

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського»**

Факультет _____ Приладобудівний _____
(повна назва)

Кафедра _____ Приладобудування _____
(повна назва)

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо-професійною програмою

Спеціальність(спеціалізація) 152 Метрологія та інформаційно-вимірвальна техніка (Інформаційні технології та вимірвальні системи механіки)
(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____М.Д.Гераїмчук_____
(підпис) (ініціали, прізвище)

« ____ » листопад 2018 р.

**ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студенту**

Піц Роман Леонідович
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації Портативний вібростенд для випробування МЕМС-акселерометрів

науковий керівник дисертації Дубінець Владислав Іванович, к.т.н, доцент,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «05» листопада 2018 р. № 4078-с

2. Строк подання студентом дисертації 6 грудня 2018р

3. Об'єкт дослідження: Портативний вібростенд

4. Предмет дослідження: пружній підвіс вібростенду, система автоматичного регулювання амплітуди. Вихідні параметри: діапазон прискорень-до 10 g, діапазон частот-25 Гц ... 2 кГц, основна похібка $\pm 5\%$, вантажопідйомність - до 2000 г. Високоточне відтворення вібропараметрів з метою випробування акселерометрів.

5. Перелік завдань, які потрібно розробити: дослідити методи та засоби високоточного відтворення вібрації, провести аналіз існуючих науково-технічних рішень, вдосконалити вібростенд вітчизняного виробництва фірми «Промвитех» ВСВ-131А, провести оптимізацію пружного підвісу, розробити та провести метрологічний аналіз системи автоматичного регулювання рівня, розробити методику калібрування датчиків на вдосконаленій моделі ВСВ-131А.

6. Орієнтовний перелік ілюстративного (графічного) матеріалу: 1 лист А1 складальний кресленик, 1 лист А1 деталювання, 1 лист А1 графіки, 1 лист А1 схема автоматичного регулювання рівня, 1 лист А1 – презентаційний.

7. Орієнтовний перелік публікацій: 1 теза доповідей у збірниках матеріалів конференцій

8. Консультанти розділів дисертації*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розробка СТАРТАП-проекту	Бояринова Катерина Олександрівна		

9. Дата видачі завдання 2 листопада 2018р

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Строк виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Аналіз методів та засобів відтворення параметрів вібрації	9.11.2018	
2	Дослідження та оптимізація пружного підвісу ВСВ-131А	16.11.2018	
3	Розробка структурної схеми автоматичної регуляції рівня та її метрологічний аналіз	23.11.2018	
4	Розробка методики калібрування акселерометра на новому стенді	30.11.2018	
5	Розробка стартап-проекту	3.12.2018	

Студент _____
 Науковий керівник дисертації _____

Піц Р.Л.
 Дубінець В.І.

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

Приладобудування

(повна назва інституту/факультету)

Приладобудування

(повна назва кафедри)

«На правах рукопису»
УДК 620.178.5.05

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

_____ М.Д. Гераїмчук
(підпис) (ініціали, прізвище)

“ ___ ” грудня 2018 р.

**Магістерська дисертація
на здобуття ступеня магістр**

зі спеціальності (спеціалізації) 152 Метрологія та інформаційно-вимірю-
вальна техніка (Інформаційні технології та
вимірювальні системи механіки)

(код і назва)

на тему: Портативний вібростенд для випробування МЕМС-акселерометрів _____

Виконав : студент 2 курсу, групи ПІ-71мп

(шифр групи)

Піц Роман Леонідович
(прізвище, ім'я, по батькові)

(підпис)

Науковий керівник доцент, к.т.н. Дубінець В.І. _____

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

Консультант Розробка СТАРТАП-проекту доцент к.е.н. Бояринова К.О. _____

(назва розділу)

(посада, вчене звання, прізвище, ініціали)

(підпис)

Рецензент доцент, к.т.н., Шевченко В.В. _____

(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

(підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації
немає запозичень з праць інших авторів без
відповідних посилань.

Студент _____
(підпис)

Київ – 2018 року

Реферат

На сьогоднішній день контроль параметрів вібрації є важливою складовою аналізу роботи різного роду обладнання, в тому числі і тербогенераторів на електроенергетичних підприємствах. Від якісного контролю цих параметрів залежить надійність роботи та довговічність обладнання. Використання вібровимірювальної апаратури дозволяє вчасно та з високою точністю визначити неполадку або дефекти в досліджуваній системі, та прийняти міри по усуненню даних проблем.

Для надійної та точної роботи таких датчиків необхідно точно знати їх метрологічні характеристики, перед початком їх експлуатації, так і періодично перевіряти ці параметри. Досягти це можна завдяки вібростендам які дозволяють задавати вібро-параметри в широкому динамічному діапазоні.

При експлуатації датчиків в польових умовах, або в складних умовах на підприємствах, коли зняти датчик та повезти його на перевірку виявляється складною задачею, через зупинку роботи установки, використовуються портативні вібростенди. Від стаціонарних вібростендів портативні відрізняються тим що мають вбудований акумулятор, що дозволяє калібрувати вібродатчики навіть в умовах без доступу до електричної мережі 220В.

Проблема полягає у відсутності вітчизняного вібростенду який би дозволив зручно та без зовнішнього обладнання калібрувати та перевіряти вібродатчики та віброапаратуру в широкому частотному діапазоні. Тому розробка системи яка б автоматично регулювала амплітуду відтворюваної вібрації є актуальною проблемою, що дозволить проводити калібрування вібровимірювальну апаратуру значно швидше та зручніше.

Мета та завдання дослідження

Метою розробка системи автоматичного регулювання рівня для існуючої моделі вібростенда вітчизняного виробника.

- Виконати моделювання та оптимізацію пружного підвісу ВСВ-131А
- Розробити та обґрунтувати загальну структурну схему системи автоматичного регулювання рівня

- Проаналізувати її метрологічні параметри.

Об'єкт дослідження

Портативний вібростенд для дослідження МЕМС-акселерометрів.

Предмет дослідження

Система автоматичного регулювання амплітуди, пружний підвіс вібростенду.

Наукова новизна

- Запропоновано інтелектуальну систему яка дозволяє з високою точністю відтворювати параметри вібрації
- Змодельовано пружний підвіс робочого столу
- Оптимізовано параметри пружного підвісу.

Summary

Actuality of theme

To date, the control of vibration parameters is an important component of the analysis of the work of various types of equipment, including thermobogenerators at power plants. The reliability of the work and the durability of the equipment depend on the quality control of these parameters. The use of vibration measuring equipment allows timely and high-precision determination of a malfunction or defect in the investigated system, and to take measures to eliminate these problems. For reliable and precise operation of such sensors it is necessary to know precisely their metrological characteristics, before the start of their operation, and periodically believe these parameters. It is possible to achieve this with the help of vibrostands that allow you to set vibro-parameters in a wide dynamic range.

When operating sensors in the field, or in difficult conditions at the enterprises, when removing the sensor and losing it to check is a complex task, due to the shutdown of the installation, portable vibrating screens are used. Portable stationary vibration stands differ in that they have a built-in battery that allows the vibration sensors to be calibrated even under conditions without access to the 220V electrical network.

The problem is the absence of a domestic vibration stand that would allow us to calibrate and relive vibration sensors and vibration equipment in a wide frequency range conveniently and without external equipment. Therefore, the development of a system that automatically adjusts the amplitude of reproducible vibration is an urgent problem that will allow the calibration of vibration measuring equipment much faster and more convenient.

The purpose and objectives of the study

The purpose is to develop a system of automatic level control for the existing model of the vibrostend of the domestic manufacturer.

- Perform simulation and optimization of the elastic suspension VSV-131A
- Develop and substantiate the general structural scheme of the automatic level control system

- Analyze its metrological parameters.

Object of study

Portable kalibrator for MEMS accelerometers.

Subject of study

The system of automatic control of amplitude, spring chain vibrostendu.

Scientific novelty

- It is permitted to the inter-system of the that permits with the high accuracy of the parameters of the parameters
- It is modeled spring pidvis robotic table
- Optimized the parameters of the spring chain.

ВІДОМІСТЬ МАГІСТЕРСЬКОЇ ДИСЕРТАЦІЇ

№ з/п	Формат	Позначення	Найменування	Кількість листів	Примітка
1	A4		Завдання на магістерську дисертацію	2	
2	A4	МД.ПІ_71мп.11.00.00	Пояснювальна записка	90	
3	A1	МД.ПІ_71мп.11.00.05	Матеріали аналітичного огляду	1	
4	A1	МД.ПІ_71мп.11.00.03	Схема АРР	1	
5	A1	МД.ПІ_71мп.11.00.01 СК	Вібратор складальний кресленик	1	
6	A1	МД.ПІ_71мп.11.00.04	Графіки	1	
7	A1		Презентаційний аркуш	1	
Загальна кількість графічних документів - 6 арк.ф. А1					

				МД.ВМД		
	ПІБ	Підп.	Дата			
Розробн.	Піц Р.Л.			Відомість магістерської дисертації	Лист	Листів
Керівн.	Дубінець В.І.				1	1
Конс.	Бояринова К.О.				КПІ імені Ігоря Сікорського каф. ПБ гр. ПІ – 71мп	
Н/контр.						
Зав.каф.	Гераїмчук М.Д.					

Магістерська дисертація

на тему: Портативний вібростенд для випробування MEMS - акселерометрів _____

Київ – 2018 року

Зміст

Вступ	12
1 Аналіз методів та засобів повірки та градування акселерометрів	13
1.1 Огляд конструкцій вібростендів	13
1.1.1 Механічні вібростенди	13
1.1.2 Електродинамічні вібростенди	14
1.1.3 П'єзоелектричні вібростенди	17
1.2 Проблеми пов'язані з процесом випробування датчикової апаратури	19
Висновки по розділу	27
2 Оптимізація пружного підвісу вібростенда	29
2.1 Моделювання пружного підвісу вібростенда ВСВ-131	29
2.2 Дослідження та оптимізація пружного підвісу	32
Висновок за розділом	35
3 Розробка системи автоматичного регулювання рівня	36
3.1 Розрахунок схеми та обґрунтування вибору інтегральних елементів	43
3.1.1 Розрахунок фільтра верхніх частот	43
3.1.2 Розрахунок керованого масштабного перетворювача	44
3.1.3 Розрахунок керованого підсилювача	47
3.1.4 Вибір схеми опорної напруги	47
3.1.4 Вибір схеми інтегральних ключів	50
Висновки за розділом	52
4 Метрологічний аналіз системи АРР	53
4.1 Розрахунок похибки підсилювача	54
4.2 Розрахунок похибок ФВЧ	55
4.3 Розрахунок похибки ЦАП	56
4.4 Сумарна похибка	59
Висновки по розділу	60
5 Метрологічне забезпечення	62
5.1 Умови калібрування та підготовка до них	62
5.2 Вимоги безпеки та підготовка до калібрування	62
5.3 Проведення калібрування	63
5.3.1 Зовнішній огляд	63
5.3.2 Опробування	63
5.3.3 Перевірка електричного опору ізоляції	64

					МД.ПІ_71мп.11.00.00 ПЗ		
Изм.	Лист	№ докум.	Підпись	Дата			
Разраб.	Піц Р.Л.				Пояснювальна записка		
Провер.	Дубінець В.І.						
Н. Контр.					Лит.	Лист	Листов
Утв.	Дубінець В.І.				1	88	

5.3.4	Перевірка електричної міцності ізоляції.....	64
5.3.5	Визначення коефіцієнта перетворення на базовій частоті та нелінійність АЧХ .	64
5.3.6	Визначення нерівномірності амплітудно - частотної характеристики в робочому діапазоні частот.	65
5.3.7	Визначення відносного коефіцієнта поперечного перетворення акселерометра.	66
5.4	Алгоритм обробки результатів вимірювань вимірювального каналу.....	67
5.5	Оформлення результатів калібрування	69
6.	РОЗРОБКА СТАРТАП ПРОЕКТУ	70
6.1	Опис ідеї проекту.....	70
6.2	Технологічний аудит ідеї проекту	72
6.3	Аналіз ринкових можливостей запуску стартап проекту.....	72
6.4	Розробка ринкової стратегії проекту	80
6.4	Розроблення маркетингової програми стартап-проекту.....	83
6.6	Висновки	87
	Використана література	88

Вступ

Основна вимога до засобів повірки та градування - можливість експериментально визначати з необхідною точністю і в необхідному діапазоні всі метрологічні характеристики акселерометрів. При цьому, як правило, найбільш високі вимоги пред'являються до засобів, за допомогою яких визначають динамічні характеристики.

В нинішній час інтерес споживачів до портативних калібраторів значно зріс, так як вони дозволяють на місці експлуатації проводити оперативну перевірку працездатності вимірювальних каналів, а також калібрування або перевірку вібровимірювальної апаратури. Привабливими властивостями портативних вібростендів є простота експлуатації, надійність роботи в польових та лібараторних умовах, малі габаритні розміри при достатніх метрологічних характеристиках.

Метою даної дисертації є вдосконалення існуючої конструкції переносного вібростенду з урахуванням поставленої задачі. Покращення метрологічних характеристик, та збільшення функціоналу моделі.

					МД.ПІ_71мп.11.00.00	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		12

1 Аналіз методів та засобів повірки та градування акселерометрів

1.1 Огляд конструкцій вібростендів

Портативні калібратори можна розділити на два класи: з фіксованими значеннями амплітуди і частоти відтворюваних коливань і широкодіапазонні.

Перший клас калібраторов найбільш застосуємо в умовах, де для підтвердження працездатності вібровимірювального обладнання досить калібрування віброперетворювачів на одній базовій частоті. Як правило це має місце при контролі вібрації в частотному діапазоні до 1 кГц.

Другий клас - широкодіапазонні калібратори надають можливість вимірювати амплітудно-частотну характеристику (АЧХ), що дозволяє проводити не тільки калібрування на базовій частоті, але і періодичну повірку віброперетворювача з дотриманням вимог нормативних документів в діапазоні частот до 10 кГц на місці експлуатації. Найбільш повно переваги широкодіапазонних калібраторов проявляються при наявності зв'язку з комп'ютером, оскільки сучасне програмне забезпечення надає широкі можливості по управлінню калібратором і обробці даних.

Принципи побудова засобів повірки та градування визначаються трьома обставинні:

- забезпеченням необхідного діапазону и необхідною точністю визначення статичних та динамічних характеристик акселерометрів;
- можливістю звести до мінімуму похибку передачі одиниць величини;
- зручностями застосування і обробка результатів вимірювання.

1.1.1 Механічні вібростенди

Механічними вібростендами називають вібростенди в яких давачем вібрації виступає механічна передача. Зазвичай це кривошипно-шатунний механізм який зображений на рис. 1.1 [1].

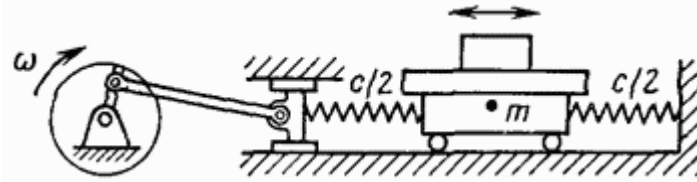


Рисунок 1.1 – Схема механічного вібростенда

Різні типи кривошипно-кулісних вібраторів дозволяють відтворювати прискорення з похибкою до 10% в діапазоні частот 0,05 ... 150 Гц при максимальних амплітудах переміщення до 50 мм.

Всі різновиди механічних і електромеханічних вібраторів мають суттєві недоліки, що призводять до значної похибки відтворення прискорення і, зокрема, до спотворення гармонійної форми прискорення.

Основними джерелами похибок є:

- коливання кутової швидкості кривошипа;
- механічні шуми в підшипниках;
- зазори в шарнірах;
- пружні деформації ланок;
- невраховані невірноважені сили і моменти.

Найчастіше електромеханічні вібратори застосовують не в якості засобів повірки та градування, а в якості випробувальних установок, так як при цьому в найбільшій мірі використовуються такі їх гідності, як простота і велика вантажопідйомність.

З високою точністю дозволяють відтворювати гармонійні прискорення електродинамічні вібратори.

1.1.2 Електродинамічні вібростенди

Давачем прискорення в електродинамічних вібростендах виступає електродинамічна система. В якій джерелом вібрації є взаємодія джерела постійного магнітного поля з провідником по якому тече змінний струм[1].

Дана система дозволяє відтворювати вібропараметри в широкому амплітудному та частотному діапазонах.

Така конструкція включно з пружним підвісом дозволяє відтворювати вібрації з різноманітними параметрами.

Електродинамічний вібростенд складається з:

1. Магнітна система;
2. Рухома система;
3. Пружний підвіс;
4. Система управління;
5. Система живлення;
6. Зразковий акселерометр.

Стенди з вібродинамічним збудженням вібрації широко використовуються для відтворення різноманітних вібрацій. На рис. 1.2 представлено схеми електродинамічного вібростенду[1].

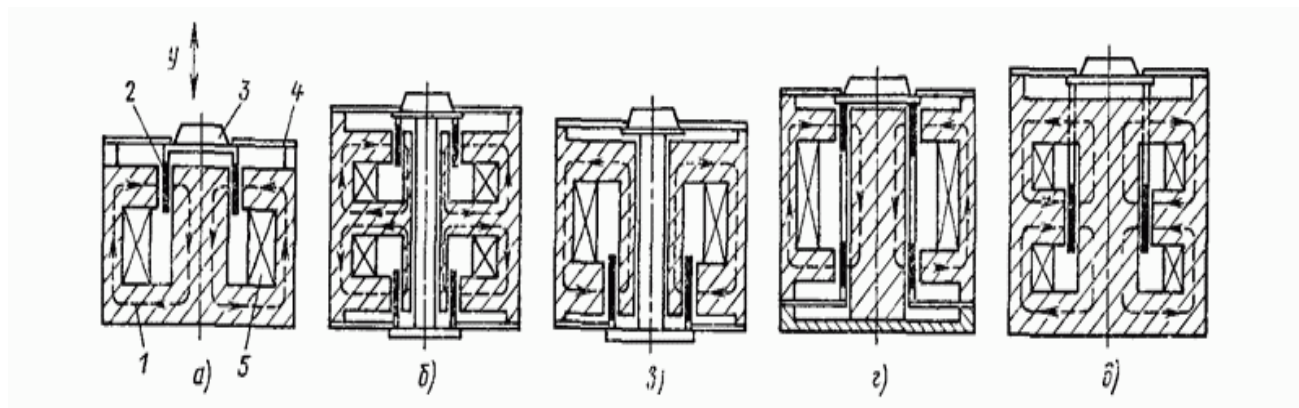


Рисунок 1.2 – Схеми електродинамічних віброзбудників

Для схеми а (рис. 2) під номером 5 знаходиться котушка яка і створює змінне магнітне поле яке в свою чергу взаємодіє з постійним магнітним полем постійного магниту 2. Під номером 1 знаходиться магнітопровід, по якому рухаються силові лінії магнітного поля. Під номером 4 знаходиться пружна система призначення якої повернення системи в початкове подожження, а також зменшення долі невимушених коливань. Під номером 3 знаходиться зразковий датчик[1].

