3. **Синтез схеми електричної принципової та трасування друкованої плати.**

3.1 Постановка задачі .

Синтез схеми будемо виконувати, виходячи з наступних вимог.

Плата BMS, яку треба дообладнати вольтметром наступна (Мал. 3.1.1)

|  |
| --- |
|  |
| Мал. 3.1.1 |

Це BMS модуль на 4 комірки LiIon батареї з балансуванням комірок. Максимальний струм заряджання – 40А. Максимальна напруга батареї:

За допомогою вольтметра потрібно реалізувати наступний функціонал:

* Замір напруги на кожній комірці батареї та оцінка збалансованості комірок;
* Вивід інформації про стан батареї через бездротовий інтерфейс за допомогою модуля WiFi на WEB-сторінку, або через BT у мобільний додаток;
* Схему побудувати таким чином, щоб мінімізувати споживання енергії батареї в стані простою або розряду на корисне навантаження;
* Опціонально: оскільки попередній пункт припускає наявність датчика струму (визначення напряму протікання струму для керування станом енергозбереження), по можливості реалізувати лічильник циклів заряджання/розряджання та визначення ємності комірок.

3.2 Вибір плати контролеру.

Основні критерії вибору плати контролеру наступні:

* наявність багатоканального АЦП для виміру напруги;
* наявність serial, BT або WiFi модуля для виводу візуальної інформації стану батареї в зовнішній застосунок або Web-браузер;
* наявність модуля Real Time Clock (RTC) для виконання розрахунків, пов’язаних з таймінгом. Як то: історія заряду-розряду, оцінка остаточної ємності і т.п.;
* наявність достатнього об’єму Flash-пам’яті для комфортного програмування і зберігання достатнього обсягу статистичної інформації;
* мінімальна ціна;
* можливість живлення від одного LiIon елементу;
* наявність режимів зменшеного енергоспоживання;
* мінімальний струм споживання;

Кандидати, доступні на внутрішньому ринку – в Таб.3.2.1

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Плата контролеру** | **ADC, біт** | **BT** | **WiFi** | **RTC** | **Flash/RAM/EEPROM, kB** | **LiIon живлення** | **CPU/частота** | **Струм Awake/Sleep, мА** | **Ціна, грн** |
| **Arduino Uno R3** | 2x10 | - | - | - | 32/2/1 | - | ATMega328/16MHz | 40/19 | 180 |
|  |
| **Arduino Nano** | 2x10 | - | - | - | 32/2/1 | - | ATMega328/16MHz | 25/0.57 | 144 |
| **https://doc.arduino.ua/img/hardware/ArduinoNanoTop.jpg** |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Raspberry Pi Pico W** | 3x12 | - | + | + | 2048/264/on the Flash | - | 2xArm Cortex-M0+ / 133MHz | 24 / 0.18 | 234 |
|  |
| **Waveshare RP2040 BLE** | 3x12 | + | - | + | 2048/264/on the Flash | - | 2xArm Cortex-M0+ / 133MHz | 24 / 0.18 | 275 |
|  |
| **STM32F103C8 Bluepill** | 2x12 | - | - | + | 64/20/on the flash | - | ARM Cortex M-3 / 72MHz | 26.6 / 5.6 | 139 |
| **D:\Projects\Vano\BachelorProject\bachelor_PCB\DOC\STM32F103C8 плата розробки Bluepill-500x500.jpg** |
| **Wemos LOLIN32 mini** | 2x12 | + | + | + | 4096/520/on the Flash |  | 2xTensilica Xtensa LX6 / 240MHz | 50/0.8/0.16 | 188 |
|  |
| Таб. 3.2.1 | | | | | | | | | |

Розрахуємо необхідну розрядність ADC для нашого проекту. Максимальна вимірювана напруга на одному елементі:

Для узгодження цього значення з максимально допустимим значенням напруги на вході ADC, додамо каскад з коефіцієнтом передачі Ktransition=0.5 Тож точність вимірювання/ціна молодшого розряду ADC має бути:

