Circuit Design Analysis

Table of contents

1. [Passive](file:///C:\Users\Siraphob\Desktop\Doc\Atess\LECTUR_HARDWARE_2.docx#_一、前端电源设计与选型) Balancing

2. Boot switch

3. Digital Temperature Sensor

4. Protection FETs and Current sense filter

5. Read Voltage

6. MCU Current Sense

7. Voltage supervisor

8. BQ7692003pwr

9. Battery Management System Controller

10. Balance Terminal

11. PCB

## 1. [Passive](file:///C:\Users\Siraphob\Desktop\Doc\Atess\LECTUR_HARDWARE_2.docx#_一、前端电源设计与选型) Balancing

เซลล์โหลดจะใช้ตัวต้านทานเพื่อปลดปล่อยแรงดันไฟฟ้าส่วนเกินออกและทำให้เท่ากันกับเซลล์อื่นตัวต้านทานเหล่านี้เรียกว่าตัวต้านทานบายพาส (Bypass Resistors) โดยแต่ละเซลล์ที่ต่อรวมกันแบบ อนุกรมในชุดแบตเตอรี่จะมีตัวต้านทานบายพาสเชื่อมต่ออยู่กับสวิตช์อิเล็กทรอนิกส์

ถ้ามี mosfets ตัวข้างนอกตัวข้างในจะไม่ทำงาน mosfets ตัวข้างนอกจะทำหน้าที่แทนเหมือนกับตัวข้างในและยังปลอดภัยมากกว่า targeted balancing current is 100 mA at4.2 V กระแสไฟที่ใช้ในการปรับสมดุลแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แบตเตอรี่แต่ละเซลล์ คือ 100 มิลลิแอมป์ (mA) ที่แรงดันไฟฟ้า 4.2 โวลต์ (V)

โดยวงจรจะทำงานดังนี้**(Charge)** not activated while discharging

A diagram of a computer

Description automatically generated กระแสไฟปกติจะไหลเข้าสู่เซลล์จากรูปด้านล่างจะมีทิศทางรอบเซลล์กำลังกระจายไปในตัวต้านทานสำหรับปรับสมดุลกระแสภายในช่องที่ IC รองรับโดย FETs ภายในจะปรับกระแสโดยใช้ตัวต้านทานขนาดเล็กประสิทธิภาพตัวกรองจึงลดลง(กระแสถูกปรับค่าด้วย )

A diagram of a circuit

Description automatically generated เมื่อต้องการกรองกระแสที่มีความสมดุลสูลกว่ารูปด้านบนก็จะเพิ่ม FET ภายนอกและสามารถควบคุมได้โดย FET ภายในดังรูปด้านล่าง

กระแสไฟฟ้าเล็กน้อยไหล ผ่านตัวต้านทานและไอซีแรงดันไฟฟ้าตกคร่อม ตัวต้านทานตัวกรองอินพุตสามารถเปิด FET ภายนอกเพื่อ ดึงกระแสผ่านตัวต้านทานสมดุลเพื่อให้ได้กระแสที่สูงขึ้นประมาณครึ่งหนึ่งของแรงดันไฟฟ้าของเซลล์สำหรับเกต ซีเนอร์ที่แสดงในวงจรจะไม่ทำงานระหว่างการปรับสมดุล ในระหว่างที่ไฟฟ้าลัดวงจรหรือมีภาระหนักบนแบตเตอรี่แรงดันไฟฟ้าของเซลล์อาจลดลงอย่างมากซีเนอร์และตัวต้านทานจะจำกัด แรงดันไฟฟ้าสำหรับ FET และป้องกันการดึงกระแสไฟฟ้าส่วนเกิน จากตัวเก็บประจุตัวกรอง