Зразковий датчик включений в зворотній зв'язок з системою керування рівнем вібропараметра. Відтворення певного рівня вібропараметрів і є однією

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

МД.ПІ_71мп.11.00.00

Лист

15

з важливих проблем які вирішуються в таких вібростендах. Відтворення певної частотної характеристики виконується за рахунок генераторів синусоїдальних сигналів, які на сьогоднішній день дозволяють відтворити такий параметр з високою точністю.

В таких системах використовуються мікроконтролери для контролю та управління роботою такої системи.

Електродинамічні вібростенди діляться на 2 типи за типом магніту який використовується в магнітній системі: з постійним магнітом та з електромагнітом. Для вирішування питання з великими відтворюваними вібропараметрами, використовують електромагнітні котушки на яких під дією струму створюється магнітне поле. Такі котушки дозволяють створювати значне магнітне поле а також дозволяють підвести до них охолодження оскільки вони не являються частиною рухомої система, а при поданні на них високого струму вони починають нагріватися.

Іншим варіантом виконання є використання постійного магніту з таких матеріалів як неодім-залізо-бор, самарій-кобальт також може використовуватися ферит. При дотриманні експлуатаційних вимог такі магніти можуть служити довго не змінюючи своїх магнітних характеристик[4]. В конструкціях калібровочних вібростендів вони більш поширені ніж перший варіант через спрощення кострукції та надійність.

В якості прикладу розглянемо портативний вібростенд компанії «Rockwell Automation» HI-803 [3]. В якому відтворюються вібрації саме електродинамічним способом.

Збудник вібрації в цьому стенді складається з магнітної та рухомої систем магнітна система складається з 2 магнітів з повітряним зазором між ними. В свою чергу рухома система складається з двох котушок намотаних з мідного проводу, пружного підвісу та штовхача для передачі вібраційного впливу. Зразковий датчик являє собою частину єдиної рухомої системи. На протилежній стороні від зразкового датчика розміщується стіл для

розміщення на ньому калібруємого датчика. На рисунку 1.3 представлено приблизний зовнішній вид вібраційної установки [3].

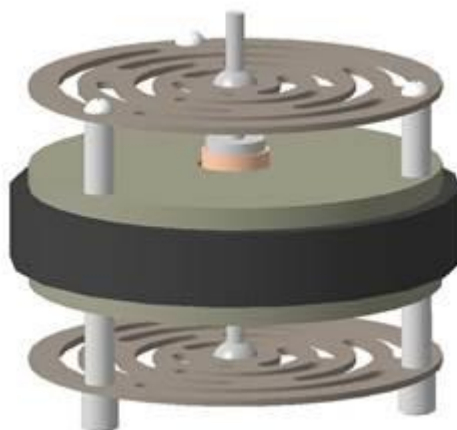


Рисунок 1.3 – Зовнішній вид давача вібрації

1.1.3 П'єзоелектричні вібростенди

Робота п'єзоелектричних вібростендів заключається у використанні зворотного п'єзоефекту.

Зворотний п'єзоелектричний ефект – це явище що виникає в поляризованих діелектриках і характеризує виникнення деформації в діелектрику під дією електричної напруги.

Такі вібростенди не є дуже поширеними через малі відтворювані вібропараметри, але така установка дозволяє дуже точно відтворювати такі параметр.

Також такі стенди дозволяють виконувати калібровку акселерометрів функціональним прискоренням, так як п'єзоелектрик може відтворювати коливання в широкому спектрі, все залежить лише від генератора форми напруги[1].

На рис. 1.4 представлено схему п'єзоелектричного вібростенду [5]. На схемі Диски з п'єзоматеріалу 3 склеєно в стовпчик. Кожен з дисків поляризований в осьовому напрямку. Поверхні, що прилягають одне до одної металізовано для підведення контактних проводів 1. Всю конструкцію затиснуто в лещатах 5. Від генератора напруги 4 через підсилювач на диски

подається на пруга, яка і відтворює змушуючі коливання. На столах 2 закріплюється датчик, що має калібруватися та зразковий датчик[2].

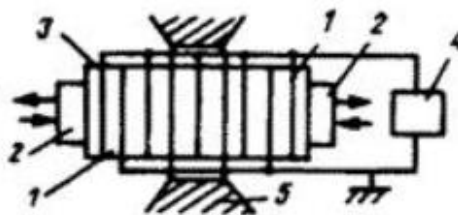


Рисунок 1.4 – Схема п'єзоелектричного вібростенду

Такі конструкції зазвичай використовують для прецизійних приладів. Через малий діапазон відтворюваних віброприскорень, великий частотний діапазон, та високу точність відтворення вхідного сигналу.

Як приклад вібростенду такого типу може слугувати патент Російської Федерації №2334966 який разом з тим стійкий до зовнішніх впливів тому дозволяє виконувати комплексне випробування та калібрування приладів. Давачем вібрації в цьому вібростенді виступає п'єзокераміка у вигляді по крайній мірі однієї шайби, по контуру для зменшення впливу поперечних прискорень встановлено кронштейни що підтримують платформу. Елемент, що передає вібрацію від збудника до встановленого навантаження виконаний у вигляді полого циліндру з нарізаною з обох кінців різьбою на одну з яких нагвинчується стіл для встановлення навантаження[5].

Режим роботи за для зменшення впливу квазістатичних електричних та механічних полів устанавлюється за допомогою введеного в конструкцію додаткового пружного елемента. Даний елемент визначає режим роботи біморфного перетворювача на згин та незалежність його роботи від зовнішніх полів[5].

1.2 Проблеми пов'язані з процесом випробування датчикової апаратури

Важливими параметрами калібратора являються амплітуда прискорення порушуваних коливань і максимальна маса калібруємого датчика. Чим більше перший параметр, тим ширше можливості по точності калібрування. Низька точність підтримання сталості амплітуди коливань вимагає використання систем автоматичного регулювання та змушує впроваджувати її в систему управління вібростендом и таким чином автоматизувати такі випробування [6].

Окрім того, апроксимація даних отриманий при проведенні випробувань, може відрізнитися на порядок від даних отриманий в результаті експлуатації приладнав в робочому режимі. Також суб'єктивна похибка при роботі оператора може призвести до зростання похибки випробування.

Для рішення такої проблеми розробляють системи, що автоматизують такі випробування, базують вхідні данні на паспортних данних, експлуатаційних вимогах. На сьогодні вібростенд складається з вібратора, тобто пристрою, що і відтворює необхідну амплітуду та частоту вібрації, з додатковою апаратурою у вигляді генератора та підсилювача потужності. Для зняття показників про вібрацію використовують зразковий датчик з вимірювальною апаратурою і аналогічно для повіряємого датчика. Схема представлена на рис. 1.5[6].

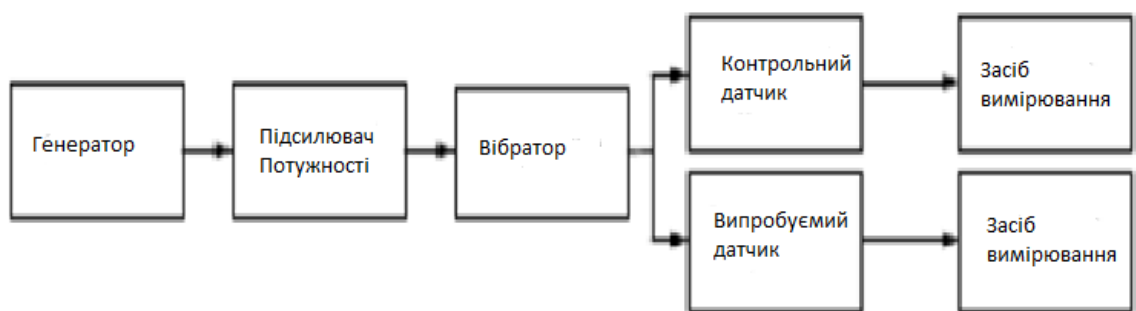


Рисунок 1.5 – Схема вібростенда

Як видно зі схеми амплітудою згенерованого сигналу доведеться курувати опираючись на показники контрольного датчика. Так як певних акселерометр потребує визначення його параметрів в широкому амплітудно

предметів, розташуванням поруч магістралей тощо. Данні вібрації відобразяться на роботі зразкового датчика відхиливши його вихідні параметр в більшу або меншу сторони. В результаті цього мікроконтролер сприйме це як вихід з встановленого режиму роботи, а отже перестане записувати данні та почне змінювати параметри генератора, щоб нівелювати вплив цих вібрацій. Якщо нівелювати їх не вийде то є можливим видати про це попередження.

Є можливим також записати в контролер програму зміни вихідних параметрів, що дозволить без втручання оператора провести випробування датчика на повному діапазоні вхідних параметрів. По завершенню всього випробування, проаналізувавши весь спектр вихідних даних, та порівнявши їх зі зразковими параметрами, прийняти рішення, цю роботу також можна перекласти на мікроконтролер.

На сьогодні на світовому ринку представлена велика кількість портативних вібростендів. Най відоміші компанії виробники такого обладнання це: «Промвитех»(Україна), «Briel & Кjaer»(Данія), MEGGITT (Велика Британія), Hardy(США), «Технекон»(Росія). [9]

Продукція представлена даними компаніями на ринку наведені в таблиці 1. 1[9].

Таблиця 1.1 – Вібростенди, що представлені на ринку

<i>Модель</i>	<i>Виробник</i>	<i>Діапазон прискорен ь</i>	<i>Діапазон частот</i>	<i>Основна похибка</i>	<i>Маса повіряемого датчика</i>
28959F/FU	MEGGITT (Велика Британія)	до 10 g	10 Гц...10 кГц	±3%	до 750 г
DVC-500	Технекон (Росія)	до 30 g	2 Гц...15кГц	±5%	до 6000 г
HI 803	Hardy (США)	до 10 g	10 Гц...10 кГц	±5%	до 500 г
HI 813	Hardy (США)	до 10 g	25 Гц...10 кГц	±5%	до 750 г



Рисунок 1.7 – Вібростенди NI-803 (а) та 9100D (б)

Живлення вібростендів відбувається завдяки вбудованому акумулятору.

На рис. 1.8-1.13 представлено результати калібрування датчиків фірми «Brüel&Kjær» 8305 та 353B04. Калібрування проводилось на вібростендах NI-803, 9100D та 396C11. Вібростенд 396C11 фірми «Modal Shop» в представлених результатах використовується як зразковий стенд для калібрування[7].

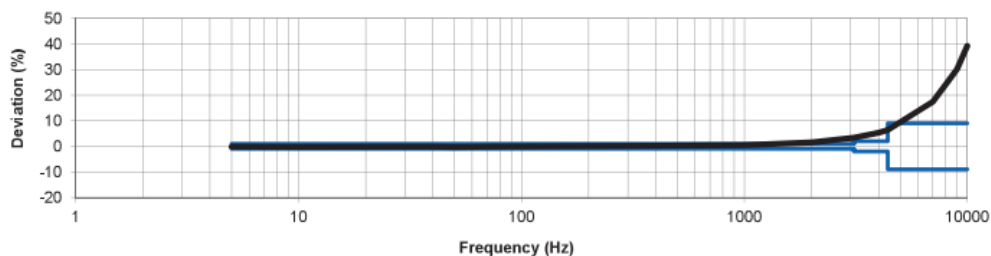


Рисунок 1.8 – АЧХ 8305 на 396C11

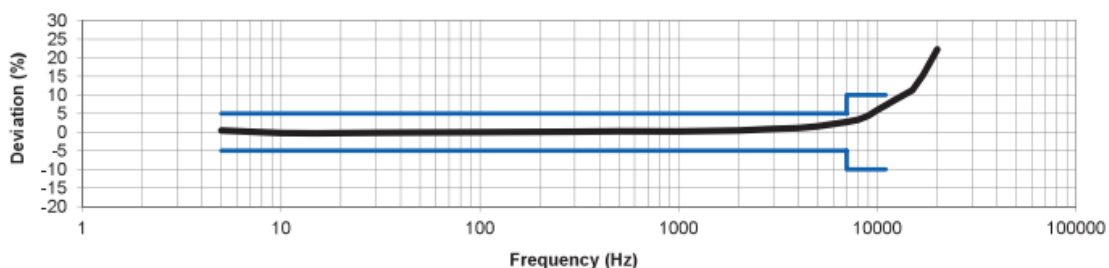


Рисунок 1.9 – АЧХ 353B04 на 396C11

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

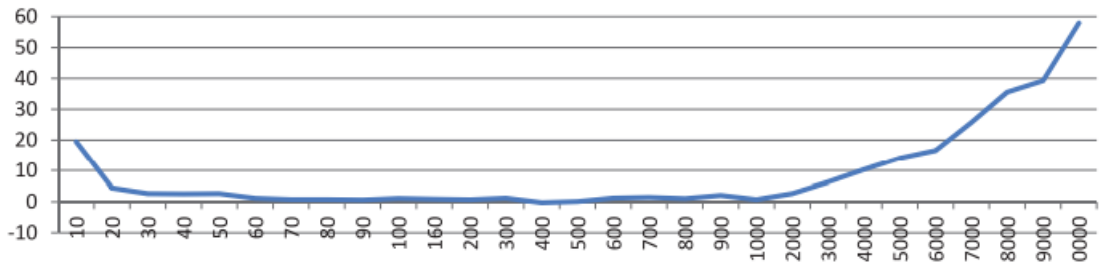


Рисунок 1.10 – АЧХ 8305 на NI-803

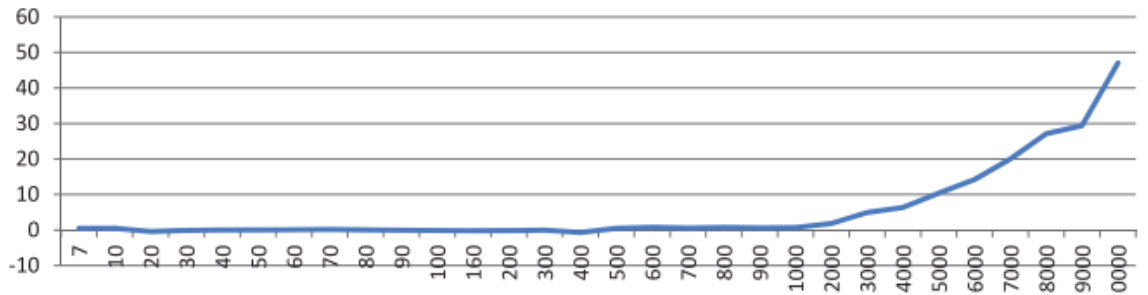


Рисунок 1.11 – АЧХ 8305 на 9100D

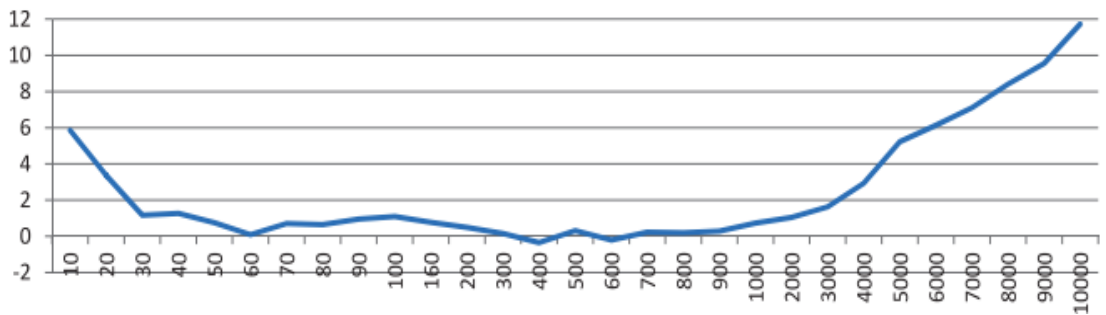


Рисунок 1.12 – АЧХ 353B04 на NI-803

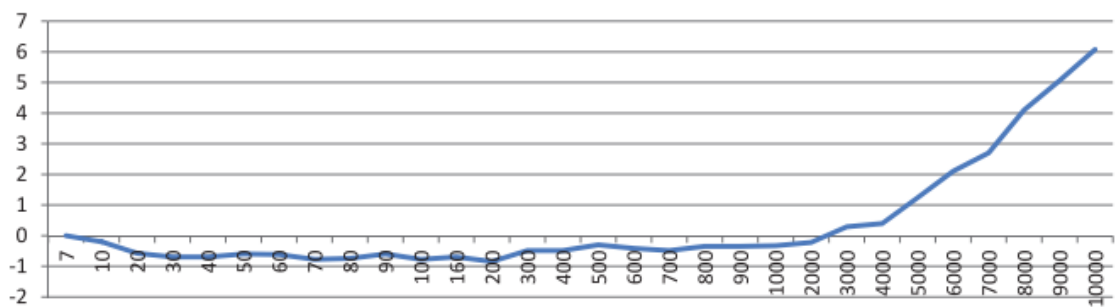


Рисунок 1.13 – АЧХ 353B04 на 9100D

Як видно з представлених графіків потративні вібростенди в порівнянні зі стаціонарним, калібрують датчика з певною похибкою, що скоріш за все пов'язано з самою конструкцією вібраторів. Зразковий стенд на

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

МД.ПІ_71мп.11.00.00

Лист

24

обох датчиказ показав майже ідеальну АЧХ які вписуються в діапазон $\pm 5\%$ на паспортному діапазоні частот.