Необхідні параметри для вибору ADC представлені в таб. 3.2.2

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Плата контролеру** | **Розрядність, 2N** | **Uref, V** |  |
| Arduino Uno  Arduino Nano |  | 2.5 | 2.4 |
| Raspberry Pi Pico W  Waveshare RP2040 BLE |  | 2.5 | 0.61 |
| STM32F103C8 Bluepill |  | 3.3 | 0.8 |
| Wemos LOLIN32 mini |  | 2.45 | 0.598 |
| Таб. 3.2.2 | | | |

Як бачимо, найкращий варіант – це “Raspberry Pi Pico W” та “Wemos LOLIN32 mini”

Порівняємо ціни і найкращим кандидатом для розробки стає Wemos LOLIN32 mini, оскільки додатково має можливість живлення від 1 елементу LiIon батареї.

Принципова схема модуля Wemos LOLIN32 представлена на мал. 3.2.1

|  |
| --- |
|  |
| Мал.3.2.1 |

Залежність споживання від різних параметрів (як то: частота ядер, режим роботи WiFi та BT) представлена нижче в Таб. 3.2.3

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Power mode | Description | | | Power consumption |
| Active (RF working) | Wi-Fi Tx packet | | | 78 mA ~ 90 mA without communication For TX RX more info in the next table |
| Wi-Fi/BT Tx packet | | |
| Wi-Fi/BT Rx and listening | | |
| Modem sleep |  | | |  |
|  | The CPU is powered on. | 240 MHz \* | Dual-core chip(s) | 30mA ~ 68mA |
| Single-core chip(s) | N/A |
| 160MHz \* | Dual-core chip(s) | 27mA ~ 44mA |
| Single-core chip(s) | 27mA ~ 34mA |
| Normal speed: 80 MHz | Dual-core chip(s) | 20mA ~ 31mA |
| Single-core chip(s) | 20mA ~ 25mA |
| Light sleep | - | | | 0.8 mA |
| Deep sleep | The ULP co-processor is powered on. | | | 150 µ A 100 µ A @1% duty 10 µ A |
| ULP sensor-monitored pattern | | |
| RTC timer + RTC memory | | |
| Hibernation | RTC timer only | | | 5 µ A |
| Power off | CHIP\_PU is set to low level, the chip is powered off. | | | 1 µ A |
| Таб 3.2.3 | | | | |

**3.3 Синтез схеми узгоджуючого модуля між модулем BMS та ADC.**

Є два варіанти побудови подібної схеми: на основі резистивних дільників та на основі диференційних підсилювачів. Розглянемо перший варіант. Схема на базі резистивних дільників представлена на мал. 3.3.1

|  |
| --- |
|  |
| Мал. 3.3.1 |

В даній схемі операційні підсилювачі DA1:1…DA1:4 грають роль буферних елементів з високим вхідним опором і призначені для зменшення впливу дільників R1/R2…R7/R8 на внутрішню високоімпедансну схему модуля BMS. Коефіцієнт ділення напруги кожної наступної комірки батареї має бути збільшений на суму коефіцієнтів попереднього дільника та першого. Так, наприклад, якщо коефіцієнт першого дільника ½, то наступні коефіцієнти будуть: ¼, 1/6, 1/8 і т.д. Недоліки даної схеми наступні:

* падіння точності виміру напруги на кожному наступному елементі за рахунок збільшення коефіцієнта ділення кожного наступного дільника порівняно з першим;
* присутність адитивної похибки при замірі напруги на комірках батареї більше першої, бо в цьому замірі бере участь і сумарна напруга попередніх комірок. І ми вимушені програмним способом віднімати від цієї напруги суму напруг попередніх комірок. Наприклад, в замірі напруги на 2 комірці бере участь і напруга з першої.

