

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

Радіотехнічний факультет

Кафедра радіоконструювання та виробництва радіоапаратури

До захисту допущено:

В.о. зав. кафедрою

_____ Євгеній НЕЛІН

«__» _____ 20__ р.

Дипломний проєкт

на здобуття ступеня бакалавра

**за освітньо-професійною програмою «Інтелектуальні технології
мікросистемної радіoeлектронної техніки»**

за спеціальністю 172 «Телекомунікації та радіотехніка»

на тему: Пульт перевірки функціонування автопілота

Виконав:

студент IV курсу, групи РІ-зп81

Сергієнко Юрій Леонідович

Прізвище, ім'я, по батькові




Керівник:

доцент, к.т.н. Адаменко Юлія Федорівна

Посада, науковий ступінь, вчене звання,

Прізвище, ім'я, по батькові



Рецензент:

провідний інженер відділу РТО, ДАХК «АРТЕМ»

Романенко Олександр Григорович

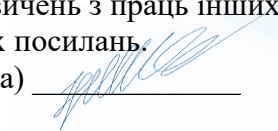
Посада, науковий ступінь, вчене звання,

Прізвище, ім'я, по батькові



Засвідчую, що у цьому дипломному проєкті
немає запозичень з праць інших авторів без
відповідних посилань.

Студент (-ка) _____



Київ – 2021 року

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

Кафедра радіоприймання та оброблення сигналів

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – 172 «Телекомунікації та радіотехніка»

Освітньо-професійна програма «Інтелектуальні технології мікросистемної радіoeлектронної техніки»

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. зав. кафедрою

_____ Євгеній НЕЛІН

«___» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проєкт студенту

Сергієнку Юрію Леонідовичу

1. Тема проєкту «Пульт перевірки функціонування автопілота», керівник проєкту Адаменко Юлія Федорівна, доцент, к.т.н., затверджені наказом по університету від «___» _____ 20__ р. № _____
2. Термін подання студентом проєкту 09 червня 2021 року
3. Вихідні дані до проєкту: напруга живлення +27В і –18В, перевірка функціонування автопілота, робочий діапазон відносної вологості 0% – 95%, діапазон робочих температур 0°C – +40 °C.
4. Зміст пояснювальної записки: вступ, аналіз ринку, синтез схеми пристрою, розробка електронного модулю та конструкції приладу, розрахунки що підтверджують працездатність.

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо) Схема електрична структурна, схема електрична принципова, кресленик друкованої плати, складальний кресленик електронного модуля та приладу.

6. Дата видачі завдання 12 квітня 2021 року

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проєкту	Термін виконання етапів проєкту	Примітка
1	Аналіз ринку	12.04 – 30.04 2021	
2	Синтез структурної схеми	12.04 – 30.04 2021	
3	Синтез принципової схеми	03.05 – 14.05.2021	
4	Вибір елементної бази	03.05 – 14.05.2021	
5	Проробка плати та електронного модуля	17.05 – 28.05.2021	
6	Проробка конструкції приладу	24.05 - 28.05.2021	
7	Виконання розрахунків на працездатність	31.05 – 04.06.2021	
8	Оформлення конструкторської документації	07.06 – 11.06.2021	
9	Оформлення дипломного проєкту	07.06 – 11.06.2021	

Студент

Юрій СЕРГІЄНКО

Керівник

Юлія АДАМЕНКО

АНОТАЦІЯ

Дипломний проект на тему пульт перевірки функціонування автопілота.

Метою дипломного проекту є розробка негабаритного приладу для швидкого та ефективного налагодження вузла автопілота. Для досягнення поставленої мети було проведено аналіз існуючих та аналіз схожих за функціоналом приладів.

Виконано аналіз та синтез структурної та електричної принципової схеми, проведено вибір елементної бази. Розроблено друковану плату, яка буде проводити тестування і аналіз параметрів вузла автопілота, а також проведено розрахунки, які підтверджують його працездатність.

ANNOTATION

Diploma project topic is the autopilot operation check.

The aim of the diploma project is to develop an oversized device for fast and efficient adjustment of the autopilot unit.

To achieve this goal, an analysis of existing and analysis of similar functional devices was performed.

The analysis and synthesis of the structural and electrical schematic diagram are performed; the element base is selected. A printed circuit board has been developed, which will test and analyze the parameters of the autopilot unit, as well as calculations confirming its operability.

Сергієко Ю.Л. РІ-3781, 2021

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПІСКА

до дипломного проекту

на тему: «Пульт перевірки функціонування автопілота»

Київ – 2021 року

ЗМІСТ

Вступ.....	9
1 Аналіз ринку	10
1.1 Обґрунтування необхідності створення пульта перевірки авіаційної плати	10
1.2 Аналіз ринку аналогів.....	11
1.2.1 Контрольно-перевірочна апаратура КАСО-I	11
1.2.2 Контрольно-перевірочна апаратура КПА-ИС2-БПД	13
1.2.3 Контрольно-перевірочна апаратура КПА-ПВД	14
1.2.4 Контрольно-перевірочна апаратура КАСО-II	15
1.2.5 Контрольно-перевірочна апаратура КПА-ИС2-БИД1	16
1.2.6 Контрольно-перевірочна апаратура КПА-ИС2-БПД	16
2 Синтез схеми пристрою.....	18
2.1 Розробка схеми електричної структурної.....	18
2.2 Розробка схеми електричної принципової	19
2.2.1 Підключення мікросхеми HI-8586PSI (ARINC-429)	19
2.2.2 Підключення мікроконтролера ATmega16A-PU	20
2.2.3 Підключення мікросхеми REF02HFZ	21
2.2.4 Підключення блоку керування	21
2.2.5 Підключення OLED-дисплею	22
2.2.6 Блок живлення.....	23
2.2.7 Блок узгодження.....	24
2.3 Уточнення схеми електричної структурної.....	24
2.4 Вибір елементної бази	25
2.4.1 Вибір пасивних компонентів	25

2.4.2 Вибір активних компонентів	31
3 Розробка електронного модулю та конструкції приладу.....	37
3.1 Аналіз з точки зору конструктора та технолога	37
3.1.1 Аналіз з точки зору конструктора	37
3.1.2 Аналіз з точки зору технолога	37
3.2 Проектування в середовищі Altium Designer	38
3.2.1 Розрахунок габаритів друкованої плати	39
3.2.2 Розрахунок параметрів друкованих провідників.....	39
3.2.3 Трасування провідників.....	40
3.3 Конструкція приладу	42
4 Розрахунки, що підтверджують працездатність приладу.....	45
4.1 Розрахунок відбоміцності	45
4.2 Розрахунок надійності	46
Висновки	49
Перелік джерел посилань	50
Додаток А. Технічне завдання	51
Додаток Б. Специфікація на друкований вузол	52
Додаток В. Перелік елементів.....	53
Додаток Г. Розрахунки	54

ВСТУП

Виробництво високотехнологічних та надійних електронних приладів, потребує контролю за параметрами цих приладів на всіх етапах виробництва. Під параметрами мається на увазі як електричні так і механічні. Далі піде мова про електричні параметри.

Для контролю за параметрами електронних приладів, які виготовляються на виробництві використовують як ручну перевірку, так і контрольно-перевірочну апаратуру (КПА).

Використання тільки ручної перевірки параметрів виробу є затратним в плані часу необхідного перевіряючій особі для того, щоб власноруч виміряти необхідні параметри (напругу, струм, опір тощо). А потім проаналізувати отримані дані і зробити висновок про відповідність виміряних значень параметрів до потрібних. Також не потрібно забувати про людській фактор, що також може негативно вплинути на якість перевірки.

Використання КПА в процесі контролю параметрів приладу та його налагодження мінімізує або навіть усуває негативний вплив людського фактору на результати перевірки, що в свою чергу позитивно впливає на ефективність виробництва. Особливо незамінним використання КПА є підчас виготовлення і налагодження серійної або інтелектуально місткої електронної продукції.

Метою даного проекту є розробка пульта перевірки коректності роботи авіаційної плати — плати автопілота. Яка в свою чергу передає інформацію по інтерфейсу ARINC-429.

Даний пристрій розроблюється для внутрішнього користування Державної акціонерної холдингової компанії «АРТЕМ», що виробляє сучасні високоточні системи озброєння та захисту.

1 АНАЛІЗ РИНКУ

1.1 Обґрунтування необхідності створення пульта перевірки авіаційної плати

Згідно технічного завдання потрібно розробити «Пульт перевірки авіаційної плати». Даний прилад призначений для перевірки коректності роботи авіаційної плати з метою прискорення та оптимізації процесу її налагодження.

Пристрій повинен мати постійні напруги живлення 18 В і 27 В та живитись від лабораторних джерел живлення. Пульт повинен забезпечити:

- дотову комутацію пульта безпосередньо з платою, що перевіряється;
- синхронізацію пульта та плати по інтерфейсу ARINC-429;
- три режими тестування плати автоматичний, напівавтоматичний та ручний;
- інформативний вивід результатів тестування.

У технічному завданні задане кліматичне виконання УХЛ 4, котре відповідає експлуатації в приміщеннях з штучно регульованими кліматичними умовами. Захист від механічних пошкоджень М13, котрий відповідає капітальним, лабораторним, житловим та приміщенням подібного типу.

Також ступінь захисту оболонки IP44. У даному коді IP перша цифра відповідає за ступінь захисту оболонки від сторонніх предметів, друга — за ступінь захисту від води.

Отже в даному випадку IP44 означає захист від сторонніх предметів, що мають діаметр ≥ 1 мм та захист від бризок води, що падають у довільному напрямі.

Необхідно забезпечити період безвідмовної роботи не менше, ніж 20000 годин. Данна вимога буде впливати на вибір елементної бази пристрою.

Конструкція пульта має бути малогабаритною, ергономічною і зрозумілою для користування та призначена для розташування на столі. Корпус виконати зі сплаву алюмінію.

Граничні значення умов експлуатації:

- температура навколишнього середовища від 0 °С до 40 °С;
- відносна вологість від 0 % до 95 %.

Дані умови також впливають на вибір елементної бази пристрою. Необхідно забезпечити технологічність виробу, безпеку користувача при роботі з пристроєм та за умов несправності пристрою. Конструкція має бути готовою для транспортування автомобільним, залізничним та авіаційним видом транспорту в пакуванні достатньої міцності. Та придатною для умов зберігання ЛП, які відповідають зберігання в опалюваних і вентильованих складах, сховищах з кондиціонуванням повітря, розташованих в будь-яких макрокліматичних умовах.

Матеріали та компонентна база пристрою мають відповідати вимогам до застосування в радіоелектронній апаратурі та серійно вироблятися промисловістю.

На передній панелі необхідно забезпечити маркування індикації живлення пристрою, індикації режимів роботи, індикації відпрацювання циклу перевірки, кнопок та тумблерів.

В даному розділі обґрунтовано необхідність створення пульта, а також проаналізоване технічне завдання.

1.2 Аналіз ринку аналогів

В даному підрозділі розглянуто аналоги пристрою на ринку та проведене їх порівняння.

1.2.1 Контрольно-перевірочна апаратура КАСО-І

Касо-І (рис. 1.1) апаратура контрольно-перевірочна літакових відповідачів призначена для попередньої перевірки і проведення регламентних робіт відповідачів, розміщених на повітряних суднах всіх класів в умовах аеродрому і майстерень.



Рисунок 1.1 — КАСО-1

Касо-1 дає можливість:

- перевірки працездатності супергетеродинного приймача і відео-підсилювачів відповідачів шляхом подачі відповідних тестових сигналів;
- перевірку роботи дешифратора відповідача на різних тестових кодах;
- допускового контролю імпульсної потужності передавачів відповідачів;
- контроль всіх відповідних кодових сигналів відповідачів в частині активної радіолокації;
- зчитування цифрової інформації, переданої відповідачами СО-63А, СО-63Б, СОМ-64, СО-69, СО-72М;
- контроль точності відпрацювання блоку перетворення відповідачів СО-63А, СО-63Б, СОМ-64, СО-69, СО-72М;
- допускового контроль кількості відповідних сигналів, видаваних відповідачами;

- відшукування несправного блоку в відповідачах СО-63А, СО-63Б, СОМ-64, СО-69.
- контроль правильності кодування цифрової інформації, переданої відповідачами СО-63А, СО-63Б, СОМ-64, СО-69, СО-72М;

Технічні характеристики Касо-І:

- несуча частота тестового сигналу при похибці $\pm 0,5$ МГц - 837,5 МГц.
- потужність в імпульсі при похибці ± 5 мкВт - 17 мкВт.

1.2.2 Контрольно-перевірочна апаратура КПА-ИС2-БПД

КПА-ИС2-БПД (рис. 1.2) апаратура контрольно-перевірочна призначена для перевірки систем управління і вимірювання палива СУТ5-2. Контрольно-перевірочна апаратура КПА-ИС2-БПД застосовується з блоком КПА-ИС2-БІД1.

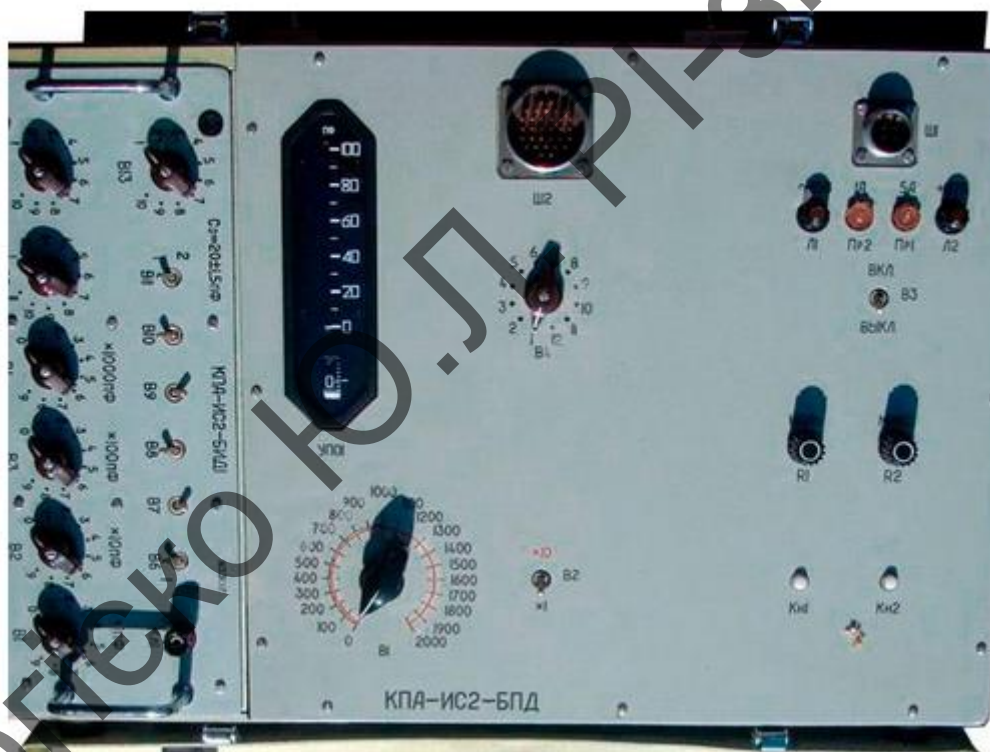


Рисунок 1.2 — КПА-ИС2-БПД

Технічні характеристики КПА-ИС2-БПД:

- діапазон показчика УП01 - від 0 до 100 пФ;
- ціна поділки показчика - 10 пФ.