Похибка калібрування портативних вібростендів може бути повязана з резонансними частотами пружного підвісу. Оскільки при зменшенні габаритів необхідно зменшувати і потужність давача вібрації а значить зменшувати жорсткість підвісу, а відповідно і зменшуються резонансні частоти які, які при недостатній точності системи керування рівнем вібрації, призведе до появи амплітутних похибок на певних частотах роботи стенда.

Вібростенд вітчизняного виробництва ВСВ-131А, використовується для калібрування вібровимірювальної апаратури яка обслуговує газогенераторні установки на електроенергетичних підприємствах.

Характеристик вібростенді ВСВ-131А представлена в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Характеристика ВСВ-131

Параметри		Робоча частота, Гц		
Вібропараметр	Маса повіряемого датчика	45	64	79,6
Віброрискорення, м/с ²	До 250 г	1-20	1-15	1-10
Віброшвидкість, мм/с		2-70,7	37,5	0,5-20
Вібро переміщення, мкм		20-707	10-265	5-115
Віброрискорення, м/с ²	До 2000 г	1-10	1-7	1-7
Віброшвидкість, мм/с		2-35,4	1-17,5	0,5-14
Вібро переміщення, мкм		20-354	10-125	5-80
Похибка	-	$\pm 2\%$	$\pm 3\%$	$\pm 3\%$
Нелінійність відтворення вихідних коливан	-	$\pm 2\%$	$\pm 2\%$	$\pm 2\%$

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

МД.ПІ_71мп.11.00.00

Лист

25

З таблиці 2 видно, що вітчизняний вібростенд володіє високими метрологічними характеристиками на всьому діапазоні робочих частот. Стенд здатен з високою точністю відтворювати параметри вібрації при невеликій нелінійності відтворення вихідних коливань.

Блок-схема вібростенда представлена на рис. 1.14[8].

Генератор 1 генерує синусоїдальну напругу яка потрапляє на регульований ділитель напруги 2. Далі напруга потрапляє на підсилювач потужності 3. Далі напруга потрапляє на електродинамічну систему, яка характеризується такими параметрами як m – маса, C – коефіцієнт жорсткості. H – коефіцієнт згасання.

Електродинамічна система генерує коливання які фіксуються зразковим п'єзодатчиком, котрий на виході генерує електричний сигнал пропорційний прискоренню. Зафіксований та підсилений сигнал з датчика потрапляє на індикатор який показує оператору амплітуду відтвореного сигналу на виході.

Керування амплітудою відбувається за рахунок регульованого дільника напруги оператор змінюючи параметри системи змінює значення вихідного струму, який потрапляє на електродинамічну систему. Змінене значення змінює і амплітуду коливань не змінюючи при цьому частоту. Зміна в свою чергу фіксується датчиком та виводиться на індикаційну панель [8].

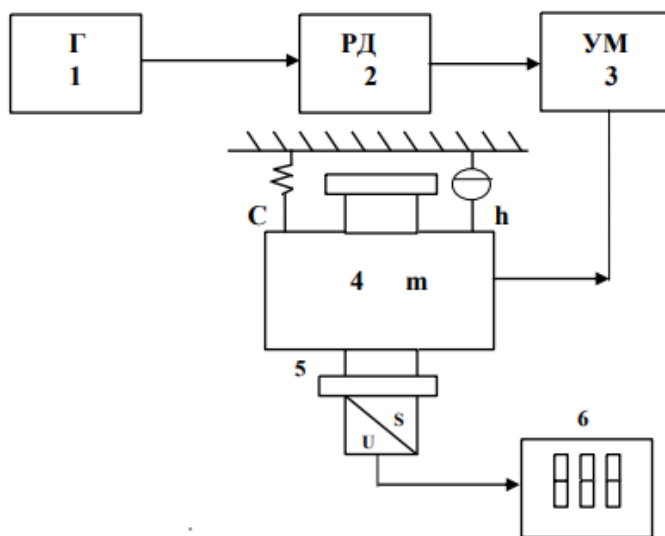


Рисунок 1.14 – Блок-схема ВСВ-131А

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

Недоліком такого методу є керування амплітудою коливання через струм на обмотці. При зміні параметрів необхідно зачекати доки система увійде в установлений режим. І на циферблаті не встановиться значення амплітуди вібрації, але якщо значення амплітуди не попало в потрібний нам діапазон необхідно знову виконувати перемикання струму на котушці та знову чекати доки не закінчиться перехідний процес. Данні маніпуляції не є зручними.

Стенд ВСВ-131/131А розрахований на використання його для калібрування вузького спектру вібровиміральної апаратури, оскільки він дозволяє відтворювати вібрацію лише 3 значень 45 Гц, 64 Гц, 79.6 Гц. Дані частоти є приємними для калібрування датчиків які використовуються на газотурбінних генераторіх, але для калібрування більшого спектру датчиків такі значення вібрації скоріш за все не підійдуть.

З таблиці 1 видно що представлений вібростенд на ринку України компанією «Промвитех», для роботи за межами електроенергетичних компаній потребує доопрацювання.

А саме через необхідність калібрування акселерометрів в діапазоні частот, що відрізняється від 3 які можливо відтворити на даному стенді (45, 64, 79.6)[8]. Тобто розширити діапазон можливих відтворюваних частот на рівні зі світовими аналогами, тобто до 10 кГц.

Також необхідно вдосконалити систему задання рівня, оскільки стара система передбачала використання поворотних ручок грубої та точної настройки. Така настройка сповільнює роботу оператора по вибору рівня навантаження та виходу на робочий режим.

Висновки по розділу

1. Вібростенд вітчизняного виробництва, володіє високими метрологічними характеристиками, може працювати в великому спектрі умов навколишнього середовища, повністю незалежний від зовнішніх пристроїв.

2. Недоліком такого стенду є:

					МД.ПІ_71мп.11.00.00	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		27

- малий динамічний діапазон частот;
 - неможливість зняти АЧХ датчика при відсутності зовнішнього генератора синусоїди;
 - складність використання при встановленні робочого режиму.
- Вирішенню даних проблем присвячена дана магістерська дисертація.

					<i>МД.ПІ_71мп.11.00.00</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		28

2 Оптимізація пружного підвісу вібростенда

Для досягнення поставленої задачі необхідно проаналізувати слабкі сторони конструкції, при урахуванні збільшення динамічного діапазону.

Пружний підвіс у ВСВ-131 виконаний у вигляді двох плоских дископодібних пружин між яким знаходиться пустотілий вал на який намотано мідний провід. Ця конструкція є дуже поширеною серед електродинамічних вібростендів. Пружний елемент може бути виконаний з різноманітних пружних матеріалів.

2.1 Моделювання пружного підвісу вібростенда ВСВ-131

Для моделювання використовувалась система автоматичного проектування (САП) SolidWorks.

Рухома система буде складатися з пружного елемента (рис 2.1) та пустотілого циліндру який буде імітувати корпус котушки(рис. 2.2). В зібраному варіанті вся рухома система буде складатися з 2х пружин між якими знаходиться імітація циліндр.

Зміна параметрів циліндра дозволить імітувати навантажену та не навантажену систему.

Виступи по краям та по центру пружини слугують імітацією для місць де пружина закріплюється до корпусу.

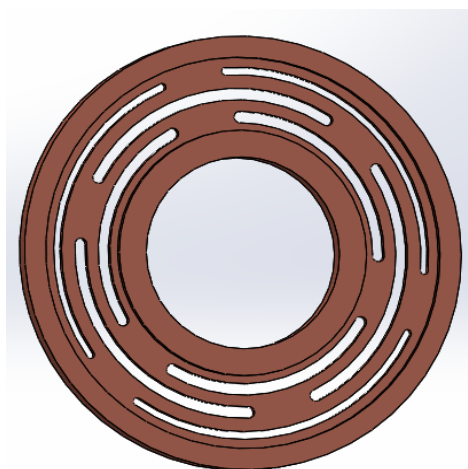


Рисунок 2.1 – Модель пружини підвісу

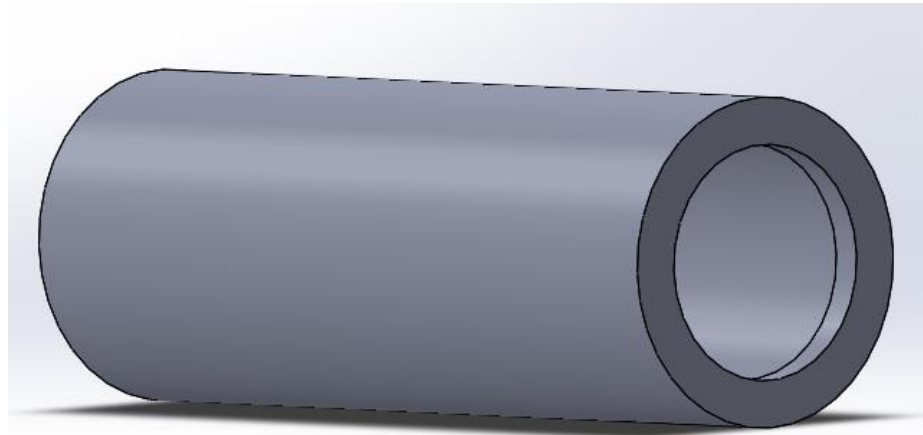


Рисунок 2.2 – Циліндр

Довжина циліндра еквівалентна реальній відстані між пружинами і дорівнює 185 мм.

Рухома система в зборі представлена на рис. 2.3.

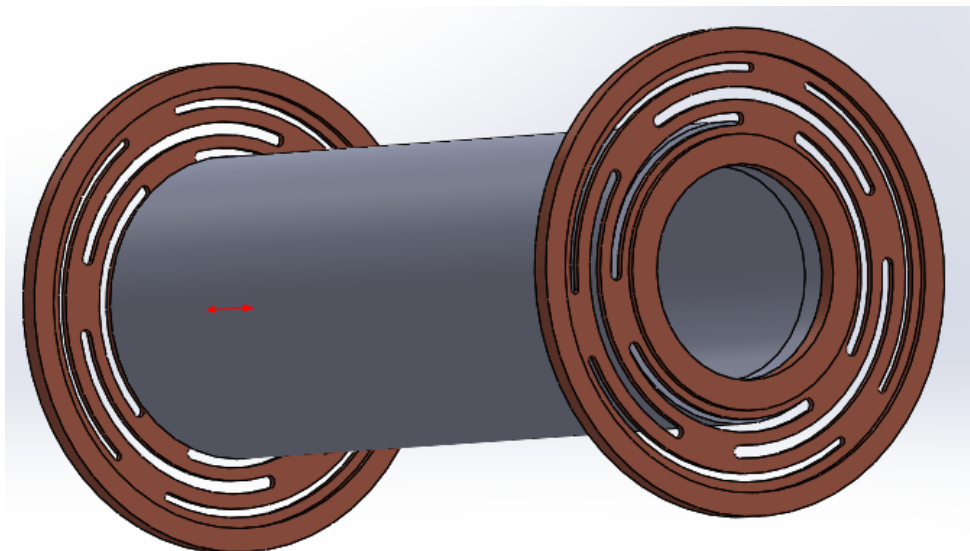


Рисунок 2.3 – Модель рухомої системи

Статичний аналіз представляє собою реакцію системи на дію зовнішньої постійної тобто не змінної в часі сили. Для моделювання такої дії необхідно задати місця кріплення яким і відповідають потовщення на на краях пружини.

Задати місце та силу яка буде діяти на систему, сила буде діяти в повздовжньому напрямку, і встановлена вона була величиною в 100 Н, що покріє діапазон сил, що виникатимуть в системі. Також було проведено

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

МД.ПІ_71мп.11.00.00

Лист

30

моделювання на дію поперечних навантажень, оскільки переміщення в цьому напрямку можуть спотворювати показники вібродатчиків.

На рис. 2.4 представлено результати статичного моделювання у вигляді 3 епюр для переміщення, напруження та деформації, критичними параметрами будуть переміщення та напруження.

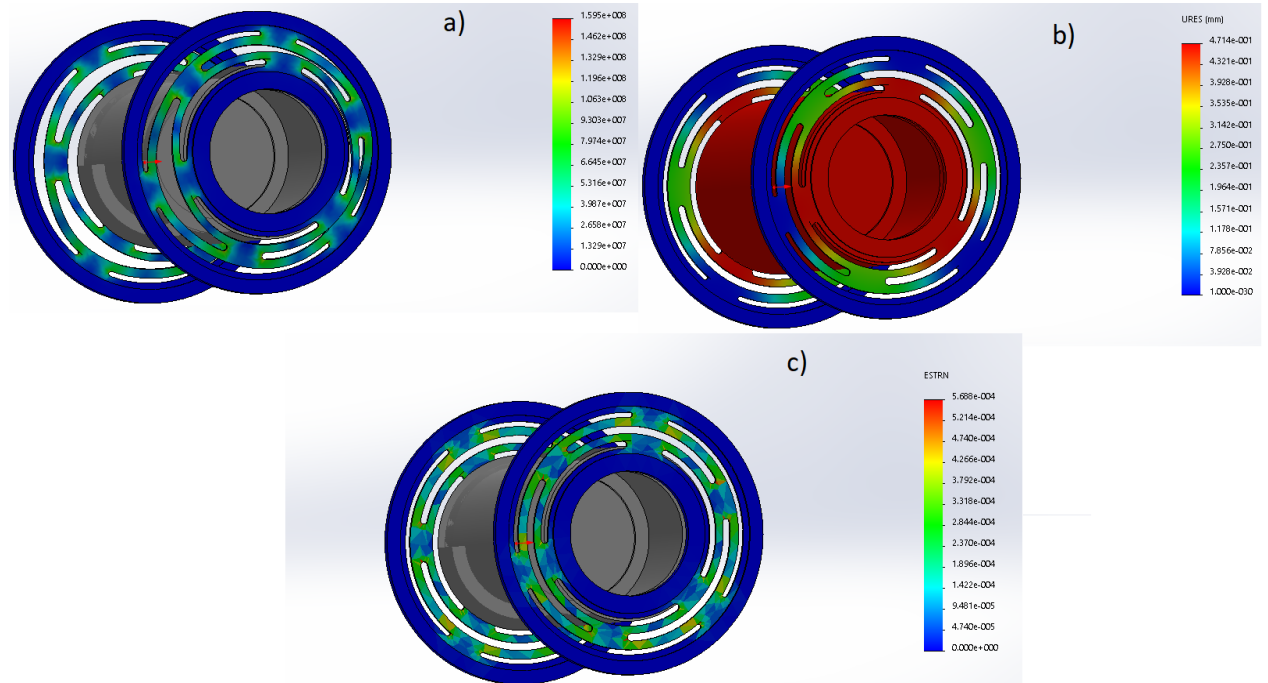


Рисунок 2.4 – Статичний аналіз підвісу

Як видно з епюри переміщення максимальне значення в 0.46 мм є недостатнім, необхідно досягти значення в діапазоні від 0.6 до 0.7 .

Даному пікеті також було проведено динамічне дослідження на предмет резонансних частот. Значення резонансних частот отриманих в результаті моделювання приведено в таблиці 2.1

Таблиця 2.1 – Результати частотного моделювання

№ Резонансної частоти	Чатота, Гц
1	35,8
2	36,2
4	1826,1
5	1830,0

Моделювання показали що частота антирезонансу припадає на 1980 Гц, що для випадку необхідних частот недостатньо. Обмеження роботи вібростенду на частоті анти резонансу обумовлено тим, що при таких режимах для розгойдування динамічної системи необхідно прикладати значні потужності, якими портативний вібростенд не може володіти через малу вихідну потужність вбудованого акумулятора.

2.2 Дослідження та оптимізація пружного підвісу

Параметри які будуть оптимізуватися це напруження яке виникає в пружини, переміщення підвісу та резонансні частоти.

При оптимізації параметра напруження зверталась увага на розподілення напруження по поверхні пружини, в місцях заокруглення пазів виникали великі напруження, що наближаються критичного значення напруження для стеклотектоліту $\sigma_{доп}=93$ МПа. Це може призвести до місцевого розтріскування матеріалу з часом.

Частотний діапазон необхідно розширити так, щоб значення частоти антирезонансу припадало на діапазон, що знаходиться за значенням в 2.3 кГц.

Отримання необхідних параметрів електродинамічної системи буде виконуватися за рахунок зміни геометричних параметрів пазів, а саме зміна ширини паза ПП, та зміна радіусу на його кінцях.

Зміна радіусів має забезпечити розподілення напруження по поверхні пружини, та зменшити його максимальне значення. Значення діаметра змінювались для кожного пазу окремо в діапазоні від 2 до 3.2 мм. Діапазон був розбитий на 7 точок. В таблиці 2.2 представлені значення цих діаметрів для кожного з етапів дослідження.

					МД.ПІ_71мп.11.00.00	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		32

Таблиця 2.2 – Значення для дослідів

Номер дослідження	Значення діаметра, мм
1	2
2	2.2
3	2.4
4	2.6
5	2.8
6	3.0
7	3.2

По кожному значенню збудовано графіки впливу його на значення максимального напруження та переміщення. Графіки дослідження для першого паза представлені на рис. 2.5-2.6.



Рисунок 2.6 – Дослідження переміщення для першого паза

Як видно з рис. 2.5 та 2.6 для першого паза залежність виявляється нелінійною. Для даного блоку дослідження оптимальним є варіант під номером 6 з діаметром скруглення 3 мм.

Для другого паза графіки представлені на рис. 2.7-2.8.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

МД.ПІ_71мп.11.00.00

Лист

33

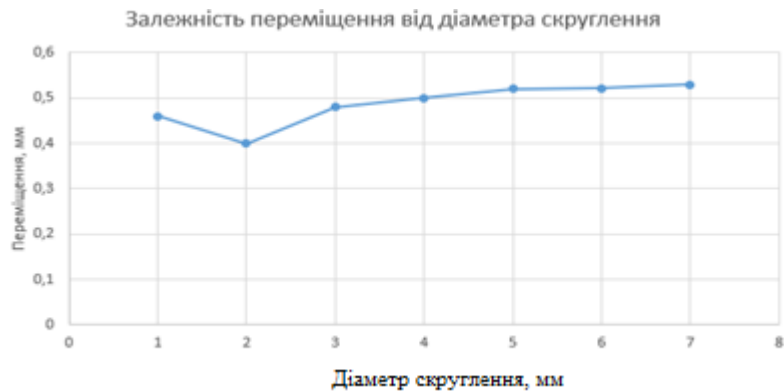


Рисунок 2.8 – Графік залежності переміщення для другого паза

З рис. 2.7 та 2.8 видно збільшення радіусу скруглення на даному пазі суттєво впливає на значення максимального напруження. Та дозволяє дещо збільшити значення максимального переміщення.