**วงจรนี้เป็นวงจรบาลานซ์เซลล์แบบ Passive ที่ใช้ทรานซิสเตอร์ N-ch MOSFET**

**หลักการทำงาน:**

1. วงจรจะตรวจจับแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แบตเตอรี่แต่ละเซลล์
2. เมื่อเซลล์ใดเซลล์หนึ่งมีแรงดันไฟฟ้าสูงเกินค่าที่กำหนด
3. วงจรจะเปิดทรานซิสเตอร์ N-ch MOSFET
4. กระแสไฟฟ้าจะไหลจากเซลล์ที่มีแรงดันไฟฟ้าสูงไปยังเซลล์ที่มีแรงดันไฟฟ้าต่ำ
5. กระบวนการนี้จะดำเนินต่อไปจนกว่าแรงดันไฟฟ้าของเซลล์ทั้ง 4 อยู่ที่ระดับที่เท่ากัน

A diagram of electrical wiring

Description automatically generated

## 2. Boot switch ทำงานอย่างไรแล้วทำไมต้องมี Temperature Measurement and Wake-up

ใช้เพื่อปลุกวงจรจาก SHIP mode เป็นโหมดประหยัดพลังงานของ bq769x0 ถ้าไม่มีก็จะทำให้แบตเตอรี่ทำงานไม่ปกตติและวัดอุหภมิของแบตเตอรี่

* ต้องกดปุ่ม S2 ถึงสามารถเริ่มทำงานได้
* แรงดันไฟฟ้าที่ขา TS1 จะเพิ่มขึ้นเหนือ VBOOT โดยปกติอยู่ที่ 2.5 Volt
* วงจรภายในของ bq76920 จะรีเซ็ต
* bq76920 จะเริ่มการทำงานอีกครั้ง

จากนั้น bq76920 จะใช้การอ่าน ADC 14 บิตใน TS1 เพื่อกำหนดความต้านทานของเทอร์มิสเตอร์ 103KT1005T ภายนอก ตามสมการต่อไปนี้:

A close up of a number

Description automatically generated

A diagram of a electrical system

Description automatically generated

## 3. Digital Temperature Sensor

Digital Temperature Sensor : LMT01 เป็นเซ็นเซอร์อุณหภูมิความแม่นยำสูง 2-in-1 มาพร้อมอินเทอร์เฟซการนับพัลส์ที่ใช้งานง่าย ทำให้เหมาะเป็นตัวแทนดิจิทัลสำหรับเทอร์โมมิเตอร์ PTC หรือ NTC วงจรนี้มีเพื่อตรวจสอบอุณหภูมิของ FET ป้องกัน: ข้อมูลนี้สามารถใช้เพื่อตรวจสอบว่า FET เย็นพอที่จะปิดหลังจากเกิดเหตุการณ์ไฟฟ้าลัดวงจรหรือไม่

A diagram of a temperature sensor

Description automatically generated

## 4. Protection FETs and Current sense filter

**Current sense filter**

## SRP และ SRN ของ BQ76920

## **หน้าที่:**

* SRP (Sense Resistor Positive): ขา SRP ทำหน้าที่วัดแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วบวกของตัวต้านทานเซ็นส์ (Rsense)
* SRN (Sense Resistor Negative): ขา SRN ทำหน้าที่วัดแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วลบของตัวต้านทานเซ็นส์ (Rsense)

**การวัดค่า:**

* ขา SRP และ SRN ทำงานร่วมกันเพื่อวัดค่ากระแสไฟฟ้าไหลผ่านแบตเตอรี่ โดยใช้หลักการของกฎของโอห์ม
* แรงดันไฟฟ้าที่วัดได้ที่ขา SRP และ SRN จะถูกแปลงเป็นค่าดิจิทัลโดย ADC ภายใน IC
* จากค่าดิจิทัล IC จะคำนวณค่ากระแสไฟฟ้าไหลผ่านแบตเตอรี่

**การใช้งาน:**

* ข้อมูลค่ากระแสไฟฟ้าที่วัดได้ จะถูกนำไปใช้เพื่อ:
  + แสดงสถานะการชาร์จ/การคายประจุของแบตเตอรี่
  + ควบคุมกระบวนการชาร์จ/การคายประจุ
  + ตรวจจับความผิดปกติของแบตเตอรี่

