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

Факультет електроніки

(повна назва інституту/факультету)

кафедра мікроелектроніки

(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»

В.о.завідувача кафедри

________ Анатолій ОРЛОВ

(підпис) (ініціали, прізвище)

“___”_____________2020 р.

Дипломна робота

на здобуття ступеня бакалавра

за спеціальністю 153 Мікро-та наносистемна техніка

(код і назва)

на тему: Пристрій збору даних на базі ESP-32

Виконав (-ла): студент (-ка) 4 курсу, групи ДП–61

(шифр групи)

Хижняк Іван Анатолійович ____________________ __________

(прізвище, ім’я, по батькові) (підпис)

Керівник проф., к.т.н., доц. Орлов А.Т. ____________________ __________

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

Консультант з нормоконтролю доц., к.ф.-м.н., с.н.с.

Георгій СВЄЧНІКОВ __________

Консультант з інформаційних питань доц., к.т.н., Юрій ДІДЕНКО __________

Рецензент __________ ____________________ __________

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

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

Студент _____________

(підпис)

Київ – 2020 року

Завдання на дипломну роботу

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

Інститут/факультет електроніки ______________________________________
(повна назва)

Кафедра мікроелектроніки ____
(повна назва)

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність (спеціалізація) 153. Мікро – та наносистемна техніка_____
(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
В.о.завідувача кафедри
_________ Анатолій ОРЛОВ
(підпис) (ініціали, прізвище)
«___»_____________2020 р.

ЗАВДАННЯ
на дипломний проект (роботу) студенту

Хижняк Іван Анатолійович ____
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Пристрій збору даних на базі ESP-32 _________
____
____

керівник проекту (роботи) проф., к.т.н., доц. Орлов А.Т. _______________,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «___»_________ 20__ р. №_____

2. Строк подання студентом проекту (роботи) ________________________

3. Вихідні дані до проекту (роботи) Алгоритм роботи пристрою збору даних на базі ESP-32 з можливістю передачі інформації через Wi-Fi, Bluetooth та USB, 4 порти для цифрових та аналогових датчиків з можливістю авторозпізнавання під'єднаних датчиків.

4. Зміст (дипломної роботи) пояснювальної записки (перелік завдань, які потрібно розробити) 1)Зробити огляд існуючих цифрових лабораторій.

2)Порівняти існуючі рішення пристроїв збору даних. 3)Обрати необхідні властивості, якими повинене володіти майбутній пристрій. 4)Створити алгоритм роботи
пристрою. 5)Підібрати компоненти та створити схему пристрій збору даних.

5. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо) Принципова схема пристрою, специфікація використаних компонентів, презентація, алгоритм роботи пристрою на основі створеної схеми.

6. Консультанти розділів проекту (роботи)*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання ______________________

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Підпис керівника
1	Літературний огляд	Березень 2020	
2	Аналіз існуючих датчиків	Квітень 2020	
3	Аналіз існуючих пристроїв	Квітень 2020	
4	Створення алгоритму роботи	Травень 2020	
5	Розробка схеми	Травень 2020	
6	Оформлення дипломної роботи	Червень 2020	

Студент ____________ Хижняк І. А.
(підпис) (ініціали, прізвище)

Керівник проекту (роботи) ____________ Орлов А. Т.
(підпис) (ініціали, прізвище)

* Консультантом не може бути зазначено керівника дипломного проекту (роботи)

РЕФЕРАТ

Структура і обсяг роботи: 70 сторінок, 22 ілюстрацій, 4 таблиці, 30 джерел за переліком посилань, 2 аркуші специфікації, 2 принципові схеми.

Мета роботи: Розробити схему пристрою збору даних, який буде поєднувати у собі актуальні технологічні рішення, на базі мікроконтролера ESP-32.

Рекомендації щодо використання результатів даних досліджень: Схема розробленого пристрою є втіленням технологій, які покращують взаємодію з датчиками, оскільки пристрій збору даних на базі ESP-32 включає у себе Wi-Fi та Bluetooth модулі, що дають можливість передавати інформацію на комп'ютер бездротовим чином. При розробці пристрою по даній схемі це потрібно враховувати, адже матеріал корпусу може вплинути на якість сигналу. Також, доцільним рішенням було б використовувати даний пристрій для передачі інформації за допомогою Wi-Fi, проте, за необхідності або в умовах лабораторії, передавати сигнали з пристрою збору даних також можна за допомогою MicroUSB.

Ключові слова: мікроконтролер, ESP-32, Wi-Fi, Bluetooth, Mini-DIN, пристрій збору даних, датчик.

ABSTRACT

Structure and scope of work: 70 pages, 22 illustrations, 4 tables, 30 sources according to the list of references, 2 sheets of the specification, 2 schematic diagrams.

Purpose: To develop a scheme of a data acquisition device that will combine current technological solutions, based on the ESP-32 microcontroller.

Recommendations for using research results: The schematic of the developed device is the embodiment of technologies that improve the interaction with sensors, as the data acquisition device based on ESP-32 includes Wi-Fi and Bluetooth modules that allow information to be transmitted to a computer wirelessly. When designing a device according to this scheme, this must be taken into account, because the material of the housing can affect the signal quality. Also, it would be appropriate to use this device to transmit information via Wi-Fi, however, if necessary or in a laboratory, you can also transmit signals from a data collection device using MicroUSB.

Keywords: microcontroller, ESP-32, Wi-Fi, Bluetooth, Mini-DIN, data acquisition device, sensor.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

DMIPS (від Dhrystone MIPS) – синтетичний тест продуктивності комп'ютерів та мікроконтролерів.[1]

SMT – технологія виготовлення електронних пристроїв, в якій компоненти встановлюються безпосередньо на поверхню друкованої плати.[2]

Bluetooth – технологія бездротового радіо зв’язку між різноманітними типами електронних пристроїв.

Wi-Fi – технологія даних по радіоканалах за рахунок цифрових потоків.

DIN Connector – електричний з’єднувач.

АЦП – аналогово-цифровий перетворювач.

MicroUSB – універсальна послідовна шина, призначена для з'єднання комп'ютерів і периферійних пристроїв.

ВСТУП

Сьогодні нас оточують значна кількість датчиків, вони є невід'ємною частиною нашого життя. Спектр їх використання різноманітний: починаючи від простих систем розумного будинку, датчиків руху та присутності для сигналізацій, та закінчуючи високоточним медичним обладнанням, приладами для аналізу живих організмів та довкілля.

Часто необхідно, щоб датчики працювали не окремо, а у парі або певній системі з іншими датчиками. Звісно, що сигнали з цих приладів потрібно обробляти. Тут можна побачити першу перешкоду – потрібен прилад, який буде збирати данні зі всіх датчиків та обробляти. Це забезпечить нам єдину систему та одне джерело істини, тобто інформації.

В залежності від типів датчиків, способу їх під'єднання та очікуваного результату необхідно створювати пристрій збору даних. Можна побачити, що більшість існуючих приладів мають погану масштабованість, залежать від виробника комплектуючих пристроїв та належать до вузького спектру використання.

Подібні пристрої збору даних можуть використовуватися у медицині, школах, лабораторіях, системах розумного будинку. Також це створює можливість проводити лабораторні заняття дистанційно.

Метою даної роботи є розробка пристрою збору даних, який буде підходити для багатьох задач, легко масштабуватися та розширюватися, мати можливість перепрограмування, володіти можливістю передачі інформації за допомогою Wi-Fi.

1. Аналіз існуючих приладів та датчиків

На ринку сучасних технологій існують схожі прилади, проте їх функціонал складніший, немає можливості власноруч перепрограмовувати контролер. Також, представлена вартість даних виробів значно завищена від вартості. Проте, ці пристрої збору даних варті уваги. У даному розділі наведено декілька з них.

Кожна з компаній - виробників (Vernier, Pasco, Fourier, Science Cube, L-micro та інші) має свій власний асортимент датчиків, який, проте, багато в чому збігається з асортиментом інших компаній. У таблиці 1.1 представлені датчики 3-х компаній, чий асортимент є найбільш великим. Датчики подані в алфавітному порядку (відповідно до назв датчика англійською мовою).

Таблиця 1.1 – Перелік датчиків іноземних компаній-виробників навчальних лабораторій

Назва датчика (англ.)	**Назва датчика (укр.)**	**VERNIER**	**PASCO**	**FOURIER**
Accelerometers	Прискорення	4 різних датчика	4 різних датчика	+
Anemometer	Швидкості повітря	+	-	-
Barometer	Барометр	+	+	Аналог – датчик тиску
Blood Pressure Sensor	Датчик артеріального тиску	+	+	-
Charge Sensor	Датчик заряду	+	+	+
CO2 Sensor	Датчик CO2	+	+	+
Colorimeter	Колориметр	+	+	+
Conductivity Probe	Датчик провідності	+	+	+
Current Sensors	Датчики струму	4 різних датчика	2 різних датчика	2 різних датчика
Digital Control Unit	Цифровий блок керування	+	+	2 різних датчика (керуючий перемикач)
Digital Radiation Monitor	Цифровий вимірювач радіації	+	+	Лічильник Гейгера - Мюллера
Dissolved Oxygen Probe	Датчик розчиненого кисню	+	+	Датчик розчиненого та атмосферного кисню
Drop Counter	Лічильник крапель	+	+	+
EKG Sensor	Датчик ЕКГ	+	+	+

Продовження таблиці 1.1

Electrode Amplifier	Підсилювач	+	+	+
Flow Rate Sensor	Датчик швидкості потоку	+	+	+ (VERNIER)
Force Sensors	Датчики сили	3 різних датчика		Датчик на 2 діапазони
Gas Pressure Sensor	Датчик тиску газу	+	6 різних датчиків	2 різних датчика
GPS Sensors	Датчик GPS	2 різних датчика	+	-
Hand Dynamometer	Ручний динамометр	+	+	-
Hand-Grip Heart Rate Monitor	Датчик серцевої діяльності	+	+	+
Ion-Selective Electrodes (Calcium, Chloride, Nitrate, Ammonium)	Іоно - селективні електроди	+	+	+
Light Sensor	Датчик світла	+	8 різних датчиків	2 різних датчика
Magnetic Field Sensor	Датчик магнітного поля	+	+	+
Melt Station	Вимірювач температури плавлення	+	-	-
Microphone	Мікрофонний датчик	+	3 різних датчика	+
Motion Detectors	Детектори руху	2 різних датчика	+	Датчик відстані
O2 Gas Sensor	Датчик кисню	+	+	+
Oxidation-Reduction Potential (ORP) Sensor	Датчик окислювально-відновлювального потенціалу (потенціал хлору в воді)	+	+	-
pH Sensor	Датчик pH	+	2 різних датчика	+

Продовження таблиці 1.1

Rotary Motion Sensor	Датчик обертового руху	+	+	+
Salinity Sensor	Датчик солоності	+	+	-
Sound Level Meter	Вимірювач рівня звуку	+	+	Датчик звукового тиску
Soil Moisture Sensor	Датчик вологості грунту	+	+	+
Spectrometers	Спектрометри	3 різних датчика	3 різних датчика	-
Spirometer	Датчик подиху	+	+	+
Temperature Sensors	Датчики температури	8 різних датчиків	10 різних датчиків	3 різних датчика
Turbidity Sensor	Датчик мутності	+	+	+
The UVB Sensors (ultraviolet light sensor)	Датчики ультрафіолету	2 різних датчика	+	-
Voltage Probes	Датчики напруги	2 різних датчика	2 різних датчика	3 різних датчика

2. Технічні характеристики датчиків, що випускаються у складі цифрових лабораторій

2.1. Датчики фізичних величин

Нижче у таблиці 1.2 наведені параметри деяких датчиків, що випускаються компаніями FOURIER та PASCO.

Таблиця 2.1 Приклади датчиків базового набору цифрової лабораторії

Назва датчика	**Зовнішній вигляд**	**Технічні характеристики**
Датчик відстані		Діапазон дії: 0,15 до 8 м; Роздільна здатність: 1,0 мм; Максимальна частота дискретизації: 50 Гц.
Датчик сили		Діапазон: ± 50 Н; Точність: 1%; Роздільна здатність: 0,03 Н; Максимальна частота дискретизації: 1000 Гц; Захист від перенавантаження: запобігає пошкодженню від сили більше, ніж 50 Н.

