МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю. М. Потебні

Кафедра електроніки, інформаційних систем та програмного забезпечення

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи

рівень вищої освіти_____*другий магістерський*_____
,(другий магістерський рівень)

на тему__*Дослідження та розробка приладу для вібродіагностика технічного стану електричних, механічних та електромеханічних агрегатів*_____

Виконав: студент (ка) __*II*__курсу, групи___*8.1531*___

_____*Телиця Я.О.*_____
(прізвище та ініціали) (підпис)

Напряму підготовки_____
(шифр)

Спеціальності _____*153*_____

_____*Мікро- та наносистемна техніка*_____
(назва)

Керівник _____*доцент, доцент к.т.н.*_____

_____*Небеснюк О.Ю.*_____
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Рецензент_*ген.директор ТОВ"Омега, ЛТД"Шевченко Т.В.*
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

м. Запоріжжя - 20*22* рік

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю. М. Потебні

Рівень вищої освіти _____*другий магістерський*_____
(перший (бакалаврський) рівень, другий (магістерський) рівень)

Напрям підготовки _____*153*_____
(шифр)

Спеціальність_____*Мікро- та наносистемна техніка*_____
(назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри _____*ЕІСПЗ*_____
_____*Критська Т.В.*_____

"____" _____20___року

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

_____*Телиці Ярославу Олександровичу* _____
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) __*Дослідження та розробка приладу для вібродіагностика технічного стану електричних, механічних та електромеханічних агрегатів*_____

_____

керівник проекту (роботи) _____*Небеснюк Оксана Юріївна*_____
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від *"02" червня 2022 року №598-с*

2. Строк подання студентом проекту (роботи)_____*01 грудня 2022 року*_____

3. Вихідні дані до проекту (роботи) *Вібростійкість з частотою генератора 10 кГц, вібромічність з частотою генератора 20 Гц, напруга живлення 5В*_____

_____

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) *Дослідження обладнання та методів вібромеханічних випробувань технічного стану. Розробка приладу для вібродіагностики технічного стану електричних, механічних та електромеханічних агрегатів. Техніко-економічне обґрунтування. Охорона праці та техногенна безпека.*_____

_____

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
Загальна схема портативного універсальноого стенду. Схема інформаційно-вимірювального моодуля. Загальний вид портативного універсальноого стенду

_____

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата завдання прийняв
I	*Небеснюк О.Ю., доцент*	
II	*Небеснюк О.Ю., доцент*	
III	*Небеснюк О.Ю., доцент*	
IV	*Небеснюк О.Ю., доцент*	

7. Дата видачі завдання _____*02.06.2022 року*_____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	*Дослідження обладнання та методів вібромеханічних випробувань технічного стану*	*08.10.2022*	
2	*Дослідження методів контролю та діагностики*	*15.10.2022*	
3	*Дослідження механічних випробувань технічного стану електронної апаратури*	*18.10.2022*	
4	*Розробка портативного універсального стенду для вібродіагностики*	*04.11.2022*	
5	*Моделювання роботи блоку контролю*	*08.11.2022*	
6	*Параметричний контроль в технології вібродіагностичних випробувань*	*27.11.2022*	
7	*Техніко-економічне обґрунтування розробки*	*11.11.2022*	
8	*Охорона праці та техногенна безпека*	*18.11.2022*	
9	*Оформлення пояснювальної записки*	*02.12.2022*	
10	*Рецензування, нормоконтроль, підписання роботи*	*10.12.2022*	
11	*Оприлюднений захист магістерської роботи*	*14.12.2022*	

Студент _____ *Телиця Я.О.*
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи) _____ *Небеснюк О.Ю.*
(підпис) (прізвище та ініціали)

Нормоконтроль пройдено _____ *Верьовкін Л.Л.*
(підпис) (прізвище та ініціали)

Реферат

Дипломна робота містить 78 сторінок, 21 рисунок, 16 таблиць, 15 джерел літератури.

Об’єкт дослідження – прилади для вібродіагностики технічного стану електричних, механічних та електромеханічних агрегатів.

Мета роботи – розробка портативного універсальний стенду для вібродіагностики.

Завдання роботи – розробити конструкцію універсального стенду; вибрати інформаційно-вимірювальний модуль управління параметрами стенду; розробити схемотехніку виміру та контролю параметрів мікросхем при механічних віпробуваннях.

. Методика досліджень – моделювання пристрою за допомогою програмних забезпечень LabVIEW–VISA, Electronics Workbench, Splan.

Короткий виклад результатів досліджень – універсальність, точна кінематіка, сучасна електроніка та габаритні параметри стенда, дозволять використовувати його в лабораторних умовах та при вхідному контролі обмеженої партії мікросхем.

Результати впроваджень – макет універсального стенду пройшов випробовування на кафедрі ЕІСПЗ.

Прогнозні пропозиції – рекомендується подальша доробка схеми, для забезпечення запам’ятовування інформації і переді її на персональний комп’ютер для подальшого аналізу.

ВІБРОМІЦНІСТЬ, ВІБРОСТІЙКІСТЬ, ДАТЧИК, ПЛАТФОРМА, ДІАГНОСТИКА, ВИПРОБУВАННЯ, КАТЕГОРІЯ, МІКРОСХЕМА, НАВАНТАЖЕННЯ, КОНТРОЛЬ

Дипломну роботу виконано на кафедрі електроніки, інформаційних систем та програмного забезпечення з 01.09.2022 р. по 10.12.2022 р.

Зміст

Стор.

Вступ …….. 6

1 Дослідження обладнання та методів вібромеханічних випробувань технічного стану ……... 8

1.1 Контроль і діагностика радіоелектронної апаратури …….. 8

1.1.1 Методи контролю та діагностики 11

1.2 Випробування радіоелектронної апаратури 12

1.2.1 Категорії випробувань 13

1.3 Механічні випробування технічного стану електронної апаратури .. 17

1.4 Проведення випробувань на віброміцність і вібростійкість 20

1.5 Обладнання для вібраційних випробувань 22

1.6 Прилади для вимірювання параметрів вібрації 30

2 Розробка приладу для вібродіагностики технічного стану електричних, механічних та електромеханічних агрегатів 33

2.1 Портативний універсальний стенд для вібродіагностики …….. 33

2.1.1 Іформаційно-вимірювальний модуль …… 35

2.1.2 Прилад керування рухом платформи ……. 36

2.2 Використання портативного вібростенду для випробування інтегральних мікросхем …… 39

2.3 Параметричний контроль в технології вібродіагностичних випробувань ……. 44

2.3.1 Система параметрів цифрових мікросхем ……. 44

2.3.2 Контроль електричних параметрів при вібромеханічних випробуваннях ……. 49

3 Техніко-економічне обґрунтування розробки портативного універсального стенду для вібродіагностики ……... 54

3.1 Обґрунтування вибору технології виготовлення портативного уні-

версального стенду для вібродіагностики ……. 54
3.2 Розрахунок витрат на виробництво портативного універсального стенду для вібродіагностики ……..... 58
4 Охорона праці та техногенна безпека ……. 60
4.1 Характеристика потенційних небезпечних та шкідливих виробничих факторів …….. 60
4.2 Заходи зі зменшення впливу небезпечних та шкідливих виробничих факторів …….. 63
4.3 Виробнича санітарія ……... 64
4.4 Електробезпека ……... 66
4.5 Пожежна безпека. Техногенна безпека …… 67
4.6 Розрахунок штучного освітлення лабораторного приміщення ……. 69
Висновки та рекомендації …….. 73
Перелік посилань……... 74
Додаток А …….. 76

Вступ

Підвищення надійності при створення нових машин та обладнання є неможливим без проведення вібраційних випробувань як окремих елементів (у тому числі матеріалів, що використовуються), так і устаткування в цілому.

Вібрація являє собою тривалі знакозмінні рухи, викликані коливальними силами, яві виникають в результаті зворотно-поступального руху або наявності незбалансованих мас, наприклад, при роботі двигунів, електродвигунів, автоматів, перетворювачів і інших пристроїв. Вібрація, що є невід'ємною частиною роботи багатьох машин і механізмів, може виконувати корисні функції або бути небажаною, що викликає шкідливі перевантаження.

У результаті вібраційних випробувань визначають динамічні характеристики об'єктів випробувань: віброміцність та вібростійкість. Останні дві характеристики тісно пов'язані з поняттям «оцінювання вібронадійності об'єкта».

Вібраційна надійність – властивість об'єкта зберігати за часом в заданих межах значення всіх параметрів, які характеризують здатність виконувати потрібні функції під час дії вібрації та після її припинення [1].

Випробування на вібраційну міцність дозволяють оцінити спроможність об'єкту зберігати міцність в умовах впливу вібрації та після її припинення.

Випробування на вібраційну стійкість дозволяє оцінити властивість об'єкта при заданій вібрації виконувати потрібні функції та зберігати в межах норм значення параметрів.

Динамічні характеристики (імпеданс, податливість, добротність, жорсткість тощо), які використовуються при проведенні розрахунку коливань складних систем, у багатьох випадках визначаються експериментальним шляхом у вигляді частотних залежностей вібрації вузлів в умовах заданих силових чи кінематичних впливів.

Порівняння окремих динамічних характеристик, отриманих після серії послідовних вібраційних випробувань одних і тих же об'єктів, використовується для оцінювання їх технічного стану у вібродіагностиці. Основу цієї частини вібраційних випробувань становить експериментальне визначення форм та частот власних коливань виробів.

Актуальним являється розробка універсальних стендів вібродіагностичних випробувань з автономним живленням та сучасною вимірювальною електронікою.

1 Дослідження обладнання та методів випробувань технічного стану електронної апаратури

1.1 Контроль і діагностика радіоелектронної апаратури

Якість радіоелектронної апаратури (РЕА), як сукупність властивостей, що визначають здатність виробів задовольняти заданим вимогам споживача, закладається в процесі розробки і виготовлення продукції, а об'єктивно оцінюється в процесі експлуатації. Однак одержувана при цьому інформація є, по-перше, недостатньою, оскільки не всі параметри РЕА, вимірюються в умовах експлуатації, а по-друге, - запізнілою, оскільки на виготовлення РЕА вже витрачені великі кошти. Ця проблема посилюється в міру подальшої мікромініатюрізациі РЕА, коли цілі блоки виконуються у вигляді інтегральних мікросхем, які є неремонтоздатність [1].

Одним з методів оцінки якості служать теоретичні розрахунки. Однак розрахункові оцінки потребують експериментальному підтвердженні, так як вихідні дані і моделі є наближеними. З розвитком мікромініатюрізациі і ускладненням РЕА створення адекватних моделей стає проблематичним. У цьому зв'язку істотний обсяг інформації про якість РЕА отримують шляхом контролю їх параметрів та проведення випробувань на всіх етапах, починаючи з розробки нормативно-технічної документації і кінчаючи аналізом рекламацій та висновків споживача про якість готових виробів.

Згідно ЕСТПП (Види процесів контролю) встановлюються такі види процесів технологічного контролю: з уніфікації (одиничний, уніфікований); освоєння процесу (робочий, перспективний); за ступенем регламентації дій, які встановлюються в документації (маршрутний, операційний, маршрутно-операційний).

Належність процесу до одиничного або уніфікованому визначається кількістю найменувань об'єктів контролю, які охоплюються процесом (один або група однотипних або різнотипних об'єктів контролю).

Одиничний процес контролю застосовують для виробів одного найменування, типорозміру і виконання, а також для технологічних процесів одного змісту [1].

Уніфікований процес контролю використовують в якості робочого процесу контролю за наявності в документації опису всіх операцій, як інформаційну основу при розробці робочого процесу контролю, як базу для розробки стандартів на типові процеси контролю.

Робочий процес контролю використовується для конкретних об'єктів відповідно до вимог робочої технічної документації.

Перспективний процес контролю розробляється, як інформаційна основа для робочих процесів контролю при переоснащенні виробництва і розрахований на застосування більш досконалих методів контролю, більш продуктивних засобів контролю.

Застосування маршрутного, операційного або маршрутно-операційного процесу контролю встановлюється в галузевих стандартах або в стандартах підприємства на наступні об'єкти контролю: матеріал, напівфабрикат, заготівля, деталь, складальна одиниця, комплекс, комплект, технологічний процес.

При контролі матеріалу, напівфабрикату, заготовки та деталі до складу контрольованих об'єктів включені: марка матеріалу (крім об'єкта деталь), геометричні та фізико-хімічні параметри, зовнішні і внутрішні дефекти, клейма (крім об'єкта матеріал). Для складальної одиниці, комплексу і комплекту передбачений контроль геометричних і функціональних параметрів, зовнішніх і внутрішніх дефектів і клейм, а для технологічного процесу - контроль якісних і кількісних характеристик. Слід також піддавати перевірці упаковку, комплектність, консервацію та супровідну документацію, якщо це передбачено технічними умовами (ТУ) [1].

При контролі технологічних процесів (ТП) допускається перевірка параметрів допоміжних матеріалів, засобів технологічного оснащення, у тому числі засобів контролю, технологічної дисципліни, точності і стабільності ТП, характеристики зовнішніх умов. Процеси контролю повинні забезпечувати вирішення завдань, встановлених для вхідного, операційного та приймального контролю, і охоплювати весь ТП і його результати

При вхідному контролі вирішують завдання перевірки відповідності якості матеріалів, напівфабрикатів, заготовок, комплектуючих деталей і складальних одиниць вимогам, встановленим в стандартах, ТУ, договорах про постачання.

При операційному контролі вирішують завдання перевірки відповідності контрольованих ознак деталей і складальних одиниць у процесі виготовлення пропонованим до них вимогам, а також виявляють кількісні та якісні характеристики ТП. Операційний контроль здійснює виконавець операції (робочий, бригадир, випробувач), керівник дільниці (майстер, старший майстер), контролер або майстер відділу технічного контролю.

При приймальному контролі вирішують завдання перевірки відповідності якості готових виробів вимогам, встановленим у нормативно-технічної документації, в тому числі комплектність, упаковку і консервацію виробів, її придатність до транспортування і використання. Приймальний контроль здійснюють контролер, майстер відділу технічного контролю (ВТК) і (за необхідності) представник замовника.

Процеси контролю поділяють на чотири категорії. По повноті охоплення будь-яка категорія контролю підрозділяється на суцільний і вибірковий контроль, а по зв'язку з об'єктом контролю - на безперервний, періодичний і летючий.

Суцільний контроль застосовують в умовах особливо високих вимог до рівня якості виробів, у яких неприпустимий пропуск дефектів у подальше виробництво або експлуатацію.

Вибірковий контроль застосовують для виробів, коли їх кількість досить для отримання представницьких вибірок, при великій трудомісткості контролю, при контролі з руйнуванням виробів, і на операціях, виконуваних на автоматичних та потокових лініях.

Безперервний контроль застосовують для перевірки ТП при необхідності постійного забезпечення певних кількісних і якісних характеристик. Як правило, використовують автоматичні або напівавтоматичні засоби контролю.

Періодичний контроль (суцільний чи вибірковий) застосовують для перевірки виробів і ТП при сталому виробництві і стабільних ТП.

Летючий контроль (тільки вибірковий) застосовують для маловідповідальних виробів і ТП.

1.1.1 Методи контролю та діагностики

При використанні сучасної елементної бази, і особливо мікропроцесорів, проблеми настройки і регулювання в традиційному розумінні практично відсутні. Контроль, діагностику та налаштування РЕА проводять програмними і апаратними методами. Підприємства розробляють спеціальні інструкції для користувачів і діагностичні програми, які додаються до виробів у вигляді технічного опису, інструкції користувача, вбудованого програмного забезпечення або спеціальних програм на носіях інформації. Їх можна умовно поділити на три групи: POST (Power-On Self Test - процедура самоперевірки при включенні), спеціалізовані та загального призначення. Складність програм та їх потенційні можливості на кожному наступному рівні, як правило, зростають [2].

Програми POST являють собою послідовність коротких програм «зашитих» в ПЗУ, призначені для перевірки основних компонентів системи безпосередньо після її включення і запускаються при включенні системи. Зазвичай перевіряються центральний процесор, ПЗУ, системні плати, оперативна

пам'ять і основні периферійні пристрої. Ці тести виконуються швидко і не надто ретельно в порівнянні з діагностичними програмами, записаними на дисках. Якщо при виконанні процедури POST виявляється несправний компонент системи, то видається повідомлення про помилку або попереджувальний сигнал. Якщо несправність досить серйозна ("фатальна помилка"), то подальше завантаження системи призупиняється і видається повідомлення, за яким можна визначити причину виниклої несправності. Зазвичай передбачається три способи індикації несправності: звукові сигнали, повідомлення на екран монітора, і шістнадцяткові коди, що посилаються за адресами портів введення / виведення.

Спеціалізовані діагностичні програми - це набори тестів для «тотальної» перевірки всіх компонентів систем і складних приладів, які записуються на окремому діагностичному диску. Діагностичні програми виготовлювачів зазвичай передбачені двох рівнів. Перший рівень - це загальна діагностика, яка орієнтована на користувачів. Так як процедури пошуку несправностей в більшості сучасних систем досить прості, у користувачів зазвичай не виникає складнощів при роботі з програмами загальної діагностики. Другий рівень - технічний, і розрахований на фахівців. Повідомлення про помилки зазвичай виводяться у вигляді кодів, за якими можна визначити причину несправності або звузити коло її пошуків.

1.2 Випробування радіоелектронної апаратури

Випробування РЕА представляють собою експериментальне визначення при різних впливах кількісних і якісних характеристик виробів при їх функціонуванні. При цьому як самі вироби, які випробовуються, так і впливу можуть бути змодельовані. Цілі випробувань різні на різних етапах проектування і виготовлення РЕА. До основних цілей випробування, загальним для всіх видів РЕА, можна віднести [3]:

- вибір оптимальних конструктивно-технологічних рішень при створенні нових виробів;

- доведення виробів до необхідного рівня якості;

- об'єктивну оцінку якості виробів при їх постановці на виробництво, у процесі виробництва і при технічному обслуговуванні;

- прогнозування гарантованого терміну служби.

Випробування служать ефективним засобом виявлення прихованих випадкових дефектів матеріалів та елементів конструкції, не виявлених методами технічного контролю. За результатами випробувань виробів у виробництві розробник РЕА встановлює причини зниження якості. Якщо ці причини встановити не вдається, вдосконалюють методи та засоби контролю виробів і ТП їх виготовлення. На кінцевих етапах ТП виготовлення виробів можуть проводитися попередні випробування. Для них вибирають такі режими, щоб вони забезпечували відмови виробів, що містять приховані дефекти, і в той же час не виробляли ресурсу тих виробів, які не містять дефектів. Ці випробування часто називають технологічними тренуваннями (термотоковая тренування, електротренування, тренування термоциклов та ін.).