1.2.3 Контрольно-перевірочна апаратура КПА-ПВД

КПА-ПВД (рис.1.3) апаратура контрольно-перевірочна використовується в стройових частинах ВПС для перевірки герметичності статистичних і динамічних систем літака, а також функціонування анероїдних-мембранних приладів (висотомірів, показчиків швидкості, числа М) на літаку.



Рисунок 1.3 — КПА-ПВД

Технічні характеристики КПА-ПВД:

- струм - не більше 5,3 А;
- абсолютний тиск герметичності установки в статичній системі при зміні тиску не більше 5 мм рт. ст. - 165 мм рт. ст.;
- живлення від джерела постійного струму через блокову вилку - від 27 В до 29,7 В.

1.2.4 Контрольно-перевірочна апаратура КАСО-II

Касо-II (рис.1.4) апаратура літакова контрольно-перевірочна, призначена для перевірки працездатності і справності антенно-фідерної системи літакового відповідача. Апаратура Касо-II застосовується для перевірки справності всіх приймальних каналів, перевірки наявності випромінювання відповідача.



Рисунок 1.4 — КАСО-II

Технічні характеристики Касо-II:

- Несуча частота генераторів імпульсів - 9370 МГц; 2905 МГц; 837,5 МГц; +1030 МГц.
- Тривалість тестових імпульсів від 1 до 4 діапазонів - від 1 мкс до 1,4 мкс.
- Частота сигналу запиту з відносною похибкою $\pm 30\%$ - 250 Гц.
- Вихідна потужність імпульсних генераторів - 10,5 Вт; 1 Вт; 16,5 Вт.
- Поріг чутливості приймального каналу ослаблення за потужністю АМ сигналів Касо-2 - від -47 дБ до -41 дБ.
- Вимірювання тимчасового інтервалу (кодова виборча здатність):
 - стійке декодування - від 10 мкс до 12 мкс;
 - стійкості не декодування - від 9,2 мкс до 12,8 мкс.

1.2.5 Контрольно-перевірочна апаратура **КПА-ИС2-БІД1**

КПА-ИС2-БІД1 (рис1.5) апаратура контрольно-перевірочна призначена для перевірки систем управління і вимірювання палива СУІТ5-2. Апаратури контрольно-перевірочні КПА-ИС2-БІД1 застосовуються з блоком КПА-ИС2-БПД.



Рисунок 1.5 — КПА-ИС2-БІД1

Технічні характеристики КПА-ИС2-БІД1:

- ємність - від 178 пФ до 545 пФ.

1.2.6 Контрольно-перевірочна апаратура **КПА-ИС2-БПД**

КПА-ИС2-БПД (рис. 1.6) апаратура контрольно-перевірочна призначена для перевірки систем управління і вимірювання палива СУІТ5-2. Контрольно-перевірочна апаратура КПА-ИС2-БПД застосовується з блоком КПА-ИС2-БІД1.



Рисунок 1.6 — КПА-ИС2-БПД

Технічні характеристики КПА-ИС2-БПД:

- діапазон показчика УП01 - від 0 до 100 пФ.
- ціна поділки показчика - 10 пФ.

Усі зазначені пристрої мають великі габарити, і як видно з рисунків є застарілими, тому розробка аналогічного пристрою з цифровою обробкою є актуальним.

2 СИНТЕЗ СХЕМИ ПРИСТРОЮ

2.1 Розробка схеми електричної структурної

В першому наближенні структурна схема має вигляд, представлений на рис.2.1.

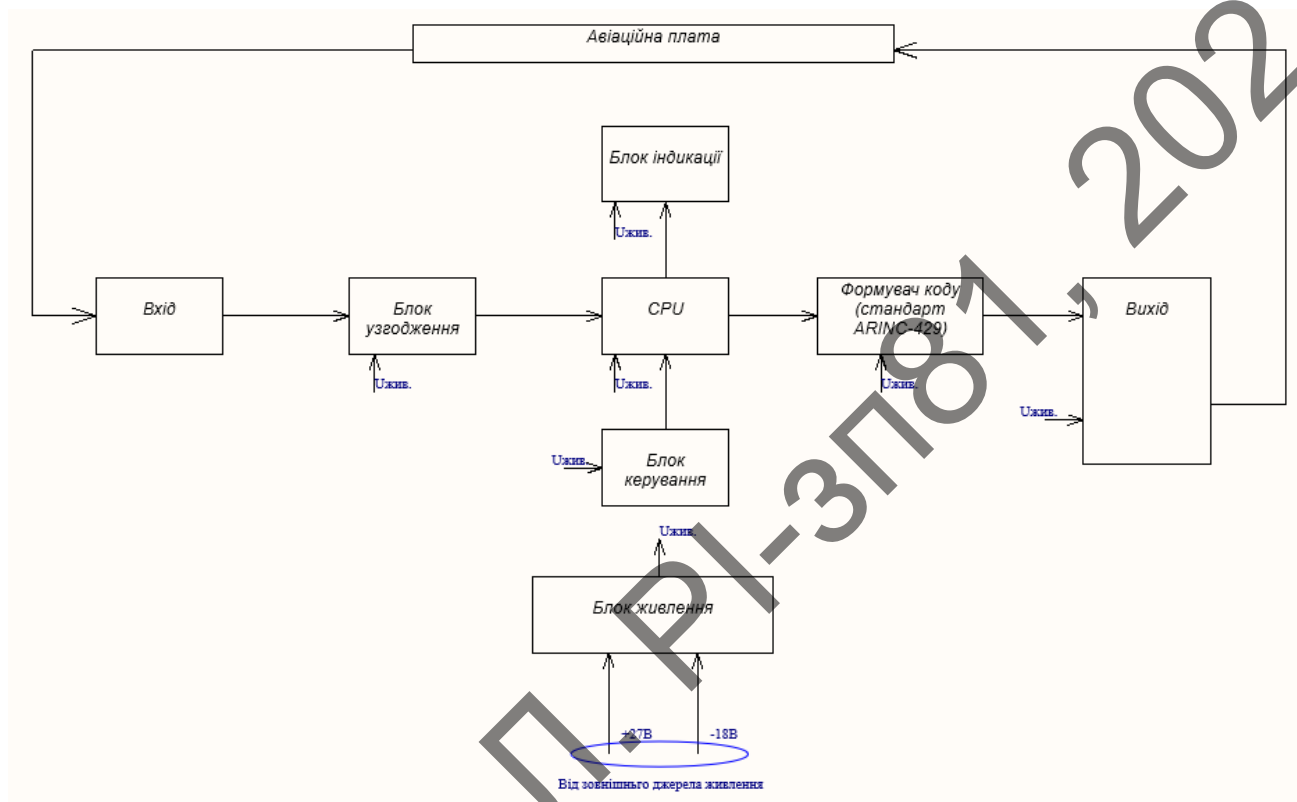


Рисунок 2.1 — Схема електрична структурна

Схема призначена для використання в лабораторних умовах, тому напруга на вхід блоку живлення буде подаватись від лабораторних джерел живлення.

Блок живлення живить всю електроніку пульта перевірки, а також плату, що перевіряється.

Блок узгодження погоджує рівнів напруги та струмів між авіаційною платою та пультом.

Блок керування видає команди блоку CPU (з мікроконтролером).

Блок індикації складається з OLED-дисплею для зручності процесу налагодження авіаційної плати. Він відображає інформацію з CPU. Також додатково використані декілька LED-діодів для індикації додаткової інформації.

Блок CPU генерує тестові сигнали для авіаційної плати, а потім аналізує сигнали відгуку.

Формувач коду отримує згенеровані CPU тестові сигнали та перетворює їх по стандарту ARINC-429. Тільки після цього згенеровані тестові сигнали потрапляють до плати, що перевіряється.

2.2 Розробка схеми електричної принципової

Подальшим кроком є розробка схеми електричної структурної (див. графічний матеріал — Схема електрична принципова).

Основна задача електричної принципової схеми даного пульта видача трьохрівневого біполярного коду (тестового імпульсу), який буде видаватись на плату, що проходить перевірку та аналіз сигналу відгуку даної плати.

2.2.1 Підключення мікросхеми HI-8586PSI (ARINC-429)

Задачу з формування трьохрівневого біполярного коду виконує мікросхема DD4 (стандарт ARINC-429), яка робить це автоматично. Це стандартна мікросхема, яка підключена по стандартній схемі згідно з PDF.

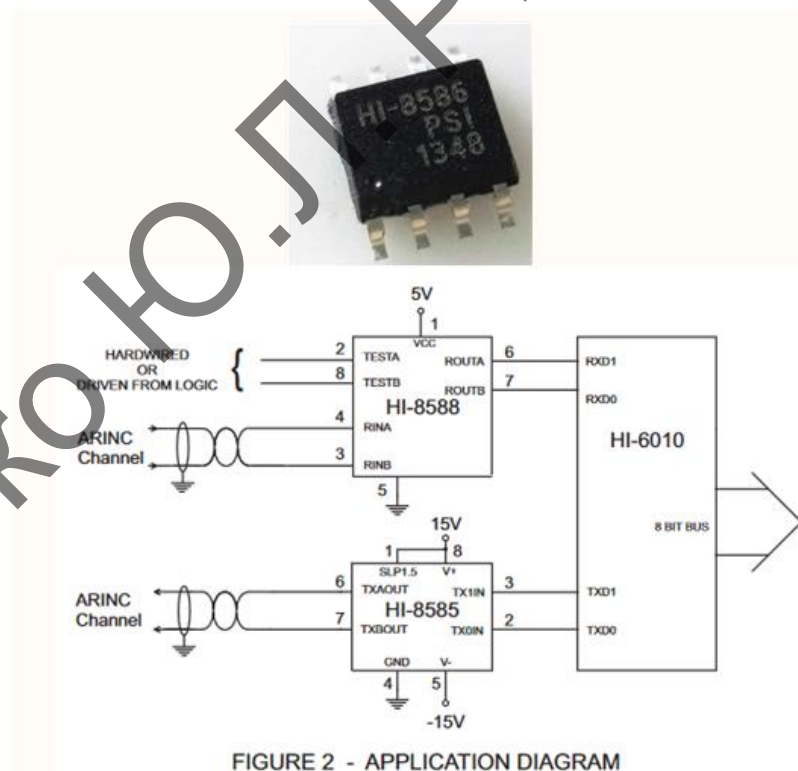


Рисунок 2.2 — Схема включення мікросхеми HI-8586PSI згідно з PDF

Входами даної мікросхеми є виводи 2 і 3. На них подається необхідний тестовий код з мікроконтролера DD2. До виводів 7 і 6, які являють собою виходи

даної мікросхеми, додатково підключені коректуючі резистори R 50 і R 51 відповідно.

2.2.2 Підключення мікроконтролера ATmega16A-PU

Також значну роль в даній принциповій схемі відіграє мікроконтролер. Саме він відповідає за всі основні процеси які відбуваються в електричній схемі.

Такі як :

- формування тестового коду для плати, що перевіряється;
- опрацювання команд;
- аналіз сигналу відповіді від плати (відгуку від плати);
- вивід інформації на OLED-дисплей.

Варто зазначити, що в електричній схемі задіяний аналогово-цифровий перетворювач мікроконтролера. Він виконує функцію вольтметра. Тобто мікроконтролер видає на плату, що перевіряється тестовий код, а потім вимірює значення аналогового сигналу відгуку плати. Після чого мікроконтролер порівнює виміряне значення сигналу відгуку плати з записаним в пам'яті і видає на дисплей результат порівняння.

Мікроконтролер включений по стандартній схемі наведеній як в PDF для нього так і в технічній літературі. Мікроконтролер живиться напругою + 5 В. До виводів живлення мікроконтролера VCC і GND підключені паралельно два конденсатори електролітичний C17 і керамічний C16 з невеликою ємністю (0,1мкФ) для компенсації паразитного реактивного індуктивного опору електроліта. Це типова схема підключення для всіх мікросхем. Для задання тактової частоти мікроконтролера використовується зовнішнє тактування. До виводів мікроконтролера 12 і 13 підключений кварцевий резонатор BQ1 з двома паралельно підключеними керамічними конденсаторами C8, C9 (тактова частота 16 МГц). Також в периферії мікроконтролера знаходяться елементи, керування такі як кнопки, та перемикачі. Деякі з них (S9, S10, SA1) безпосередньо підключаються до самого мікроконтролера. Так як мікроконтролер чутливий до перевантажень по напрузі та струму в колах де знаходяться дані елементи було вжито заходів захисту. А саме були підібрані обмежувальні резистори (R29, R28, R26, R42) таким чином, щоб струм який вони будуть комутувати на виводи

мікроконтролера знаходився на рівні 0,5мА. Також варто зазначити що елементи R23, C13 Утворюють фільтр по аналоговому живленню мікроконтролера.

2.2.3 Підключення мікросхеми REF02HFZ

В даній схемі використане зовнішнє джерело опорної напруги для мікроконтролера, мікросхема DA1 (REF02HFZ). Дане інженерне рішення було прийняте тому що, зовнішнє джерело живлення є більш стабільним і точнішим ніж інтегроване в мікроконтролер. Воно підключена до виводу 32 мікроконтролера також по стандартній схемі наведеній в PDF.

Враховуючи те що, пульт буде працювати в нормальних умовах нема необхідності використовувати температурну стабілізацію напруги та стабілізацію вихідної опорної напруги в даній мікросхемі . Тому до виводів 3, 5 мікросхеми DA1 не були підключені коректуючі резистори зазначені в PDF в зв'язку з їх не доцільністю.

