

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Інститут інформатики та радіоелектроніки,
Факультет радіоелектроніки та телекомунікацій
(повне найменування інституту, факультету)

Кафедра інформаційних технологій електронних засобів
(повне найменування кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломного проекту (роботи)
бакалавра
(ступінь вищої освіти)

на тему «РОЗРОБКА ЦИФРОВОГО ТЕРМОМЕТРА»

Виконав: студент(ка) 4 курсу, групи РТ-117
Спеціальності 172 Радіотехніка та
телекомунікації
(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація)
Радіоелектронні апарати та засоби

Касюкін М.А.
(прізвище та ініціали)

Керівник Фурманова Н.І.
(прізвище та ініціали)

Рецензент Неласа Г.В.
(прізвище та ініціали)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»
 (повне найменування закладу вищої освіти)

Інститут, факультет Інститут інформатики та радіоелектроніки,
Факультет радіоелектроніки та телекомунікацій
 Кафедра інформаційних технологій електронних засобів
 Ступінь вищої освіти бакалавр
 Спеціальність 172 «Телекомунікації та радіотехніка»
(код і найменування)
 Освітня програма (спеціалізація) Радіоелектронні апарати та засоби
(назва освітньої програми (спеціалізації))

ЗАТВЕРДЖУЮ

В. о. зав. каф. ІТЕЗ Огренич Є.В.,

канд. техн. наук


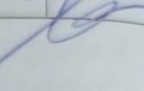
« 28 » 05 2021 року

ЗАВДАННЯ
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТА

Касюкіна Максима Андрійовича
(прізвище, ім'я, по батькові)

- Тема проєкту (роботи) Розробка цифрового термометра
 керівник проєкту (роботи) Фурманова Наталія Іванівна, канд. техн. наук, доцент,
доцент кафедри інформаційних технологій електронних засобів
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
 затверджені наказом закладу вищої освіти від «26» квітня 2021 року №161
- Строк подання студентом проєкту (роботи) 7 червня 2021 року
- Вихідні дані до проєкту (роботи): схема електрична принципова, тип
виробництва – середньосерійний, матеріал плати – склотекстоліт СФ 1-50-1,5
ГОСТ 10316-78, кліматичне виконання УХЛ 4.2
- Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно
 розробити) 1 Аналіз технічного завдання до розробки цифрового термометра.
2 Розробка конструкції цифрового термометра. 3 Конструкторські розрахунки
- Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
16 рисунків; 9 таблиць; презентація роботи - 15 слайдів; креслення плати,
складальне креслення друкованого вузла, креслення корпусу, складальне креслення
цифрового термометра

6. Консультанти розділів проєкту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада Консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	Прий викон завдан
Розділи 1-3	Фурманова Н.І., доц.	05.04	
Нормоконтроль	Поспеева І.Є., ст. викладач	28.05	

7. Дата видачі завдання «25» березня 2021 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проєкту (роботи)	Строк виконання етапів проєкту (роботи)	Приміт
1	Визначення тематики роботи	1 тиждень	Викона
2	Аналіз схеми електричної та вибір ЕРЕ	2 тиждень	Викона
3	Ескіз компонування виробу з урахування експлуатації	2 тиждень	Викона
4	Розробка креслення плати та складального креслення друкованого вузла	3 тиждень	Викона
5	Розробка складального креслення	4 тижні	Викона
6	Аналіз конструкції, оцінка технологічності	5 тижні	Викона
7	Розробка дизайну додаткових варіантів корпусів	5 тиждень	Викона
8	Проведення конструкторських розрахунків	6 тиждень	Викона
9	Випуск технологічної документації	6 тиждень	Викона
10	Оформлення пояснювальної записки	7 тиждень	Викона
11	Оформлення супровідної документації	7 тиждень	Викона
12	Нормоконтроль та рецензування	8 тиждень	Викона
13	Захист роботи	9 тиждень	Викона

Студент


(підпис)

Керівник проєкту (роботи)


(підпис)Касюкін М.А.
(прізвище та ініціали)Фурманова Н.І.
(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

ПЗ: 51 с., 16 рис., 9 табл., 22 джерела.

Об'єктом розробки в даній кваліфікаційній роботі є комплект конструкторської документації для цифрового термометра.

Мета роботи – проектування цифрового термометра.

Задачі дипломного проектування:

- розробити комплект конструкторської документації для виготовлення цифрового термометра на основі мікроконтролера, відповідного першої групи експлуатації за ГОСТ 11478-88 для великосерійного типу виробництва;

- набути навичок з конструювання радіоелектронних пристроїв, і вибору конструктивних рішень. Прилад повинен відповідати високим вимогам технологічності, ергономіки.

КОНСТРУКЦІЯ, КОРПУС, ПЛАТА, ЕСТЕТИКА, ЕРГОНОМІКА,
ТЕХНОЛОГІЧНІСТЬ, ЕКСПЛУАТАЦІЯ, НАДІЙНІСТЬ

ЗМІСТ

Перелік умовних скорочень	6
Вступ.....	7
1 Аналіз технічного завдання до розробки цифрового термометра	10
1.1 Призначення і принцип роботи цифрового термометра.....	10
1.2 Технічні вимоги, що пред'являються до пристрою	12
1.2.1 Експлуатаційні вимоги	12
1.2.2 Вимоги технологічності	14
1.2.3 Вимоги ергономіки та естетики	15
1.2.4 Вимоги ремонтпридатності.....	16
1.2.5 Вимоги техніки безпеки	17
1.3 Постановка задачі виконання кваліфікаційної роботи бакалавра	18
2 Розробка конструкції цифрового термометра.....	19
2.1 Обґрунтування вибору конструкції.....	19
2.2 Обґрунтування вибору елементної бази	22
2.3 Забезпечення технічних вимог	29
2.3.1 Забезпечення експлуатаційних вимог.....	29
2.3.2 Забезпечення вимог технологічності	30
2.3.3 Забезпечення естетики і ергономіки	31
2.3.4 Забезпечення вимог ремонтпридатності	32
2.3.5 Забезпечення техніки безпеки	32
3 Конструкторські розрахунки.....	34
3.1 Розрахунок розмірів друкованої плати	34
3.2 Розрахунок надійності	40
3.3 Розрахунок коефіцієнту заповнення плати	43
3.4 Розрахунок на дію удару	45
Висновки	47
Перелік посилань.....	49

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

ДП	друкована плата
ЕРЕ	Електрорадіоелементи
КД	конструкторська документація
КСС	Конструкторська схема складання
ОЗП	Оперативний запам'ятовуючий пристрій
РЕА	радіоелектронна апаратура

ВСТУП

Кімнатний термометр (електронний, рідинний, дерев'яний і побутовий на картонній основі) є необхідним приладом для контролю показників середовища. Моделі для вимірювання температури повітря в приміщенні сьогодні можуть поєднувати свої функції з гігрометрами і контролювати вологість, працювати як будильник і електронний годинник. Термометр, необхідний для точного визначення даних, може підлягати перевірці, мати виносні датчики для виконання вимірювань.

Кімнатний термометр - прилад, за допомогою якого вимірюється температура повітря всередині приміщень. Залежно від виконання обладнання може призначатися для використання виключно при показниках середовища вище 0 градусів. Для приміщення без опалення краще вибирати моделі з розширеним температурним діапазоном до -10 або -20 °С. Вони вважаються складськими, тоді як звичайний прилад класифікується як побутовий.

Устаткування для вимірювання температури повітря за класифікатором ОКПД 2 має код 33.20.51.121. Залежно від виконання, воно може бути механічним або електронним, з проводовим і автономним живленням. Рідинні прилади раніше мали ртутне наповнення, сьогодні капіляр заповнюється метілкарбітолом або іншими безпечними речовинами. При поломці виробу не виникає небезпеки хімічного отруєння - воно повністю нешкідливе.

За своїм застосуванням кімнатні термометри не мають особливих обмежень. Вони використовуються в житлових будинках: на приватних і громадських територіях, в дитячих і лікувальних установах, офісах, на складах. Точність вимірювання в середньому має похибку від 0,1 до 1°С в залежності від різновиду приладу.

У більшості випадків зразки цього типу мають настінне кріплення, що дозволяє зафіксувати їх далеко від прямих сонячних променів і інших джерел тепла, на зручному для перевірки даних рівні.

Всі існуючі кімнатні термометри можна поділити на категорії відповідно до типу їх виконання і технічних особливостей:

- механічні: стрілочні біметалічні моделі досить популярні в якості приладів для кімнатного застосування. Такі аналогові метеостанції можуть випускатися з вологоміром, барометром, вважаються досить надійними. Гібридний прилад зазвичай називають термогігрометри;

- електронні: сучасні термометри з проводовим або батарейним (автономним) живленням. Можуть мати вбудований акумулятор, який вимагає лише періодичної підзарядки. У таких приладів є дисплей, кнопочке або сенсорне керування. Моделі електронних термометрів часто мають в своїй конструкції додаткові модулі: годинник, будильник, гігрометр, осередки пам'яті, можуть з'єднуватися з системою розумного будинку для автоматичної підтримки заданого температурного режиму;

- рідинні: найпростіші в експлуатації. Такі термометри також зараховуються до механічних, мають шкалу і вертикально розташований капіляр з рідким вмістом. Замість ртуті сьогодні використовується пофарбована технічна рідина - найчастіше метілкарбітол (метилова спиртова основа), для наочної демонстрації результатів вимірювань пофарбована в червоний колір;

- метеостанції – це повноцінні електронні або аналогові прилади з великою кількістю опцій: з вологоміром, календарем, визначником місячних фаз і іншими функціями. З їх допомогою досить легко отримувати точні дані про клімат в приміщенні, зберігати їх, порівнювати з попередніми показаннями.

