніки, засоби індивідуального віброзахисту служать непоганим додатковим заходом, а іноді єдино можливим і економічно доцільним.

Індивідуальний захист рук від контактної вібрації, що передається оператору, забезпечують за допомогою віброзахисних рукавиць і рукавичок, які одночасно захищають руки від охолодження, забруднення, зволоження та інших факторів виробничого середовища, що посилюють шкідливу дію вібрації.

Необхідно враховувати також, що корисність застосування віброзахисних рукавиць полягає не тільки в зниженні рівнів вібрації, що сприймається рукою,

але і в тепловому ефекті. Утеплення рук обумовлює розширення кровоносних судин та поліпшення їх кровопостачання, що запобігає розвитку віброхвороби.

Віброзахисне взуття виготовляється у вигляді чобіт, напівчобіт і напівчеревиків як чоловічих, так і жіночих, які від звичайного робочого взуття відрізняються наявністю підошви або вкладиша з упругодемпфірующего матеріалу.

Серед основних вимог, що висуваються до віброзахисного взуття, слід виділити такі, як комплексність захисту, тобто забезпечення захисту не тільки від вібрації, а й від інших шкідливих факторів, наприклад пилу, холоду, механічних впливів, виключення ковзання ходової частини підошви та маслостійкість та бензостійкість її матеріалів, гнучкість не більше 28 Н/см, не токсичність матеріалів взуття по відношенню до організму людини; термін носіння не менше шести місяців та інші.

З інших засобів індивідуального віброзахисту, що застосовуються в умовах машинобудівного підприємства слід назвати нагрудники і наколінники. Виконуються вони у вигляді прокладок з упругодемпфуючих матеріалів і кріпляться до відповідних ділянок спецодягу. Під час роботи прокладки розміщуються між поверхнями контакту і ділянками тіла працюючого, що стикаються з цими поверхнями.

ВИСНОВОК

В процесі роботи проведені аналітичний огляд, вибір перетворювача п'єзоелектричного вібровимірювального ДН4, дослідження ефективності його роботи, а також проведено розробку пристрою для вимірювання вібрації.

У ході магістерської роботи було розроблено блок для системи контролю вібрації технологічного обладнання.

Також у проекті зроблено розрахунок високовольтного підсилювача з помножувачем напруги, відображено питання охорони праці з погляду безпеки експлуатації електроустановок.

Результатом магістерської роботи є розроблений блок, який може бути використаний спільно з персональним комп'ютером у галузі машинобудування як потужний діагностичний засіб, що дозволяє здійснювати діагностику та моніторинг стану технологічного обладнання.

Впровадження пристрою вимірювання вібрації у виробництві значно підвищить ефективність використання технологічного обладнання та дозволить виключити такі заходи, як плановий ремонт.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Власов В.В. Основы векторной энергетики (Энергетика векторного взаимодействия потоков) Москва: Буркин, 1999, 124 с.

2. Власов В.В. Школа академика Власова: выпуск 1. М.: Буркин, 1998, 128с.

3. Власов В.В. Школа академика Власова: выпуск 2. М.: Буркин, 1998, 135с.

4. Власов В.В. Расчет высоковольтных усилителей с умножителями напряжения. М.: Буркин, 1998, 96 с.

5. Власов В.В., Фомина Н.Н. Управление и информатика в технических системах. М.: ВВВ, 1996, 64 с.

6. Вашук Д. Б. Основы автоматики и техники Москва: Мир,1992. 372 с.

7. Жорж А.П., Пьер А.Н., Датчики измерительных систем М.: Мир, 1992, 480 с.

8. Васильев Ю. М., Матвеев Ю. И., Палкин П. В. Приборы и системы М.: Профиздат, 1977, 458 с.

9. Быховский И. И., Гольдштейн Б. Г. Основы измерительных систем и их элементов. М.: Мир, 1992, 534 с.

10. Алексеев С. П., Казаков А. М., Колотилов Н. Н. Борьба с шумом и вибрацией в машиностроении. Минск: Машиностроение, 1970, 258 с.

11. Микросхемы. Справочник. Под редакцией Б. В. Тарабрина, М.: Энергоиздат, 1994, 346 с.

12. Бурков В. Н., Кондратьев В. В. Механизмы функционирования организационных систем. М.: Наука, 1981.

13. Модин А. А. Основы разработки и развития АСУ. М.: Наука, 1981

14. Ларичев О. И. Наука и искусство принятия решений.—М.: Наука. 1979.

15. Овсиевич Б. Л. Модели формирования организационных структур. — Л.: наука, 1979.

16. СанПин 2.2.2.542.-96. Санитарные правила и нормы, гигиенические требования к видеодисплейным терминалам и ПЭВМ и организация работы с ними.

17. Правила устройства электроустановок / Минэнерго СССР. 6-е изд., 1986г.

18. Нормы радиационной безопасности НРБ-76/87 и Основные санитарные правила работы с радиоактивными веществами и другими источниками ионизирующих излучений ССП-72/80/87 / Минздрав СССР, 1988г.

19. СниП II-4-79. Естественное и искусственное освещение. Нормы проектирования. М: Стройиздат, 1990г.

20. Пожарная безопасность. Взрывобезопасность: Справочное издание. М.: Химия, 1987г.