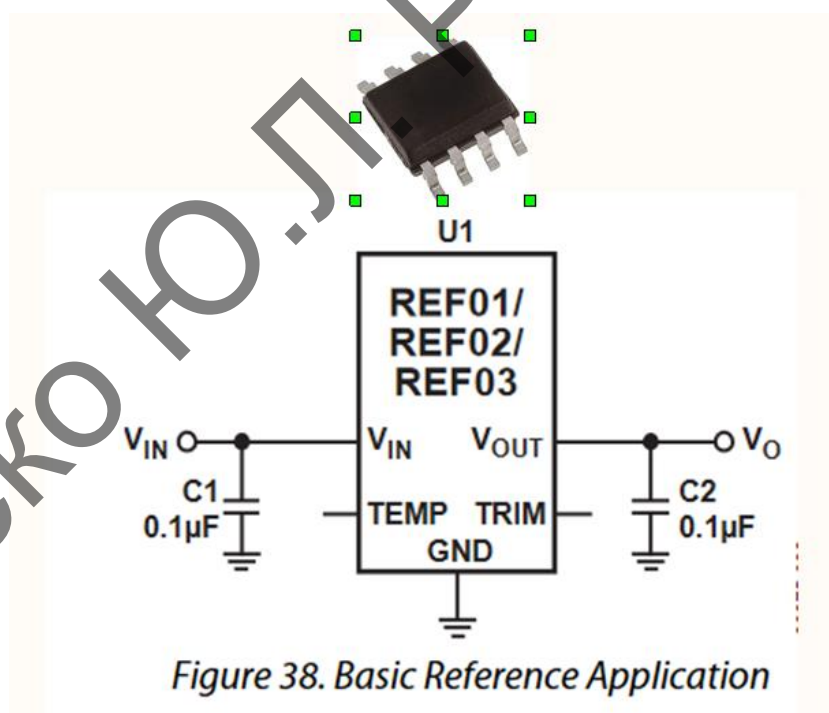


Рисунок 2.3 —Схема включення мікросхеми REF02HFZ згідно з PDF

2.2.4 Підключення блоку керування

Керування мікроконтролером здійснюється за допомогою тактових кнопок S1 – S8 та мікросхеми DD3 (PCF8574DW), яка являє собою 8 бітну I²C шину . Кнопки підключені до входів мікросхеми DD3, виходи DD3 вже до

мікроконтролера. Кожна кнопка підключена до свого входу на мікросхемі. Якщо контакт відповідної кнопки розімкнутий, то в цей час на відповідному цій кнопці контакті мікросхеми, знаходиться потенціал +5В(логічна 1). Якщо контакт відповідної кнопки замкнутий то потенціал на відповідному виводі 0В(логічний 0). Також потрібно відмітити резистори R30-R37, які підключені до входів мікросхеми для того щоб обмежити струм .Вони вибрані з достатньо великим опором 10 кОм. Також окрім кнопок керування S1 - S8 використовуються і інші комутаційні елементи для керування мікроконтроллером такі як кнопки S9, S10 та SA1 повзунковий перемикач. (підключення даних кнопок описано в п 2.2.2 Підключення мікроконтролера ATmega16A-PU)

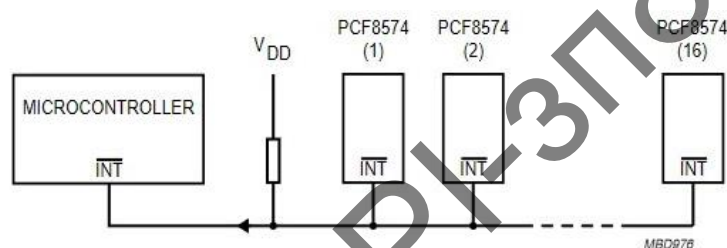


Fig.13 Application of multiple PCF8574s with interrupt.

Рисунок 2.4 —Схема включення мікросхеми PCF8574DW згідно з PDF

2.2.5 Підключення OLED-дисплею

До мікроконтролера також підключений OLED-дисплей HG1 для відображення даних. Даний тип дисплею був вибраний тому, що зображення залишається чітким навіть при яскравому освітленні, особливо сонячному. Підключення даного дисплею було здійснено згідно документації на нього. А саме контакти 7–14 призначені для видачі інформації та контакти 4–6 для управління дисплеєм мікроконтролером.

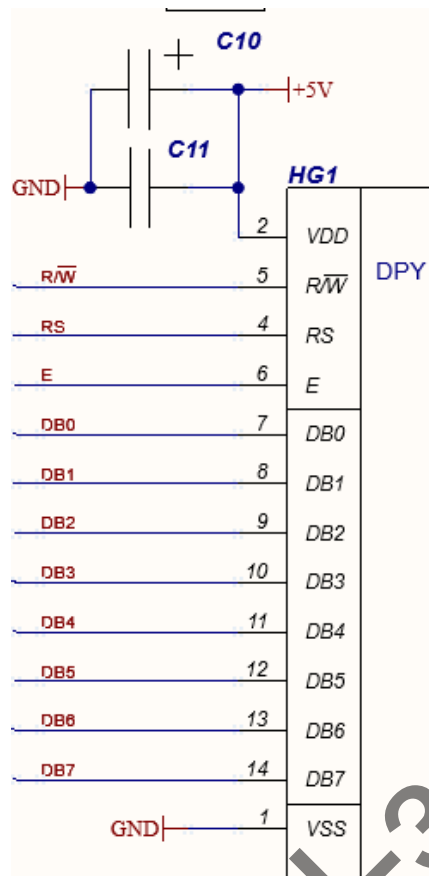


Рисунок 2.5 —Схема включення OLED-дисплею WEH001602ALPP5N00001 на схемі електричній принциповій

Застосована схема підключення збільшує швидкість керування та реакції дисплею на команди мікроконтролера.

2.2.6 Блок живлення

Блок живлення виконаний на мікросхемах LM7805, MC78L15, MC79L15. Це стабілізатори напруг.

Ці мікросхеми видають досить стабільні і точні значення напруг живлення при малій кількості зовнішніх елементів обвіски та самих мікросхем. LM7805 - 5В, MC78L15-15В MC79L15- мінус15В. Живлення пульта 5В відбувається окремо від живлення 5В плати, що перевіряється. Це зроблено для того щоб вони не впливали одне на одне.

Мікросхеми MC78L15, MC79L15 вибрані спеціально оскільки вони мають захист по короткому замиканні на рівні 100мА. Що являється захистом від КЗ провіреної плати.

Включення всіх цих мікросхем стандартне описано в PDF.

2.2.7 Блок узгодження

Блок узгодження потрібний для погодження рівнів напруг та струмів між провіряємою платою та пультом.

Він виконаний на оптронах D1...D4 та мікросхемі DD3.

Оптрони погоджують рівні напруг між платою та пультом.

Мікросхема DD3 є підсилювачем малого вхідного струму пульта в провіряємих колах плати

2.3 Уточнення схеми електричної структурної

В процесі створення принципової схеми пристрою стала відома додаткова інформація щодо живлення. Тому мета даного підрозділу ввести уточнення до схеми електричної структурної.

В процесі конструювання стало відомо, що для коректності перевірки автопілота потрібно щоб:

- напруга живлення +5В для пульта та автопілота повинна бути роздільна, тому: +5V – напруга живлення блоків пульта, +5В - напруга живлення автопілота ;
- для роботи формувача коду, потрібні напруги +5V, +15В, -15В, а для всіх інших блоків пульта +5V ;
- На вихід пульта мають подаватися напруги +5В, +15В, -15В, +27В;
- На вхід блоку живлення пульта перевірки автопілота подаються напруги +27В та -18В відповідно. В свою чергу блок живлення буде видавати напруги: +5В, +5V, +15В, -15В, +27В.

Таким чином уточнена структурна схема матиме вигляд (рис.2.6).

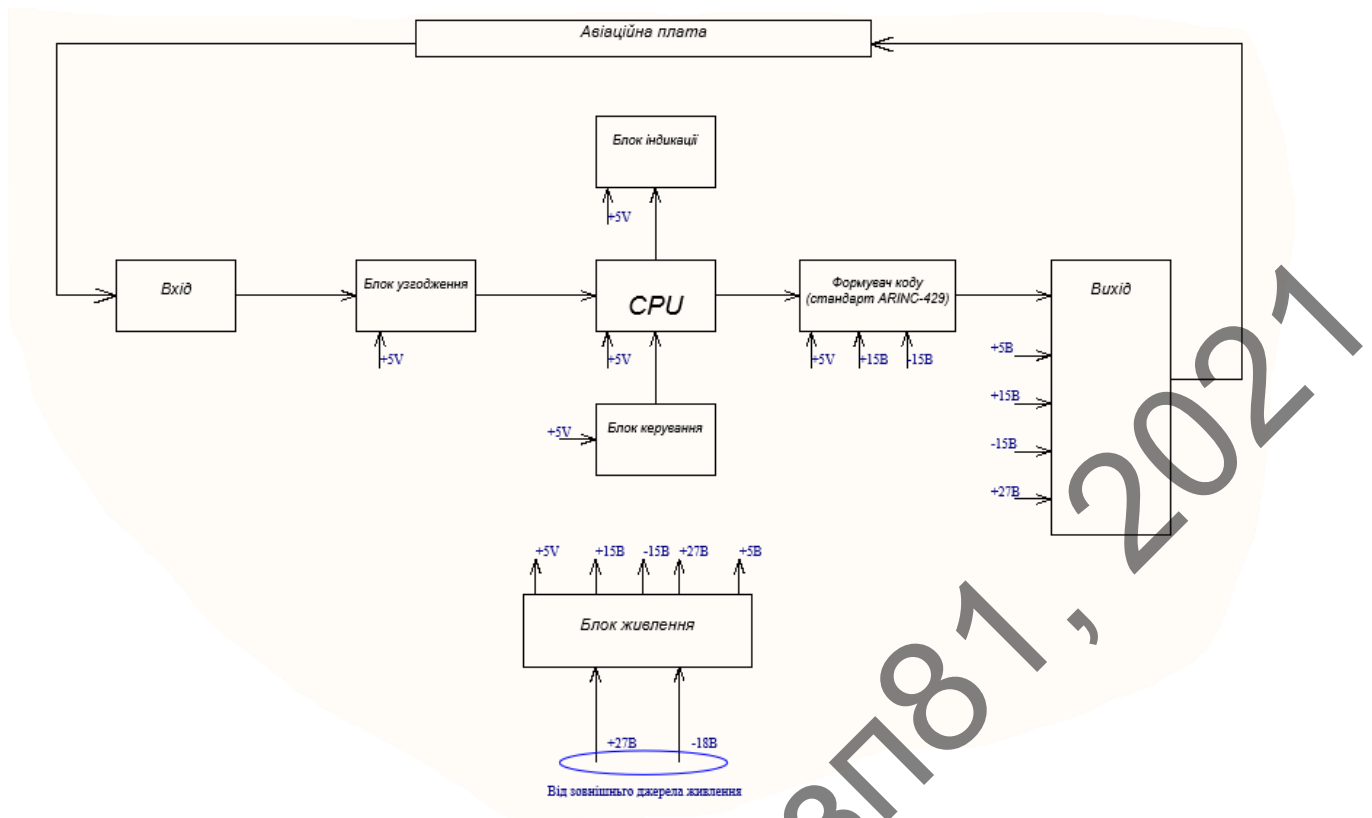


Рисунок 2.6 — Уточнена схема електрична структурна

Тепер перейдемо до обґрунтування вибору елементної бази.

2.4 Вибір елементної бази

Підбір елементної бази залежить від декількох чинників, а саме:

- елементна база має відповідати заданим електричним параметрам;
- елементна база має працювати належним чином в заданих кліматичних умовах;
- елементна база буде впливати на надійність та час безвідмовної роботи приладу;
- в елементній базі залежить технологічність виготовлення пристрою;
- елементна база визначає габарити пристрою.

Для вибору електронних компонентів використовувався електронний каталог РКС Компоненти, Octopart в САПР Altium Designer [12]. Тож додатковими критеріями були вартість та доступність компонентів.

2.4.1 Вибір пасивних компонентів

У якості елементів R1 – R21, R23 – R53, R57 – R60 використовуються малопотужні SMD резистори. Для підвищення технологічності виробу обрані

резистори виробника Koa Speer Electronics, оскільки це єдиний виробник котрий має резистори усіх необхідних номіналів. Елементи в корпусах типорозміру 1206. Обрані компоненти мають наступні характеристики:

- номінальна потужність: 0,25 Вт;
- діапазон номінальних опорів: 100 Ом – 56,2 кОм;
- точність: $\pm 0,5 \%$, $\pm 5 \%$.

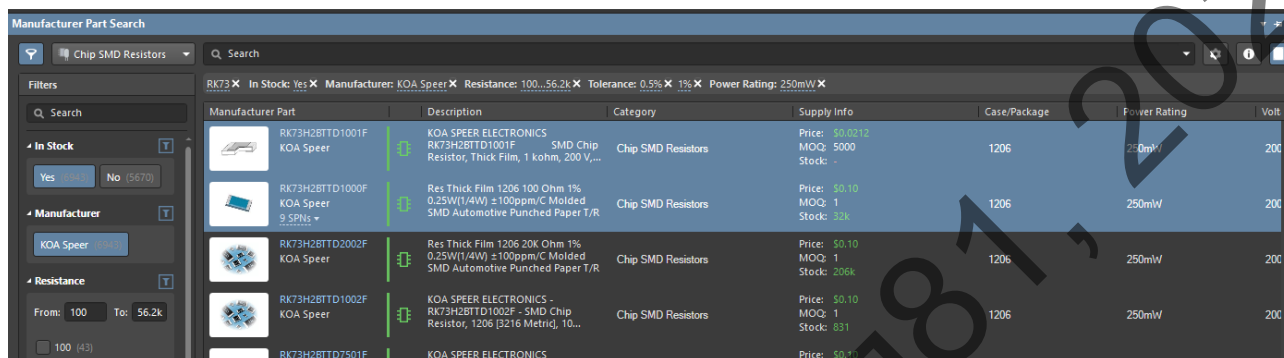


Рисунок 2.7 — Вибір SMD резисторів в середовищі Altium

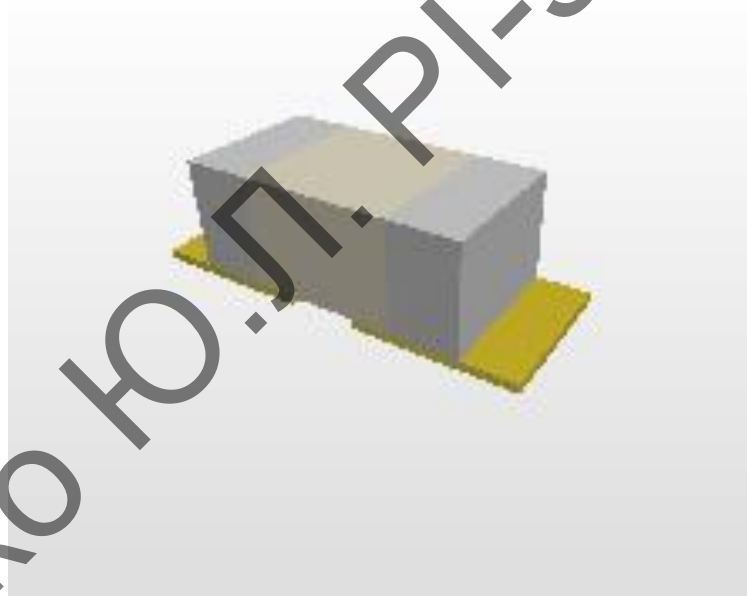


Рисунок 2.8 — 3D модель SMD резистора в середовищі Altium

У якості елементів R22, R54, R61 – R63 використовуються потужні та малопотужні вивідні резистори C2-23. Дані елементи були підібрані під час налагодження пульта. Обрані компоненти мають наступні характеристики:

- номінальні потужності: 0,125 Вт, 2 Вт;
- номінальні опори: 270 Ом, 390 Ом, 100 кОм;
- точність: $\pm 5 \%$.

