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

Радіотехнічний факультет

Кафедра радіоконструювання та виробництва радіоапаратури

ЗАТВЕРДЖУЮ
В.о.зав. кафедри
_____ Євгеній НЕЛІН
«___»_____20__ р.

Дипломний проект

на здобуття ступеня бакалавра

за освітньо-професійною програмою «Інтелектуальні технології мікросистемної радіоелектронної техніки»

за спеціальністю 172 «Телекомунікації та радіотехніка»

на тему: «WI–FI датчик протікання води»

Виконав:
студентка IV курсу, групи РІ-г61-1
Тарасюк Анастасія Олексіївна _____

Керівник:
Асистент
Зінгер Яна Леонідівна _____

Консультант з охорони праці
Доцент, к.т.н.,
Гусєв Аркадій Миколайович _____

Рецензент:
Асистент, к.т.н., каф. РТПС,
Товкач Ігор Олегович _____

Засвідчую, що у цій дипломній роботі немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.
Студентка _____

Київ – 2020 року

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського »

Радіотехнічний факультет

Кафедра радіоконструювання та виробництва радіоапаратури

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність 172 “Телекомунікації та радіотехніка”

Освітньо-професійна програма « Інтелектуальні технології мікросистемної радіоелектронної техніки»

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о.зав. кафедри

_____ Євгеній НЕЛІН

«___»_____20__ р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проект студенту

Тарасюк Анастасії Олексіївні

1.Тема проекту: «WI–FI датчик протікання води»

Керівник проекту Зінгер Яна Леонідівна, асистент, затверджені наказом по університету від «21» травня 2020 р. №1126-с

2. Термін подання студентом проекту 06 червня 2020року

3. Вихідні дані до проекту Діапазон напруги живлення 4,5 — 5 В, бездротове з’єднання по мережі WI–FI, робочий діапазон відносної вологості 0 — 95 %, діапазон робочих температур 0 — 40 °С.

4. Зміст пояснювальної записки Вступ, Аналіз ринку, Синтез схеми пристрою, Розробка друкованого вузла та конструкції пристрою, Розрахунок щодо працездатності, Охорона праці.

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо) Схема електрична структурна, схема електрична принципова, кресленик друкованої плати, друкованого вузла, плакат.

6. Консультанти розділів проекту*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
З охорони праці	к.б.н., доцент Гусєв А М		

7. Дата видачі завдання 13 квітня 2020 року

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проєкту	Термін виконання етапів проєкту	Примітка
1	Огляд існуючих рішень	06.05 – 08.05	
2	Розробка та аналіз технічного завдання	09.05 – 14.05	
3	Обґрунтування та вибір схемотехнічного рішення	15.05 – 19.05	
4	Вибір та обґрунтування елементної бази	20.05 – 22.05	
5	Проектування електронного модуля	23.05 – 26.05	
6	Проектування приладу	27.05 – 28.05	
7	Аналіз працездатності приладу	29.05 – 30.05	
8	Охорона праці	23.05 – 27.05	
9	Оформлення текстової та графічної документації	30.05 – 03.06	

Студент Анастасія ТАРАСЮК

Керівник Зінгер ЯНА

* Консультантом не може бути зазначено керівника дипломного проекту.

АНОТАЦІЯ

Дипломний проект складається з пояснювальної записки обсягом 59 сторінок, що містить 47 ілюстрацій, 8 таблиць, 4 креслень, 4 додатків та 19 посилань.

Метою даного дипломного проекту є розробка WI–FI датчика протікання води. Основним призначенням даного приладу є виявлення появи води у небажаних місцях та сповіщення користувачу на смартфон за допомогою WI–FI каналу зв'язку. У проекті був проведений огляд аналогів, враховуючі їх переваги та недоліки було обрано тип конструкції та чутливі елементи, спосіб інформування користувача. Було синтезовано схему електричну принципову, розроблено друковану плату та конструкцію.

Пристрій призначений для монтажу на стіну у місці імовірної появи води. Наявна можливість регулювання виносного зонду з чутливим до води елементом під бажаними кутами. Також додатково пристрій оснащений індикацією розряду змінних елементів живлення.

Ключові слова: WI–FI, датчик, вода, протікання, сповіщення, сигналізація, затоплення.

ANNOTATION

The diploma project consists of an explanatory note of 59 pages which include 47 illustrations, 8 tables, 4 draftsmanship, 4 additions and 19 references.

The purpose of this project is to develop WI–FI water leak detector. The main aim of this device is detection of appearance of water at undesirable places and notification to the user on the smartphone via WI-FI communication channel. There was the conducted review of analogues, taking into account all the advantages and disadvantages were select type of construction and sensitive elements, way of informing the user. The principal electrical scheme was synthesized, PCB and construction are worked out.

The device is intended for montage on a wall in the place of probable appearance of water. There is opportunity of adjustment of bearing-out probe with sensitive element under desirable corners. Also, additionally a device is equipped by the indication of discharge of variable batteries.

Keywords: WI–FI, detector, water, leak, notification, alarm, flooding.

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до дипломного проекту

на тему: «WI-FI датчик протікання води»

Київ — 2020 року

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

RISC — Restricted instruction set computer

ROM — Read Only Memory

SMD — Surface mounted device

SPI — Serial Peripheral Interface

АЦП — Аналого-цифровий перетворювач

ЕМП — Електромагнітне поле

МК — Мікроконтролер

РЧ — Радіочастотний

ФАПЧ — Фазове автопідлаштування частоти

ВСТУП

Люди все більше і більше застосовують охоронні системи в своїх будинках. Такі системи можуть відслідковувати велику кількість небезпек в залежності від встановлених датчиків.

Однією з актуальних проблем сьогодення є імовірність затоплення жилих приміщень, що створює велику небезпеку для житла та власності людей. Подібні речі важко передбачити, але необхідно вчасно реагувати аби зменшити наслідки. Для цієї мети використовуються датчики протікання води. Користувачу необхідно встановити пристрій у місці, де може з'явитись вода і надалі відслідковувати небезпеку буде сам пристрій. При вияві небажаної рідини датчик буде сповіщати людину. Спосіб сповіщення залежить від обраного приладу.

Проте усі сьогоденні пристрої реагують лише, коли вода з'являється на підлозі, але протікання води може розпочатись не у квартирі користувача. Воно має імовірність статись через проблеми з дахом коли тане сніг або під час злив, потоп у квартирі поверхом вище, пошкодження водопровідних шляхів між квартирами.

У даному дипломному проекті увагу зосереджено саме на вище перерахованих джерелах появи небажаної води. Отже метою є проектування датчика, що може виявляти воду у верхній частині приміщення та надсилати сповіщення користувачу на смартфон. Пристрій виокремлюється серед пропозицій ринку новою можливістю, він є самостійним та економічно вигідним.

1 АНАЛІЗ РИНКУ

1.1 Огляд аналогів на ринку

У даний час на ринку представлено багато варіантів датчиків або систем детектування протікання води. Деякі з них розглянуто нижче:

1.1.1 Детектор витоку води "СПАСАТЕЛЬ"

Найдешевшим та найпростішим варіантом на даний момент є пристрій, зображений на рис. 1.1.

Рисунок 1.1 — "СПАСАТЕЛЬ"

Відсутні кнопки та додаткове програмне забезпечення, пристрій просто розміщується там, де можливий витік води. Через відсутність індикації заряду необхідно перевіряти, чи датчик працює. Коли відбувається витік води, детектор автоматично спрацьовує і видає гучний сигнал, сповіщаючи про проблему. Датчик оснащений трьома ніжками, які мають високу чутливість. При контакті з водою всіх трьох ніжок, детектор миттєво видає потужний сигнал. Щоб активувати пристрій, необхідна відкрутити верхню кришку і вставити лужну

батарею на 9 вольт (не входить в комплект). Орієнтовно нової батареї вистачає на 1 рік використання. Сам датчик виготовлений з міцного пластику і володіє водонепроникним захистом. Виріб було сконструйовано таким чином, щоб детектор зберігав працездатність навіть після повного занурення в воду. Тому після потопу датчик можна використовувати повторно [1].

1.1.2 Датчик затоплення Octopus +

Найдешевший та найпоширеніший датчик українського виробника, зображений на рис. 1.2.

Рисунок 1.2 — Octopus +

Датчик виконаний у пластиковому герметичному ударостійкому корпусі і має два отвори для його закріплення на вибраному ймовірному рівні затоплень. Електронна схема сповіщувача залита епоксидною смолою та герметизована від зовнішнього впливу вологи, сонячних променів і пилу. З корпусу сповіщувача Octopus + виводяться два провідники електроживлення («+» електроживлення – червоного кольору, «–» – білого кольору) для підключення датчика до шлейфу охоронного приймально–контрольного приладу (ПКП), клеми, захищені кришкою від механічних пошкоджень, два контрольних штирі, замикаючих ланцюг включення датчика при контакті з водою. Для встановлення необхідно зняти захисний шар з липкої стрічки і закріпити датчик, щільно притиснувши корпус до місця установки. У разі ненадійності

закріплення за допомогою стрічки, додатково закріплюють двома шурупами, які входять в комплект [2].

1.1.3 Система контролю протікання води Grohe Sense 22505LN0

Один з найпоширеніших датчиків на світовому ринку від надійного та відомого виробника, зображений на рис. 1.3.

Рисунок 1.3 — Grohe Sense 22505LN0

Як тільки вода контактує з нижньою частиною корпусу Grohe Sense, на котрій розміщені чутливі до води контакти, датчик видає звуковий сигнал та на глянцевій акриловій пластині починає блимати червоне світло. Оскільки у датчика є підключення до бездротової локальної мережі, він надсилає попередження на смартфон через додаток або електронною поштою. Контролює кімнатну температуру та вологість. Також Grohe Sense попереджує власника коли протягом тривалого періоду часу рівень вологості стає небезпечним. При експлуатації в несприятливих умовах навколишнього середовища, в будівлях або

приміщеннях з залізобетонними стінами, сталевими і металевими рамами або поблизу перешкод з металу прийом WLAN може здійснюватися з перешкодами і перериватися. Розміщувати датчик необхідно на рівній, непровідній поверхні. Є можливість налаштувати параметри через додаток. Особливістю є акумулятор LongLife, завдяки якому очікуваний термін служби до чотирьох років, в залежності від використання датчика [3].

1.1.4 Датчик затоплення ALFA WD433

Детектор затоплення ALFA WD433 для додаткової комплектації GSM сигналізації, зображений на рис. 1.4.

Рисунок 1.4 — ALFA WD433

Закріплюється датчик на стіну, а виносний зонд (сенсор) опускається до підлоги. До виносного зонду протягнуті дроти достатньої довжини. Корпус виконаний з міцного пластику білого кольору. Модель оснащена індикаторами роботи і живлення. Якщо на підлозі з'являється вода, яка закорочує електроди виносного сенсора датчика, то імпульс розмикає виконавче реле. Реакція на це слугує відправляння сигналу на централь GSM модуля з частотою 433 МГц,

також загоряється індикатор і спрацьовує гучна сирена. Максимальна відстань між датчиками і централлю складає 80 м. Недоліком даного датчика є незахищені місця пайки на самих контактах сенсора, які реагують на воду [4].

1.1.5 Датчик контролю протікання води Maxus Smart WiFi Water leakage sensor

Ця модель являє собою частину Wi–Fi сигналізації, має компактний розмір і довгий шнур з чутливими контактами. Сам датчик зображений на рис. 1.5.

Рисунок 1.5 — Maxus Smart WiFi Water leakage sensor

Поява води викликає замикання контактів, після чого пристрій активує підключення до маршрутизатора по мережі Wi–Fi та надсилає радіосигнал до системи для активації режиму тривоги та сповіщення користувача по телефону. Одночасно з повідомленням пристрій буде надсилати звуковий сигнал до моменту видалення протікання. Пристрій може працювати як сценарій для активації інших пристроїв, які сумісні з додатком. Для максимальної зручності користувача датчик протікання оснащений світлодіодним індикатором стану й має функцію звукового сповіщення про низький заряд батареї. Живиться від двох батарейок типу AAA. Відстань бездротового підключення сягає 70 м на відкритій місцевості. Довжина проводу з чутливим датчиком

складає 1100 мм. Пристрій підключається до платформи Maxus SMART, що об'єднує всі складові розумного дому в єдину мережу з центром керування в смартфоні [5].

1.1.6 Датчик протікання FIBARO FLOOD SENSOR FGFS-101

Бездротовий датчик виявлення протікання води призначений для виявлення затоплень приміщень, зображений на рис. 1.6.

Рисунок 1.6 — FIBARO FLOOD SENSOR FGFS-101

Детектор опускається на підлогу і при попаданні води на ніжки пристрою відбувається замикання контактів і видача тривожного сигналу. Датчик здатний відправляти сигнал про небезпеку затоплення на блок центрального контролера Z–Wave, по e–mail, включати вбудовану або зовнішню сирену, сигналізувати про позаштатну ситуацію зміною кольору світлодіодного підсвічування. Дальність передачі бездротового сигналу 50 м. Пристрій має водонепроникний корпус. При затопленні приміщення датчик не тоне, а плаває у воді. Також пристрій захищений від несанкціонованого відкриття. Датчик наводнення FIBARO призначений для розміщення на підлозі або за-кріплення на стіні (у цьому випадку зонди датчика наводнення слід подовжити за допомогою додаткового дроту не більше трьох метрів, котрий буде опущений о підлоги). Перевагою датчика є можливість його установки на нерівній поверхні завдяки телескопічним ніжок. Невеликий пристрій можна випадково зрушити, зачепивши ногою. Датчик можуть змістити домашні тварини або діти. В результаті зсуву може бути порушений зв'язок з контролером або пристрій відходить від місця можливого протікання. Це не дозволить датчику виконувати свої функції. Тому при будь–яких спробах змінити положення пристрою

спрацьовує вбудований датчик нахилу і на контролер передається повідомлення про зміну місця розташування – це дозволяє своєчасно повернути прилад на місце. До пристрою можливе підключення другого проводового датчика, для більш надійного і обширного контролю протікання води. Інтегрований датчик температури здатний відстежувати роботу системи теплої підлоги і навіть послужить датчиком пожежної сигналізації в разі різкого підвищення температури [6].

1.1.7 Бездротовий датчик затоплення SATEL AFD-100

Частина безпровідної охоронної системи надійного виробника призначена для виявлення протікання води зображена на рис. 1.7.

Рисунок 1.7 — Satel AFD-100

AFD-100/100 BR – це бездротовий сповіщувач затоплення, який в свою чергу, є одним з компонентів системи Abax. Цей пристрій обслуговується контролером ACU-100, який є центром всієї системи. Сповіщувач обладнаний виносним зондом з проводом довжиною в 3 м, що дозволяє легко встановлювати його навіть у важкодоступних місцях. Основний принцип роботи пристрою полягає в наступному: сигнал про затоплення від сповіщувача надходить через 5 секунд після того, як рівень води підвищується до рівня

електродів виносного зонда сповіщувача. Тривога вимикається через кілька секунд після того, як рівень води в приміщенні опуститься нижче рівня вищезазначених електродів. AFD-100 має інтегрований світлодіод для сигналізації в тестовому режимі. Радіус з’єднання до 500 м (на відкритій місцевості). Даний сповіщувач необхідно встановлювати всередині приміщень на висоті, достатній для того, щоб особи, що рухаються всередині об'єкта не потрапляли в поле дії пристрою задля уникнення помилкового спрацювання тривоги. Датчик затоплення виконаний в невеликому корпусі, випускається в двох кольорах – білому і коричневому. Це робить його універсальним для монтування в приміщенні, де необхідно витримати певний стиль інтер'єру [7].

1.1.8 Датчик затоплення AJAX LeaksProtect накладний

Частина бездротової охоронної системи від українського виробника зображений на рис. 1.8.

Рисунок 1.8 — AJAX LeaksProtect

Бездротовий датчик LeaksProtect – це відмінний пристрій другого покоління охоронної системи Ajax для виявлення затоплення в приміщенні. Підключається датчик через захищений протокол Jeweller до хаба. Дальність зв’язку – до 1300 метрів за відсутності перешкод. Також датчик може використовуватися в складі сторонніх охоронних централей завдяки модулям інтеграції. Датчик має водонепроникний корпус, обладнаний чотирьома парами нікельованих контактів. Виявлення перших ознак затоплення здійснюється

шляхом потрапляння води на одну з пар контактів розташованих на нижній частині датчика. У разі виявлення протікання води LeaksProtect сповіщає один раз, наступну тривогу датчик надсилає тільки після висихання та повторного намокання контактів. Дальність зв'язку до 1300 м (на відкритій місцевості). Пристрій розміщується на підлозі у місці імовірної появи води та не потребує інструментів для монтажу. Також датчик обладнаний захистом від відкриття корпусу [8].

1.1.9 Порівняння характеристик

Загальні характеристики описаних вище аналогів наведені в табл. 1.1 для порівняння.

Таблиця 1.1 — Порівняльна таблиця характеристик аналогів

Характеристика	СПАСАТЕЛЬ	Octopus +	Grohe Sense	ALFA WD433	Maxus Smart	FIBARO FLOOD SENSOR	SATEL AFD-100	AJAX LeaksProtect
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Матеріал корпусу	ABS пластик	Пластик	Латунь, пластик	Пластик	Пластик	Пластик	Пластик	Пластик
Тип	Бездротовий	Дротовий	Дротовий + бездротовий	Бездротовий	Бездротовий	Бездротовий	Бездротовий	Бездротовий
Розмір	80 x 80 x 30 мм	64 x 13 x 13 мм	35 x 84 x 84 мм	115 x 35 мм	68.4 x 68.3 x 20.3 мм	72 x 28 мм	26 x 112 x 29 мм	56 × 56 × 14 мм
Робоча напруга	9 В	5 – 12 В	3,75 – 5 В	12 В	3 В	12 –24 В	3 В	3 В

Продовження таблиці 1.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Сигналізація	Звукова, 85 дБ	Звукова та світова від ПКП	Звукова ≥ 50 дБ, світова та сповіщення на смартфон	Світова, звукова 85 дБ	Звукова ≥ 75 дБ, сповіщення на смартфон	Звукова, світова, сповіщення на блок центрального контролера	Сповіщення на смартфон	Світова та сповіщення на смартфон
Колір	Білий	Білий	Білий	Білий	Білий	Білий	Білий, коричневий	Білий, чорний
Країна-виробник	Китай	Україна	Німеччина	Китай	Китай	Польща	Фінляндія	Україна
Ціна	143 – 350 грн	190 – 253 грн	2019 – 2099 грн	289 грн	390 грн	1549 – 1849 грн	1394 – 1632 грн	899 грн
Термін роботи	1 рік	1 рік	До 4-х років	1 рік	1 рік	До 2-х років	До 3-х років	До 5-и років

Серед розглянутих прикладів найпоширеніше використання пластику як матеріалу корпусу. Це можна пояснити тим, що пластик не піддається корозії, виріб з пластику має невелику вагу та невисоку ціну виготовлення корпусу. Більшість аналогів мають бездротовий тип з'єднання тож це може полегшити їх встановлення в побутових приміщеннях. Також на зручність встановлення впливають невеликі габарити датчиків. Більшість датчиків мають білий колір корпусу, та два з наведених прикладів надають можливість іншого забарвлення.