1.2.1 Категорії випробувань

Програма та методи проведення випробувань визначаються конкретним видом і призначенням РЕА, а також умовами експлуатації. Для контролю якості та приймання виробів встановлюють основні категорії контрольних випробувань, обумовлені в ТУ: приймально-здавальні, періодичні та типові [3].

Кожна категорія випробувань може включати кілька видів випробувань (електричні, механічні, кліматичні, на надійність тощо) і видів контролю (візуальний, інструментальний та ін.) Залежно від особливостей експлуатації та призначення виробів, а також специфіки їх виробництва деякі види випробувань виділяють в окремі категорії випробувань (на надійність - безвідмов-

ність, довговічність, збереженість та ін.) Види випробувань і контролю, послідовність проведення, перевіряються параметри та їх значення встановлюються в нормативних документах (стандартах, програмах, методиках та ін.)

Під час випробувань застосовують суцільний або вибірковий контроль. Результати випробувань вважаються негативними, якщо виявлено невідповідність виробу хоча б одній вимозі ТУ для проведеної категорії випробувань. Застосовувані засоби випробувань, вимірювання та контролю, а також методики вимірювань повинні відповідати вимогам метрологічного забезпечення. Засоби випробувань повинні мати метрологічну атестацію.

Приймально-здавальні випробування (ПСВ) проводять для контролю вироби на відповідність вимогам ТУ, встановленими для даної категорії випробувань. Випробування і приймання проводить представник замовника в присутності представника відділу технічного контролю підприємства-виробника в обсязі і послідовності, передбаченими в ТУ на виріб. Про готовність вироби до ПСВ підприємство - виробник повідомляє представника замовника сповіщенням, оформленим у встановленому порядку. До повідомлення прикладаються протоколи технологічної тренування і пред'явницьких випробувань, виконаних за формою, прийнятої на підприємстві-виробнику. Склад і послідовність проведення випробувань можуть бути змінені за погодженням з представником замовника. Вжитими вважаються вироби, які витримали випробування, укомплектовані та упаковані згідно з ТУ [4].

Періодичні випробування проводять з метою періодичного контролю стабільності ТП в період між випробуваннями та підтвердження можливості продовження виготовлення виробів за діючими конструкторської та технологічної документації. Календарні строки випробувань встановлюються у графіку, складеному підприємством-виробником за участю представника замовника. Періодичним випробуванням підлягає один виріб щорічно. Результати випробувань оформляються актом, до якого додається протокол, виконаний за формою, прийнятої на підприємстві-виробнику. Склад і послідовність проведення випробувань узгоджуються з представником замовника. Якщо

виріб витримало періодичні випробування, то його виробництво триває до наступного терміну випробувань. Якщо виріб не витримало періодичних випробувань, то прийомку виробів і відвантаження прийнятих виробів призупиняють до виявлення і усунення причин виникнення дефектів і отримання позитивних результатів повторних випробувань [4].

Типові випробування проводять для виробів переривчастого виробництва (одиничного і дрібносерійного переривчастого виробництва) для оцінки ефективності та доцільності пропонованих змін у виріб або технологію його виготовлення, які можуть змінити технічні та інші характеристики виробу і його експлуатацію. Випробування проводять на виробах, в які внесені пропонуються зміни, за програмою і методикою необхідних випробувань зі складу приймально-здавальних та періодичних. Якщо ефективність і доцільність запропонованих змін підтверджується результатами типових випробувань, то їх вносять у відповідну документацію на виріб у відповідності з вимогами Державних стандартів. Перед пред'явленням виробів на випробування і приймання представнику замовника ВТК проводить пред'явницькі випробування готових виробів. Такі випробування проводяться з метою контролю виробів на відповідність вимогам ТУ і готовності для пред'явлення замовнику. Як правило, їх проводять в обсязі не менше пріємосдаточних випробувань, але плани контролю і норми на перевіряються параметри можуть встановлюватися більш жорсткими. Документація з випробувань узгоджується з замовником [4].

Пред'явницькі випробування. Перед пред'явленням виробів на випробування і приймання представнику замовника проводить пред'явницькі випробування виробів. Такі випробування проводяться з метою контролю виробів на відповідність вимогам ТУ та перевірки готовності для пред'явлення замовнику. Як правило, їх проводять в обсязі не менше приймально-здавальних випробувань, але плани контролю і норми на перевіряються параметри можуть встановлюватися більш жорсткими. Документація з випробувань узгоджується з замовником [4].

Крім перерахованих вище основних категорій випробувань існують кваліфікаційні випробування з приймання установчої серії, випробування на довговічність та перевірочні випробування (проводить науково-дослідна організація замовника).

Основним організаційно-методичним документом при випробуваннях РЕА є програма випробувань. Вона регламентує цілі випробувань, обсяг і методику досліджень, що проводяться; порядок, умови, місце і терміни проведення випробувань; відповідальність за забезпечення та проведення випробувань; відповідальність за оформлення протоколів і звітів.

Загальні цілі контрольних, порівняльних і визначальних випробувань, загальні положення про випробування на вплив механічних і кліматичних факторів конкретизовані в Державних стандартах. У програмі випробувань в короткій формі викладається інформація про об'єкт випробування (термін його виготовлення, номер паспорта, особливість конструкції і технології виготовлення і т. п.), а також параметри, що підлягають прямому чи непрямому вимірюванню, критерії придатності виробу РЕА, вимоги до зовнішнього вигляду і електричні параметри. У розділах програми випробувань вказують обсяг і методику випробувань, в яких даються відомості про кількість виробів, які випробовує, загальна тривалість випробувань при різних впливають чинниках, про періодичність, склад і послідовності випробувань, про параметри випробувальних режимів, межах зміни живлячих напруг і тривалості роботи РЕА при цих напружених і т. п. У плані випробувань вказують необхідні роботи, такі як виготовлення зразків, їх приймання ВТК, вимірювання та визначення параметрів, підготовка випробувального обладнання, проведення випробувань, оформлення результатів, погодження та затвердження протоколу випробувань і т. п.

Другим організаційно-методичним документом є методика випробувань РЕА. У ній викладаються: метод, засоби та умови випробувань, алгоритми виконання операцій з визначення однієї або декількох взаємопов'язаних характеристик властивостей об'єкта, форми подання даних і методи оціню-

вання точності, достовірності результатів, вимоги техніки безпеки і охорони навколишнього середовища. Основною вимогою до методики є забезпечення максимальної ефективності процесу випробувань і мінімально можливі похибки отриманих результатів. Вона включає вимоги до методу і умов випробувань і технічним засобам. Методика випробувань повинна містити опис наступних етапів процесу випробувань: перевірку випробувального обладнання, підготовку долають виробів, спільну перевірку випробувального обладнання та випробуваного вироби, реєстрацію результатів випробувань і даних про умови їх проведення.

1.3 Механічні випробування технічного стану електронної апаратури

Механічні випробування електронної апаратури дозволяють виявити наявність дефектів, визначити динамічні характеристики випробовуваних виробів, провести оцінку впливу конструктивних чинників на параметри якості електронної апаратури, перевірити відповідність параметрів апаратури при механічній дії вимогам технічних умов.

Розроблені наступні види механічних випробувань: на виявлення резонансних частот, на вібростійкість, на віброміцність, на ударну міцність, на дію одиночних ударів, лінійних (відцентрових) навантажень, акустичних шумів.

Дослідження різних видів механічних випробувань показали, що поєднання вібраційних навантажень одиночних ударів надає на електронної апаратури найбільшу дію, а решта видів механічних дій є додатковими.

Число видів механічних випробувань і їх послідовність залежать від призначення електронної апаратури, умов експлуатації, типу виробництва.

Часто при розробці нових конструкцій електронної апаратури перед випробуваннями на дію вібрацій проводять випробування на виявлення резонансних частот. Такий вид випробування дозволяє визначити резонансні час-

тоти виробів або їх окремих деталей і вузлів в кожному з трьох взаємно перпендикулярних напрямів.

Випробування на вібростійкість проводять з метою перевірки здатності виробів виконувати свої функції і зберігати свої параметри в межах значень, вказаних в технічних умовах, в умовах вібрації в заданому діапазоні частот і прискорення. Випробування проводять під електричним навантаженням, контролюючи в процесі випробування параметри виробів. Для перевірки вібростійкої вибирають ті параметри випробовуваних виробів, по нагляду за якими можна судити про вібростійкість (наприклад, рівень віброшумів, спотворення вихідного сигналу, цілісність електричного кола, нестабільність контактного опору і т. д.) [5].

Залежно від характеру впливу на об'єкт вібраційні випробування можна розділити на дві групи:

- випробування при гармонічній вібрації (з фіксованою або коливною частотою);

- випробування при стохастичних навантаженнях.

Системи для проведення вібраційних випробувань можуть працювати зі стабілізацією режимів випробувань, з програмним навантажуванням чи приводом слідкуючої дії, що забезпечує відтворення невідомого наперед закону зміни контрольованих параметрів.

Крім цього, системи вібраційних випробувань можна розділити за ступенем інтенсивності впливу на об'єкт (нормальні й прискорені), за видом математичного опису динаміки процесів у системах вібростенду й об'єктів випробування (лінійні та нелінійні), за видом функціонального зв'язку між вхідними й вихідними величинами (неперервні й дискретні). Вирішення задач проведення вібраційних випробувань полягає у виборі методів та алгоритмів керування вібростендами, відповідно до мети випробувань, які забезпечують створення необхідних режимів випробувань та контролю при дотриманні усіх обмежень, пов'язаних з динамікою системи.

Залежно від ступеня жорсткості випробування характеризуються поєднанням наступних параметрів: діапазону частот дії вібрації, амплітуди переміщення і прискорення, частоти переходу (табл. 7.1) [5].

Випробування на вібростійкість проводять з метою перевірки здатності виробів протистояти руйнуючій дії вібрації і зберігати свої параметри після дії в межах значень, вказаних в технічних умовах і програмі випробувань (ПВ) на вироби.

Таблиця 1.1 - Параметри вібрації при випробуванні електронної апаратури на вібростійкість

Ступінь жорсткості	Діапазон частот, Гц	Амплітуда переміщення, мм	Частота переходу, Гц	Амплітуда (прискорення), $м/с^2$ (g)
I	10 – 35	-----	-----	5(0,5)
II	10 – 35	-----	-----	10(1,0)
III	10 – 55	0,5	32	20(2,0)
IV	10 – 55	0,5	-----	-----
V	10 – 80	0,5	32	20(2,0)
VI	10 – 80	0,5	50	50(5,0)
VII	10 – 150	0,5	50	50(5,0)
VIII	10 – 200	0,5	50	50(5,0)
IX	10 – 500	0,5	50	50(5,0)
X	10 – 500	1,0	50	100(10,0)
XI	10 – 2000	1,0	50	100(10,0)
XII	10 – 2000	2,0	50	200(20,0)
XIII	10 – 5000	4,0	50	400(40,0)
XIV	10 – 5000	4,0	50	400(40,0)

Випробування електронної апаратури на вібростійкість і віброміцність можна проводити наступними методами: фіксованих частот, частоти, випадкової вібрації, що гойдається.

Основною умовою, яка дозволяє вибрати найраціональніший метод випробувань, є знання резонансних частот виробу.

1.4 Проведення випробувань на віброміцність і вібростійкість

Метод випробувань на фіксованих частотах вібрації полягає в послідовній дії гармонійної вібрації певної частоти і амплітуди на випробовувану апаратуру [5].

Даний метод має обмежене вживання при випробуванні виробів на віброміцність і вібростійка, оскільки не дає можливості оцінити повною мірою стійкість виробів до дії вібрації в необхідному діапазоні частот. Проте до теперішнього часу він використовується при заводських випробуваннях виробів, що серійно випускаються, унаслідок вживання найпростішого устаткування і відпрацьованих програм випробувань [4].

При випробуваннях методом частоти вібрації, що гойдається, частоту плавно змінюють в заданому діапазоні від нижньої до верхньої частоти і назад при постійності заданих параметрів вібрації протягом певного часу.

В реальних умовах експлуатації на вироби впливають, як правило, не тільки частотні синусоїдальні коливання, а коливання з складним спектром частот. Тому проводять випробування на дію широкосмугової випадкової вібрації [31]. В цьому випадку реалізується одночасне збудження всіх виробів, що дозволяє виявити їх взаємний вплив. Посилювання умов випробувань за рахунок одночасного збудження резонансних частот скорочує час випробувань в порівнянні з методом частоти, що гойдається.

Здійснення методу широкосмугової випадкової вібрації вимагає вельми складного і дорогого устаткування, тому у ряді випадків він замінюється більш простим для технічної реалізації методом випадкової вібрації з скану-

ванням смуги частот. Випадкова вібрація в цьому випадку збуджується у вузькій смузі частот, центральна частота якої по експоненціальному закону поволі сканує по діапазону частот в процесі випробування [5].

Випробувальне устаткування. Для проведення випробувань на дію вібрацій застосовуються вібраційні установки (вібростенди). За принципом збудження збурюючої сили всі вібраційні установки діляться на механічні, електродинамічні, електромагнітні і гідравлічні

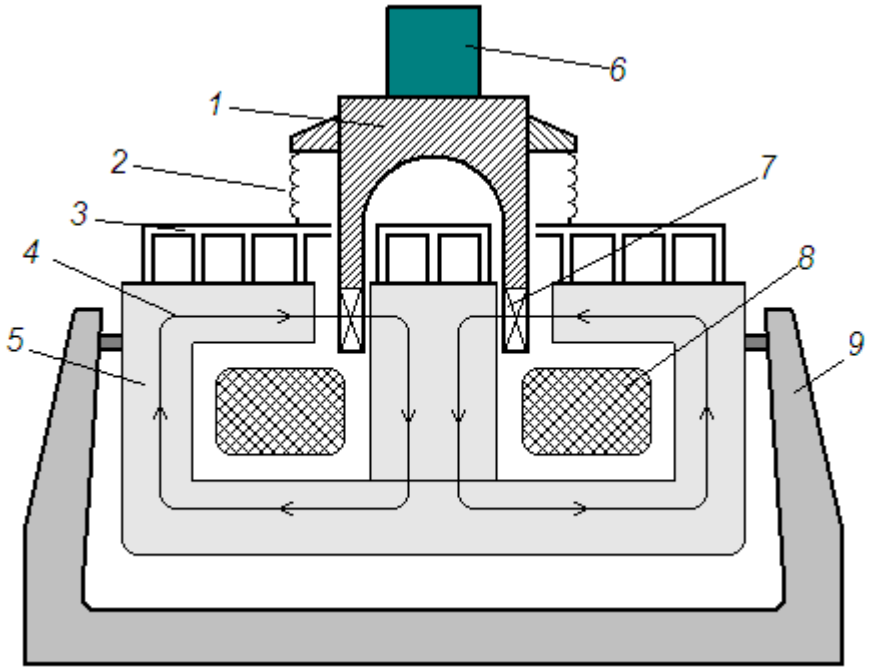
Найбільше поширення в даний час набули електродинамічні вібраційні стенди, які використовують електродинамічний принцип створення збурюючої сили (рис. 1.1). Такі вібраційні установки володіють широким діапазоном робочих частот вібрації, лінійністю перетворень сигналу, простотою управління, стійкістю і надійністю в роботі, мають елементи автоматики [5].

При розміщенні виробів на пристосуванні передбачається місце для установки вимірювального датчика (контрольна крапка). Контрольну крапку вибирають на пристосуванні по можливості ближче до точки кріплення його до платформи вібратора. Після виготовлення тестується на правильність передачі дії. Для цього знімається частотна характеристика пристосування. При плавній зміні частоти по датчику, встановленому в контрольній крапці, підтримують постійне прискорення, а по датчику, встановленому в точці пристосування, самій видаленій від контрольної, проводять вимірювання прискорення.

Метод і схема вимірювання параметрів вібрації залежать від типу вживаного вібровідтворювач. В сучасній техніці вимірювання параметрів вібрації застосовуються наступні типи вібровідтворювачі: індуктивні, трансформаторні, електродинамічні, електромагнітні, місткості, омічні, п'єзоелектричні. Розглянемо їх характерні особливості.

Основні параметри вібровідтворювача, робочий діапазон частот; чутливість або дійсний коефіцієнт перетворення; поперечна чутливість або відносний коефіцієнт перетворення; робочий діапазон температур і температур-

на стабільність; чутливість до перешкод (електричним і магнітним полям, механічним інформаціям); власна місткість; маса і габаритні розміри.



1 – стіл вібратора;

2 – пружні підвіски столу;

3 – магнітний екран;

4 – шлях магнітного потоку;

5 – магнітопровід;

6 – випробовуваний виріб;

7 – рухома котушка;

8 – котушка підмагнічування;

9 – підставка.

. Рисунок 1.1 – Типова конструкція електродинамічного вібратора

1.5 Обладнання для вібраційних випробувань

Для проведення вібраційних випробувань необхідно, ґрунтуючись на вимогах до точності відтворення заданого закону збудження коливань, ши-

рини частотного діапазону, амплітуди коливань, маси об'єкту випробувань й економічних показників, зробити вибір обладнання для випробувань, основу якого становлять збуджувачі коливань та прилади для контролю й вимірювання параметрів вібрації. Крім того слід вибрати метод керування віброзбуджувачами, що забезпечувало б достатнє наближення відтворюваного закону коливань до заданих технічних умов [5].

Збуджувачі коливань, що промислово випускаються розрізняють за характером вібрації, яка відтворюється (лінійної чи кутової, вертикальної чи горизонтальної) та за способом збудження змінного зусилля (електромеханічні, електромагнітні, електродинамічні, п'єзоелектричні, гідравлічні, пневматичні тощо).

Електромеханічні вібростенди можуть бути за типом приведення у дію кривошипно-шатунними, кривошипно-кулісними, ексцентриковими й інерційними (рис. 1.2).

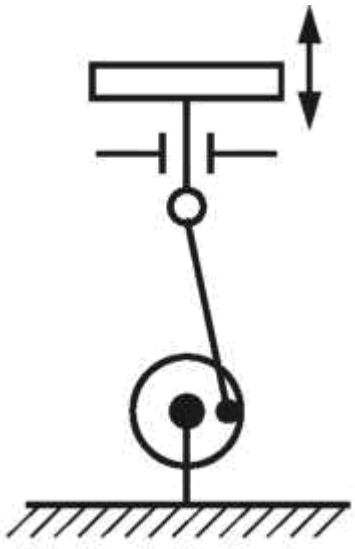


Рисунок 1.2 – Схема механічного вібростенду

В електромагнітних збуджувачах (вібростендах) коливання створюються у результаті дії змінного у часі магнітного поля на феромагнітні тіла. Вони характеризуються більшою надійністю, простотою регулювання амплітуди вібрації, однак мають значну масу, яка припадає на одиницю амплітуди генерованого зусилля, що певною мірою обмежує їх застосування для вібраційних випробувань (рис. 1.3).