с2-23

Поиск

Результат поиска для "с2-23" : > 60

Выбрать Страницу: 1 2 [Следующая Страница >>]

Вид просмотра:

таблица

карточки

Фото	Наименование	Техн. инф.	Производитель	Описание	В наличии/под заказ развернуть Все	Цена без НДС
	<div>150 Ohm 5% 1W выв.</div> <div>(C2-23-1-150)</div> <div>Код товара: 167663</div>			<div>Выводные резисторы - 1W</div> <div>Номинал: 150 Ohm</div> <div>Точность и ТКС: ±5%</div> <div>Р ном., W: 1 W</div> <div>U, раб.: 500 V</div> <div>Габариты: 11x4,5 mm; Dвыв=0,8 mm</div> <div>Тип: металло-оксидные миниатюрные</div>	<div>в наличии: 840 шт</div> <div>развернуть</div>	<div>10+ 0.75 грн</div> <div>купить</div>
	C2-23 -0,125-680 K		1993		<div>под заказ 342 шт</div> <div>срок поставки 14-28 дня (дней)</div>	<div>800+ 0.19 грн</div> <div>купить</div>
	C2-23 0.125Вт 24 Ом (5%)		1993		<div>под заказ 1000 шт</div>	<div>358+ 0.54 грн</div>

Рисунок 2.9 — Вибір вивідних резисторів C2-23

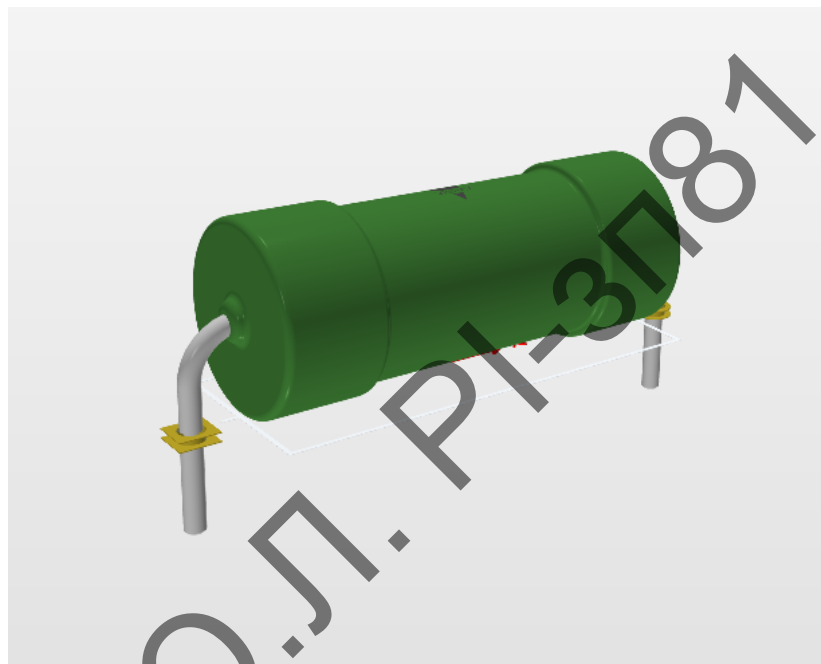


Рисунок 2.10 — 3D модель вивідного резистора C2-23 в середовищі Altium

У якості елементів R56, R57 використовуються потужні вивідні резистори. Для забезпечення достатнього розсіювання тепла в потужних колах вибрані вивідні резистори фірми SR PASSIVE. Обрані компоненти мають наступні характеристики:

- номінальна потужність: 5Вт;
- номінальні опори: 100Ом, 200Ом;
- точність: $\pm 5\%$.

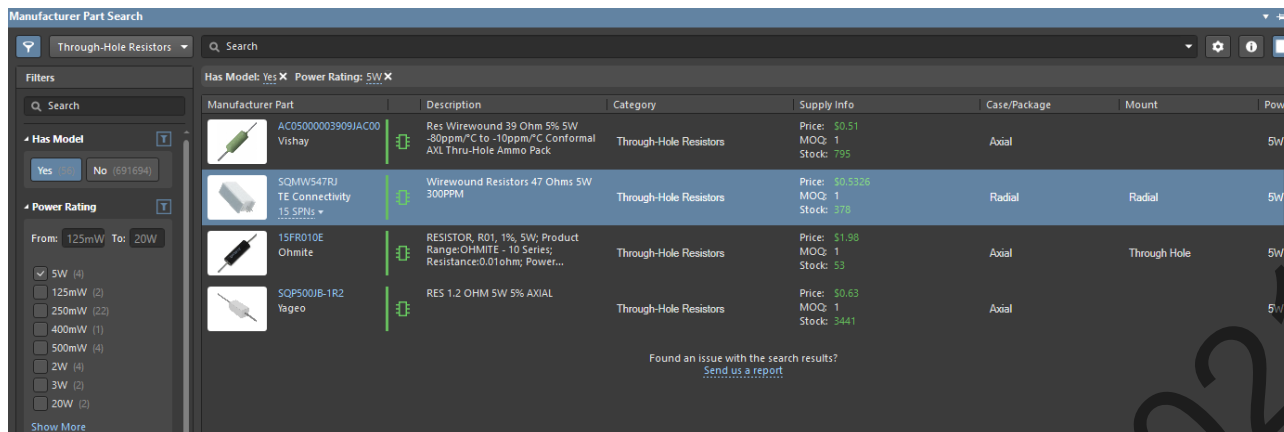


Рисунок 2.11 — Вибір потужних вивідних резисторів в середовищі Altium

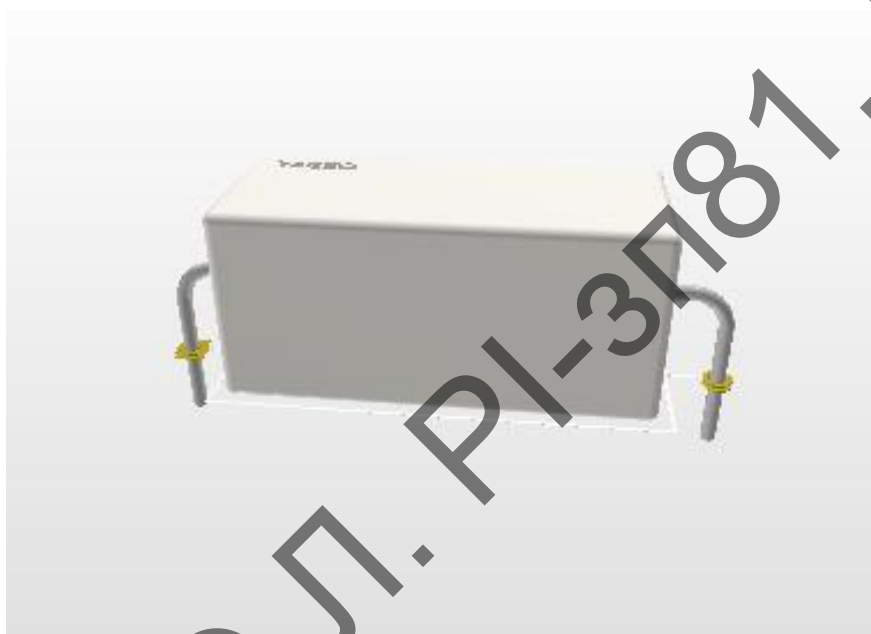


Рисунок 2.12 — 3D модель вивідного потужного резистора в середовищі Altium

У якості елементів C1 – C5, C7 – C9, C11 – C14, і.т.д використовуються керамічні SMD конденсатори. Для підвищення технологічності виробу обрані конденсатори виробника Kemet. Елементи в корпусах типорозміру 1206. Обрані компоненти мають наступні характеристики:

- максимально допустима робоча напруга: 50В;
- діапазон номінальних ємностей: 18пФ – 0,1мкФ;
- точність: $\pm 5\%$, $\pm 10\%$.

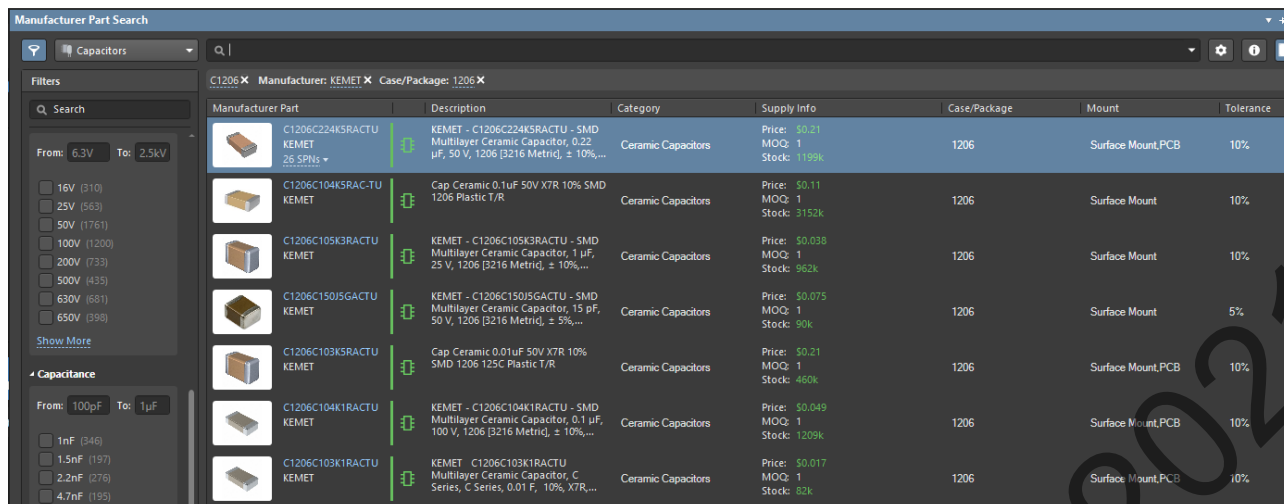


Рисунок 2.13 — Вибір SMD керамічних конденсаторів в середовищі Altium

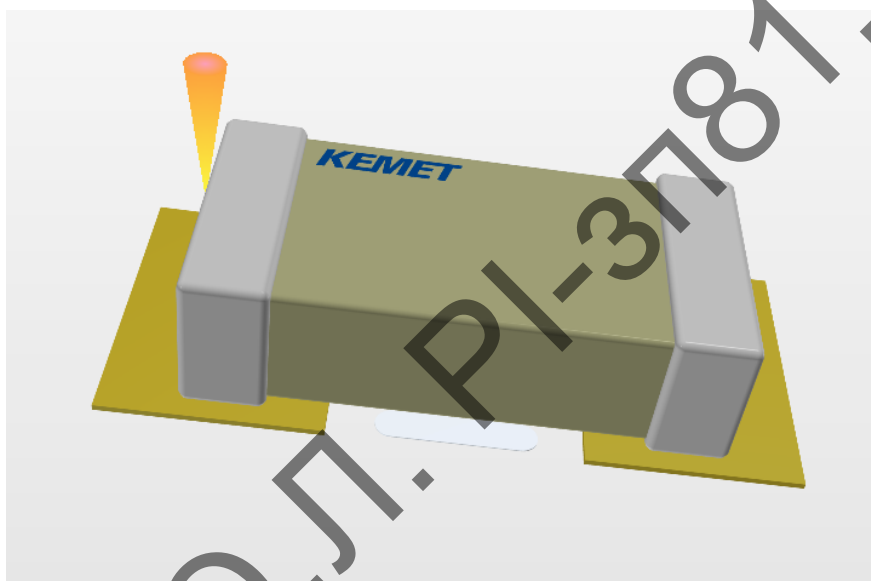


Рисунок 2.14 — 3D модель SMD керамічного конденсатора в середовищі Altium

У якості елементів C6, C10, C15, C17, C28 – C32, C37 – C40 використовуються танталові SMD конденсатори. Для підвищення технологічності виробу обрані танталові конденсатори виробника *Vishay* тому, що вони мають велику ємність при малих габаритах. Елементи в корпусах типорозміру TAG-D. Обрані компоненти мають наступні характеристики:

- максимально допустима робоча напруга: 35В, 50В;
- номінальні ємності: 4,7мкФ, 22мкФ;
- точність: \pm 10 %.

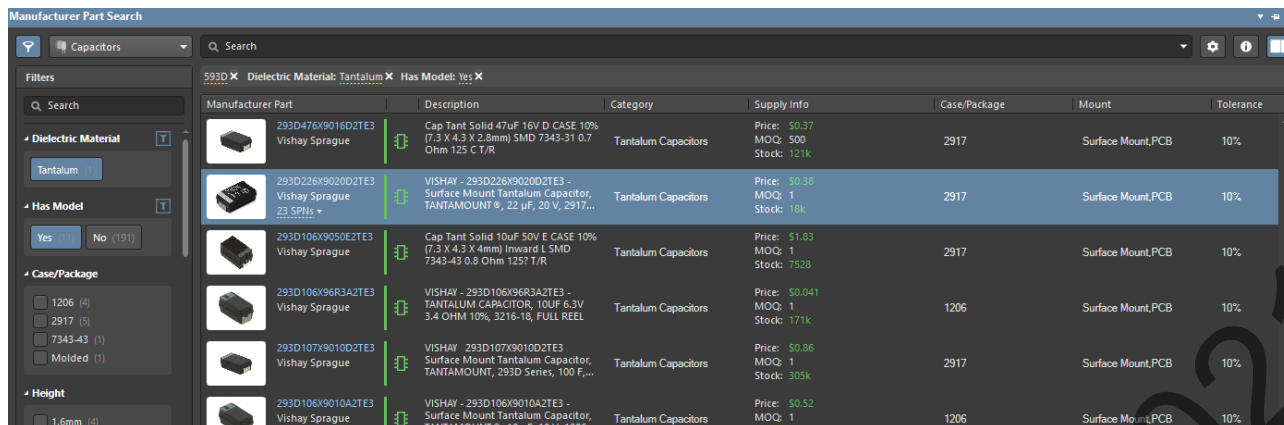


Рисунок 2.15 — Вибір SMD танталового конденсатора в середовищі Altium



Рисунок 2.16 — 3D модель SMD танталового конденсатора в середовищі Altium

У якості елемента BQ1 використовується вивідний кварцевий резонатор від виробника IQD FREQUENCY PRODUCTS. Даний компоненти має наступні характеристики:

- робоча частота: 16МГц;
- ємність: 20пФ;
- точність: $\pm 0.003\%$.