За типом корпусу сьогоденні пристрої можна умовно поділити на дві категорії. До першої відносяться датчики призначені для монтажу на стіну. У таких пристроях від основного корпусу опускається до підлоги виносний зонд, на котрому розташований чутливий елемент, таким чином регулюється рівень води на котрий буде реагувати пристрій. Другий тип датчиків призначений для встановлення на рівну поверхню підлоги.

Чутливі елементи датчиків являють собою пару контактів, котрі замикаються при появі води між ними. Лише в одного прикладу чутливим елементом слугує пластина з не ізольованими провідниками, котрі так само замикаються через появу води.

Більшість з наведених вище пристроїв мають звукову або світову сигналізацію при фіксуванні появи води. Більш сучасним рішенням являється сповіщення користувачу на смартфон. Серед датчиків з такою функцією лише один сповіщає одразу користувача. В інших пристроях сповіщення на смартфон відбувається через головну централь охоронної системи будинку, тобто самостійним пристроєм такий датчик не являється.

Дротовим пристроям необхідне живлення від мережі або централі охоронної системи. Бездротові датчики розраховані на живлення від гальванічних елементів. Усі виробники гарантують як мінімум 1 рік роботи пристрою без заміни цих елементів.

1.2 Аналіз технічного завдання

У даному дипломному проекті розроблюється WI-FI датчик протікання води. Прилад призначений для вияву появи води в небажаному місці та миттєвого сповіщення користувача.

Пристрій повинен мати постійну напругу живлення до 5 В та живитись від гальванічних елементів з можливістю їх заміни користувачем. Необхідно забезпечити бездротове з’єднання по каналу зв’язку WI-FI з будь–яким смартфоном на відстані до 50 м.

У технічному завданні задане кліматичне виконання УХЛ 4, котре відповідає експлуатації в приміщеннях (об'ємах) з штучно регульованими кліматичними умовами. Захист від механічних пошкоджень М13, котрий відповідає капітальним лабораторним, житловим та іншим подібного типу приміщенням. 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 підбір елементної бази пристрою.

Конструкція датчика має бути малогабаритною, зручною і зрозумілою для користування та призначена для кріплення до стіни з фіксацією положення. Корпус виконати з пластику світло сірого кольору.

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 Л1, які відповідають зберіганню в опалюваних і вентильованих складах, сховищах з кондиціюванням повітря, розташованих в будь–яких макрокліматичних умовах.

Матеріали та компонентна база пристрою мають відповідати вимогам до застосування в РЕА та серійно вироблятись промисловістю.

На передній частині корпусу необхідно забезпечити маркування індикації розряду пристрою.

В даному розділі розглянуто аналоги пристрою існуючі на ринку та проведене їх порівняння. Також проаналізоване технічне завдання.

2 СИНТЕЗ СХЕМИ ПРИСТРОЮ

2.1 Розробка структурної схеми

Структурна схема пристрою зображена на рис. 2.1.

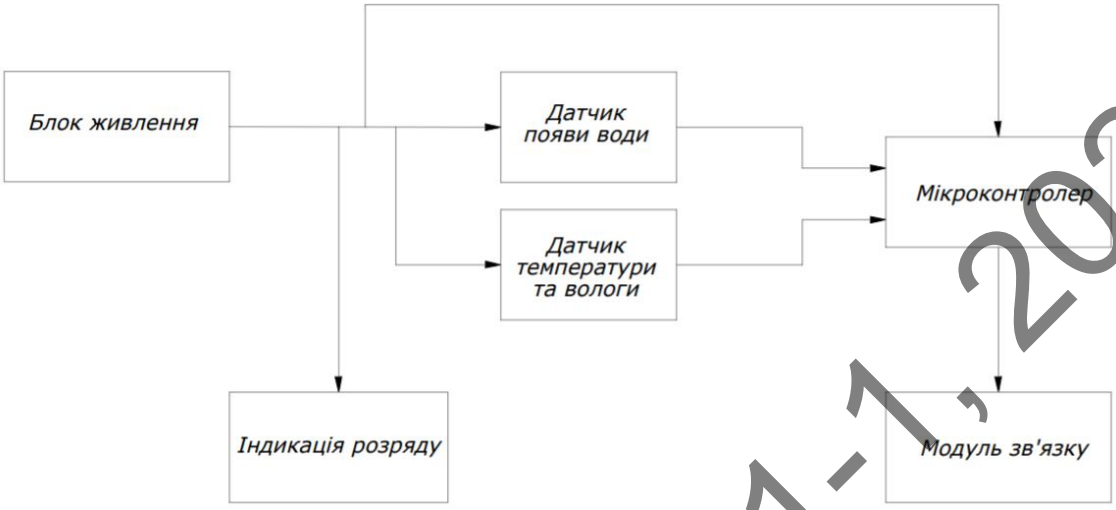


Рисунок 2.1 — Структурна схема

Блок живлення має бути виконаний у вигляді гальванічних елементів, аби пристрій був переносним. Він живить усю іншу електроніку на платі.

Індикація розряду має визначати момент, коли напруга від блока живлення падає нижче можливої мінімальної напруги та сповіщати користувача про потребу заміни гальванічних елементів. Попередньо передбачена світова індикація розряду.

Першим чутливим елементом пристрою є датчик появи води. Він реагує на контакт з водою. Дані з датчика ідуть на мікроконтролер.

Другим чутливим елементом є датчик температури та вологи. На відміну від попереднього, цей датчик лише вимірює параметри навколишнього середовища. Дані з нього відповідно відправляються до мікроконтролера.

Мікроконтролер слугує для обробки даних з чутливих елементів та, при відповідних умовах, надсилання сповіщення про спрацювання пристрою. Це відбувається за допомогою модуля зв’язку, котрий буде використовувати мережу WI–FI.

2.2 Синтез схеми електричної принципової

Синтезована електрична принципова схема пристрою зображена на рис. 2.2.

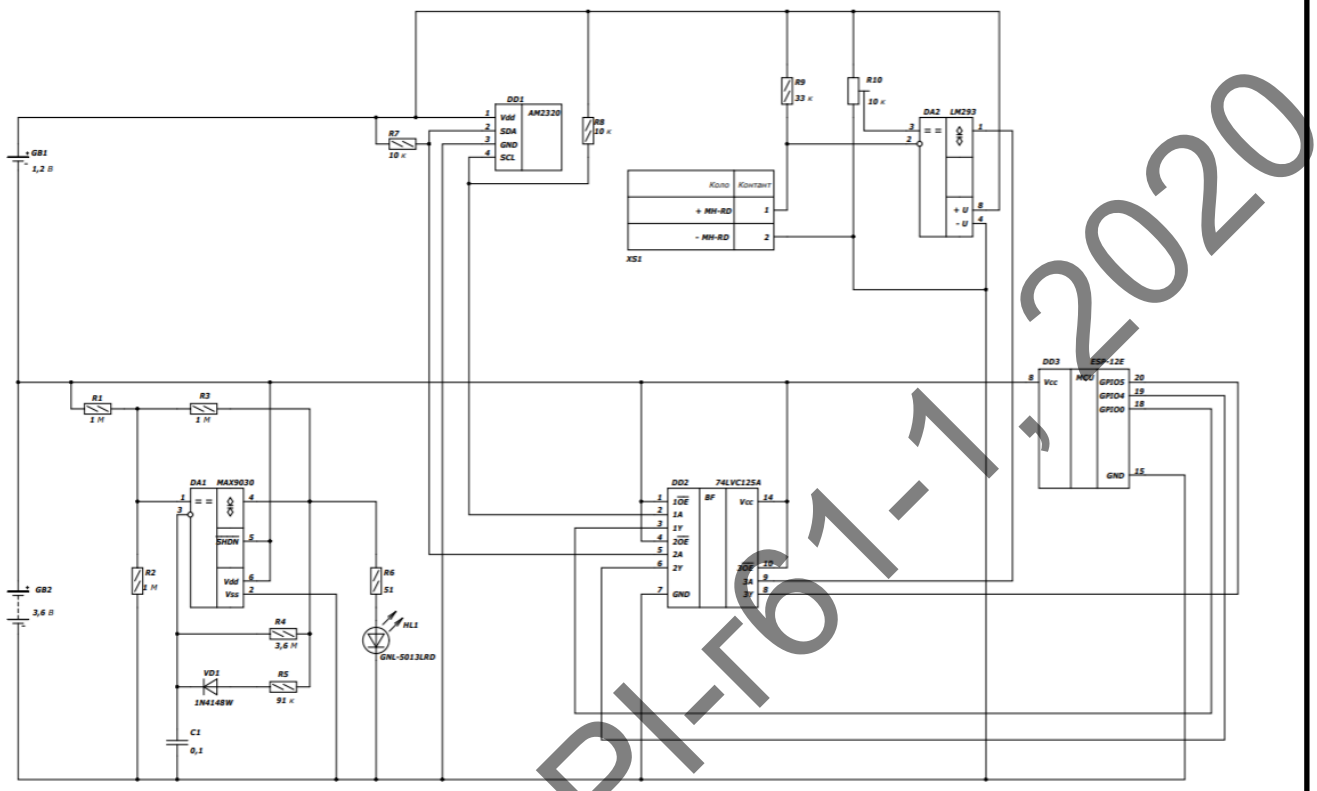


Рисунок 2.2 — Схема електрична принципова

Блок живлення реалізований на чотирьох паралельно з'єднаних NiMH акумуляторів типорозміру AAA з номінальною напругою 1,2 В. Така збірка дає 4,8 В для живлення датчиків та 3,6 В для живлення інших елементів на платі.

Індикація заряду працює від трьох акумуляторів, що дають 3,6 В. Сама схема побудована на компараторі DA1 та блимаючому світлодіоді HL1. Використання такого світлодіоду дозволяє знизити споживання струму від акумуляторів, що економить енергію гальванічних елементів і продовжує строк їх служби. Схема спрацьовує при падінні напруги до 3,0 В. Загальний принцип роботи подібної індикації зводиться до порівняння певного зразкового рівня напруги з контрольованою напругою [9].

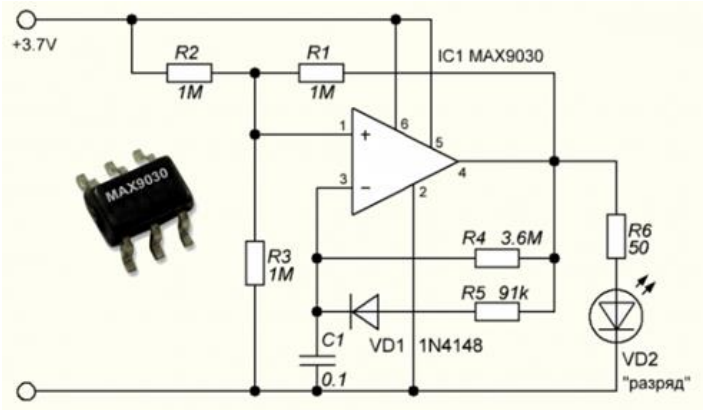


Рисунок 2.3 — Схема індикації розряду акумуляторів

У вигляді датчика появи води використовується готовий давач, який являє собою плату з неізольованими провідниками котрі замикає між собою рідина, що потрапила на них. Давач приєднується до плати через міжплатне з'єднання XS1. Зазвичай такі давачі використовуються з готовими для них модулями Arduino на базі контролера LM393. Цей модуль містить два світлодіоди, перший відповідає за індикацію живлення, другий — за перетин порогового значення. Оскільки світлодіоди споживають великий струм і можуть суттєво впливати на термін роботи пристрою було прийнято рішення реалізувати аналог цього модуля на базі компаратора DA2, але без світлодіодів. На резисторі R9 і давачі побудований дільник напруги. Оскільки при замиканні контактів давача водою змінюється опір, то відповідно змінюється напруга на вході компаратора. Змінним резистором R10 налаштовується порогове значення напруги з котрою порівнюється напруга з дільника [10].

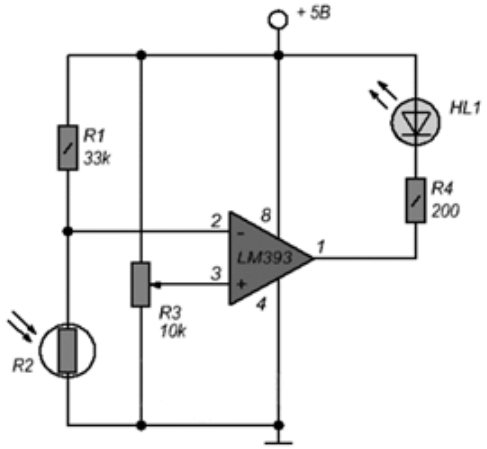


Рисунок 2.4 — Схема для прикладу використання контролера LM393

За вимірювання значень температури та вологості відповідає елемент DD1. Елементи R7 та R8 виконують роль підтягуючих резисторів, що

забезпечують «підтягування» сигналу до рівня живлення як вимагає стандарт зв’язку I^2C [11].

В приладі необхідні мікроконтролер та модуль зв'язку реалізовані модулем DD3 з мікросмужковою антеною на базу модуля.

Буфер DD2 використовується для узгодження логічних рівнів датчиків (4,8 В) з логічним рівнем мікросхеми DD3 (3,6 В).

2.3 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;
- Від елементної бази залежить технологічність виготовлення пристрою;
- Елементна база визначає габарити пристрою.

Для вибору електрокомпонентів використовувався електронний каталог РКС Компоненти [12]. Тож додатковими критеріями були вартість та доступність компонентів на українському ринку.

2.3.1 Вибір пасивних компонентів

У якості елементів R1 – R9 використовуються малопотужні SMD резистори. Для підвищення технологічності виробу обрані резистори виробника Hitano, оскільки це єдиний виробник котрий має резистори усіх необхідних номіналів. Елементи в корпусах типорозміру 0805. Обрані компоненти мають наступні характеристики:

- Номінальна потужність 0,125 Вт;
- Діапазон номінальних опорів 51 Ом – 3,6 МОм;
- Точність ± 5 %;

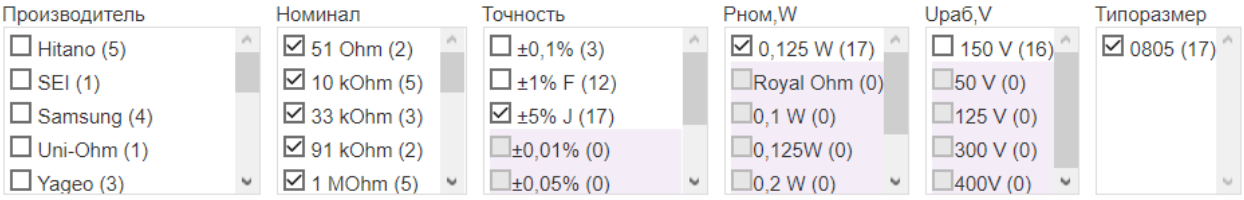


Рисунок 2.5 — Вибір резисторів

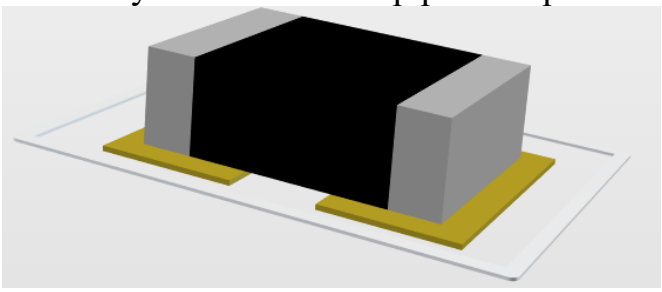


Рисунок 2.6 — 3D модель SMD резистора в середовищі Altium

Резистор R10 підстроюваний з номінальним опором 10 кОм. Обраний вивідний резистор фірми Piher через шестигранний шліц, що забезпечує недоступність регулювання звичайним користувачем. Номінальна потужність рівна 0,25 Вт. Точність ± 20 %.

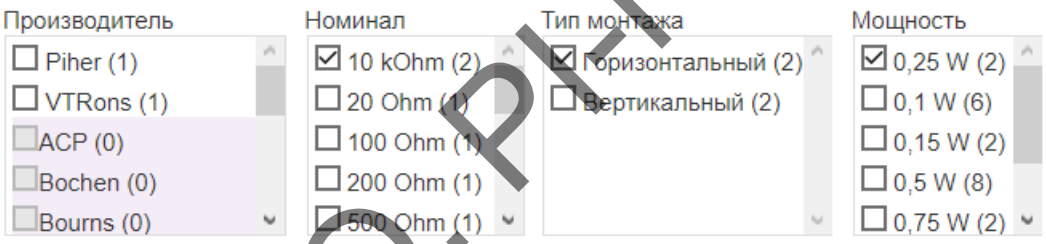


Рисунок 2.7 — Вибір підстроюваного резистора

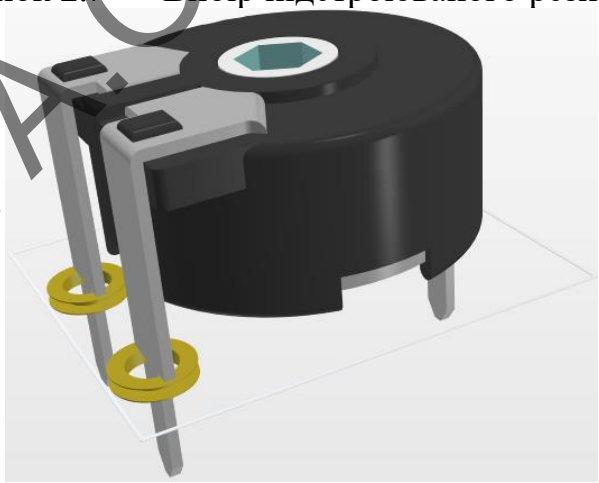


Рисунок 2.8 — 3D модель підстроювального резистора в середовищі Altium

Конденсатор C1 має номінальну ємність 0,1 мкФ. Обраний елемент фірми Hitano через меншу вартість. Виконаний у SMD корпусі типорозміру 0805 з точністю ± 5 %.