Термометри можуть виконуватись у різних корпусах: дерев'яному, пластиковому, на картонній підкладці, у склі або гіпсі.

Деякі виробники термометрів вказують, що їх прилад повірений - пройшов перевірку на точність, але ця характеристика сьогодні не є обов'язковою для обладнання даного типу. Моделі без обов'язкової сертифікації також можуть продаватися без обмежень. Показання приладів з

позначкою проведеної повірки, що приймаються до обліку контролюючими органами, періодично (раз в 1 рік, в 3 роки) їх потрібно знову калібрувати для підтвердження точності результатів.

При виборі кімнатного термометра варто звернути увагу на важливі параметри.

1) Надійність: сучасні виробники роблять свої прилади з ударостійкого скла. За типом корпусу краще вибирати найнадійніші: дерево, метал, якісний пластик;

2) Наявність сертифіката: реєстраційне посвідчення зазвичай є тільки у термометрів, які потребують періодичної повірки. У решти устаткування похибка в роботі не регламентується;

3) Спосіб кріплення: користувач може обрати настінні, настільні, підлогові моделі або універсальні варіанти - вибір тільки за покупцем;

4) Використовувана рідина: ртутні термометри сьогодні не використовуються в побуті;

5) Дизайн: варто вибирати варіанти, що гармонійно вписуються в інтер'єр, враховувати призначення приміщення [1].

Для перегляду мінімальних і максимальних значень температури і їх скидання використовується кнопка SB1. Перемикачем SA1 вибирається датчик.

Після подача живлення на схему, на індикаторі короткочасно відобразяться прочерки, і далі відобразиться температура обраного датчика. Крок вимірювань в інтервалі вимірюваних температур від - 9,9 до 99°C становитиме 0,5 °С, а в інтервалах від -55 до -10 °С і + 100 ... + 125 крок складає 1 °С.

Під час першого запуску відбудеться перезапис мінімальної і максимальної температури в ОЗП, а через п'ять хвилин і в незалежній пам'яті. При наступних запусках це буде відбуватися тільки в разі змін записаних даних. Факт запису даних в енергонезалежну пам'ять відображається загорянням всіх точок. Період вимірювання складає приблизно 780 мс.

Для того, щоб переглянути мінімальні і максимальні значення температури необхідно короткочасно натиснути на кнопку SB1, при цьому по черзі висвітяться максимальне, а потім мінімальне значення з індикацією П - максимум і U-мінімум. Для скидання цих показань потрібно утримувати кнопку до появи 3-х прочерків.

Крім того схема, в автоматичному режимі перевіряє підключення і працездатність датчиків, справність лінії. У разі обриву, непідключенні датчика, короткого замикання додатнього виводу датчика з інформаційним дротом або переполюсуванні виводів датчика на індикаторі відобразиться «Er1». При короткому замиканні від'ємного виводу датчика з інформаційним дротом з'явиться надпис «Er2».

Характеристики електронного термометра:

- інтервал температур - від -55 до +125°C;
- крок показань:
при температурі (-50 ... -10) °С і (+ 100 ... + 120) °С градусів - 1°C;
при температурі (-9,9 ... + 99,9) °С - 0,1°C;
- напруга живлення - 5 В;

- похибка датчика температури DS18B20 - 0.5 °С.

1.2 Технічні вимоги, що пред'являються до пристрою

1.2.1 Експлуатаційні вимоги

Виріб повинен зберігати свої параметри в межах норм, установлених технічними завданнями, стандартами або технічними умовами протягом термінів служби і термінів зберігання, зазначених у технічному завданнях, стандартах або технічних умовах, після і (або) в процесі впливу кліматичних факторів.

Розроблений прилад повинен експлуатуватися в приміщеннях (І група апаратури за ГОСТ 11478 - 88, категорія виконання - УХЛ 4.2 за ГОСТ 15150-69, для експлуатації в лабораторних, капітальних житлових та інших приміщеннях подібного типу.

Значення температури повітря при експлуатації, °С:

а) робочі:

верхнє значення.....+ 35;

номер найнижчого.....+10;

б) граничні робочі:

верхнє.....+ 40;

нижня..... +1.

Відносна вологість:

середньорічне значення.....60% при 20 °С;

верхнє значення.....80% при 25 °С.

абсолютна вологість, середньорічне значення:.....10 г * м⁻³.

Види випробувань і характеристика фактору:

а) випробування на міцність при впливі синусоїдальних вібрацій:

діапазон частот.....(10 – 150) Гц;

амплітуда віброприскорень.....19,6(2) м/с;

кількість циклів коливання частоти в кожному положенні апаратури.....20;

б) випробування на міцність при транспортуванні:

прискорення.....147 (15) м/с;
 тривалість ударного імпульсу.....11 мс;
 частота ударів.....(60-120) уд. / хв;
 кількість ударів.....1000.

в) випробування на міцність при впливі механічних ударів багаторазової

дії:

прискорення.....98 (10) м/с;
 тривалість ударного імпульсу.....16 мс;
 частота ударів.....(60-120) уд./хв;
 кількість ударів.....1000.

г) випробування на стійкість при впливі механічних ударів багаторазової

дії:

прискорення.....98 (10) м/с;
 тривалість ударного імпульсу.....16 мс;
 частота ударів.....(60-120) уд./хв;
 кількість ударів в кожному експлуатаційному положенні.....не менше 20;

д) випробування на вплив підвищеної температури середовища:

робоча підвищена температура.....40°C;
 тривалість.....2 год;
 гранична підвищена температура.....55°C;
 тривалість.....2 год;

е) випробування на вплив зниженої температури середовища:

гранична знижена температура.....-40°C;
 тривалість.....2 год;

є) випробування на вплив зміни температури середовища:

робоча підвищена температура.....40°C;
 робоча знижена температура.....-10°C;
 кількість циклів.....2;

ж) випробування на вплив зниженого атмосферного тиску:

атмосферний тиск.....70кПа або 525 мм. рт. ст.;

температура.....25±10°C;

тривалість.....0,5 год;

і) випробування на вплив підвищеної вологості:

відносна вологість.....93%;

температура.....25°C;

тривалість.....96 год.

В процесі експлуатації основні параметри пристрою повинні зберігатися в межах допустимих значень.

1.2.2 Вимоги технологічності

Технологічність конструкції виробу - це пристосованість до обмеженого витрачання трудових, матеріальних і енергетичних ресурсів при підготовці виробництва та промислового випуску виробів в заданій кількості по вищій категорії якості (виробнича технологічність), а також при технічному обслуговуванні та ремонті (експлуатаційна технологічність).

Для оптимізації витрат при виробництві, експлуатації, ремонті з урахуванням заданих показників якості необхідно, щоб пристрій був високотехнологічним.

Можна виділити ряд рекомендацій по збільшенню технологічності:

- бажано не використовувати або обмежити використання оригінальних ЕРЕ;
- обмежити, а краще виключити застосування великогабаритних ЕРЕ, які неминуче призведуть до наявності об'ємного монтажу та ручної пайки і ручної установки на плату;
- вибір розмірів і форми компонентів, деталей і вузлів конструкції з урахуванням економічно доцільних для заданих умов виробництва способів формоутворення;

- використовувати типові або добре відпрацьовані на даному підприємстві технологічні процеси;
- використовувати двосторонній монтаж плати для підвищення автоматизації;
- використовувати автоматизовану установку і пайку ЕРЕ;
- зменшити використання дефіцитних або токсичних матеріалів, дорогих металів;
- зменшити номенклатуру використовуваних матеріалів і напівфабрикатів;
- використання обґрунтованих сортаментів і марок матеріалів, які дозволяють знизити матеріаломісткість виробу;
- максимальна надійність всіх елементів при збереженні прийнятної вартості.
- збільшення застосовуваності виробу і його складових частин за допомогою стандартизації та уніфікації [3].

1.2.3 Вимоги ергономіки та естетики

Питаннями реалізації вимог ергономіки художніми засобами займається технічна естетика - наука, що вивчає соціально-культурні, технічні і естетичні проблеми, формування гармонійної предметної середовища, створюваної засобами виробництва.

В результаті відпрацювання виробу на ергономічність повинна бути забезпечена ефективність взаємодії людини з виробом, знижена стомлюваність оператора, вжиті заходи до запобігання його помилкових дій, в тому числі і в аварійних ситуаціях [4].

При виготовленні РЕА спеціально обумовлюються наявність споживчих зручностей, стосовно кожного конкретного виробу. На пристрої повинні бути нанесені чіткі позначення і написи, що пояснюють призначення органів управління і пристроїв перемикання.