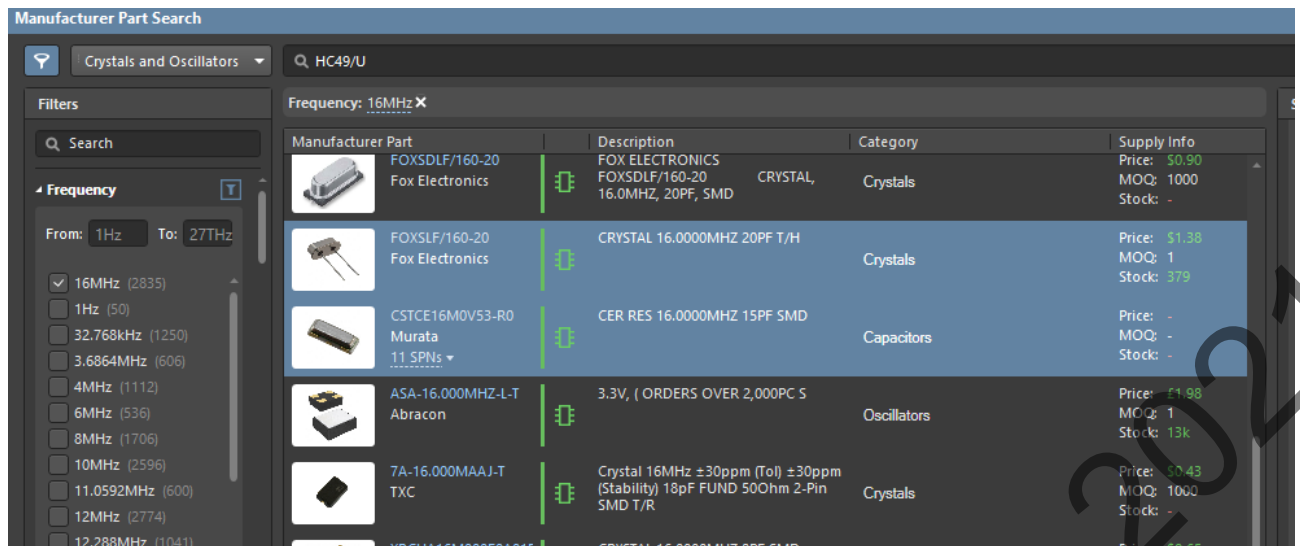


Рисунок 2.17 — Вибір кварцевого резонатора в середовищі Altium

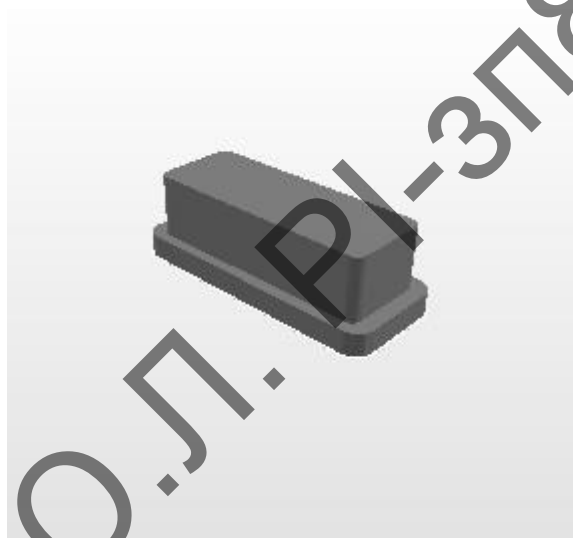


Рисунок 2.18 — 3D модель кварцевого резонатора в середовищі Altium

Перейдемо до вибору активних компонентів.

2.4.2 Вибір активних компонентів

У якості елементів D1-D4 використовується вивідні оптрони *TLP2630* від виробника TOSHIBA в корпусі *8-DIP*. Даний компоненти має наступні характеристики:

- вихідна напруга: +5,5В;
- максимальний вихідний струм: 16мА;
- максимальний вхідний струм: 15мА;
- напруга пробую колектор-емітер: 7В.

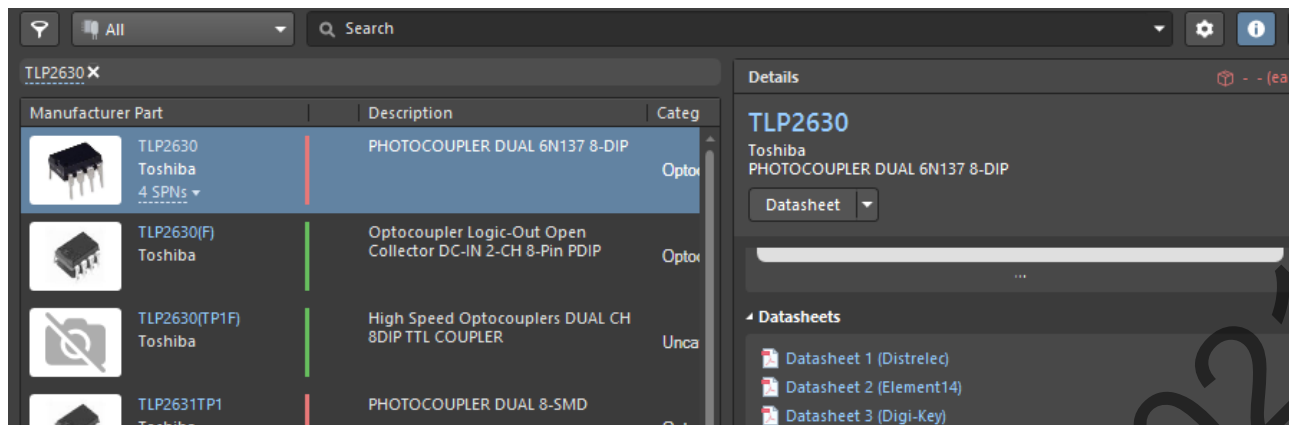


Рисунок 2.19 — Вибір оптронів *TLP2630* в середовищі Altium

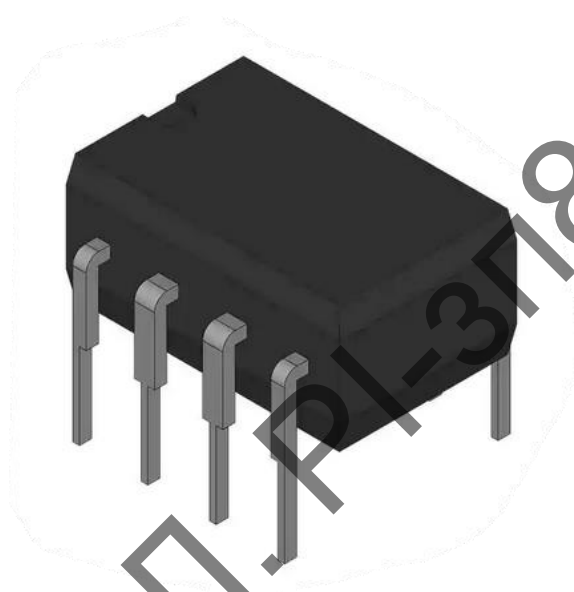


Рисунок 2.20 — 3D модель оптронів *TLP2630* в середовищі Altium

У якості елемента D5 використовується вивідний оптрон *PC817C* від виробника *SHARP* в корпусі *4-DIP*. Даний компоненти має наступні характеристики:

- прямий струм: 50мА;
- зворотня напруга: 6В;
- розсіювання потужності: 70мВт;
- напруга емітер-колектор: 80В;
- напруга колектор-емітер: 6В;
- струм колектора: 50мА;
- розсіювання потужності колектора: 150мВт;

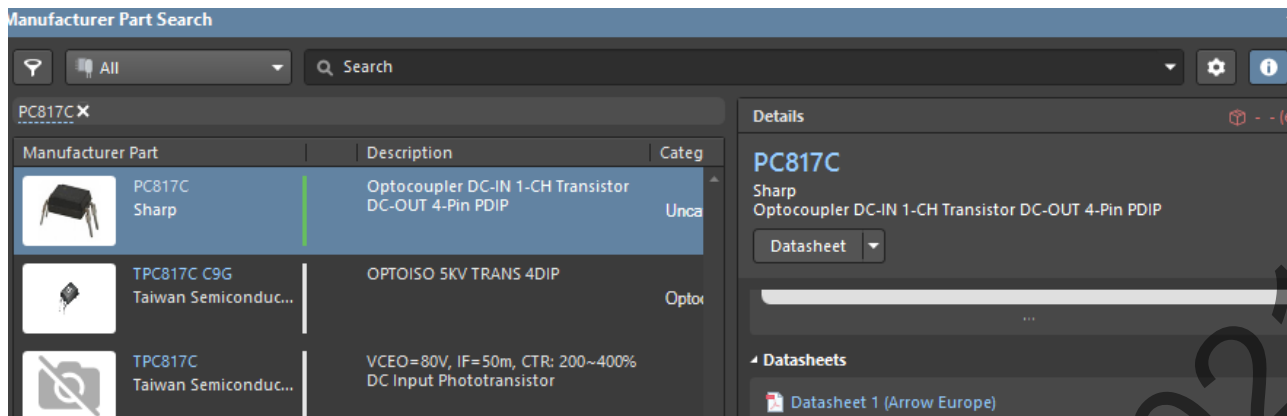


Рисунок 2.21 — Вибір оптрона *PC817C* в середовищі Altium

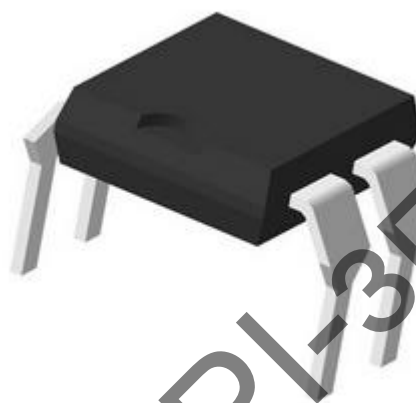


Рисунок 2.22 — 3D модель оптрона *PC817C* в середовищі Altium

У якості елемента DA1 використовується джерело опорної напруги REF02HFZ від виробника Analog Devices в корпусі SOIC 8. Даний компоненти має наступні характеристики:

- діапазон вхідної напруги: 7-36В;
- вихідна напруга: 5В;
- точність: $\pm 0,3\%$;
- струм навантаження: 10мА;

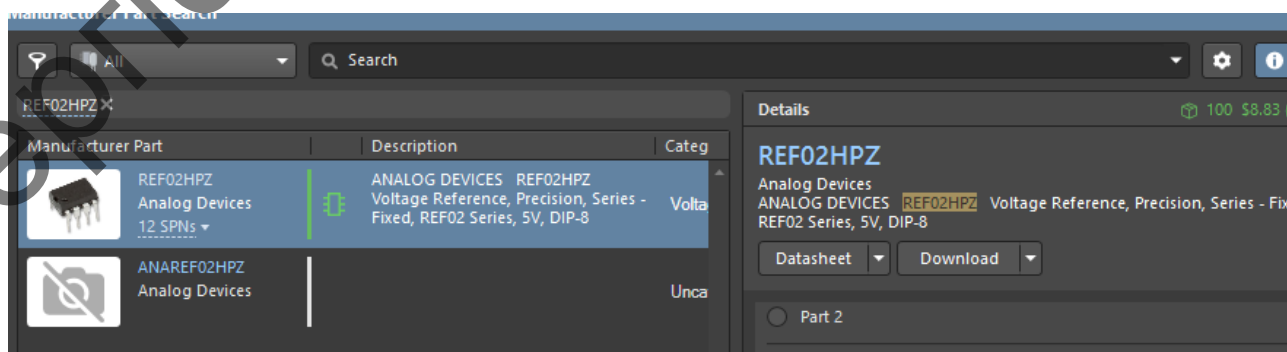


Рисунок 2.23 — Вибір джерела опорної напруги *REF02HFZ* в середовищі Altium

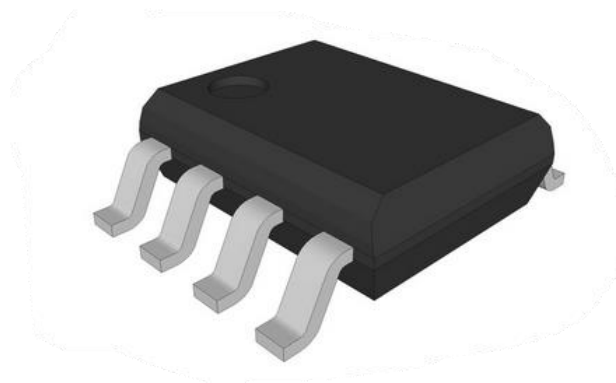


Рисунок 2.24 — 3D модель джерела опорної напруги *REF02HFZ* в середовищі Altium

У якості елемента DA2 використовується стабілізатор від'ємної напруги MC79L15ACLP від виробника Texas Instruments в корпусі TO-92. Даний компонент має наступні характеристики:

- діапазон вхідної напруги: -17,5...-30В;
- вихідна напруга: -15В;
- точність: 5%;
- максимальний струм навантаження: 100мА.