Найбільшого поширення набули електродинамічні випробувальні стенди. Коливний рух робочого стола від електродинамічного збуджувача виникає в результаті взаємодії магнітного поля струму рухомої котушки, пов'язаної зі столом, з магнітним полем, що створюється електромагнітом або постійним магнітом. Електродинамічні вібростенди дозволяють відтворювати вібрацію в діапазоні від декількох герц до 10 кГц й вище [5].

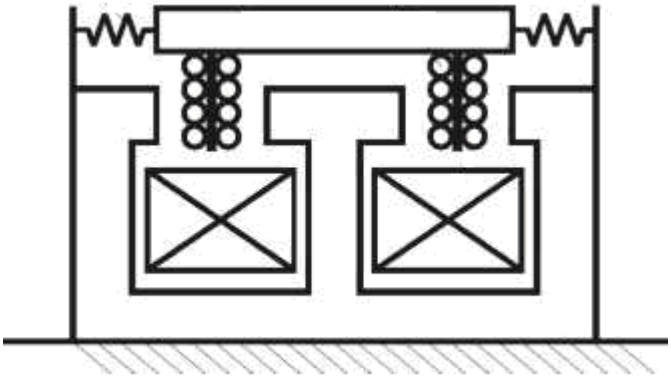


Рисунок 1.3 - Схема електродинамічного вібростенда

Для отримання вібрації високих частот (понад 20 кГц) слід використовувати п'єзоелектричні віброзбуджувачі коливань, що мають вигляд набору п'єзокерамічних кілець чи пластин, склеєних між собою. Під дією змінної напруги виникає зворотний п'єзоефект та в результаті деформування кільця (пластини) починають коливатись. Сила поштовху п'єзоелектричних віброзбуджувачів є невеликою, томі вони знайшли застосування при випробуваннях об'єктів малої маси.

Гідравлічні віброзбуджувачі створюють коливання робочого органа під впливом змінного тиску, викликаних пульсацією потоку рідини. Для створення автоколивальних гідравлічних віброзбуджувачів є необхідною спеціальна система керування, що забезпечувала б неперервність вертальнопоступного руху. Такі віброзбуджувачі призначені для випробування об'єктів з великими габаритами, значної маси за малих частот коливань (рис. 1.4).

Пневматичні збуджувачі коливань використовують енергію стиснутого повітря. Регулювання амплітуди і частоти (0…500 Гц) коливань здійснюється

пневмоклапаном. Такі засоби знайшли застосування при дослідженнях коливань лопаток робочих коліс вентиляторів та компресорів. Робота пневматичних збуджувачів можлива від стандартних промислових пневмосистем.

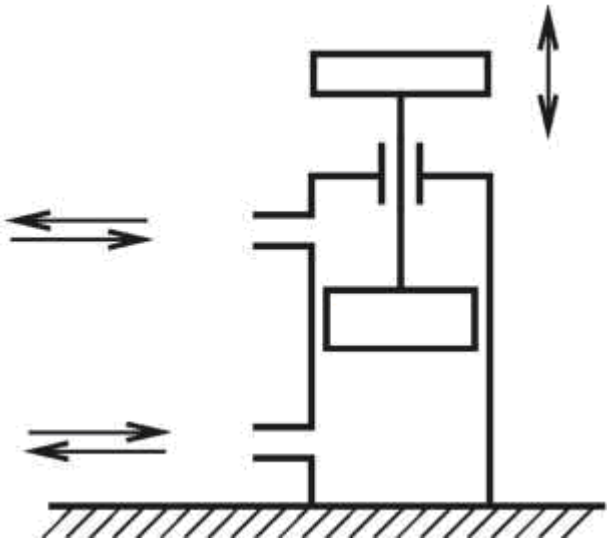


Рисунок 1.4 - Схема гідравлічного вібростенда

При випробуванні працюючих вентиляторів можна використовувати повітряний потік від вентилятора. Створюване зусилля в цьому випадку обмежується продуктивністю вентилятора, однак у більшості випадків цього досить для випробувань багатьох тонкостінних сталевих зварних та алюмінієвих лопаток робочих коліс вентилятора. У ролі приводу перетворювача тиску (пневмоклапана) можуть бути використані електромагніти і звукові електродинаміки. Автоматизовані системи керування забезпечують синхронну роботу декількох вібровозбуджувачів. Крім безпосереднього впливу пульсуючим потоком на об'єкт випробувань застосовують різноманітні перетворювачі: пневмокамери, мембрани, поршневі системи тощо.

Отже, вібраційне випробувальне устаткування у загальному випадку є стаціонарною динамічною системою, основним принципом якої є відпрацювання вхідного сигналу [5].

Для забезпечення потрібної точності відтворення вібрацій слід реалізувати комплекс системи слідкування, що складається зі стенду (об'єкт збудження коливань) та автоматизованої системи керування. У цьому випадку можна реалізувати значну кількість методик випробувань, зміна яких зво-

диться до вибору відповідних програмних модулів керування роботою віброзбуджувача.

Особливі вимоги до точності відтворення вібрацій ставлять у випадку застосування багатокоординатних вібростендів, оскільки їх конструктивне виконання, що суміщає, наприклад збуджувачі лінійних та кутових коливань, вертикальних та горизонтальних вібрацій, обумовлює появу взаємного впливу, для зниження якого використовують спеціальні вузли. При проведенні вібраційних випробувань параметри вібрації, що досліджуються, визначають у контрольній точці, яку обирають або на столі вібростенда поряд з однією з точок кріплення або біля точки кріплення амортизатора, на якому встановлено об'єкт в умовах експлуатації. Оскільки кріпильні пристрої не можуть бути абсолютно жорсткими, то контрольний віброперетворювач слід розміщати у точці з мінімальним впливом резонансу усіх елементів кріпильного пристрою.

В електродинамічних вібростендах, яідповідно до закону Ампера, на провідник (котушку), по якому тече струм і який знаходиться в магнітному полі, діє електромагнітна сила F_e, спрямована відповідно до правила лівої руки або вниз, або вгору в залежності від напрямку струму в котушці [6]:

$$d\vec{F}_e = i \cdot \left(d\vec{l} \times \vec{B} \right),$$

де dF_e - елементарна електромагнітна сила або сила Ампера; i - величина струму в котушці, B - вектор магнітної індукції в зазорі постійного магніту, dl - вектор, який дорівнює довжині елемента провідника котушки і спрямований в ту ж сторону, в яку рухається струм.

Робота електродинамічного вібростенда описується системою рівнянь:

$$m\ddot{x} + h\dot{x} + cx = F_e(t);$$

$$L\frac{di}{dt} + ri + Bl\frac{dx}{dt} = U(t).$$

де m - маса рухомої системи вібратора; h, c - коефіцієнт демпфування і жорсткість плоскої пружини, x - переміщення платформи (стола) вібратора;

F_e *(t)* - електромагнітна сила; *L, г, i, U(t)* - індуктивність, активний опір проводу котушки, струм в котушці і прикладена до неї напруга, *B* - магнітна індукція в зазорі постійного магніту, *l* - довжина провідника котушки.

Синусоїдальна зміна струму викликає синусоїдальні коливання платформи в вертикальній площині. Амплітуда коливань залежить від ваги виробу, сили F_e і властивостей плоскої пружини. Частота коливань визначається частотою змінного струму, що протікає через рухливу котушку. Для створення магнітного потоку, що взаємодіє з струмом в рухливій котушці, застосовують електромагніти, у яких струм підмагнічування може досягати десятки ампер [6].

Найбільш широкого поширення набули електродинамічні вібростенди серії ВЕДС (рис. 1.12). Такі стенди дозволяють проводити випробування виробів на вплив однокомпонентної гармонійної вібрації, широкосмугової випадкової вібрації і ударної віброміцності.

Рисунок 1.5 - Вібростенд серії ВЕДС

У таблиці 1.2 представлені технічні характеристики вібростендів серії ВЕДС.

Таблиця 1.2. Технічні характеристики вібростендів серії ВЕДС

Найменування	ВЕДС-100	ВЕДС-200	ВЕДС-400	ВЕДС-1500
Максимальна збудлива сила, Н	1000	2000	4000	15000
Робочий діапазон частот, Гц - номінальний - розширений	 20-2500 5-5000	 20-2500 5-5000	 20-1500 5-3500	 20-1500 5-2500
Максимальне прискорення, м/с2	400			430
Максимальне переміщення столу, мм	± 4,5			± 6
Максимальна маса навантаження, кг	22	45	0	300
Споживана потужність від мережі (380/220 В, 50 Гц), кВт	5	7	9	40

Серед зарубіжних вібростендів широку популярність здобули вібростенди компанії Вгиеі & Кјаег (Данія).

Низькочастотний діапазон обмежений допустимим переміщенням рухомої частини вібратора всередині нерухомої частини магнітного поля. Амплітуда вібропереміщення обмежена величиною від 1 мм до 1,5 см для малих вібраторів і 2,5 см для великих, межа віброприскорення складає 100 м/с^2 на частоті 20 Гц. Низькочастотна вібрація обмежена смугою пропускання підсилювача потужності та/або особливістю конструкції підвісу столу вібратора. Амплітуда високочастотного віброприскорення обмежена величиною електромагнітної сили або межею допустимої напруги вібратора. Наприклад, для вивішеної маси 30 кг разом з монтажним пристосуванням, вібратор з максимальною збудливою силою 30 000 Н може досягти граничного віброприскорення 1000 м/с^2 або СКО 300 м/с^2 .

Структурна схеми вібростенда зі зворотним зв’язком показана на рисунку 1.6.

У комплект вібростенда входить вібродатчик 6, який перетворює механічні коливання в електричний сигнал, пропорційний прискоренню.

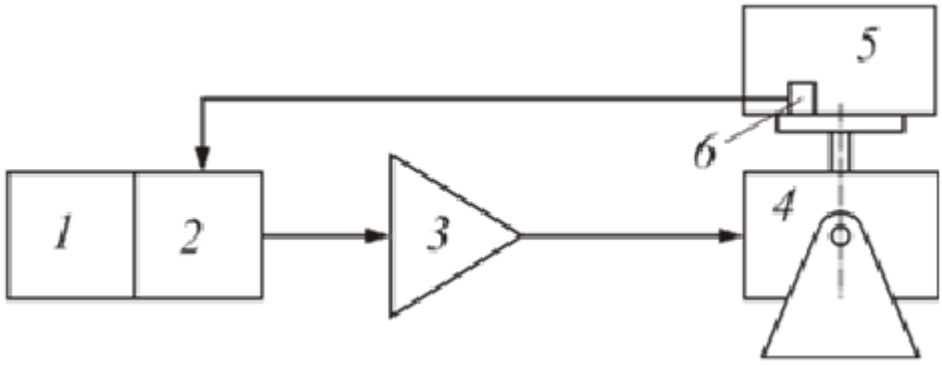


Рисунок 1.6 - Структурна схема вібростенда зі зворотним зв’язком

Ці сигнали використовують для автоматичного регулювання амплітуди, що дозволяє автоматично підтримувати заданий режим випробувань. Задавальний генератор 1, виробляє гармонійні електричні коливання. Рівень цих коливань може змінюватися регулятором амплітуди 2, пов’язаним з віброперетворювачем 6 зворотним зв’язком. Підсилювач потужності 3 доводить електричні коливання до необхідного рівня. Вібратор 4 перетворює енергію електричних коливань в енергію механічних коливань рухомої системи вібратора, що здійснюються спільно з виробом 5.

Електродинамічні вібростенди можуть створювати віброприскорення з частотою від 5 Гц до 2000 Гц. Деякі вібратори дозволяють досягти від 10 кГц до 100 кГц для ОВ малої маси.

На практиці вібровипробування проводять на основі нормативних настанов (нормалей). Вітчизняні та зарубіжні нормалі передбачають проведення випробувань методом гармонійної вібрації з фіксованою частотою, плаваючою частотою і широкосмуговою випадковою вібрацією (ШВВ).

При вібровипробуваннях з фіксованою частотою в нормалі вказують такі параметри вібрації, як амплітуди прискорення або переміщення на кожній частоті, діапазон частот, час дії вібрації на кожній частоті.

При вібровипробуваннях з плаваючою частотою, переміщення і прискорення змінюються за законами:

$$x = x_m \sin 2\pi ft; \quad a_x = a_{xm} \sin 2\pi ft,$$

де частота вібрації змінюється за логарифмічним законом

$$\boldsymbol{ln\ f = kt} \text{ або } \boldsymbol{f = e^{kt}}.$$

Цей метод дає можливість визначити резонансні частоти виробу, величини амплітуд при резонансах.

Недолік випробувань методом гармонійної вібрації з фіксованою і плаваючою частотою полягає в тому, що виникнення резонансів в випробувальному виробі відбувається послідовно, а не одночасно, як це має місце при ШВВ.

1.6 Прилади для вимірювання параметрів вібрації

До параметрів, які підлягають вимірюванню в умовах вібраційних випробувань належать вібропереміщення, віброшвидкість, віброприскорення, а також частоти й фази гармонічних складових.

Типова конструкція віброметра містить вібропереторювач, попередній підсилювач, частотний фільтр та вимірювач амплітуди. Вібропереторювачами можуть слугувати індукційні, індуктивні, тензорезисторні, п'єзоелектричні вимірювальні перетворювачі. До основних вимог, що ставляться до вібропереторювачів належать наступні: резонансна частота вібропереторювача повинна бути вищою від робочого діапазону частот, умови навколишнього середовища мають відповідати умовам експлуатації вібропереторювача.

Деякі конструкції вібропереторювачів містять в одному корпусі чутливий елемент й попередній підсилювач, що підвищує чутливість та завадозахищеність. Попереднє підсилення забезпечує можливість передавання сигналу довгими кабелями до приладів контролю. Частотні фільтри використовують при потребі виділення гармонік вібрації або обмеження діапазону вимірювань за частотою.

Більшість задач по вимірюванню вібрації пов'язані з оцінюванням параметрів коливань складних механічних систем, таких як турбіни, двигуни

внутрішнього згоряння тощо. Вимірювання вібрації у таких системах проводиться шляхом аналізу окремих гармонік або вузькосмугових процесів.

Для вирішання задач спектрального аналізу найбільшого поширення набули аналізатори з цифровим фільтруванням, що базуються на використанні алгоритмів швидкого перетворення Фур'є. Використання обчислювальних засобів забезпечує роботу аналізатора у масштабі реального часу. Залежно від особливостей і специфіки вібраційних випробувань можуть використовуватись й інші методи вимірювання параметрів вібрації, наприклад, оптичний (лазерний на основі ефекту Доплера), з використанням відповідних засобів вимірювань, однак ці методи мають вузьку область використання.

Основна функція вібростенду – забезпечення безпосереднього перетворення певного виду енергії в енергію вібрації для передавання вібрації об'єктові випробувань. Вібростенд є основною складовою вібраційного випробувального устаткування, яке також включає засоби задання, керування, підсилення, вимірювання, автоматичного контролю та допоміжних засобів, що забезпечують відтворення вібрації з нормованими характеристиками точності.

За видом енергії, яка перетворюється в енергію вібрацій вібростенди, які відносяться до пристроїв електродинамічного типу, бувають наступних видів.

Електромеханічний вібростенд – створює вібрацію в результаті перетворення механічної енергії обертання за допомогою кінематичних механізмів з і електричним способом керування.

Електрогідравлічний вібростенд – створює вібрацію в результаті зміни тиску рідини за заданим законом з електричним способом керування.

Електромагнітний вібростенд – створює вібрацію за рахунок взаємодії магнітного матеріалу із змінним магнітним полем електромагніту.

П'єзоелектричний вібростенд – створює вібрацію на основі зворотного п'єзоефекту.

Магнетострикційний вібростенд – створює вібрацію на основі магнетострикції.

Електропневматичний вібростенд – створює вібрацію в результаті зміни тиску стисненого газу за заданим законом з електричним способом керування.

Метою роботи являється розробка портативного універсальний стенду для вібродіагностики.

Для досягнення поставленної мети необхідно виконати наступні завдання:

- розробити конструкцію універсального стенду;

- вибрати інформаційно-вимірювальний модуль управління параметрами стенду;

- розробити схемотехніку виміру та контролю параметрів мікросхем при механічних віпробуваннях.

2 Розробка приладу для вібродіагностики технічного стану електричних, механічних та електромеханічних агрегатів

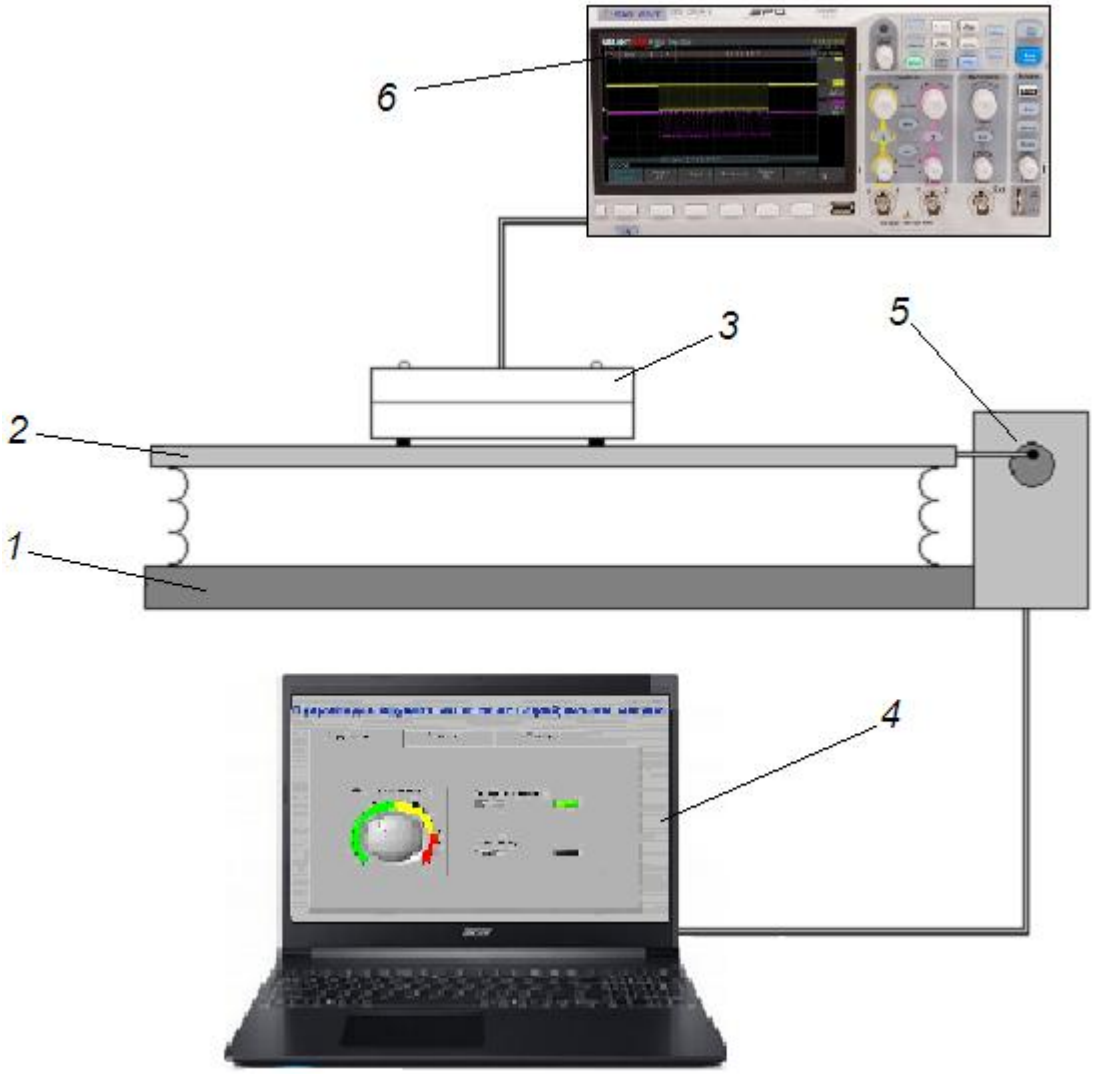
При виробництві радіоелектронної апаратури на мікросхемах все більшого застосування набули функціонально-вузловий метод збирання, який у загальних рисах можна охарактеризувати як збирання мікроелектронних приладів у скомпоновані блоки (модулі), які є закінченими функціональними пристроями або служать компонентами для подальшого збирання радіоапаратури. Розробка радіоелектронної апаратури за функціонально-вузловим методом різко скорочує терміни проектування, дозволяє швидко вводити зміни в конструкцію апаратури як у процесі розробки дослідних зразків, так і при серійному виготовленні, значно зменшує трудомісткість виробництва за рахунок впровадження механізації і автоматизації виробництва, а також за рахунок спрощення випробувань та методів контролю.