Естетичні вимоги включають наступну номенклатуру показників:

а) інформаційна виразність характеризує здатність виробу відображати в формі склалися в суспільстві естетичні уявлення;

б) раціональність форми характеризує відповідність форми об'єктивним умовам виготовлення та експлуатації виробу; проявляється у відповідності форми виробу його призначенню, особливостям технології;

в) цілісність композиції характеризує гармонійну єдність частин і цілого, взаємозв'язок елементів форми виробу і його узгодженість з ансамблем інших виробів;

г) досконалість виробничого виконання характеризується чистотою виконання контурів і сполучення елементів, ретельністю покриттів і обробки, чіткістю виконання фірмових знаків і експлуатаційної документації, стійкістю до пошкоджень [5].

Враховуючи побутове застосування термометра, естетичні вимоги є одними із головних при розробці конструкції пристрою.

1.2.4 Вимоги ремонтпридатності

Для забезпечення ремонтпридатності необхідно забезпечити наступне:

- легкість відкривання корпусу пристрою за необхідності ремонту;
- неможливість його випадкового відкриття під час транспортування або роботи;
- використання невідповідні гвинтів, стандартного кріплення;
- використання, по можливості, стандартних деталей;
- легко доступність до елементів, які мають низьку надійність;
- легкість і швидкість заміни поламаних елементів;
- використання склотекстоліту для виготовлення друкованих плат, що дозволяє більшу кількість перепайок;
- необхідність невеликого числа контрольних приладів для ремонту, бажано - не більше 2..3;

– наявність ремонтної документації (схеми електричної принципової з розбивкою на плати за функціональною ознакою, карт робочих режимів і т.д.) [6].

Бажано, щоб всі РЕЕ були приблизно рівними за надійністю, оскільки це дозволить звести кількість профілактичних оглядів або ремонтів до мінімуму.

1.2.5 Вимоги техніки безпеки

Безпека РЕА - властивість апаратури забезпечити відсутність небезпеки при виконанні заданих функцій в певних умовах протягом встановленого часу.

До РЕА пред'являються наступні вимоги техніки безпеки.

Прилади повинні бути сконструйовані і виготовлені таким чином, щоб при нормальній експлуатації, а також в умовах несправностей для споживача не створювалася небезпека навіть у разі недбалого поводження з приладом. При цьому має бути забезпечений захист від ураження електричним струмом, впливу високих температур, впливу іонізуючого випромінювання, наслідків механічної нестійкості приладу через наявність в ньому рухомих частин, а також захист від вогню.

На приладі повинна бути нанесена наступна інформація: вид живлення, номінальна напруга живлення, позначення контактних пристроїв, які застерігають написи.

Попередження небезпеки ураження електричним струмом включає ряд заходів:

- доступні частини приладу не повинні перебувати під небезпечною напругою. При цьому доступність частини приладу визначають як її доступність через зовнішню поверхню приладу при використанні «випробувального пальця». Напругу кваліфікують як небезпечну, якщо між досліджуваною частиною приладу і будь-якою іншою його частиною, або між досліджуваної частиною і будь-яким полюсом джерела живлення через резистор з опором 50 кОм (еквівалент опору тіла людини) протікає змінний струм більш 0,7 мА (пікове значення) або постійний струм більше 2 мА;

- ізоляція деталей, що знаходяться під небезпечною напругою, не повинна бути виготовлена гігроскопічних матеріалів;
- конструкція приладу повинна виключати небезпеку ураження електричним струмом з боку доступних деталей або тих деталей, які стають доступними при знятті кришки;
- конструкція приладу повинна виключати ураження електричним струмом в процесі регулювання;
- захист від ураження електричним струмом повинен забезпечуватися і в умовах несправності - при цьому допустиме значення сили струму збільшують в чотири рази [7].

При нормальній експлуатації приладу жодна з його частин не повинна нагріватися до небезпечної температури. Коли прилад працює в умовах несправності, то жодна його частина не повинна нагріватися до такої температури, а займисті гази не повинні виділятися в такій кількості, щоб з'явилася небезпека виникнення пожежі.

1.3 Постановка задачі виконання кваліфікаційної роботи бакалавра

Враховуючи викладене у п. 1.1 та 1.2, розроблений цифровий термометр повинен:

- відповідати виконанню УХЛ 4.2;
- бути ергономічним та естетично привабливим для різних користувачів;
- бути технологічним (тип виробництва – крупносерійний);
- мати низьку собівартість виробництва;
- бути надійним (гарантійний термін – 2 роки);
- бути безпечним для користувача.

2 РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ ЦИФРОВОГО ТЕРМОМЕТРА

2.1 Обґрунтування вибору конструкції

Пошук варіантів конструкції виробу виконують, відштовхуючись від аналога (аналогів) та рухаючись в напрямку їх доопрацювання і поліпшення з тим, щоб забезпечити виконання поставленого завдання. Крім аналогів, що застосовуються в зазначеному вище розумінні, широко використовують окремі аналоги - апробовані конструкції різних структурних рівнів, які не є закінченими виробами. Слід чітко уявляти собі, що використання аналога не тільки полегшує працю конструктора, а й забезпечує також спадкоємність і підвищує обсяг вживаності з усіма наслідками та перевагами, що впливають звідси.

Опрацювання варіанту конструкторського рішення виробу включає:

- вибір типу конструкції виробу;
- вибір типу несучої конструкції;
- вибір і обґрунтування засобів забезпечення надійності та малогабаритності;
- вибір і обґрунтування засобів захисту від зовнішніх і внутрішніх дестабілізуючих факторів, електромагнітної сумісності.

При цьому повинні бути розглянуті і забезпечені вимоги ТЗ за технологічними показниками, ергономіки та технічної естетики і техніці безпеки. Глибина опрацювання повинна бути достатньою для зіставлення аналізованих варіантів.

Враховуючи поставлену задачу забезпечення естетичних вимог користувачів різних груп, було вирішено розробити різні варіанти корпусу цифрового термометра при незмінній конструкції друкованого вузла.

Нами було розроблено 3 оригінальні та 1 класичний варіант конструкції.

Перший варіант корпусу (рис. 2.1) призначений для дитячої кімнати. Корпус представляє собою зображення каченяти, на крилі якого є виріз під індикатор, а поряд розташовані кнопка для вмикання та тумблер-перемикач.

Кольори корпусу яскраві (жовтий та червоний), зображення каченяти стилізоване відповідно до традиційного представлення птахів у мультфільмах для дітей. Передбачається кріплення такого цифрового термометра до стіни завдяки наявності кріпильних отворів.



Рисунок 2.1 – Варіант конструкції корпусу розроблюваного цифрового термометра для дитячої кімнати

Другий варіант корпусу запропонований у футуристичному стилі (рис. 2.2). Корпус має складну форму, чіткі грані. Прилад темно-сірий із темно-червоними вставками. Кнопка вмикання розташована на верхній грані корпусу, перемикач – зліва від індикатора.

Третій варіант конструкції (рис. 2.3) може бути запропонований поціновувачам автомобілів. Корпус має лаконічну форму і нагадує руль автомобіля, на гранях якого розташовані позначки часу, що надає схожості із годинником, проте ці елементи носять лише декоративний характер, оскільки робота даної електричної схеми не передбачає відлік часу. В центральній частині корпусу розміщено блок у формі паралелепіпеда, в якому

розміщується друкований вузол. Індикатор виведено на фронтальну частину панелі. Колір приладу – темно-сірий із жовтими вставками.

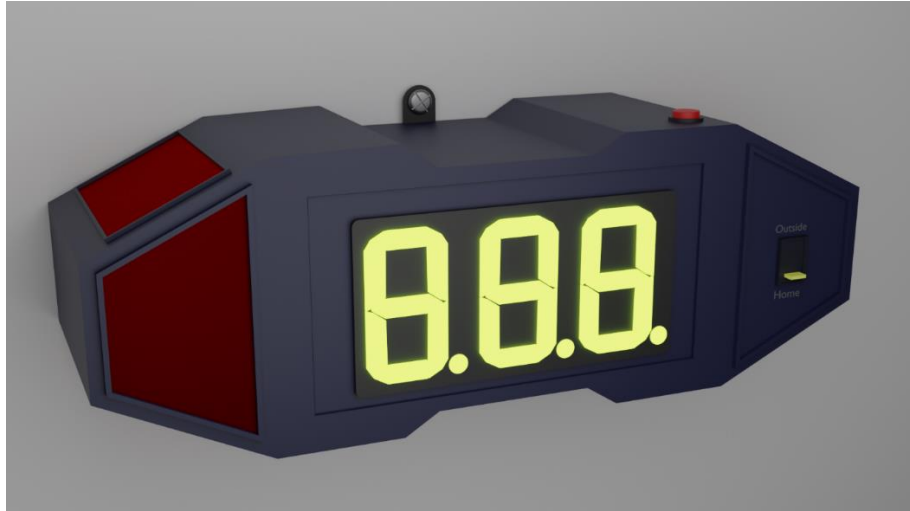


Рисунок 2.2 – Варіант конструкції корпусу розроблюваного цифрового термометра у футуристичному стилі



Рисунок 2.3 – Варіант конструкції корпусу розроблюваного цифрового термометра у автомобільному стилі

Для даної дипломної роботи було обрано мінімалістичний дизайн, що є універсальним для користувачів різних груп (рис. 2.4).

Корпус представляє собою паралелепіпед зі скругленими гранями. На передню панель винесено трьохрозрядний семисегментний індикатор, справа від якого розташовані кнопка вмикання та перемикач режиму.