Для 3-го випадку графіки залежності мають вигляд (рис 2.9-2.10).



Рисунок 2.10 – Залежність максимального переміщення від радіусу скруглення паза 3

Дослідження епюр напруження показало що найбільш рівномірне розподілення напруження по поверхні пружного елемента дає зміна радіусу скруглення на 2 паза. Але така зміна не дає відчутного приросту в переміщенні, і частково знижує резонансну частоту. Аналізуючи отримані

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

графіки прийнято рішення змінити параметр скруглення паза для останнього третього паза на значення 3 мм та для другого паза на 2,8.

Було проведено моделювання пружного підвісу з даними параметрами (рис. 2. 11).

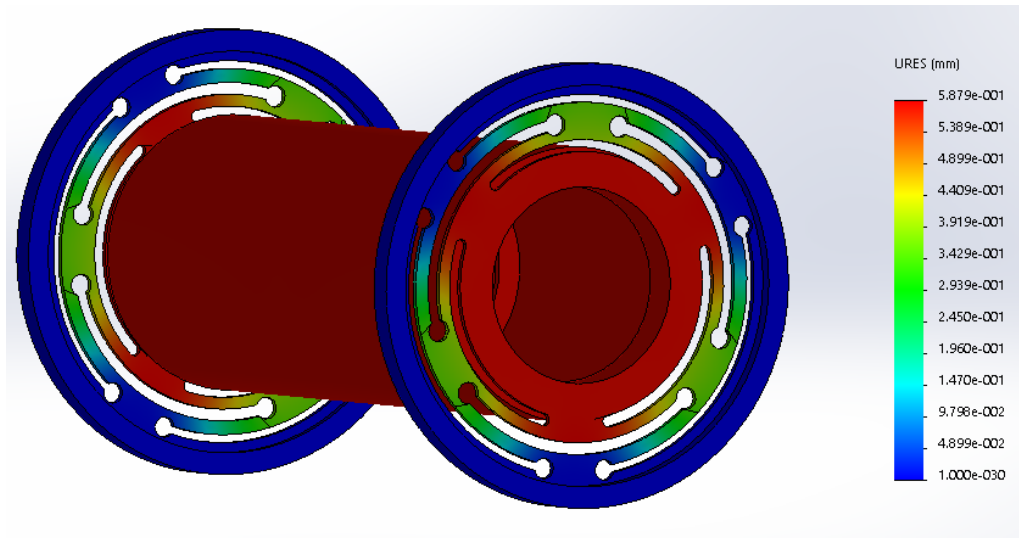


Рисунок 2.11 – Епюра переміщення

З рис. 2.11 видно що максимальне переміщення зросло до 5.8 мм. Частота антирезонансу стала на рівні 2.28 кГц.

В таблиці 2.3 показано порівняння параметрів до моделювання і після.

<i>Тип параметра</i>	<i>До оптимізації</i>	<i>Після оптимізації</i>
Максимальне переміщення, мм	4.6	5.8
Максимальне напруження, МПа	78,9	80,6
Частота антирезонансу, кГц	1.980	2.28

Висновок за розділом

- проведена оптимізація пружного підвісу;
- отримані основні параметри оптимізованої моделі пружного підвісу;
- проведено аналіз впливу геометричних характеристик на максимальне переміщення якоря.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

МД.ПІ_71мп.11.00.00

Лист

35

3 Розробка системи автоматичного регулювання рівня

Для підтримання амплітуди в допустимому діапазоні опираючись на значення задане оператором, необхідно розробити систему регулювання рівня амплітуди по вихідним даним зразкового акселерометра. Для реалізації даної ідеї необхідно сформувати зворотній зв'язок.

Було прийнято рішення спираючись на рекомендації [10 - 13] для формування зворотного зв'язку використовувати інтегратор, на вході якого буде знаходитися вузол порівняння.

Перший сигнал на вході інтегратора буде сигнал з виходу ЗД, іншим сигналом буде значення опорної напруги, яка буде розраховуватися виходячи з значення необхідного прискорення яке потрібно задати та коефіцієнта перетворення ЗД.

Система САРР являє собою комплекс електронних компонентів в купі з мікроконтролером. Схема системи представлена на рис. 3.1 де МК- мікроконтролер, ФВЧ – фільтр верхніх частот, МКП – масштабний керований перетворювач, Рег. – регулятор, ПП – підсилювач потужності, Вібр. – вібратор, ЗД – зразковий датчик, КП – керований підсилювач, Інт. - інтегратор.

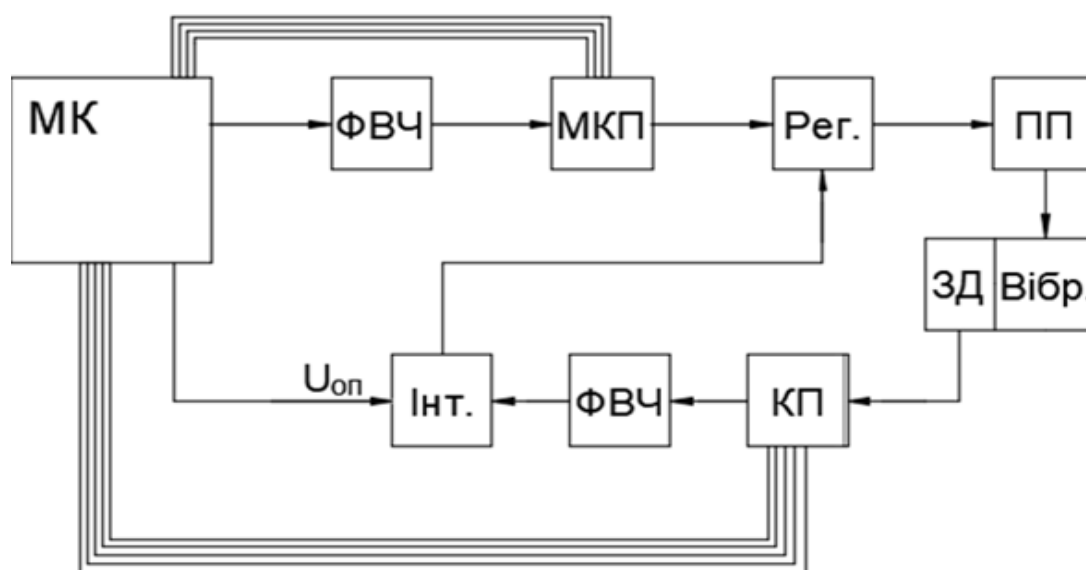


Рисунок 3.1 – Схема автоматичного регулювання рівня

Ізм.	Лист	№ докум.	Підпись	Дата

МД.ПІ_71мп.11.00.00

Лист

36

Мікроконтролер формує синусоїдну напругу певної амплітуди. Максимальне значення такої напруги, знаходиться в діапазоні від 0 В (в ідеалі) до значення опорної напруги, яка формується прецензійною схемою опорної напруги.

В якості мікроконтролера рекомендується використовувати контролери на 32 архітектурі.

Така мікросхема здатна відтворювати формувати напругу з високою точністю, та надійністю.

Мікро контролер формує синусоїду на основі обрахованих значень синусоїди, які на основі імпульсів вбудованого таймера в МК з певним інтервалом формує на виході аналогове значення напруги еквівалентне значенню двійкового слова на вході. В результаті на виході отримаємо ступінчатий сигнал синусоїди. На рис 3.2 схематично зображено вихідний сигнал (кількість точок зменшено для наглядності).

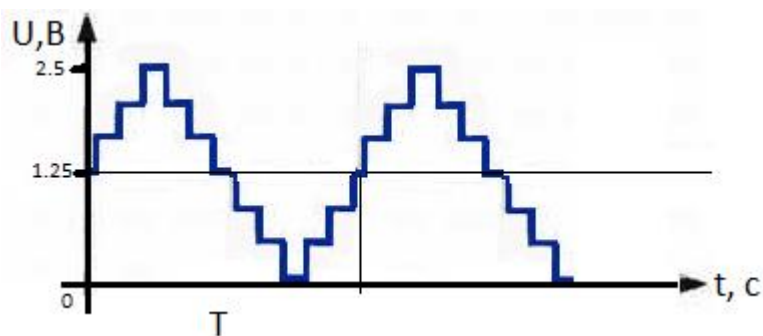


Рисунок 3.2 – Схематичне зображення сформованої синусоїди

Всі точки для синусоїди завчасно обраховано та збережено в пам'ять. Дані витягуються з таблиця та відправляються на вхід ЦАП, по імпульсу таймера. Змінюючи частоту імпульсів можна змінювати частоту синусоїди.

Оскільки після формування синусоїда має ступінчасту форму її необхідно пропустити через фільтр верхніх частот частот який згладить її форму.

Фільтр верхніх частот відсікає постійну складову струму тим самим залишаючи змінну, а саме синусоїду.

В схемі використовувався фільтр Беттерворта 3 порядку [10], з частотою зрізу $f_c = 10$ Гц. Схема фільтра зображена на рис. 3.3.

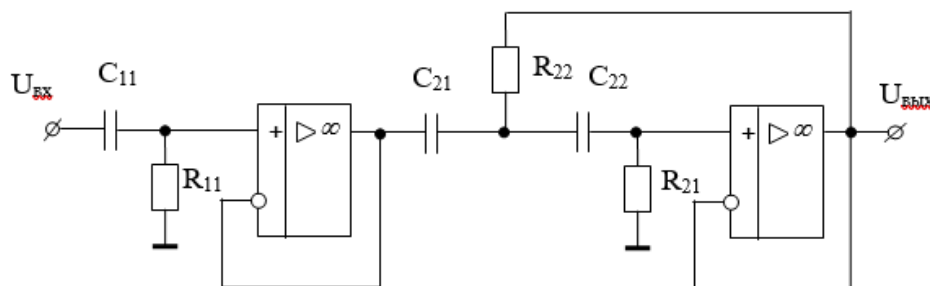


Рисунок 3.3 – Фільтр верхніх частот

Фільтр верхніх частот збудовано на фільтрах першого та другого порядку розв'язаних між собою операційними підсилювачами.

Для позбавлення від мільтиплікативної похибки фільтр виконаний на основі повторювача напруги.

Фільтр Беттерворта був обраний з метою мінімізації нерівномірності АЧХ.

Зі справочника визначаємо визначаємо коефіцієнти фільтрів а та б $a_1=1.0; b_1=0; a_2=1.0; b_2=1.0$. [10]

Розрахунок параметрів схеми виконується по формулі 3.1 [2] :

$$R_{11} = \frac{a_1}{2\pi f_c C_{11}} \quad (3.1)$$

де a_1 – коефіцієнт для відповідного ланцюга; C_{11} – ємність конденсатора обрано 0.1 мкФ; f_c – частота зрізу.

Для другого ланцюга рівняння коефіцієнта передачі розраховується за формулою 3.2 [11]:

$$K(p) = \frac{1}{1 + \frac{R_2(C_1 + C_2)}{R_1 R_2 C_1 C_2 \cdot \omega_c} \cdot \frac{1}{p} + \frac{1}{R_1 R_2 C_1 C_2 \cdot \omega_c^2} \cdot \frac{1}{p^2}}, \quad (3.2)$$

де R_1, R_2 – опори схеми (див. рис. 3.3);

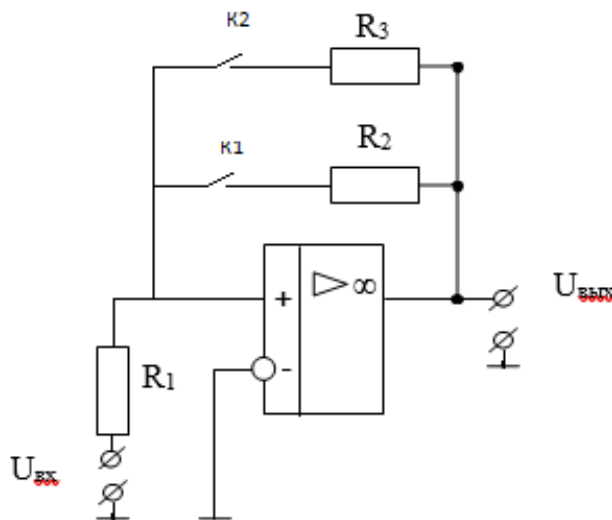
C_1, C_2 – ємності схеми (див. рис. 3.3); ω_c – частота зрізу.

Обравши $C_1=C_2=C_3$ формули для розрахунку приймуть вигляд [2]:

$$R_1 = \frac{a_1}{2\pi f_c C \cdot b_2}, \quad (3.3)$$

$$R_2 = \frac{a_2}{4\pi f_c C \cdot b_1}. \quad (3.4)$$

Після фільтра синусоїда потрапляє на керований масштабний перетворювач(КМП), котрий з певною дискретністю перетворює вхідний сигнал. Керування коефіцієнтом перетворення відбувається за допомогою команд з мікроконтролера які потрапляють на схему інтегрального котра змінює параметри схеми. Використання інтегральних ключів обумовлено тим, що використання транзисторів викликає появу зворотних струмів які негативно скажуться на роботі операційного підсилювача. Схема масштабного перетворювача представлена на рис. 3.2.



Рисунко 3.2 -Керований масштабний перетворювач

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

МД.ПІ_71мп.11.00.00

Лист

39

Для такого перетворювача коефіцієнт перетворення при замкнутому ключі K_1 буде розраховуватись за наступною формулою [11]:

$$K_{\Pi} = \frac{U_{\text{вих}}}{U_{\text{вх}}} = 1 + \frac{R_2}{R_1}, \quad (3.5)$$

де K_{Π} – коефіцієнт перетворення;

$U_{\text{вих}}$ – напруга виходу;

$U_{\text{вх}}$ – напруга входу;

R_2 та R_3 – номінали резисторів.

Видно що керування даним коефіцієнтом відбувається за допомогою зміни номіналу резисторів, які й перемикає інтегральний ключ.

Після керованого масштабного перетворювача сигнал потрапляє на регулятор який виконаний у вигляді помножувача. Він виконаний у вигляді інтегральної мікросхеми. На один з його входів подається синусоїда а на інший, сигнал від інтегратора, помножувач на виході видає напругу яка за звичай розраховується за наступною формулою формулою [11]:

$$U_{\text{вих}} = \frac{U_1 * U_2}{10}, \quad (3.6)$$

де $U_{\text{вих}}$ – напруга виходу;

U_1 – напруга на першому вході;

U_2 – напруга на другому вході.

Цей елемент призначений для формування зворотного зв'язку в системі.

Далі сигнал потрапляє на підсилювач потужності.

Після підсилений сигнал потрапляю на обмотку котушки, та створює коливання електромагнітного поля, що починають зміщати якор вібратор і створюють вібрацію установленної частоти, але не встановленого рівня

вібрації, далі зразковий датчик формує на виході сигнал, який підсилюється керованим підсилювачем.

Для досягнення високих метрологічних параметрів, рекомендується використовувати зразковий датчик з похибкою не більше 3%.

Схема підсилювача представлена на рис. 3.3.

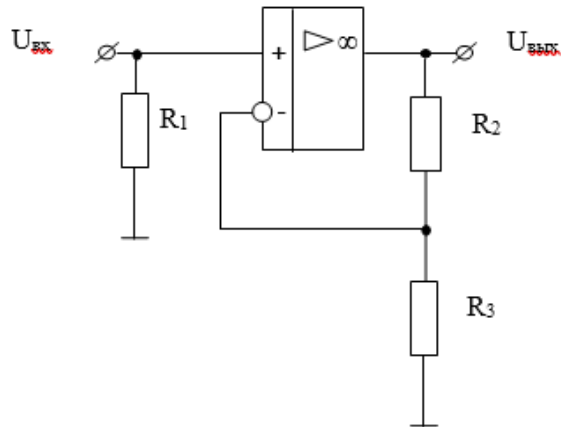


Рисунок 3.3 – Схема підсилювача

Коефіцієнт підсилення визначається за формулою:

$$K_y = \frac{U_{\text{вих}}}{U_{\text{вх}}} = 1 + \frac{R_1}{R_2}, \quad (1)$$

де $K_{\text{п}}$ – коефіцієнт перетворення;

$U_{\text{вих}}$ – напруга виходу;

$U_{\text{вх}}$ – напруга входу;

R_2 та R_3 – номінали резисторів.

Для перемикання коефіцієнту підсилення можна використати ланцюг з резисторів як показано на рис. 3.4.

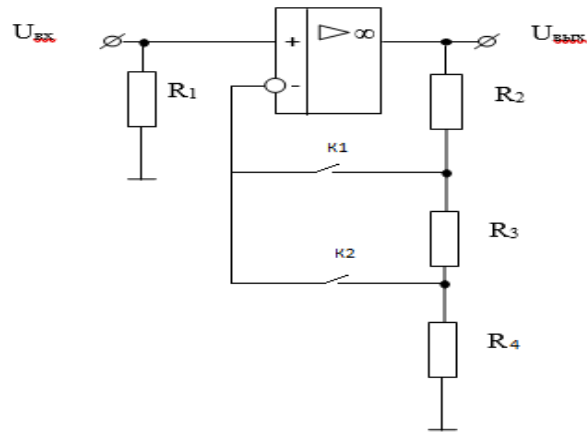


Рисунок 3.4 – Підсилювач з можливістю зміни коефіцієнта підсилення

Виконувати зміну параметрів схеми можна як і в випадку з схемою КМП за допомогою інтегральних ключів.

Перемикання коефіцієнту підсилення відбувається з певною дискретністю. Кількість значень коефіцієнтів підсилення еквівалентна кількості резисторів.

Збільшення діапазону перемикання відповідно і збільшить ланцюжок резисторів, та збільшить вихідний опір підсилювача. За для зменшення цього фактору використано два послідовно з'єднаних підсилювача.

Сумарний коефіцієнт підсилення якого буде дорівнювати добутку окремих коефіцієнтів.