Перевірка функціювання та визначення параметрів приладів мікроелектронних систем здійснюється за допомогою вібростендів. Для перевірки їх функціонального стану необхідні випробувальні стенди з діапазоном переміщень до 5 мм і частотним діапазоном у межах 10 Гц – 5 кГц, амплітудою прискорення 5 – 400 м/с^2 такі стенди, зазвичай, мають великі розміри і вимагають стаціонарного встановлення в лабораторіях [6].

2.1 Портативний універсальний стенд для вібродіагностики

Портативний універсальний стенд для контролю працездатності електронної апаратури має можливисть перевірки на ввібромічність та вібростійкість приладів мікроелектронних систем. Прилади перевіряються на працездатність та первинну відповідність паспортним даним. Для задоволення цих вимог необхідно розробити універсальний автономний переносний пристрій

контролю характеристик електронних приладів (рис. 2.1), кінематична схема якого розроблена на основі використання пружнодеформованих елементів [6]. Область робочих частот системи збудження коливань вибрана таким чином, щоб частоти коливання стенда були менші резонансної частоти підвісу рухомої платформи. Це забезпечує стале управління стендом.



1 – нерухома основа;

2 – рухома платформа;

3 – досліджуваний пристрій;

4 – інформаційно-вимірювальний моодуль;

5 – кулісний механізм;

6 – модуль завлання режимів та контролю функціонування

Рисунок 2.1 - Загальна схема портативного універсальноого стенду

Система підвісу є симетричною конструкцією, яка складається з чотирьох плоских пружних елементів. Ці елементи утворюють рухливий пружний контур, який має істотно різні жорсткості у двох взаємно перпендикулярних напрямках: перпендикулярно та паралельно площини рухомої платформи (2). Така конструкція забезпечує з одного боку можливість формування низькочастотних робочих коливань, а також проводити дослідження датчиків з горизонтальною віссю чутливості масою до 10 кілограмів.

Пружні елементи приєднуються спеціальними кріпильними елементами одними кінцями до зовнішньої нерухомої основи (1), а іншими – до рухомої платформи (2). Змінюючи конфігурацію системи кріплення, можна змінювати резонансну частоту коливань рухомої платформи.

Привід пристрою представляє собою рухому систему на основі електромеханічного привода. Збудження коливань робочого столу здійснюється двигуном з автономним живленням і регулюванням обертів (частотою вібрації платформи) від ПК. Кулісний механізм (5) використовується для перетворення обертального руху кривошипу в поступальний рух платформи (2). Величина лінійного переміщення робочого стола регулюється зміною довжини кривошипа.

2.1.1 Іформаційно-вимірювальний модуль

Для отримання інформації про частоту вібрації стенду, а також можливості керування переміщенням платформи, на рухомому столі стенду розміщений інформаційно-вимірювальний модуль (3), який містить чутливий елемент, обчислювальне ядро та інтерфейс обміну інформацією із ПК. У якості чутливого елемента, що призначений для вимірювання і контролю параметрів руху стола, використовується мікроелектромеханічний акселерометр ADXL345, що підключений до мікроконтролера ATmega 328, який виступає

у ролі обчислювального ядра для попередньої обробки і передачі інформації (рис. 2.2).

Цифровий акселерометр на основі чипа ADXL345 є датчиком, що вимірює проекції прискорення на три просторові осі (x,y,z). Знаючи ці виміри і враховуючи величину вільного падіння, можна визначити орієнтацію самого акселерометра в просторі. Цифрові результати виміру представляються у вигляді 16-розрядних чисел в додатковому коді і доступні через цифрові інтерфейси SPI (трьох- або чотирипровідною) або I^2C [6].

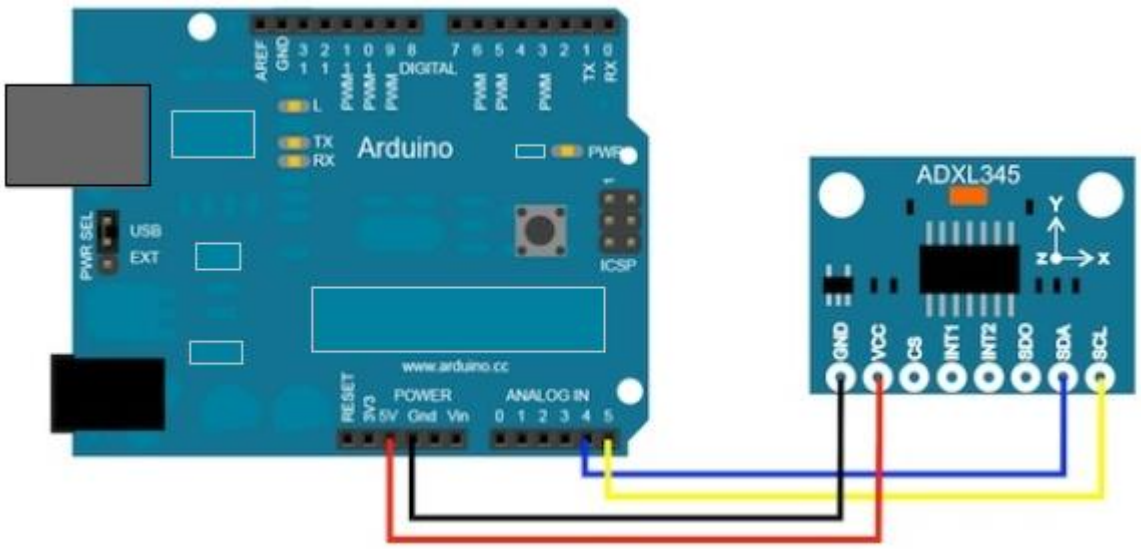


Рисунок 2.2 – Схема інформаційно-вимірювального модуля

Датчик працює як з SPI так і I2C інтерфейсами. Виведення CS використовується для вибору інтерфейсу. Якщо на CS низький рівень - використовується SPI інтерфейс. Якщо на вході CS високий рівень - використовується I^2C інтерфейс.

При випробування мікроелектронної апаратури на вібростійкість, стендове обладнання забезпечується поданням режимів, згідно з технічними умовами та контролем правильності функціонування досліджуваних приладів (6).

2.1.2 Прилад керування рухом платформи

Прилад являє собою вкладковий селектор [6] (рис. 2.3). У першому вікні «Керування» присутня клавіша встановлення зв'язку ПК із стендом та реалізований поворотний показчик частоти коливань платформи. Амплітуда коливань може бути змінена механічно при переналагодженні стенду.

Окрім цього, на вкладці присутня клавіша активації режиму стабілізації, і автоматичного утримання частоти коливань платформи, проте дана опція знаходиться на відлагодженні, тому буде описана у наступних роботах.

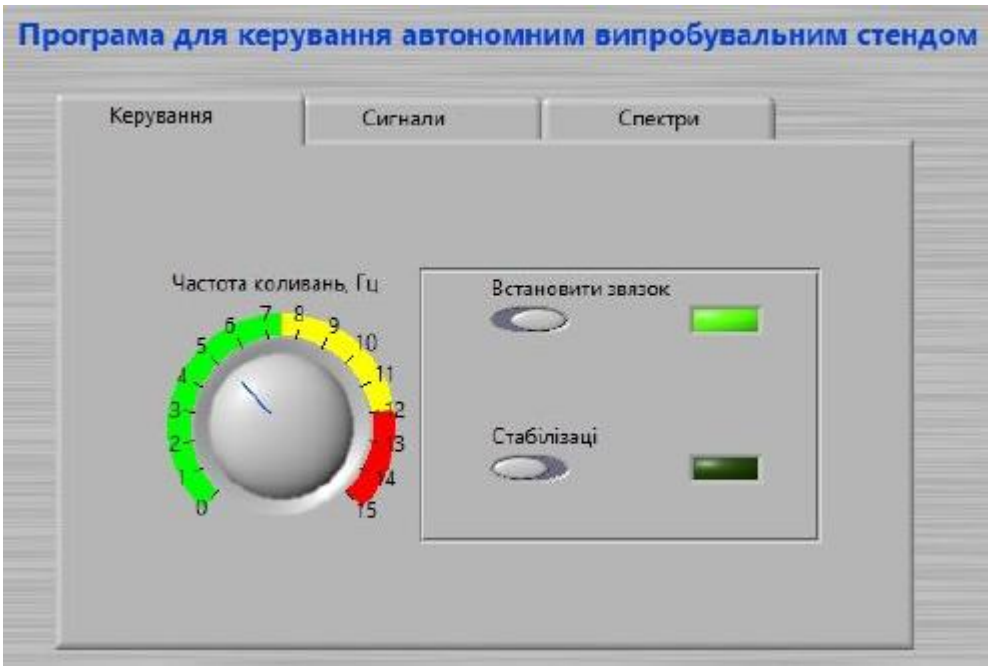


Рисунок 2.3 Лицьова панель ПЗ для керування рухом портативного універсального стенду

Вкладка «Сигнали» містить графіки руху платформи по двох осях, що знаходяться у площині столу. Дана інформація отримується від акселерометра інформаційно-вимірювального модуля. На вкладці «Спектри» містяться графіки сигналів з акселерометра у частотній області. Графіки сигналів з вкладок «Сигнали» та «Спектри» дають можливість оцінити характер руху платформи і за необхідності його скоригувати.

Підключення інформаційно-вимірювального модуля до ПК відбувається за допомогою стандартного USB-інтерфейсу, за допомогою програмного інтерфейсу середовища LabVIEW–VISA. Такий підхід звільняє кінцевого користувача від необхідності складного підключення і інсталяції додаткових спеціалізованих програм (окрім драйверів).

Після встановлення зв'язку ПК із стендом розпочинається процедура пакетного запису у файл у форматі: data_{дата збереження}_{час збереження}_номер запуску.txt, він являє собою звичайний текстовий файл, що дозволяє обробляти отриману інформацію в будь-якому програмному середовищі.

При зміні положення стенду в просторі відносно нерухомої основи (1), можна проводити випробування і калібрування датчиків як з вертикальною, так і з горизонтальною осями чутливості.

Для цього стенд має два стола для установки досліджуваних датчиків.

Живлення комплексу здійснюється від акумуляторної батареї з напругою живлення 18 В +/- 20% і вихідним струмом до 10 А. Можливе використання зовнішнього блока живлення для побутових приладів, які мають відповідну вихідну напругу.

Портативний універсальний стенд (рис. 2.4) призначений для випробування приладів мікроелектронної апаратури та елементів обладнання, котрі під час роботи можуть піддаватись впливу вібраційних навантажень. Випробування проводиться з метою перевірки можливості виробів протистояти руйнівній дії вібрації, виконувати свої функції та зберігати свої параметри в заданих допусках.

2.2 Використання портативного вібростенду для випробування інтегральних мікросхем

Вібростенд призначений для випробування мікросхем на вібростійкість під електричним навантаженням в діапазоні значень температур відповідного нормальним лабораторним умовам та віброміцність.

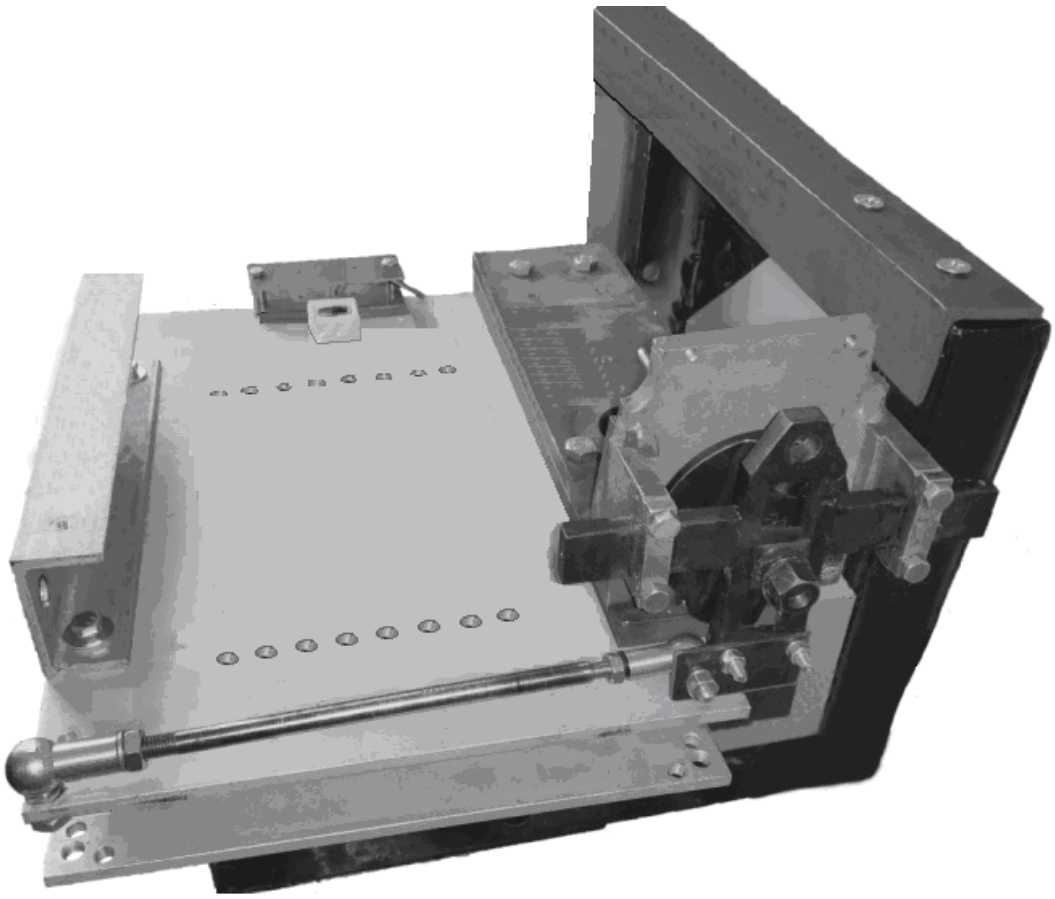


Рисунок 2.4 - Загальний вид портативного універсальноого стенду

Умови експлуатації стенду:

- температура навколишнього середовища: 20 ± 10 ° С;
- атмосферний тиск: 750 ± 30 мм рт. ст .;
- відносна вологість повітря: до 95%.

Технічні характеристики стенду: можливе проведення випробувань цифрових, лінійних (аналогових) і функціонально складних мікросхем, виконаних в різних корпусах.

Завантаження випробовуваних мікросхем на вібростійкість та вібропіцність – касетне (рис. 2.5, 2.6).

1 – кришка касети, 2 – корпус касети, 3 - плата з завантаженими мікросхемами під електричним режимом, 4 - роз’єм, 5 - консолі для завантаження мікросхем без електричного режима.

Кріплення мікросхем в касеті №1 здійснюється пайкою на змінних платах.

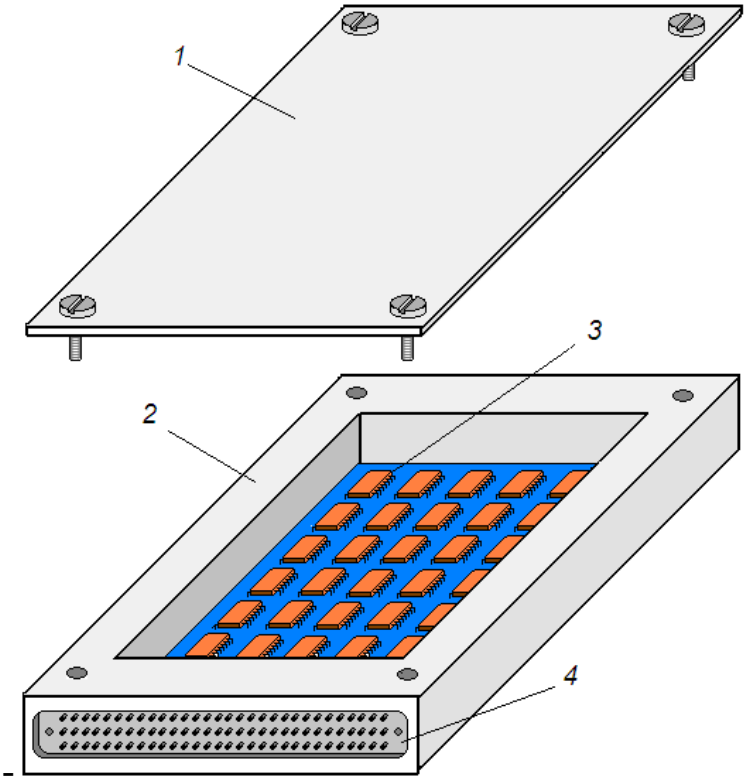


Рисунок 2.5 – Касета №1 для завантаження випробовуваних мікросхем на вібростійкість

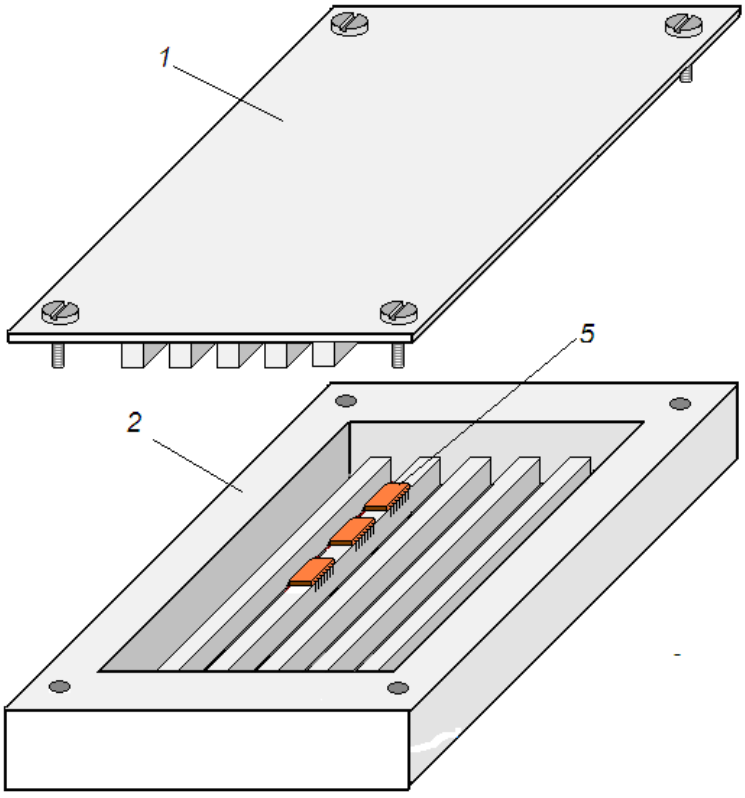


Рисунок 2.6 – Касета №2 для завантаження випробовуваних мікросхем на віброміцність

Ємність касети:

- 30 мікросхем в корпусах з числом виводів 14;
- 20 мікросхем в корпусах з числом виводів 16;
- 10 мікросхем в корпусах з числом виводів 24.