Продовження таблиці 2.1

Датчик тиску		Діапазон: 0 - 700 кПа з точністю ± 2 кПа і роздільною здатністю: 0,1 кПа. Одиниці виміру: відображення в Н/м2 і PSI.
Датчик температури (звичайний)		Діапазон дії : -35 до +135 ° С ± 0,5 ° С (із зондом нержавіючої сталі). Роздільна здатність: 0,0025 ° С. Максимальна частота дискретизації: 10 Гц.
Датчик температури (високотемпературний)		Діапазон дії: -200 до 1000 ° С. Точність: ± 3 ° С. Частота дискретизації за замовчуванням: 2 Гц. Максимальна частота дискретизації: 10 Гц. Чутливий елемент: термопара

Продовження таблиці 2.1

Датчик магнітного поля		Діапазон: ± 1000 Гаус. Точність: ± 3% Гаусса. Роздільна здатність: <0,1 Гаусса (0,01% від повної шкали). Одиниці виміру: Відображення в Гауса і міліТесла. Максимальна частота дискретизації: 20 Гц.
Мікрофонний датчик		Діапазон частот : 35 – 10 000 Гц. Діапазоннапруги:±2,5 В. Роздільна здатність (12-біт): 1,22 мВ. Максимальна частота замірів: 20 000 замірів на секунду.
Датчик напруги ±25 В;		Діапазон: ± 25 В. Роздільна здатність 12-біт: 12,5 мВ. Максимальна частота замірів: 20 000 замірів на секунду. Вхідний опір: 250 kОм.

Продовження таблиці 2.1

Датчик струму ±2,5 А;		Діапазон: ± 2.5 А. Вхідний струм: постійний або змінний. Точність: ±3 % в усьому діапазоні. Роздільна здатність (12-біт): 1.25 мА. Частота вимірювання за замовченням: 10 замірів на секунду. Вхідний опір: 0.1 Ом. максимальний вхідний струм: 5 А.
Датчик змінного струму ±250 мА;		Діапазон: ± 250 мА. Вхідний струм: постійний або змінний. Точність: ±3 % в усьому діапазоні . Роздільна здатність (12-біт): 125 мкА. Частота вимірювання за замовченням: 10 замірів на секунду. Вхідний опір: 0.1 Ом. Максимальний вхідний струм: 1.7 А.

Продовження таблиці 2.1

Лічильник Гейгера – Мюллера;		Чутливість: бета, гамма, альфа. Сигналізація перевищення: звуковий сигнал. Вікно: слюда. Газ заповнення: неон, аргон і галогенні гази. Запуск-робоча напруга для лампи: 450 В.
Датчик перетинання з фотоелементом;		Діапазон: 0 – 5 В. Час наростання напруги детектора: 180 нс. Час спаду напруги детектора: 180 нс. Помилка внаслідок параллаксу: для об’єкта, що переміщується в радіусі 1 см від детектора, зі швидкістю менше 10 м/с, різниця між точною та дійсною довжиною складає менше 1 мм. Інфрачервоне джерело: максимальне значення – при 800 нм.

Продовження таблиці 2.1

Датчик кута повороту		Роздільна здатність: 0,02 мм (лінійний) і 0,09 ° (кутовий) (4000 точок на оборот). Точність: + / - 0.09 °. Триступеневий шків: 10, 29 і 48 мм в діаметрі. Обертальна роздільна здатність: 0,00157 радіан Максимальна швидкість обертання: 30 обертів на секунду.
Датчик рівня шуму		Рівні: ─ голос: 30 - 70 дБ / дБ; ─ ріг: 50 - 90 дБ / дБ; ─ літак: 70 - 110 дБ / дБ. Точність: ± 2 дБ на 94 дБ при 1000 Гц. Роздільна здатність: 0,1 дБ.

Ряд компаній випускає датчики, що дозволяють вимірювати одночасно кілька фізичних величин. Прикладом може служити General Science Sensor PS-2168 (комплексний сенсор) компанії PASCO (рисунок 2.1).

Рисунок 2.1 - Комплексний датчик PS-2168

Комплексний (мультипараметричний) датчик включає наступні датчики: температури, освітлення, рівня шуму та напруги. Параметри мультипараметричного датчика наступні:

Максимальна частота дискретизації: 200 Гц;
За замовчуванням частота дискретизації: 2 Гц.

Температура:

─ діапазон вимірювань: від мінус 35 ° С до +135 ° С;
─ точність: ± 0,5 ° С;
─ роздільна здатність: 0,01 ° С або вище;
─ чутливий елемент: 10 кОм термістор розташований в зонді.

Світло:

─ три діапазона: 100 люкс, 10000 лк, 150000 люкс;
─ спектральний діапазон: від 320 нм до 1100 нм.

Рівень звукового тиску:

─ діапазон: 50 дБ до100 дБ;

─ точність: ± 4 дБ;

─ роздільна здатність: 0,1 дБ.

Напруга:

─ діапазон: ± 24 В;

─ точність: ± 0,1 В;

─ роздільна здатність: ± 0,001 В;

─ захист від перенапруги: до 240 В;

─ вхідний опір: 1 М Ом.

Звертає на себе увагу те, що, оскільки датчик дозволяє проводити вимірювання чотирьох фізичних величин, максимально досяжна частота дискретизації порівняно низька - всього 200 Гц.

Також треба відмітити, що датчики більшості з розглянутих компаній сумісні один з одним. Цьому служать перехідні блоки сполучення з різними варіантами роз'ємів (рисунок 2.2), або спеціалізовані адаптори (рисунок 2.3).

Рисунок 2.2 - Датчик швидкості потоку VERNIER з блоком сполучення FOURIER

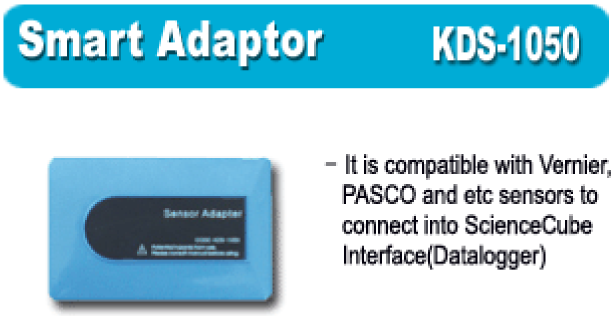


Рисунок 2.3 - Адаптер Science Cube для підключення датчиків інших компаній

2.2. Датчики хімічних величин та біомедичні датчики для навчального процесу

Хімічні та біомедичні датчики на даному етапі роботи не розробляються. Приблизний перелік базового набору датчиків, складений на основі аналізу існуючих навчальних лабораторій такий:

Таблиця 2.2 Аналоги датчиків базового набору цифрової лабораторії

№ пп	Тип датчика за величиною, що вимірюється	Дисципліни	Аналог
1.	датчик непрозорості 0~200 NTU	біологія або хімія	DT095A
2.	датчик нітрат-ионів 0,02~40.000 ppm	біологія або хімія	AC017A
3.	датчик електропровідності 0~20 мСм	біологія або хімія	DT035
4.	датчик тиску 0~700 кПа	фізика, біологія або хімія	DT015-1
5.	датчик pH-метр 0~14 pH	біологія, хімія і медицина	DT016A

Продовження таблиці 2.1

6.	датчик вмісту кисню з адаптером	біологія, хімія і медицина	DT222A
7.	датчик температури -25/+110 С	фізика, біологія або хімія	DT029
8.	датчик температури +25~+40, точність 0,1 С	біологія і медицина	відсутній
9.	датчик температури 0~1250 С	фізика або хімія	DT025
10.	датчик температури -200~400 С	фізика, біологія або хімія	DT027
11.	колориметр 3-х колірний	хімія	DT185
12.	датчик ЭКГ 0~5 V	медицина	DT189
13.	датчик вологості підв. точності 0~100% (точність 5%)	біологія і медицина	DT014
14.	датчик дихання +/- 315 л/хв	медицина	DT037
15.	датчик освітленості 0~600/0~6000/0~150 000 лк	фізика або біологія	DT009-4
16.	пульсометр 0~200 ударів/хв	медицина	відсутній

2.3.Вихідні дані для вибору базового набору датчиків фізичних величин

Аналіз навчальних планів показав, що для вивчення науково-природничих та біомедичних дисциплін в навчальних закладах І-ІV рівнів акредитації базовий набір інтелектуальних датчиків фізичних величин повинен складатися із наступних датчиків:

- датчика відстані;
- датчика сили;
- датчика тиску;
- датчика температури -25-+110 С;
- датчика температури 0-1250 С;
- датчика освітленості;
- датчика магнітного поля;
- мікрофонного датчика;
- датчика напруги (вольтметра) постійного струму ±25 В;
- датчика напруги (вольтметра) змінного струму ±250 мВ;
- датчика постійного струму (амперметра) ±2,5 А;
- датчика змінного струму ±250 мА;
- лічильника Гейгера - Мюллера (датчика радіоактивності); датчика перетинання з фотоелементом;
- датчика кута повороту 0,5 град;
- датчика рівня шуму +120дБ.

3. Огляд систем збору та реєстрації інформації у складі цифрових лабораторій

Існує чотири основних варіанти підключення розглянутих вище типів датчиків до комп'ютера або спеціалізованого вимірювального пристрою.

Перший варіант використання так званих Data Logger - реєстраторів даних пристроїв, забезпечених індикатором або екраном, які дозволяють відображати результати вимірювань і в ряді випадків будувати графіки, зберігати й обробляти дані. Датчики підключаються безпосередньо до таких пристроїв. На Рис. 3.1 представлено один з подібних пристроїв, що випускаеться компанією PASCO. [3]

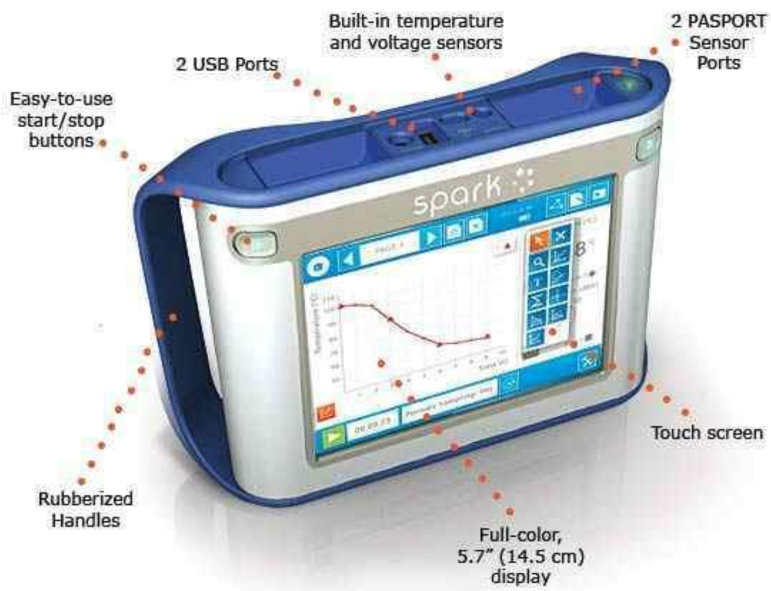


Рисунок 3.1 - SPARK Science Learning System компанії PASCO

Основні риси спеціалізованого комп’ютера:

─ кольоровий екран для зручності перегляду;

─ працює без стилуса, дотик пальцями;

– простий спосіб керування - двома кнопками;
– вбудовані   датчики напруги та температури;
– передвстановлені більше 60 безкоштовних лабораторних робіт SPARKlabs.

Порти:

- 4 порта датчиків загального призначення;
- 2 універсальних порта для використання з більшістю датчиків PASPORT;
- 2 виділених порта (1 температури, 1 напруги).

Інші параметри:

- дисплей: 640 x 480 пікселів сенсорний РК-екран з активною матрицею технології;
- вбудована пам'ять: 1 ГБ флеш-пам'яті;
- вага: 21 унцій (595 г);
- розміри: 6,7 x 5,5 x 1,7 дюйма (17 x 14 x 4,5 см);
- розмір дисплея 5,7 "(14,5 см) по діагоналі;
- USB – підключення: 2 USB порта (1 стандартний USB-A, 1 USB-міні-A / B);
- живлення: батареї або змінного струму (адаптер входить в комплект).