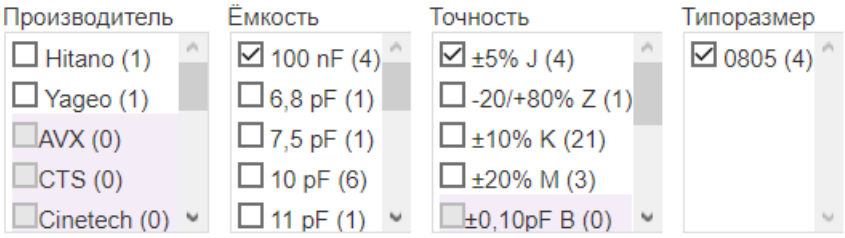


Рисунок 2.9 — Вибір конденсатора

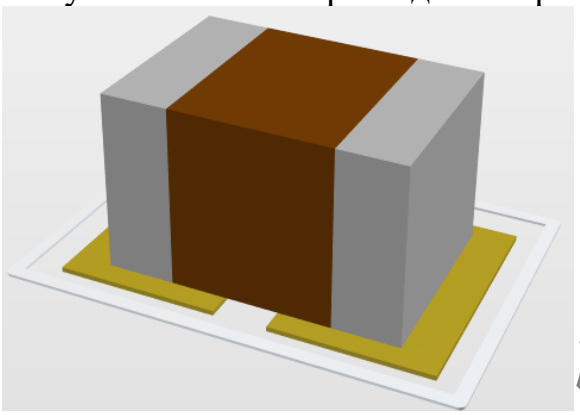


Рисунок 2.10 — 3D модель SMD конднсатора у середовищі Altium

Отже пасивні компоненти поверхневого монтажу обрані фірми Hitano, а підстроюваний вивідний резистор належить виробнику Piher.

2.3.2 Вибір активних компонентів

Схема індикації розряду потребує імпульсного діода VD1 типу 1N4148. Його аналогом для поверхневого монтажу є кремнієвий діод 1N4148W від виробника Vishay у SMD корпусі SOD–123 з наступними характеристиками:

- Максимальна постійна зворотна напруга 75 В;
- Максимальна імпульсна зворотна напруга 100 В;
- Максимальний прямий струм 0,15 А;
- Максимальний допустимий прямий імпульсний струм 0,45 А;
- Максимальний зворотні струм 2,5 мкА;
- Максимальна пряма напруга 1,25 В.

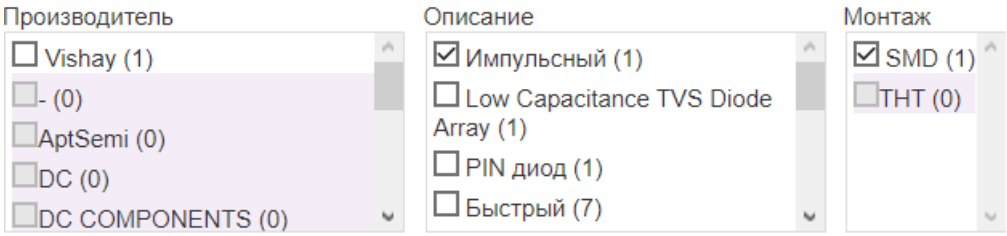


Рисунок 2.11 — Вибір імпульсного діода

Позначка у вигляді сірої смуги нанесена зі сторони катода.

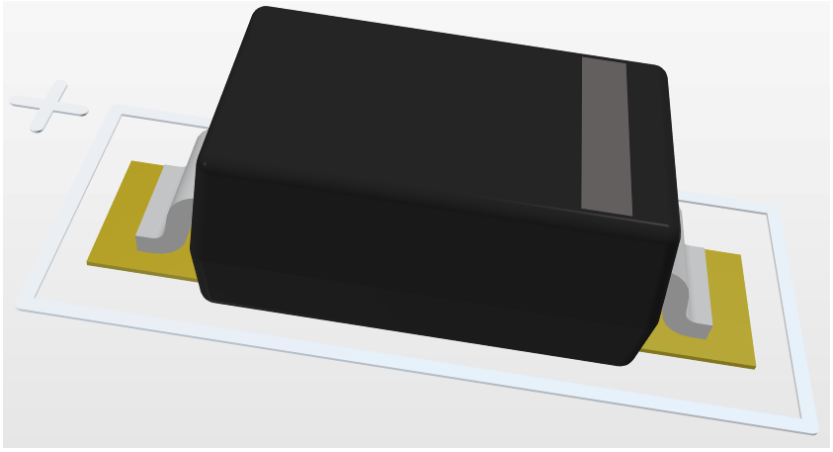


Рисунок 2.12 — 3D модель SMD діода в середовищі Altium

Відповідно ця частина схеми побудована на основі елемента DA1, котрий являє собою компаратор MAX9030 [9]. Це малопотужний, мініатюрний пристрій з можливістю відключення. Компаратор виконаний у SMD корпусі SOT23. Споживаний струм рівний 35 мА, час поширення сигналу вхід-вихід 188 нс. Оскільки всі його параметри задовольняють вимоги до пристрою пошук аналогів не проводився.

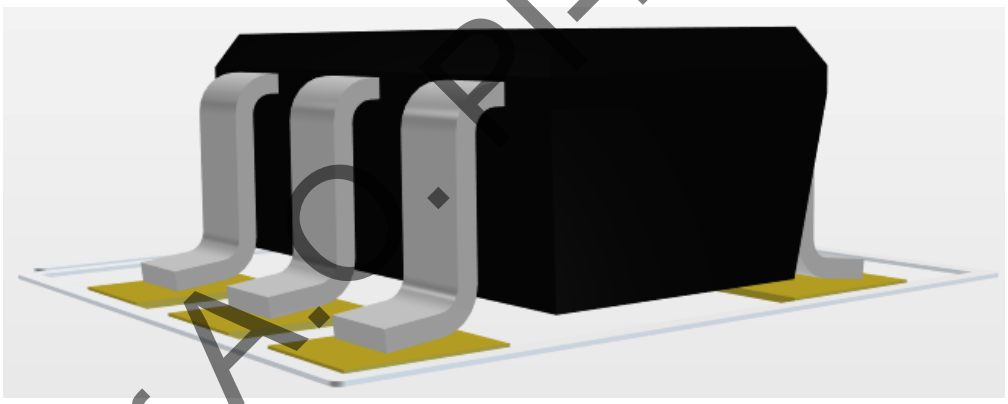


Рисунок 2.13 — 3D модель MAX9030 у середовищі Altium

Датчик температури та вологості позначений на схемі як DD1. Для вибору цього елементу було розглянуто два варіанта. Найдешевшим та популярним на ринку є датчик DHT11. Трохи дорожчим і більш поширеним є датчик AM2320. Експериментальним шляхом було встановлено, що другий датчик має більшу точність вимірювань. Отже перевагу було надано саме датчику AM2320. Він має заводське калібрування і характеризується низьким енергоспоживанням. Виробник гарантує високу надійність та довгострокову стабільність.

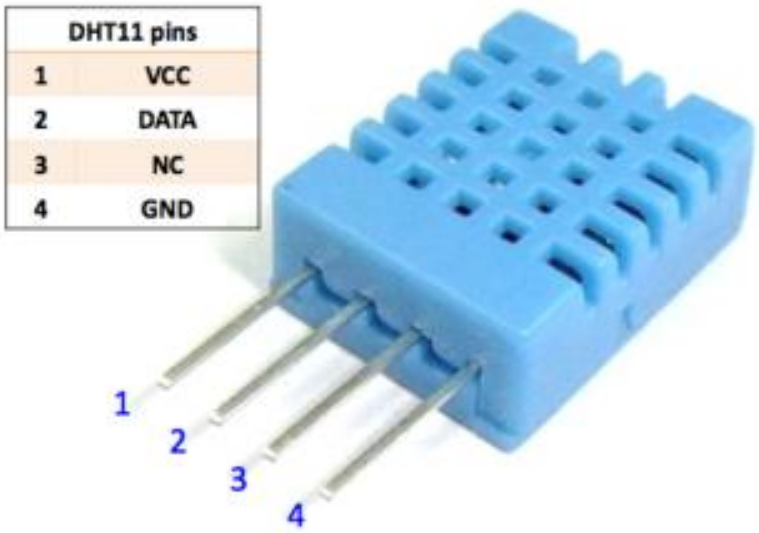


Рисунок 2.14 — Зовнішній вигляд та розпіновка датчика DHT11

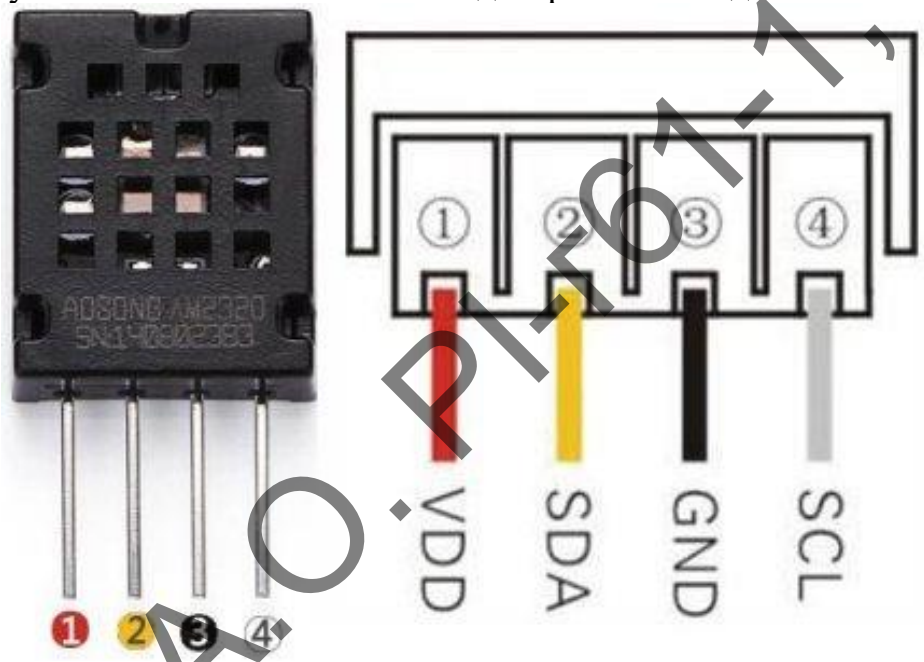
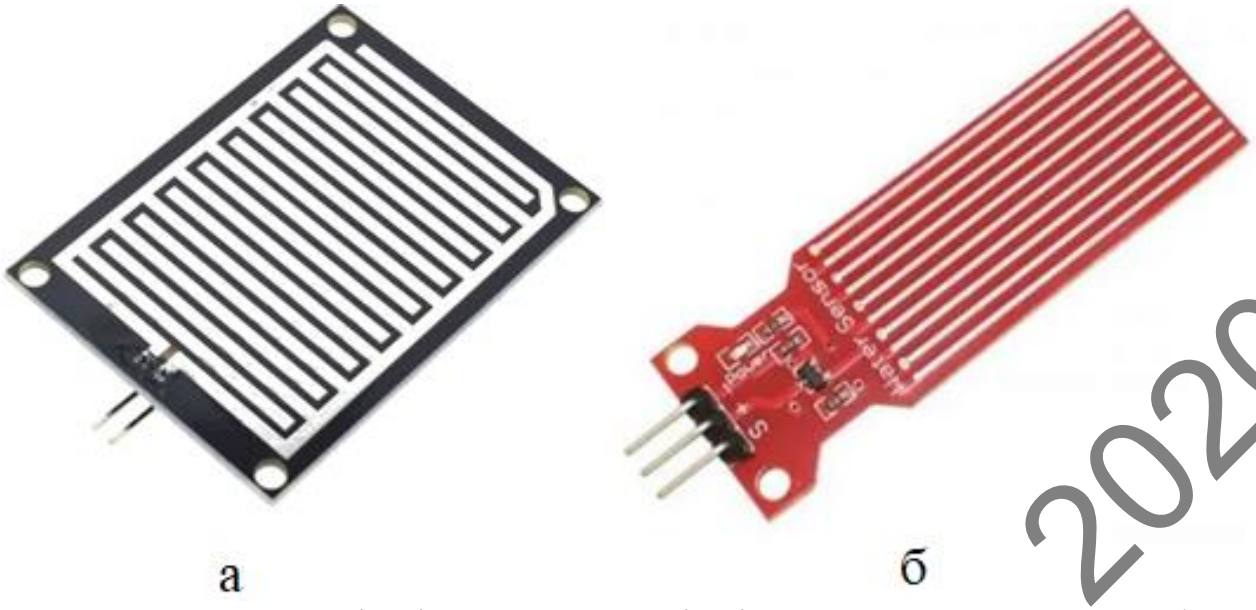


Рисунок 2.15 — Зовнішній вигляд та розпіновка датчика AM2320

Вибір другого датчика проводився з каталогу на сайті Arduino.UA [13]. Зважаючи на форму провідників, габарити, спосіб кріплення у корпус та можливість заміни модуля до датчика перевага була надана давачу MH–RD. Це виносний зонд, котрий являє собою пластину з нікельованою поверхнею. Це захищає від шкідливого впливу рідини (корозії). Чутлива частина датчика являє собою простий змінний резистор, котрий змінює опір через замикання провідників у різних місцях. Габарити пластини 50 х 40 мм.



а б

Рисунок 2.16 — Зовнішній вигляд датчиків рідини: а — давач MH–RD; б — давач рівня рідини

Заміна модуля до MH–RD зібрана на компараторі LM293, що позначений як елемент DA2. На відміну від стандартного рішення на базі LM393, обраний інший представник цього сімейства через більший діапазон робочих температур. Малопотужний компаратор LM293 виконаний у SMD корпусі SO8, споживає струм 0,4 мА при напрузі живлення 5 В.

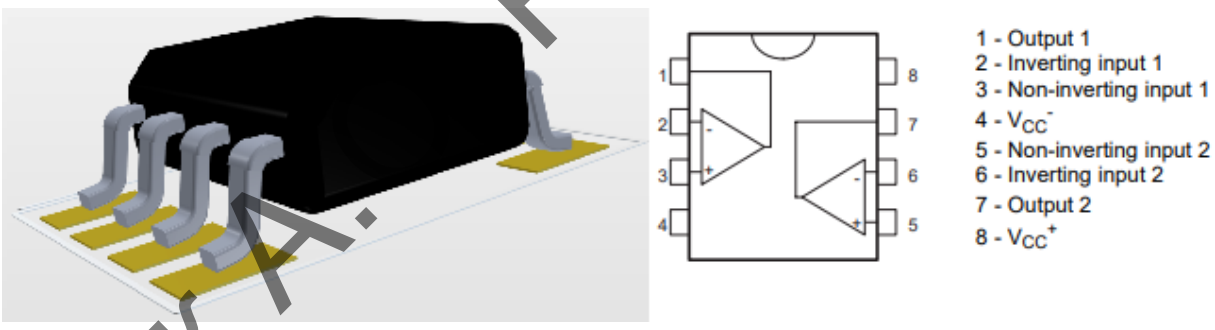


Рисунок 2.17 — 3D модель компаратора LM293 у середовищу Altium та його розпіновка

Головним елементом пристрою є WI–FI модуль позначений як DD3. Для порівняння пропозицій на ринку використовувався каталог сайту мікроАмпер [14]. Зважаючи на популярність, доступність, ціну та об’єм вбудованої пам’яті модуля було надано перевагу модулю ESP-12E, що виконаний на базі процесору з ядром ESP8266 та має мікросмужкову антену на платі.

Порівняння товарів

Деталі товару				
Товар	WiFi модуль ESP8266 ESP-12e	PADI IoT Stamp	WiFi модуль ESP8266 ESP-07	WiFi модуль RTL8710 RTL-00
Зображення				
Ціна	57.00 грн.	92.00 грн.	63.00 грн.	114.00 грн.

Рисунок 2.18 — Вибір WI–FI модуля

Широко поширений відносно дешевий модуль, що використовується для зв'язку пристрою з смартфоном користувача. Основні характеристики:

- Модуль підтримує стандарт IEEE802.11 b/g/n;
- Вбудований стек TCP/IP протоколів;
- Вбудований 32–розрядний МК з низьким енергоспоживанням, 16–розрядна RISC архітектура;
- Вбудований 10–розрядний АЦП;
- Вбудований РЧ комутатор, РЧ трансформатор опорів, LNA, підсилювач потужності;
- Вбудовані блоки ФАПЧ і керування потужністю;
- Wi-Fi 2,4 ГГц, підтримка WPA/WPA2;
- SDIO 2.0, (H) SPI, UART, I2C, I2S, IRDA, PWM, GPIO;
- STBC, 1x1 MIMO, 2x1 MIMO;
- Споживання в режимі глибокого сну < 10 мкА, струм витікання у вимкненому режимі < 5 мкА;
- Вихідна потужність + 20 дБм в режимі 802.11b.

В однокристальній системі ESP8266EX відсутня програмована пам'ять ROM, тож програмне забезпечення має зберігатись у зовнішній SPI флеш–пам'яті. В модуль вбудований даний тип пам'яті розміром 4 Мбайти. Теоретично можлива установка додаткової пам'яті для збільшення загального об'єму до 16 Мбайт. Габаритні розміри модуля 16 x 24 x 3 мм [15].

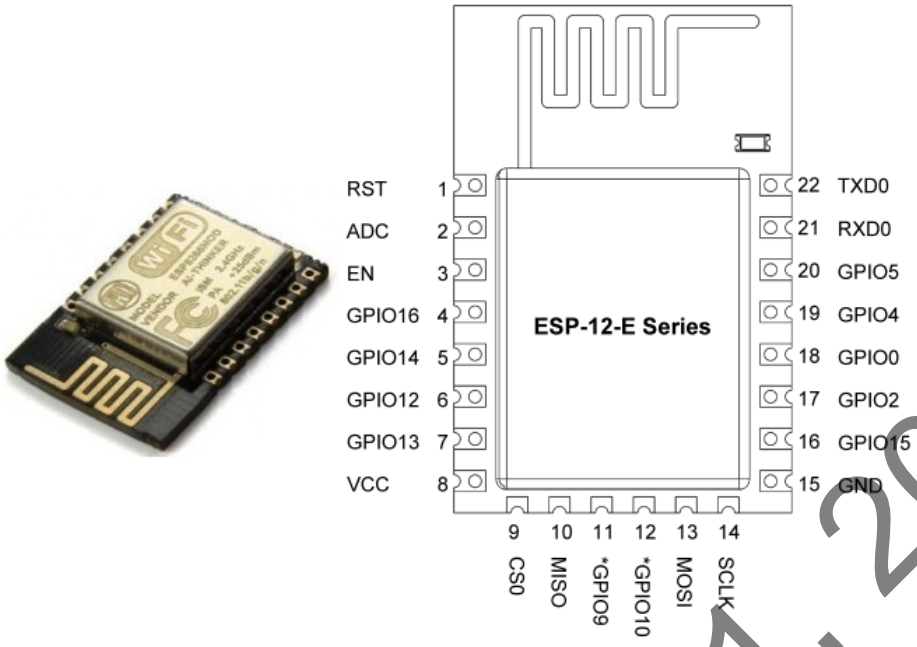


Рисунок 2.19 — Зовнішній вигляд та розпіновка модуля ESP–12E

Для узгодження логічних рівнів давачів та мікроконтролера використовується елемент DD2. Через низьке споживання струму та відповідний діапазон робочих напруг обраний буфер фірми NXP Semiconductors.