На внутрішній стороні касети, розташовані контактні роз'єми для підключення печатних плат з розпаяними на них мікросхемами. Типи плат вибираються залежно від типу корпусу мікросхеми. Виводи від плат з роз'ємами підпаюють проводом до розташованих поруч штирів. Штирі з'єднані з контактами роз'ємів типу 6Р-90В, розташованих на лицьовій стороні касети. Виводи від плат електрично з'єднані з виводами відповідного роз'єму і ізольовані один від одного.

Для корпусу з кількістю виводів 14 перших мікросхема займає контакти 1 - 14, друга - 15-28, третя - 29-42 і т.д. Для корпусу з кількістю виводів 16 перших мікросхема займає контакти 1-16, друга - 17-32 і т.д.

Принцип роботи стенду - створення необхідних електричних умов для досліджуваних мікросхем з подачею на їхні виводи напруг живлення і управління, а також контроль функціонування мікросхем під час випробувань.

Контакти 81-90 кожного роз'єму 6Р-90В з'єднані з роз'ємом РП10-30, через який в касету вводяться лінії проводів від блоків живлення і каналів генератора стенду. Роз'єми 6Р-90В призначені для підключення еквівалентів-пристроїв, в яких проводиться необхідна комутація виводів мікросхем: підключення до них блоків живлення, напруги зсуву, сигналів управління від генератора, еквівалентних навантажень тощо Еквіваленти мають контрольні гнізда. 1-28 – номери гнізд колодки вимірювання параметрів мікросхем до, під час і після випробувань, для перевірки функціонування мікросхем (рис. 2.7). Живлення випробовуваних мікросхем здійснюється від стабілізованих джерел напруги або аналогічних їм за параметрами приладів. Всі блоки виконані за схемою стабілізатора компенсаційного типу, містять пристрої захисту від перенапруги і розрізняються діапазоном вихідної напруги і навантажувальною здатністю.

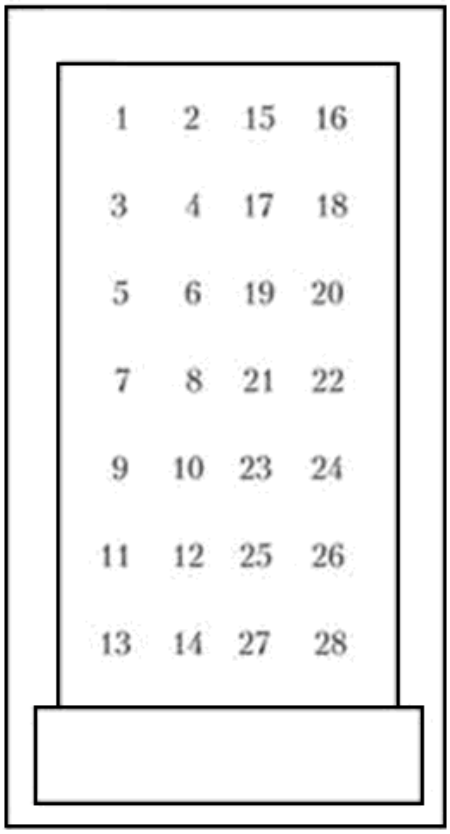


Рисунок 2.7 - . Схематичне зображення еквівалента з контрольними гніздами для перевірки функціонування інтегральних схем

Живлення випробовуваних мікросхем здійснюється від стабілізованих джерел напруги або аналогічних їм за параметрами приладів. Всі блоки виконані за схемою стабілізатора компенсаційного типу, містять пристрої захисту від перенапруги і розрізняються діапазоном вихідної напруги і навантажувальною здатністю.

Сигнали управління для мікросхем створює генератор по трьох каналах: перший канал - напруга синусоїдальної форми частотою до 20 кГц; другий і третій канали - напруги прямокутної форми частотою до 0,5 МГц, зрушені по фазі на 90°.

Конструктивно блоки живлення і генератор мають один типорозмір.

Підключення необхідних блоків живлення, генераторів, забезпечення потрібної полярності напруг і інші завдання виконуються в результаті комутації за допомогою провідників на клемних платах.

Контроль функціонування випробовуваних мікросхем здійснюється за допомогою індикаторів, осцилографа, та персонального компютера зі спеціальним програмним забезпеченням, які підключаються до еквівалентів з контрольними гніздами (рис. 2.8) [7].

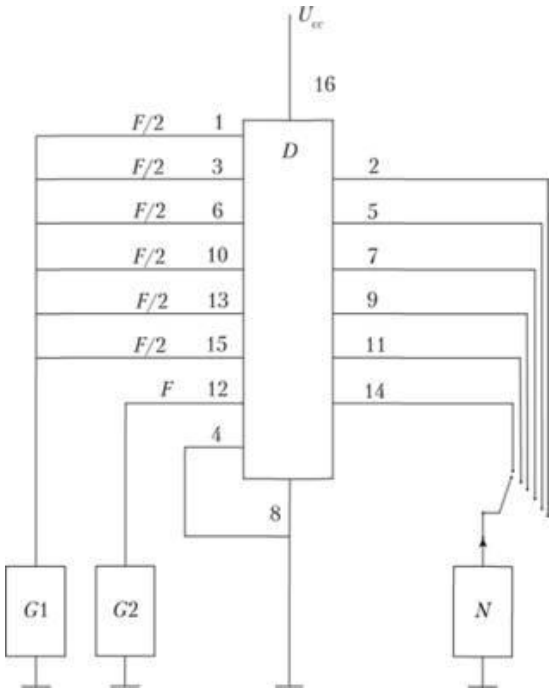


Рисунок 2.8 - Схема включення мікросхем при випробуваннях на вібростійкість

D - мікросхема; U_{cc} - напруга живлення; G1, G2 - генератори сигналів; N – осцилограф.

Після установки блоків слід провести з'єднання на комутаційних платах. Комутацію виходів генератора можна виконувати в результаті з'єднання високочастотними кабелями роз'ємів касети і вихідних роз'ємів блоку генератора.

Кріплення мікросхем в касеті №2 здійснюється консолями розташованими у корпусі касети та на кришці. Для різних тіпономіналів мікросхем, касети мають свій розмір. Закріплені у касеті мікросхеми, у кількості відповідній ТУ до іспитів на віброміцність, розміщуються на рухомій платформі.

Вибірка мікросхем до випробувань на віброміцність проходить перевірку на відповідність параметрам ТУ, згідно програмі та мктодам, відповідно категорії випробувань. Після проведення механічних віброрежимів відповід-

но категорії, партія мікросхем проходить перевірку на відповідність вимогам ТУ [7].

Випробування на вібростійкість допускається совміщати з випробуванням на віброміцність, проводячи його на початку або в кінці випробувань на віброміцність. При цьому швидкість зміни частоти вібрації не повинна перевищувати 1 октаву за хвилину. Випробування на віброміцність і вібростійкість при впливі синусоїдальної вібрації в діапазоні частот нижче 10 Гц і випробування на віброміцність і вібростійкість при впливі широкосмугової випадкової вібрації в діапазоні частот нижче 20 Гц не проводять, якщо нижча резонансна частота вироба перевищує 25 Гц.

Принцип контролю безпечності при використанні універсального стенду може бути використаний за методикою охоронної сигналізації з використанням променю лазера або іншого джерело світла. Для виготовлення пристрою необхідно мати лише інтегральний таймер типу 555, операційний підсилювач, фотоелемент, а також кілька пасивних і активних компонентів [8].

2.3 Параметричний контроль в технології вібродіагностичних випробувань

При проведенні вібродіагностичних випробувань контроль електричних параметрів приладів електронної техніки проводиться на етапі підготовки партії до завантаження в касети, впродовж випробувань на вібростійкість та після технологічного циклу категорії вібромеханічного впливу, згідно з ТУ.

2.3.1 Система параметрів цифрових мікросхем

До параметрів, які характеризують логічні і схемотехнічні можливості логічних елементів (ЛЕ) мікросхем і великих інтегральних схем, відносяться функціональні параметри [9]:

- логічна функція, що реалізовується;

- здатність навантаження n, що характеризує можливість підключення певного числа ідентичних ЛЕ;

- коефіцієнт об'єднання по входу m (m_I – для реалізації логічної функції І; $m_{АБО}$ – для реалізації логічної функції АБО);

- середня затримка передачі сигналу $\tau_{сер}$ (напівсума часу затримок передачи сигналів 1 і 0 з входу ЛЕ на його вихід);

- гранична робоча частота f_p (частота перемикання тригера, складеного з ЛЕ, що розглядаються);

- споживана потужність.

Навантажена здатність ЛЕ n визначає число входів ідентичних елементів, які можуть бути підключені до виходу. При цьому забезпечується неспотворена передача двійкових символів 0 і 1 в цифровому пристрої по колу з довільного числа послідовно включених елементів при найгірших поєднаннях дестабілізуючих чинників. Дестабілізуючими чинниками можуть бути зміна напруг живлення, розкид параметрів компонентів, зміна температури і тому подібне.

Часто навантажена здатність n називається коефіцієнтом розгалудження елементів по виходу і виражається цілим позитивним числом (n = 4, 5, 7, 10 и т. д.). Чим вище навантажена здатність ЛЕ, тим ширше їх логічні можливості і тим менше витрати при побудові цифрового пристрою. Проте збільшення параметра n можливо до певних меж, оскільки при цьому погіршуються інші параметри ЛЕ: знижується швидкодія, погіршується перешкодостійкість і збільшується споживна потужність. З цієї причини до складу однієї серії ІМС часто входять ЛЕ з різною навантаженою здатністю: основні ЛЕ з n = 4 … 10 і буферні елементи – так звані підсилювачі потужності з n = 20 … 50. Це дозволяє гнучкіше проектувати цифрові пристрої, досягаючи оптимальних показників по споживаній потужності і числу ЛЕ [9].

Буферні елементи, як правило, виконуються із складним транзисторним виходом, що забезпечує комутацію великих струмів навантаження. За-

лежно від електричної схеми базові функціональні елементи в основному працюють в режимі, коли входи навантажень споживають струм з виходу елементу або коли вихід елементу забирає струм від навантажних входів подальших елементів. Існують ЛЕ, які в одному логічному стані віддають струм в навантаження, а в іншому отримують його від навантаження.

Функціональні елементи інтегральних МДН-мікросхем, що мають високий вхідний опір ($К_{вх} > 10^{12}$ Ом), у статичному режимі практично не віддають струм в навантаження і не забирають його з навантаження. Їх навантажена здатність висока (n > 10), і її збільшення обмежується лише погіршенням динамічних параметрів ІМС за рахунок зростання постійних часу заряду і розряду паразитної ємкості навантаження $С_н$ при великих n, так як $С = С_{вх}n + С_{вих}$. где $С_{вх}$ – ємкість входу одного ЛЕ; $С_{вих}$ – ємкість виходу ЛЕ, включаючи лінію зв'язку.

Залежно від частотного діапазону роботи логічних МДН-мікросхем їх навантажена здатність може змінюватися в широких межах (n = 10 … 100).

Коефіцієнт об'єднання по входу m характеризує максимальне число логічних входів функціонального елементу. Із збільшенням параметра m розширюються логічні можливості мікросхеми за рахунок виконання функцій з великим числом аргументів на одному типовому елементі І-НІ, АБО-НІ і т. п. Проте при збільшенні числа входів, як правило, погіршуються інші параметри функціонального елементу, такі як швидкодія, перешкодостійкість і навантажена здатність.

Статичні параметри:

- вхідні і вихідні напруги логічного 0 і 1 ($U^0_{вих}$, $U^1_{вих}$, $U^0_{вх}$, $U^1_{вх}$);

- вхідні і вихідна порогові напруги логічного 0 і 1($U^0_{вих.\ пор}$, $U^1_{вих.\ пор}$, $U^0_{вх.\ пор}$, $U^1_{вх.\ пор}$);

- вхідні і вихідні струми логічного 0 і 1 ($I^0_{вих}$, $I^1_{вих}$, $I^0_{вх}$, $I^1_{вх}$);

- струми споживання в стані логічного 0 і 1($I^0_{спож}$, $I^1_{спож}$);

- потужність, що споживається ЛЕ від джерел живлення

$$P_{спож} = \sum_{i=1}^{n} U_i I_i ,$$

де U_i – напруга і-го джерела живлення; I_i – струм у відповідному колі живлення.

Перешкодостійкість логічних елементів. Основною статичною характеристикою ЛЕ є передавальна характеристика $U_{вих} = f(U_{вх})$: залежність потенціалу на виході від потенціалу на одному з входів, при постійних значеннях потенціалу (U^0 або U^1) на останніх входах. За типом передавальної характеристики елементи діляться на інвертуючі, на виході яких утворюється інверсія вхідних сигналів і неінвертуючі.

Швидкодія ЛЕ при перемиканні визначається електричною схемою, технологією виготовлення і характером навантаження.

До основних динамічних параметрів логічного елементу відносяться: $t^{01}_{ф}$ – фронт формування рівня логічної 1, $t^{10}_{ф}$ – фронт формирования рівня логічного 0, $t^{10}_{затр}$ – затримка перемикання із стану 1 в стан 0, $t^{01}_{затр}$ – затримка перемикання із стану 0 в стан 1, ti – тривалість імпульсу, $f_р$ – робоча частота. Визначення цих параметрів забезпечується при порівнянні сигналів на вході і виході ЛЕ, тобто при розгляді процесу передачі інформації через ЛЕ. На рисунку 2.9 приведені характеристики сигналів на вході і виході инвертора і показані рівні відліку (0,1 і 0,9 від логічного перепаду $U_л$), відносно яких визначаються динамічні параметри ЛЕ [9].

Рівнями відліку динамічних параметрів ЛЕ є (розглядається позитивна логіка) максимальні рівень логічного 0 ($U_{вх}{}^{Н}{}_{пор}$, $U_{вих}{}^{Н}{}_{пор}$) і мінімальний рівень логічної 1 ($U_{вх}{}^{В}{}_{пор}$, $U_{вих}{}^{В}{}_{пор}$). Затримка переключення $t^{10}_{затр}$ визначається як часовий інтервал між рівнем 1 фронту наростання вхідного імпульсу (позитивний імпульс) і рівнем 0 фронту спаду вихідного імпульсу (негативний імпульс). Затримка переключення $t^{01}_{затр}$ визначається як часовий інтервал між рівнем 0 фронту спаду вхідного імпульсу і рівнем 1 фронту наростання вихідного імпульсу. Фронти імпульсу, що визначаються між рівнями 1 і 0 спаду імпульсу, позначаються $t^{10}_{ф}$, між рівнями 0 і 1 наростання імпульсу – $t^{01}_{ф}$.

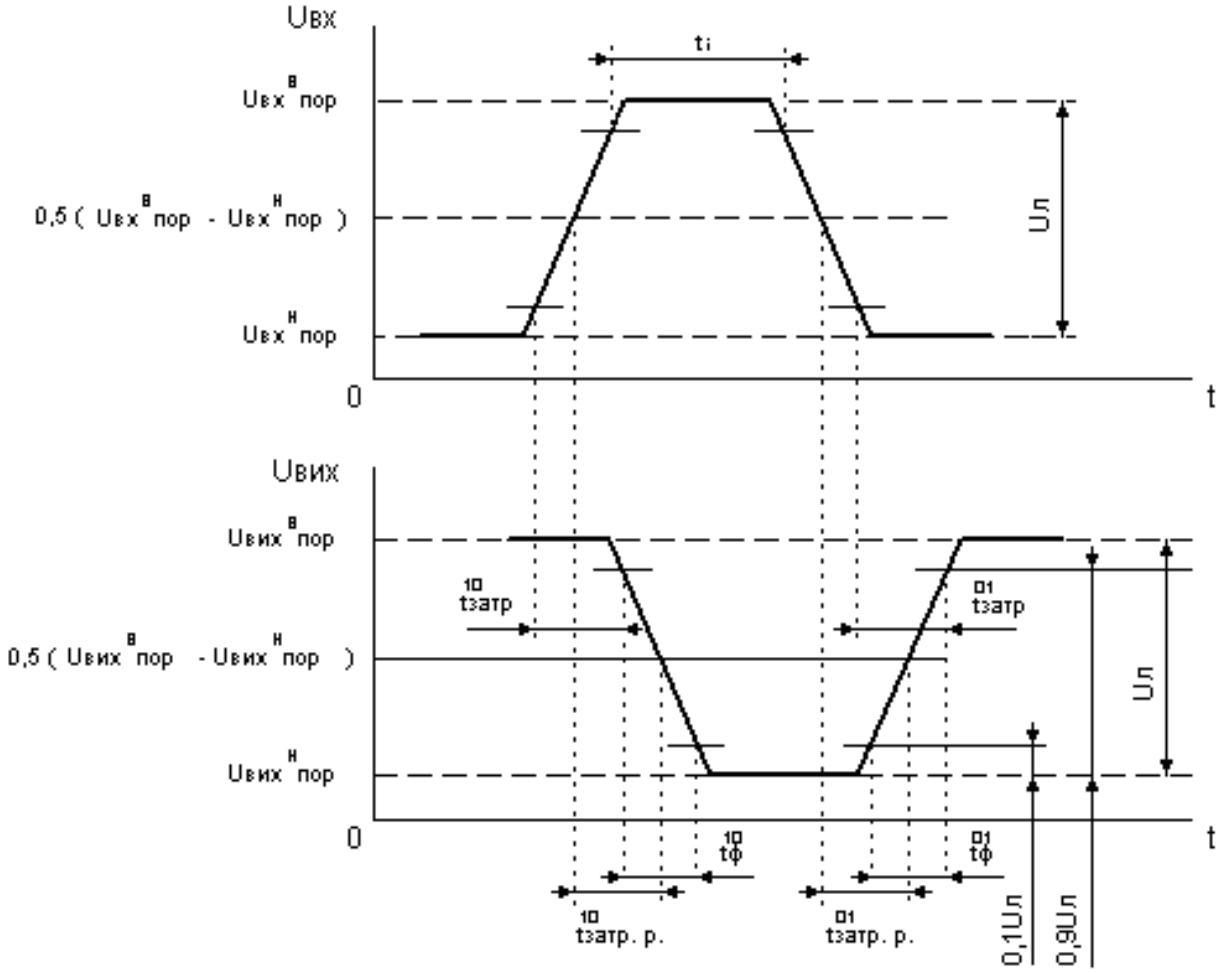


Рисунок 2.9 – Динамічні параметри логічного елементу

Затримки розповсюдження ($t^{10}_{\text{затр р}}$, $t^{01}_{\text{затр р}}$) вимірюються, як правило, по рівню 0,5($U_{\text{вих}}{}^{\text{В}}_{\text{пор}} - U_{\text{вих}}{}^{\text{Н}}_{\text{пор}}$).