Інший варіант - використання комп'ютерних вимірювальних блоків - пристроїв, які виконають функції і аналого-цифрових перетворювачів, що підключаються до USB портів комп'ютерів. Датчики підключаються безпосередньо до таких пристроїв. На Рис. 3.2 представлено один з подібних пристроїв, що випускається компанією FOURIER.[4]

Рисунок 3.2 - USBLink компанії FOURIER

Характеристики USBLink:

— міні-USB (тип B) порт для зв'язку з комп'ютером;

— 4 Mini Din порта датчиків для 4 датчиків в режимі Auto Detect і до 8 датчиків в режиміі «Визначте»;

— інтервал дискретизації: 12-бітний;

— частота: до 20 тис. в секунду:

-1 датчик - 20 тис. в секунду,

-2 датчики - 2 x 10 тис. в секунду,

-3 датчики - 3 x 6,7 тис. в секунду,

-4 датчика - 4 x 5 тис. в секунду;

— автоматичне визначення для всіх аналогових і цифрових датчиків Фур'є;

— простий адаптер для підключення більшої частини датчиків VERNIER;

— підключається кабелем до USB порту комп'ютера;

— розміри USBLink - 57 мм x 57 мм x 20 мм.

Існує бездротовий варіант варіант такого пристрою, представлений на Рис. 3.3. Зв'язок з комп'ютером здійснюється ся за технологією Bluetooth.[5]

Рисунок 3.3 – NOVA AIR компанії FOURIER – бездротовий інтерфейс

Основні характеристики NOVA AIR:

─ Plug N 'Play (датчик автоматично визначається);

─ частота дискретизації - 10000   за секунду в бездротовому режимі онлайн (50 000 за секунду с в бездротовому режимі оффлайн);

─ радіус дії - до десяти метрів;

─ ємність пам'яті 100 тисяч зразків;

─ підтримувані платформи: WIN-PC (XP / 7).

Третій варіант - підключення до спеціалізованого комп'ютера з вбудованим блоком аналого-цифрового перетворення. Приклад такого пристрою представлений на Рис. 3.4. [6]

Рисунок 3.4 - Спеціалізований комп'ютер NOVA 5000 компанії FOURIER

Характеристики NOVA 5000:

- процесор Intel XScale PXA320, 624 МГц;
- монітор 7"TFT LCD (800x480 пікселів, 65000 кольорів);
- сенсорний екран;
- оперативна пам'ять 128 Мб;
- флеш-пам'ять 256 Мб NAND (можлива опція 1 Гб);
- вбудований двомірний графічний прискорювач;
- RTC - годинник реального часу;
- розміри: 9.33"x 7.32"x 1.7";
- вага (включаючи батарею): 1090 грам.

Програмне забезпечення:

- операційна система MS Windows CE.NET 5.0;
- MS Windows Media Player 9;
- MS Internet Explorer 6;
- програма Inbox (електронна пошта);
- TextMaker 2008 (подобу MS Word);

- PlanMaker 2008 (подобу MS Excel);
- Presentations 2008 (подібне MS Power Point);
- програма Inspiration concept mapping – нанесення термінів на карту;
- науковий графічний калькулятор Portrait-4;
- навчальна середовище Goknow;
- математична програма Inside Math;
- музична програма Dorlymusic;
- програма збору та аналізу даних MultiLab;
- текстовий редактор WordPad;
- науковий і статистичний калькулятор CalcCE;
- програма віддаленого доступу;
- MS Transcriber - програма для розпізнавання рукописних текстів;
- програвач Flash Lite 3.1 (сумісний з форматом Flash 8);
- драйвера для принтерів (з підтримкою PLC);
- програма для друку PrintBoy;
- звукозаписна програма;
- NovaCapture - програма для зняття знімків з екрану;
- NovaNotes - програма для письмових нотаток, звукозапису і схем;
- програма конвертації одиниць вимірювання;
- електронна Таблиця Менделєєва.

Периферійне обладнання:

- порт локальної мережі 10/100;
- інтегрований WiFi 802.11 b/g;
- 3 входи USB 1.1 з підтримкою для клавіатури, мишки і флеш-пам'яті і т.д.;
- USB Sync порт (підтримуючий ActiveSync);
- гніздо для карти CompactFlash;
- вхід для картки SD;
- входи для навушників і мікрофону;

– вбудований аудіо-спікер (моно);
– 12-біт інтерфейс підключення 8 датчиків (для реєстрації даних);
– стандартний вхід для дисплея VGA.

Четвертий варіант –підключення безпосердньо до USB – порту компьютера. Кожен з датчиків такого роду (випускаються, наприклад, компанією "Наукові розваги", Рис.1.7), забезпечений власним аналого-цифровим перетворювачем, що помітно підвищує його вартість, тому таке рішення є далеко не найкращим з економічної точки зору.

Рисунок 3.5 – Цифровий датчик компанії «Наукові розваги»

Пристрій Einstain LabMate II є джерелом збору даних. Він може використовуватися з планшетами та персональними комп'ютерами. Підтримує операційні системи Android, iOS або Windows 8 для планшетів та Windows або Linux та MacOS для ноутбуків та ПК. [7]

Рисунок 3.6 – Пристрій Einstain LabMate II

Пристрій Einstain LabMate II володіє вбудованими сенсорами вологості, частоти серцевих скорочень, температури, барометричного тиску, рівня освічуваності та ультрафіолету. Для використання даного пристрою необхідне програмне забезпечення MiLAB та MiLAB X.

Також даний пристрій володіє здатністю передавати інформацію за допомогою Bluetooth. Інтерфейс використання пристрою досить зручний, адже він включає у себе різнокольорові індикатори, за допомогою яких можна дізнатися про стан приладу. Блимаючий зелений індикатор вказує на те, що пристрій увімкнено і не є парним пристроєм Bluetooth.

Блимаючий синій індикатор вказує, що пристрій увімкнено та є парним з будь-якими пристроями Bluetooth. Блимаючий червоний індикатор вказує на те, що пристрій майже заряджає акумулятор, і його слід заряджати. На перший погляд, це не досить суттєво з технічної точки зору, але з точки зору користувача це значно покращує сприйняття та розуміння стану приладу користувачем.

У таблиці №3.1 наведені технічні характеристики Einstain LabMate II.

Таблиця № 3.1 – Технічні характеристики Einstain LabMate II

Реєстрація даних		Джерело живлення		Розмір		Зв'язок
Ємність внутрішньої пам’яті	До 800 000 зразків	Акумулятор (літієвий полімер; 500mAh)	Перезаряджається через USB	Розміри	90,2мм х 90,2мм х 20мм	microUSB BLE
Роздільна здатність	12 біт	Режим роботи	до 24 годин	Вага	120 гр	
Програмне забезпечення	MiLAB	Режим очікування	до 450 годин			
Зовнішні датчики	60	Час зарядки	3 години			
Швидкість відбору	до 100 кс / с					

Пристрій збору даних Fourier NOVA LINK (раніше USBLink) трансформує наукову освіту по всьому світу. NOVA LINK - це інтерфейс для сенсорів, який перетворює будь-який комп'ютер у наукову станцію. NOVA

LINK дозволяє студентам безпосередньо переживати та розуміти нематеріальні принципи науки та допомагає їм презентувати та співвідносити наукові концепції з реальним світом. У комплекті з NOVA LINK є повна версія програмного забезпечення для аналізу даних MultiLab від Fourier.[8]

Разом NOVA LINK та MultiLab розблокують вдосконалений набір інструментів для відкриття науки, що охоплюють весь спектр циклу наукових проектів лише за один урок. Пристрої збору даних Фур'є допомагають студентам підключати графіки, що представляють наукові концепції, до реального світу.

Дослідження в цій галузі свідчать про те, що багаторазові дії з пристроями можуть покращити розуміння учнями фізичних явищ. Негайний зворотній зв'язок подає дані, щоб студенти могли навчитися інтерпретувати майже миттєво і таким чином робити наукові висновки про реальний світ шляхом прямого дослідження. NovaLink разом із навчальною програмою Фур'є програмним забезпеченням для аналізу та аналізу є виразним науковим рішенням.

NovaLink - це потужний, але простий інтерфейс, який забезпечує ключ до наукового рішення, яке супроводжує кожен студентський комп'ютер. Простий модуль plug-n-play від NovaLink відрізняється високою функціональністю, з 4-вхідним інтерфейсом, з можливістю до восьми датчиків, підключених одночасно через USB до комп'ютера. Конкурентна ціна гарантує хороше співвідношення ціни та якості з автоматичним розпізнаванням датчиків, швидкою швидкістю вибірки та передачею зразків до 20 000 зразків в секунду.

Користувачі можуть підключатися до широкого спектру з 65 датчиків Fourier. NovaLink був розроблений для роботи з датчиками та за допомогою програмного забезпеченням MultiLab для наукового аналізу. Разом з програмним забезпеченням Fourier NovaLink пропонує вдосконалений набір інструментів, що охоплюють увесь спектр циклу наукових проектів. Студенти, які використовують будь-яку веб-камеру, разом із датчиками NovaLink та Fourier, можуть створювати мультимедійні наукові проекти, поєднуючи відео, звук, текст та зразки будь-якої експериментальної діяльності. Доповнюючи широку бібліотеку навчальних програм Fourier, викладачі та учні школи можуть експериментувати з фізики, хімії, біології та природничих наук.

Технічні характеристики: [9]

Входи:

– Режим автоматичного ідентифікатора: до 4 одночасних аналогових входів або 4 цифрових входу з автоматичною ідентифікацією датчика
– 8 режимів вводу: до 8 одночасних аналогових входів або 4 одночасних цифрових входів і 4 аналогових входу

Виходи

– Сумісність із специфікацією USB 2.0
– 4 цифрових керуючих виходу.

Роздільна здатність вибірки: 12-бітна

Швидкість вибірки A / D до 10 кс / с:

– 1 датчик = 10 кс / с
– 2 датчика = 2 х 5 кс / с
– 3 датчика = 3 х 3,3 кс / с
– 4 датчика = 4 х 2,5 кс / с

Розрахунок частоти вибірки = 10 K ÷ кількість датчиків

Функції:

– Працює з усіма датчиками Фур'є

– Світлодіод, який вказуватиме на з'єднання пристрою та блиматиме під час відбору проб
– Різноманітні механічні інтерфейси для підключення до РК-комп’ютера або стандартної лабораторної підставки

Блок живлення: живиться від USB-порту

Розміри: 57 x 57 x 20 мм

Вага: 73 гр

Відповідність стандарту: FCC, CE

4. Мікроконтролери

Мікроконтро́лер (англ. microcontroller), або однокристальна мікроЕОМ — виконана у вигляді мікросхеми спеціалізована мікропроцесорна система, що включає мікропроцесор, блоки пам'яті для збереження коду програм і даних, порти вводу-виводу і блоки зі спеціальними функціями (лічильники, компаратори, АЦП та інші). [10]

Використовується для керування електронними пристроями. По суті, це — однокристальний комп'ютер, здатний виконувати прості завдання. Використання однієї мікросхеми значно знижує розміри, енергоспоживання і вартість пристроїв, побудованих на базі мікроконтролерів.

Мікроконтролери можна зустріти в багатьох сучасних приладах, таких як телефони, пральні машини, вони відповідають за роботу двигунів і систем гальмування сучасних автомобілів, з їх допомогою створюються системи контролю і системи збору інформації. Більшість процесорів, що випускаються у світі — мікроконтролери.

Периферія

Неповний список периферії, яка може бути присутня у мікроконтролерах, включає:

- Різні інтерфейси вводу-виводу, такі як UART, I2C, SPI, CAN, USB;
- Аналого-цифрові і цифро-аналогові перетворювачі;
- Компаратори;
- Широтно-імпульсні модулятори;
- Таймери.

4.1. ESP-32

ESP32 – серія недорогих мікроконтролерів із низьким енерговживання. Представляють єдину систему на кристалі з інтегрованим Wi-Fi та Bluetooth контролерами та антеннами. У серії ESP32 використовується мікроконтроллерне ядро Tensilica Xtensa LX6 у варіантах з двома та одними ядром.

У систему інтегрований радіочастотний тракт: балон (симетричний трансформатор), вбудовані антенні комутатори, радіочастотні компоненти, малошумний підсилювач, потужність потужності, фільтри та модулі управління питанням. ESP32 створив і розробив компанію Espressif Systems, китайська компанія, розташована в Шанхаї, і виробляє компанію TSMC по техніці 40 нм.[11]

ESP32 володіє доволі широкими технічними характеристиками. Основні с них наведені нижче. [12]

Технічні характеристики ESP32:

Процесор:

Xtensa двоядерний 32-розрядний LX6 мікропроцесор, що працює на 160 або 240 МГц і виконує до 600 DMIPS.