Після підсилення сигнал потрапить на схему порівняння яка порівняє напругу з датчика з опорною напругою з МК. Така схема формується на вході інтегратора і має вигляд (рис. 3.5) двох провідників які збігаються в одну точку (виділена штрих пунктиром) [11].

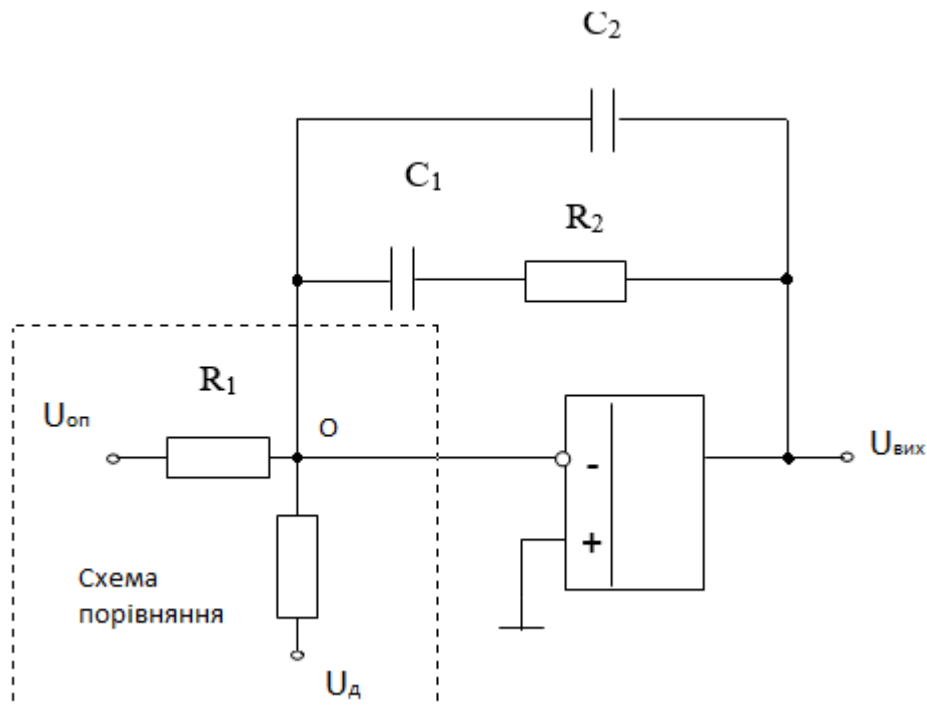


Рисунок 3.5 – Інтегратор зі схемою порівняння

Якщо опорну напругу подати зі зворотним сигналом, то при співпадінні напруг опори та напруги від датчика в точці О буде нульовий потенціал. Це значить що на вхід інтегратора прийде нульовий сигнал (в ідеал), тобто на виході інтегратора сформується константа.

Зміну параметрів схеми (перемикаючи масштабний перетворювач та керований підсилювач), на вхід котушки електродинамічної системи буде відповідно змінюватись і амплітуда відтворюваного сигналу, що фіксуватиметься датчиком і відправлятиметься знову на обробку і так дикі отриманий параметр не задовольнить вимогам.

3.1 Розрахунок схеми та обґрунтування вибору інтегральних елементів

3.1.1 Розрахунок фільтра верхніх частот

Фільтр верхніх частот обраховується за формулою (3.1) для першого ланцюга з прийнятими коефіцієнтами $a_1=1.0$; $b_1=1.0$; $a_2=1.0$; $b_2=1.0$:

$$R_{11} = \frac{1.0}{2 \cdot 3.14 \cdot 10 \cdot 10^{-7}} = 159,2 \text{ Ом.}$$

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

Для другого ланцюга розрахунок компонентів відбувається за формулами (3.3) та (3.4) значення ємності оберем $C = 0.33 \text{ мкФ}$:

$$R_1 = \frac{a_1}{2\pi f_c C \cdot b_2}, \quad (3.3)$$

$$R_1 = \frac{1.0}{2 \cdot 3.14 \cdot 10 \cdot 3 \cdot 10^{-6} \cdot 1} = 96,5 \text{ Ом},$$

$$R_2 = \frac{1.0}{4 \cdot 3.14 \cdot 10 \cdot 3 \cdot 10^{-6} \cdot 1} = 24,1 \text{ Ом}.$$

Резистори обрано прицезійні типу С2-29В:

$R_1 - \text{С2-29В} - 0,125 - 96,5 \text{ кОм} \pm 0,1 \%$;

$R_2 - \text{С2-29В} - 0,125 - 24,1 \text{ кОм} \pm 0,1 \%$.

3.1.2 Розрахунок керованого масштабного перетворювача

Масштабний перетворювач має перемикати значення коефіцієнта передачі з дискретність степені 2. Для цього оберемо резистор R_1 з рекомендованого діапазону [11] 100 кОм.

Всі наступні резистори з лінійки розраховуються за формулою (3.5):

$$R_2 = 100 \cdot 10^3(2 - 1) = 100 \text{ кОм},$$

$$R_4 = 100 \cdot 10^3(4 - 1) = 300 \text{ кОм},$$

$$R_8 = 100 \cdot 10^3(8 - 1) = 800 \text{ кОм},$$

$$R_{16} = 100 \cdot 10^3(16 - 1) = 1,6 \text{ МОм},$$

$$R_{32} = 100 \cdot 10^3(32 - 1) = 3,2 \text{ МОм}.$$

Для зменшення ланцюга з резисторів використано послідовне з'єднання перетворювачів для яких значення коефіцієнта перетворення будуть перемножатися [11].

Для задання наступних 3 значень необхідно всього 2 значення коефіцієнта, які вже були обраховані для $K_{\Pi} = 32$ та для $K_{\Pi} = 1$, для $K_{\Pi} = 1$ необхідний одиничний зворотній зв'язок.

Резистори обрані прицезійні з розходженням параметрів 0,1%.

3.1.3 Вибір схеми регулювання

Схема порівняння базується на інтегральній мікросхемі перемножувача. Інтегральна мікросхема обирається опираючись на такі параметри: пропускна здатність, максимальна похибка та максимальна вихідна напруга.

Виробником популярних рішень перемножувачів є Analog Devices, яка випускає широкий спектр моделей таких виробів, що наведені в таблиці 3.1 [15].

Таблиця 3.1 – Аналогові перемножувачі лінійки AD

Модель	U_{in}, V	Пропускна здатність -3 dB (кГц)	Максимальна похибка, %	Ціна, \$
AD835	±1	250	0.3	10.92
AD633	±10	900	2	4.57
AD734	±12	1000	0.4	18.10
AD539	±4.2	2500	2.5	24.95
AD632	±12	1000	0.5	13.84

Аналізуючи параметри помножувачів з таблиці таблиці 3.1, для використання в системі АРУ AD633, оскільки він задовольняє всім вимогам. А саме діапазон вхідних напруг ±10 В, що відповідає максимальній вихідній

напрузі інтегратора, максимальна частота виходу формувача синуса вписується в пропусний діапазон. На рис. 3.6 зображена функціональна діаграма з якої на два операційні підсилювачі подається два вхідні сигнали які перемножуються. Входи X_2 Y_2 це інвертуючі входи операційного підсилювача, вони через конденсатор ємністю 0,1 мкФ «підтягуються на землю».

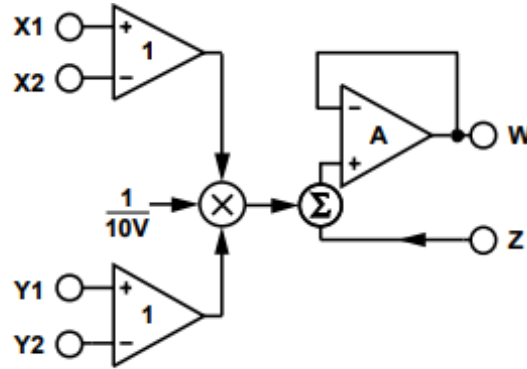


Рисунок 3.6 – Функціональна схема AD633

На рис. 3.7 зображено типову схему включення при перемноженні вхідних сигналів. В приведеній вище схемі суматорний вхід не використовується, нема потреби зміщати сигнал по амплітуді.

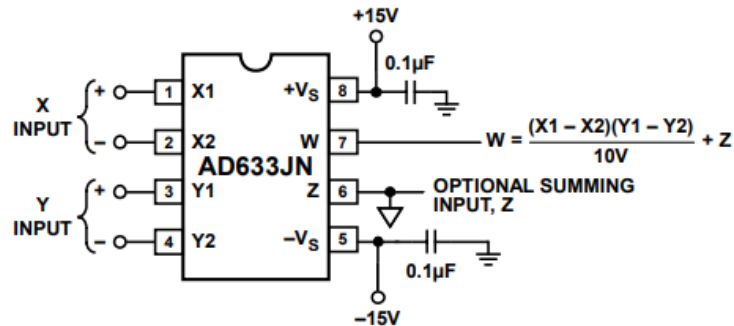


Рисунок 3.7 – Схема включення AD633

Також даний помножувач є автономним і не потребує додаткових елементів обв'язки. За для надійності і щоб запобігти проскакуванню постійної складової струму від землі та на землю, до виходів підв'язуються конденсатори ємністю 0,1 мкФ.

3.1.3 Розрахунок керованого підсилювача

Керований підсилювач як і масштабний перетворювач буде перемикати значення коефіцієнта перетворення за допомогою схеми на інтегральних ключах. Для цього резистор зворотного зв'язку буде залишатися не змінним і в схему ключа входити не буде.

Розрахунок в такому випадку проводиться аналогічно з масштабним перетворювачем. Опір $R_1 = 100 \text{ Ом}$ з рекомендації [13].

$$R_2 = 100 \cdot 10^3(2 - 1) = 100 \text{ кОм},$$

$$R_4 = 100 \cdot 10^3(4 - 1) = 300 \text{ кОм},$$

$$R_8 = 100 \cdot 10^3(8 - 1) = 800 \text{ кОм},$$

$$R_{16} = 100 \cdot 10^3(16 - 1) = 1,6 \text{ МОм},$$

$$R_{32} = 100 \cdot 10^3(32 - 1) = 3,2 \text{ МОм}.$$

Ті для збільшення діапазону перемикання коефіцієнта підсилення встановлено 2 підсилювача підряд, значення коефіцієнтів підсилення яких перемножаться.

Для другого підсилювача коефіцієнт підсилення становитиме $K_{\Pi} = 32$ та $K_{\Pi} = 1$. Значення резисторів для такого коефіцієнта підсилення вже обраховані вище.

Резистори обрані прицезійні з розходженням параметрів 0,1%.

3.1.4 Вибір схеми опорної напруги

Для роботи цафро-аналогового претворювача (ЦАП) необхідно сформувати опорну напругу, на основі якої ЦАП і буде формувати необхідний рівень напруги на виході.

Схема опорної напруги повинна володіти високим показником точності, малим тепловим коефіцієнтом та потребувати мінімум зовнішніх компонентів.

Оскільки максимальне значення амплітуди на виході ЦАП з МК 2.5 В, отже необхідно підібрати схему опорної напруги з такою же стабільною напругою.

Компанії Analog Devices та Linear Technology поставляють на ринок прицевійні схеми формування опорної напруги, представники лінійки яких представлені в таблиці 3.2 [16].

Таблиця 3.2 – Схеми формувачів опорної напруги

Модель	U _{вих} ,В	Вплив температур, ppm/°C	Точність, %	Напруга шуму, мкВ
LT6658AIMSE-2.5	2.5	10	0.05	3.74
LT6658BHMSE-2.5	2.5	20	0.1	3.75
LT6657AHMS8-2.5	2.5	1.5	0.1	1.25
ADR4525	2.5	2	0.02	1.6
ADR03	2.5	3	0.1	6
LTC1461CISB-2.5	2.5	12	0.1	20
ADR3225	2.5	8	0.1	18

Поставленим вимогам відповідає LT6657AHMS8-2.5 оскільки він володіє низьким коефіцієнтом залежності від температури, а це важливо оскільки інтегральний підсилювач потужності буде розсіювати багато енергії у вигляді теплі. Низьке значення шумів дозволить формувати синусоїду з більшою точністю.

Недоліком даного формувача опорної напруги є відносно висока вартість в порівнянні з іншими схемами, що перевищує найближчий аналог з таблиці 3.2 ADR03 майже в 5 разів.

Для включення схеми опорної напруги потрібно мінімум зовнішніх елементів схема включення LT6657AHMS8-2.5 представлена на рис. 3.6 [16].

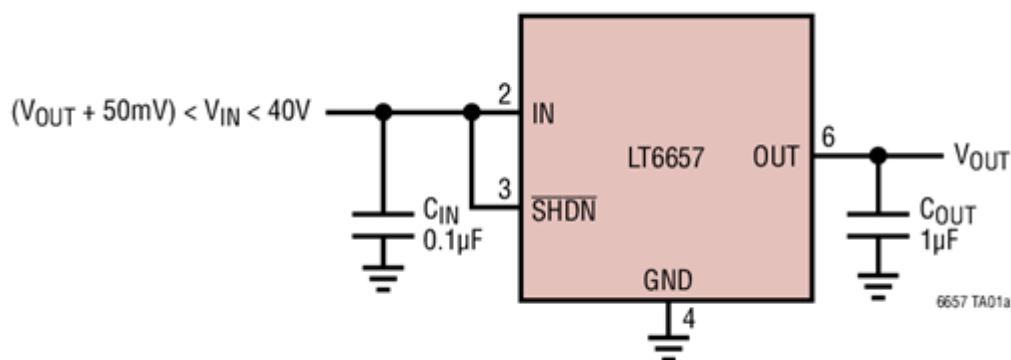


Рисунок 3.6 – Схема включення LT6657AHMS8-2.5

Як видно з рис. 3.6 з зовнішніх елементів необхідно лише 2 конденсатори жорстких умов до яких не ставиться, а призначені для зменшення впливу високочастотної складової, та запобігти проскакуванню постійного. Пін «Земля» рис. 3.6 (4) також можна підв'язати до землі через конденсатор ємністю 1 мкФ.

На рис. 3.7 [17] зображено температурний дрейф. В нормальному робочому діапазоні тобто при 22 °С значення знаходиться в межах 0. Даний параметр важливий для формування опорної напруги, оскільки при великому його значенню, сформована опорна напруга не відповідатиме дійсності, а вся система буде налаштована на іншу амплітуду.

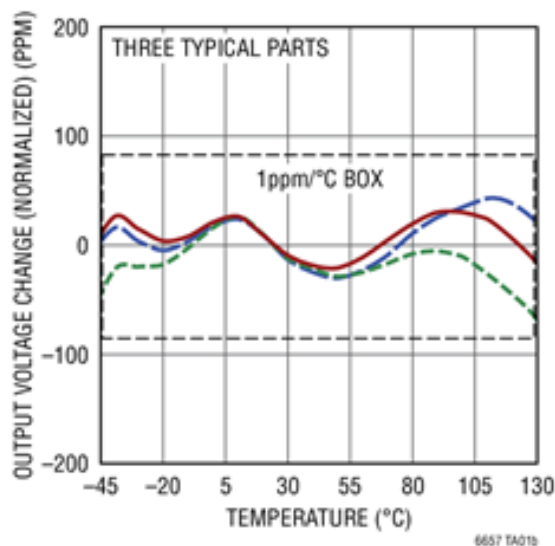


Рисунок 3.7 – Температурний дрейф напруги на виході

Дана модель буде зберігати допустимі метрологічні характеристики на всьому діапазоні робочих температур від 0° до 45° С.

3.1.4 Вибір схеми інтегральних ключів

Схема інтегральних ключів обирається опираючись на такі параметри як зворотний струм, це значення має бути мінімізоване, напруга живлення.

Напругу живлення необхідно обрати двуполярною зі значенням 10 В. Таке значення обирається через те щоб не формувати окрему напругу живлення для перемикачів. В таблиці 3.3 [17] представлена вибірка інтегральних ключів від компанії Analog Devices.

Таблиця 3.3 – Вибірка інтегральних ключів

Модель	Напруга живлення, В	Опір відкритого ключа, Ом	Зворотний струм, мкА	Тип включення
ADG609	10	22	50	(3:1)x2
ADG608	10	22	50	(6:1)x1
ADG513	10	30	50	SPSTx4
ADG512	10	30	50	SPSTx5
ADG551	10	35	50	SPSTx4

З таблиці 3.3 дві інтегральні схеми оптимально підходять для використання в схемі, а тобто володіють низьким зворотним струмом, володіють низьким опором у відкритому положенні, та мають оптимальну кількість пар вхід/вихід. Відрізняються вони лише парністю піні, для моделі ADG609 вони розбиті на 2 окремих ключа по 3 входи, а для ADG608 це 6 входів в одному сегменті.

Схема зображена на рис. 3.8 з якої видно як саме включається перемикач він має 6 входів та 1 вихід, що дозволяє в нашому випадку дозволить підв'язати вихід до землі та перемикати на нього резистори.

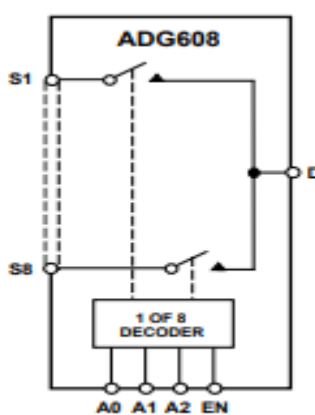


Рисунок 3.8 – Схема інтегрального ключа ADG608

Для використання в схемі обрано 2 види ключів розглянутих вище, оскільки при правильній розводці плати можливо використати 1 ключ для 2-ї ланки керованого підсилювача та керованого масштабного перетворювача. Але допускається і використання окремих 4 перемикачі.

На рис. 3.9 показано як буде виглядати схема керованого масштабного перетворювача при використанні ADG608.