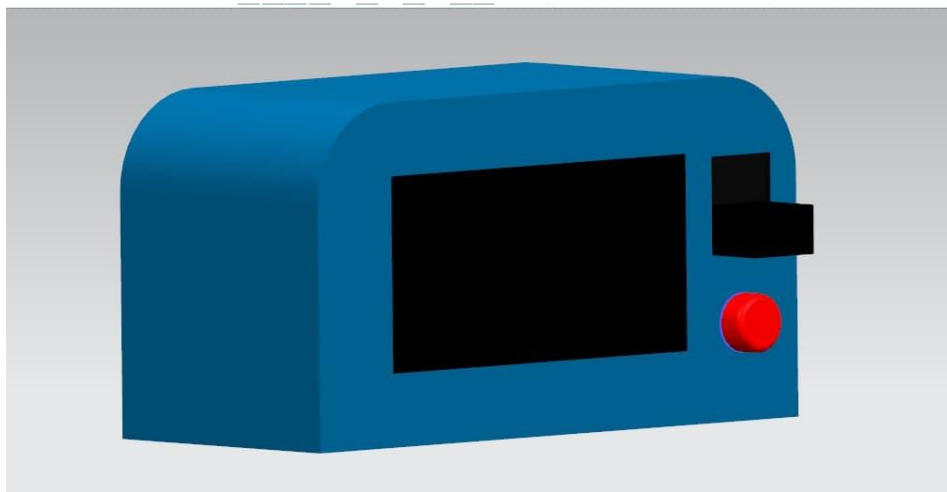


Рисунок 2.4 – Обраний варіант конструкції корпусу

2.2 Обґрунтування вибору елементної бази

Вибір елементної бази здійснювався, виходячи із вимог надійності, технологічності, мінімізації, собівартості.

Основним елементом схеми є мікроконтролер PIC16F628A фірми Microchip, який має два 8-бітних таймера, один 16-бітний таймер, два компаратора, послідовний порт USART, що програмується регулятор напруги V_{ref} , внутрішньосхемне програмування (ICSP), працює в діапазоні температур: $-40 \dots + 85 \text{ }^\circ\text{C}$ [8].

Основні характеристики мікроконтролера PIC16F628A наведені в табл. 2.1, його зовнішній вид представлений на рис. 2.5.

Таблиця 2.1 – Основні характеристики мікроконтролера PIC16F628A

Ядро	8bit PIC16
Максимальна швидкодія	20 МГц (5 MIPS)
Пам'ять програм (flash)	2 Кслів
Пам'ять даних (RAM)	224 Байт
Пам'ять EEPROM	128 Байт
Кількість ліній вводу/виведення	16
Кількість UART	1
Мінімальна напруга живлення	3 В
Максимальна напруга живлення	5,5 В
Корпус	DIP-18
Робоча температура	-40...85 °C

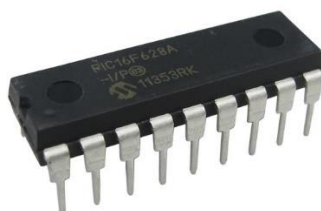


Рисунок 2.5 – Зовнішній вид мікроконтролера PIC16F628A

Вимірювання температури реалізоване за допомогою датчиків DS18B20. DS18B20 – це цифровий вимірювач температури, з дозволом перетворення 9...12 розрядів і функцією тривожного сигналу контролю за температурою. Параметри контролю можуть бути задані користувачем і збережені в енергонезалежній пам'яті датчика.

DS18B20 обмінюється даними з мікро контролером за однопровідною лінії зв'язку, використовуючи протокол інтерфейсу 1-Wire.

Живлення датчик може отримувати безпосередньо від лінії даних, без використання зовнішнього джерела. В цьому режимі живлення датчика походить від енергії, запасеної на паразитної ємності.

Діапазон вимірювання температури становить від -55 до +125 °C [9].

Основні характеристики датчика DS18B20 наведені в табл. 2.2, а зовнішній вид представлений на рис. 2.6.

Таблиця 2.2 – Основні параметри датчика DS18B20

Напруга живлення	(3 – 5.5) В
Протокол обміну даними	1-Wire
Спосіб підключення	прямий
Дозвіл перетворення температури	9 біт - 12 біт
Період вимірювання температури при максимальній точності 12 біт	750 мс
Тип індексації на лінії 1-Wire	унікальна 64-бітова адреса

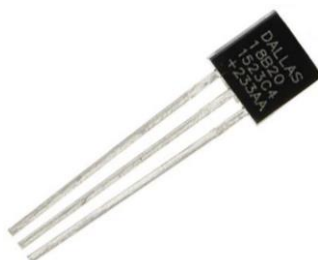


Рисунок 2.6 – Датчик температури DS18B20

Були обрані керамічні конденсатори CC2H222MC1FDE45F30MF виробника Dersonic, що мають високу питому ємність, широкий діапазон номінальних ємностей, широкий діапазон робочих напруг [10]. Зовнішній вид конденсаторів наведено на рис. 2.7.



Рисунок 2.7 – Зовнішній вид конденсаторів CC2H222MC1FDE45F30MF

Також були обрані електролітичні конденсатори CX(Dongguan Chengxing Elec). Вони мають високу надійність та можуть бути встановлені за допомогою пристроїв автоматичного захоплення [11].

Таблиця 2.3 – Основні характеристики конденсатора CX 220uF 16V

Параметр	Значення
Розмір	8x12 мм
Номинальна напруга	16 В постійного струму
Відстань між выводами	3,5 мм
Допуск	± 20%
Мінімальна робоча температура	-40 °C
Максимальна робоча температура	+ 105 °C
Ємність	220 мкФ
Гарантійний термін експлуатації	2000 год



Рисунок 2.8 - Зовнішній вид конденсаторів CX 220uF 16V

Усі резистори обрані із серії MFR-25JT-52, виробник YAGEO [12], завдяки їх малим розмірам, низькій вартості та високій надійності. Основні параметри резисторів наведені в табл. 2.4, зовнішній вид представлений на рис. 2.9.

Таблиця 2.4 – Основні параметри резисторів MFR-25JT-52

Параметр	Значення
Тип корпусу	MF-0.25
Тип упаковки	Ammunition Pack (стрічка в коробці)
Розсіювана потужність	0,25 Вт
Допуск	±5%



Рисунок 2.9 - Зовнішній вид резисторів

Семисегментний індикатор 14 мм, трьохрозрядний, червоний, ОК (КЕМ-5631-ASR) необхідний для відображення цифрової інформації різних пристроях. Індикатор представляє собою інтегральну схему, яка складається з яскравих світлодіодів. Колір світіння червоного кольору, фон сірого кольору.

Виготовляється в пластмасовому корпусі. Задня частина залита епоксидним компаундом [13].

Технічні характеристики індикатора КЕМ-5631-ASR наведені в табл. 2.5, зовнішній вид показано на рис. 2.10.



Рисунок 2.10 – Зовнішній вид семисегментного трьохрозрядного індикатора КЕМ-5631-ASR

Таблиця 2.5 – Характеристики індикатора КЕМ-5631-ASR

Параметр	Значення
Тип індикатора	Семисегментний, 3 розряди
Колір	червоний
Колір фону	Сірий
Максимальне падіння напруги ($U_{f(max)}$), В	2.2
Струм споживання ($I_{спож}$), мА:	20

В якості транзисторів використані транзистори BC556B типу р-п-р. Характеристики наведені у табл. 2.6, зовнішній вид представлений на рис. 2.11 [14].

Таблиця 2.6 – Параметри транзистора BC556B

Параметр	Значення
Напруга колектор-емітер, не більше	-65 В
Напруга колектор-база, не більше	-80 В
Напруга емітер-база, не більше	-5 В
Струм емітера, не більше	-0,1 А
Розсіювана потужність колектора, не більше	0,5 Вт
Коефіцієнт підсилення за струмом	Від 200 до 450
Гранична частота коефіцієнта передачі струму	150 МГц
Тип корпусу	ТО-92



Рисунок 2.11 – Зовнішній вид транзистора BC556B

Для вибору режиму роботи цифрового термометра було обрано перемикач Korean Hroparts Elec SS-12D02-VG4. Контакти виконані із латуні зі срібним покриттям. Зовнішній вид представлений на рис. 2.12 [15].



Рисунок 2.12 – Зовнішній вид перемикача Korean Hroparts Elec SS-12D02-VG4

Також у конструкції застосовується тримач для елементів живлення, нами було обрано 3-AAA Battery Holder виробника Generic RoHS. Його зовнішній вид представлений на рис. 2.13 [16].



Рисунок 2.13 – Зовнішній вид тримача батарей 3-AAA

Початкове трасування плати виконувалось у програмі SpringLayout (рис. 2.14), в подальшому виконувалась ручна оптимізація трасування. 3Д-модель друкованого вузла наведена на рис. 2.15. Результати наведені на кресленні деталі плати та скадальному кресленні друкованого вузла.