Пам'ять: 520 Кб пам'яті SRAM

Бездротовий зв'язок:

Wi-Fi: 802.11 b/g/N

Bluetooth: B4.2 БР/EDR і БЛЕ

Периферійні інтерфейси:

12-розрядний АЦП до 18 каналів

2 × 8-біт Цапи

4 × СВО

2 × i2s для інтерфейсів

2 × I2C інтерфейси

3 × UART

SDIO/SPI підпорядкований контролер

Управління живленням:

Внутрішній низький регулятор відключення

Індивідуальний енергетичний домен для RTC

5 мкА струм режиму "глибокий сон"

Прокидання з переривання від GPIO, таймера, вимірювання АЦП, переривання ємнісного сенсорного датчика

4.2. Переваги ESP-32

ESP-32 має значну перевагу над аналогами не тільки через низьку ціну та низьке енерговживання. Головною особливістю є те, що на базі цього мікроконтролера існують модульні SMT плати. Це дозволяє нам створювати прототипи, макети майбутнього пристрою на базі цього мікроконтролера без необхідності створення самої плати. Це значно покращує якість виробництва та підготовчий етап. Завдяки цьому ESP-32 набула великої популярності у світі. Більш того, це дало можливість використовувати цей мікроконтролер з метою навчання.

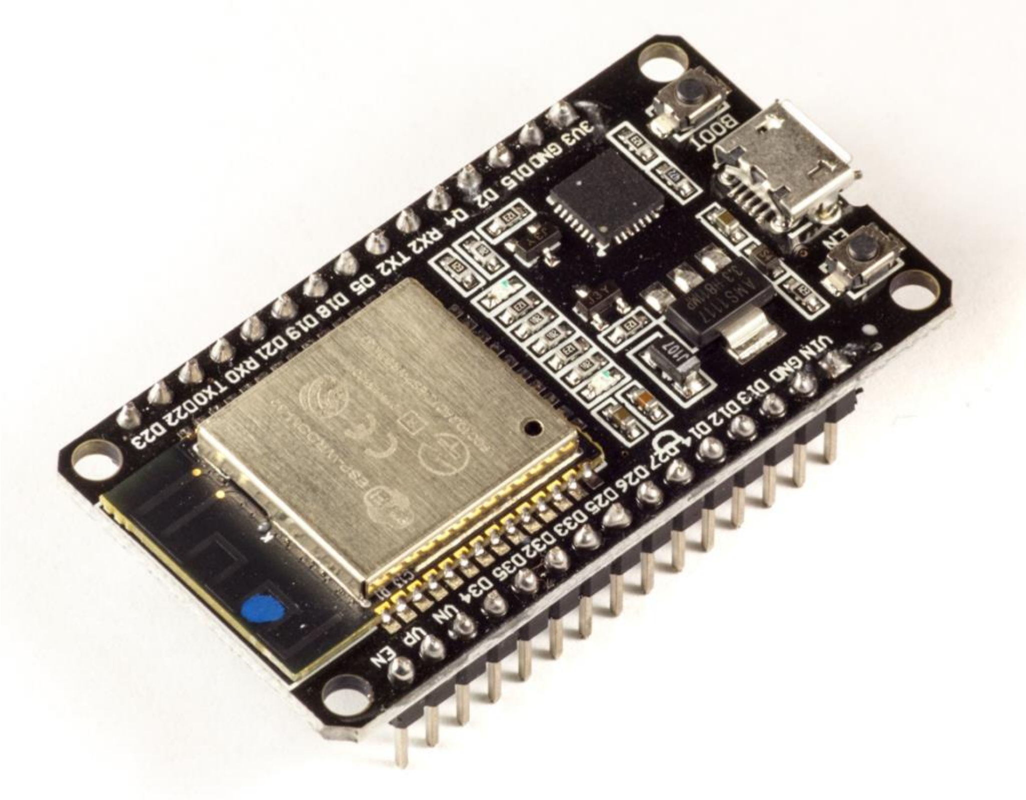


Рисунок 4.1 – Зовнішній вигляд плати ESP32 Espressif ESP-WROOM-32.

Модулі SMT-плати на базі ESP32 містять ESP32 SoC і передбачили для легкої інтеграції в інші плати. Вимірювані інвертовані F-антенні конструкції використовуються для трасировки антенних друкованих плат на модулях, перекладених нижче. Окрім флеш пам’яті, деякі модулі включають псевдостатичну оперативну пам’ять (pSRAM).

Однією з таких SMT плат є ESP-32 Espressif ESP-WROOM-32. Ця плата включає у себе безпосередньо сам мікроконтролер ESP32, Micro-USB, кнопку перезапуску мікроконтролера, світлодіоди, а також 30 портів, серед яких є живлення 3.3В, заземлення, цифрові та аналогові порти. Зображення самої плати наведено на рисунку №4.1 , а позначення всіх порті в на
Рис. 4.2.[13]

Характеристики:

– модель: ESP32 DevKit v1;
– мікроконтролер: ESP32;
– процесор: 2-ядерний Xtensa Dual-Core 32-bit LX6;
– тактова частота процесора: 80, 160 або 240 МГц;
– оперативна пам'ять: 520 Кбайт;
– флеш-пам'ять: 448 Кбайт;
– перетворювач USB - UART: CP2102;
– кількість висновків плати: 30;
– Bluetooth: специфікації 4.2 з функціями BR / EDR і Low Energy;
– WiFi: стандарту IEEE 802.11b і безпека WFA, WPA / WPA2 і WAPI на частоті 2,4 ГГц зі швидкістю до 150 Мбіт / с, вбудований стек TCP / IP;
– антена: PCB;
– режими бездротового зв'язку: STA / AP / STA + AP;
– відстань прийому / передачі в ідеальних умовах: 400 м;
– габарити: 51 x 28 x 13 мм;
– вага: 9 м

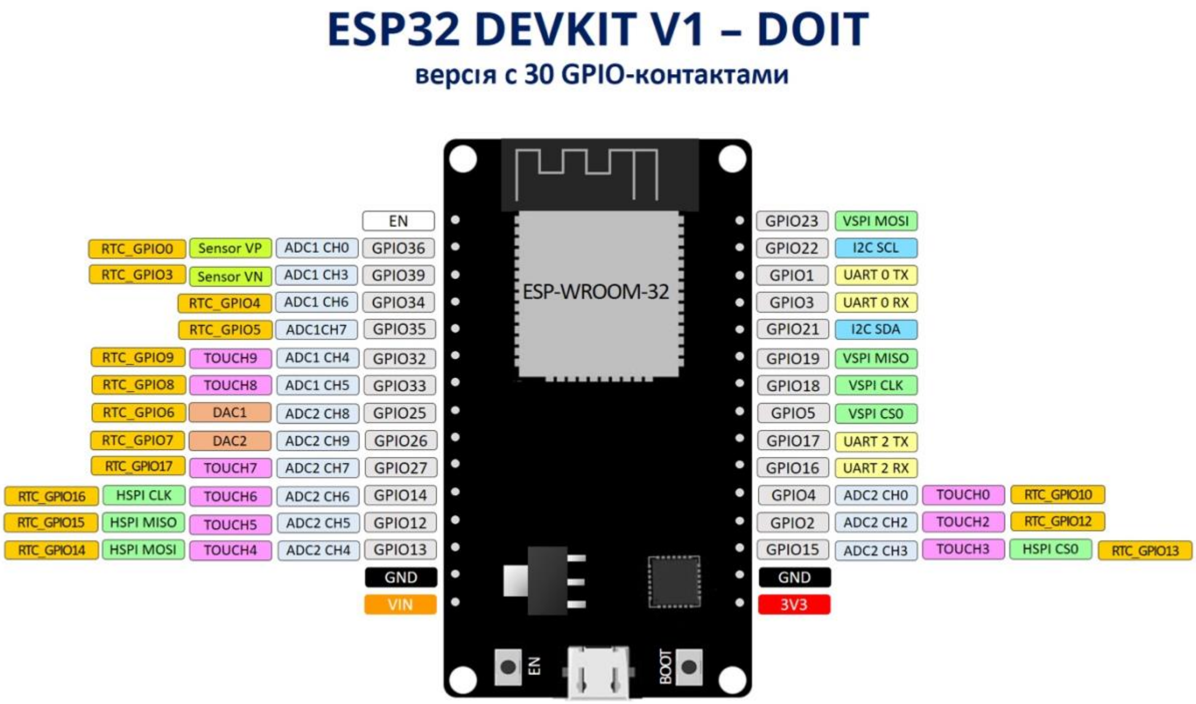


Рисунок 4.2 – Позначення портів на платі ESP32 Espressif ESP-WROOM-32.

Важливим фактором обору цієї плати було те, що в ній наявні певні елементи, управління, які не потрібно встановлювати додатково. Також, оскільки ESP32 Espressif ESP-WROOM-32 на сьогоднішній день досить популярна, більшість користувачі пристрою збору даних на основі цієї плати буде зрозуміло, яким чином їм потрібно взаємодіяти з пристроєм, оскільки дана плата включає у себе деякі кнопки у якості елементів управління та світлодіоди у якості індикаторів для відображення певних режимів роботи. Це значно покращує сприйняття людиною та налагоджує взаємодію з пристроєм.

Для програмування цієї плати можна використовувати такі мови, платформи та середовища:

– Arduino IDE з ESP32 Arduino Core
– Espressif IoT Development Framework — Офіційна Espressif розробка для ESP32.
– Espruino — JavaScript SDK і прошивка майже замінює Node.js.
– Lua RTOS дляESP32
– Mongoose OS — Операційна система для підключених продуктів на мікроконтролерах;
– PlatformIO Ecosystem і IDE
– Pymakr IDE — IDE призначений для використання з пристроями Pycom;
– Simba Embedded Programming Platform
– Whitecat Ecosystem Blockly заснована на Web IDE
– MicroPython
– Zerynth — Python для IoT і мікроконтролерів, включаючи ESP32.

4.3. Потенціал ESP-32

Вибором для пристрою збору даних був обраний саме мікроконтролер ESP-32 через перспектив його використання. Він володіє чудовою масштабованістю, не залежать від виробника комплектуючих пристроїв та не належать до вузького спектру використання.

Завдяки цьому може бути використаний у медицині, школах, лабораторіях, системах розумного будинку. А завдяки тому, що мікроконтролер володіє можливістю передачі інформації за допомогою Wi-Fi та Bluetooth, це дає додаткову можливість для покращення використання.

Саме завдяки цим чинникам обумовлений потенціал і використання даного мікроконтролера у промисловості. На даний момент у світі існує багато прикладів вдалого використання ESP-32 у комерційних приладах.

Яскравим прикладом, у всіх сенсах цього слова, можна вважати світлодіодний браслет IoT групи Alibaba, який використовується учасниками щорічного збору 2017 року. Кожен браслет працює як «піксель», що приймає команди для координованого управління світлодіодним світлом. Це дозволяє формувати «живий і бездротовий екран».[14]

Також значної популярності набули такі проект, як:

- DingTalk's M1 (біометрична система відстеження відвідуваності);[15]
- LIFX Mini (серія дистанційно керованих світлодіодних ламп);[16]
- Pium (домашній аромат та аромотерапія). [17]

На базі мікроконтролеру ESP32-WROVER також існують комп’ютери Moduino X Series X1 і X2 модулі TECHBASE для промислової автоматизації та моніторингу, що підтримують цифрові входи / виходи, аналогові входи та різні інтерфейси комп'ютерних мереж. Також значної популярності вони набули при керуванні вітряками на вітряних станціях. [18]

Це свідчить про надійність ESP-32, оскільки багато промислових фірм використовують цей мікроконтролер у своїх розробках та фінансують майбутні розробки та покращення.

5. Огляд портів для під’єднання датчиків.

Для створення пристрою збору даних важливим фактором є обраний порт (роз’єм), який використовується для під’єднання датчиків та сенсорів. Але при виборі роз’єму потрібно враховувати функціонал роз’єму, інтерфейс передані даних, все це впливає на типи датчиків, які у майбутньому будуть використовуватися к пристроєм. Це залежить від типу пристрою, з якою метою він використовується та який саме алгоритм роботи.