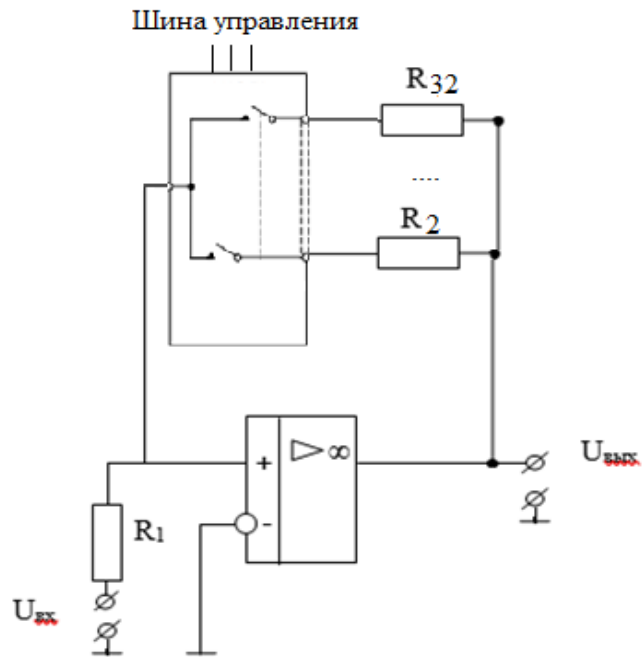


Рисунок 3.9 – Схема керованого перетворювача

З рис. 3.9 видно, що схема керованого підсилювача на інтегральних ключах є простою, значно простішою ніж з використанням транзисторів.

Висновки за розділом

В розділі 3 було розроблено схему автоматичного регулювання рівня, розраховано та обрано основні елементи схема. Приведені формули для розрахунків електронних параметрів схеми. Обґрунтовано вибір елементів структурної схеми.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

4 Метрологічний аналіз системи АРР

Розрахунок та аналіз похибок слід проводити з урахуванням особливостей побудови структурної схеми вібростенда.

Структурна схема приведена на рис. 3.1 є замкнутою, причому представляє собою статичну схему першого порядку [18] (через використання інтегратора для формування керуючого сигналу регулятора).

Відповідно до [18], похибки блоків, що входять до прямого ланцюга структурної схеми на сумарну похибку не впливають. Рівняння перетворення в першому приближенні можна записати у вигляді:

$$U_{\text{оп}} = U_{\text{дет}} \cdot K_{\text{ФВЧ}} \cdot K_{\text{УМП}} \cdot K_{\text{ПСКЗ}} \cdot K_{\text{ФВЧ}}, \quad (4.1)$$

де $U_{\text{оп}}$ – опорна напруга;

$U_{\text{дет}}$ – напруга сформована детектором;

$K_{\text{ФВЧ}}$ – коефіцієнт перетворення фільтра;

$K_{\text{УМП}}$ – коефіцієнт перетворення масштабного перетворювача;

$K_{\text{ПСКЗ}}$ – коефіцієнт перетворення схеми СКЗ.

Для формули (4.1) напруга детектора буде розраховуватися за формулою:

$$U_{\text{дет}} = K_{\text{ЗрДат}} \cdot A_{\text{стенда}}, \quad (4.2)$$

де $K_{\text{ЗрДат}}$ – коефіцієнт перетворення зразкового датчика;

$A_{\text{стенда}}$ – амплітуда вібростенда.

З формули (4.2) можна перейти до амплітуди віброприскорення відтвореного стендом:

$$U_{\text{дет}} = K_{\text{ЗрДат}} \cdot A_{\text{стенда}},$$

4.1 Розрахунок похибки підсилювача

Похибка σ_{Π} підсилювача від розбросу номіналів резисторів зворотного зв'язку визначається за формулою сумування випадкових складових похибок[19]:

$$\delta_{\text{ocy}} = k \sqrt{\sigma(\delta_{R2})^2 + \sigma(\delta_{R3})^2} \quad (4.1)$$

де $\sigma(\delta_{R2})$ та $\sigma(\delta_{R3})$ – випадкові складові мультиплікативної похибки резисторів R1 та R2 (див. рис. 3.3); k – коефіцієнт, що розраховує вид розподілу нормальних похибок.

Значення δ_{R2} та δ_{R3} дорівнюють 0,1% виходячи з обраного типу резисторів. Значення коефіцієнта k буде дорівнювати 3 (дня нормального розподілу $P_{\text{дов}}=0,997$).

Виходячи з приведених значень обраховано середньо квадратичне відхилення:

$$\sigma(\delta_{R1}) = \sigma(\delta_{R2}) = \frac{\delta_{R1}}{k} = \frac{0,1}{3} = 0,033 \%$$

Значення похибки викликане такою величиною розраховується за формулою (4.1):

$$\delta_{\Pi} = 3 \cdot \sqrt{0,033^2 + 0,033^2} = 0,14$$

Похибка мультиплікативна, випадкова, з нормальним законом розподілу.

					МД.ПІ_71мп.11.00.00	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		54

Похибка, викликана кінцевим значенням підсилювання ОП, визначається за наступною формулою [19]:

$$\delta_{к\beta} = \frac{1}{1 + K(f)\beta} \cdot 100 \% , \quad (4.2)$$

де $K(f)$ – коефіцієнт підсилення ОП на частоті f ; β – коефіцієнт передачі ланки зворотного зв'язку.

Для ОП ОР 07 АР на частоті нормування похибки (яка прийнята за $f_n = 1$ кГц) значення власного підсилення знижується до $3 \cdot 10^4$ [20]. Значення β при $K_n = 2$ рівняється $\frac{1}{2}$. Тоді:

$$\delta_{к\beta} = \frac{1}{1 + 3 \cdot 10^4 \cdot 0,5} \cdot 100 = 1,5 \cdot 10^{-2} \% .$$

Похибка за своїм характером мультиплікативна систематична.

Напряга зміщення не впливає так як на вході підсилювача розміщений ФВЧ котрий прибирає постійну складову струму в результуючому сигналі.

4.2 Розрахунок похибок ФВЧ

Фільтр верхніх частот побудований на схемі повторювача тому вплив похибок ланки зворотного зв'язку на результуючу похибку не будуть впливати.

Похибка викликана кінцевим значенням петльового підсилення ФВЧ, є мультиплікативна систематична та визначається за формулою (4.2) на частоті 1кГц при умові $\beta = 1$ [19]:

$$\delta_{к\beta\text{ФВЧ}} = \frac{1}{1 + 3 \cdot 10^4 \cdot 1} \cdot 100 = 3 \cdot 10^{-3} \% .$$

Приведена похибка визначається напругою зміщення ОП ФВЧ, являє собою додаткову, систематичну та визначається за формулою:

$$\gamma_{\text{смФВЧ}} = \frac{\Delta U_{\text{см}}}{U_{\text{ном}} \cdot K_y} \cdot 100 = \frac{1 \cdot 10^{-3}}{0,2 \cdot 50} \cdot 100 = 10^{-2} \% \quad (4.3)$$

Значення похибки, що викликана вихідними струмами ОП визначається за формулою [19]:

$$\gamma_{i_{\text{вх}}} = \frac{i_{\text{вх}} \cdot R_{\text{екв}}}{U_{\text{ном}} \cdot K_y} \cdot 100\% , \quad (4.4)$$

де $i_{\text{вх}}$ – вхідний струм ОП (значення з паспорту);

$U_{\text{ном}}$ – вихідна напруга попереднього підсилювача ($U_{\text{ном}} = 0,2\text{В}$);

$R_{\text{екв}}$ – еквівалентний опір джерела сигналу для ОП ФВЧ ($R_{\text{екв}} = 159,2\text{кОм}$, див розрахунок ФВЧ).

Значення $i_{\text{вх}} = 0,1 \text{ нА}$ для AD706AP [20] тоді:

$$\gamma_{i_{\text{вх}}} = \frac{1 \cdot 10^{-10} \cdot 159,2 \cdot 10^3}{0,2 \cdot 50} \cdot 100 = 1,6 \cdot 10^{-4} \%$$

Похибка в порівнянні з іншими похибками є малою, відповідно нею можна знехтувати.

4.3 Розрахунок похибки ЦАП

ЦАП формує на виході сигнал синусоїди опираючись на значення кодів синуса, що записані в постійній пам'яті. Це значення формується методом перемножування кодів на значення опорної напруги.

Похибка від квантування по зменшенню $\delta_{\text{кв}}$ ЦАП впливає на амплітуду (та СКЗ напруги). Похибка визначається за формулою:

					<i>МД.ПІ_71мп.11.00.00</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		56

$$\delta_{\text{КВ}} = \frac{1}{2^N} \cdot 100 = \frac{1}{2^{10}} \cdot 100 = 0.1\%.$$

Похибка додаткова, випадкова з нормальним законом розподілу.

Похибка, що викликана розходженням номіналів опорів резисторів зовнішнього суматора струмів $\delta_{\text{ос}}$ (паспортне значення) для внутрішнього АЦП МК при розходження номіналів резисторів $\delta_R = 0.1\%$, $\delta_{\text{ос}} = 0,07\%$.

Метод кусково-лінійної апроксимації синуса вносить нелінійні спотворення в сформований синус. Коефіцієнт гармонік при рівномірній апроксимації за часом та рівнем визначається за формулою [18]:

$$k_{\text{звп}} = \frac{\pi}{\sqrt{3n_{\text{вп}}}}, \quad (4.5)$$

де $n_{\text{вп}}$ – число точок апроксимації синуса за часом;

$$k_{\text{звп}} = \frac{1}{n_{\text{рв}}} \cdot \sqrt{\frac{8}{3}}, \quad (4.6)$$

де $n_{\text{рв}}$ – число рівнів квантування (250 для частоти 1 кГц).

Розрахуємо $k_{\text{звп}}$:

$$k_{\text{звп}} = \frac{3,14}{\sqrt{3} \cdot 250} = 7 \cdot 10^{-3}.$$

При квантуванні по рівню використовується ЦАП з 12-ма двійковими розрядами, тобто $n_{\text{рв}} = 2^{10} = 1024$. Тоді значення $k_{\text{звп}}$ складе:

$$k_{\text{звп}} = \frac{1}{1024} \cdot \sqrt{\frac{8}{3}} \approx 1,6 \cdot 10^{-3}.$$

Верхнє значення k_2 сформованого сигналу на частоті 1 кГц складає:

$$k_2 = k_{2ep} + k_{2yp} = 7 \cdot 10^{-3} + 1,6 \cdot 10^{-3} = 8,6 \cdot 10^{-3}$$

Або у відсотках $k_2 \approx 0,9\%$.

При числі точок апроксимації $n_{ep} = 250$ переважає 250 - та гармоніка з частотою 250 кГц. ФНЧ знижує рівень цієї гармоніки приблизно на 24 dB, тобто в 15 разів. Значення k_2 після фільтрації складе $k_{2ф} = k_2/15 = 0,9/15 = 0,06\%$.

Похибка, яку вносять вищі гармоніки в с.к.з вихідної напруги, визначається за формулою [21]:

$$U_{свз} = U_1 \cdot \sqrt{1 + k_2^2} \approx U_1 \cdot (1 + \frac{k_2^2}{2}), \quad (4.7)$$

де U_1 – с.к.з. напруги першої гармоніки.

Другий добуток визначає відносну похибку від вищих гармонік:

$$\delta_{вз} = \frac{k_2^2}{2} \cdot 100 = \frac{(6 \cdot 10^{-4})^2}{2} \cdot 100 = 6 \cdot 10^{-6} \%$$

Така похибка, є малою тобто нею можна знехтувати.

4.4 Похибка фільтра нижніх частот

Структура фільтра нижніх частот схожа зі структурою ФВЧ тому і похибка розраховується аналогічно.

Систематична складова при частоті зрізу $f_c = 2$ кГц.

$$\delta_{\text{квФНЧ}} = \frac{1}{1 + 3 \cdot 10^{-4} \cdot 2} \cdot 100 = 3 \cdot 10^{-3} \%$$

Похибка АЧХ викликана частотною залежністю. Проведено аналіз даної похибки на частоті $f_c = 2$ кГц:

$$K(\omega) = \frac{1}{\sqrt{1 + \omega^2 \cdot \tau^2}} = \frac{1}{\sqrt{1 + (2 \cdot 3,14 \cdot 10^3)^2 \cdot (15,9 \cdot 10^3 \cdot 10^{-9})^2}} = 0,995.$$

Номинальний коефіцієнт дорівнює 1, як наслідок, частотна похибка (на частоті зрізу $f_c = 2$ кГц) складе $\delta_{f_{\text{ФНЧ}}} = 0,5 \%$.

4.4 Сумарна похибка

Систематична складова мультиплікативної похибки обраховується як алгебраїчна сума похибок ланок що входять в прямий ланцюг:

$$\begin{aligned} \delta_{\Sigma \text{сист}} &= \delta_{\text{кк}} + \delta_{\text{квУ}} + \delta_{\text{квФВЧ}} + \delta_{\text{квІлт}} + \delta_{\text{квСП}} = \\ &= 0,1 + 3 \cdot 10^{-3} + 3 \cdot 10^{-3} + 4,5 \cdot 10^{-3} + 3 \cdot 10^{-3} = 0,1135 \%. \end{aligned}$$

Для сумування випадкових складових мультиплікативної похибки потрібно записати їх середньо-квадратичне відхилення.

$$\begin{aligned} \sigma(\delta_{\text{зд}}) &= \frac{\delta_{\text{зд}}}{k} = \frac{3}{3} = 1\%, \\ \sigma(\delta_n) &= \frac{\delta_n}{k} = \frac{0,14}{3} = 0,043\%. \end{aligned}$$

Відповідно до критерія малості $\sigma(\delta_n)$, похибка є мізерно мала, а від тка нею можна знехтувати. Випадкова складова системи відтворення вібрації для нормального розподілу при $P_{\text{дов}} = 0,997$ ($k=3$) визначається як:

$$\delta_{\Sigma \text{вип}} = k \cdot \sigma(\delta_{\text{зд}}) = 3 \cdot 1 = 3 \%$$

В такому випадку Верхня межа мультиплікативної похибки складе:

$$\delta_{\Sigma \text{ВМ}} = \delta_{\Sigma \text{сист}} + \delta_{\Sigma \text{вип}} = 0,1135 \cdot 3 = 3,1135 \%$$

Систематична складова адитивної похибки визначається лише фільтром нижніх частот що стоїть за керованим підсилювачем є наступною:

					<i>МД.ПІ_71мп.11.00.00</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		59

$$\gamma_{\Sigma_{\text{сист}}} = \gamma_{\Sigma_{\text{смФНЧ}}} = 0,01 \%$$

На випадкову складову адитивної похибки впливає похибка від квантування: $\delta_{\text{кв}} = 0.01\%$ а також рівень шуму зразкового датчика, для того що використовується в ВСВ-131А $\sigma(\gamma_{\text{ШЗД}}) = 0,015 \%$.

$$\sigma(\delta_{\text{кв}}) = \frac{\delta_{\text{кв}}}{k_p} = \frac{0.01}{\sqrt{3}} = 0.0025\%$$

Дана похибка є мізерно мала тобто нею можна знехтувати. Випадкова складова адитивної похибки складеє:

$$\gamma_{\Sigma_{\text{ит}}} = 3 \cdot 0,015 = 0,045 \%$$

Верхня межа адитивної похибки дорівнює:

$$\gamma_{\Sigma_{\text{см}}} = 0,01 + 0,045 = 0,055\%$$

Сумарна похибка відтворюваної амплітуди вібрації буде дорівнювати:

$$\Delta_{\text{max}} = \delta_{\Sigma} + \gamma_{\Sigma} = 3.1135 + 0.055 = 3.119\%$$

З розрахованої сумарної похибки видно що максимальна сумарна похибка відтворюваної амплітуди вібрації буде в більшій мірі залежати від зразкового датчика.

Висновки по розділу

- сумарна похибка відтворюваної амплітуди вібрації - **3.119%**;
- встановлено що визначальною ланкою в формуванні похибки є зразковий датчик;

					МД.ПІ_71мп.11.00.00	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		60

- рівень шуму зразкового датчика, який використовується $\sigma(\gamma_{шзд}) = 0,015 \%$;

-керувати точністю системи регулювання рівня можна змінюючи зразковий датчик;

-на більш точний не змінюючи конструкцію в цілому.

					МД.ПІ_71мп.11.00.00	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		61

5 Метрологічне забезпечення

Розроблена методика калібрування призначена для експлуатації модернізованого варіанту стенда ВСВ-131А, з розширеним динамічним діапазоном.

5.1 Умови калібрування та підготовка до них

5.1.1. Значення величин, що впливають на метрологічні характеристики приладів, що використовуються при калібруванні повинні відповідати нормативно-технічній документації для нормальних умов експлуатації.

5.1.2. Параметри навколишнього повітря в приміщенні, призначеному для проведення калібрування, повинні характеризуватися такими значеннями:

- температура повітря $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$;
- відносна вологість від 40 до 80%;
- атмосферний тиск від 84 до 106 кПа;
- рівень звукового тиску - не більше 60 дБ.

5.2 Вимоги безпеки та підготовка до калібрування

5.2.1. Засоби калібрування та калібруємий датчик з вимірювальним перетворювачем готують до роботи у відповідності до інструкції з експлуатації.

5.2.2. При проведенні калібрування повинні бути дотримані вимоги безпеки, зазначені в інструкції з експлуатації на калібруємої системи і засоби калібрування.

5.2.3. Обслуговуючий персонал допускають до обслуговування після інструктажу з техніки безпеки і загальними правилами експлуатації електричних установок і ознайомлення з інструкцією по експлуатації та технічним описом.

5.2.4. Огляд, приєднання зовнішніх ланцюгів проводять в знеструмленому стані системи.

					<i>МД.ПІ_71мп.11.00.00</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		62

5.2.5. Перед подачею напруги на систему необхідно переконатися в справності заземлення.

5.2.6. Застосовувані при перевірці засоби вимірювань, повинні бути заземлені відповідно до інструкцій по експлуатації

5.2.7. Підготовка каліброчної виброустановки до роботи і кріплення віброперетворювача повинні відповідати вимогам технічного опису на виброустановці, а також керівництва по експлуатації віброперетворювача.

5.3 Проведення калібрування

5.3.1 Зовнішній огляд

При зовнішньому огляді повинна бути встановлена відповідність системи таким вимогам:

- відсутність механічних пошкоджень корпусу електронного блоку системи вібромоніторингу, відсутність зовнішніх пошкоджень сполучних кабелів, справність кріпильних пристосувань;

- наявність непошкодженою контрольної пломби на корпусі електронного блоку системи;

- відповідність комплектності та маркування технічної документації.