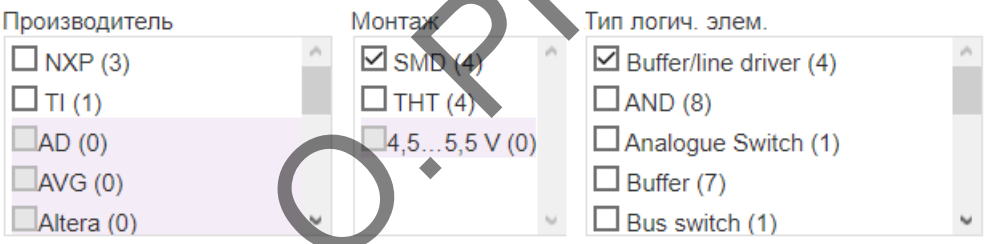
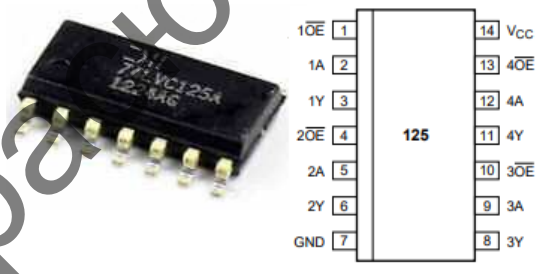


Рисунок 2.20 — Вибір буфера

Елемент 74LVC125A це малопотужний неінвертуючий буфер / лінійний драйвер. Він виконаний у SMD корпусі SO14.



Symbol	Pin	Description
$1\overline{OE}$, $2\overline{OE}$, $3\overline{OE}$, $4\overline{OE}$	1, 4, 10, 13	data enable input (active LOW)
1A, 2A, 3A, 4A	2, 5, 9, 12	data input
1Y, 2Y, 3Y, 4Y	3, 6, 8, 11	data output
GND	7	ground (0 V)
V_{CC}	14	supply voltage

Рисунок 2.21 — Зовнішній вигляд та розпіновка буфера 74LVC125A

Вибір активних елементів не вийшло звести до мінімальної кількості виробників, але кожен елемент легкодоступний на українському ринку та має невелику ціну в порівнянні з аналогами.

2.3.3 Вибір інших компонентів

У якості блимаючого світлодіода HL1 обраний GNL-5013LRD виробника G-NOR, оскільки його легко знайти на ринку. Світлодіод червоного кольору з довжиною хвилі 660 нм, кутом огляду 60°. Корпус круглої форми діаметром 5 мм.

Рисунок 2.22 — Вибір світлодіода

Рисунок 2.23 — Зовнішній вигляд світлодіоду GNL–5013LRD

Елемент CB1 це тримач для одного акумулятора типорозміру AAA фірми Keystone electronics. Відповідно GB2 є тримачем для трьох акумуляторів типорозміру AAA того самого виробника. Перевага була надана саме Keystone, бо це єдина фірма, котра пропонує необхідні типи слотів. Обидва компоненти встановлюються на плату і для них передбачений монтаж в отвори.

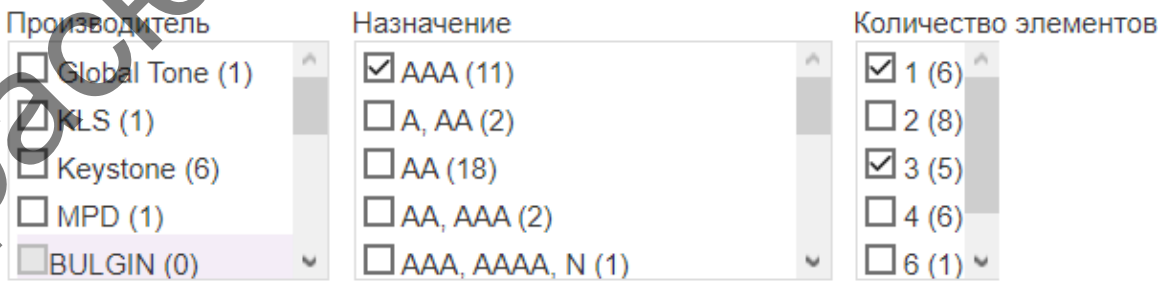


Рисунок 2.24 — Вибір слотів для акумуляторів

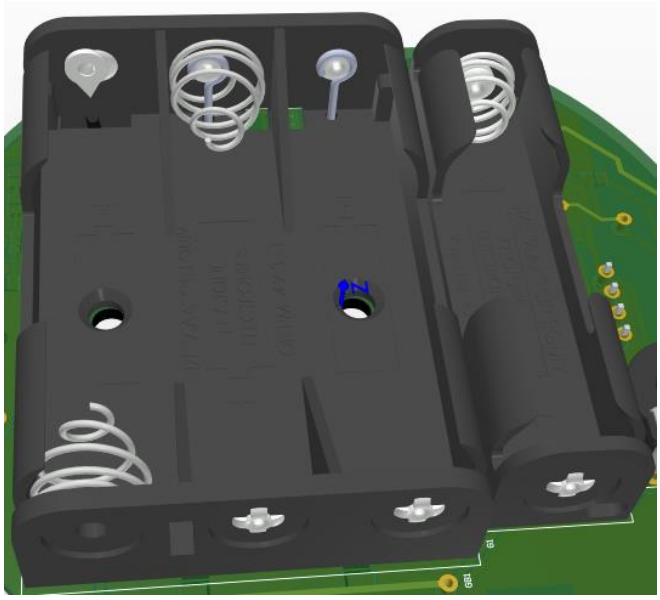


Рисунок 2.25 — 3D моделі GB1 та GB2 у середовищі Altium

Для міжплатного з’єднання XS1 обрані штирі однорядні з фірми KLS, оскільки вони поширені та дешеві на українському ринку.

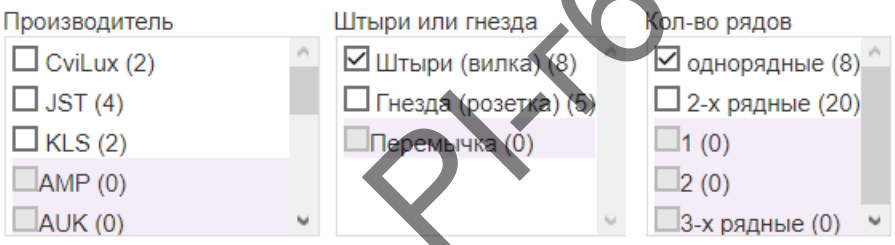


Рисунок 2.26 — Вибір міжплатних з'єднань

Рисунок 2.27 — 3D модель XS1 у середовищі Altium

У даному розділі було розроблено схему електричну структурну. Також синтезовано схему електричну принципову та описано принцип роботи приладу. Описано та обґрунтовано вибір компонентної бази пристрою.

3 РОЗРОБКА ДРУКОВАНОГО ВУЗЛА ТА КОНСТРУКЦІЇ ПРИСТРОЮ

3.1 Аналіз з точки зору технолога

Пристрій буде складатись з виносного зонду давача появи води, що приєднується до основної плати. Більшість компонентів виконані у корпусах поверхневого монтажу, також є вивідні компоненти. Отже доцільно виготовляти двосторонню друковану плату. Оскільки користувачу буде необхідно замінювати акумулятори в пристрої прийняте рішення розмістити тримачі для акумуляторів на верхній частині плати. Також на верхню частину плати вивести змінний резистор, завдяки котрому буде проводитись калібрування виносного зонду при збиранні готового пристрою. Усі інші елементи будуть розміщені на нижній стороні плати та не доступні звичайному користувачу.

3.1.1 Обґрунтування методу виготовлення друкованої плати

Оскільки схема має велику кількість елементів поверхневого монтажу та елементи вивідні, 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 переваго 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.

3.1.2 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 1,5 мм.

3.1.3 Обґрунтування вибору припою

Враховуючи значення доступності, міцності та ціни було обрано безсвинцевий припій SAC 305. Даний припій забезпечує міцні паяльні з'єднання та підвищену втомну міцність, сумісний з будь–якими флюсами.

3.1.4 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 Розрахунок елементів друкованого монтажу

Необхідно провести розрахунки розмірів монтажних отворів та розмірів контактних майданчиків для вибраної компонентної бази, що буде розміщуватись на друкованій платі.

Розрахунок розмірів контактних майданчиків для елементів поверхневого монтажу здійснюється за формулою:

$$BL = (b + 0{,}3)(l + 0{,}3) \quad (3.1)$$

де B x L — розміри контактних майданчиків; b x l — розміри виводів.

Отримані значення занесено в таблицю 3.1.

Таблиця 3.1 — Розміри контактних майданчиків для SMD елементів

b x l	B x L	Назва елемента
1,3 x 0,65	1,6 x 0,95	R1 – R9
1,45 x 0,9	1,75 x 1,2	C1
2 x 1	2,3 x 1,3	DD3
1,3 x 0,5	1,6 x 0,8	DA2
0,7 x 0,5	1 x 0,8	DD2, VD1
0,5 x 0,3	0,8 x 0,6	DA1

Розрахунок діаметрів отворів для вивідних елементів проводиться за формулою:

$$d_0 = d_в + 0{,}2 \quad (3.2)$$

де d_0 — розміри отворів для вивідних елементів; $d_в$— розміри виводів.

Розміри самих контактних майданчиків $D_{км}$ для вивідних елементів розраховуються за формулою:

$$D_{км} = d_0 + 0{,}6 \quad (3.3)$$

За умови $d_0 > 1$ мм розміри контактних майданчиків розрахуємо за інакшою формулою:

$$D_{км} = d_0 + \frac{2}{3} \cdot d_0 \quad (3.4)$$

Отримані значення занесено в таблицю 3.2.

Таблиця 3.2 — Розміри контактних майданчиків вивідних елементів

$d_в$	d_0	$D_{км}$	Назва елемента
0,8	1	1,6	DD1
0,82	1,02	1,7	GB1, GB2
0,5 x 0,5 (0,71)	1	1,6	HL1, XS1
1,1 x 0,2	1,35	2,3	R10

Всі необхідні дані для монтажу елементів отримані. Далі можна переходити до проектування друкованої плати.

3.3 Проектування друкованої плати в середовищі Altium

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

3.3.1 Розрахунок габаритів друкованої плати

На площу плати впливає загальна площа елементів, що будуть встановлені на плату. Тобто спочатку треба розрахувати площу вивідних елементів та елементів поверхневого монтажу, а також площу кріплень друкованої плати.

Оскільки тримач для акумуляторів GB2 має два отвори для кріплень на плату, відповідні отвори на платі будуть використовуватись для її кріплення в корпусі. Додатково передбачено ще два отвори по боках плати.

Формула для розрахунку площі друкованої плати:

$$S_{дп} = \sum KXY \qquad (3.5)$$

де $S_{дп}$ — мінімальна площа плати; K — коефіцієнт, що залежить від габаритів елемента; X — ширина елемента; Y — довжина елемента.

Розрахунок мінімальної площі друкованої плати проводиться в програмному забезпеченні Microsoft Excel. Результати розрахунку наведені на рис. 3.1.

Назва елемента	K	X	Y	S
C1	1,000	3,250	2,200	7,150
DA1	1,500	3,100	3,700	11,470
DA2	1,500	5,400	7,950	42,930
DD1	1,500	12,750	20,050	255,638
DD2	2,000	9,100	7,000	63,700
DD3	2,000	17,100	24,500	418,950
G1	1,000	50,000	14,000	700,000
GB1	1,000	54,000	38,200	2062,800
HL1	1,000	6,000	6,500	39,000
R1	1,000	3,300	2,150	7,095
R2	1,000	3,300	2,150	7,095
R3	1,000	3,300	2,150	7,095
R4	1,000	3,300	2,150	7,095
R5	1,000	3,300	2,150	7,095
R6	1,000	3,300	2,150	7,095
R7	1,000	3,300	2,150	7,095
R8	1,000	3,300	2,150	7,095
R9	1,000	3,300	2,150	7,095
R10	1,000	10,900	12,800	139,520
XS1	1,000	4,400	6,400	28,160
Sкр x2	1,00	7,50	7,50	112,500
Sдп	4583,34			

Рисунок 3.1 — Результат розрахунку мінімальної площі друкованої плати в мм^2

Для мінімізації розмірів корпусу та можливості надання йому округлої форми вибрано нестандартну форму плати загальною площею S ≈ 4788 мм^2.

3.3.2 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 чотири 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 праметрів провідників

Тип провідника	U, В	I, А	Ширина провідника у вузькому місці, мм	Ширина провідника у широкому місці, мм
Силовий	4,8	1×10^{-3}	0,55	0,9
Силовий	3,6	0,2	0,55	0,9
Сигнальний	3,6	0,02	0,4	0,55
Сигнальний	3,6	12×10^{-3}	0,4	0,55

Детальний розрахунок наведений в додатку Г.

Також необхідно розрахувати зазори між елементами друкованого монтажу за формулою:

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

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

Відповідно обраному класі точності дані параметри рівні $S_m = 0{,}25$ мм, $\Delta t_{во} = 0{,}1$ мм.

Отже:

$$S_{min} = 0{,}25 + 0{,}1 = 0{,}35 \text{ мм}.$$

3.3.3 Трасування провідників

Усі наведені вище розрахунки проводились для внесення правил у редакторі Altium PCB для розміщення компонентів на платі та розведення провідників. Заливка землі виконана полігоном з нижньої сторони плати. Результати трасування зображені на рис. 3.2 ти рис. 3.3.

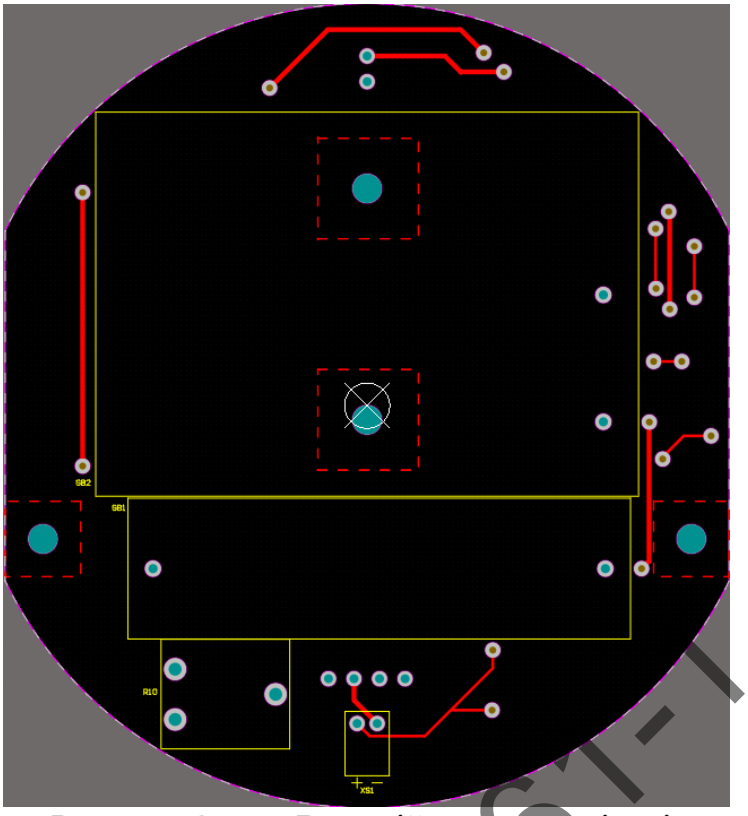


Рисунок 3.2 — Верхній шар металізації

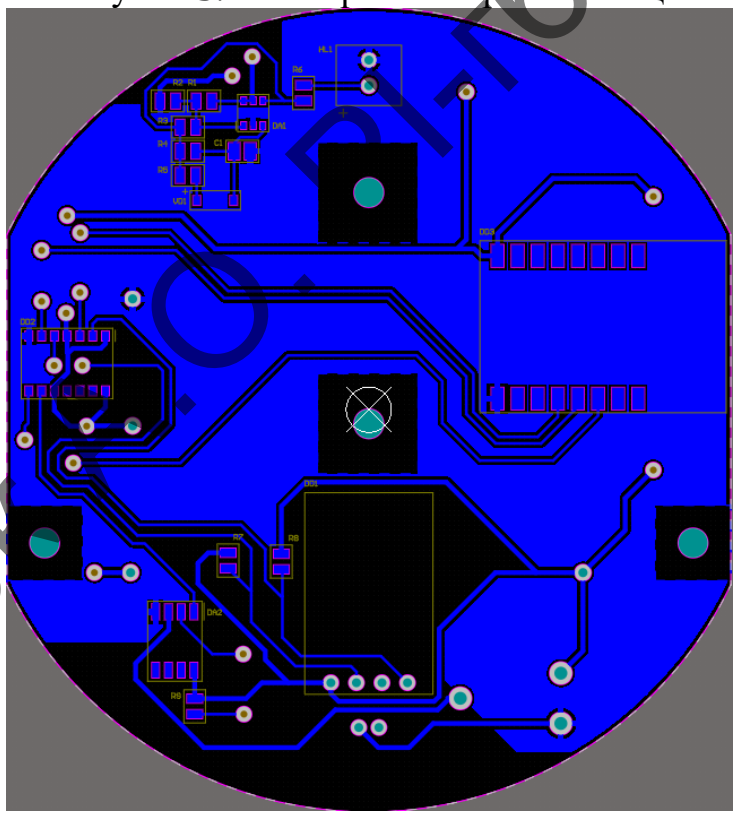


Рисунок 3.3 — Нижній шар металізації

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

3.4 Конструкція пристрою

Для подальшого проектування пристрою використовується програмне забезпечення SOLIDWORKS. Завдяки ньому можна спроектувати корпус та розмістити у ньому плату. Також дане програмне забезпечення використовується для складання відповідних креслень на графічного матеріалу. В першу чергу необхідно експортувати 3D модель друкованої плати у дане середовище.