Більшість пристроїв, про які йшла мова у попередніх розділах, використовують порти для датчиків серії DIN Connectors та MiniDin. Це обумовлено тим, що даний роз’єм дозволяє використовувати складні передачі даних в обидві сторони. Використання DIN Connectors було і є досить популярним.[19]

Нижче наведений список проектів, які використовували цей роз’єм для передачі даних:

– Інтерфейсу SYNC електронних музичних інструментів;
– Інтерфейсу MIDI електронних музичних інструментів;
– Інтерфейсу I2S для передачі цифрового аудіо потоку між ADC - DAC
– Послідовних портів в оригінальному комп'ютері Apple IIc;
– В оригінальних комп'ютерах IBM PC, PC / AT і Amiga для кабелю клавіатури (цей роз'єм вийшов з ужитку в середині 90-х з введенням форм-фактора ATX, що використовує роз'єм PS / 2);
– Звуку в оригінальних бездротових HME-комунікаторах, що входить і виходить звук в навушниках (Tx & Rx), в забігайлівках для автомобілістів;
– Управління поворотом антен UMTS (Antenna Interface Standards Group);
– З'єднання двох контролерів радіокерованих моделей з метою тренування.

Роз'єм DIN бачив на своєму віку і інші сфери застосування. Ігрова консоль TurboGrafx-16 використовувала 5-контактний DIN-роз'єм для виведення відео та звуку. Atari XEGS поряд з Commodore C64 і БК використовували роз'єм DIN для підключення до блоку живлення. Також ранні C64, підтримували тільки композитний відеовихід, використовували 5-контактний DIN для відео і звуку, однак більш нові C64, підтримували виведення сигналу кольоровість / яскравість, використовували 8-контактний DIN для передачі додаткових сигналів. Neo Geo і Neo Geo CD використовували 8-контактний DIN для композитного відео, відео в форматі RGB, і монофонических виходів звуку, а також напруга +5 В для живлення радіочастотного модулятора.

Комп'ютери Dragon 32 використовували 4 5-контактних DIN роз'єму для джойстиків, магнітофона та виведення на монітор. TRS-80 моделі I використовувала три однакових 5-контактних DIN роз'єму для блоку живлення, відеовихід і магнітофона, що спрощувало виведення пристрою з ладу при помилковому підключенні.

Приблизно те ж саме спостерігалося в радянських комп'ютерах БК, де використовувалися чотири 5-контактні роз'єми DIN для магнітофона, чорно-білого відео, кольорового відео RGB і блоку живлення. Найбільш розповсюджені порти наведені на рисунку 5.1.

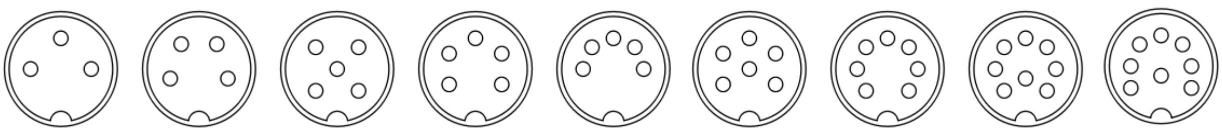


Рисунок 5.1. – Різні версії роз’ємів DIN в залежності від кількості контактів.

Для пристрою збору даних, розробку якого відображає ця робота, буде використовуватися більш сучасна версія DIN Connectors, а саме – MiniDin, який є зменшеною та біль компактною версією портів з серії DIN. MiniDin застосовується частіше у сучасних пристроях, в яких габарити відіграють значну роль.

Приклади застосування у роз’єму MiniDin:

– LocalTalk Apple (Mini-DIN 3);
– Apple Desktop Bus (Mini-DIN 4);
– S-Video (Mini-DIN 4);
– PS / 2 коннектор (Mini-DIN 6);
– Роз'єм зовнішнього живлення в зварювальних апаратах для зрощування оптоволокна Fujikura (Mini-DIN 6);
– Ensoniq ASR-10 (Mini-DIN 8);
– Macintosh Serial Port (Mini-DIN 8);
– Роз'єм зарядки в Ni-MH акумуляторах в апараті Fujikura FSM-50S (Mini-DIN 8);
– Apple GeoPort (модифікований Mini-DIN 8 з додатковим піном);
– Sega Mega Drive / Sega Genesis, Sega Mega Drive II (Mini-DIN 9);
– Роз'єм зарядки в Li-Ion акумулятори в зварювальному апараті для оптоволокна Fujikura FSM-80S (Mini-DIN 9);
– Sega модель Saturn (Mini-DIN 10, нестандартний);
– Commodore модель Plus / 4 (Mini-DIN 7);
– Alpine iPod інтерфейс (D-форма Mini-Din 10, нестандартний);
– JVC Mini-Din 8 (нестандартний);
– Міжблочний DTS-кабель в преміум-аудіосистеми автомобілів Mitsubishi (Mini-DIN 4 - Mini-DIN 8, Mini-DIN 4 - Mini-DIN 6);

Всі варіанти MiniDin наведені на рисунку 5.2:

Рисунок 5.2. – Різні версії роз’ємів MiniDIN в залежності від кількості контактів.

За допомогою цього типу роз’ємів можливо реалізувати алгоритм роботи пристрою, який буде наведено у наступних розділах. Для передачі даних з датчиків буде використовуватися саме MiniDIN-8, оскільки його контактів достатньо для забезпечення всіх необхідних умов. [20]

6. Підсумок по огляду технічних рішень

Виходячи з досліджених пристроїв можна зробити позитивні та негативні висновки про кожен пристрій. Також важливо відмітити всі технічні рішення, їх реалізацію та обґрунтування обраного рішення.

Для покращення розуміння категорій пристроїв, їх можна поділити на 3 категорії. Перша категорія, це повноцінні комп’ютери, для яких потрібні лише окремі датчики. Друга категорія – лише пристрої збору даних, для роботи яких необхідні датчики та комп’ютер з програмним забезпеченням для обробки даних та створення відповідних графіків. Третя категорія – поєднання деяких датчиків та пристрою збору даних.

SPARK Science Learning System компанії PASCO та комп'ютер NOVA 5000 компанії FOURIER можна виділити як окремі пристрої, які не потребують окремого комп’ютера, а самі являються повноцінним комп’ютером, до якого можна просто під’єднати необхідні датчики, отримати з них данні, обробити, побудувати графіки. Відповідно, данні пристрої відносяться до першої категорії.

До переваг такого рішення можна віднести те, що є можливість використовувати як стаціонарно, так і дистанційно. Дане рішення не потребую додаткового обладнання, окрім необхідних датчиків. Також це значно підвищує ціну приладу, що є перевагою для виробника, але недоліком для покупця. Це є одним з недоліків також. Крім цього, до недоліків можна віднести неможливість просто замінити неробочі деталі, оскільки весь прилад є єдиною робочою системою.

USBLink та NOVA AIR компанії FOURIER, відмінні від попередників відсутністю монолітності, тобто вони потребують комп’ютера для обробки даних. Данні пристрої належать до другої категорії. Це можна вважати більше перевагою, незважаючи на те, що для виробника було б вигідніше продавати монолітний прилад. У разі несправності приладу є можливість замінити лише пристрій збору даних, при цьому незалежно від комп’ютера та датчиків. Це прямим чином впливає на вартість приладу, а оскільки програми для роботи з цими пристроями збору даних існують на всіх операційних системах (Windows, Linuks, MacOS), можна зробити висновок, що вони мають таких самий спектр використання, як SPARK Science Learning System компанії PASCO та комп'ютер NOVA 5000 компанії FOURIER. [21]

Пристрій Einstain LabMate II відмінний від інших тим, що окрім функції збору даних він володіє деякими вбудованими датчиками, саме це відносить його до третьої категорії. Це дозволяє зменшити кількість периферії, проте збільшується вартість виробу та його габарити. Можливо, вбудовані датчики знадобляться з навчальною метою, проте використовувати даний з іншою метою було б нераціонально.

Можна зробити підсумок, що аналоги пристроїв збору даних першого та третього типу є актуальними лише з навчальною метою. Звичайно, якщо задача створити таку система, в яку будуть вбудовані всі необхідні датчики та відображення результатів, то така система є досить вдалим рішенням. Проте, більшість задач можна вирішити створенням пристрою збору даних другого типу, що забезпечить низьку вартість готового виробу буде підходити для багатьох задач, легко масштабуватися та розширюватися, мати можливість перепрограмування, володіти можливістю передачі інформації за допомогою Wi-Fi.

За основу даного пристрою буде використовуватися мікроконтролер ESP-32, а саме плата на його основі – ESP32 Espressif ESP-WROOM-32. Це забезпечить наявність можливості для передачі інформації через Bluetooth та Wi-Fi, оскільки данні модулі вбудовані до цієї плати. Вона є досить розповсюдженою, що забезпечує майбутню актуальність пристрою.

Вартість ESP-WROOM-32 досить бюджетна, існує багато джерел інформації для роботи з нею, багато варіантів програмування на багатьох мовах та у декількох програмах. Також у світі існує багато виробників, що забезпечує незалежність від конкретної компанії та постачальника. [22]

Для передачі даних від датчиків до плати буде здійснено через роз’єм MiniDIN-8, який дозволяє здійснити всі необхідні умови для роботи пристрою, датчиків, їх живлення та передачі даних.

Інші технічні деталі залежать від алгоритму використання пристрою збору даних, адже від нього залежить вибір технічних рішень та допоміжних пристроїв, які будуть використовуватися для вирішення тих чи інших рішень.

7. Алгоритм роботи пристрою

Для реалізації пристрою збору даних необхідно розробити алгоритм роботи пристрою, адже від нього залежить подальша втілення ідеї роботи пристрою, розуміння сфер його застосування та можливості.

Основною ідеєю є не створення самої плати з мікроконтролером, а створення плати розширення для існуючої плати *ESP32 Espressif ESP-WROOM-32.* Таке рішення значно покращує процес розробки та програмування, зменшую ціну виробу, дозволяє простіше виявити проблему та відремонтувати при можливій поломці. Окрема плата зі всіма портами повинна під'єднуватися до SMT модуля, тобто слугувати певним провідним мостом між мікроконтролером та датчиками. Для кращого розуміння принципу роботи та прискорення процесу розробки цієї плати створено етапи, у описі якого можна наочно побачити всі деталі робочого процесу:

1. ESP32 Espressif ESP-WROOM-32 під'єднується до плати розширення. Разом вони формують пристрій збору даних. Це рішення можна обумовити наступними чинниками: зменшення ціни виробу, можливість заміни мікроконтролера, допустима реалізація розширення додатковими модулями.

2. До плати розширення підключаються датчики. Кожний роз'єм повинен бути універсальним для датчиків. Тобто, повинна бути можливість підключення у будь-якому порядку. Для під'єднання використовується порт MiniDIN-8, вибір якого є обумовлений та описаний у минулих розділах

3. Живлення датчиків повене здійснюватися через плату розширення. Завдяки порту MiniDIN-8 це можливо, адже даний роз'єм володіє необхідним портом для живлення.

4. Задача контролеру, на даному етапі, з'ясувати, який датчик був під'єднаний до кожного роз'єму. Це необхідно для подальшої коректної роботи пристрою, відображення побудованих таблиць та графіків отриманих сигналів на пк. Для цього необхідно розробити метод розпізнавання датчиків. Найбільш доцільним є метод вимірювання опору кожного приладу, адже кожен прилад має своє індивідуальне значення опору. Для цього, в програму мікроконтролера заздалегідь внесена таблиця з опорами кожного з приладів. Таблиця була створення безпосередньо окремо від даного приладу, виходячи з виміряних опорів.

Визначення опорів кожного датчика буде здійснюватися за допомогою так званих кодових резисторі. Пристрій збору даних подає напругу на пристрої, програмі заздалегідь відомі кодові резистори, які стоять у кожному пристрої. Відповідно, можна розрахувати струм з кожного пристрою, знаючи опір та напругу. Знання значень струмів з кожного датчику дає нам можливість розпізнати тип датчику, який під'єднаний до пристрою збору даних. Таким чином, визначивши опір під'єднаних датчиків та розпізнавши датчик, можна програмно побудувати графіки відповідних сигналів.