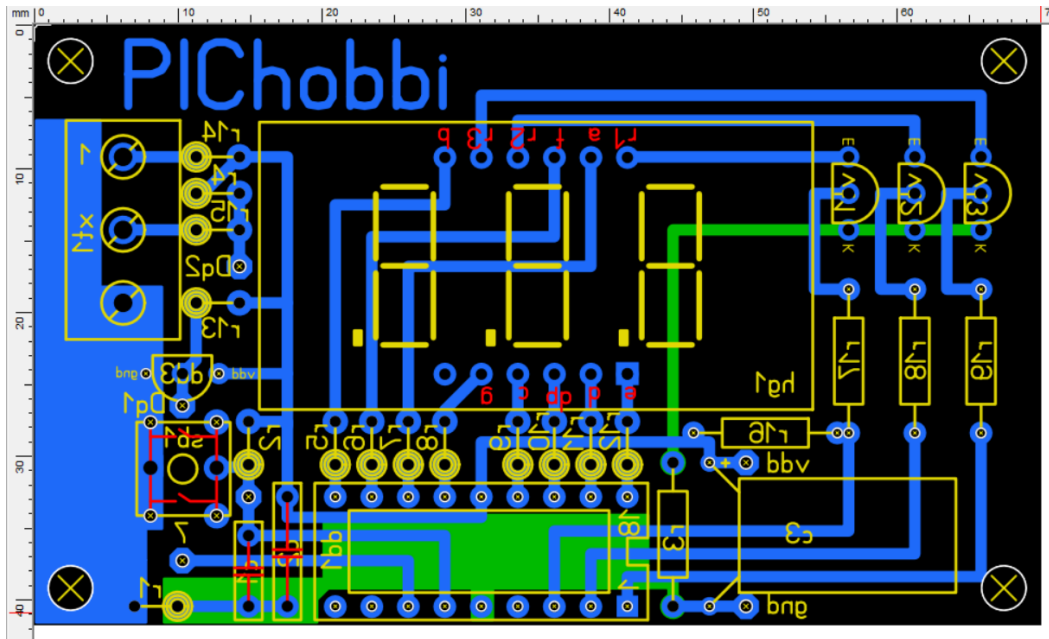


Рисунок 2.14 – Трасування плати у програмі SpringLayout

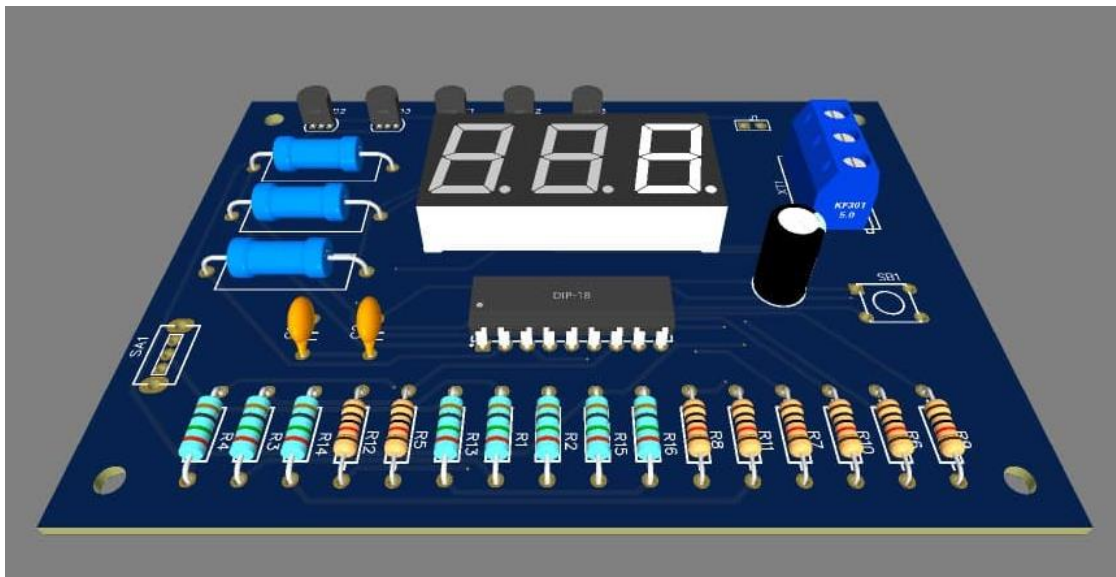


Рисунок 2.15 – 3Д-модель друкованого вузла

2.3 Забезпечення технічних вимог

2.3.1 Забезпечення експлуатаційних вимог

Розмір пристрою співрозмірний з його функціональним призначенням.

Конструкція забезпечує зручність користування. Згідно з умовами ТЗ, розроблений прилад є апаратурою побутового призначення і належить до 1 групи експлуатації, тобто апаратура працює в приміщеннях.

В конструкції даного пристрою застосовується стандартна ЕРЕ, з низькою інтенсивністю відмов, яка забезпечує надійну працездатність пристрою протягом гарантованого терміну служби при впливі на нього несприятливих кліматичних факторів.

Плата виконана з склотекстоліту СФ-2-35-1.0, застосування якого в заданих умовах є прийнятним. Щоб уникнути коротких замикань друкованих провідників на платі, використовується запас відстані в максимально навантажених місцях плати.

Матеріал корпусу - полістирол ударостійкий, який запобігає виходу з ладу приладу при падінні з невеликої висоти. Кришка з'єднується з корпусом за допомогою нарізного сполучення. Форма друкованої плати прямокутна, кріплення здійснюється різьбових з'єднань. ЕРЕ кріпляться на платі за допомогою пайки.

2.3.2 Забезпечення вимог технологічності

Оскільки розроблювальний виріб відноситься до апаратури побутового призначення, для корпусу приладу обрана лита конструкція з полістиролу, який володіє хорошими естетичними властивостями. Враховуючи тип виробництва, може бути застосована оригінальна конструкція корпусу.

Конструкції вузлів спроектовані таким чином, що при знятті кришки є повний доступ до всіх елементів конструкції, це полегшує заміну елементів при виході їх з ладу. Це, в свою чергу, забезпечує високий рівень ремонтпридатності пристрою.

До оригінальних елементів конструкції відносяться плата, корпус, кришка. Плата виготовляється за допомогою комбінованого методу, за типовим технологічним процесом [17].

Для з'єднання деталей і складальних одиниць використовуються з'єднання. Різьбові з'єднання характеризуються високою надійністю і

підвищеною трудомісткістю, але їх використання виправдане можливістю розбирання виробу, тобто підвищує його ремонтпридатність.

У приладі застосована стандартна елементна база. Це дає можливість застосовувати типові технологічні процеси по установці і пайку ЕРЕ.

Формування виводів і установка елементів є стандартною і здійснюється відповідно до ГОСТ 29-137-91. Кількість типорозмірів елементів зведено до мінімуму.

Завдяки тому, що елементи встановлюються на одній стороні плати, і як було сказано раніше, застосована стандартна елементна база, для установки і пайки ЕРЕ використовуються автоматизовані системи. Таким чином, можна використовувати групову пайку, а установку елементів здійснювати шляхом використання спеціалізованих автоматів. Це зменшить витрати часу, фінансові та трудові ресурси на виробництво даного виробу. Електромонтаж кнопки та перемикача і друкованого вузла здійснюється за допомогою індивідуального паяння, оскільки ці елементи встановлюються не на плату, а на корпус.

2.3.3 Забезпечення естетики і ергономіки

Естетичні властивості - здатність товарів виражати в чуттєво-сприйманих ознаках форми суспільні цінності і задовольняти естетичні потреби людини. Показниками естетичних властивостей можуть служити зовнішній вигляд, цілісність, дизайн, мода, стиль, інформаційна виразність, досконалість виробничого виконання.

Корпус має просту форму, зрозумілий інтерфейс, розміри цифр на індикаторі та органів керування відповідають можливостям людини. Матеріал корпусу – полістирол ударостійкий, що часто використовується у пристроях побутового призначення.

На пристрої нанесені чіткі і витривалі умовні позначення і написи, що пояснюють призначення і орієнтацію при підключенні. Колір приладу сірий.

2.3.4 Забезпечення вимог ремонтпридатності

Для доступу до всіх елементів конструкції достатньо зняти кришку з корпусу приладу. Всі елементи, встановлені на платі, легкодоступні, є необхідне стандартне маркування. Всі ЕРЕ в даній конструкції стандартні, широко поширені, що спрощує пошук компонентів.

У якості матеріалу для виготовлення друкованих плат використовується фольгований двосторонній склотекстоліт, що дозволяє здійснювати більшу кількість перепайок.

При виході з ладу одного з ЕРЕ, потрібно локалізувати і замінити елемент, що вийшов з ладу. Після локалізації непридатного елемента його заміна здійснюється вручну шляхом випаювання і установки нового.

Всі елементи кріплення, застосовані в виробі, широко поширені, що виключає необхідність в нестандартному обслуговуючому інструменті.

Більшість елементів змонтовані на платі, що спрощує доступ до них. Кнопка та перемикач також доступні для ремонту.

2.3.5 Забезпечення техніки безпеки

Розроблений прилад сконструйований таким чином, що при нормальній експлуатації, а також в умовах несправностей, для споживача не створюється небезпека навіть у разі недбалого поводження з приладом. Електронавантажені і теплонавантажені елементи не виходять за межі корпусу.

Корпус виготовлений з діелектричного матеріалу – полістиролу, що запобігає ураженню користувача електричним струмом. Матеріал корпусу не токсичний, має слабку займистість.