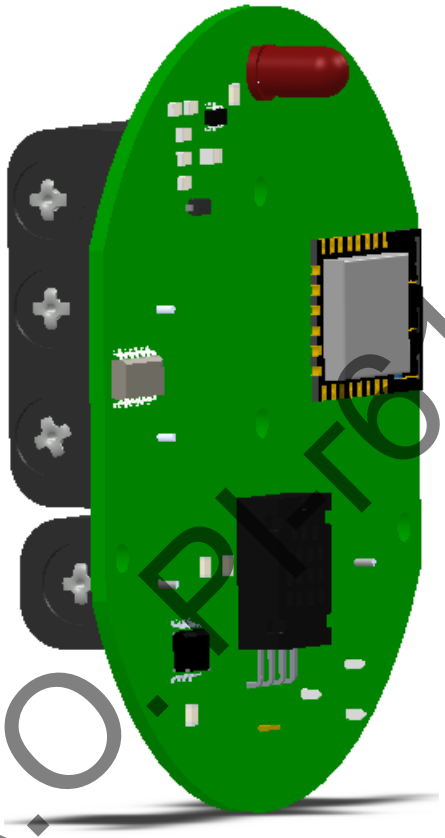


Рисунок 3.4 — Експортована 3D модель плати у середовищі SOLIDWORKS

Конструкція приладу буде складатись з корпусу округлої форми, під котру проектувалась друкована плата, та виносного зонду з датчиком MH–RD. В самому корпусі необхідно передбачити отвори для світлодіоду та датчика AM2320.

Згідно з технічним завданням матеріалом корпусу має бути пластик. Вибір матеріалу залежить від його доступності на ринку та можливістю їх використання у радіоелектронних пристроях. Враховуючи умови експлуатації, а саме імовірність високого показника вологості, що неодмінно впливає на корпус було надано перевагу ABS пластику. Це еластичний, термопластичний аморфний потрійний сополімер, що має підвищену ударостійкість в

порівнянні з полістиролом загального призначення. Також даний матеріал зносостійкий. ABS пластик володіє оптимальною комбінацією еластичності та ударостійкості, що в поєднанні з відмінною розмірною стабільністю робить його одним з найбільш популярних пластиків. Основними недоліками цього пластику є низька стійкість до ультрафіолетового випромінювання та схильність до руйнування нафтовими сполуками. Основні фізико–механічні властивості матеріалу наведені в таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 — Основні характеристики ABS пластика

Густина	1,02 – 1,08 г/см^3
Міцність при розтягуванні	35 – 50 МПа
Міцність при згині	50 – 87 МПа
Міцність при стисненні	46 – 80 МПа
Усадка	0,4 – 0,7 %
Вологопоглинання	0,2 – 0,4 %
Ударна в'язкість по Шарлі (з надрізом)	10 – 30 кДж/м^2
Жорсткість по Брінеллю	90 – 150 МПа
Температура розм'якшення	90 – 105 °С
Температура самозаймання	395 °С

Такий розкид параметрів зумовлений наявністю різних модифікацій матеріалу, що обираються залежно від умов використання [16].

Для забезпечення волого– та пилозахисту корпусу необхідно використовувати ущільнювачі з гуми у місцях з’єднань елементів корпусу. Також з’єднання виносного зонду з основною платою має виконуватись двожильним проводом із загальною ізоляцією та круглим перерізом. Діаметр провода разом з ізоляцією рівний 3 мм. Для з’єднання з штирями плати (елемент XS1) на кінцях проводів розміщуються з’єднання типу гніздо.

Загальний зовнішній вигляд корпусу зображений на рис. 3.5. Положення виносного зонду можна регулювати. Він обертається на 90 ° у вертикальній

площині та на 180 ° у горизонтальній. Габаритні розміри корпусу враховуючи виносний зонд рівні 222 х 92 х 34,5 мм.

Рисунок 3.5 — Зовнішній вигляд корпусу пристрою

Корпус виносного зону сформований з двох частин. Датчик насаджується на чотири стійки розташовані в нижній частині корпусу рівно під отвори датчика, та накривається верхньою частиною корпусу. Верхня і нижня частини зонду склеюються.

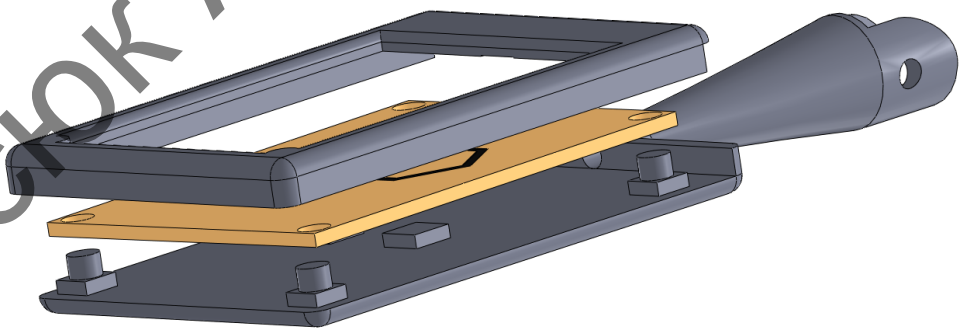


Рисунок 3.6 — Виносний зонд датчика

Друкована плата кріпиться двома гвинтами М3 у передній частині корпусу, в котрій розташовані отвори для світлодіода та датчика DD1. Відсік для акумуляторів GB2 фіксується на платі двома гвинтами М3. Також ці гвинти забезпечують додаткове кріплення плати в корпусі.

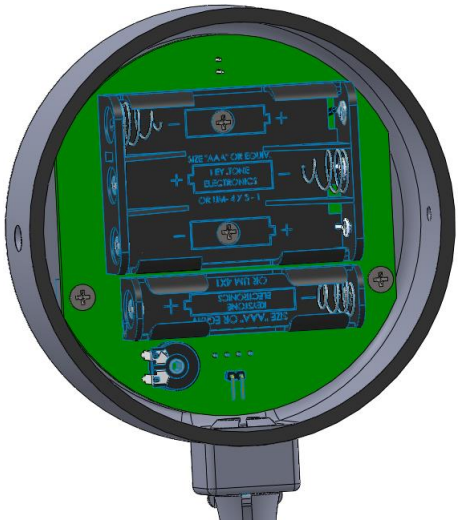


Рисунок 3.7 — Кріплення друкованої плати у корпусі

Передня та задня частини корпусу з’єднуються двома гвинтами М3. Отвори для з’єднання розташовані симетрично один одного з лівої та правої сторони корпусу. На задній частині корпусу розташовані твори для монтажу пристрою на стіну. Передбачається монтаж зо допомогою шурупів.

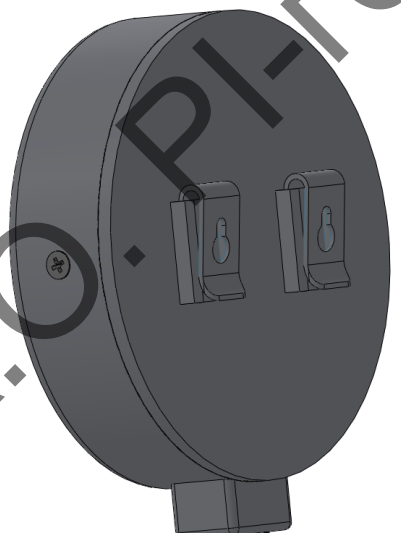


Рисунок 3.8 — Кріплення на задній частині корпусу

У даному розділі був проведений аналіз з точки зору технолога, визначені матеріали для виготовлення плати та корпусу пристрою. Також поведені розрахунки для визначення габаритів друкованої плати та параметрів провідників. Розроблена 3D модель плати та проведене трасування провідників за допомогою програмного забезпечення Altium Designer. Для проектування конструкції корпусу використане програмне забезпечення SOLIDWORKS. Корпус розроблений враховуючи вимоги технічного завдання.

4 РОЗРАХУНОК, ЩО ПІДТВЕРДЖУЄ ПРАЦЕЗДАТНІСТЬ

Для перевірки виробу на працездатність проводяться обчислення за допомогою програм автоматизованого розрахунку та електронний посібник розроблений до них [17].

Дані програми розроблені для корпусів та друкованих плат прямокутної форми. Оскільки плата даного пристрою має нестандартну форму, для використання автоматизованого розрахунку необхідно провести деякі спрощення. Отже для проведення обрахунку використовується наближена модель друкованої плати габаритами 70 х 70 мм, що зображена на рис. 4.1. Вигляд корпусу пристрою також спрощується до прямокутного з габаритами 80 х 80 х 26 мм.

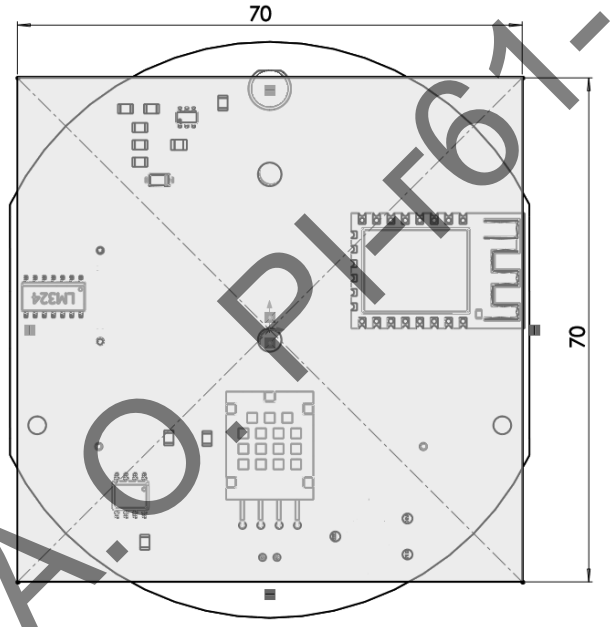


Рисунок 4.1 — Габарити спрощеної друкованої плати для розрахунку

4.1 Розрахунок теплового режиму

Розрахунок розподілення тепла від нагрітих елементів плати у корпусі виробу здійснюється за допомогою програми BlockTermo1.

Пристроєм, що постійно знаходиться в активному стані являється мікросхема DD2. Максимальна теплова потужність цього буфера згідно його даташиту [18] рівна 500 мВт. Для внесення у програму нагрітою зоною рахується уся друкована плата з тепловою потужністю вказаного буфера. Вхідні дані для програми наведені в таблиці 4.1.

Розрахунок проводиться у режимі герметичного корпусу без перфорацій.

Таблиця 4.1 — Вхідні даня програми BlockTermo1

Розміри корпусу блока:	Ширина B	80 мм
	Глибина L	80 мм
	Висота H	26 мм
Товщина стінки корпусу	3 мм	
Критерій теплопровідності матеріалу стінки	0,2 Вт/м.К	
Температура оточуючого середовища	20 °C	
Коефіцієнт чорноти поверхонь:	Зовнішнього корпусу	0,4
	Внутрішнього корпусу	0,4
	Нагрітої зони в середині корпусу	0,8
Розміри нагрітої зони:	Ширина rx	70 мм
	Глибина ry	70 мм
	Висота rz	1,5 мм
Координати центра зони відносно центру блока:	dx	0
	dy	0
	dz	4
Теплова потужність зони	0,5 Вт	

За результатами розрахунку при такому режимі роботи середньповерхнева температура нагрітої зони становить 32,6 °C, а температура повітря у корпусі 28,5 °C.

Проте насправді така потужність вибілятись не буде, оскільки робочі струм та напруга менші за максимально допустимі. Тому загальна середня теплова потужність компонентів схеми не буде перевищувати 100 мВт.

Розрахунок при такому значенні теплової потужності показує, що температура нагрітої зони складає 22,8 °C, а повітря у корпусі 21,9 °C.

Загальний результат проведених розрахунків наведений у додатку Г.

4.2 Розрахунок показників надійності

На розрахунок показників надійності елементів в значній мірі впливають температурний режим роботи елементів, котрий був розрахований у попередньому пункті.

Для обрахунку використовується програма Relia2015. Вхідні дані наведені у таблиці 4.2. Наближений розрахунок проводиться для найбільш навантажених елементів друкованої плати та для найгірших умовах роботи взятих з результатів попереднього обрахунку. Результат розрахунку наведений на рис. 4.2.

Таблиця 4.2 — Вхідні даня програми Relia2015

Розміри плати:	Довжина	70 мм
	Ширина	70 мм
	Товщина	1,5 мм
Температура оточуючого середовища	28,5 °С	
Теплофізичні характеристики процесу теплообміна	Критерій теплопровідності матеріалу плати	0,3 Вт/м.К
	Критерій тепловіддачі з бічних поверхонь плати	10 Вт/м.К
	Критерій тепловіддачі з бічних поверхонь ТВЕ	10 Вт/м.К

Параметри елементів електронної структури

N	dx, мм	dy, мм	dz, мм	xis, мм	yis, мм	P, Вт	S, мм^2	Кн	Ел.
1	5,05	4,06	1,75	15,71	12	0,71	31,885	0,1	DA2
2	2,91	1,61	1,16	23,49	64,52	0,696	10,486	0,05	DA1
3	8,6	3,9	1,6	5	39,6	0,5	40	0,05	DD2

Продовження таблиці 4.2

N	dx, мм	dy, мм	dz, мм	xis, мм	yis, мм	P, Вт	S, мм^2	Кн	Ел.
4	10	10	4,5	48,72	6,30	0,25	180	0,02	R10
5	2,87	1,7	1,25	19,7	55,8	0,35	11,425	0,02	VD1
6	2,1	1,3	0,65	18,6	65,7	0,125	4,42	0,3	R1
7				15					R2
8				17	63,1				R3
9				28,5	66,5			0,07	R6

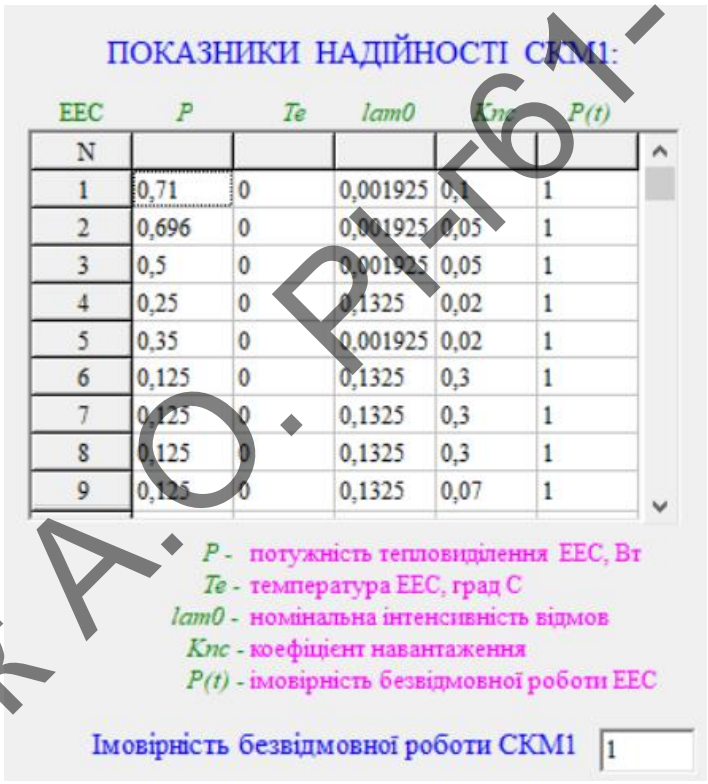


Рисунок 4.2 — Результати розрахунку у Relia2015

За результатами обрахунку програмою імовірність безвідмовної роботи на часовому проміжку в 20000 годин складає 1. Це означає, що пристрій проробить вказаний у технічному завдані період часу без відмов.

4.3 Розрахунок вібромічності

Через нестандартну форму друкованої плати та нетопове розміщення кріплень стандартизований розрахунок вібромічності неможливий. Тому для

перевірки чутливості плати до вібраційних впливів передбачених умовами вказаними в технічному завданні застосовується доповнення SOLIDWORKS Simulation, а саме частотний аналіз (Frequency).

Для проведення симуляції також була створена спрощена модель, що зображена на рис. 4.3. Метою спрощення було залишити найважчі елементи, котрі розміщуються на платі. Такими елементами являються відсіки для акумуляторів, тобто елементи GB1 та GB2. Під час роботи пристрою акумулятори будуть встановлені у слоти, що зумовлює високу вагу цих компонентів. Отже було створено грубі моделі тримачів з акумуляторами, самої плати ти стійок до котрих кріпиться плата у отвори.

На краях стійок встановлена фіксована геометрія, оскільки саме вони створюють опору для друкованої плати.

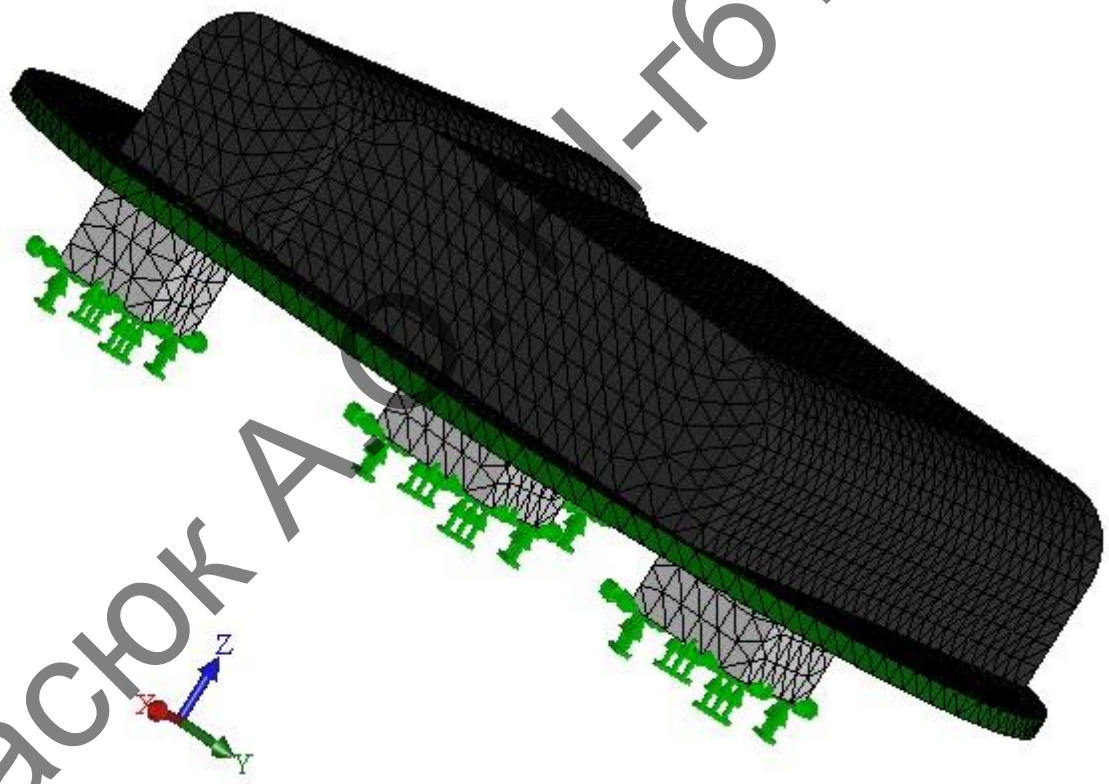


Рисунок 4.3 — Модель плати для симуляції Freguency

Для аналізу результатів викликається список масової участі. Це список коефіцієнтів масової участі по трьом глобальним напрямкам X, Y та Z нормалізованих відносно загальної маси пристрою [19]. Даний список показує яка частина загальної маси моделі буде взаємодіяти з відповідною власною

частотою. Отже нас цікавлять частоти, на котрих цей коефіцієнт найбільший. Детальний список наведений в додатку Г відповідно.