5. Побудова графіків сигналів з датчиків здійснюється на комп'ютері. На етапі розробки можлива побудова за допомогою програми Arduino IDE, у якій ми можемо написати код для ESP-32 та перепрограмувати при необхідності. Але це нам не дасть можливості будувати графіки одночасно з двох датчиків. Для реалізації цієї задачі необхідно створити власне

програмне забезпечення. У рамках цієї роботи буде розглянуто лише процес створення самого пристрою збору даних на основі ESP-32. Створення програмного забезпечення та роботи з пристроєм не входять у межі даного проекту.

6. За необхідності, у якості доповнення до пристрою, є можливість створити автономне джерело живлення. Це дає можливість використовувати пристрій збору даних дистанційно, за допомогою Wi-Fi. Дана ідея також не буде реалізована у рамках цього дипломного проекту, оскільки вимагає значних часових витрат на створення акумулятора для автономної роботи, додаткових затрат на налагодження пристрою під передачу інформації за допомогою Wi-Fi. Потенційно така можливість є, причому її можливо реалізувати як доповнення до пристрою, тому у рамках даного проекту вона також реалізована не буде .

Таким чином, існує певна модель для роботи даного пристрою. Візуальна реалізація самого алгоритму наведена на рисунку 7.1.

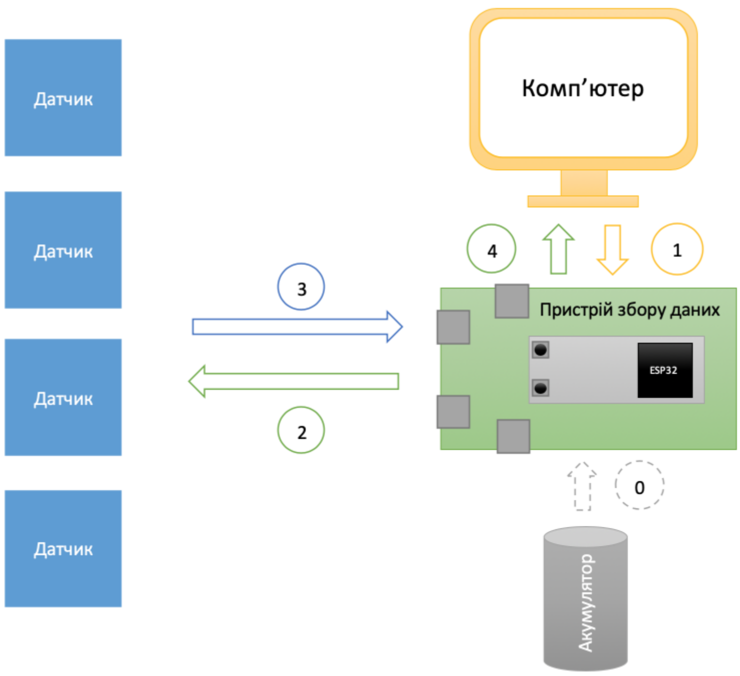


Рисунок 7.1. – Алгоритм роботи пристрою збору даних

Можна виділити та детально розглянути наступні етапи роботи пристрою, які зображені на рисунку 7.1:

0. Даний етап є опціональним та залежить від режиму роботи пристрою та способу передачі інформацію. Якщо інформація на комп'ютер передається за допомогою Wi-Fi і пристрій не під'єднаний до комп'ютера – необхідно використовувати акумулятор.
1. Перший етап передбачає під'єднання пристрою збору даних до комп'ютера, запуску необхідного програмного забезпечення, вибору режиму роботи пристрою.
2. На даному етапі відбувається під'єднання датчиків та їх живлення за допомогою пристрою збору даних.
3. Датчики передають інформацію на плату. За допомогою кодових резисторів, які встановлену у датчики, плата отримує сигнал та інформацію про те, який саме це датчик. Це необхідно для подальшого коректного відображення прийнятих сигналів.
4. На цьому етапі вся необхідна інформація, тобто прийняті сигнали та тип датчика, передаються на комп'ютер для подальшої обробки та відображення у вигляді графіків або таблиць. В залежності від типу під'єднання можна передавати інформацію за допомогою Wi-Fi або MicroUSB. Після передачі інформації на комп'ютер відбувається подальша обробка, але це стосуються алгоритму роботи самої програми.

На даному етапі розробки цей алгоритм вдало описує основний принцип роботи пристрою. Оскільки мета даної роботи – розробка основної схеми для передачі сигналів, можливо були пропущенні деталі на наступних етапах роботи. Проте, при подальшому процесі розробки пристрою цей алгоритм буде вдосконалено та розроблено більше детально.

8. Розробка схеми

Етап розробки схеми включає у себе вибір всіх необхідних мікросхем, та компонентів. Для правильної роботи пристрою потрібно використовувати додаткові компоненти електроніки, такі як стабілізатори напруги, перетворювач напруги, перетворювачі постійного струму, операційні підсилювачі, аналогово-цифрові перетворювачі (АЦП) та інші.

У даному розділі будуть розглянуті всі мікросхеми та компоненти, які були використані при розробці схеми.

8.1. Огляд компонентів

У якості регулятора напруги буде використовуватися мікросхема LM217L. Вона розроблена для подачі струму навантаження до 100 мА з вихідною напругою, регульованою в діапазоні від 1,2 до 37 В. Номінальна вихідна напруга вибирається за допомогою лише резистивного дільника, що робить пристрій надзвичайно простим у використанні. [23]

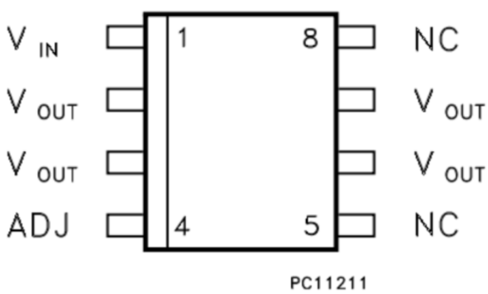


Рисунок 8.1. – Схематичне зображення мікросхеми LM217L

Особливості:

- Діапазон напруги на виході: від 1,2 до 37 В
- Вихідний струм: до 100 мА
- Тип регулювання лінії: 0,01%
- Тип регулювання навантаження: 0,1%
- Тепловий захист від перевантаження
- Захист від короткого замикання
- Компенсація безпечної зони переходу на виході
- Плаваюча операція для додатків високої напруги

Перетворювач напруги зарядного пристрою LM2660 – це універсальний нерегульований перетворювач конденсаторів або перетворювач напруги. Працюючи від напруги живлення від 1,5 В до 5,5 В, LM2660 використовує два недорогі конденсатори, щоб забезпечити 100 мА вихідного струму без витрат. Маючи робочий струм всього 120 мкА та ефективність роботи при більшій кількості на 90% при більшості навантажень, LM2660 забезпечує ідеальну продуктивність для систем з акумулятором. Пристрої LM2660 можуть працювати безпосередньо паралельно меншому вихідному опору, забезпечуючи тим самим більше струму при заданій напрузі. [24]

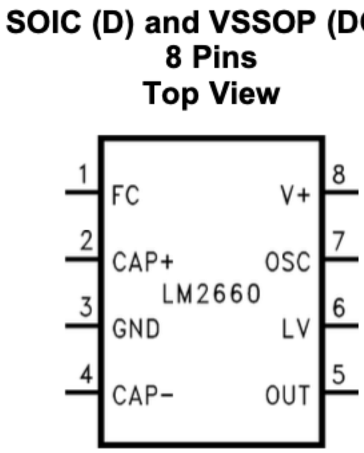


Рисунок 8.2. – Схематичне зображення мікросхеми LM2660

Особливості:

– Інвертування або подвійна вхідна напруга живлення

– Типовий опір на виході: 6,5 Ом.

– Типова ефективність перетворення при 100 мА: 88%

– Вибір частоти генератора: 10 кГц / 80 кГц

– Необов'язковий зовнішній вхід генератора

Операційний підсилювач OPA340 оптимізовано для роботи з низькою напруго. Швидка робота роблять їх ідеальними для керування вибіркою аналого-цифрових перетворювачів (A / D). Вони також добре підходять для загального призначення та аудіо-прикладних програм, а також забезпечують перетворення вводу / виводу на вихід цифро-аналогових перетворювачів (D / A). Одномісні, подвійні та чотирьох фазні версії мають однакові характеристики щодо гнучкості дизайну. [25]

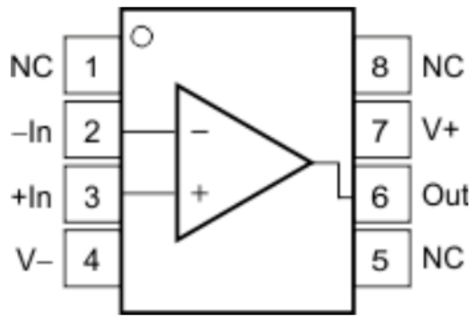


Рисунок 8.3. – Схематичне зображення мікросхеми OPA340

Особливості:

– Широка смуга пропускання: 5,5 МГц

– Висока швидкість обертання: 6 В / мкс

– Низький THD + шум: 0,0007% (f = 1 кГц)

– Низький струм спокою: 750 мкА / канал

LT1615 – це перетворювач постійного та постійного струму в 5-провідному низькому профілі (1 мм). LT1615 призначений для систем підвищеної потужності з обмеженням струму 350 мА та діапазоном вхідної напруги від 1,2 до 15 В. Пристрій має струм спокою лише 20 мкА без навантаження, що додатково знижує до 0,5 мкА при відключенні. Поточна обмежена, фіксована поза часом керування схема зберігає робочий струм, що призводить до високої ефективності в широкому діапазоні струму навантаження. Перемикач 36 В дозволяє легко створювати виходи високої напруги до 34 В у простому підсилювачі без використання дорогих трансформаторів. Низький проміжок часу LT1615, що становить 400с, дозволяє використовувати крихітні низькопрофільні індуктори та конденсатори, щоб мінімізувати слід і витрати в портативних додатках. [26]

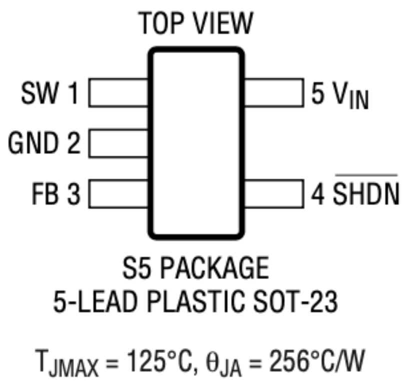


Рисунок 8.4. – Схематичне зображення мікросхеми LT1615

Особливості:

– Низький струм спокою: 20 мкА в активному режимі та <1μA в режимі відключення
– Працює з VIN на рівні від 1В
– Комутатор низького рівня VCESAT: 250mV при 300mA
– Використовує невеликі компоненти поверхневого кріплення
– Висока вихідна напруга: до 34В

У якості АЦП буде використовуватися AD7927. AD7927 – це 12-бітний, високошвидкісний, малопотужний, 8-канальний, послідовний АЦП. Частина працює від єдиного блоку живлення від 2,7 В до 5,25 В і забезпечує пропускну здатність до 200 kSPS. Частина містить низький рівень шуму, широкосмуговий підсилювач відстеження, який може обробляти вхідні частоти понад 8 МГц. [27]

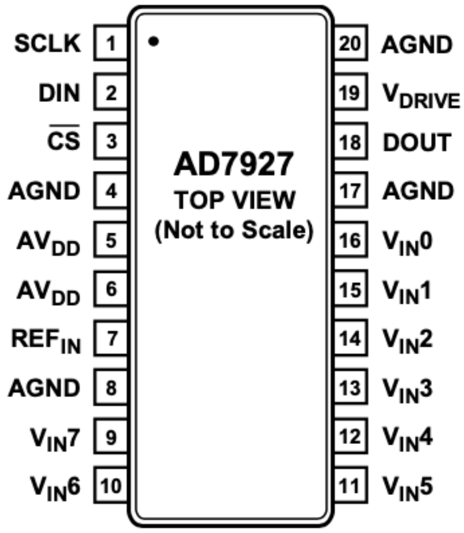


Рисунок 8.5. – Схематичне зображення мікросхеми AD7927

Особливості:

- Швидкість пропускної здатності: 200 kSPS
- Призначено для AVDD від 2,7 до 5,25 В
- Мала потужність
- Мінімальний 70 дБ SINAD на вхідній частоті 50 кГц
- Гнучкість управління потужністю / послідовними тактовими частотами
- Високошвидкісний послідовний інтерфейс SPI-, QSPITM-, MICROWIRETM-,
- DSP-сумісний
- Режим вимкнення: 0,5 мкА максимум 20-провідний TSSOP

ADR03-EP – це стабілізатор напруги в діапазоні 2,5 В, що відрізняється високою точністю, високою стабільністю та низьким споживанням енергії. ADR03-EP розміщений у крихітному 5-провідному пакеті SC70. Невеликий слід і широкий робочий діапазон роблять ADR03-EP посиланням ідеально підходящим для загального призначення та обмеженого простору. [28]

За допомого зовнішнього буфера та простої резистивної мережі термінал TEMP можна використовувати для зондування та наближення температури. На пристроях передбачений термінал TRIM для тонкої настройки вихідної напруги.