Середня затримка $t_{\text{затр. р. сер}}$ логічного елементу визначається як напівсума затримок $t^{10}_{\text{затр р}}$ і $t^{01}_{\text{затр р}}$ та служить усередненим параметром швидкодії, що використовується при розрахунку часових характеристик багатоелементних послідовно включених логічних мікросхем.

$$t_{\text{затр. р. сер.}} = (t^{10}_{\text{затр р}} + t^{01}_{\text{затр р}}) / 2$$

Параметр $t_{\text{затр. р. сер.}}$ наводиться в технічних умовах або керівному матеріалі по вживанню інтегральних мікросхем. Для спрощення процесу розрахунку часових характеристик складних логічних кіл часто вважають сигнали прямокутними, тобто $t^{10}_{\text{ф}} = t^{01}_{\text{ф}} = 0$.

2.3.2 Контроль електричних параметрів при вібромеханічних випробуваннях

До основних видів контрольних випробувань інтегральних мікросхем відносяться [10]:

- параметричний контроль;
- функціональний контроль;
- діагностичний контроль.

Параметричний контроль використовується для мікросхем з малою інтеграцією і включає вимірювання основних параметрів на постійному струмі. Крім того, даний вигляд передбачає проведення перевірки правильності виконання нескладних логічних функцій, що одночасно проводиться з послідовним вимірюванням вихідних електричних сигналів після подачі на входи інтегральної схеми певної комбінації сигналів струму або напруги, що калібруються [10].

Функціональний контроль використовується для перевірки інтегральних схем з високим ступенем інтеграції і включає проведення статистичних і динамічних вимірювань на базі контрольної тестової таблиці, складеної, наприклад, за допомогою ЕОМ з урахуванням мінімізації кількості вхідних кодових комбінацій. Функціональний контроль дозволяє проводити перевірку великих інтегральних мікросхем в умовах, близьких до експлу-атаційних.

Складність і різноманітність програми функціонального і діагностичного контролю інтегральних мікросхем вимагають обов'язкового використання ЦОМ і спеціальних автоматизованих систем. Автоматизовані системи, які використовуються для контролю інтегральних мікросхем, характеризуються наступними основними параметрами: продуктивністю, максимальним числом виводів, максимальним числом розрядів кодової комбінації, що видається однією командою за один цикл управління, числом контрольних постів в системі, з якими можлива одночасна робота, складом і універ-

сальністю програмного забезпечення, можливістю виконання параметричного контролю [10].

Вимірювання статичних параметрів - це вимірювання електричної величини (струму або напруги) в сталому режимі, яке проводять через певний час після завершення перехідних процесів в ІМС. Вимірюється усереднене значення параметра. Необхідно понизити вплив вимірювальних засобів на похибку вимірювань. Так, при вимірюванні напруги вхідний опір засобу вимірювання повинний у багато разів перевищувати вихідну напругу вимірюваного кола. Аналогічно формуються вимоги до вимірювача струму, джерела струму, напруги і т.п. Якщо зменшити їх вплив не вдається, то враховують вплив метрологічних характеристик вимірювальних засобів на похибку вимірювання (похибка не більше 5%). Вимірювання статичних параметрів забезпечує перевірку струму споживання, вхідних струмів і навантажувальної здатності виходів ІМС, тобто параметрів, що є критеріями працездатності ІМС та її сполучення з іншими схемами [10].

Динамічний параметр – це час перехідного процесу сигналу, обмеженого певними рівнями, тому підсумкова похибка вимірювання динамічних параметрів складається з похибки завдання рівня та похибки вимірювання часу і, відповідно до НТД. не повинна перевищувати 10%.

При цьому виді вимірювань обробці підлягає час. Звичайно це час, протягом якого вихідний сигнал досягає певного заданого рівня щодо проходження вхідним або вихідним сигналом іншого певного рівня [10].

Схема вимірювання статичних параметрів мікросхеми 7421 (рис. 2.10) (два логічних чотирьохвходових елемента АБО) представлена на рисунку 2.11.

Схема дозволяє виміряти статичні параметри мікросхеми 7421:

- струм «0» входа $I^0_{вх}$ амперметром PA1;
- струм «1» входа $I^1_{вх}$ амперметром PA1;
- напругу «0» входа $U^0_{вх}$ вольтметром PV1;
- напругу «1» входа $U^1_{вх}$ вольтметром PV1.

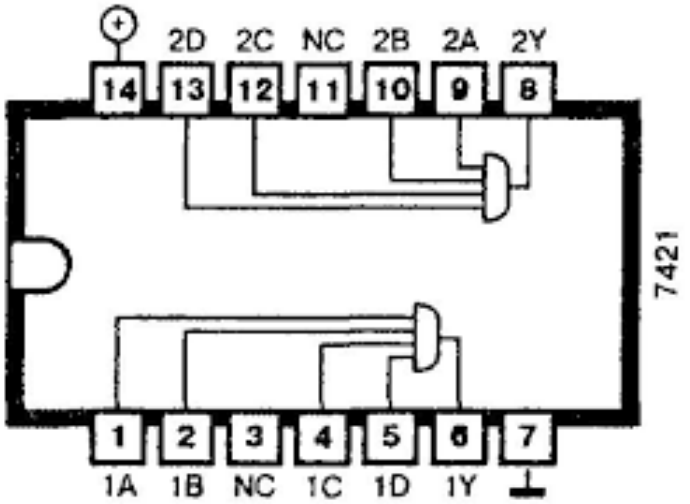


Рисунок 2.10 - Мікросхема 7421

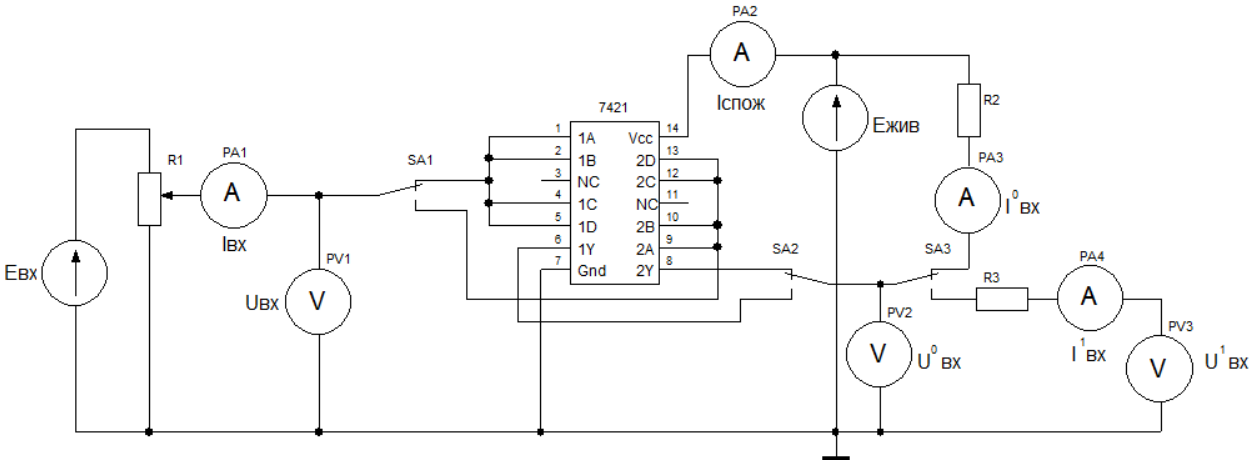


Рисунок 2.11 - Схема вимірювання статичних параметрів мікросхеми 7421

- струм споживання $I_{спож}$ міліамперметром PA2
- струм «0» виходу $I^0_{вих}$ амперметром PA3;
- струм «1» виходу $I^1_{вих}$ амперметром PA4;
- напругу «0» виходу $U^0_{вих}$ вольтметром PV2;
- напругу «1» виходу $U^1_{вих}$ вольтметром PV3;

Проведемо перевірку функціонування мікросхеми при контролі статичних параметрів в програмному забезпеченні Electronics Workbench (рис. 2.12)

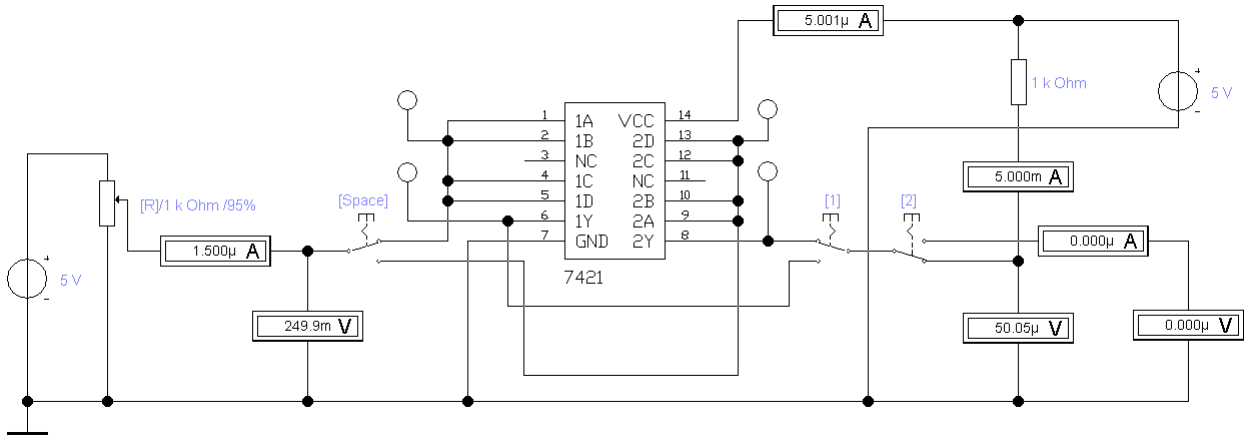


Рисунок 2.12 - Перевірка функціонування мікросхеми 7421 (контроль параметра $U^0_{вих}$)

Аналіз схеми показує правильність виміру статичних параметрів мікросхеми 7421, згідно з справочними даними (технічними умовами).

Проведемо перевірку функціонування мікросхеми при контролі динамічних параметрів в програмному забезпеченні Electronics Workbench (рис. 2.13)

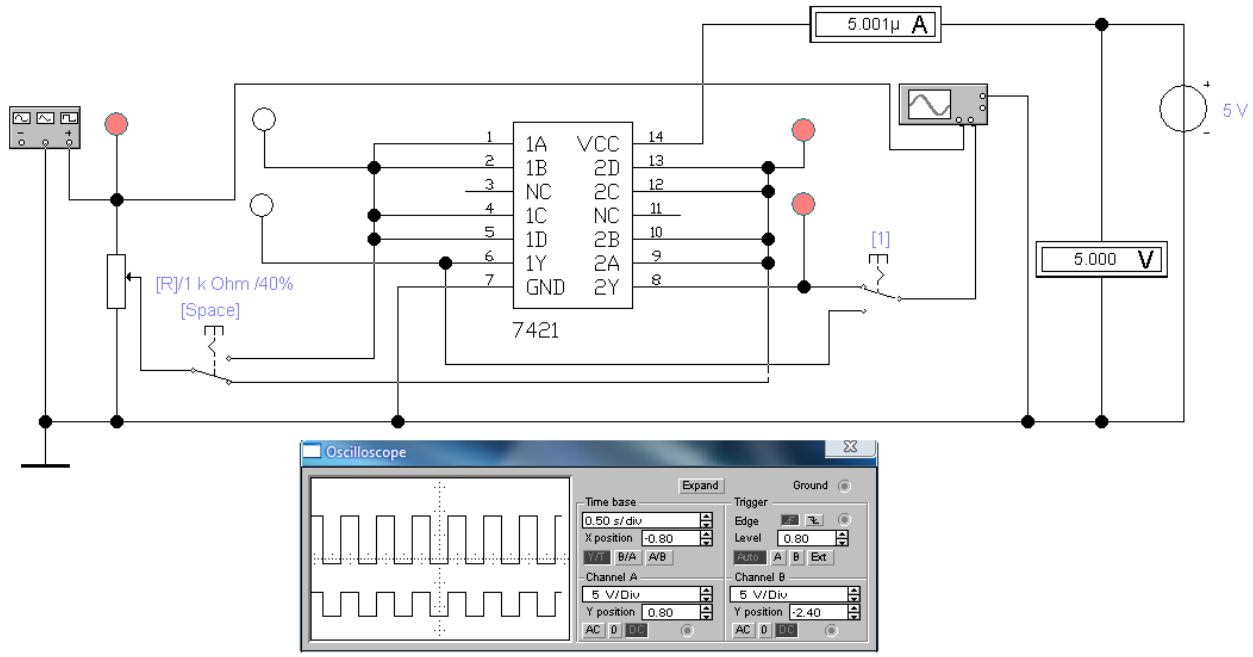


Рисунок 2.13 – Контроль динамічних параметрів мікросхеми 7421

Аналіз схеми показує правильність функціонування мікросхеми 7421, згідно з талицею істиності (табл.2.1) [11], та рівняння: F = A+B+C+D

Таблиця 2.1 - Алгоритм функціонування мікросхеми 7421

A	B	C	D	F
0	0	0	0	0
0	0	0	1	1
0	0	1	0	1
0	0	1	1	1
0	1	0	0	1
0	1	0	1	1
0	1	1	0	1
0	1	1	1	1
1	0	0	0	1
1	0	0	1	1
1	0	1	0	1
1	0	1	1	1
1	1	0	0	1
1	1	0	1	1
1	1	1	0	1
1	1	1	1	1

3 Техніко-економічне обґрунтування розробки портативного універсального стенду для вібродіагностики

3.1 Обґрунтування вибору технології виготовлення портативного універсального стенду для вібродіагностики

Топологічний аналіз показує, що пристрій може бути реалізований у вигляді малогабаритного мікромодуля і виконаний за сучасною маловитратною технологією тонко плівкових гібридних мікрозборок, або за технологією печатних плат на фольгованому текстоліті. Обидві технології передбачають, що всі елементи будуть навісними, а напиленням на підкладці, або травленням поверхні виконується лише струмопровідний шар.

Для вибору технології виготовлення електронної схеми управління випробуваннями портативного універсального стенду для вібродіагностики проаналізуємо ієрархії чотирьох варіантів (табл. 3.1), враховуючи шкалу відносної важливості (табл. 3.2) [12]

Таблиця 3.1 - Можливі варіанти технологій виробництва тестеру

Технологія		Короткий опис
A	Технологія печатних плат на фольгованому текстоліті	Активні та пасивні елементи схеми навісні, а струмопровідний шар виконано травленням фольгованого текстоліту.
B	Толстоплівкових гібридних інтегральних схем	Всі елементи та між елементні з’єднання виконані у вигляді товстих композитних плівок.
C	Тонкоплівкових гібридних інтегральних схем	Всі елементи та між елементні з’єднання виконані у вигляді тонких плівок провідних та резистивних матеріалів.
D	Тонкоплівкових гібридних мікрозборок	Активні та пасивні елементи схеми навісні, а струмопровідний шар виконано у вигляді тонких плівок.

Таблиця 3.2 - Шкала відносної важливості

Інтенсивність відносної важливості	Визначення
1	рівна важливість
3	помірна перевага
5	сильна перевага
7	значна перевага
9	дуже сильна перевага
2,4,6,8	проміжні судження

Вибір робимо за критеріями, наведеними в таблиці 3.3.

Встановлюємо відносну вагу кожного критерію на основі матриці попарних порівнянь для обраних критеріїв (табл. 3.3) [12].

У матриці прийняті наступні позначення: *i* – номер критерію; при порівнянні 6-ох критеріїв (табл. 3.3) *i* = 1, 2, 3, 4, 5, 6; X_i - локальний пріоритет, тобто відносна вага і-го критерію в глобальному критерії:

Таблиця 3.3 – Попарне порівняння критеріїв

Критерій	1	2	3	4	5	6	$\sqrt[6]{\prod_{i=1}^{6}\omega_i}$	X_i
1. Швидкодія	1	1/3	3	1/7	1/5	3	0,664	0,073
2. Завадостійкість	3	1	3	1/3	1/7	3	1,042	0,116
3. Споживання	1/3	1/3	1	1/5	1/7	3	0,460	0,051
4. Площа	7	3	5	1	1/5	7	2,297	0,254
5. Сумісність	5	7	7	5	1	5	4,277	0,473
6. Вартість	1/3	1/5	1/3	1/7	1/5	1	0,293	0,033
∑							9,033	1,00

Далі аналогічно складаємо 6 матриць попарних порівнянь альтернатив стосовно кожного критерію (табл. 3.4 - 3.9). Оскільки тепер порівнюються 4 технології по одному критерію , то і = 1, 2, 3, 4.

$$X_i = \frac{\sqrt[4]{\prod_{i=1}^{4} \omega_i}}{\sum_{i=1}^{4} \sqrt[4]{\prod_{i=1}^{4} \omega_i}},$$

де $\sum$ - сума по стовпці $\sqrt[4]{\prod_{i=1}^{4} \omega_i}$.

