

- Б.С. Ридар // Управляющие системы и машины. – 1998. – №5. – С.14-22.
5. Hwa H.R. A method for generating prime implicants of a boolean expressions. / H.R. Hwa // IEEE Transactions on Electronic Computers. – New York: The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., Jun. 1974. – Vol. C-23. – №6. – P. 637-641.
6. Svoboda A. Ordering of implicants. / A. Svoboda // IEEE Transactions on Electronic Computers. – New York: The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., Feb. 1967. – Vol. EC-16. – №1. – P. 100-105.
7. Лузин С.Ю. Асимптотически оптимальный метод получения простых импликант. / С.Ю. Лузин // Автоматика и вычислительная техника. – 2000. – №1. – С. 80-84.
8. Мінзюк В.В. Модифікація методу порозрядного вирощування простих кон'юнктивних термів булових функцій. / В.В. Мінзюк // Збірник наукових праць Інституту проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова. – К.: ІПМЕ ім. Г.Є. Пухова НАН України, 2012. – Випуск 65. – С. 129-134.
9. Мінзюк В.В. Спосіб синтезування кон'юнктернів булових функцій. / В.В. Мінзюк // Вісник Національного університету "Львівська політехніка" Радіоелектроніка та телекомунікації. – 2004. – № 508. – С. 256-262.
10. Мінзюк В.В. Спосіб сортування цілих чисел для задач мінімізації булових функцій. / В.В. Мінзюк // Вісник Національного університету "Львівська політехніка" Радіоелектроніка та телекомунікації. – 2011. – № 705. – С. 135-137.

Поступила 27.02.2013р.

УДК 621.3

Р.В. Бачинський, НУ "Львівська політехніка", ІКТА, каф. ЕОМ, м. Львів

ВИМІРЮВАННЯ НАПРУГИ В БАГАТОКОМІРКОВИХ БАТАРЕЯХ ЖИВЛЕННЯ

В статті розглянуто особливості побудови пристрою для вимірювання напруги окремих комірок в багатокоміркових батареях живлення, на основі схеми з плаваючим потенціалом землі.

В статье рассмотрены особенности устройства для измерения напряжения отдельных ячеек в многоячеечных батареях питания, на основе схемы с плавающим потенциалом земли.

This article describes device functionality for measuring individual cell voltage level in multi-cell batteries. The device uses schematic with floating ground potential.

Вступ

Високовольтні батареї живлення з великою кількістю комірок використовуються в різних медичних та промислових системах. Для забезпечення надійного функціонування таких систем необхідно контролювати абсолютне значення напруги кожної комірки та різницю напруг

різних комірок, які входять в склад батареї, в процесі її заряджання та розряджання.

Постановка задачі

Розглянути основні підходи до побудови пристроїв вимірювання напруги в окремих комірках багатокоміркових батарей живлення, розглянути особливості побудови пристроїв на основі схеми з плаваючим потенціалом землі та розробити пристрій для оцінки точності вимірювань. Забезпечити відповідність пристрою наступним вимогам:

Параметр	Значення
Напруга живлення	9V-12V
Комунікаційний інтерфейс між керуючим мікроконтролером та ПК	RS232
Розв'язка з'єднання між керуючим та вимірювальним мікроконтролерами	оптична
Максимальна кількість комірок в батареї	39
Максимальна напруга однієї комірки	4,3В

Традиційна схема вимірювання напруги комірок в багатокоміркових батареях живлення

Традиційна схема вимірювання напруги окремих комірок живлення використовує високоточні резистори і мультиплексований інструментальний підсилювач. Резистивні подільники напруги використовуються для масштабування значень вимірюваної напруги до діапазону напруг, який може бути виміряний мікроконтролером. Такий підхід має наступні недоліки:

- Великий коефіцієнт ділення для останніх комірок в батареї знижує точність вимірювання;
- Вимагає значну кількість високоточних резисторів;
- Оскільки різні компоненти схеми використовуються при вимірюванні напруги різних комірок живлення це може призвести до різних результатів вимірювання для однакових комірок тому, що результати вимірювань залежать від коефіцієнтів ділення резистивних подільників та від напруги інших комірок.

Вимірювання напруги комірок в багатокоміркових батареях живлення з використанням схеми з плаваючим потенціалом землі

Вимірювання напруги комірок в багато коміркових батареях живлення за схемою з плаваючим потенціалом землі виконується з використанням багатоканального вимірювального пристрою. При цьому всі комірки батареї підключені до входів цього пристрою через зовнішні обмежуючі резистори з великим опором. Потенціал землі цього вимірювального пристрою змінюється для кожної комірки таким чином, щоб потенціал клем комірки потрапляв у діапазон живлення пристрою. Це дозволяє вимірювати напругу

комірок живлення без використання високоточних резистивних дільників напруги.