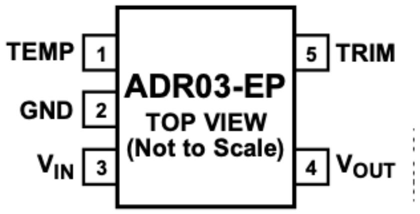


Рисунок 8.6. – Схематичне зображення мікросхеми ADR03-EP

Особливості:

– Компактний пакет SC70
– Коефіцієнт низької температури: 3 м.д. / ° С
– Початкова точність: 0,2%
– Не потрібен зовнішній конденсатор
– Шум низької напруги: 6 мкВ p-p (0,1 Гц до 10,0 Гц) Широкий діапазон вхідної напруги: від 4,5 В до 15,0 В
– Струм високого вихідного навантаження: 10 мА

ESP32-WROOM – це потужний, загальний модуль, який орієнтований на широкий спектр програм. В основі цього модуля лежить чіп ESP32. Вбудований чіп розроблений таким чином, щоб бути масштабованим та адаптивним. Є два ядра процесора, які можна керувати індивідуально, а тактова частота процесора регулюється від 80 МГц до 240 МГц. Користувач також може вимкнути центральний процесор та використовувати потужний спільний процесор для постійного контролю за периферійними пристроями на предмет змін або перетину порогів. ESP32 інтегрує багатий набір периферійних пристроїв, починаючи від ємнісних сенсорних сенсорів, датчиків Холла, інтерфейсу SD-карти, Ethernet, високошвидкісних SPI, UART, I2S та I2C. [29]

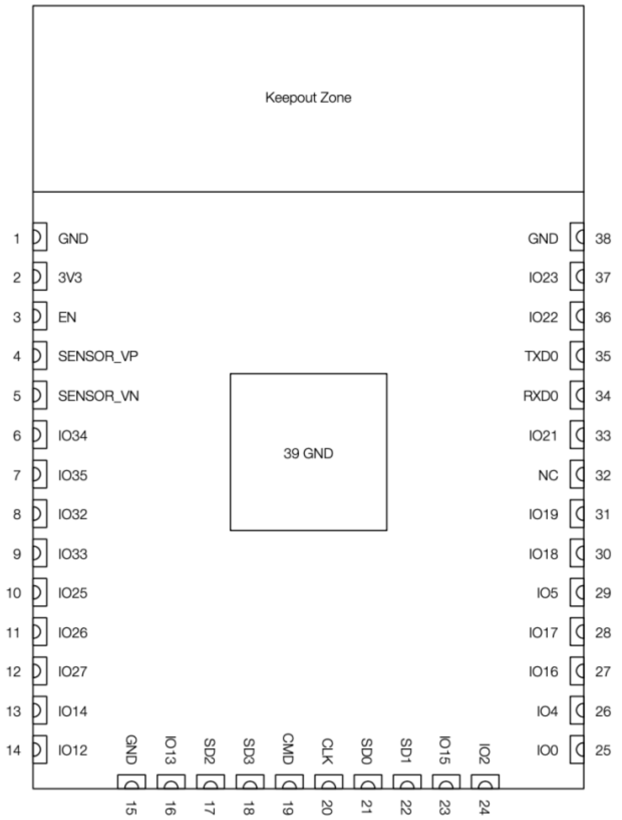


Рисунок 8.7. – Схематичне зображення портів ESP32-WROOM

Як було сказано раніше, у даному пристрою збору даних для передачі інформації с датчиків буде використовуватися роз’єм MiniDIN-8.
Схему ESP32-WROOM можна знайти у додатку.

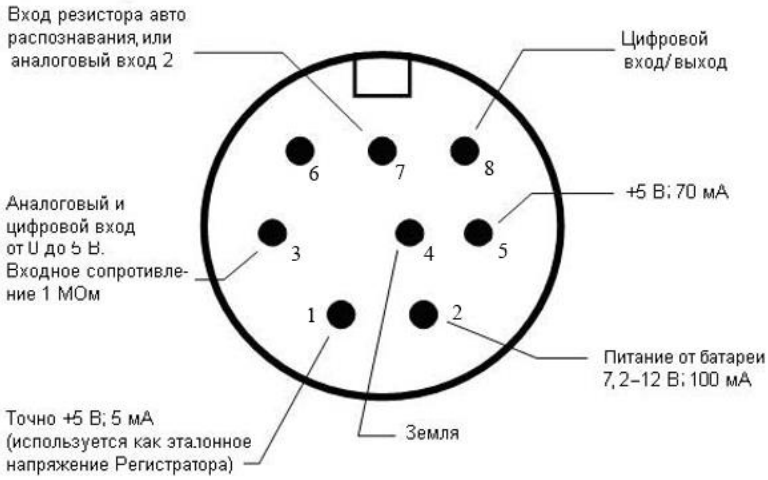


Рисунок 8. 8. – Призначення контактів MiniDIN-8.

На Рис. 8.8 наведений зовнішній вигляд MiniDIN-8, нумерація його портів та їх призначення.

У наступній таблиці наведені номінали кодових резисторів, які не мають прямого відношення до пристрою збору даних, але використовуються у датчиках для реалізації можливості розпізнавання.

Таблиця 8.1. – Номінали кодових резисторів датчиків.

Датчики	**Опір, кОм**	**Максимальний опір, кОм**	**Мінімальний опір, кОм**
1	372	384,1	360,9
2	410	424,8	396,5
3	455	472,9	437,8
4	508	530,9	486,6
5	573	601,9	544,8
6	653	691,1	615,6
7	754	806,5	703,4
8	888	961,9	814,6
9	1071	1183,0	959,2
10	1337	1524,4	1151,2

8.2. Висновки щодо створеного пристрою

Таким чином, використовуючи всі компоненти з минулого підрозділу, та деякі інші, які можна знайти у додатку, було створено схему пристрою збору даних на основі ESP-32.

Зображення схеми створеного пристрою збору даних можна побачити у додатку. По створеній схемі можна розвести та спроектувати відповідно сам пристрій. На етапах розводки можливо виникне необхідність замінити певні мікросхеми, за умови відсутності у продажі певної с мікросхем, але це не є значним негативним фактором, оскільки на сьогоднішній день не виникне ніяких проблем щодо підбору мікросхем з необхідними технічними характеристиками.

Принципова схема пристрою збору даних на базі ESP-32 знаходиться у додатку А. На ній відображені всі необхідні компоненти для роботи даного пристрою. Біль детальний опис та принципова схема ESP32 WROOM DevKit v1 знаходиться у додатку Б. На даній схемі відображені всі компоненти, які знаходяться у даній платі. Повний огляд всіх використаних компонентів під час розробки плати відображено у додатку В.

Створена схема є втіленням сучасних технологій, а отже зручного використання. Крім того, сама схема та алгоритм роботи відповідають стандартам роботи сучасних пристроїв збору даних.[30]

ВИСНОВКИ

У даній роботі були розглянуті пристрої збору даних, готові датчики, проаналізовані готові рішення різних технічних навчальних лабораторій. Взірцем вдалих технічних рішень є пристрій Einstain LabMate II та USBLink компанії FOURIER. Саме на основі цих пристроїв були обрані рішення для створення схеми пристрою збору даних на основі ESP-32.

Створена схема складається з необхідних мікросхем, відповідних стабілізаторів та підсилювачах, які детально були розглянуті у минулих розділах. За основу схеми була обрана плата ESP-WROOM-32 DevKit v1, яка включає у себе необхідні елементи управління та взаємодії, вбудовані модулі, порти. Все це дозволяє передавати інформацію з плати за допомогою Wi-Fi та Bluetooth. Також, використання даного рішення спрощує створення схеми, оскільки більшість елементів, які необхідні для коректної роботи пристрою, знаходяться безпосередньо у самій платі ESP-WROOM-32 DevKit v1.

Результатом даної роботи є створена схема пристрою збору даних. Елементом управління є модульна плата ESP-WROOM-32 DevKit v1, яка має можливість перепрограмування за допомогою багатьох програм, що є досить вдалою ідеєю, оскільки це не прив’язує користувача до певної програми та мови програмування і дозволяє налаштувати роботу схеми під свої задачі.

Даний пристрій збору даних є універсальним пристроєм для багатьох галузей людської діяльності. Єдине обмеження – система вимагає одночасного підключення не більше ніж чотири датчики. Проте, у майбутньому дану плату за потреби можна розширити.

Потенціал використання даної схеми пристрою у різних галузях людської діяльності великий, оскільки існую необхідність децентралізованого збору да них з декількох датчиків, приладів та сенсорів.

У медицині використання даного пристрою можливе для збирання даних с багатьох вимірювальних приладів та відображення на одному моніторі, без необхідності створення окремого дисплею для кожної установки. У сфері навчання даний пристрій можна використовувати на заняттях з фізики, хімії, біології та природознавста для дослідження відповідних явищ, більш поглибленого вивчення матеріалу та проведення експериментів.

Також важливо відзначити, що використовуючи даний пристрій збору даних на базі ESP-32 існує можливість реалізації дистанційного проведення лабораторних робіт. У лабораторії повинен знаходитися лише лаборант, який під’єднає необхідні датчики та установки до даного пристрою та налаштує стенд. Студенти дистанційно зможуть знімати характеристики та отримувати значення з датчиків. Це можливо завдяки вбудованому Wi-Fi модулю.

Проаналізувавши дану роботу можна зробити висновок, що потенціал даного пристрою збору даних великий, даний проект можна застосувати у багатьох галузях науки, медицини та освіти.