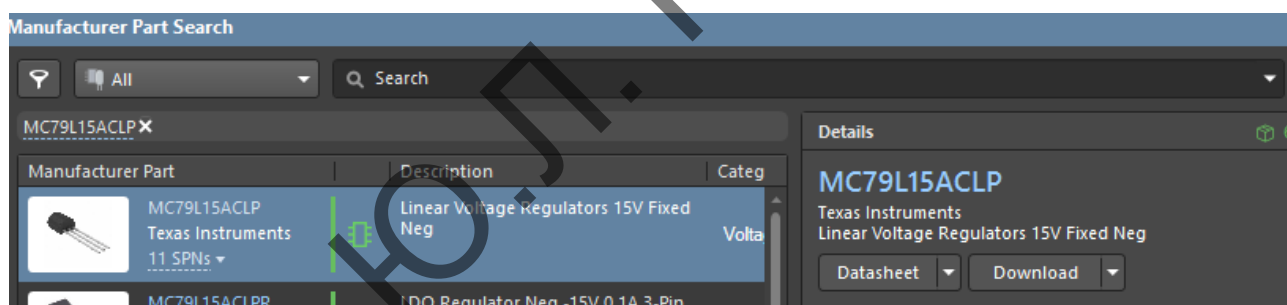


Рисунок 2.25 — Вибір стабілізатора від'ємної напруги *MC79L15ACLP* в середовищі Altium

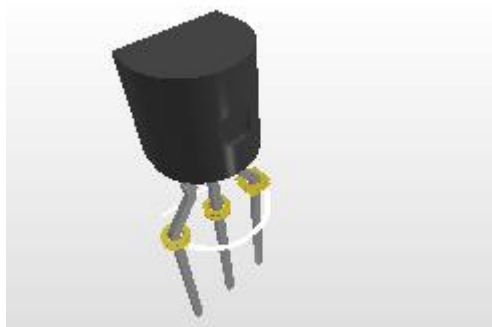


Рисунок 2.26 — 3D модель стабілізатора від'ємної напруги *MC79L15ACLP* в середовищі Altium

У якості елемента DA3 використовується стабілізатор позитивної напруги MC78L15ACPG від виробника ON SEMICONDUCTORS в корпусі TO-92. Даний компонент має наступні характеристики:

- діапазон вхідної напруги: +17...+35В;
- вихідна напруга: +15В;
- точність: 5%;
- максимальний струм навантаження: 100мА;

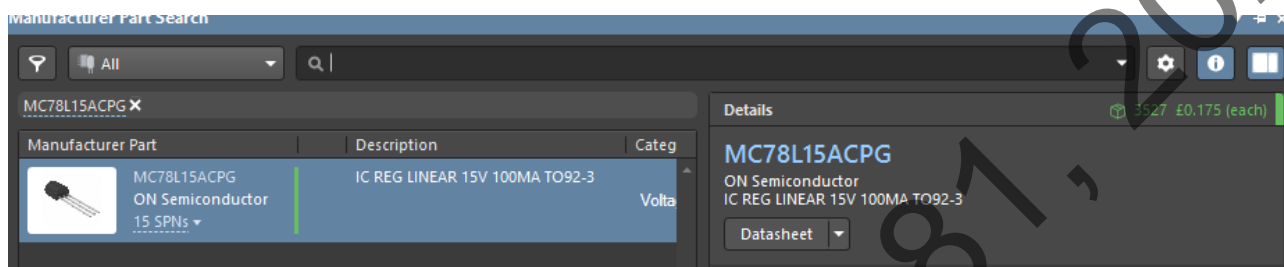


Рисунок 2.27 — Вибір стабілізатора позитивної напруги *MC78L15ACPG* в середовищі Altium

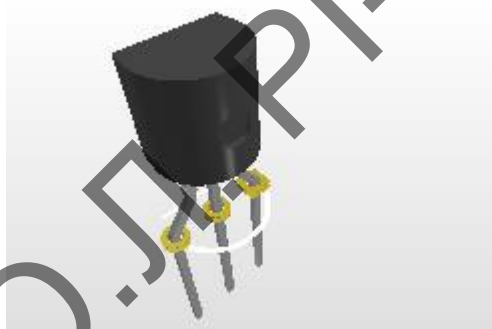


Рисунок 2.28 — 3D модель стабілізатора позитивної напруги *MC78L15ACPG* в середовищі Altium

У якості елементів DA4, DA5 використовується стабілізатор позитивної напруги LM7805CT від виробника Texas Instruments в корпусі TO-220. Даний компонент має наступні характеристики:

- діапазон вхідної напруги: +10...+35В;
- вихідна напруга: +5В;
- точність: 2%;
- максимальний струм навантаження: 1А.

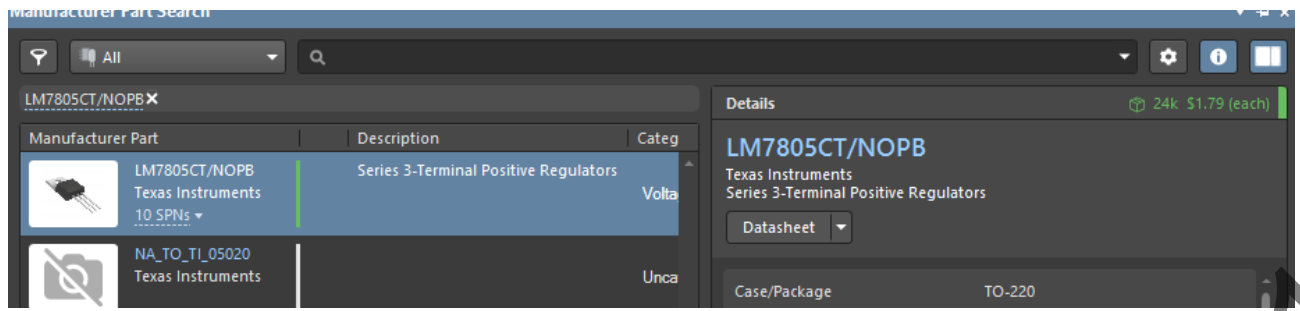


Рисунок 2.29 — 3D модель стабілізатора позитивної напруги *MC78L15ACPG* в середовищі Altium

Кнопки та світлодіоди бути підібрані виходячи з естетичної привабливості. Таким чином, обрано всю елементну базу і можна переходити до проектування електронного модуля.

3 РОЗРОБКА ЕЛЕКТРОННОГО МОДУЛЮ ТА КОНСТРУКЦІЇ ПРИЛАДУ

3.1 Аналіз з точки зору конструктора та технолога

Для того щоб виготовити надійний, ергономічний, технологічний електронний пристрій, який зможе в повній мірі забезпечити коректну роботу принципової схеми потрібно проаналізувати і узгодити технічне завдання, як конструктору так і технологу.

3.1.1 Аналіз з точки зору конструктора

Всі елементи пристрою будуть розташовані в одному корпусі. Більшість компонентів виконані у корпусах поверхневого монтажу, також є вивідні компоненти. Отже доцільно виготовляти двосторонню друковану плату. LED-дисплей буде встановлений на передній стороні плати і за одне «заподлицо» з передньою панеллю з можливістю встановлення захисного скла для нього. Органи керування, окрім тумблерів живлення також встановлюються на передній стороні плати. Усі інші елементи будуть розміщені на нижній стороні плати та не будуть доступні звичайному користувачу.

З точки зору ергономічності доступ до органів керування, індикації, клем живлення пристрою, клем підключення вимірювальних та калібрувальних пристроїв та інших буде відбуватися зі сторони передньої панелі. Особливої уваги заслуговують клеми для перевірки джерела живлення мікроконтролера, вони будуть знаходитися на передній панелі пристрою, але будуть повністю втоплені в сам корпус і закриті заглушкою. Роз'єм для підключення перевіряемого виробу та контрольний роз'єм будуть розташовуватися з боку корпуса пульта.

3.1.2 Аналіз з точки зору технолога

Обґрунтування методу виготовлення друкованої плати.

Оскільки схема має велику кількість елементів поверхневого монтажу, а також вивідні елементи, котрі будуть розміщені на двосторонній платі, доцільно виготовляти друковану плату комбінованим позитивним методом. Даний метод

розповсюджений для виготовлення двосторонніх плат. Комбінований метод об'єднує в собі основні переваги субтрактивного та адитивного методів. При виготовленні плати використовується фольгована основа, формування провідного малюнка відбувається шляхом гальванічного осадження міді з застосуванням фотошаблонів. Перевагами обраного методу є висока роздільна здатність, надійність ізоляції, хороша адгезія елементів з діелектричною основою.

Основний недолік це явище бічного підтравлення, котре обмежує роздільну здатність.

Обґрунтування вибору матеріалу плати

Найрозповсюдженішим варіантом для виробництва двосторонніх плат є композитний матеріал на основі скловолокна FR-4. Цей фольгований склотекстоліт термостійкий, має високу механічну міцність, високий поверхневий опір та низькі втрати. Обрано склотекстоліт з товщиною фольги 35 мкм та товщиною діелектрика 2 мм.

Обґрунтування вибору припою

Враховуючи доступність, міцність, та відсутність необхідності очищення плати від залишків флюсу та ціну було обрано олов'яно-свинцевий припій Kester 245. Даний припій забезпечує міцні паяльні з'єднання та підвищену втомну міцність, сумісний з будь-якими флюсами.

Вибір класу точності плати

Плати першого та другого класів точності найбільш прості у виконанні, але не підходять через щільність монтажу елементів. Для даного пристрою доцільно обрати третій клас точності через наявність елементів вивідних та поверхневого монтажу.

3.2 Проектування в середовищі Altium Designer

Для створення 3D моделі друкованої плати було використане програмне забезпечення Altium Designer. Також в даному середовищі створені бібліотеки компонентів, що розміщуються на платі та проведене трасування провідників.

3.2.1 Розрахунок габаритів друкованої плати

На площу плати впливає загальна площа елементів, що будуть встановлені на плату. З огляду на те що для констструювання використане програмне забезпечення Altium Designer, яке має можливість в процесі конструювання динамічно і ефективно коректувати потрібні параметри плати та автоматично підраховувати:

- загальну площу компонентів на платі;
- загальну площу плати;
- коефіцієнт заповнення плати;
- ефективні інструменти для компоновання елементів на платі і т.д.

Внаслідок цього відпадає потреба ручного розрахунку даних параметрів.

Board Information

Board Size

Horizontal: 210.128mm

Vertical: 160.128mm

Area: 33647.291 sq.mm

Components Area: 14527.781 sq.mm

Density: 22%

Components

Primitives & Others

Total: 192

Arcs: 60

Top: 46

Fils: 0

Bottom: 146

Pads: 752

Layers

Strings: 192

Total: 2

Tracks: 4083

Signal: 2

Vias: 56

Nets

Polygons: 0

Total: 108

Pad/Via Holes: 542

Unrouted: 0

DRC Violations: 0

Рисунок 3.1 — Результат розрахунку параметрів плати в Altium

Результат розрахунків:

- висота плати — 160мм;
- ширина плати — 210мм;
- загальна площа плати — 33647,291мм²;
- загальна площа компонентів на платі — 14527,781мм²;
- коефіцієнт заповнення плати — 22% .

3.2.2 Розрахунок параметрів друкованих провідників

Для розрахунку ширини друкованих провідників необхідно визначити максимальне значення струму та напруги, що проходять через кола.

Аналізуючи схему електричну принципову та параметри усіх компонентів схеми провідники можна розділити на дві категорії. Розрахунок проводився за допомогою програмного забезпечення PTC Mathcad. Результати розрахунків наведені в таблиці 3.3, де U — максимально можлива напруга, I — максимально можливий струм.

Таблиця 3.3 — Результат розрахунку параметрів провідників

Тип провідника	U , В	I , А	Ширина провідника у вузькому місці, мм	Ширина провідника у широкому місці, мм
Силовий	27	0,2	0,55	0,9
Сигнальний	5	0,001	0,4	0,55

Детальний розрахунок наведений в додатку Г.

Також необхідно розрахувати зазори між елементами друкованого монтажу за формулою:

$$S_{\min} = S_m + \Delta t_{\text{во}} \quad (3.6)$$

де S_m — мінімальна допустима відстань між сусідніми друкованими об'єктами; $\Delta t_{\text{во}}$ — допуск на ширину провідника.

Відповідно обраному класі точності дані параметри рівні $S_m = 0,25$ мм, $\Delta t_{\text{во}} = 0,1$ мм. Отже S_{\min} складає 0,35 мм.

3.2.3 Трасування провідників

Усі наведені вище розрахунки проводились для внесення правил у редакторі Altium PCB для розміщення компонентів на платі та розведення провідників. Результати трасування зображені на рис. 3.2 та рис. 3.3.

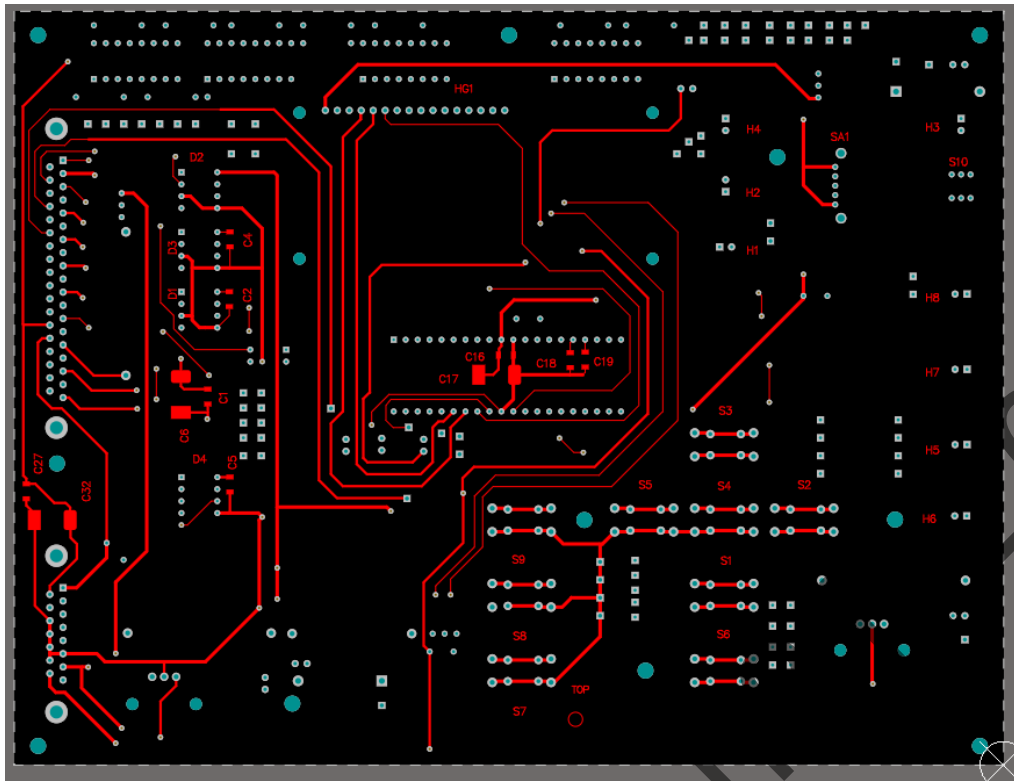


Рисунок 3.2 — Верхній шар металізації

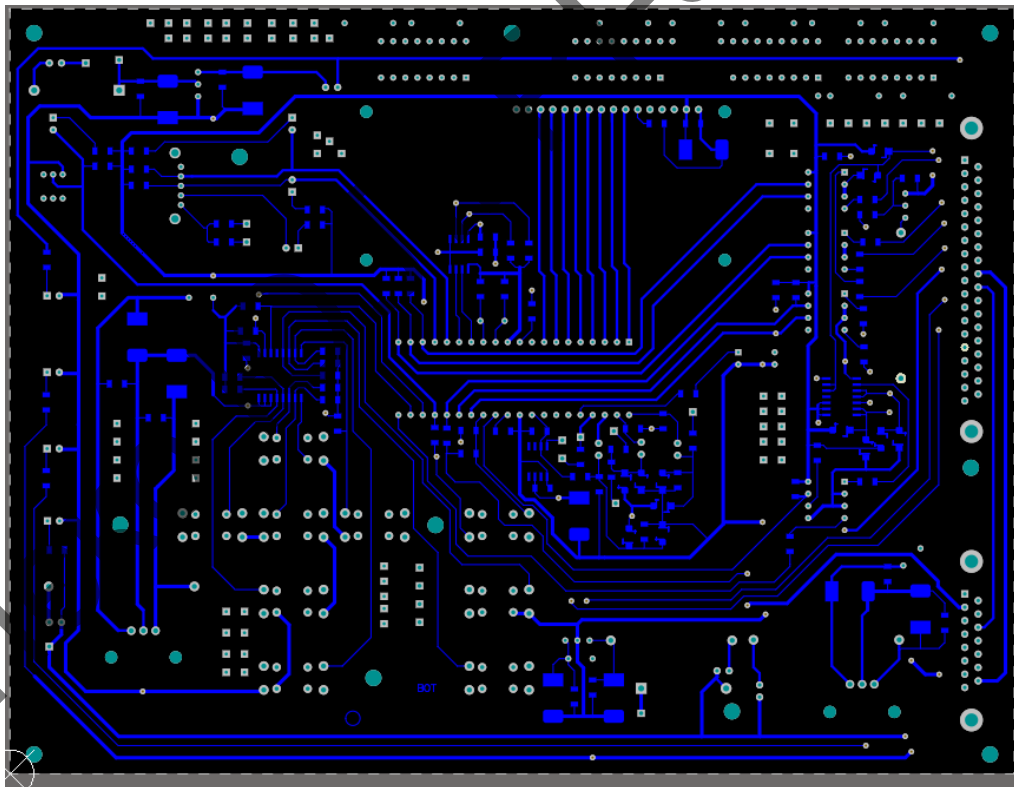


Рисунок 3.3 — Нижній шар металізації

Була виконана перевірка на відповідність правилам трасування та усунені помилки. Тому можна переходити до проектування корпусу пристрою.