Таблиця 3.4 - Порівняння альтернатив стосовно критерію «швидкодія»

Технологія	A	B	C	D	$\sqrt[4]{\prod_{i=1}^{4} \omega_i}$	X_i
A	3	1/5	1	3	1,16	0,19
B	5	1	7	7	3,96	0,65
C	1/3	1/7	1	1/2	0,39	0,07
D	1/3	1/7	2	1	0,56	0,09
$\sum$					6,07	1,00

Таблиця 3.5 - Порівняння альтернатив стосовно критерію «завадостійкість»

Технологія	A	B	C	D	$\sqrt[4]{\prod_{i=1}^{4} \omega_i}$	X_i
A	1	5	1	1/3	1,14	0,21
B	1/5	1	1/5	1/7	0,48	0,09
C	1	5	1	1/3	1,56	0,29
D	3	7	3	1	2,20	0,41
$\sum$					5,37	1,00

Таблиця 3.6 - Порівняння альтернатив стосовно критерію «споживання»

Технологія	A	B	C	D	$\sqrt[4]{\prod_{i=1}^{4} \omega_i}$	X_i
A	1	5	1/5	1/7	0,61	0,09
B	1/5	1	1/7	1/9	0,24	0,04
C	5	7	1	1/3	1,85	0,29
D	7	9	3	1	3,71	0,58
$\sum$					6,41	1,00

Таблиця 3.7 - Порівняння альтернатив стосовно критерію «площа»

Технологія	A	B	C	D	$\sqrt[4]{\prod_{i=1}^{4}\omega_i}$	X_i
A	1	5	3	5	0,99	0,21
B	1/5	1	1/3	1/2	0,24	0,05
C	1/3	3	1	3	2,03	0,43
D	1/5	2	1/3	1	1,47	0,31
∑					4,73	1,00

Таблиця 3.8 - Порівняння альтернатив стосовно критерію «сумісність»

Технологія	A	B	C	D	$\sqrt[4]{\prod_{i=1}^{4}\omega_i}$	X_i
A	1	5	1/3	1/5	0,76	0,13
B	1/5	1	1/7	1/9	0,24	0,04
C	5	7	1	1/2	2,41	0,41
D	3	9	2	1	2,47	0,42
∑					5,88	1,00

Таблиця 3.9 - Порівняння альтернатив стосовно критерію «вартість»

Технологія	A	B	C	D	$\sqrt[4]{\prod_{i=1}^{4}\omega_i}$	X_i
A	1	3	5	6	3,08	0,56
B	1/3	1	3	4	1,41	0,26
C	1/5	1/3	1	2	0,60	0,11
D	1/6	1/4	1/2	1	0,38	0,07
∑					5,47	1,00

Глобальний пріоритет для кожної альтернативи обчислюється як сума добутків кожного локального пріоритету на його ваговий коефіцієнт (табл. 3.10) [12].

З порівняння глобальних пріоритетів різних технологій видно, що найбільшим є пріоритет у варіанта реалізації схеми управління випробуваннями з використанням технології печатних плат на фольгованому текстоліті.

Таблиця 3.10 - Глобальний пріоритет для кожної альтернативи

Пріоритети	№1	№2	№3	№4	№5	№6	Глобальний
Вага	0,073	0,116	0,051	0,254	0,473	0,033	
Печатних плат на фольгованому текстоліті	0,07	0,29	0,29	0,43	0,41	0,11	0,360
Толстоплівкових гібридних інтегральних схем	0,65	0,09	0,04	0,05	0,04	0,26	0,100
Тонкоплівкових гібридних інтегральних схем	0,19	0,21	0,09	0,21	0,13	0,56	0,176
Тонкоплівкових гібридних мікрозборок	0,09	0,41	0,58	0,31	0,42	0,07	0,364

За допомогою методу аналізу ієрархій проведене порівняння чотирьох типів технологій реалізації схеми управління випробуваннями за наступними критеріями: 1) швидкодія; 2) завадостійкість; 3) споживана потужність; 4) площа, займана на кристалі; 5) сумісність; 6) вартість. Найбільший локальний пріоритет у критерію «сумісність» (табл. 3.3). За даними таблиці 3.9 локальний пріоритет за критерієм «вартість» є найвищим для технології печатних плат на фольгованому текстоліті. Проте найбільший глобальний пріоритет мають технологія тонкоплівкових гібридних мікрозборок та печатних плат на фольгованому текстоліті. Саме технологія печатних плат на фольгованому текстоліті й буде використовуватися для виготовлення схеми управління випробуваннями.

3.2 Розрахунок витрат на виробництво схеми управління випробуваннями

Витрати на матеріали і напівфабрикати вказані в таблицях 3.11, 3.12. Витрати на матеріали і напівфабрикати склали 744,7 грн.

Таблиця 3.11 – Розрахунок вартості матеріалів на виробництво схеми управління випробуваннями

Матеріали	Одиниця виміру	Кіль-кість	Ціна за одиницю, грн.	Усього ви-трат грн.
Мікросхема 7421	шт.	30	5,90	177
Конденсатор К70-7	шт.	30	2,40	72
Резистор МЛТ 0,125	шт.	100	0,16	160
Вольтметр	шт.	4	50,20	200,8
Амперметр	шт.	2	55,00	110
Всього				719,8

Таблиця 3.12 – Розрахунок вартості напівфабрикатів

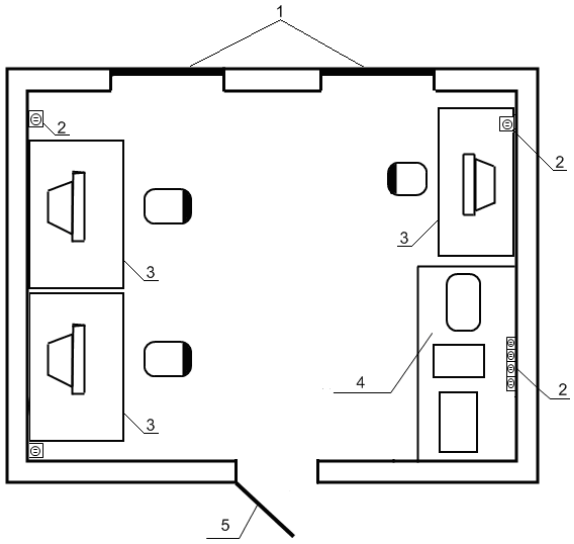
Матеріали	Одиниця виміру	Кількість	Ціна за одиницю, грн.	Усього ви-трат грн.
Фольгований текстоліт 40 × 60	шт.	1	8,00	8,00
Травильник	уп.	1	4,90	4,90
Трафарет	шт.	2	6	12,00
Всього				24,90

4 Охорона праці та техногенна безпека

4.1 Характеристика потенційних небезпечних та шкідливих виробничих факторів

Приміщення, в якому знаходиться робоче місце інженера елекроніка, має такі характеристики: довжина приміщення 6.5 м; ширина приміщення 3.7 м; висота приміщення 3.5 м; число вікон 2; число робочих місць 3; освітлення природне (через бічні вікна) і загальне штучне. Загальна площа дорівнює 24.1 кв.м. Тобто на кожне робоче місце припадає по 8 кв.м., що відповідає нормам (не менше 6 кв.м.).

На рисунку 4.1 наведено план розташування робочих місць інженерів електроніків.



1 – вікна;

2 – розетка;

3 – робоче місце;

4 – місце для стендів;

5 – двері

Рисунок 4.1 – План розташування робочих місць інженерів-електроніків

На робочому місці інженер електронік піддається впливу наступних несприятливих факторів [13]:

- недостатнє освітлення;

- шум від працюючих машин (комп'ютерів, робочих стендів) На даному робочому місці шум непостійний. Джерелом шуму є робочі стенди. Шум діє на робітника протягом 5 годин;

- електромагнітне випромінювання. На робочому місці допустимі рівні електромагнітних випромінювань за електричної та магнітної складових в діапазоні 5…2000 Гц;

- виділення надлишків теплоти. Тепловий поріг починається з J = 10 мВт/см^2;

- підвищена запиленість.

Розвитку стомлюваності на робочому місці сприяють такі чинники [13]:

- неправильна ергономічна організація робочого місця, нераціональні зони розміщення обладнання по висоті від підлоги, по фронту від осі симетрії. Робоча поза сидячи викликає мінімальне стомлення, тому велике значення надається характеристикам робочого крісла. Велике значення також надається правильній робочій позі користувача. Істотне значення для продуктивної і якісної роботи на комп'ютері мають розміри знаків, контраст і співвідношення яскравості символів і фону екрану. Під час користування комп'ютером медики радять встановлювати монітор на відстані 50…60 см від очей.

- характер протікання праці. Трудовий процес організований таким чином, що інженер електронщик змушений з перших хвилин робочого дня вирішувати найбільш складні і трудомісткі задачі, у той час як у перші хвилини роботи функціональна рухливість нервових клітин мозку низька. Тому дотримання правильного режиму праці і відпочинку при роботі грає дуже важливу роль.

Важливе значення має чергування праці та відпочинку, зміна одних форм роботи іншими.

Джерела небезпечних та шкідливих чинників на інженера електронщика [13]:

- рівень шуму в приміщенні протягом робочого дня непостійний (табл. 4.1). При цьому протягом однієї години діє шум з рівнем звуку 83 дБА, протягом наступних двох годинників ¾ з рівнем звуку 86 дБА, останню годину ¾ 81 дБА при тому що норматив повинен бути не більше 70 дБА. Основними джерелами шуму є: комп'ютери, робочі стенди. Отже, робоче місце по показнику рівня шуму відноситься до класу умов праці 3.2 – шкідливий.

- основним джерелом електромагнітного випромінювання приміщення є персональні комп'ютери з системними блоками Intel Pentium і моніторами SVGA Samsung, SyncMaster 450b.

Таблиця 4.1 Оцінка чинників виробничого і трудового процесу робочого місця інженера електроніка

№	Чинники виробничого середовища і трудового процесу	Нормативне значення	Фактичне значення	III клас: шкідливі і небезпечні умови			Тривалість дії чинників за зміну %
				I ступінь	II ступінь	III ступінь	
1	Пил, переважно фіброгенної дії. мг/м^3	4	3.9				50
2	Шум, дБА	70	83		13		75
3	Мікроклімат в приміщенні:						
	- температура повітря С°	22-24	18-24				100
	- швидкість руху повітря, м/с	0,1-0,2	0,15-0,2				100
	- відносна вологість повітря %	40-60	45-60				100

4.2 Заходи зі зменшення впливу небезпечних та шкідливих виробничих факторів

До засобів захисту відносяться: вентиляція, штучне освітлення, звукоізоляція. Існують нормативи, що визначають комфортні умови і гранично допустимі норми запиленості, температури повітря, шуму, освітленості. У системі заходів, що забезпечують сприятливі умови праці, велике місце відводиться естетичним чинникам: оформлення виробничого інтер'єру, обладнання, застосування музики та інші, які мають певний вплив на організм людини. Важливу роль відіграє забарвлення приміщень, яка повинна бути світлою. З метою запобігання або зменшення впливу на працюючих шкідливих і небезпечних виробничих чинників застосовують засоби колективного та індивідуального захисту.

Засоби колективного захисту призначені для [13]:

1) нормалізації повітряного середовища виробничих приміщень і робочих місць (вентиляція, кондиціонування, опалення, автоматичний контроль і сигналізація);

2) нормалізації освітлення виробничих приміщень і робочих місць (джерела світла, освітлювальні прилади, світлозахисне обладнання, світлофільтри). При недоліку природного освітлення необхідно буде користуватися штучним. Як джерела світла при штучному освітленні рекомендується застосовувати переважно люмінесцентні лампи типу ЛБ;

захисту від іонізуючих, інфрачервоних, ультрафіолетових, електромагнітних, лазерних, магнітних та електричних полів (огородження, герметизація, знаки безпеки, автоматичний контроль і сигналізація, дистанційне керування тощо);

3) захисту від шуму, вібрації (огородження, звукоізоляція, віброізоляція). Для зменшення рівня шуму, який перевищує норму в лабораторному приміщенні можна застосовувати оздоблювальні матеріали з шумопоглинаючим ефектом;

4) захисту від ураження електричним струмом (різні види огородження, захисне заземлення, автоматичне відключення, дистанційне керування).

5) забезпечення недоступності струмоведучих частин досягається ізолюванням струмовідних кабелів і проводів;

6) захисту від дії механічних факторів (огородження, автоматичний контроль і сигналізація, знаки безпеки);

7) захисту від хімічних факторів (огородження, герметизація, вентиляція та очищення повітря, дистанційне керування, знаки безпеки);

8) захисту від високих і низьких температур навколишнього середовища (огородження, автоматичний контроль і сигналізація, термоізоляція, дистанційне керування).

4.3 Виробнича санітарія

Оскільки у приміщенні присутнє лабораторне устаткування, комп’ютери, шафи та робоча документація, то спостерігається деяка запиленість. За нормою запиленість в приміщенні не повинна перевищувати 4 мг/м³, а в даному приміщенні вона складає 3,9 мг/м³.

Для запобігання дещо підвищеної запиленості рекомендується встановлювати витяжні пристрої, а також проводити вологе прибирання лабораторного приміщення, а перед початком і після кожної академічної години навчальних занять, до і після кожного заняття провітрювати приміщення, що забезпечить поліпшення якісного складу повітря.

Раціональне колірне оформлення приміщення направлено на поліпшення санітарно-гігієнічних умов праці, підвищення її продуктивності та безпеки. Забарвлення приміщень впливає на нервову систему людини, його настрій і в кінцевому рахунку на продуктивність праці. Основні виробничі приміщення доцільно офарблювати відповідно до кольору технічних засобів. Освітлення приміщення і устаткування має бути м'яким, без блиску.

Зниження шуму, створюваного на робочих місцях лабораторного приміщення внутрішніми джерелами, а також шуму проникаючого зовні, є дуже важливим завданням. Зниження шуму в джерелі випромінювання можна забезпечити застосуванням пружних прокладок між підставою приладу і опорною поверхнею. Як прокладки використовуються гума, повсть, пробка, різної конструкції амортизатори. Під настільні шумливі апарати можна підкладати м'які килимки з синтетичних матеріалів, а під ніжки столів, на яких вони встановлені, - прокладки з м'якої гуми, повсті, завтовшки 6 - 8 мм. Кріплення прокладок можливе шляхом приклеювання їх до опорних частин [13].

Таким чином, для зниження шуму, створюваного на робочих місцях внутрішніми джерелами, а також шуму, що проникає з зовні необхідно:
послабити шум самих джерел (застосування екранів, звукоізолюючих кожухів);

- знизити ефект сумарної дії відбитих звукових хвиль (звукопоглинаючі поверхні конструкцій);

- застосовувати раціональне розташування обладнання;

- використовувати архітектурно-планувальні і технологічні рішення ізоляцій джерел шуму.

Температура в приміщеннях є одним з провідних чинників, що визначають метеорологічні умови виробничого середовища. Високі температури надають негативну дію на здоров'я людини. Робота в умовах високої температури супроводжується інтенсивним потовиділенням, що приводить до обезводнення організму, втрати мінеральних солей і водорозчинних вітамінів, викликає серйозні і стійкі зміни в діяльності серцево-судинної системи, збільшує частоту дихання [13].

При низькій температурі висока відносна вологість збільшує тепловтрати організму в результаті інтенсивного поглинання водяними парами енергії випромінювання людини. Це веде до переохолодження організму – гіпотермії. Низька вологість викликає пересихання слизистих оболонок дихальних шляхів.

В приміщенні нормована температура повітря повинна складати в теплий період 22-24ºС (в холодний період 21-23ºС), відносна вологість 40-60 %, швидкість руху повітря 0,1-0,2 м/с.

Фактичні параметри: температура в теплий період – 18-24 ºС, відносна вологість 45-60%, швидкість руху повітря 0,15-0,2 м/с.

У приміщеннях, обладнаних ПЕВМ, повинна проводиться щоденне, вологе прибирання і систематичне провітрювання після кожної години роботи на ПЕВМ. Рівні позитивних і негативних аероіонів в повітрі приміщень, де розташовані ПЕВМ, повинні відповідати санітарно-епідеміологічним нормативам, що діють.

Недостатнє освітлення робочого місця утрудняє тривалу роботу, викликає підвищене стомлення і сприяє розвитку короткозорості. Дуже низькі рівні освітленості викликають апатію, сонливість, а в деяких випадках сприяють розвитку відчуття тривоги. Таким чином буде доцільно зробити розрахунок фактичної освітленості приміщення [14].

4.4 Електробезпека

Електричні установки, до яких відноситься практично все обладнання ЕОМ, представляють для людини велику потенційну небезпеку, тому що в процесі експлуатації або проведенні профілактичних робіт людина може торкнутися частин, що знаходяться під напругою. Специфічна небезпека електроустановок: струмоведучі провідники, корпуси стійок ЕОМ і іншого устаткування, що опинилося під напругою в результаті пошкодження (пробою) ізоляції, не подають будь-яких сигналів, які попереджають людину про небезпеку. Реакція людини на електричний струм виникає лише при протіканні останнього через тіло людини. Виключно важливе значення для запобігання електротравматизма має правильна організація обслуговування діючих електроустановок, проведення ремонтних, монтажних і профілактичних робіт.

При цьому під правильною організацією розуміється строге виконання ряду організаційних і технічних заходів і засобів, встановлених діючими "Правилами технічної експлуатації електроустановок споживачів і правила техніки безпеки при експлуатації електроустановок споживачів" (ПТЕ і ПТБ споживачів) і "Правила установки електроустановок" (ПУЕ) Залежно від категорії приміщення необхідно вжити певних заходів, що забезпечують достатню електробезпеку при експлуатації і ремонті електроустаткування. Так, в приміщеннях з підвищеною небезпекою електроінструменти, переносні світильники повинні бути виконані з подвійною ізоляцією або напруга живлення їх не повинна перевищувати 42 В. В особливо небезпечних приміщеннях напруга живлення переносних світильників не повинна перевищувати 12 В [14]. Приміщення, в якому знаходиться робоче місце інженера електронщика, класифікується як приміщення з підвищеною небезпекою.

Щоб захистити людину від ураження електричним струмом, захисне заземлення має задовольняти ряду вимог, викладених у ПУЕ і ГОСТ 12.1.030 - 81 "ССБТ. Електробезпека. Захисне заземлення. Занулення ». Ці вимоги залежать від напруги електроустановок та потужності джерела живлення. В електроустановках змінного струму напругою до 1000 В у мережі з ізольованою нейтраллю або ізольованим виводом джерела однофазного струму опір заземлювального пристрою не повинен перевищувати 4 Ом.

Важливо відзначити, що якщо занулений корпус одночасно заземлений, то це тільки покращує умови безпеки, тому що забезпечує додаткове заземлення нульового захисного дроту.

4.5 Пожежна та техногенна безпека

Пожежі в лабораторному приміщенні становлять особливу небезпеку, тому що пов'язані з великими матеріальними втратами. Характерна особливість лабораторних кімнат - невеликі площі приміщень. Як відомо, пожежа може виникнути при взаємодії горючих речовин, окислення і джерел запалю-

вання. У даному приміщеннях присутні всі три основні чинника, необхідні для виникнення пожежі.

Горючими компонентами в кімнаті є: будівельні матеріали для акустичної і естетичної обробки приміщень, перегородки, двері, підлоги, ізоляція кабелів і ін.