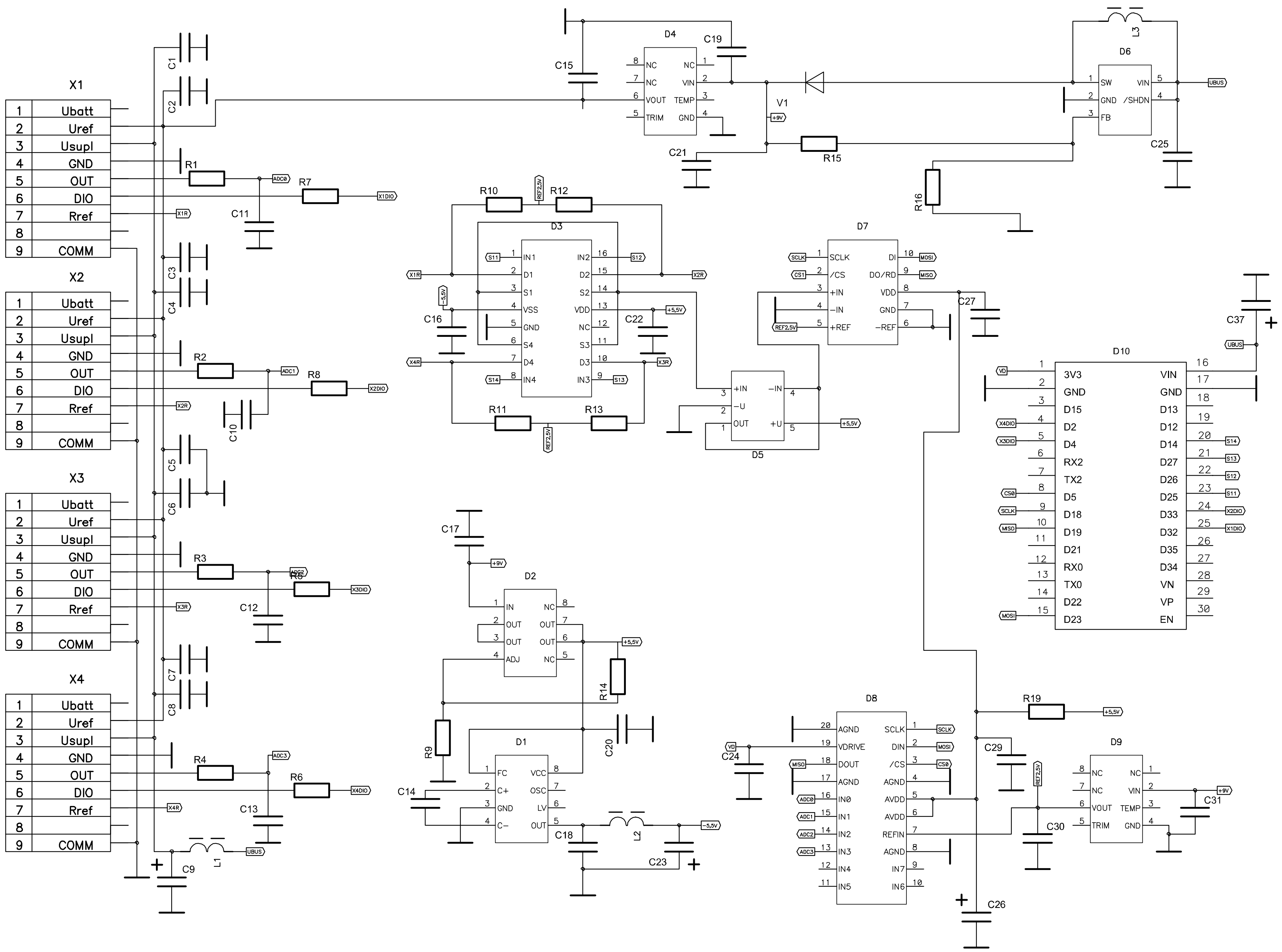
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. http://www.roylongbottom.org.uk/dhrystone%20results.htm
2. *Dr. Lee, Ning-Cheng; Hance, Wanda B. (1993).* "Voiding Mechanisms in SMT". *Indium Corporation Tech Paper*. Retrieved 2015-12-28.
3. https://www.pasco.com/products/interfaces-and-dataloggers/ps-2008
4. http://www.keepad.com/usblink.php
5. http://www.keepad.com/Products/Fourier/NovaSensors/
6. https://fourieredu.com/fwp/ru/store/products/nova5000-ru/
7. http://einsteinworld.com/product/labmate-2/
8. http://www.keepad.com/SpecSheets/Fourier/NOVALink_Keepad.pdf
9. http://www.keepad.com/novalink.php
10. https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/microcontroller
11. https://www.espressif.com/en/products/socs/esp32/overview
12. https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_datasheet_en.pdf
13. https://www.espressif.com/en
14. https://www.espressif.com/en/media_overview/news/alibaba%e2%80%99s-iot-wrist-bands-based-esp32
15. https://www.espressif.com/en/media_overview/news/dingtalk%e2%80%99s-new-biometric-attendance-monitor-based-esp32
16. https://www.lifx.com/pages/lights
17. https://www.espressif.com/en/media_overview/news/new-esp32-based-aromatherapy-device
18. https://moduino.techbase.eu/
19. https://www.electronics2000.co.uk/pin-out/dincon.php
20. https://www.electronics2000.co.uk/pin-out/minidin.php

21. https://fourieredu.com/fwp/wp-content/uploads/support-downloads/multilogprosupport/MultiLab_for_MultilogPRO_and_USB_Link_User_Guide.pdf
22. https://www.espressif.com/en/company/about-us/what-we-do
23. LM217L Low current 1.2 to 37 V adjustable voltage regulators [Електронний ресурс]: Datasheet / ST – Електронні дані. – Режим доступу: https://www.st.com/resource/en/datasheet/lm217l.pdf
24. LM2660 Switched Capacitor Voltage Converter [Електронний ресурс]: Datasheet / Texas Instruments. – Електронні дані. – Режим доступу: http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm2660.pdf?ts=1590584334058
25. OPA340 Single-Supply, Rail-to-Rail Operational Amplifiers MicroAmplifier Series [Електронний ресурс]: Datasheet / Texas Instruments. – Електронні дані. – Режим доступу: http://www.ti.com/lit/ds/symlink/opa340.pdf?ts=1590584416582
26. LT1615 Micropower Step-Up DC/DC Converters in ThinSOT [Електронний ресурс]: Datasheet /Linear Technology. – Електронні дані. – Режим доступу: https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/16151fas.pdf
27. AD7927 8-Channel, 200 kSPS, 12-Bit ADC with Sequencer in 20-Lead TSSOP [Електронний ресурс]: Datasheet / Analog Devices. – Електронні дані. – Режим доступу: https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/AD7927.pdf
28. ADR03-EP Ultracompact, Precision 2.5 V Voltage Reference [Електронний ресурс]: Datasheet /Analog Devices. – Електронні дані. – Режим доступу: https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/adr03-ep.pdf
29. ESP32-WROOM ESP32 is a single 2.4 GHz Wi-Fi-and-Bluetooth combo chip [Електронний ресурс]: Datasheet / Espressif. – Електронні дані. – Режим™ доступу: https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32-wroom-32_datasheet_en.pdf
30. https://www.mccdaq.com/data-acquisition

Додаток А

Принципова схема пристрою збору даних



Зм.	№ докум.	Підпис		
Розроб.	Хижняк І.А.			
Перев.				
Т.контр.				
Н.контр.	Свечніков Г.С.			
Затв.	Орлов А.Т.			

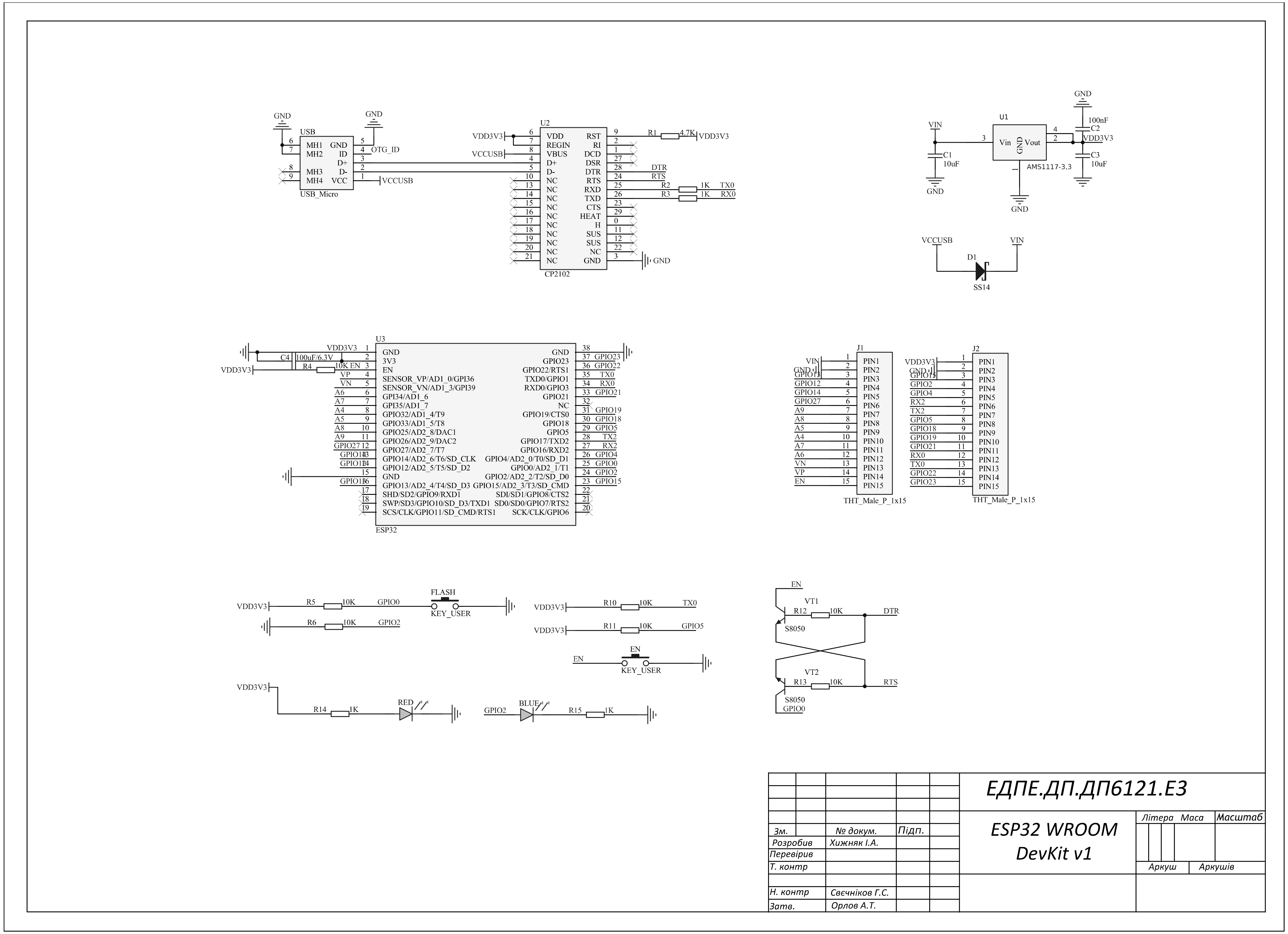
ЕДПЕ.ДП.ДП6121.Е3

Пристрій збору даних на ESP-32

Літера	Маса	Масштаб
Аркуш	Аркушів	

Додаток Б

Принципова схема ESP-32 WROOM



Додаток В
Специфікація пристрою

Поз. позн.	Назва	Кіл.	Примітка
	Конденсатори		
C1…C8	0805-Y5V-0,1мкФ-20%/+80%-50В	8	
C9	100мкФ-16В-ECR	1	
C10	805-Y5V-0,1мкФ-20%/+80%-50В	1	
C11	805-Y5V-100пФ-20%/+80%-50В	1	
C12	805-Y5V-0,1мкФ-20%/+80%-50В	1	
C13	805-Y5V-100пФ-20%/+80%-50В	1	
C14	805-Y5V-2,2мкФ-20%/+80%-50В	1	
C15…C17	805-Y5V-0,1мкФ-20%/+80%-50В	3	
C18	805-Y5V-2,2мкФ-20%/+80%-50В	1	
C19…C20	805-Y5V-0,1мкФ-20%/+80%-50В	2	
C21	805-Y5V-4,7мкФ-20%/+80%-50В	1	
C22	805-Y5V-0,1мкФ-20%/+80%-50В	1	
C23	100мкФ-16В-ECR	1	
C24	805-Y5V-0,1мкФ-20%/+80%-50В	1	
C25	805-Y5V-4,7мкФ-20%/+80%-50В	1	
C26	100мкФ-16В-ECR	1	
C27…C31	805-Y5V-0,1мкФ-20%/+80%-50В	5	

Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	ЕДПЕ.ДП.ДП6121.Е3			
Розроб.		Хижняк І.А.			Пристрій збору даних на ESP-32 Перелік елементів	Літ.	Лист	Листів
Провер.							1	2
Нач.лаб.								
Н. Контр.		Свєчніков Г. С.						
Затверд.		Орлов А.Т.						

Поз. обозн.	Назва	Кіл.	Примітка
	Мікросхеми		
D1	LM2660	1	TI
D2	LM317LD	1	TI
D3	ADG1611	1	AD
D4	ADR02	1	AD
D5	OPA340	1	TI
D6	LT1615	1	LT
D7	AD7788	1	AD
D8	AD7927	1	AD
D9	ADR03	1	AD
D10	ESP32-WROOM DevKit v1	1	ESP-32
	Індуктивності		
L1...L3	LQH43-4,7мкГн ±5%	3	Murata
	Резистори		
R1...R8	0805-1КОм±5%	8	
R9	0805-1,6КОм±5%	1	
R10...R13	0805-12КОм±5%	4	
R14	0805-470Ом±5%	1	
R15	0805-560КОм±5%	1	
R16	0805-100КОм±5%	1	
R17...R18	0805-2,2КОм±5%	2	
R19...R22	0805-22Ом±5%	4	
	Діоди		
V1	MBR030	1	ON
	Роз'єми		
X1..X4	MD-80SM	1	MiniDIN

Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	ЕДПЕ.ДП.ДП6121.Е3	Лист 2