Маркування однозначно розуміється і легко помітне, незмивне і розбірливе.

Пристрій живиться від джерела 5 В, тому прилад не представляє небезпеки для життєдіяльності людини.

Матеріали, що застосовуються в конструкції цифрового термометра, є нетоксичними і безпечними для навколишнього середовища.

Таким чином, всі вимоги, що були висунуті до розробки у п.1.2, були враховані та забезпечені конструкцією розробленого цифрового термометра.

3 КОНСТРУКТОРСЬКІ РОЗРАХУНКИ

3.1 Розрахунок розмірів друкованої плати

Друкована плата являє собою листовий матеріал, вирізаний за визначеними розмірами, що містить необхідні отвори і рисунок, що забезпечує електричне і механічне з'єднання навісних елементів [18].

Розробка друкованої плати проводиться згідно певного алгоритму. Обираючи тип друкованої плати, спочатку треба проаналізувати електрично-принципову схему та оцінити розміри та кількість контактних доріжок, а також шляхи їх проходження. Якщо велика кількість доріжок перетинається одна з одною, тоді треба розробити двосторонню друковану плату із металізацією отворів.

Під час розробки треба дотримуватися таких вимог компоновки елементів на друкованій платі [19]:

- розташування елементів визначається паралельно-перпендикулярним способом;
- визначені критичні елементи розташовують на певній відстані або використовують засоби для зменшення дії елементів на навколишнє середовище;
- провідники розташовують паралельно-перпендикулярним способом або під кутом, кратним 45° .

Після вибору типу друкованої плати визначається крок координатної сітки, за яким буде проводитися компонування елементів схеми та подальше трасування плати. Для цього необхідно проаналізувати типи корпусів елементів схеми та виявити в якому з елементів схеми виводи для електронного з'єднання розташовані найближче. Згідно з довідниковою літературою, в якій потрібно знайти всі елементи схеми, визначити їхні габаритні розміри та відстані між выводами елементів, з'ясовано, що найбільшу відстань між выводами мають ІМС. Ця відстань становить 2,5 мм.

Виходячи з цієї відстані кількості струмопровідних доріжок обираємо крок координатної сітки – 2,5мм.

Наступним етапом в розробці друкованої плати є вибір матеріалу для виготовлення друкованої плати. Обираємо для виготовлення друкованої плати склотекстоліт, тому що цей матеріал має більшу механічну щільність, ніж, наприклад, гетинакс [20].

Аналіз раціонального розташування елементів схеми на платі треба проводити дослідним методом – методом підстановки та взаємопов'язаного розташування на платі елементів.

Потім проводиться трасування, яке виконується дослідним методом або шляхом використання систем автоматизованого проектування, таких як Altium. Останнім етапом при розробці друкованої плати є виконання розрахунків, необхідних для виготовлення друкованої плати безпосередньо.

Розрахунок діаметру монтажних отворів проведемо за формулою (3.1):

$$d_0 = d_B + (0,2 \div 0,4), \quad (3.1)$$

де d_0 – діаметр монтажних отворів, мм;

d_B – діаметр виводу елемента, мм.

Проведемо розрахунок діаметру отворів для окремих елементів схеми. Спочатку розрахуємо діаметр отворів для ІМС (тому, що товщина виводів ІМС однакова, проводити розрахунки будемо в комплексі для всіх ІМС). Згідно з довідниковими даними діаметр виводу ІМС, $d_B = 0,3$ мм. Розрахуємо діаметр отвору:

$$d_1 = 0,3 + 0,2 = 0,5 \text{ мм}$$

Приймаємо стандартне значення отвору $d_0 = 0,7$ мм.

Далі розрахуємо діаметр отвору під резистори. Згідно з довідниковими даними в схемі резистори мають діаметри виводу $d = 0,8$ мм.

Розрахуємо діаметр отворів:

$$d_2 = 0,8 + 0,3 = 1,1 \text{ мм.}$$

Приймаємо стандартні значення отворів 1,1 мм.

Тепер проведемо розрахунок діаметру отвору під діоди, які згідно з довідниковими даними в схемі мають діаметр отвору $d_3 = 0,8$ мм. Розрахуємо діаметр отвору:

$$d_3 = d_3 + (0,2 \div 0,4) = 0,8 + 0,4 = 1,1 \text{ мм}$$

Обираємо стандартне значення отвору для діоду $d_3 = 1,1$ мм.

Розрахуємо діаметр отвору для транзисторів та конденсаторів:

$$d_4 = d_B + (0,2 \div 0,4) = 0,8 + 0,3 = 1,1 \text{ мм}$$

Обираємо стандартне значення отвору $d = 1,1$ мм.

Розрахунок діаметру контактних майданчиків проведемо за формулами (3.2) та (3.3):

$$D_{kmin} = \sqrt{1,28PO + d_{max}^2}, \quad (3.2)$$

$$D_{kmax} = D_{kmin} + C_3, \quad (3.3)$$

де d_{max} – максимальний діаметр металізованого отвору, мм;

ПО – мінімальна площа контактної площадки, мм²;

D_{kmax} , D_{kmin} – максимальний та мінімальний діаметр контактної площадки, мм.

$$D_{kmin} = \sqrt{1,282,5 + 1,3} = 2,12 \text{ мм}$$

$$D_{kmax} = 2,12 + 0,44 = 2,56 \text{ мм}$$

Виконаємо розрахунок параметрів елементів друкованої плати.

Розрахунок мінімальної ширини провідника проведемо за формулою (3.4):

$$B_{\min} = B_{\text{зад}} + 1,5 h_{\text{сер}}, \quad (3.4)$$

де B_{\min} – мінімальна ширина провідника, мм;

$B_{\text{зад}}$ – задана ширина провідника, мм;

$h_{\text{сер}}$ – середня товщина провідника, мм.

$$B_{\min} = 0,5 + 1,5 \cdot 0,035 = 0,553 \text{ мм}$$

Розрахунок максимальної ширини провідника за формулою (3.5):

$$B_{\max} = B_{\min} + C_{16} \quad (3.5)$$

де B_{\max} – максимальна ширина провідника, мм;

C_{16} – приймаємо за 0,12мм першого класу точності.

$$B_{\max} = 0,553 + 0,12 = 0,673 \text{ мм}$$

Приймаємо $B_{\max} = 1\text{мм}$, $B_{\min} = 0,6\text{мм}$.

Паразитну ємність $C_{\text{пар}}$ між двома друкованими провідниками знаходимо за формулою (3.6):

$$C_{\text{пар}} = C_{\text{пог}} + I_n, \quad (3.6)$$

де $C_{\text{пог}}$ – погонна ємність провідника, пФ/см;

I_n – довжина взаємного перекриття проводів, см;

S – ширина зазору між краями друкованих провідників, мм.

$$C_{\text{пог}} = K_{\text{П}} \varepsilon, \quad (2.7)$$

де K_{Π} – погонний коефіцієнт;

ϵ – діелектрична проникність.

Для провідників однакової ширини $B = 1$ мм і відстані між ними $S = 1,5$ мм, $K_{\Pi} = 0,4$.

$$C_{\text{пог}} = 0,14 * 6 = 0,84 \text{ пФ/см}$$

При $B=1$ мм, $S=1,5$ мм, $K_{\Pi}=0,14$:

$$C_{\text{пар}} = 0,84 * 18 = 15,12 \text{ пФ}$$

При $B=0,6$ мм, $K_{\Pi}=0,1$:

$$C_{\text{пар}} = 0,1 * 6 * 18 = 10,8 \text{ пФ}$$

Таким чином, паразитна ємність менше допустимої.

Паразитна взаємоіндукція між друкованими провідниками характеризується коефіцієнтом взаємоіндукції M , що визначається за формулою (3.9):

$$M = 2I_n(\ln(2 * I_n / S + 0,5(t_1 + t_2))), \quad (3.9)$$

де t_1, t_2 – ширина провідника одного і другого відповідно, мм.

$$M = 2 * 18 * (\ln(2 * 18 / 1,5 + 0,5(1 + 1))) = 96 \text{ мкГн}$$

Індуктивність друкованого провідника визначається за формулою (3.10):

$$L = L_{\text{пог}} * I_n, \quad (3.10)$$

де для провідника шириною $B = 1$ мм погонна індуктивність $L_{\text{пог}} = 0,0135$ Гн*см.

$$L = 0,0135 * 18 = 0,243 \text{ мкГн}$$

Визначимо потужність втрат друкованої плати за формулою (3.11):

$$P_{\Pi} = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot C \cdot U^2 \cdot \operatorname{tg} \delta, \quad (3.11)$$

де f – частота напруги схеми, при постійному струмі схеми;

U – напруга живлення схеми;

C – ємність друкованої плати, мкФ, що розраховується за формулою (3.12):

$$C = \frac{0,009 \cdot \epsilon F}{H_{\text{м}}}, \quad (3.12)$$

де F – сумарна площа друкованих провідників, мм²;

$H_{\text{м}}$ – товщина плати, мм.

$$C = 0,099 \cdot 6 \cdot 2500 / 2 = 67,5 \text{ мкФ}$$

$$P_{\Pi} = 2 \cdot 3,14 \cdot 0,5 \cdot 67,5 \cdot 9^2 \cdot 0,0015 \cdot 10^{-6} = 7,948 \cdot 10^{-6} \text{ Вт}$$



Таким чином, можна зробити висновок, що втрати потужності несуттєві.