Вимірювальна система складається з двох пристроїв: керуючого мікроконтролера (CY8C27443) та вимірювального мікроконтролера (CY8C24794). Керуючий мікроконтролер забезпечує вимірювальний мікроконтролер живленням з плаваючим потенціалом землі. Вимірювальний мікроконтролер виконує вимірювання напруги комірок живлення. Всі комірки живлення підключені до вимірювального мікроконтролера через обмежуючі резистори з високим опором. Оскільки обидва мікроконтролери мають різні потенціали землі та живлення, з'єднання, необхідне для їх взаємодії, має бути гальванічно розв'язаним. Для цього використовуються два гальванічних ізолятора, що дозволяє мікроконтролерам обмінюватись командами та даними в повнодуплексному режимі.

Вимірювальний процес складається з таких стадій:

1. Отримання команди на вимірювання та номера комірки від ПК;
2. Пересилка команди на вимірювання та номера комірки від керуючого мікроконтролера до вимірювального;
3. Підстроювання потенціалу землі вимірювального мікроконтролера шляхом надсилання запитів від вимірювального мікроконтролера до керуючого;
4. Вимірювання напруги комірки живлення;
5. Пересилка результатів вимірювання від вимірювального мікроконтролера до керуючого;
6. Пересилка результатів вимірювання від керуючого мікроконтролера до ПК;
7. Скидання вимірювального пристрою для наступного вимірювання.

Функціональна схема вимірювального пристрою зображена на Рис. 1.

Отримання команди на вимірювання та номера комірки

Вимірювальний процес активується користувачем шляхом надсилання команди на вимірювання та номера комірки з ПК.

Передача команди на вимірювання та номера комірки від керуючого мікроконтролера до вимірювального

Вимірювальний пристрій складається з двох мікроконтролерів і тільки керуючий взаємодіє з ПК. Тому, після отримання команди, керуючий мікроконтролер мусить ініціалізувати вимірювальний для початку нового вимірювання.

Підстроювання потенціалу землі вимірювального мікроконтролера

Оскільки всі комірки батареї живлення підключені до вимірювального мікроконтролера, на його входах виникають різні потенціали. Для усунення впливу різних потенціалів, всі входи, які використовуються для підключення комірок мають бути переключені в режим з відкритим стоком (open drain

low). Цей режим дозволяє під'єднати всі невикористовувані у вимірюванні входи до землі вимірювального мікроконтролера через резистори з високим опором, виключаючи таким чином вплив різних потенціалів. Переключення входів в цей режим також не дає струму протікати через захисні діоди входів мікроконтролера і зменшує струм просочування вхідного мультиплексора. Тому, під час настройки потенціалу землі та вимірювання напруги комірки, відповідні входи мікроконтролера переключаться в високоімпедансний аналоговий режим (Hi-Z Analog) з режиму з відкритим стоком (open drain low), який встановлюється при ініціалізації.

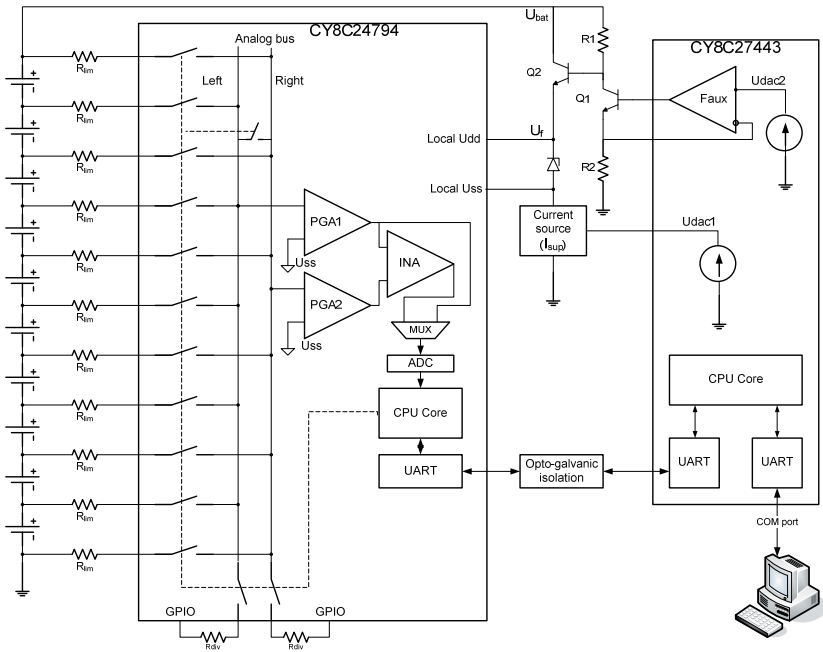


Рис. 1 – Функціональна схема вимірювального пристрою

Настройка потенціалу землі є найбільш важливою стадією вимірювального процесу, тому вимагає детального розгляду. Побудований на транзисторах Q1 та Q2 підсилювач, використовується для настройки потенціалу землі вимірювального мікроконтролера. Підсилювач FAUX та транзистор Q1 формують кероване напругою джерело струму. Це джерело струму створює падіння напруги на резисторі R1, яке буферизується емітерним повторювачем, побудованим на транзисторі Q2. Цей емітерний повторювач навантажений на джерело струму I_{sup} . Напруга живлення вимірювального мікроконтролера (U_f) формується діодом Зенера D1 (стабілітрон) і може бути розрахована за наступною формулою:

$$U_{dd} = U_{bat} - \frac{U_{AGND} - U_{DAC2}}{R_2} R_1 - U_{be} \quad (1)$$

де:

- U_{dd} – напруга між локальним живленням вимірювального мікроконтролера (V_{dd}) та спільною землею пристрою;
- U_{bat} – напруга батареї;
- U_{AGND} – рівень напруги аналогової землі керуючого мікроконтролера;
- U_{DAC2} – вихідна напруга DAC2;
- U_{be} – падіння напруги на емітерному переході транзистора Q2 (типове значення 0.7В).

Струм I_{sup} , який забезпечується джерелом живлення, має бути більшим ніж сума максимального струму споживання вимірювального мікроконтролера, мінімального струму діода D1 та максимального струму через обмежувальні резистори R_{lim} всіх комірок (коли комірки повністю заряджені).

При настройці потенціалу землі, мінусова клема комірки підключається до відповідної аналогової шини мікроконтролера, при цьому обидві аналогові шини закорочуються. Аналогова шина підключається до входу PGA1 з коефіцієнтом підсилення 4. Підсилена напруга між землею мікроконтролера та мінусовою клемою комірки живлення перетворюється з допомогою ADC в цифрову форму. Функціональна діаграма підключень під час настройки потенціалу землі зображено на Рис. 2.

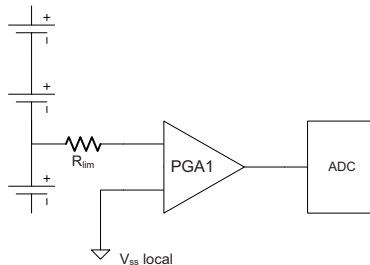


Рис. 2 – Підключення модулів під час настройки потенціалу землі

Настройка потенціалу землі продовжується до тих пір, поки напруга між землею вимірювального мікроконтролера та мінусовою клемою комірки живлення не буде діапазоні 0.2В – 0.5В.

Обмеження вихідної напруги джерела живлення з плаваючим потенціалом землі не дозволяє налаштувати потенціал землі до допустимої точності коли вимірюється напруга останньої та першої комірок в батареї. Потенціал мінусової клеми першої комірки є меншим ніж мінімально

можливий потенціал землі вимірювального мікроконтролера (U_{ss}). Потенціал плюсової клеми останньої комірки в батареї є вищим ніж максимально можливий потенціал джерела живлення вимірювального мікроконтролера (U_{dd}). Ці обмеження не дозволяють безпосередньо вимірювати напругу першої та останньої комірок батареї і є причиною використання додаткових резистивних дільників для першої та останньої комірок.

Вимірювання напруги комірок живлення

Під час налаштування потенціалу землі мінімальний потенціал землі встановлюється при вимірюванні першої комірки, а максимальний – при вимірюванні останньої комірки в батареї. Для перетворення потенціалу першої та останньої комірок в допустимий діапазон, використовуються два резистори R_{div} . Ці резистори підключаються до аналогових шин з однієї сторони та до V_{dd} (для першої комірки) чи до V_{ss} (для останньої комірки) з іншої сторони. Ці резистори множать напругу комірки на $R_{div}/(R_{div}+R_{lim})$ та збільшують (для першої комірки) / зменшують (для останньої комірки) потенціал вимірювальних точок. Підключення резисторів R_{div} для першої та останньої комірок зображено на Рис. 3 (а) та (б) відповідно. Це дозволяє вимірювати напругу першої та останньої комірок без необхідності точного налаштування потенціалу землі.