З результатів симуляції видно, що по осі X небезпечні коливання з частотою 415,17 Гц, по осі Y — 450,24 Гц, по осі Z — 635,39 Гц. Кожна з цих частот перевищує максимальну частоту вібраційних впливів (100 Гц). Отже обраний варіант встановлення плати забезпечує вимогам до віброміцності

У даному розділі був проведений аналіз розробленого пристрою на відповідність умовам технічного завдання та підтвердження його працездатності.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

У даному розділі розглядаються умови виробництва, монтажу та користування пристроєм, що проектується. Це необхідно проводити для збереження здоров'я та працездатності працівників та користувачів.

Під час роботи або виробництва пристрою існують фактори, що можуть спричинити негативний вплив на людину. Це стосується умов виробництва, робочої зони працівника, гігієни праці та основних правових заходів спрямованих на охорону праці. Також необхідно враховувати умови використання та роботи з пристроєм.

Отже у даному розділі необхідно виявити імовірні шкідливі фактори та ризики, провести аналіз та навести рекомендації щодо їх усунення.

5.1 Можливі шкідливі, небезпечні фактори

До основних небезпечних та шкідливих факторів, котрі можуть виникнути при виробництві, монтажі та експлуатації датчика протікання води можна віднести наступні:

- Рівень електромагнітного випромінювання радіочастотного діапазону;
- Імовірність ураження електричним струмом;
- Рівень освітленості робочого приміщення при виробництві;
- Незадовільні параметри мікроклімату робочої зони;
- Підвищений рівень шуму на робочому місці;
- Вміст у повітрі робочої зони шкідливих речовин в небезпечних концентраціях;
- Імовірність фізичного перевантаження працівника;
- Пожежна безпека.

5.2 Оцінка існуючих умов

5.2.1 Розташування робочих місць, чи відповідають вимогам

Організація та розташування робочого місця безпосередньо впливають на продуктивність процесу праці та її якість. Також важливими критеріями є

оснащення та розміщення робочої зони, оскільки матеріальні елементи виробництва та устаткування мають бути раціонально розміщені у просторі і бути легкодоступними для працівника.

Робоча зона має відповідати вимогам наведеним у ДСТУ OHSAS 18001:2010 [20].

Будівлі, приміщення або цехи, в котрих буде проводитись виробництво приладу, варто будувати з вогнестійких матеріалів та розташовувати на відстані не менше 50 м від жилих споруд відповідно до діючих норм. Матеріал підлоги приміщення має бути діелектриком. Також має бути забезпечене приміщення на виробництві для короткочасного зберігання та утилізації відходів.

Необхідно забезпечити вільних рух людей на виробництві нанесенням відповідної розмітки. Згідно діючим нормам у виробничому приміщенні має бути передбачено два евакуаційних виходи з шириною не менше 0,8 м та висотою не менше 2 м.

5.2.2 Мікроклімат

Мікроклімат робочої зони є фактором, котрий теж має значний вплив на продуктивність та здоров'я працівника і відповідно регулюється стандартом ДСН 3.3.6.042–99 [21], який визначає наступні параметри:

- Температура повітря;
- Відносна вологість повітря;
- Швидкість руху повітря;
- Інтенсивність теплового опромінення;
- Температура поверхні.

Під час виробництва розробником виконуються дослідницькі роботи з технічною документацією, конструкторські та практичні роботи. Вказаний тип діяльності не вимагає систематичного значного фізичного навантаження і класифікується як категорія роботи легка Іа з витратою енергії до 120 ккал/год відповідно до ДСН 3.3.6.042–99 [21].

Оптимальними умовами мікроклімату в робочій зоні для даної категорії роботи в холодний період року є: температура повітря 22 — 24 °С, відносна вологість 60 — 40 %, швидкість руху повітря 0,1 м/с.

Відповідно умови в теплий період року: температура повітря 23 — 25 °С, відносна вологість 60 — 40 %, швидкість руху повітря 0,1 м/с.

Параметри мікроклімату необхідно підтримувати за допомогою систем кондиціювання.

5.2.3 Опалення

Для забезпечення нормальних параметрів мікроклімату в холодну пору року у виробничому приміщенні має бути встановлена система опалення. Це підвищує продуктивність працівників, захищає обладнання від переохолодження. Спосіб опалення залежить від розмірів виробничого приміщення.

Параметри опалення регулюються згідно ДБН В.2.5–67:2013 [22].

5.2.4 Вентиляція

Виробниче приміщення має бути устатковане постійною діючою загальнообмінною та місцевою вентиляцією через необхідність роботи з шкідливими та вибухонебезпечними речовинами під час нанесення припою, флюсу, паяльної пасти, тощо.

Параметри системи вентиляції та вимоги до неї регулюються ДБН В.2.5–67:2013 [22] та ДСТУ Б А.3.2–12:2009 ССБП [23].

На ділянках призначених для пайки система місцевої вентиляції має вмикатись до початку роботи та вимикатись після її завершення. Також дана система має вміщати приймачі повітря на телескопічних або гнучких кріпленнях для їх максимального наближення до зони робочого процесу. Фіксація положення таких приймачів має бути надійною.

Повітря, котре видаляється з робочої зони із відповідними забрудненнями має проходити очищення через фільтри перед викидом в атмосферу. Внутрішні поверхні повітрявідводів та відповідні компоненти витяжної системи мають періодично проходити очищення від забруднень, що можуть на них осідати.

5.2.5 Освітлення

У виробничому приміщення використовуються суміщений спосіб освітлення, тобто системи загального природного та штучного освітлення. Дана система має відповідати нормам ДБН В.2.5–28:2018 [24].

Природнє бокове освітлення реалізується за допомогою вікон у стінах виробничого приміщення. Штучне освітлення має забезпечуватись газорозрядними лампами

Найменший розмір об’єкта розрізнення рівний 2,15 мм, що відповідає розряду зорової роботи V. Згідно з нормативами коефіцієнт природнього освітлення має складати 1,8 %.

Для додаткового освітлення зони при роботі з паяння допускається застосування місцевих світильників з непросвічуваними відбивачами.

Для підтримки нормованих значень освітленості приміщення необхідно проводити регулярне очищення світильників та вікон за допомогою пристроїв, що забезпечують безпеку робіт. Очищення світильників має проводитись не менше двох разів на місяць, а вікон – двох разів на рік. Також необхідно проводити своєчасні заміну елементів освітлення одразу при їх виході з ладу.

5.2.6 Шум, вібрація

Допустимі параметри шуму, методи гігієнічної оцінки виробничого шуму та вимоги до його вимірювання на робочому місці встановлені нормативом ДСН 3.3.6.037–99 [25]. Відповідно цьому документу допустимий рівень звуку складає 50 дБ.

Методи гігієнічної оцінки виробничих вібрацій, їх нормовані параметри, вимоги до вимірювань на робочих місцях та основні профілактичні заходи відповідно до ДСН 3.3.6.039–99 [26].

5.2.7 Електробезпека

Пристрій, що розробляється, відноситься до III класу захисту згідно ДСТУ EN 61140:2015 [27], оскільки має не високовольтне живлення від акумуляторних батарей.

Усе наявне електроустаткування у виробничому приміщенні можна віднести до І класу захисту відповідно до ДСТУ EN 61140:2015 [27].

Виробниче приміщення за рівнем електронебезпеки згідно ПУЕ [28] (правила улаштування електроустановок) можна віднести до приміщень без підвищеної небезпеки, тому що:

- Відносна вологість повітря не перевищує 75 %;
- Матеріал підлоги не струмопровідний;
- Відсутність струмопровідного пилу;
- Температура не перевищує 35 °С;
- Відсутня можливість одночасного доторку людини до з'єднаних із землею металоконструкцій будівлі, технологічних апаратів, механізмів, тощо та до електропровідних елементів застосованого електрообладнання.

Усі заходи щодо електробезпеки виконуються відповідно до НПАОП 40.1–1.21–98 [29] та ДСТУ 7237:2011 [30].

В таблиці 1.1 наведені граничні допустимі значення напруг при відповідній тривалості дії.

Таблиця 5.1 — Гранично допустимі значення напруги

Час дії, с	До 0,1	0,2	0,5	0,7	0,9	Від 1 до 5
$U_д$, В	500	400	200	130	100	65

В робочому приміщенні використовується трьох фазна електромережа з глухо заземленою нейтраллю, зануленням та з використанням автоматів струмового захисту згідно вимог ПУЕ [28]. Автомати розраховані на струм 16 А та мають час спрацювання 0,2 с.

Для унеможливлення ураження людини електричним струмом при виникненні аварійної ситуації необхідно заземлювати усе обладнання, що живиться від мережі 220 В і 50 Гц. Опір нульового дроту при замиканні на корпус або сам дріт має забезпечити величину струму короткого замикання, що перевищуватиме номінальний струм спрацювання автомата струмового захисту в 1,4 рази.

Струм короткого замикання розраховується за формулою:

$$I_{\text{кз}} = \frac{U_{\text{ф}}}{R_0 + R_{\text{ф}} + \frac{Z_{\text{т}}}{3}},$$

де $U_{\text{ф}}$ — напруга фази мережі; R_0 — опір нульового дроту (R_0 = 3 Ом); $R_{\text{ф}}$ — опір фазового дроту ($R_{\text{ф}}$ = 3 Ом); $Z_{\text{т}}/3$ — еквівалентний опір трансформатора ($Z_{\text{т}}/3$ = 0,11 Ом).

Провівши розрахунки маємо, що струм короткого замикання при аварійному режимі роботи рівний 36 А.

Необхідно розрахувати коефіцієнт кратності струму короткого замикання до номінального струму спрацювання автомата:

$$K = \frac{I_{\text{кз}}}{I_{\text{ном.авт}}}.$$

Відповідно коефіцієнт складає 2,25. Тобто струм короткого замикання при аварійній ситуації перевищує номінальний струм спрацювання автомата в 2,25 рази, що задовольняє встановленим нормам.

Також розрахунок напруги дотику при заземленому електроустаткуванні проводиться за формулою:

$$U_{\text{н}} = I_{\text{кз}} R_0.$$

Згідно з наведеною вище формулою напруга дотику рівна 108 В. Розрахована величина допустима при час спрацювання захисного автомату 0,2 с.

5.2.8 Випромінювання ЕМП

У виробничому приміщені, що аналізується, в процесі розробки пристрою відсутні джерела електромагнітного випромінювання, які б могли завдати шкоди здоров'ю людини.

При експлуатації пристрою присутнє короткочасне електромагнітне випромінювання на частоту 2,4 ГГц при вихідному сигналі з рівнем потужності 20 дБм, що відповідає потужності сигналу 100 мВт та підпорядковується стандартам безпровідної мережі IEEE 802.11 [31].

Усі вимоги згідно з ДСН 239-96 [32].

5.2.9 Пожежа, засоби пожежогасіння, кількість, розташування

Згідно з ДСТУ Б В.1.1–36–2016 [33] приміщення у котрому буде виготовлятись пристрій за вибухо– та пожежною небезпекою відноситься до категорії В (пожежонебезпечне).

Клас робочих зон приміщень по пожежонебезпеці відповідно до ПУЕ [28] (НПАОП 40.1–1.32–01 [34]) класифікується як П–IIа, тому що в приміщенні знаходяться тверді горючі речовини, що нездатні переходити у зважений стан.

Розташування, кількість та умови зберігання вогнегасників у виробничому приміщені повинні відповідати вимогам наведеним у ДСТУ 3675–98 [35] та ISO 3941–77 [36].

У випадку виникнення пожежі має бути забезпечена можливість безпечної евакуації персоналу через евакуаційні виходи. Кількість даних виходів з приміщення необхідно приймати згідно СНіП 2.01.02–85 [37] (Будівельні Норми і Правила).

У приміщенні має знаходитись план евакуації. Мінімальний час евакуації в разі виникнення пожежі відповідає існуючим вимогам ДБН В.1.1–7–2016 [38].

Імовірними причинами виникнення пожежі в приміщенні можуть слугувати несправність з електроустаткуванням, коротке замикання проводки, під час пайки і відповідних операцій, порушення протипожежного режиму. У зв’язку з цим необхідно передбачити наступні заходи, відповідно до ПУЕ [28]:

- Ретельна ізоляція усіх струмоведучих провідників, періодичний їх огляд та перевірка;
- Відповідні організаційні заходи;
- Суворе дотримання норм протипожежної безпеки;
- Систематичний контроль стану засобів пожежогасіння;
- Використання матеріалів з мінімально можливою пожежною небезпекою при виготовленні пристрою.

Отже в даному розділі був проведений аналіз умов робочої зони та чинників, що впливають на ефективність праці. Було визначено потенційно

небезпечні чинники на виробництві. Надано рекомендації щодо запобігання та профілактики утворення небезпечних ситуацій під час робочого процесу. Проведено ознайомлення з основними правилами пожежної безпеки та охорони праці.

ВИСНОВКИ

1. У результаті аналізу кон’юнктури ринку були підсумовані усі переваги та недоліки існуючих пристроїв сповіщення протікання води. Головним фактором конкурентоспроможності визначено мінімальний термін роботи пристрою без заміни елементів живлення 1 рік.

2. На основі аналізу аналогів, розроблено структурну схема пристрою. На основі якої синтезована принципова схема. Напруга живлення становить +4,8 В від чотирьох акумуляторів. Вибір компонентної бази керувався доступністю елементів на українському ринку, невисокою ціною та малою потужність, що забезпечить довшу роботу пристрою без зміни акумуляторів. Основними елементами стали датчик появи води MH–RD, датчик температури та вологості AM2320 та WI–FI модуль, що сполучив у собі функції мікроконтролера та модуля зв’язку.

3. Проведено аналіз з точки зору технолога, обрано матеріал плати, припій, метод виготовлення та клас точності плати. Проведено розрахунки для визначення мінімальну площу плати, що рівна 4584 мм^2. За допомогою програмного забезпечення Altium Designer спроектовано друковану плату, виконано компоновку та трасування. Надалі у середовище SolidWorks виконано тривимірне моделювання конструкції приладу.

4. Виконано розрахунки для перевірки та підтвердження працездатності приладу. За результатами розрахунків температура повітря у корпусі не перевищує 22°С за температури оточуючого середовища 20 °С. Імовірність безвідмовної роботи складає 1 на проміжку в 20000 годин. Розраховано резонансну частоту плати (415,17 Гц) яка в 4 рази перевищує максимальну частоту впливу (0,5 — 100 Гц).

5. Створено відповідну конструкторську документацію. Розроблений прилад задовольняє вимоги технічного завдання.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Детектор утечки воды Спасатель — We–mart [Електронний ресурс]. — Режим доступу: https://we-mart.com/catalog/product/detektor-utechki-vody-spasatel/ — Назва з екрану.
2. Датчик затопления Octopus + — Elektron [Електронний ресурс]. — Режим доступу: https://elektron.kiev.ua/p127361516-datchik-zatopleniya-octopus.html — Назва з екрану.
3. GROHE Sense Smart water sensor — GROHE [Електронний ресурс]. — Режим доступу: https://www.grohe-gcc.com/en_sa/smart-water-sensor-22505LN0.html — Назва з екрану.
4. Датчик затоплення ALFA WD433 — Worldvision [Електронний ресурс]. — Режим доступу: https://worldvision.com.ua/ua/alfa-wd433/ — Назва з екрану.
5. Датчик контролю протікання води WiFi Water leakage sensor — MAXUS [Електронний ресурс]. — Режим доступу: https://maxus.com.ua/datchik-kontrolju-protikannja-vodi-wifi-water-leakage-sensor.html — Назва з екрану.
6. Flood Sensor FGFS-101 — FIBARO Manuals [Електронний ресурс]. — Режим доступу: https://manuals.fibaro.com/flood-sensor/ — Назва з екрану.
7. Бездротовий датчик затоплення SATEL AFD-100 — Worldvision [Електронний ресурс]. — Режим доступу: https://worldvision.com.ua/ua/satel-afd-100/ — Назва з екрану.
8. LeaksProtect — AJAX [Електронний ресурс]. — Режим доступу: https://ajax.systems/ua/products/leaksprotect/ — Назва з екрану.
9. Maxim Integrated. Недорогой эффективный индикатор разряда батареи — РАДИОЛОЦМАН. — 2016. — №66. — С. 70-72.
10. LM393. Описание, datasheet, схема включения, аналог — Joyta.ru [Електронний ресурс]. — Режим доступу:

http://www.joyta.ru/9956-lm393-opisanie-datasheet-sxema-vklyucheniya-analog/ — Назва з екрану.

11. Rajan Arora. I2C Bus Pullup Resistor Calculation — Texas Instruments, 2015. — 5 с.
12. РКС Компоненты — РАДИОМАГ Elektronik [Електронний ресурс]. — Режим доступу: https://www.rcscomponents.kiev.ua/catalog — Назва з екрану.
13. Датчики для жидкостей — Arduino.ua [Електронний ресурс]. — Режим доступу: https://arduino.ua/index.php — Назва з екрану.
14. Модулі бездротові WI–FI — uAmper.com [Електронний ресурс]. — Режим доступу: https://uamper.com/Модули/Бездротові/WiFi — Назва з екрану.
15. ESP-12E WiFi модуль (ESP8266) — Radio Prog [Електронний ресурс] — Режим доступу: https://radioprog.ru/shop/merch/33 — Назва з екрану.
16. Описание и марки полимеров – АБС–пластик — Полимерные материалы [Електронний ресурс] — Режим доступу: http://www.polymerbranch.com/ — Назва з екрану.
17. Б. М. Уваров. Автоматизація визначення показників механічної витривалості, теплових режимів та надійності радіоелектронних апаратів. — Київ, НТУУ “КПІ”, 2015. — 128 с.
18. 74LVC125A Quad buffer/line driver with 5 V tolerant input/outputs, Product data sheet. — NXP Semiconductors, 2013. — С. 4.
19. Массовое участие (нормализовано) — Справка по SOLIDWORKS [Електронний ресурс] — Режим доступу: http://help.solidworks.com/2012 — Назва з екрану.
20. ДСТУ OHSAS 18001:2010 «Системи управління гігієною та безпекою праці» : Чинний від 27.12.2010 — К.: Держспоживстандарт України.
21. ДСН 3.3.6.042–99 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень» : Чинний від 01.12.1999 — К.: МОЗ.