У табл. 3.1 приводяться розміри отворів, які будуть висвердлюватися на друкованій платі, а також умовні позначення отворів для зручного використання креслення друкованої плати у процесі її виготовлення.

Таблиця 3.1 – Параметри електричної схеми

Параметри електричної схеми	Розміри	
	Вільні місця	Вузькі місця
Ширина провідників	0,4	0,25
Відстань між провідниками	0,4	0,25

Таблиця 3.2 – Розміри отворів друкованої плати

Позначення отворів	Діаметр отворів, мм	Діаметр контактного майданчика, мм
	0,7	1,28
	1,1	1,73

Враховуючи все вищевказане, друкована плата для розробленого пристрою визначається наступними технічними умовами:

- плата виготовляється комбінованим позитивним методом;
- крок координатної сітки – 2,5 мм;
- плата повинна відповідати ГОСТ 23752-79;
- матеріал друкованої плати – склотекстоліт фольгований СФ-2-35-1,5 ГОСТ 10316-18;
- товщина плати 1,5 мм;
- невказані граничні відхилення розмірів між осями любых отворів $\pm 0,1$;
- параметри елементів струмопровідного рисунку визначені в табл. 3.1 та 3.2;
- форма друкованої плати прямокутна;
- покладаючись на розмір корпусу габарити розміри плати: довжина – 70 мм, ширина – 42 мм;
- інші ТУ за ОСТ 4ГО.070.014.

3.2 Розрахунок надійності

Розрахунок надійності проводиться з метою з'ясувати, чи достатній час зможе працювати пристрій без поточного або профілактичного ремонту. Виходячи з результатів розрахунку надійності, можна обчислити приблизну тривалість роботи, наприклад, в роках, що буде також підставою для

призначення гарантійного терміну експлуатації. Зазвичай виробник дає гарантію на термін, який менше розрахункового. Це обумовлено тим, що виробник намагається уникнути гарантійного обслуговування, а значить, і великих витрат на утримання сервісних відділів. Крім того, розрахунок надійності може показати, що прилад абсолютно не готовий до запуску у виробництво в зв'язку з дуже коротким середнім терміном експлуатації. При цьому у виробника виникає необхідність створювати об'ємні пакети запасних інструментів до кожного пристрою, містити велику кількість сервісних центрів з ремонту та інших складнощів, що призводять до різкого зростання вартості виробів. У цьому випадку застосовуються різні заходи щодо підвищення надійності: застосування більш досконалої елементної бази, заміна деяких схемотехнічних рішень для виключення найменш надійних елементів, передбачається експлуатація у сприятливих режимах і ін.

Методика розрахунку полягає в тому, щоб, знаючи інтенсивність відмови кожного конкретного елемента, визначити загальну інтенсивність відмови у всьому пристрої.

Інтенсивність відмови у всьому пристрої обчислюється за формулою (3.13):

$$\lambda = k * \sum_{i=1}^m \lambda_{oi} * n_i, \quad (3.13)$$

де k – поправочний коефіцієнт;

m – кількість груп елементів;

n_i – кількість i -тих елементів;

λ_{oi} - інтенсивність відмови i -го елемента.

Потім проводиться розрахунок середнього часу на одну відмову T за формулою (3.14):

$$T = \frac{1}{\lambda}. \quad (3.14)$$

Розрахункові дані і результати розрахунку надійності розробленого цифрового термометра занесені до табл. 3.3.

Після цього виконується розрахунок ймовірності безвідмовної роботи пристрою за визначений час.

$$P(t) = e^{-\lambda t}, \text{ де } t=0\dots T \quad (3.15)$$

За результатами розрахунку побудовано графік ймовірності безвідмовної роботи цифрового термометра.

Таблиця 3.3 - Результати розрахунку надійності

Елемент	Позначення	Кількість, n	λ_i , 1/год	$\lambda_i \cdot n$, 10^{-6} 1/год
Мікроконтролер PIC16F876A	DD1	1	0,02E-06	0,02
Датчик DS18B20	DD2, DD3	2	0,04E-06	0,08
Конденсатори CC2H222MC1FDE45F30MF	C1,C2	2	0,02E-06	0,16
CX 220uF 16V	C3	1	0,17E-06	1,19
Резистори MFR-25JT-52	R1 – R19	19	0,04E-06	0,08
Транзистор BC556B	VT1 – VT3	3	0,04E-06	0,04
Кнопка	SA1	1	0,16E-06	0,32
Перемикач	SB1		0,24E-06	0,73
Індикатор КЕМ-5631-ASR	HG1	1	1,8E-06	1,8
Інтенсивність відмов, λ	5,82E-06			
Напрацювання на відмову, T, год	171821			
Срок работы, лет	7,28			

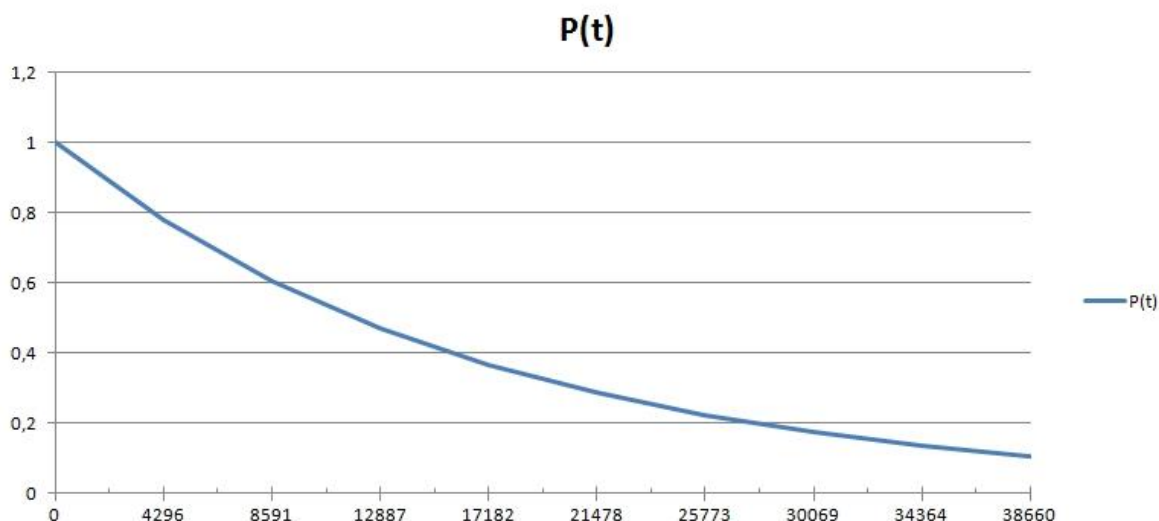


Рисунок 3.1 – Графік ймовірності безвідмовної роботи розробленого цифрового термометра

Виходячи із отриманих результатів, можна дати рекомендації щодо гарантійного терміну виробу тривалістю 2 роки, коли буде працювати не менше 70% виробів.

3.3 Розрахунок коефіцієнту заповнення плати

Коефіцієнт заповнення плати визначається за формулою (3.16):

$$K_{zn} = \frac{S_{эф}}{S_{общ}}, \quad (3.16)$$

де $S_{эф}$ – ефективна площа плати, мм;

$S_{общ}$ – загальна площа плат, мм.

Загальна площа плати визначається геометричними розмірами плати:

$$S_{общ} = 42 * 70 = 2940 \text{ мм}^2$$

Ефективна площа плати визначається за формулою (3.17):

$$S_{эф} = \sum_{i=1}^n S_i K_i + S_{техн} \quad (3.17)$$

де S_i – площа і-го елемента, мм;

K_i – кількість елементів одного типорозміру;

n – кількість груп типорозмірів елементів;

$S_{техн}$ – площа технологічних полів плати (площа, необхідна для закріплення плати), мм.

Елементи одного типорозміру – елементи з однаковими габаритними і установочними розмірами, і встановлені за одним варіантом [21].

Площа технічних полів включає в себе площі ділянок плати, що використовуються для її закріплення:

$$S_{техн} = 3\left(a + \frac{d}{2} + 0,5\right)\left(b + \frac{d}{2} + 0,5\right) \quad (3.18)$$

де a, b – відстань від країв плати до центра кріпильного отвору, мм;

d – максимальний діаметр кріпильного елемента, мм.

$$K_{зп} = 3430/7000 = 0,49$$

Якщо $K_{зп} \geq (0,6...0,7)$, то плата вважається такою, що скомпонована вірно.

За умови $K_{зп} < (0,6...0,7)$ необхідно змінити компоновання для більш ефективного використання площі. Для плат із великою кількістю мікросхем допустиме значення $K_{зп} \geq (0,25...0,3)$.

Отриманий для розробленого пристрою коефіцієнт заповнення дорівнює 0,49. Таке значення коефіцієнту заповнення отримане через наявність мікроконтролера, який вимагає багато місця для трасування друкованих провідників, а також на плату не встановлені винесені на корпус кнопка та перемикач. Тому дане значення коефіцієнту заповнення є допустимим і не вимагає перекомпоновання плати.

3.4 Розрахунок на дію удару

Оскільки прилад експлуатується в побуті, було вирішено провести також перевірку друкованого вузла на дію удару.