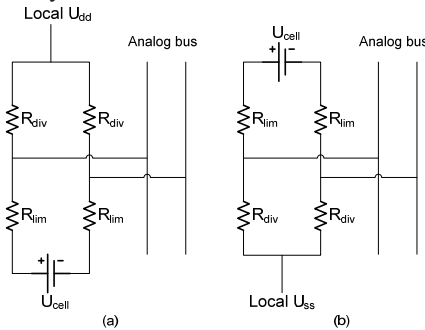


Рис. 3 – Схема вимірювання першої (а) та останньої (б) комірок

Напруга між аналоговими шинами може бути розрахована за наступною формулою:

$$U_{ABUS} = \frac{R_{div} U_{cell}}{R_{lim} + R_{div}}; \text{ при } R_{lim} = R_{div} : U_{ABUS} = \frac{U_{cell}}{2}. \quad (2)$$

Під час вимірювання напруги комірки аналогові шини відключені одна від одної. При цьому клема однієї комірки підключена до PGA1, а другої – до PGA2 через аналогові шини. PGA1 та PGA2 являють собою звичайні буфери без підсилення. Виходи буферів PGA1 та PGA2 підключені до входів інструментального підсилювача (INA). Інструментальний підсилювач ділить

значення напруги на клеммах комірки на коефіцієнт $32/15$, що приводить максимальне значення напруги на комірці в 4.3В до допустимого діапазону вимірювання на ADC – 2.08В . Поділена інструментальним підсилювачем напруга, перетворюється в цифрову форму аналогово-цифровим перетворювачем (ADC) і передається до керуючого мікроконтролера. Функціональна схема з'єднання блоків під час вимірювання напруги комірок зображена на Рис. 4.

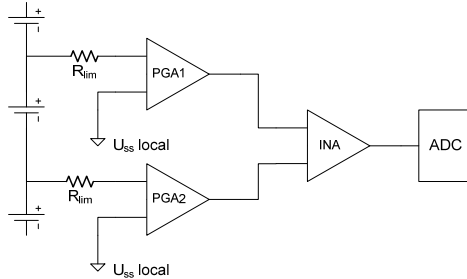


Рис. 4 – функціональна схема з'єднань між блоками під час вимірювання напруги комірок живлення

Для усунення зміщення підсилювача використовується корельована подвійна вибірка перед вимірюванням напруги комірки. Функціональна схема підключень модулів під час корельованої подвійної вибірки зображено на Рис. 5. Входи підсилювачів PGA1 та PGA2 з'єднані між собою для вимірювання зміщення на першому етапі. Це досягається з'єднанням аналогових шин. Виміряне значення зміщення віднімається від вимірної напруги комірки на другому етапі. Цей підхід дозволяє врахувати зміщення таких модулів: PGA, INA та ADC. Зміщення вимірюється після стадії налаштування потенціалу землі.

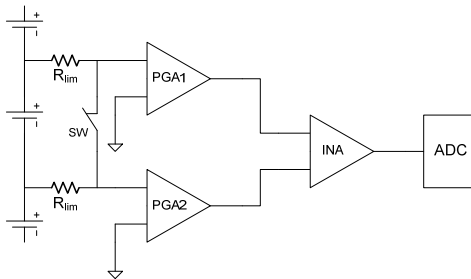


Рис. 5 – Функціональна схема підключень модулів під час корельованої подвійної вибірки

Передача результатів від вимірювального мікроконтролера до керуючого

Оскільки тільки керуючий мікроконтролер підключений до ПК, результати вимірювань мають бути передані спочатку керуючому мікроконтролеру, щоб зробити їх доступними для користувача.

Передача результатів від керуючого мікроконтролера до ПК

Для забезпечення можливості отримати результати вимірювань, вони відправляються на ПК через COM порт та відображаються у вікні програми HyperTerminal.

Ініціалізація вимірювального пристрою для наступних циклів вимірювання

Оскільки налаштування вимірювального пристрою міняються в процесі вимірювань, вони мають бути відновлені перед початком наступного циклу.

Результати тестування

№ комірки	Напруга комірки (В)	Виміряна напруга (В)	Похибка (%)
0	4.15	4.242	2.2
1	2.42	2.42	0
2	2.52	2.572	2.1
3	1.38	1.375	0.4
4	1.41	1.418	0.6
5	2.61	2.593	0.7

Висновки

В даній роботі розглянуто особливості побудови пристроїв для вимірювання напруги окремих комірок в багатокоміркових батареях живлення, які будуються по схемі з плаваючим потенціалом землі вимірювального мікроконтролера, що дозволяє уникнути необхідності використання дорогих високоточних резисторів та забезпечує рівнозначні умови вимірювань для всіх комірок крім першої та останньої. Побудований по даній схемі пристрій з використанням мікроконтролерів фірми Cypress, був використаний для перевірки описаних підходів та оцінки точності вимірювань.

1. *Dennis Seguire* PSoC1 – Using Correlated Double Sampling to Reduce Offset, Drift, and Low Frequency Noise // <http://www.cypress.com/?rID=2894> (AN 2226)
2. *Ole Johnny Borgersen* – Multicell Battery Monitoring and Balancing with AVR // Norwegian University of Science and Technology, Department of Electronics and Telecommunications

Поступила 6.03.2013р.