У разі виявлення невідповідності хоча б по одному з вищевказаних вимог система визнається непридатною для застосування та повірка припиняється (до усунення порушення).

5.3.2 Опробування

Підключивши акселерометр до системи вимірювання, та подавши на систему напругу, необхідно постукуючи по корпусу акселерометра візуально фіксувати вихідні параметри. Скачки вихідних параметрів повинні відбуватися в такт з постукуваннями оператора. В такому випадку система признається справною.

5.3.3 Перевірка електричного опору ізоляції

Опір ізоляції вимірюють мегаомметром М4100/3. Вимірювання проводять між закороченими штирями роз'єму ланцюга живлення і корпусом електронного блоку системи при вимкненому живленні.

Електричний опір ізоляції має бути не менше 5 МОм.

5.3.4 Перевірка електричної міцності ізоляції

Перевірка електричної міцності ізоляції кіл живлення проводиться на пробійної установці УПУ-1М, згідно ГОСТ 6651-78. Система при цьому повинна бути відключена від мережі живлення.

Міцність електричної ізоляції повинна бути не менше 1,5 кВ.

5.3.5 Визначення коефіцієнта перетворення на базовій частоті та нелінійність АЧХ

5.3.5.1 Вимірювальний віброперетворювач (датчик) каліброваної системи закріпити на вибростолі ВСВ-131. За потреби використати один з калібровочних столів зі стандартними отворами під кріплення.

Визначити значення вихідного сигналу електронного блоку при відсутності вібрації по монітору. Значення вихідного сигналу має бути рівним нулю. При невиконанні цієї вимоги система до подальшої повірці не допускається і повертається виробнику для ремонту і настройки.

5.3.5.2 Встановити для модернізованого вібростенда ВСВ-131А, калібровочної установки частоту коливань 45 Гц і по черзі значення СКЗ віброприскорення (a_{0i}) з ряду 0,2; 0,5; 1, 2, 5, 10, 20 [м / с²]. При кожному фактичному значенні параметрів вібрації провести вимірювання значень віброприскорення системою і зразковим акселерометром, занести ці значення в протокол випробувань.

Розрахувати значення коефіцієнтів перетворення за такими формулами:

					МД.ПІ_71мп.11.00.00	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		64

$$K_i = \frac{A_{вих i}}{A_{0i}}, \quad (5.1)$$

де $A_{вих i}$ – значення віброприскорення (m/c^2) калібруємою системою;

A_{0i} – значення віброприскорення, зразкового датчика.

Рекомендується проробити 20 вимірювань в кожній точці і занести їх до протоколу випробувань. Як результат прийняти їх значення, розраховані за алгоритмом п. даної методики. Значення розрахованої похибки не повинне перевищувати межі допустимої похибки, зазначеного в нормативно-технічної документації.

5.3.5.3 Розрахунок значень нелінійності амплітудної характеристики в робочому діапазоні віброприскорення на базовій частоті 45 Гц здійснюється за формулою:

$$\delta_i = \frac{K_i - \bar{K}}{\bar{K}} \cdot 100\%, \quad (5.2)$$

де K_i - значення коефіцієнта перетворення для i - тієї точки амплітудної характеристики;

$\bar{K} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n K_i$ - середнее арифметическое значение коэффициента

преобразования.

Максимальна розраховане значення нелінійності не повинно перевищувати значення, зазначеного в паспорті системи вибромоніторинга.

5.3.6 Визначення нерівномірності амплітудно - частотної характеристики в робочому діапазоні частот.

5.3.6.1 Задати на вібростенді рекомендовані значення частот коливань і СКЗ віброприскорення, наведені в таблиці 5.1. При кожному заданому режимі провести вимірювання вихідного сигналу. Рекомендується виробляти 20 вимірювань в кожній точці і занести їх до протоколу випробувань. Як

результат прийняти їх значення, розраховані за алгоритмом п. 5.4 даної методики. Значення розрахованої похибки не повинне перевищувати межі допустимої похибки, зазначеного в нормативно-технічній документації.

Таблиця 5.1 – Визначення нерівномірності амплітудо – частотної характеристики

Частота, Гц		10	45	160	500	1000	1500	2000
a_0	Встановлене	10	10	10	7,5	5	3	1
	Фактичне							
K_i	-							
γ_i	%							

5.3.7 Визначення відносного коефіцієнта поперечного перетворення акселерометра.

5.3.7.1 На робочий стіл віброустановки кріплять пристосування - перехідник. На перехіднику фіксують віброперетворювач таким чином, щоб напрямок його основний чутливості було перпендикулярно напрямку коливань столу віброустановки. На віброустановці відтворюють коливання з частотою 45 Гц і постійною СКЗ віброприскорення (20 м / с^2). Знімають показання по монітору системи при різних кутових положеннях віброперетворювача, тобто при повороті його навколо власної осі на кут $\square\square$ с кроком не більше 30° . Результати записують в протокол.

5.3.7.2 Віброперетворювач на робочому столі вібростенда кріплять без перехідника так, щоб напрямки коливань і напрям основної чутливості віброперетворювача збігалися. При порушенні коливань з параметрами 45 Гц і СКЗ віброприскорення 20 м/с^2 знімають показання по монітору системи. Результати записують в протокол випробувань. Значення відносного коефіцієнта поперечного перетворення $K_{\text{п}}$ розраховують за формулою:

$$K_{\Pi} = \frac{a_1 - a_2}{2a_0} \cdot 100\%, \quad (5.3)$$

де a_1 - максимальне значення з результатів вимірювання віброприскорення при повороті віброперетворювача на кут φ_1 (м/с²);

a_2 – істинне значення при встановленні віброперетворювача на кут $\varphi_2 = \varphi_1 + 180^\circ$;

a_0 – значення віброприскорення при встановленні віброперетворювача по напрямку основної осі чутливості до осі коливання вібростенду (м/с²).

Рекомендується проробляти 20 вимірювань в кожній точці і занести їх до протоколу випробувань. Як результат прийняти їх значення, розраховані за алгоритмом п. 5.4 даної методики. Значення розрахованої похибки не повинне перевищувати межі допустимої похибки, зазначеного в нормативно-технічної документації.

5.4 Алгоритм обробки результатів вимірювань вимірювального каналу

5.4.1. Визначити середнє арифметичне значення результатів спостережень в j-ой точці діапазону вимірювання:

$$\bar{X}_j = 1/n \sum_{i=1}^n \tilde{X}_{ji}, \quad (5.4)$$

де \tilde{X}_{ji} - і-те вимірне значення показання в j-тій точці діапазону вимірювань;

n – число спостережень в точці: n=20.

5.4.2. Оцінити систематичну похибку результатів вимірювання:

$$\hat{\Delta}_j = 1/n \sum_{i=1}^n (\tilde{X}_{ji} - X_j), \quad (5.5)$$

де X_j - значення показання в і-й точці діапазону вимірювання, задане зразковим датчиком.

5.4.3. Визначення середньо-квадратичного відхилення випадкової складової похибки вимірювання в j-тій точці діапазону вимірювання:

$$S_j = \sqrt{\frac{1}{(n-1)} \sum_{i=1}^n (\tilde{X}_{ji} - \bar{\tilde{X}}_j)^2}. \quad (5.6)$$

5.4.4. Перевірити аномальність результатів спостережень j-ой точці діапазону вимірювання:

$$t_{r_1} = \frac{\bar{\tilde{X}}_j - \tilde{X}_{j_{\min}}}{S_j} \leq t_{r_T}, \quad (5.7)$$

$$t_{r_2} = \frac{\tilde{X}_{j_{\max}} - \bar{\tilde{X}}_j}{S_j} \leq t_{r_T}. \quad (5.8)$$

Табличне значення t_{r_T} для $n = 20$ та рівня значимості $q = 1 - P = 0.05$ рівне $t_{r_T} = 2,78$.

Якщо значення $t_{r_{1,2}} \leq 2,78$, то гіпотеза про аномальність результату вимірювання відвергається і значення $\bar{\tilde{X}}_j$ та S_j використовуються для подальшого оброблення. Якщо значення $t_{r_{1,2}} \geq 2,78$, то гіпотеза про аномальність спостережень підтверджується, тобто результат вимірювання вважається аномальним та з подальшого обрахунку виключається проводиться перерахунок $\bar{\tilde{X}}_j$ и S_j .

5.4.5. Обчислити середнє арифметичне значення виправлених результатів спостережень:

$$\bar{X}_{j'} = 1/n' \sum_{i=1}^{n'} \tilde{X}_{ji}, \quad (5.9)$$

де $n' = n - n''$;

n'' - число аномальних результатів спостережень.

Якщо $n'' > 2$ то експериментальне випробування необхідно повторити.

5.4.7. Оцінити середнє відхилення в j -ой точці діапазону вимірювання:

$$S_{j'} = \sqrt{1/(n'-1) \sum_{i=1}^{n'} (\tilde{X}_{ji} - \bar{X}_{j'})^2}. \quad (5.10)$$

Результати обрахувань занести до протоколу випробувань.

5.4.8. Оцінити довірчі границі ε випадкової складової похибки:

$$\varepsilon_j = t \cdot S_{\Delta_j}, \quad (5.11)$$

де t – коефіцієнт розподілу Стюарта.

Для нормального закону розподілу при довірчій вірогідності $P=0.95$ та числі степенів свободи $K = n' - 1$. Для формули $K=19$ та $t=2.09$.

5.5 Оформлення результатів калібрування

5.5.1 За результатами калібрування вібровимірювальної системи оформлюються згідно з ГОСТ 8.879-2014

5.5.2 Позитивні результати первинного калібрування оформляють записом у паспорті, засвідченої підписом калібрувальника і нанесенням відбитка калібрувального тавра.

					МД.ПІ_71мп.11.00.00	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		69

товарів-замінників чи товарів-аналогів, що вже існують на ринку, та проводимо збір інформації щодо значень техніко-економічних показників для ідеї власного проекту та проектів-конкурентів відповідно до визначеного вище переліку;

- проводимо порівняльний аналіз показників: для власної ідеї визначено показники, що мають а) гірші значення (W, слабкі); б) аналогічні (N, нейтральні) значення; в) кращі значення (S, сильні) (табл. 6.2).

Таблиця 6.2 - Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту

№ п/п	Техніко- економічні характерне тики ідеї	(потенційні) товари/концепції конкурентів				M (слабка сторон а)	N (нейтрал ьна сторона)	5 (сильн а сторо на)
		Мійпроект	Конкур ент Hardy HI-803	Конкур ент Технокон 230.1A	Конкуре нт MEGGIT 7828			
1	Торгівель на марка	Немає	є	є	є	+		
2	Показники скорочення часу	Висока	Середня	Низька	Середня			+
3	Показники оптимізова ного використай ня робочих	Висока	Висока	Середня	Низька			+
4	Патенти на продукти	Немає	є	є	є		+	
5	Економіч ність	Середня ціна	Висока ціна	Середня ціна	Висока ціна		+	

Після порівняння характеристик проекту з конкурентами був визначений перелік слабких, сильних та нейтральних характеристик і

властивостей ідеї потенційного товару, що є підґрунтям для формування його конкурентоспроможності.

6.2 Технологічний аудит ідеї проекту

В межах даного підрозділу проводимо аудит технології (методики розрахунків), за допомогою якої можна реалізувати ідею створення проекту.

Визначення технологічної здійсненності ідеї проекту передбачає аналіз складових які вказані в таблиці 6.3.

Таблиця 6.3. Технологічна здійсненність ідеї проекту

<i>№ n/n</i>	<i>Ідея проекту</i>	<i>Технології її реалізації</i>	<i>Наявність технологій</i>	<i>Доступність технологій</i>
1	Оптимізація роботи робочих	Технологія планування виробництва	Наявні	не доступні
2	Швидка змінна пріоритетів	Технологія планування виробництва	Наявні	не доступні
3	Легка адаптивність до зміни виробів	Технологія планування виробництва	Наявні	не доступні

Проаналізувавши таблицю можна зробити висновок, що наш проект можна реалізувати тому що всі необхідні технології реалізації даних ідей наявні, але не має можливості їх реалізувати через те що необхідна велика сума коштів. Тому необхідно залучати інвесторів для реалізації даного проекту.

6.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап проекту

Визначимо ринкові можливості, які можна використати під час ринкового впровадження проекту, та ринкові загрози, які можуть перешкодити його реалізації.

Це дозволяє спланувати напрями розвитку проекту із урахуванням стану ринкового середовища, потреб потенційних клієнтів та пропозицій проектів-конкурентів.

Спочатку проведемо аналіз попиту: наявність попиту, обсяг, динаміка розвитку ринку (таблиця 6.4).

Таблиця 6.4. Попередня характеристика потенційного ринку стартап проекту

<i>№ n/n</i>	<i>Показники етапу ринку (найменування)</i>	<i>Характеристика</i>
1	Кількість головних гравців, од	7
2	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	2 000 000
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає
4	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Конкуренція як вітчизняних, так і зарубіжних фірм
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Відсутні
6	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	33%

За попереднім оцінюванням ринок має зростаючу динаміку і хороший попит на запропонований нами продукт, тому робим висновок, що ринок є привабливим для входження, хоча на ньому вже існують і іноземні фірми, які працюють багато років і роблять продукцію хорошої якості, але за рахунок нової технології і переваг, які вона надає продукт є конкурентоспроможними.

Надалі визначаємо потенційні групи клієнтів, їх характеристики, та формуємо орієнтовний перелік вимог до товару для кожної групи (табл. 6.5).

Таблиця 6.5. Характеристика потенційних клієнтів стартап- проекту

<i>№ n/n</i>	<i>Потреба, що формує ринок</i>	<i>Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)</i>	<i>Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів</i>	<i>Вимоги споживачів до товару</i>
1	Гнучке виробництво товарів	Заводи, фірми з великою кількістю робочих центрів і з великою кількістю замовлень	Підприємства з великим асортиментом можливостей виготовлення будь- яких виробів	Скорочення часу, здіяння всіх робочих центрів, швидкий перехід до виготовлення іншого виробу.

Отже потенційною групою клієнтів продукту мають стати заводи, фірми з великою кількістю робочих центрів і з великою кількістю замовлень, які побачать економічну вигоду у виготовленні виробів за новою методикою.

При застосуванні даної технології існують певні загрози. Для попередження таких ситуацій необхідно якісне обладнання, а також працювати з такими програмами повинні висококваліфіковані фахівці. Також, повинно своєчасне технічне обслуговування даного продукту (таблиця 6.6).

Таблиця 6.6. Фактори загроз

<i>№</i>	<i>Фактор</i>	<i>Зміст загрози</i>	<i>Можлива реакція компанії</i>
1	Конкуренція	Широкий асортимент продукції конкурентів	Доведення на практиці, що технологія буде економічно вигіднішою, ніж у
2	Старіння	Поява модернізованої продукції	Моніторинг трендів, постійна модернізація згідно з вимогами ринку
3	Відсутність попиту на продукцію	Не бажання споживачів переходити на нову технологію	Реклама. Приведення аргументованих доказів, що зміна технології приведе до збільшення попиту

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

МД.ПІ_71мп.11.00.00

Лист

74

4.	Обслуговування	Ймовірність збоїв при роботі програми	Своєчасна підтримка в мережі інтернет
5.	Технічний	Мало спеціалістів в даній області	Впровадження постійної підтримки кваліфікованих техніків

В таблиці 6.6 ми визначили фактори загроз які перешкоджають ринковому впровадженню нашого проекту, а також можливу реакцію на фактор щоб звести до мінімуму його вплив.

Але поряд із колом загроз існують і певні можливості (таблиця 6.7).

Таблиця 6.7. Фактори можливостей

№ n/n	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1	Науково-технічні	Зміниться технологія виготовлення товару	Впровадить технологію і змінить вартість товару
2	Можливість створення сайту з реалізації товару	Можливість придбати продук на віддаленій відстані	Зробити акцент на якості продукції
3	Попит	Потреба вчасне вдосконалення продукту	Модернізація продукту, розробка нових ідей
4.	Політико правові	Може вплинути на купівлю/продаж товару.	Зміна напрямків імпорту
5	Економічні	Політика протекціонізму; підтримка інноваційного виробництва.	Підвищення/пониження ціни на продукт; зменшення податкового тиску

В таблиці 6.7 ми визначили фактори можливостей які сприяють ринковому впровадженню нашого продукту, а вигоди які компанія може отримати відповідно від реакції на той чи інший фактор.

Таблиця 6.8. Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

<i>Особливості конкурентного середовища</i>	<i>В чому проявляється дана характеристика</i>	<i>Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)</i>
1. Монополія	В галузі домінує одна фірм	Виготовлення вдосконаленого товару
2. Національний	Конкуренція фірм на міжнародному рівні	Реклама продукції. Створення сайту на різних мовах
3. Міжгалузєва	Виробники виготовляють продукти, які задовольняють різні потреби	Виготовлення товару відмінного в якості, ціні.
4. Товарно-видова	Різноманітні товари для задоволення конкретної потреби	Розробка нових технологій
5. Цінова	Використання ціни як засіб кращих умов збуту	Підвищення якості продукту, за такою ж ціною, що і у конкурентів
6. Марочна	Вказує, яке підприємство відповідальне за готовий продукт	Створення власної марки

В даній таблиці ми проаналізували ринок збуту нашого продукту і визначили загальні риси конкуренції на ньому.

Після аналізу конкуренції проведемо більш детальний аналіз умов конкуренції в галузі.

Таблиця 6.9. Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

	<i>Прямі конкуренти в</i>	<i>Потенційні конкуренти</i>	<i>Постачальники</i>	<i>Клієнти</i>	<i>Товари-замінники</i>
<i>Складові аналізу</i>	Hardy HI-803, Технокон - 230.1А, MEGGIT 7828	<i>Великий асортимент товарів у конкурентів.</i>	<i>Значення розміру поставок, Диференціація</i>	<i>Розмір закупівель, торговельні знаки</i>	<i>Ціна, марки конкурентів.</i>
<i>Висновк</i>	Інтенсивність конкуренції прийнятна. Більшість фірм отримують цілком Помірний прибуток.	Присутні можливості входу в ринок за рахунок нової технології та інвестицій.	Не	Диктують Вимоги до ціни і якості продукту	Велика кількість товарів-замінників

Отже, відповідно до наведеного вище аналізу головними силами, які діють на конкуренцію в галузі є постачальники і споживачі. Також все більшого значення набуває інтенсивність конкуренції між існуючими конкурентами.