22. ДБН В.2.5–67:2013 «Опалення, вентиляція та кондиціонування» : Чинний від 01.01.2014 — К.: Мінрегіон.
23. ДСТУ Б А.3.2–12:2009 «Система стандартів безпеки праці. Системи вентиляційні. Загальні вимоги» : Чинний від 01.08.2010 — К.: Мінрегіонбуд.
24. ДБН В.2.5–28:2018 «Природне і штучне освітлення» : Чинний від 28.02.2019 — К.: Мінрегіон.
25. ДСН 3.3.6.037–99 «Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку» : Чинний від 01.12.1999 — К.: МОЗ.
26. ДСН 3.3.6.039–99 «Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації» : Чинний від 01.12.1999 — К.: МОЗ.
27. ДСТУ EN 61140:2015 «Захист проти ураження електричним струмом. Загальні аспекти щодо установок та обладнання» : Чинний від 01.01.2016 — К.: УкрНДНЦ.
28. ПУЕ «Правила улаштування електроустановок» : Чинний від 21.08.2017 — К.: Міненерговугілля України.
29. НПАОП 40.1–1.21–98 «Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів» : Чинний від — К.: Держнаглядохоронпраці.
30. ДСТУ 7237:2011 «Система стандартів безпеки праці. Електробезпека. Загальні вимоги та номенклатура видів захисту» : Чинний від 01.08.2011 — К.: Держспоживстандарт України.
31. IEEE 802.11 Набір стандартів для комунікації в бездротовій локальній мережевій зоні — Комітет зі стандартів LAN/MAN Інституту інженерів з електротехніки та електроніки.
32. ДСН 239–96 «Державні санітарні норми і правила захисту населення від впливу електромагнітних випромінювань» : Чинний від 23.05.2017 — К.: МОЗ.
33. ДСТУ Б.В.1.1–36–2016 «Визначення категорій приміщень, будинків, установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою» : Чинний від 01.01.2017 — К.: УкрНДІЦЗ.

34. НПАОП 40.1–1.32–01 «Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок» : Чинний від 21.06.2001 — К.: Мінпраці України.
35. ДСТУ 3675–98 «Пожежна техніка. Вогнегасники переносні. Загальні технічні вимоги та методи випробувань» : Чинний від 01.01.1999 — К.: Держспоживстандарт України.
36. ISO 3941:77 Класифікація пожеж.
37. СНіП 2.01.02–85 «Протипожежні норми» : Чинний від 01.01.1987 — Госстрой СССР.
38. ДБН В.1.1–7–2016 «Пожежна безпека об’єктів будівництва» : Чинний від 01.06.2017— К.: Мінрегіон.

ДОДАТОК А. ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

ПОГОДЖЕНО

Керівник дипломного проекту асистент Зінгер Я. Л.

_____ _____
(підпис) (дата)

ЗАТВЕРДЖЕНО

Завідувач кафедри радіоконструювання та виробництва радіоапаратури д.т.н., проф. Нелін Є. А.

_____ _____
(підпис) (дата)

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ
«WI-FI датчик протікання води»

Київ 2020

1 НАЗВА, ШИФР І ПІДСТАВИ ДО ВИКОНАННЯ

Назва дипломного проекту: «WI-FI датчик протікання води».

Шифр проекту: _____.

Підстава до виконання: завдання, видане кафедрою радіоконструювання та виробництва радіоапаратури від «___» _____ 2020 р.

2 МЕТА ВИКОНАННЯ І ПРИЗНАЧЕННЯ ПРОЕКТУ

Метою є розробка схеми електричної принципової, друкованого вузла та конструкції пристрою, перевірка на працездатність та оформлення конструкторської документації.

Пристрій призначений для віддаленого виявлення протікання води та миттєвого сповіщення про проблему користувачу на смартфон.

3 ТЕХНІЧНІ ВИМОГИ

3.1 Вимоги призначення

Робоча напруга……до 5 В;

Тип з’єднання……..бездротове;

Канал зв’язку……..мережа WI-Fi;

Радіус з’єднання……до 50 м;

Тип сповіщення……на смартфон.

3.2 Вимоги життєздатності та стійкості до зовнішніх впливів і чинників

Кліматичне виконання виробу – УХЛ 4 (згідно ГОСТ 15150-69);

Захист від механічних пошкоджень – М13 (згідно ГОСТ 17516.1-90);

Ступінь захисту оболонки – IP44 (згідно ДСТУ IEC 60529:2019).

3.3 Вимоги надійності

Пристрій повинен бути відновлюваний і ремонтопридатний згідно ДСТУ 2470-94.

Час безвідмовної роботи……20000 годин.

3.4 Вимоги до конструкції

Спосіб кріплення корпусу……..……на стіну;

Матеріал корпусу……..……..……пластмаса.

3.5 Вимоги технологічності

Вимоги згідно ГОСТ 14.201-83.

3.6 Вимоги до дизайну і ергономіки

Вимоги згідно ДСТУ 3943-2000 та ДСТУ 3944-2000.

Колір корпусу……..……..……світло сірий.

3.7 Вимоги до експлуатації, зручності технічного обслуговування та ремонту

Умови експлуатації:

1) Діапазон робочих температур від 0 °С до 40 °С;
2) Діапазон відносної вологості повітря від 0 % до 95 %.

Передбачити легкий доступ для ремонту.

3.8 Вимоги безпеки життя, здоров'я, майна громадян та охорони довкілля

Вимоги згідно ДСТУ 7237:2011 та ДСТУ ISO 14001:2015.

3.9 Вимоги сумісності

Вимоги згідно ДСТУ 2793-94.

3.10 Вимоги взаємозамінності

Має бути можливість зміни елементної бази приладу.

3.11 Вимоги до транспортування і зберігання

Транспортувати автомобільним, залізничним та авіаційним видом транспорту в упакованому вигляді.

Умови зберігання виробу – 1 Л (згідно ГОСТ 15150-69).

4 ВИМОГИ ДО СИРОВИНИ, МАТЕРІАЛІВ І ПОКУПНИХ КОМПЛЕКТУВАЛЬНИХ ВИРОБІВ

В конструкції повинні бути використані компонентна база та матеріали, які серійно випускає промисловість та дозволені до застосування в РЕА загального призначення.

5 ВИМОГИ ДО КОНСЕРВАЦІЇ, ПАКУВАННЯ І МАРКУВАННЯ

Консервація не передбачена.

Пакування повинно мати достатню міцність аби зберегти виріб при транспортуванні.

Маркувати індикацію розряду.

6 ВИМОГИ ДО РОЗРОБЛЮВАНОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ

Оформлювати документацію згідно ДСТУ 3008:2015.

6.1 Орієнтовний зміст дипломного проекту

- Титульний лист
- Завдання
- Анотація (двома мовами)
- Титульний лист пояснювальної записки
- Зміст
- Вступ

1 Аналіз ринку

2 Синтез схеми пристрою

3 Розробка друкованого вузла та конструкції пристрою

4 Розрахунок, що підтверджує працездатність

5 Охорона праці

- Висновки
- Перелік джерел посилань
- Додатки

7 СТАДІЇ І ЕТАПИ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТУ

Робота виконується в 9 етапів.

№	Назва етапу	Термін виконання	Форма звітності
1	Огляд існуючих рішень	06.05 – 08.05	Розділ 1
2	Розробка та аналіз технічного завдання	09.05 – 14.05	Розділ 1
3	Обґрунтування та вибір схемотехнічного рішення	15.05 – 19.05	Розділ 2, кресленики Е1, Е3
4	Вибір та обґрунтування елементної бази	20.05 – 22.05	Розділ 2
5	Проектування електронного модуля	23.05 – 26.05	Розділ 3, Кресленики плати і модуля
6	Проектування приладу	27.05 – 28.05	Розділ 3
7	Аналіз працездатності приладу	29.05 – 30.05	Розділ 4
8	Охорона праці	23.05 – 27.05	Розділ 5
9	Оформлення текстової та графічної документації	30.05 – 03.06	Кресленики і додатки

8 ПОРЯДОК ПРИЙМАННЯ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТУ І МАТЕРІАЛІВ, ЯКІ ПОДАЮТЬ ПО ЗАКІНЧЕНІ ЕТАПІВ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТУ І У ЦІЛОМУ

1. Представлення проміжних результатів дипломного проекту керівнику в зазначені терміни;
2. Представлення завершеного дипломного проекту керівнику;
3. Перевірка дипломного проекту на наявність плагіату;

4. Представлення кафедрі завершеного дипломного проекту за 10 днів до дати захисту;
5. Захист дипломного проекту перед екзаменаційною комісією.

Виконавець
Тарасюк А. О. _____

Керівник
асист. Зінгер Я. Л. _____

ДОДАТОК Б. СПЕЦИФІКАЦІЯ НА ДРУКОВАНИЙ ВУЗОЛ

Формат	Зона	Поз.	Позначення	Назва	Кільк.	Прим.
				Документація		
A2			PI61.423139.001 СК	Складальний кресленик		
A2			PI61.423139.001 Е1	Схема електрична структурна		
A2			PI61.423139.001 Е3	Схема електрична принципова		
A4			PI61.423139.001 ПЕ	Перелік елементів		
				Деталі		
		1	PI61.785764.001	Друкована плата	1	
				Інші вироби		
				Конденсатор 100 нФ 50 В ± 5%	1	C1
				Мікросхема MAX9030	1	DA1
				Мікросхема LM293	1	DA2
				Мікросхема AM2320	1	DD1
				Мікросхема 74LVC125A	1	DD2
				Мікросхема ESP-12E	1	DD3
				Відсік для акумуляторів		
				1 AAA Cell Holder, PC P/N 2466	1	GB1
				Відсік для акумуляторів		
				3 AAA Cell Holder, PC P/N 2479	1	GB2
				Світлодіод GNL-5013LRD	1	HL1
				Резистор 1 МОм 0,125 Вт ± 5%	3	R1–R3

					PI61.423139.001	
		№ докум.	Підпис	Дата		
Розробив		Тараєнок А.О.			**Друкований вузол**	Літ. / Арк. 1 / Аркушів 2
Перевір.						
Реценз.						
Н. Контр						**НТУУ «КПІ» РТФ**
Затверд.						

Формат	Зона	Поз.	Позначення	Назва	Кільк.	Прим.
				Резистор 3,6 МОм 0,125 Вт ± 5%	1	R4
				Резистор 91 кОм 0,125 Вт ± 5%	1	R5
				Резистор 51 кОм 0,125 Вт ± 5%	1	R6
				Резистор 10 кОм 0,125 Вт ± 5%	2	R7, R8
				Резистор 33 кОм 0,125 Вт ± 5%	1	R9
				Резистор змінний PT15NV18-103A2020	1	R10
				Діод 1N4148W	1	VD1
				Міжплатне з'єднання KLS1-207B-1-02-R	1	XS1
				Матеріали		
				Припій SAC 305 ISO 9453:2014		

ДОДАТОК В. ПЕРЕЛІК ЕЛЕМЕНТІВ

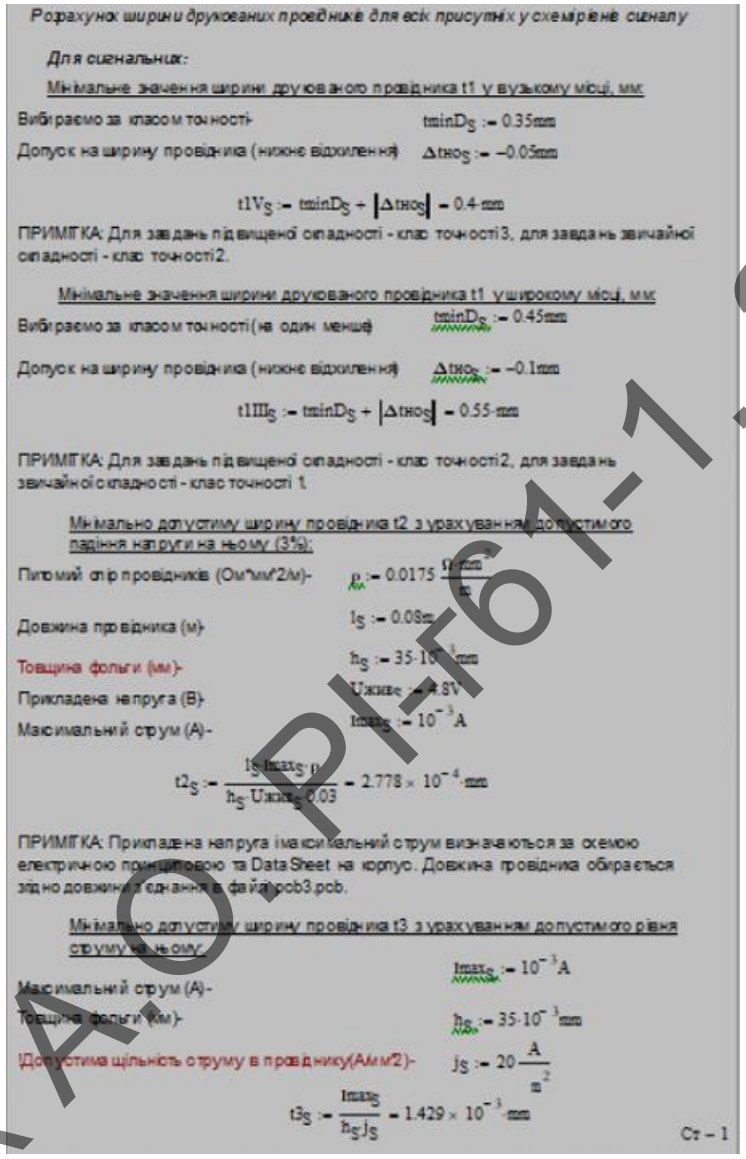
Позн.	Найменування	Кіл.	Примітки
C1	C0805B104J500NT – Hitano 100 нФ 50 В ± 5%	1	
	Мікросхеми		
DA1	MAX9030 – Maxim Integrated	1	
DA2	LM293 – ST Microelectronics	1	
DD1	AM2320 – AOSONG	1	
DD2	74LVC125A – NXP Semiconductors	1	
DD3	ESP-12E – Ai-thinker	1	
	Відсіки для акумуляторів		
GB1	1 AAA Cell Holder, PC P/N 2466 – Keystone Electronics	1	
GB2	3 AAA Cell Holder, PC P/N 2479 – Keystone Electronics	1	
HL1	Світлодіод GNL-5013LRD – G-Nor	1	
	Резистори		
R1–R3	RC0805JR-1MR – Hitano 1 МОм 0,125 Вт ± 5%	3	
R4	RC0805JR-3M6 – Hitano 3,6 МОм 0,125 Вт ± 5%	1	
R5	RC0805JR-91K – Hitano 91 кОм 0,125 Вт ± 5%	1	
R6	RC0805JR-51R – Hitano 51 кОм 0,125 Вт ± 5%	1	
R7, R8	RC0805JR-10KR – Hitano 10 кОм 0,125 Вт ± 5%	2	
R9	RC0805JR-33KR – Hitano 33 кОм 0,125 Вт ± 5%	1	
R10	PT15NV18-103A2020 – Piher 10 кОм 0,25 Вт	1	

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	РІ61.423139.001 ПЕ		
Розробив		Тарасюк А. О.			Перелік Елементів	Літ.	Арк. 1 / Аркушів 2
Перевір.							
Реценз.						НТУУ «КПІ» РТФ	
Н. Контр							
Затверд.							

Позн.	Найменування	Кіл.	Примітки
VD1	Діод 1N4148W – Vishay Semiconductors	1	
XS1	Міжплатне з'єднання KLS1-207B-1-02-R – KLS	1	

ДОДАТОК Г. РОЗРАХУНКИ

Скріншоти розрахунків параметврів провідників у середовищі PTC Mathcad наведені на рис. В.1 — рис. В.7.