3.3 Конструкція приладу

Для подальшого проектування пристрою використовується програмне забезпечення КОМПАС. Завдяки ньому можна спроектувати корпус та розмістити у ньому плату. Також дане програмне забезпечення використовується для складання відповідних креслень на графічного матеріалу.

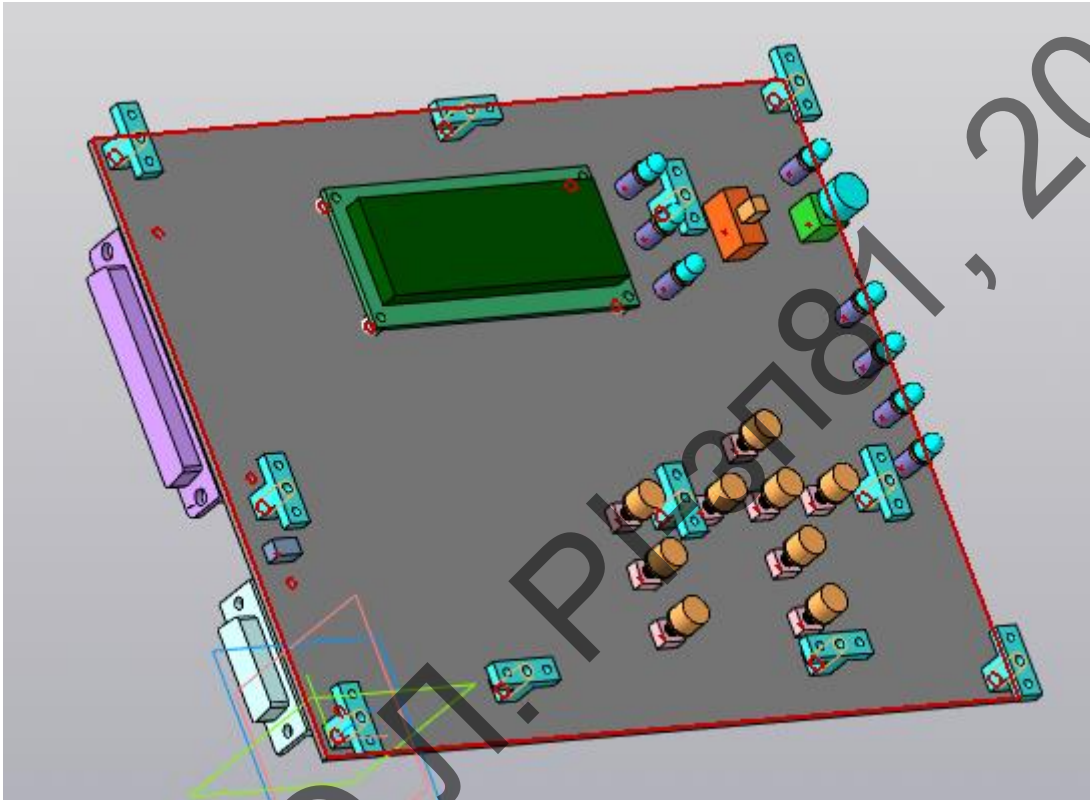


Рисунок 3.4 — 3D модель плати у середовищі КОМПАС

Конструкція приладу буде складатися з корпусу прямокутної форми та лицьової панелі. В корпусі та лицьовій панелі необхідно передбачити отвори для світлодіодів, кнопок, перемикачів, клемм та роз'ємів.

Згідно технічного завдання матеріал корпусу має бути зі сплаву алюмінію. Вибір матеріалу залежить від його доступності на ринку, обладнання для обробки та можливості його використання у радіоелектронних пристроях. Враховуючи умови експлуатації, а саме використання в цехових умовах, що тим самим підвищує вірогідність ударів та подряпин було надано перевагу алюмінію. Також не останню роль у виборі матеріалу корпусу відіграли наявні на підприємстві матеріали та обладнання. Алюміній достатньо пластичний, міцний, легкий та технологічний матеріал. Також він має вищу ударостійкість і зносостійкість в порівнянні з ABS пластиками. Алюміній

стійкий до ультрафіолетового випромінювання та не схильний до руйнування нафтовими сполуками. Недолік даного матеріалу схильність до корозії. Основні фізико-механічні властивості матеріалу наведені в таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 — Фізичні властивості алюмінію Д16

Температура, при якій отримані дані властивості, [Град]	20	100
Модуль пружності першого роду, [МПа]	0,72	
Коефіцієнт температурного (лінійного) розширення (діапазон 20 ⁰ -Т), [1 / Град]		22,9
Коефіцієнт теплопровідності (теплоємність матеріалу), [Вт / (м · град)]		130
Щільність матеріалу, [кг / м3]	2770	
Питома теплоємність матеріалу (діапазон 20о - Т), [Дж/(кг · град)]		0,922

Корпус і лицева панель скріплюється гвинтами. В корпусі передбачені два вирізи для роз'ємів плати. Дані роз'єми додатково кріпляться до корпусу на два гвинтових з'єднання кожен, для забезпечення більшої жорсткості.

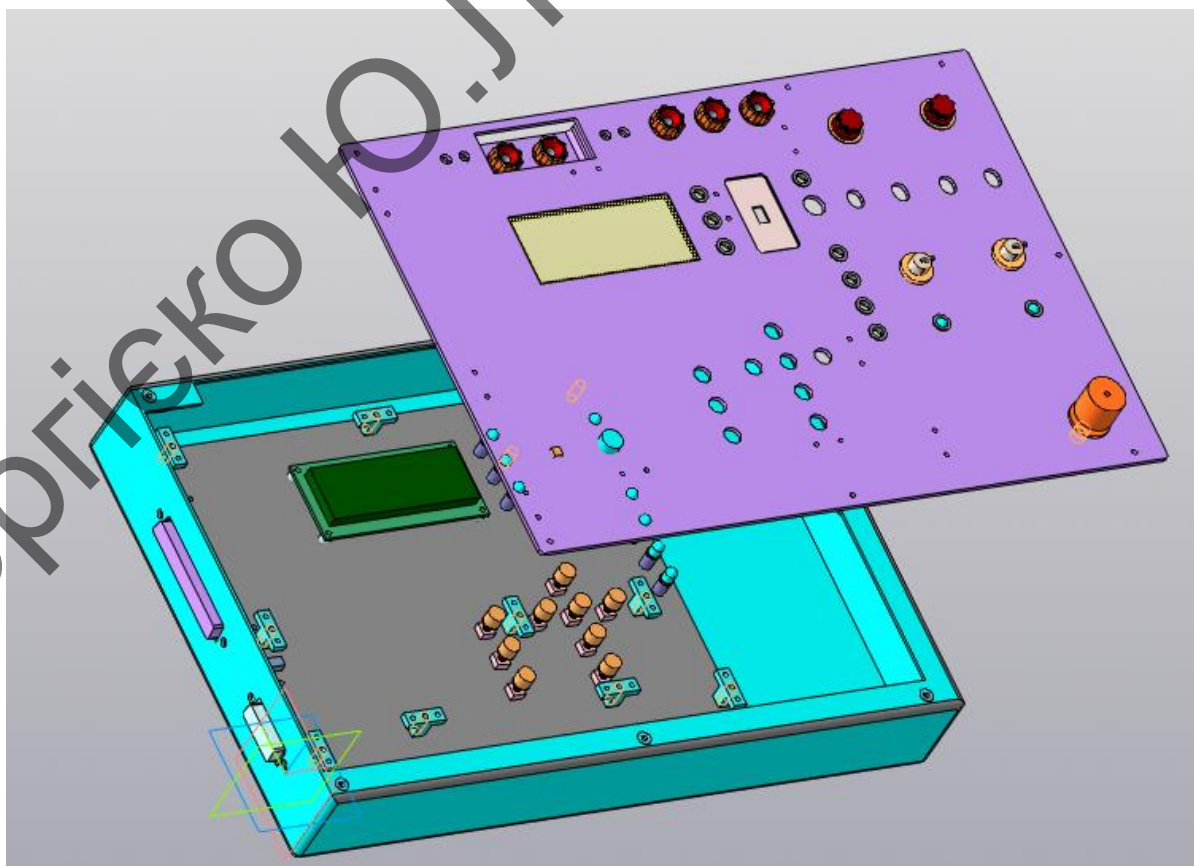


Рисунок 3.5 — 3D модель пульта у середовищі КОМПАС

Друкована плата закріплена на лицьовій панелі за допомогою кронштейнів. Кронштейни в свою чергу кріпляться до лицьової панелі за допомогою заклепок.

Доступ до органів керування, індикації пультом відбувається через лицеву панель. Також на лицеву панель винесені плавкі запобіжники, тумблери і клеми.

В готовому вигляді пристрій має такий вигляд (рис.3.6).

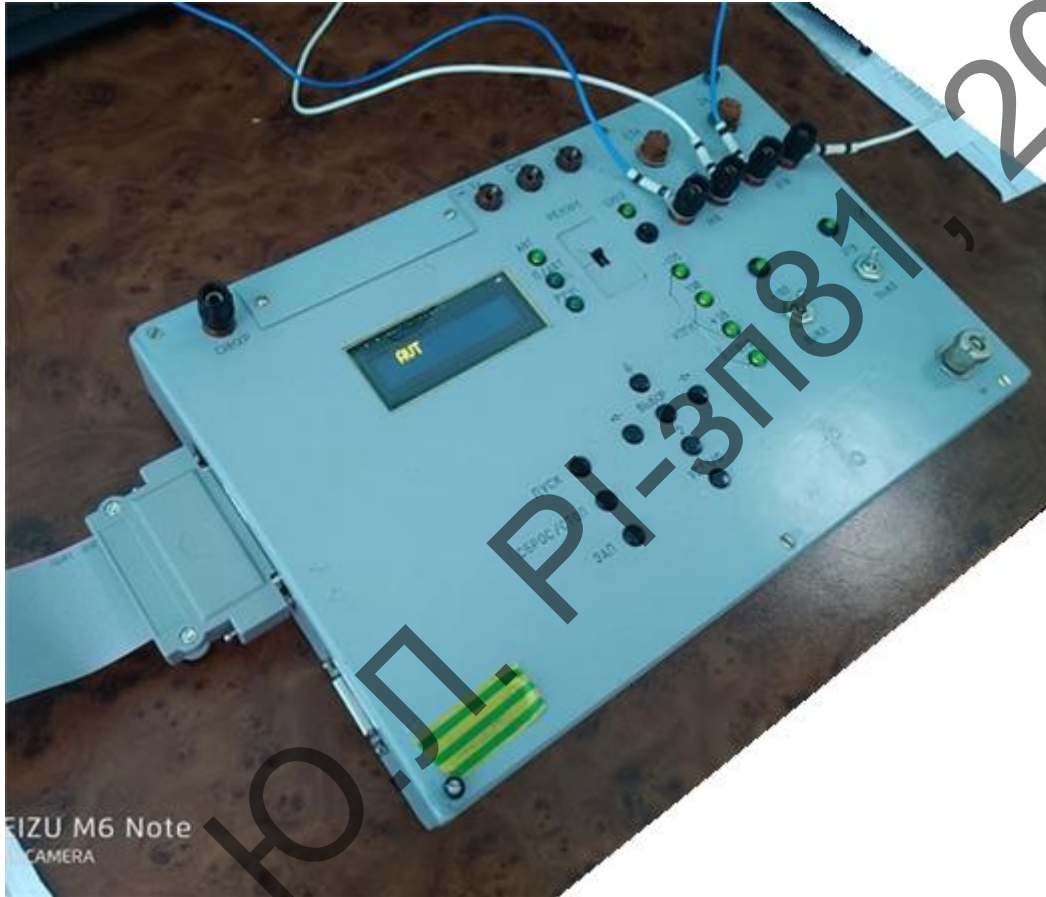


Рисунок 3.6 — Фотографія пульта

Таким чином, в завершеному вигляді пристрій має ергономічну, малогабаритну конструкцію і придатний виконувати свої функції.

4 РОЗРАХУНКИ, ЩО ПІДТВЕРДЖУЮТЬ ПРАЦЕЗДАТНІСТЬ ПРИЛАДУ

При розробці пристрою важливо забезпечити виконання певних функцій при збереженні значень параметрів в межах, заданих нормативно-технічною документацією при певних умовах експлуатації. Звідси виходить, що потрібно враховувати надійність, теплову і механічну дію на розроблюваний пристрій.

4.1 Розрахунок відбоміцності

За визначеною методикою, розрахуємо віброміцність друкованого вузла.

Вихідні данні:

- довжина плати $a = 0,06$ м;
- ширина плати $b = 0,025$ м;
- товщина плати $h = 1,6 \cdot 10^{-3}$ м;
- маса встановлених елементів на платі $m_{\varepsilon} = 0,05$ кг.

Параметри матеріалу плати:

- модуль потужності $E = 3,02 \cdot 10^{10}$ Н/м²;
- щільність $\rho = 2,053 \cdot 10^3$ кг/м²;
- коефіцієнт Пуассона $\xi = 0,22$.

Приведена маса плати з деталями визначається за формулою:

$$m = \rho h + m_{\varepsilon} . \quad (4.1)$$

Циліндрична жорсткість, в свою чергу рахується за формулою:

$$D = \frac{E \cdot h^3}{12(1 - \xi^2)} . \quad (4.2)$$

Плата закріплюється в чотирьох крайніх точках склотекстоліту, відповідно значення функції для її кріплення визначається за формулою:

$$\varphi(\beta) = \pi^2 \sqrt{\frac{1 + 1,621 \cdot \frac{\xi}{\beta} + \frac{1}{\beta^2}}{1 + 1,621 \cdot \frac{1}{\beta^3} + \frac{1}{\beta^6}}}.$$
(4.3)

З цього виходить, що резонансна частота плати визначається за формулою:

$$f_0 = \frac{\varphi(\beta)}{2 \cdot \pi \cdot a^2} \sqrt{\frac{D}{m}}.$$
(4.4)

Отримана резонансна частота плати $f_0 = 834 \text{ Гц}$, що в свою чергу в 13 разів перевищує максимальну частоту впливу вібрації ($f = 60 \text{ Гц}$).