Оскільки найбільшу руйнівну дію на механічну систему чинить імпульс прямокутної форми, було виконано розрахунок цього впливу за методикою, описаною в [22].

Спочатку необхідно визначити умовну частота ударного імпульсу за формулою (3.19):

$$\omega = \frac{\pi}{\tau}, \quad (3.19)$$

де τ - тривалість ударного імпульсу, мс.

Відповідно до вказаних експлуатаційних вимог, $\tau=11$ мс:

$$\omega = \frac{3,14}{11} = 0,29.$$

Далі розрахуємо коефіцієнт передачі при ударі за формулою (3.20):

$$K_y = 2 \sin \frac{\pi}{2\nu}, \quad (3.20)$$

де ν - коефіцієнт розладу:

$$\nu = \frac{\omega}{2\pi f_0}$$

Як зазначено у вихідних даних, частота складає 120 ударів на хвилину, тобто 2 Гц. Визначимо коефіцієнт розладу та коефіцієнт передачі:

$$\nu = \frac{0,29}{2 \cdot 3,14 \cdot 2} = 0,023$$

$$K_y = 2 \sin \frac{3,14}{2 \cdot 0,023} = 1,86$$

Далі виконаємо розрахунок ударного прискорення за формулою (3.21):

$$a_y = A_y \cdot K_y, \quad (3.21)$$

де A_y - амплітуда прискорення ударного імпульсу. Відповідно до довідникових даних, $A_y=0,15$:

$$a_y = 0,15 \cdot 1,86 = 0,28$$

Після цього визначимо максимальне відносне переміщення за формулою (3.22):

$$Z_{max} = \frac{A_y}{\pi \cdot f_0} \cdot \sin \frac{\pi}{2v}, \quad (3.22)$$

$$Z_{max} = \frac{0,15}{3,14 \cdot 2} \cdot \sin \frac{3,14}{2 \cdot 0,023} = 0,096$$

Тепер виконаємо перевірку умови удароміцності за наступним критерієм для друкованих плат з ЕРЕ:

$$Z_{max} < 0,003a,$$

де a - розмір сторони ДП, паралельно якій встановлені ЕРЕ.

Оскільки елементи встановлені паралельно обом сторонам плати, виконаємо 2 розрахунки (розміри сторін 100 і 70 мм):

для сторони 100 мм:

$$0,096 < 0,003 \cdot 100,$$

$$0,096 < 0,300;$$

для сторони 70 мм:

$$0,096 < 0,003 \cdot 70,$$

$$0,096 < 0,21.$$

В обох випадках умова виконується, тому можна вважати, що розроблена конструкція цифрового термометра є удароміцною.

ВИСНОВКИ

В кваліфікаційній роботі було розроблено конструкцію цифрового термометра для застосування у побуті. До пристрою було висунуто та проаналізовано ряд вимог, основними з яких є експлуатаційні, вимоги естетики та ергономічності (через область застосування пристрою), безпеки (з тієї ж причини), технологічності (через крупносерійний тип виробництва пристрою).

Було створено 4 3Д-моделі концептів корпусу, призначених для різних груп населення, у дитячому, футуристичному, автомобільному та мінімалістичному стилі. Для подальшого проектування було обрано останній варіант, що є універсальним для користувачів різних груп.

Корпус представляє собою паралелепіпед зі скругленими гранями. Через отвір у передній панелі є доступним індикатор для відображення температури. Кнопка та перемикач розміщені на корпусі, всі інші ЕРЕ встановлені на платі.

Розмір пристрою співрозмірний з його функціональним призначенням.

В конструкції даного пристрою застосовується стандартна ЕРЕ, з низькою інтенсивністю відмов, яка забезпечує надійну працездатність пристрою протягом гарантованого терміну служби при впливі на нього несприятливих кліматичних факторів.

Плати виконані зі склотекстоліту СФ-2-35-1.0, застосування якого в заданих умовах є доцільним. Щоб уникнути коротких замикань друкованих провідників на платі, використовується запас відстані в максимально навантажених місцях плати.

Матеріал корпусу - полістирол ударостійкий, який запобігає виходу з ладу приладу при падінні з невеликої висоти. Кришка з'єднується з корпусом за допомогою нарізного сполучення. Форма друкованої плати прямокутна, кріплення здійснюється різьбових з'єднань. ЕРЕ кріпляться на платі за допомогою групової пайки хвилею. Це дозволяє забезпечити вимоги технологічності.

Матеріал корпусу нетоксичний, живлення схеми відбувається від батареї 5 В, тобто вимоги щодо техніки безпеки виконані.

Також виконані конструкторські розрахунки – розміру друкованої плати, коефіцієнту її заповнення, удароміцності плати та надійності друкованого вузла.

Відповідно до існуючих методик та особливостей розташування елементів на платі було обрано розмір друкованої плати 100*70 мм, з урахуванням необхідних технологічних площ для кріпильних отворів.

Коефіцієнт заповнення склав 0,49, що допустимо для електричних схем із мікросхемами та мікроконтролерами.

Удароміцність за розрахунками забезпечується в разі встановлення елементів паралельно як до короткої, так і до довгої сторони плати, що спрощує трасування плати.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Комнатные термометры: описание, виды, правила эксплуатации [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://stroy-podskazka.ru/termometr/komnatnye/>
2. Схема электронного термометра [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://mikroshema-k.ru/shema_jelektronnogo_termometra.html
3. Конструкторское проектирование электронной аппаратуры: Учебник для вузов [Текст]/ К. И. Билибин, А. И. Власов, Л. В. Журавлева и др.; Под общ. ред. В.А. Шахнова. – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2002. – 528 с.
4. Фетистов, Ю.И. Проектирование и технология радиоэлектронных средств. Основы художественного конструирования радиоэлектронной аппаратуры. [Текст]/ Ю.И. Фетистов, О.П. Лавренов, Г.Р. Самигуллина - Казань. КАИ-КГТУ им А.Н.Туполева.2007г., 126 с.
5. Ненашев, А.П. Конструирование РЭС [Текст] / А.П. Ненашев. – М.: Высшая школа, 1990. – 432 с.
6. Кротова, Е.И. Основы конструирования и технологии производства РЭС: Учебное пособие [Текст]/ Е.И. Кротова; Яросл. гос. ун-т им. П.Г. Демидова. - Ярославль: ЯрГУ, 2013. - 192 с.
7. Технология и автоматизация производства радиоэлектронной аппаратуры: учебник для вузов [Текст] / под ред. А.П. Достанко, Ш.М. Чабдарова. –М.: Радио и связь, 1989. -624 с.
8. PIC16F628A-I/P [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://tec.org.ru/board/pic16f628a_i_p/100-1-0-1352
9. DS18B20 – датчик температуры с интерфейсом 1-Wire [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://mypractic.ru/ds18b20-datchik-temperature-s-interfejsom-1-wire-opisanie-na-russkom-yazyke.html>
10. Approval specification for disc ceramic capacitors [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://datasheet.lcsc.com/lcsc/2008261835_Dersonic-CC2H222MC1FDE45F30MF_C263203.pdf

11. CX(Dongguan Chengxing Elec) 220uF 16V [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://lcsc.com/product-detail/Aluminum-Electrolytic-Capacitors-Leaded_CX-Dongguan-Chengxing-Elec-220uF-16V_C43349.html/ru?from_code=PL20191220BSDR
12. YAGEO MFR-25JT-52-5R1 [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.compel.ru/infosheet/YAG/CFR-25JT-52-5R1>
13. Семисегментный индикатор 14 мм, трехразрядный, красный, ОК (КЕМ-5631-ASR) [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://electronoff.ua/good/semisegmentnyj-indikator-14-mm-trehrazryadnyj-krasnyj-ok-kem-5631-asr.php>
14. Транзистор BC556B [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.radiolibrary.ru/reference/transistor-imp/bc556b.html>
15. Korean Hroparts Elec SS-12D02-VG4 [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://lcsc.com/product-detail/Toggle-Switches_Korean-Hroparts-Elec-SS-12D02-VG4_C136719.html/ru
16. 3-AAA Battery Holder [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.pololu.com/product/1144>
17. Пирогова Е.В. Проектирование и технология печатных плат [Текст]: Учебник. – М.: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2005. – 560 с.
18. Фролов, В.А. Анализ и оптимизация в прикладных задачах конструирования РЭС [Текст]/ В.А. Фролов.— Киев: Вища школа, 1991
19. Боровиков, С.М. Теоретические основы конструирования, технологии и надежности [Текст]: учеб. пособие для вузов / С.М. Боровиков. – Минск: Дизайн ПРО, 1998.
20. Медведев, А. Печатные платы. Конструкции и материалы [Текст] / А. Медведев. – М. : ТЕХНОСФЕРА, 2005. – 304 с.
21. Расчет размеров элементов печатного рисунка [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.techstages.ru/setons-1155-1.html>
22. Методичні вказівки до виконання курсового проекту з дисципліни «Основи проектування електронних систем» для студентів напряму 6.050802

“Електронні пристрої та системи”/ Укл.: к.т.н. доцент Багрій В.В., Кам'янське, ДДТУ, 2015, 79 с. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.dstu.dp.ua/Portal/Data/3/22/3-22-mz10.pdf>