Розрахунок ширини друкованих проводників для всіх присутніх у схемі рівнів сигналу

Для сигнальних:

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

Вибираємо за класом точності- $tminD_S := 0.35mm$

Допуск на ширину провідника (нижнє відхилення) $\Delta tno_S := -0.05mm$

$$t1V_S := tminD_S + |\Delta tno_S| = 0.4\cdot mm$$

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) $tminD_S := 0.45mm$

Допуск на ширину провідника (нижнє відхилення) $\Delta tno_S := -0.1mm$

$$t1III_S := tminD_S + |\Delta tno_S| = 0.55\cdot mm$$

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*мм^2/м)- $\rho := 0.0175\frac{\Omega\cdot mm^2}{m}$

Довжина провідника (м) $l_S := 0.08m$

Товщина фольги (мм)- $h_S := 35\cdot10^{-3}mm$

Прикладена напруга (В) $Uжив := 4.8V$

Максимальний струм (А)- $Imax_S := 10^{-3}A$

$$t2_S := \frac{l_S\cdot Imax_S\cdot\rho}{h_S\cdot Uжив\cdot 0.03} = 2.778\times10^{-4}\cdot mm$$

ПРИМІТКА: Прикладена напруга і максимальний струм визначаються за схемою електричною принциповою та Data Sheet 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)- $Imax_S := 10^{-3}A$

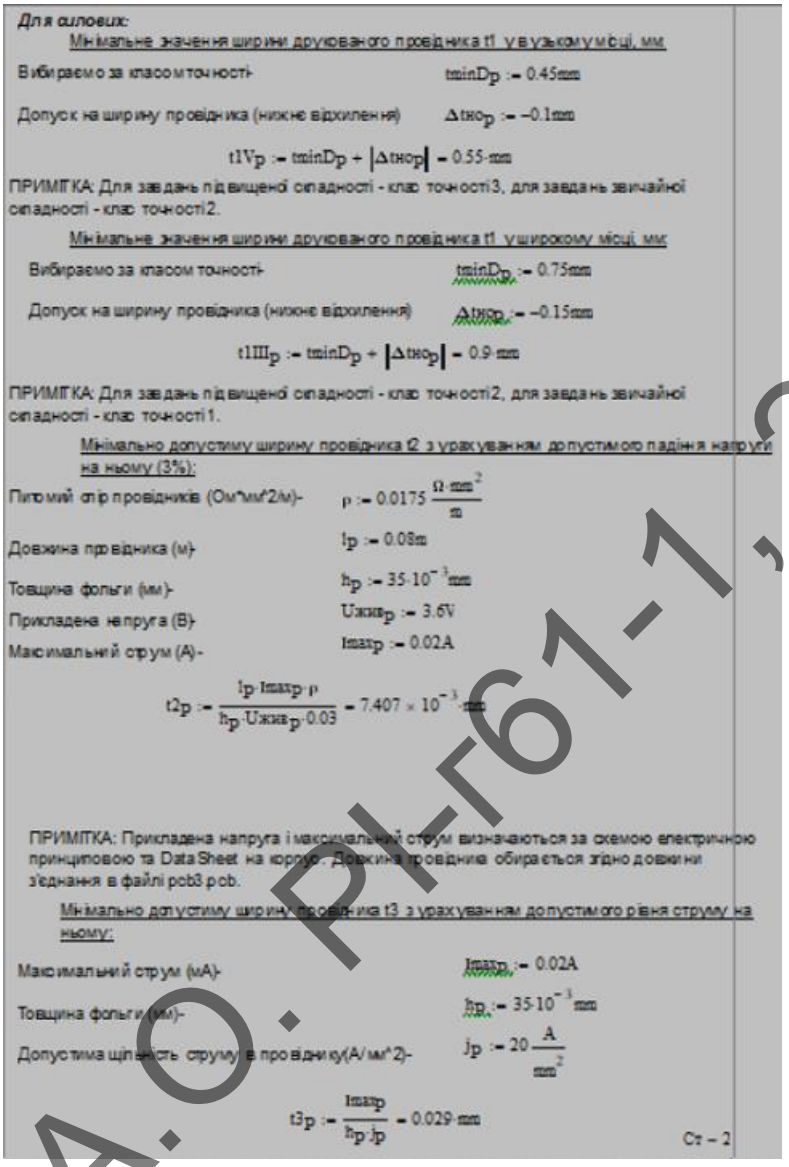
Товщина фольги (мм)- $h_S := 35\cdot10^{-3}mm$

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

$$t3_S := \frac{Imax_S}{h_S\cdot j_S} = 1.429\times10^{-3}\cdot mm$$

Ст - 1

Рисунок В.1 — Розрахунок сигнальних провідників першого типу



Для силових:

Мінімальне значення ширини друкованого провідника t1_у вузькому місці, мм

Вибираємо за класом точності- $tminD_p := 0.45mm$

Допуск на ширину провідника (нижнє відхилення) $\Delta tно_p := -0.1mm$

$$t1V_p := tminD_p + |\Delta tно_p| = 0.55 \cdot mm$$

ПРИМІТКА: Для завдань підвищеної складності - клас точності3, для завдань звичайної складності - клас точності2.

Мінімальне значення ширини друкованого провідника t1_у широкому місці, мм

Вибираємо за класом точності- $tminD_p := 0.75mm$

Допуск на ширину провідника (нижнє відхилення) $\Delta tно_p := -0.15mm$

$$t1III_p := tminD_p + |\Delta tно_p| = 0.9 \cdot mm$$

ПРИМІТКА: Для завдань підвищеної складності - клас точності2, для завдань звичайної складності - клас точності1.

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

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

Довжина провідника (м)- $lp := 0.08m$

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

Прикладена напруга (В)- $Uжив_p := 3.6V$

Максимальний струм (А)- $Imax_p := 0.02A$

$$t2_p := \frac{lp \cdot Imax_p \cdot \rho}{h_p \cdot Uжив_p \cdot 0.03} = 7.407 \times 10^{-3} \cdot mm$$

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 (мА)- $Imax_p := 0.02A$

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

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

$$t3_p := \frac{Imax_p}{h_p \cdot j_p} = 0.029 \cdot mm$$

Ст – 2

Рисунок В.2 — Розрахунок силових провідників першого типу

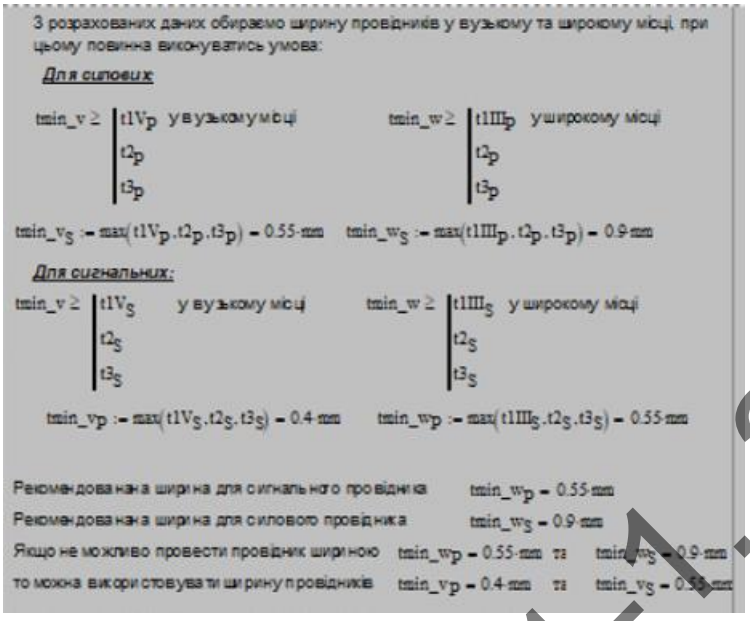


Рисунок В.3 — Результати розрахунку першої групи провідників

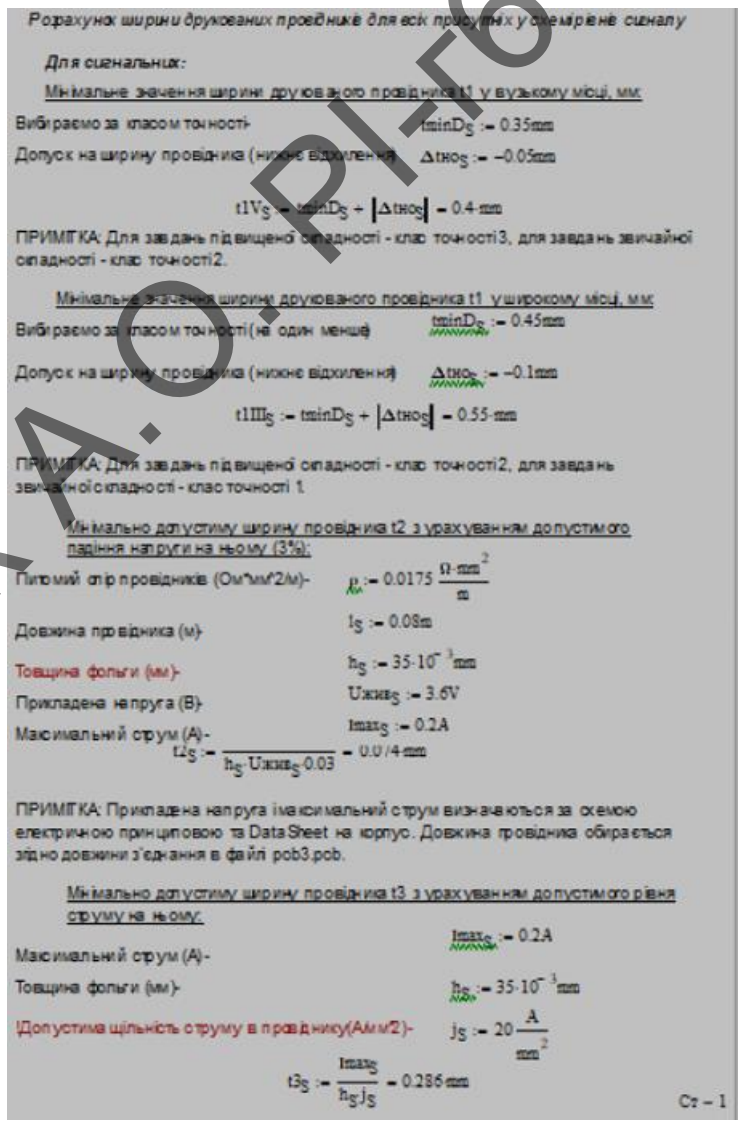


Рисунок В.4 — Розрахунок сигнальних провідників другого типу

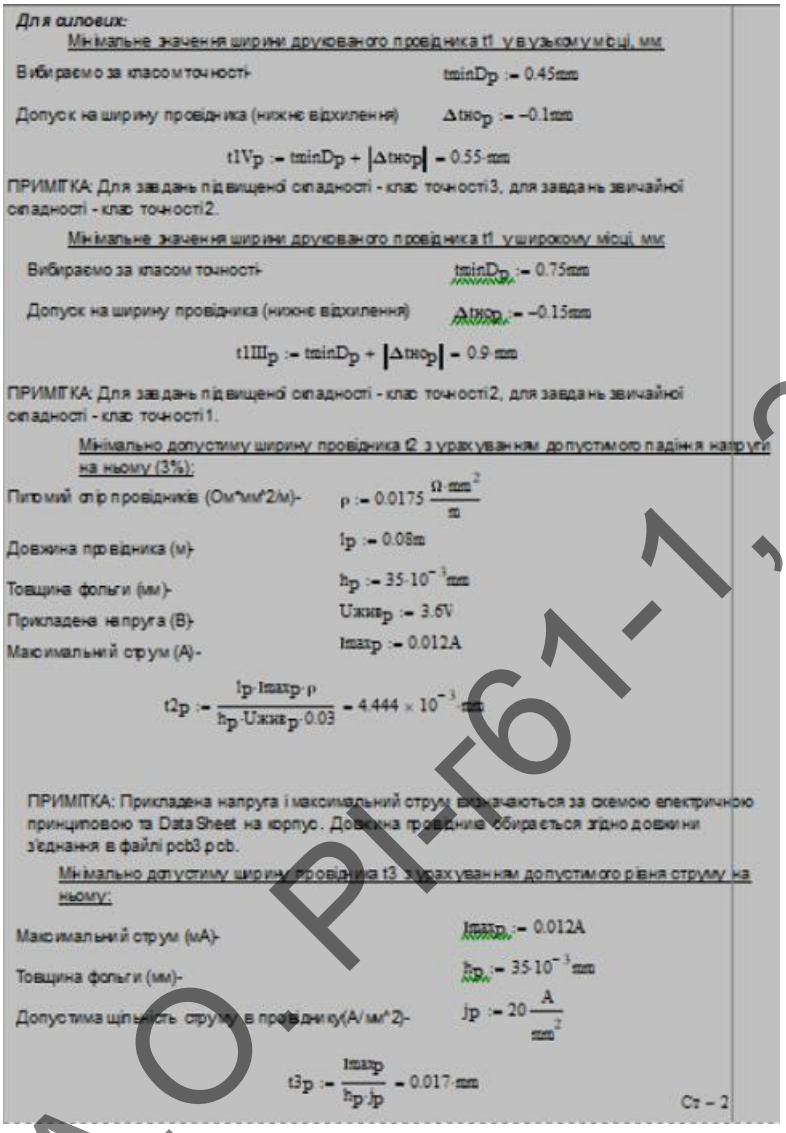


Рисунок В.5 — Розрахунок силових провідників другого типу

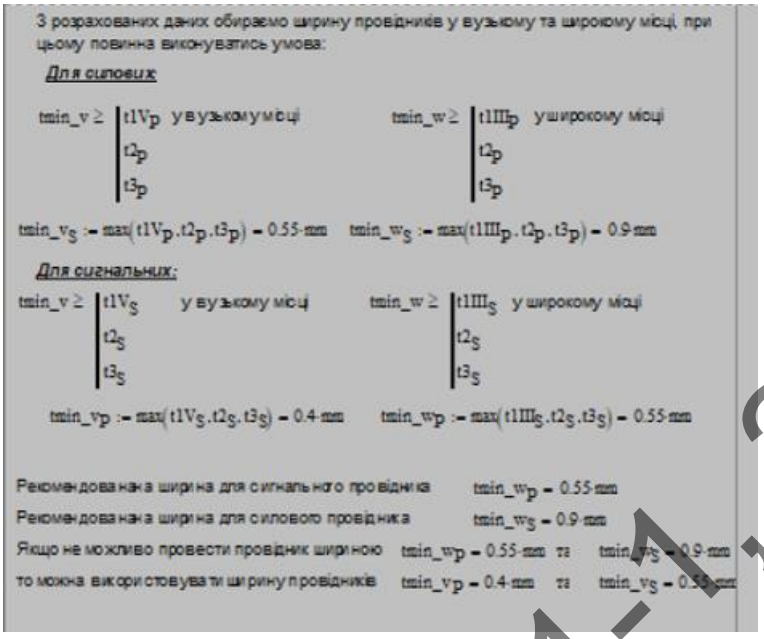


Рисунок В.6 — Результати розрахунку першої групи провідників

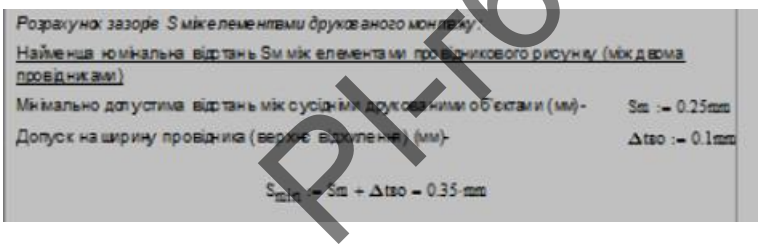


Рисунок В.7 — Розрахунок зазорів між елементами

Далі наведені звіти та результати з програм, що використовувались у четвертому розділі для розрахунку на працездатність.

Звіт з програми BlockTermo1 при теоретичному найгіршому варіанті роботи елементів схеми наведено на рис. В.8.

```
    РЕЗУЛЬТАТИ РОЗРАХУНКУ:

 температури, град С:
     оточуючого середовища   (t0)п = 20.0
     стінок корпусу:
       зовнішня              (t1)k = 23.9
       внутрішня             (t2)k = 24.3
     середньоповерхнева
       нагрітої зони         (t3)z = 32.6
     повітря у корпусі       (t4)p = 28.5
  перепад температур на стінці, град С:
                              delt = 0.42
критерії тепловіддачі:
   для поверхні корпусу        alfk =  7.2 Вт/м^2.К
   для нагрітої зони           alfz =  5.8 Вт/м^2.К
   для внутрішньої поверхні    alfv = 11.4 Вт/м^2.К
   еквівалентний               kekv =  4.2 Вт/м^2.К

ефективна площа охолоджуваної
    поверхні корпуса, м^2   (S)eff = 0.018
```

Рисунок В.8 — Звіт з BlockTermo1 при потужності 500 мВт

Звіт з програми BlockTermo1 при максимально можливому нагріві елементів схеми за урахуванням режимів та умов роботи наведений на рис. В.9.

```
    РЕЗУЛЬТАТИ РОЗРАХУНКУ:

 температури, град С:
     оточуючого середовища   (t0)п = 20.0
     стінок корпусу:
       зовнішня              (t1)k = 21.0
       внутрішня             (t2)k = 21.0
     середньоповерхнева
       нагрітої зони         (t3)z = 22.8
     повітря у корпусі       (t4)p = 21.9
  перепад температур на стінці, град С:
                              delt = 0.08
критерії тепловіддачі:
   для поверхні корпусу        alfk =  5.8 Вт/м^2.К
   для нагрітої зони           alfz =  5.6 Вт/м^2.К
   для внутрішньої поверхні    alfv =  9.4 Вт/м^2.К
   еквівалентний               kekv =  3.4 Вт/м^2.К

ефективна площа охолоджуваної
    поверхні корпуса, м^2   (S)eff = 0.018
```

Рисунок В.9 — Звіт з BlockTermo1 за нормальних умов роботи

Звіт з програми Relia2015 наведений на рис. В.10.

```
Показники надійності ЕЕС:
   інтенсивність відмов lam.10^6 1/год,
                              коефіцієнт режиму K1
                                                  функція надійності ЕЕС:
          lam(1)=1.925e-03     K1(1)= 0.10     Fp(1)=1.000
          lam(2)=1.925e-03     K1(2)= 0.05     Fp(2)=1.000
          lam(3)=1.925e-03     K1(3)= 0.05     Fp(3)=1.000
          lam(4)=1.325e-01     K1(4)= 0.02     Fp(4)=1.000
          lam(5)=1.925e-03     K1(5)= 0.02     Fp(5)=1.000
          lam(6)=1.325e-01     K1(6)= 0.30     Fp(6)=1.000
          lam(7)=1.325e-01     K1(7)= 0.30     Fp(7)=1.000
          lam(8)=1.325e-01     K1(8)= 0.30     Fp(8)=1.000
          lam(9)=1.325e-01     K1(9)= 0.07     Fp(9)=1.000

   імовірність безвідмовної роботи СКМ1
            для t=2.0e+04 годин  P(t)=1.000
```

Рисунок В.10 — Звіт з програми Relia2015

Результати 19-ти ітерацій симуляції за допомогою доповнення SOLIDWORKS Simulation наведено на рис. В.11.

Mode No.	Freq (Hertz)	X direction	Y direction	Z direction
1	339.73	1.6713e-006	0.13912	0.00467
2	398.83	0.004213	1.2654e-006	4.1956e-006
3	415.17	0.27429	0.0019279	0.0016509
4	450.24	0.0048471	0.26284	0.052445
5	495.01	0.01292	0.00013895	0.0008932
6	497.03	0.131	0.00010447	9.5341e-008
7	515.11	0.02317	0.00051148	0.00018758
8	521.22	0.00010043	0.14257	0.083099
9	578.76	1.2809e-005	0.0018604	0.028012
10	591.83	0.058376	1.8019e-005	2.9285e-006
11	607.28	1.8762e-005	0.00073767	0.00098251
12	635.39	5.1704e-005	0.0044414	0.16697
13	636.76	3.2079e-007	0.0008215	0.029152
14	670.46	0.0021016	0.01631	0.17562
15	692.18	0.080393	0.00033461	6.632e-005
16	702.5	0.0034182	2.129e-005	0.048891
17	704.21	0.0057181	2.0822e-006	0.00063133
18	732.54	0.00027502	0.00011691	0.10485
19	740.17	0.00011928	9.8026e-005	0.041689
		Sum X = 0.60103	Sum Y = 0.57198	Sum Z = 0.73982

Рисунок В.11 — Результати моделювання у SOLIDWORKS Simulation