Джерелами запалювання в лабораторному приміщенні можуть бути електронні схеми від ЕОМ, прилади, застосовувані для технічного обслуговування, пристрої електроживлення, кондиціонування повітря, де в результаті різних порушень утворюються перегріті елементи, електричні іскри і дуги, здатні викликати загоряння горючих матеріалів [14].

В сучасних ЕОМ дуже висока щільність розміщення елементів електронних схем. У безпосередній близькості один від одного розташовуються сполучні дроти, кабелі. При протіканні по них електричного струму виділяється значна кількість теплоти. При цьому можливо оплавлення ізоляції. Для відводу надлишкової теплоти від ЕОМ служать системи вентиляції та кондиціонування повітря. При постійній дії ці системи представляють собою додаткову пожежну небезпеку.

Для більшості приміщень лабораторних кімнат встановлена категорія пожежної небезпеки В.

Однією з найбільш важливих завдань пожежного захисту є захист будівельних приміщень від руйнувань та забезпечення їх достатньої міцності в умовах впливу високих температур при пожежі. Враховуючи високу вартість електронного обладнання, а також категорію його пожежної небезпеки, будівлі для лабораторного приміщення і частини будівлі іншого призначення, в яких передбачено розміщення ЕОМ, повинні бути 1 та 2 ступеня вогнестійкості [14].

Для гасіння пожеж на початкових стадіях широко застосовуються вогнегасники. В лабораторних приміщеннях застосовуються головним чином вуглекислотні вогнегасники ОУ-5 (ВВК3,5), перевагою яких є висока ефективність гасіння пожежі, схоронність електронного устаткування, діелектри-

чні властивості вуглекислого газу, що дозволяє використовувати ці вогнегасники навіть у тому випадку, коли не вдається знеструмити електроустановку відразу. Вогнегасник ОУ5 (ВВК3,5) переносний з місткістю балона 5 літрів (3,5 кілограма), призначений для гасіння електроустановок, що знаходяться під напругою не більш 10 кВ. В даному приміщенні знаходиться один такий вогнегасник.

З приміщень, на випадок пожежі, має бути передбачена й забезпечена евакуація людей через так звані евакуаційні виходи. Найважливішою вимогою успішної евакуації людей і цінностей є улаштування внутрішніх переходів, пожежних сходів і аварійного освітлення. Виходи вважають евакуаційними, якщо вони ведуть із приміщень:

1) першого поверху назовні безпосередньо або через коридор, вестибюль, сходову клітку;

2) будь-якого поверху, крім першого, в коридор, що веде на сходову клітку, в тому числі через хол. При цьому сходові клітки повинні мати вихід назовні безпосередньо або через вестибюль, відокремлений від прилеглих коридорів перегородками з дверима;

3) у сусіднє приміщення на цьому ж поверсі, яке забезпечене виходами, зазначеними в пунктах 1 і 2.

Фактично, лабораторне приміщення має необхідні умови для евакуації людей і цінностей. В будівлі передбачені й забезпечені евакуаційні виходи з приміщення. Коридор веде на сходову клітку, яка має вихід безпосередньо назовні.

4.6 Розрахунок штучного освітлення лабораторного приміщення

Для освітленості приміщення з розмірами А = 6,5 м, В = 3,7 м та висотою Н = 3,5 м використовуються 2 світильники ОДР з двома люмінесцентними лампами типа ЛБ - 40. Коефіцієнти віддзеркалення світлового потоку від стелі, стін і підлоги відповідно рівні $p_{стелі}$ = 70%, $P_{стін}$ = 50%, $P_{підлоги}$ = 10%.

Затінювання робочих місць немає. Висота звісу світильника $h_з = 0$, висота робочої поверхні над рівнем підлоги $h_р = 0.8$ м.

Нормативна величина освітленості для відеоплейних терміналів складає $E_н = 400$ лк [15].

При перевірці відповідності освітленості в приміщенні нормативному рівню, коли відома кількість світильників, ламп, їх тип і потужність. фактичну освітленість в приміщенні визначаємо по формулі:

$$E_ф = \frac{N \cdot F \cdot n \cdot \eta}{S \cdot z \cdot k_{зап}}, \text{ (лк)} \qquad (4.1)$$

де N = 2 – число світильників, шт.;

F = 3120 лм – світловий потік лампи;

n = 2 – число ламп в світильнику;

S - площа освітлюваного приміщення;

z = 1,1 – коефіцієнт нерівномірності освітлення для люмінесцентних ламп (відношення $E_{сер} / E_{мін}$);

$k_{зап}$ = 1,5 – коефіцієнт запас, що враховує зниження освітленості із-за забруднення і старіння лампи ;

η – коефіцієнт використання освітлювальної установки.

Для визначення η необхідно знати тип світильника, індекс приміщення і коефіцієнт віддзеркалення світлового потоку від стелі, стін і підлоги. Оскільки тип світильника і коефіцієнти віддзеркалення світлового потоку відомі, то для знаходження η необхідно визначити значення індексу приміщення i [15].

$$i = \frac{A \cdot B}{h_п \cdot (A + B)} \qquad (4.2)$$

де A і B - відповідно довжина і ширина приміщення в м;

$\eta_п$ - висота від робочої поверхні до світильника, визначається висотою приміщення (H, м) і висотою умовної робочої поверхні ($h_р = 0.8$ м) по формулі:

$$h_п = H - h_з - h_р = 3.5 - 0 - 0.8 = 2.7 \text{ (м)} \qquad (4.3)$$

Підставляємо набуте значення у формулу (3.2) і знаходимо індекс приміщення:

$$i = \frac{6.5 \cdot 3.7}{2.7 \cdot (65 + 3.7)} = \frac{24.05}{27.54} = 0.87$$

Підставляємо всі знайдені величини в формулу (3.1):

$$E_ф = \frac{2 \cdot 3120 \cdot 2 \cdot 0.89}{6.5 \cdot 3.7 \cdot 1.1 \cdot 1.5} = \frac{11107.2}{39.6825} = 279.9 \text{, (лк)}$$

Оскільки отримана величина $E_ф < E_н$ для досягнення нормативної освітленості необхідно або збільшити кількість світильників, або збільшити потужність ламп. Порахуємо міру збільшення W:

$$W = \frac{E_н}{E_ф} = \frac{400}{279.9} = 1.42 \text{ разів}$$

Тепер можна обчислити необхідну кількість світильників:

$$N_1 = N \cdot W = 2 \cdot 1.43 = 2.84 \text{ шт.}$$

Збільшимо кількість світильників до 3 штук. Тоді

$$E_ф = \frac{5 \cdot 3120 \cdot 2 \cdot 0.89}{6.5 \cdot 3.7 \cdot 1.1 \cdot 1.5} = \frac{27768}{39.6825} = 699.7 \text{, (лк)}$$

Таким чином, при збільшенні кількості світильників на три штуки фактична освітленість $E_ф$ практично відповідає нормативному значенню освітленості $E_н = 400$ лк.

Такий же ефект може бути отриманий при заміні лампи з великим світловим потоком. Порахуємо необхідний світловий потік лампи:

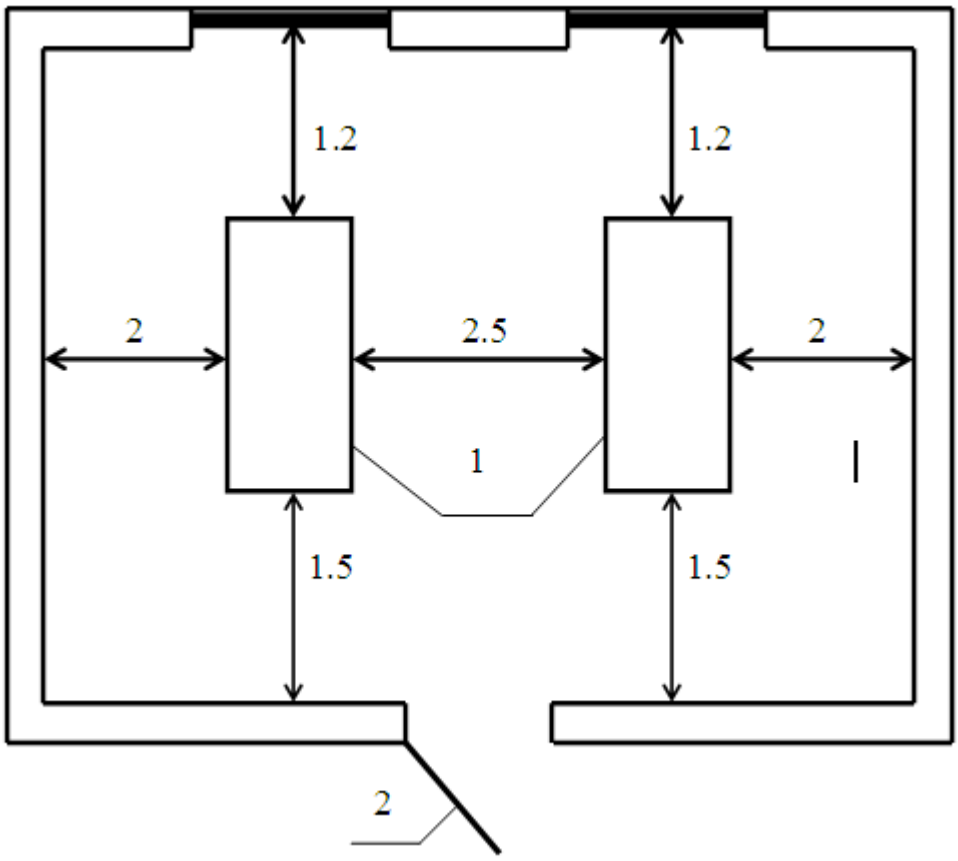
$$F_1 = F \cdot W = 3120 \cdot 1.42 = 4430.4 \text{, (лм)}$$

Так, якщо всі лампи типа ЛБ-40 в приміщенні замінити на лампи типа ЛТБ-65 з F=3980 лм $E_ф$ буде рівне:

$$E_ф = \frac{2 \cdot 3980 \cdot 2 \cdot 0.89}{6.5 \cdot 3.7 \cdot 1.1 \cdot 1.5} = \frac{14168.8}{39.6825} = 357 \text{, (лк)}$$

Таким чином, в цьому випадку фактична освітленість також практично відповідатиме нормативному значенню.

На рисунку 4.2 представлена схема розташування двох світильників, в кожному з яких знаходиться по дві лампи типу ЛТБ-65.



1 – світильник;

2 – двері

Рисунок 4.2 – План розташування світильників в лабораторному приміщенні

Висновки та рекомендації

1. На відміну від існуючих аналогів стенд має більш точну кінематіку, сучасна електроніка та малі габаритні параметри стенда, що дозволять використовувати його в лабораторних умовах та при вхідному контролі обмеженої партії мікросхем.

2. Інформаційно-вимірювальний модуль управління параметрами стенда дозволяє проводити вібромеханічні випробування радіоелектронної апаратури масою до 10 кг.

3 Схемотехніка виміру та контролю параметрів мікросхем при механічних віпробуваннях відповідає вимогам ДСТУ на випробування інтегральних мікросхем.

Рекомендується подальше удосконалення стенду для використання в лабораторному практикумі з дисципліни «Діагностика, контроль та випробування мікроелектронних пристроїв» та науково-дослідницьких роботах кафедри «Електроніки, мікроелектронних систем та програмного забезпечення».

Перелік посилань

1. Івченко В.Г. Конструювання та технологія ЕОМ. Конспект лекцій. Таганрог: ТГРУ, Кафедра конструювання електронних засобів, 2001. http://www2.fep.tsure.ru/russian/kes/books/kitevm/lekpart1.doc

2. Конструкторсько-технологічне проектування електронної апаратури: Підручник для вузів. М. : Изд. МГТУ ім. Н.Е. Баумана, 2002. 528 с.

3. Бабаков М. Ф., Ельцов П. Е., Луханин М. И. Методы технического диагностирования электронных средств. Учеб. Пособие по лабораторному практикуму. Харьков : Нац.аэрокосм. ун-т" Харьк.авиац.ин-т", 2003. 69 с.

4. Бородин С.М. Основы технической диагностики электронных средств: учебное пособие. Ульяновск : УлГТУ, 2019. 48 с.

5. Докучаєв М.И., Козирєв И.Я., Онопко Д.И. Випробування і вимірювання інтегральних мікросхем. М. : Вид. МИЭТ, 1978. 260 с

6. Мироненко П.С., Павловський О.М., “Стенд для перевірки працездатності низькочастотних інерційних модулів”, Вісник КПІ. Серія Приладобудування, вип. 56 (2), 2018. С. 5 – 9.

7. Гершунський Б.С. Основи електроніки та мікроелектроніки. К. : Вища. шк., 1987. 422с.

8. Телиця Я.О. Розробка лазерної системи охоронної сигналізації. Збірник наукових праць студентів, аспірантів, докторантів і молодих вчених «МОЛОДА НАУКА-2021». Запоріжжя : ЗНУ, 2021. С. 45-46.

9. Верьовкін Л. Л., Світанько М. В., Кісельов Є. М., Хрипко С. Л. Цифрова схемотехніка: підручник. Запоріжжя : ЗДІА, 2016. 214 с. ISBN 978-617-685-023-6

10. Небеснюк О.Ю., Швець Є.Я., Ніконова З.А., Ніконова А.О. Діагностика, контроль та випробування напівпровідникових приладів: Навч. посібник. Запоріжжя : Видавництво ЗДІА, 2007. 173с. Режим доступу: https://moodle.znu.edu.ua/course/view.php?id=9756

11. Рябенький В. М., Жуйков В. Я., Гулий В. Д.. Цифрова схемотехніка: навчальний посібник. Львів :"Новий Світ-2000", 2019. 736 с. ISBN 978-966-418-067-9.

12. Белуха М.Т. Основи наукових досліджень [Текст] / Белуха М.Т. - К: Вища шк., 1997. - 271с.

13. Ткачук К.Н., Степаненко А.И. Охрана труда и окружающей среды в радиоэлектронной промышленности. – К.: Вища шк., 1988. - 240 с.

14. Горобец А.И. Охрана труда в радиоэлектронной промышленности. – К.: Техника, 1987. – 345 с.

15. Кожемякін Г.Б., Рижков В.Г., Бєлоконь К.В. Охорона праці та техногенна безпека: методичні вказівки до виконання розділу магістерських робіт для студентів ЗДІА всіх спеціальностей денної та заочної форм навчання. – Запоріжжя: ЗДІА, 2012. – 48 с.

Додаток А

«ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ»
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Науково-дослідна частина
Наукове товариство
студентів, аспірантів і докторантів
Рада молодих вчених

ЗБІРНИК
наукових праць студентів,
аспірантів, докторантів і молодих вчених

«МОЛОДА НАУКА-2021»

Том V

«Секції Інженерного навчально-наукового інституту
Запорізького національного університету»

Запоріжжя
2021

Телиця Ярослав
студент 4 курсу ІННІ ЗНУ
Наук. кер.: канд. фіз.-мат. наук, доц. Коломоець Г.Г.

РОЗРОБКА ЛАЗЕРНОЇ СИСТЕМИ ОХОРОННОЇ СИГНАЛІЗАЦІЇ

Лазерні системи поділяються на три основні групи: твердотільні лазери, газові, серед яких особливе місце займає CO2 -лазер; і напівпровідникові лазери. Якийсь час назад з'явилися такі системи, лазери, що перебудовуються, на барвниках, твердотільні лазери на активованих стеклах.

З всіх існуючих лазерів тривалої дії найбільш могутніми, просунутими в практичному відношенні і пристосованими для різання матеріалів, зварювання металів, термічного зміцнення поверхонь деталей і ряду інших операцій є електророзрядні CO2 -лазери . Великий інтерес до CO2 -лазерам розуміється також і тим, що в цього лазера ефективність перетворення електричної енергії в енергію лазерного випромінювання в сполученні з максимально досяжною потужністю енергії чи імпульсу значно перевершує аналогічні параметри інших типів лазерів.

У показаної на схемі охоронної сигналізації для виявлення порушників (рис. 1) використовується промінь лазера або інше джерело світла. Для виготовлення пристрою необхідно мати лише інтегральний таймер типу 555, операційний підсилювач, фотоелемент, а також кілька пасивних і активних компонентів [1].

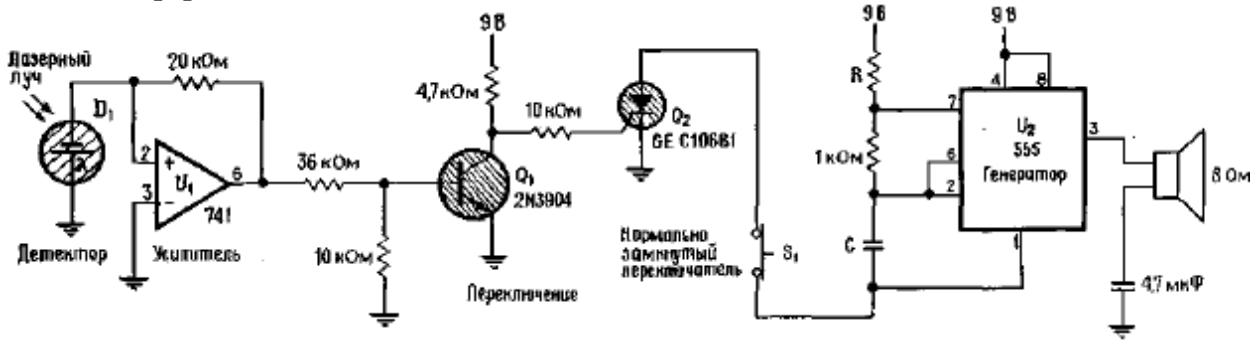


Рисунок 1 – Схема охоронної сигналізації

Схема містить чотири каскади: виявлення, посилення, перемикання, генерації і звукового виходу. Коли промінь гелій-неонового лазера або іншого більш тривіального джерела світла потрапляє на фотоелемент D1, діод відкривається і до підсилювача U1 надходить невеликий за розміром імпульс напруги постійного струму. У свою чергу вихідним напругою цього підсилювача відкривається транзистор Q1. При цьому кремнієвий керований випрямляч Q2 закривається і сигнал тривоги відсутній.

У разі переривання світлового променя транзистор Q1 закривається, і висока напруга на його колекторі відкриває КУВ Q2. Останній в свою чергу включаєавтоколебательний енератор U2, частота якого визначається виразом f = 1 / 1,1RC. Генератор продовжує працювати до тих пір, поки не закриється КУВ.

Короткочасне натискання нормально замкнутого перемикача S1 розриває кайдани й посадили вимикає сигнал тривоги.

Література

1. Баришніков Г.В., Волинюк Д.Ю., Гельжинський І.І., Готра З.Ю., інаєв Б.П., Стахіра П.Й., Черпак В.В. Органічна електроніка. Навчальний посібник. Львів: Вид.-во Нац. 2014. 291 с.