Таким чином в межах структурного підходу до аналізу конкуренції тип конкуренції - монополістична конкуренція.

Після всіх аналізів визначається та обґрунтовується перелік факторів конкурентоспроможності. Поки проект не впроваджено в життя, це важко зробити точно, можна дати лише попередню оцінку конкурентоспроможності.

Таблиця 6.10. Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

<i>№ п/п</i>	<i>Фактор конкурентоспроможності</i>	<i>Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)</i>
1	Надійність	Більша надійність продукту, ніж у конкурентів
2	Швидка зміна виробництва	За рахунок великої БД з великою кількістю технологічних операцій
3	Якість	Вище перелічені фактори покращують якість продукту, а це один із головних критеріїв у клієнтів
4	Ціновий	Опрацювання відгуків клієнтів, вдосконалення відповідно до їх пропозицій та за можливості
5	Новизна	Нова технологія дозволяє продукту стати конкурентоспроможними на ринку

В таблиці 6.10 на основі аналізу проведеного в таблиці 6.9 визначили та обґрунтували фактори конкурентоспроможності нашого проекту.

Таблиця 6.11. Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін «Нульові напруження»

<i>№ п/п</i>	<i>Фактор конкурентоспроможності</i>	<i>Бали 1-20</i>	<i>Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні з КСК</i>						
			<i>3</i>	<i>2</i>	<i>1</i>	<i>0</i>	<i>+1</i>	<i>+2</i>	<i>+3</i>
1	Надійність	14						+	
2	Швидка зміна виробництва	16						+	
3	Якість	15					+		
4	Ціна	12				+			
5	Новизна	16					+		

Порівняльний аналіз сильних і слабких сторін показав, що надійність, довговічність і час роботи, за таку ж саму ціну на продукт, дає перевагу над

іншими продуктами і тому проект може стати конкурентоспроможним на ринку.

Таблиця 6.12. SWOT- аналіз стартап-проекту

<p>Сильні сторони:</p> <ul style="list-style-type: none"> - більший оптимізована програма, ніж у конкурентів; - краща продуктивність; краща якість продукту; - ціна така ж як і у конкурентів; - наявність патентів дозволяє споживачу бути впевненим у якості продукту. 	<p>Слабкі сторони:</p> <ul style="list-style-type: none"> - продукт який ще не зарекомендував себе на ринку; - так як на ринку багато постачальників, у клієнтів багатий вибір продукту, компанії необхідно проводити рекламу свого продукту і збільшувати кількість його постачальників. - за рахунок високої ціни клієнти обирають
<p>Можливості:</p> <ul style="list-style-type: none"> - потреба у збільшення надійності і довговічності інструменту, тим самим витіснити застарілий продукт із ринку; - забрати собі клієнтів у вже існуючих фірм за рахунок створення нової мережі постачання; - отримання нових замовлень на продукт; - збільшення продаж; - отримання державних замовлень на отримання послуг; 	<p>Загрози:</p> <ul style="list-style-type: none"> - широкий асортимент продукції конкурентів; - поява якісніших технологій у конкурентів; - не бажання споживачів - зменшення продажів через несвоєчасне виконання замовлень; - втрата клієнтів через недостатню технічну підтримку.

В таблиці 6.12 проводимо перелік сильних та слабких сторін проект. А також ринкових загроз та ринкових можливостей який складаємо на основі факторів загроз і можливостей який ми склали раніше. Ринкові загрози та можливості на відміну від факторів ще не є реалізованими на ринку та мають певну ймовірність здійснення.

На основі SWOT-аналізу розробляємо альтернативи ринкової поведінки для виведення стартап-проекту на ринок та орієнтовний оптимальний час їх ринкової реалізації з огляду на потенційні проекти

конкурентів, що можуть бути виведені на ринок.

Визначені альтернативи аналізуються з точки зору строків та ймовірності отримання ресурсів.

Таблиця 6.13. Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

№ п/п	Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
1	Стратегія нейтралізації ринкових загроз сильними сторонами стартапу	Висока	8 місяців
2	Стратегія компенсації слабких сторін стартапу	Висока	1,5 рік

Проводимо аналіз розроблених нами альтернатив ринкового впровадження і з зазначених альтернатив обираємо ту яка має найбільшу ймовірність отримання ресурсів, а також є найшвидшою в реалізації. Отже обираємо стратегію нейтралізації ринкових загроз сильними сторонами стартапу наявними ринковими можливостями.

6.4 Розробка ринкової стратегії проекту

Розроблення ринкової стратегії першим кроком передбачає визначення стратегії охоплення ринку: опис цільових груп потенційних споживачів.

Таблиця 6.14. Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ п/п	Опис профілю цільової групи	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
1	Державні підприємства	Готові	Середній попит	Висока	Середня
2	Приватні	Готові	Високий попит	Висока	Складна
3	НДІ	Готові	Середній попит	Низька	Просто

Які цільові групи обрано: Державні та приватні підприємства. Використовується стратегія диференційованого маркетингу.

За результатами аналізу потенційних груп споживачів ми обрали цільові групи, для яких будемо пропонувати свою програму для оптимізації робочих центрів та визначили стратегію охоплення ринку: стратегію диференційованого маркетингу, тому що працюємо із конкретним сегментом, розробляючи для нього програму ринкового впливу.

Для роботи в обраному сегменті ринку необхідно сформувавши базову стратегію розвитку.

Таблиця 6.15. Визначення базової стратегії розвитку

<i>№ n/n</i>	<i>Обрана альтернатива розвитку проекту</i>	<i>Стратегія охоплення ринку</i>	<i>Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до</i>	<i>Базова стратегія розвитку*</i>
1	Підсилення сильних сторін стартапу за рахунок ринкових можливостей	Передбачає надання товару важливого з точки зору споживача властивостей, які роблять товар відмінним від товарів	Найкращі задіяні робочі центри, велика БД, виготовлення виробу в термін. Ціна така, як і у конкурентів	Стратегія диференціації

За базову стратегію розвитку було взято стратегію диференціації, що передбачає надання товару важливих з точки зору споживача відмінних властивостей, які роблять товар відмінним від конкурентів.

Наступним кроком є вибір стратегії конкурентної поведінки (табл. 3.16).

Таблиця 6.16. Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

<i>№ n/n</i>	<i>Чи є проект «першопрохідцем» на ринку?</i>	<i>Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?</i>	<i>Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?</i>	<i>Стратегія конкурентної поведінки *</i>
1	Проект не є «першопрохідцем»	Компанія буде забирати існуючих у конкурентів	Не буде копіювати основні характеристики програми конкурента	Стратегія заняття конкурентної ніші

За базову стратегію конкурентної поведінки була прийнята стратегія зайняття конкурентної ніші, коли компанія в якості цільового ринку вибирає один або декілька ринкових сегментів малого розміру. Головне завдання компанії при цьому - це постійна турбота про підтримку і розвиток своєї конкурентної переваги, формування лояльності і прихильності споживачів, підтримка вхідних бар'єрів.

На основі вимог споживачів з обраного сегменту до постачальника і продукту, а також в залежності від стратегії розвитку та стратегії конкурентної поведінки розробляємо стратегію позиціонування яка визначається у формування ринкової позиції, за яким споживачі мають ідентифікувати проект.

Таблиця 6.17. Визначення стратегії позиціонування

<i>№ n/n</i>	<i>Вимоги до товару цільової аудиторії</i>	<i>Базова стратегія розвитку</i>	<i>Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап-проекту</i>	<i>Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проекту (три</i>
1	Висока оптимізація і вчасне виготовлення	Стратегія диференціації	Краща якість ніж у конкурентів за такою ж ціною	Надійність Стабільність Точність

Компанія за стратегію розвитку обрала диференціацію, і за цільові групи було обрано державні та приватні підприємства, хоча у них вже є постачальники, але за рахунок нової технології компанія буде забирати клієнтів у конкурентів, і проводити підтримку та реалізовувати розвиток своєї конкурентної переваги.

6.4 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Під час розроблення маркетингової програми першим кроком є розробка маркетингової концепції товару, який отримає споживач. У таблиці 6.18 підсумовуємо результати аналізу конкурентоспроможності товару.

№ п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
1	Потреба в програмному забезпеченні для оптимізації робочих центрів, виконання виготовлення виробів в термін	Задіяння всіх робочих центрів, виконання всіх поставлених задач в термін, швидке переналадження системи виробництва	Постійна технічна підтримка та оновлення. Вдосконалення алгоритму розрахунків та його вдосконалення. Вдосконалення програми шляхом додавання нових можливостей і методів розрахунків.

Таблиця 6.18. Визначення ключових переваг концепції потенційного

За рахунок ключових переваг товару і стратегії диференціації, що передбачає надання товару важливих з точки зору споживача відмінних властивостей за такою ж ціною як і у конкурентів буде розроблено маркетингову програму стартап-проекту.

Таблиця 6.19. Опис трьох рівнів моделі товару

<i>Рівні товару</i>	<i>Сутність та складові</i>		
I. Товар за задумом	Програма для розрахунку напруження в різальному інструменті Можна виділити наступні вигоди використання: забезпечення оптимізації робочих центрів; виконання виготовлення виробів в термін; швидке переналагодження виробів деталі; підвищена якості продукції.		
II. Товар у реальному виконанні	Властивості/характеристики	М/Нм	Вр/Тх /Тл/Е/Ор
	1. Економічні	Нм	Вр
	2. Призначення	Нм	Тх
	3. Надійність	М	Тл
	4. Технологічні	М	Тх
	5. Транспортабельності	М	Тх
	6. Безпеки	М	Тх
	Якість: Відповідає нормам ГОСТ 2.307-2011 «Виготовлення і складання виробів»		
	Пакування: Картонна коробка із торгівельною маркою, назвою продукту і технічними характеристиками		
	Марка: назва організації-розробника		
III. Товар із підкріпленням	Розповсюдження реклами		
	Акція, яка передбачає придбати кілька товарів за зниженою ціною		
За рахунок чого потенційний товар буде захищено від копіювання: Захист інтелектуальної власності, патент на винахід.			

В таблиці 6.19 ми створюємо трьох - рівневу модель нашого товару, що включає задум товару та його вигоди, основі характеристики готового товару, спосіб його пакування та захисту від копіювання та плагіату.

Наступним кроком є визначення цінових меж, якими необхідно керуватися при встановленні ціни на потенційний товар, це передбачає аналіз цін товарів конкурентів, та доходів споживачів продукту (табл. 6.20).

Таблиця 6.20. Визначення меж встановлення ціни

<i>№ n/n</i>	<i>Рівень цін на товари- замінники</i>	<i>Рівень цін на товари- аналоги</i>	<i>Рівень доходів цільової групи споживачів</i>	<i>Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу</i>
1	150000 Грн	100000	Середній	100000 - 250000 грн

В таблиці проаналізовано ринкові ціни на товари аналоги та замінники, а також середній рівень доходів споживачів. За отриманими даними буде встановлена верхня та нижня межа на нашу програму.

Таблиця 6.21. Формування системи збуту

<i>№ n/n</i>	<i>Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів</i>	<i>Функції збуту, які має виконувати постачальник</i>	<i>Глибина каналу збуту</i>	<i>Оптимальна система збуту</i>
	Звична купівля з деяким змінами, або модифікована закупівля. Вона передбачає дещо змінених товарів(послуг), або зміну ціни на товар (послугу), або зміну кількості постачання).	Доставка товару покупцю, його встановлення та налаштування.	Канал нульового рівня	Власна система збуту. Виробник безпосередньо продає товар клієнту і використовує три способи прямого продажу : - Торгівля через - Посилкова торгівля - Торгівля в роздріб

Спираючись на специфіку закупівельної поведінки цільових клієнтів було обрано власну систему збуту, коли виробник безпосередньо продає товар клієнту через торгівлю в магазинах, посылками чи в роздріб. Також заглибину каналу збуту було обрано канал нульового рівня, тому що компанія хоче мати тісні контакти із споживачами на обмеженому цільовому каналі.

Таблиця 6.22. Концепція маркетингових комунікацій

<i>№ п/п</i>	<i>Специфіка поведінки цільових клієнтів</i>	<i>Канали комунікацій , якими</i>	<i>Ключові позиції, обрані для позиціонуванн я</i>	<i>Завдання рекламного повідомлення</i>	<i>Концепція рекламного звернення</i>
1	Перегляд інформаційних ресурсів із потрібним якісним товаром за доступною ціною.	Інтернет ресурси, виставки, рекламні статті.	Послідовність у реалізації обраної позиції. Доступність та об'єктивність інформації про фірму та товар. Послідовність при прийнятті.	Інформаційне завдання про новий товар, та формування знань про марку та виробника.	Висока якість і швидке виготовлення виробів.

Висока якість і швидке виготовлення виробів є головною концепцією товару, за рахунок яких він є конкурентоспроможним на ринку.

Спираючись на специфіку закупівельної поведінки цільових клієнтів було обрано власну систему збуту, коли виробник безпосередньо продає товар клієнту.

Ціноутворення відбувається на основі аналізу товарів - аналогів і відбувається під час фінансово-економічного аналізу проекту з залученням експертів.

За ринкову поведінку буде прийнята стратегія зайняття конкурентної ніші, коли компанія в якості цільового ринку вибирає один або декілька ринкових сегментів малого розміру. Головне завдання компанії при цьому - це постійна турбота про підтримку і розвиток своєї конкурентної переваги, формування лояльності і прихильності споживачів, підтримка вхідних бар'єрів.

6.6 Висновки

Ринкова комерціалізація проекту опирається на наявний попит, динаміку ринку та рентабельність роботи на ринку. Клієнти на даному ринку зазвичай займаються звичною купівлею з деякими змінами, яка передбачає придбання дещо змінених товарів, або зміну ціни на товар, саме на це і розрахований даний стартап, так як за рахунок розробленої програми відбудеться покращення характеристик інструменту, він матиме кращі властивості при роботі порівняно із товарами конкурентів.

Спираючись на специфіку закупівельної поведінки цільових клієнтів і розробивши власну систему збуту є хороші перспективи впровадження даного продукту на ринок. Бар'єром входження на ринок є велика кількість товарів-аналогів, але порівняно із ними дана програма оптимізує робочі центри, має велику БД, виготовлення виробів в заданий термін і швидке переналагодження системи за рахунок чого він може стати конкурентоспроможним на ринку.

Впровадження на ринок розроблена на основі стратегії зайняття конкурентної ніші, коли компанія в якості цільового ринку вибирає один або декілька ринкових сегментів малого розміру.

Отже, подальша імплементація продукту є доцільною за рахунок сильних сторін продукту і наявного попиту на ринку.

					МД.ПІ_71мп.11.00.00	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		87

Використана література

1. Вибрации в технике: Справочник. В 6-ти т./Ред. совет: В. Н. Челомей (пред.). — М.: Машиностроение, 1981.— Т. 4. Вибрационные процессы и машины / Под ред. Э. Э. Лавендела. 1981. - 509 с.
2. Пьезоэлектрические вибростенды (Электронный ресурс) – Режим доступа до ресурсу: https://studopedia.ru/2_13153_pezoelektricheskie-vibrostenidi.html
3. Голушко Д.А. Калибровка информационно-измерительной системы для проведения определительных испытаний конструктивных элементов ЭС // Международный студенческий научный вестник. – 2015. – № 1
4. Мишин Д. Д. Магнитные материалы / Д. Д. Мишин. – Москва: Высшая школа, 1981. – 335 с.
5. Патент РФ 2007107729/28, 01.03.2007.
Пьезоэлектрический вибростенд и вибратор резонансного типа // Патент России № 2334966. 27.09.2008. Бюл. № 27. / Яровиков В. И., Зайцев Л. Я., Смирнов В. Д.
6. Байдаров Сергей Юрьевич, Цибизов Павел Николаевич, Астахова Татьяна Валерьевна Программно-аппаратные средства автоматизации процессов испытаний датчиковой аппаратуры // Известия ЮФУ. Технические науки. 2011. №5. URL:
<https://cyberleninka.ru/article/n/programmno-apparatnye-sredstva-avtomatizatsii-protsesov-ispytaniy-datchikovoy-apparatury> (дата обращения: 14.11.2018).
7. Волченко, А.Г. Исследование калибровочных способностей переносных вибростендов [текст] / А.Г. Волченко, Д.В. Корнев // Законодательная и прикладная метрология. – 2013. - №5. – с. 5-8.
8. Переносные вибростенды ВСВ-131 и ВСВ-131А [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <http://promvitech.com.ua/pdf/21.pdf>.

9. Пиц, Р.Л. Портативний вібростенд [текст] / Піц Р.Л., Дубінець В.І. // Ефективність інженерних рішень у приладобудуванні. – 2018. - №9. – с. 359-362.
10. Титце У., Шенк К. Полупроводниковая схемотехника: справочник. – М.: Мир, 1982.
11. Щербаков В.И., Грездов Г.И. Электронные схемы на операционных усилителях: справочник. – К., Техника, 1983.
12. Шустов М. А., Схемотехника. 500 устройств на аналоговых микросхемах. — СПб.: Наука и Техника, 2013. —352 с.
13. Analog Devices. True RMS-to-DC Converter. Catalog, 2007.
14. Linear Technology. $\Delta\Sigma$ True RMS-to-DC Converter. Catalog, 2016.
15. Analog Devices. Analog Multipliers Dividers. Catalog, 2018.
16. Analog Devices. Voltage references. Catalog, 2017.
17. Биполярное питание (Электронный ресурс) – Режим доступа до ресурсу: <https://www.analog.com/ru/products/switches-multiplexers/analog-switches-multiplexers/dual-supply-5v-22v.html>.
18. Орнатский П.П. Автоматические измерения и приборы. – К.: Вища школа, 1986.
19. Щербаков В.И., Грездов Г.И. Электронные схемы на операционных усилителях: справочник. – К., Техника, 1983.
20. Analog Device. Operational amplifiers. Catalog, 2007.
21. Федерков Б.Г., Телец В.А., Микросхемы ЦАП и АЦП: функционирование, параметры, применение. М.: Энергоиздат, 1990. – 320с.