Тобто, виконавши всі розрахунки надійності елементів, строк безвідмовної роботи розроблювального приладу складає близько 2,5 років. А вибраний варіант кріплення повністю співпадає вимогам віброміцності.

4.2 Розрахунок надійності

Розрахунок надійності проводимо згідно ДСТУ-2862-94.

Основні показники і характеристики надійності є:

$P(t)$ — вірогідність безвідмовної роботи;

$\lambda(t)$ — інтенсивність відмов;

T — середній час напрацювання до першої відмови;

$Q(t)$ — вірогідність відмови.

Розрахунок надійності полягає в визначенні показників надійності приладу за відомими характеристиками надійності складових компонентів і умов експлуатації. Дані для розрахунку надійності зведені в табл. 4.1

N_i — кількість елементів;

K_H — коефіцієнт навантаження;

a_t — температурний коефіцієнт;

a_e — коефіцієнт, враховуючий умови експлуатації;

$$\lambda_{pe} = \lambda_{oe} N_i K_H a_t a_e$$

Коефіцієнти навантаження електрорадіоелементів визначаються за формулами:

Для мікросхем за формулою:

$$K_H = \frac{\sum_{I=1}^n I_{вх}}{I_{вихмах}},$$

де $I_{вихмах}$ — максимальний вихідний струм, А; $I_{вх}$ — вхідний струм мікросхем, А; n — число навантажених входів.

Для конденсаторів за формулою:

$$K_H = \frac{U}{U_{доп}};$$

де U — напруга на обкладках, В.

Для резисторів за формулою :

$$K_H = \frac{P}{P_{доп}};$$

де P — розсіювана потужність.

Таблиця 4.1 — Дані для розрахунку надійності

Найменування елементів	N_i	$\lambda_{oe}, \Gamma^{-1}$	K_H	a_t	a_e	$\lambda_{oe} N_i K_H a_t a_e$
Конденсатори	42	$3,3 \cdot 10^{-9}$	0,1	0,45	10	$6,24 \cdot 10^{-8}$
Резистори	63	$0,4 \cdot 10^{-9}$	0,1	0,9	9	$2,04 \cdot 10^{-8}$
Оптрони	5	$3,0 \cdot 10^{-9}$	0,05	1,2	10	$9 \cdot 10^{-9}$
Діоди	14	$3,0 \cdot 10^{-9}$	0,05	1,2	10	$2,52 \cdot 10^{-8}$
Світодіоди	10	$3,0 \cdot 10^{-9}$	0,05	1,2	10	$1,8 \cdot 10^{-8}$
Транзистори	1	$3,0 \cdot 10^{-9}$	0,05	1,2	10	$1,8 \cdot 10^{-9}$
Мікросхеми	9	$2,0 \cdot 10^{-9}$	0,25	2	10	$9 \cdot 10^{-8}$
LED-індикатор	1	$2,0 \cdot 10^{-9}$	0,25	2	10	$1 \cdot 10^{-8}$
Перемикачі	13	$2,2 \cdot 10^{-9}$	0,12	1,1	10	$3,78 \cdot 10^{-8}$
Роз'єми	12	$0,3 \cdot 10^{-9}$	0,2	0,45	9	$2,92 \cdot 10^{-9}$
Друк. плата	1	$2,0 \cdot 10^{-9}$	1	1	10	$2 \cdot 10^{-8}$

Всього: $2,974 \cdot 10^{-7}$

Середній час напрацювання на відмову розрахуємо за формулою:

$$T_{cp} = \frac{1}{\lambda_{рез}} = 463600 \text{ год.}$$

Відповідно до отриманих розрахунків час напрацювання на відмову становить 77297 дня безперервної роботи приладу.

Вірогідність безвідмовної роботи приладу протягом 1 року роботи будемо розраховувати за формулою:

$$P(t) = e^{-\lambda_{рез} \cdot t} = 0,99$$

Вірогідність відмов за 1 рік роботи розраховується за формулою:

$$Q(t) = 1 - P(t) = 0,0098$$

Вірогідність безвідмовної роботи приладу протягом 5 років роботи:

$$P(t) = e^{-\lambda_{рез} \cdot t} = 0,952$$

З часом вірогідність безвідмовної роботи приладу зменшується, а вірогідність відмов збільшується. Що означає чим більше час напрацювання, тим менше вірогідність роботи пристрою без відмов.

ВИСНОВКИ

1 В результаті огляду ринку готових аналогічних приладів розглянуто параметри та характеристики аналогів. Усі зазначені пристрої мають великі габарити, і є застарілими, тому розробка аналогічного пристрою з цифровою обробкою є актуальним.

2 Розроблено структурну схему пристрою, яку було уточнено після розробки принципової схеми. Паралельно з цим проводився підбір елементної бази так, щоб вона задовольняла вимогам технічного завдання.

3 Перед розробкою електронного модуля проведено аналіз конструкції з точки зору конструктора та технолога, визначено необхідну ширину друкованого провідника та зазорів, розміри плати, матеріал для неї та технологію виготовлення. В середовищі Altium Designer спроектовано електронний модуль. Надалі у середовищі КОМПАС виконано розробку конструкції корпусу.

4 Проведені розрахунки показують, що розміри плати та спосіб її кріплення підібрані коректно, резонансна частота плати не знаходиться в межах вібраційних умов роботи пристрою. А час безперервної роботи пристрою набагато більший за зазначений в технічному завданні.

5 За результатами проведеної роботи створено конструкторську документацію. Прилад відповідає вимогам технічного завдання.

6 Даний пристрій розроблено на замовлення Державної акціонерної холдингової компанії «АРТЕМ» та вводиться в експлуатацію.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. ЗАПАДПРИБОР. КАСО-I апаратура [Електронний ресурс] / ЗАПАДПРИБОР – Режим доступу до ресурсу: <https://zapadpribor.com/kaso-i-apparatura/>.
2. Octopart [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://octopart.com/>
3. РКСкомпоненти [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.rcscomponents.kiev.ua/>
4. Д16 - Алюминиевый деформируемый сплав Марочник ... [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: http://www.splav-kharkov.com/mat_start.php?name_id=1438
5. Фізико-теоретичні основи конструювання електронних апаратів/ Зінковський Ю. Ф. — К.: НТУУ «КПІ», 2012. — 56 с.
6. Фізико-теоретичні основи конструювання електронних апаратів: Методичні рекомендації до виконання розрахункових а контрольних робіт / Уклад. С. М. Перегудов, М. В. Зінченко. — К.: НТУУ «КПІ», 2012. — 56 с.
7. Конструирование РЭА. Оценка и обеспечение тепловых режимов. Учеб. пособие / В. И. Довнич, Ю. Ф. Зинковський. — К.: УМК ВО, 1990. — 240с.

ДОДАТОК А. ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

Сергієко Ю.Л. РІ-3П81, 2021

ДОДАТОК Б. СПЕЦИФІКАЦІЯ НА ДРУКОВАНІЙ ВУЗОЛ

Сергієко Ю.Л. РІ-3781, 2021

ДОДАТОК В. ПЕРЕЛІК ЕЛЕМЕНТІВ

Сергієко Ю.Л. РІ-3781, 2021

ДОДАТОК Г. РОЗРАХУНКИ

Скріншоти розрахунків параметрів провідників у середовищі
PTC Mathcad наведені на рис. В.1 — рис. В.4.

Для сигнальних:

Мінімальне значення ширини друкованого провідника t1 у вузькому місці, мм:

Вибираємо за класом точності- $t_{minD_S} := 0.35 \text{ mm}$

Допуск на ширину провідника (нижнє відхилення) $\Delta t_{no_S} := -0.05 \text{ mm}$

$$t1V_S := t_{minD_S} + |\Delta t_{no_S}| = 0.4 \text{ mm}$$

ПРИМІТКА: Для завдань підвищеної складності - клас точності 3, для завдань звичайної складності - клас точності 2.

Мінімальне значення ширини друкованого провідника t1 у широкому місці, мм:

Вибираємо за класом точності (на один менше) $t_{minD_S} := 0.45 \text{ mm}$

Допуск на ширину провідника (нижнє відхилення) $\Delta t_{no_S} := -0.1 \text{ mm}$

$$t1III_S := t_{minD_S} + |\Delta t_{no_S}| = 0.55 \text{ mm}$$

ПРИМІТКА: Для завдань підвищеної складності - клас точності 2, для завдань звичайної складності - клас точності 1.

Мінімально допустиму ширину провідника t2 з урахуванням допустимого падіння
напруги на ньому (3%):

Питомий опір провідників (Ом*мм²/м)- $\rho := 0.0175 \frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}}$

Довжина провідника (м)- $l_S := 0.08 \text{ m}$

Товщина фольги (мм)- $h_S := 35 \cdot 10^{-3} \text{ mm}$

Прикладена напруга (В)- $U_{жив_S} := 5 \text{ V}$

Максимальний струм (А)- $I_{max_S} := 0.01 \text{ A}$

$$t2_S := \frac{l_S \cdot I_{max_S} \cdot \rho}{h_S \cdot U_{жив_S} \cdot 0.03} = 2.667 \times 10^{-3} \text{ mm}$$

ПРИМІТКА: Прикладена напруга і максимальний струм визначаються за схемою електричною принциповою та DataSheet на корпус. Довжина провідника обирається згідно довжини з'єднання в файлі pcb3.pcb.

Мінімально допустиму ширину провідника t3 з урахуванням допустимого рівня
струму на ньому:

Максимальний струм (А)- $I_{max_S} := 0.01 \text{ A}$

Товщина фольги (мм)- $h_S := 35 \cdot 10^{-3} \text{ mm}$

Допустима щільність струму в провіднику (А/мм²)- $j_S := 20 \frac{\text{A}}{\text{mm}^2}$

$$t3_S := \frac{I_{max_S}}{h_S \cdot j_S} = 0.014 \text{ mm}$$

Для силових:

Мінімальне значення ширини друкованого провідника $t1$ у вузькому місці, мм:

Вибираємо за класом точності-

$$t_{minD_P} := 0.45\text{mm}$$

Допуск на ширину провідника (нижнє відхилення)

$$\Delta t_{nop} := -0.1\text{mm}$$

$$t1V_P := t_{minD_P} + |\Delta t_{nop}| = 0.55\text{mm}$$

ПРИМІТКА: Для завдань підвищеної складності - клас точності 3, для завдань звичайної складності - клас точності 2.

Мінімальне значення ширини друкованого провідника $t1$ у широкому місці, мм:

Вибираємо за класом точності-

$$t_{minD_P} := 0.75\text{mm}$$

Допуск на ширину провідника (нижнє відхилення)

$$\Delta t_{nop} := -0.15\text{mm}$$

$$t1III_P := t_{minD_P} + |\Delta t_{nop}| = 0.9\text{mm}$$

ПРИМІТКА: Для завдань підвищеної складності - клас точності 2, для завдань звичайної складності - клас точності 1.

Мінімально допустиму ширину провідника $t2$ з урахуванням допустимого падіння напруги на ньому (3%):

Питомий опір провідників (Ом*мм²/м)-

$$\rho := 0.0175 \frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}}$$

Довжина провідника (м)-

$$l_P := 0.8\text{m}$$

Товщина фольги (мм)-

$$h_P := 35 \cdot 10^{-3}\text{mm}$$

Прикладена напруга (В)-

$$U_{жив_P} := 27\text{V}$$

Максимальний струм (А)-

$$I_{max_P} := 0.2\text{A}$$

$$t2_P := \frac{l_P \cdot I_{max_P} \cdot \rho}{h_P \cdot U_{жив_P} \cdot 0.03} = 0.099\text{mm}$$

ПРИМІТКА: Прикладена напруга і максимальний струм визначаються за схемою електричної принциповою та DataSheet на корпус. Довжина провідника обирається згідно довжини з'єднання в файлі pcb3.pcb.

Мінімально допустиму ширину провідника $t3$ з урахуванням допустимого рівня струму на ньому:

Максимальний струм (мА)-

$$I_{max_P} := 0.2\text{A}$$

Товщина фольги (мм)-

$$h_P := 35 \cdot 10^{-3}\text{mm}$$

Допустима щільність струму в провіднику (А/мм²)-

$$j_P := 20 \frac{\text{A}}{\text{mm}^2}$$

$$t3_P := \frac{I_{max_P}}{h_P \cdot j_P} = 0.286\text{mm}$$

З розрахованих даних обираємо ширину провідників у вузькому та широкому місці, при цьому повинна виконуватись умова:

Для силових:

$$t_{\min_v} \geq \begin{cases} t1V_P \\ t2_P \\ t3_P \end{cases} \text{ у вузькому місці}$$

$$t_{\min_w} \geq \begin{cases} t1III_P \\ t2_P \\ t3_P \end{cases} \text{ у широкому місці}$$

$$t_{\min_vS} := \max(t1V_P, t2_P, t3_P) = 0.55\text{-mm}$$

$$t_{\min_wS} := \max(t1III_P, t2_P, t3_P) = 0.9\text{-mm}$$

Для сигнальних:

$$t_{\min_v} \geq \begin{cases} t1V_S \\ t2_S \\ t3_S \end{cases} \text{ у вузькому місці}$$

$$t_{\min_w} \geq \begin{cases} t1III_S \\ t2_S \\ t3_S \end{cases} \text{ у широкому місці}$$

$$t_{\min_vP} := \max(t1V_S, t2_S, t3_S) = 0.4\text{-mm}$$

$$t_{\min_wP} := \max(t1III_S, t2_S, t3_S) = 0.55\text{-mm}$$

Рекомендована ширина для сигнального провідника

$$t_{\min_wP} = 0.55\text{-mm}$$

Рекомендована ширина для силового провідника

$$t_{\min_wS} = 0.9\text{-mm}$$

Якщо не можливо провести провідник шириною

$$t_{\min_wP} = 0.55\text{-mm}$$

та

$$t_{\min_wS} = 0.9\text{-mm}$$

то можна використувати ширину провідників

$$t_{\min_vP} = 0.4\text{-mm}$$

та

$$t_{\min_vS} = 0.55\text{-mm}$$

Рисунок В.3 — Результати розрахунку провідників

Розрахунок зазорів S між елементами друкованого монтажу:

Найменша номінальна відстань Sm між елементами провідникового рисунку (між двома провідниками)

Мінімально допустима відстань між сусідніми друкованими об'єктами (мм)-

$$S_m := 0.25\text{mm}$$

Допуск на ширину провідника (верхнє відхилення) (мм)-

$$\Delta t_{\text{bo}} := 0.1\text{mm}$$

$$S_{\min} := S_m + \Delta t_{\text{bo}} = 0.35\text{-mm}$$

Рисунок В.4 — Розрахунок зазорів між елементами