Наступний варіант побудови схеми узгоджуючого модуля – індивідуальний диференціальний підсилювач для кожної комірки. Схема представлена на мал. 3.3.2

|  |
| --- |
|  |
| Мал. 3.3.2 |

Дана схема позбавлена недоліків, присутніх в попередній, але теж потребує використання буферних елементів для підвищення вхідного опору. Коефіцієнт передачі диференціального підсилювача розраховується згідно з наступною формулою:

Розрахуємо необхідний коефіцієнт передачі диференційного підсилювача Kdiff. Виберемо запас по вхідній напрузі 10% від максимально допустимій на комірці. Тож максимальна вимірювана напруга одного каналу ADC дорівнює:

Розрахуємо значення резисторів R1…R4 диференційного підсилювача. Значення вибираємо з ряду 1% E96 [3].

Виберемо значення

R1=2.26K

Тоді:

Схема буферу представляє собою неінвертуючий підсилювач з коефіцієнтом передачі

Згідно з документацією [1] на ADC мікроконтролера ESP32, для зменшення розкиду значень вимірів напруги, необхідно використовувати фільтрацію та мультисемплінг (мал. 3.3.3).

|  |
| --- |
|  |
| Мал. 3.3.3 |

Оскільки є висока ймовірність наведення перешкод на ланцюги заміру напруги з частотою промислової мережі 50Гц, додамо в схему пасивний фільтр низьких частот (ФНЧ) з частотою зрізу <50Гц. Він представляє собою звичайний RC-ланцюжок (мал. 3.3.4).

|  |
| --- |
| https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/9/90/Low_pass_filter.svg/220px-Low_pass_filter.svg.png |
| Мал. 3.3.4 |

Частота зрізу якого:

Виберемо R=10K. Оскільки вхідний опір ОП > 100 MO, то значення R в декілька десятків кОм не вплине на параметри схеми. Частоту зрізу виберемо трохи нижче частоти мережі, 45Гц тож:

Найближче більше значення ємності з ряду 5% (E24) [3] C = 0.36мкФ

Схема заміру струму, взята з [4] (Мал. 3.3.5). Вона призначена для керуванням режимом енергозбереження та побудована на тому-ж принципі, що-й схема заміру напруги комірки (диференціальний підсилювач), з тією різницею, що дозволяє міряти струм в обох напрямках (заряджання – розряджання, за рахунок підняття потенціалу «земляної» точки дільника R1/R2на величину Uref ), та коефіцієнт підсилення в нього Kdiff > 1.

|  |
| --- |
|  |
| Мал. 3.3.5 |

Виберемо Uref та розрахуємо резистивні дільники R1/R2, R3/R4 для нашого варіанту схеми. Максимальний замірюваний струм дорівнює 40А. Додамо до цього значення 5%. Тобто:

Виберемо значення Rshunt таким чином, щоб максимальне падіння потужності на ньому було менше 1Вт (це SMD резистор розміру 2512)

Виберемо виберемо стандартне менше значення шунта:

Значення Ushunt при максимальному струмі:

Розрахуемо коефіцієнт передачі підсилювача, виходячи з того, максимальна напруга на вході АЦП може бути 1.1В (це значення Urefadc при мінімальному коефіцієнті атенюації на вході АЦП ESP32)

Розрахуємо

Список використаної літератури

1. [ESP-IDF programming guide. ESP32, Peripherals, Analog to Digital Converter (ADC)](https://docs.espressif.com/projects/esp-idf/en/v4.4/esp32/api-reference/peripherals/adc.html)
2. [Microchip Developer Help, Low-Pass Filters](https://developerhelp.microchip.com/xwiki/bin/view/products/amplifiers-linear/operational-amplifier-ics/introduction/low-pass-filters/)
3. [Ряди номіналів радіоелементів](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A0%D1%8F%D0%B4%D0%B8_%D0%BD%D0%BE%D0%BC%D1%96%D0%BD%D0%B0%D0%BB%D1%96%D0%B2_%D1%80%D0%B0%D0%B4%D1%96%D0%BE%D0%B5%D0%BB%D0%B5%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D1%82%D1%96%D0%B2)
4. Low-side, bidirectional current sensing circuit, Texas Instruments.