**ข้อควรระวัง:**

* การออกแบบวงจรและค่าของ Rsense มีผลต่อความถูกต้องของค่ากระแสไฟฟ้าที่วัดได้
* ควรศึกษารายละเอียดเพิ่มเติมในเอกสารข้อมูลจำเพาะของ IC (datasheet)

SRP : Negative current sense (nearest VSS) and SRN : Positive current sense measure comparator for current protection about OCD comparator and SCD comparator

-----------------(1)

----------------(2)

-------------------(3)

Therefore, was chosen equal at 2.78m

**คำถามอันนี้เรา design max current เป็น 36 A ไช่ไหม ?**

**ตอบ 36 A นั้นคือ OCD max current ใช่ครับ**

**Protection FETs**

The BQ76930 uses a low-side drive suitable for N-CH FETs.

-This diode allows CHG to pull the Q9 gate high.

-R41 clamps Q9 when CHG is turned off

-This zener clamp may be needed to prevent Q9 from turning on too quickly (optional).

-R42 drops the voltage when PACK- is pulled high and limits the current going into the CHG pin. Since CHG clamps at ~ 18 V, R42 will limit current to approximately (V(PACK±) - 18) / R42.

-Q18 is a low-cost PCH FET and is used to keep CHG away from any voltages below VSS. When CHG is not being pulled high, PACK± being pulled below VSS will not be seen by CHG as Q10 does not turn on. Q18 also allows R41 to keep Q9 OFF, since all voltages below this FET can "follow" PACK± as it goes below VSS.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| CHG and DSG Response to Different Events | | |
| EVENT | CHG FET OPEN | DSG FET OPEN |
| OV fault | Set to 0 | - |
| UV fault | - | Set to 0 |
| OCD fault | - | Set to 0 |
| SCD fault | - | Set to 0 |
| ALERT override | Set to 0 | Set to 0 |
| DEVICE\_XREADY is set | Set to 0 | Set to 0 |
| Enter SHIP mode from NORMAL | Set to 0 | Set to 0 |

**ALERT override**

* **ความหมาย:**ระบบจะเพิกเฉยการแจ้งเตือนที่เกิดขึ้นภายในวงจร อาจเป็นการแจ้งเตือนเกี่ยวกับความผิดปกติของแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า หรืออุณหภูมิ
* **ผลต่อ FETs:** เมื่อมีการ ALERT override, ทั้ง CHG FET และ DSG FET จะถูก **เปิด** ทั้งคู่ ไม่ว่าสถานการณ์ปกติจะเป็นอย่างไร สิ่งนี้ทำเพื่อให้วงจรสามารถทำงานต่อไปได้แม้จะมีความผิดปกติเกิดขึ้น แต่ว่าการใช้งานในลักษณะนี้อาจส่งผลเสียต่ออุปกรณ์หรือแบตเตอรี่ได้ ควรใช้ด้วยความระมัดระวัง

**DEVICE XREADY is set:**

* **ความหมาย:** สถานการณ์นี้บ่งบอกว่าอุปกรณ์พร้อมใช้งานแล้ว โดยปกติจะเกิดขึ้นหลังจากกระบวนการบูตหรือตั้งค่าเริ่มต้นของระบบเสร็จสิ้น
* **ผลต่อ FETs:** เมื่อ DEVICE XREADY is set, ทั้ง CHG FET และ DSG FET จะถูก **เปิด** ทั้งคู่ อนุญาตให้ระบบเริ่มต้นการชาร์จและจ่ายไฟได้ตามปกติ

**Enter SHIP mode from NORMAL:**

* **ความหมาย:** สถานการณ์นี้หมายถึงการเปลี่ยนโหมดการทำงานของอุปกรณ์จากโหมดปกติ (NORMAL) ไปเป็นโหมดขนส่ง (SHIP) โหมดขนส่งมักใช้เพื่อเตรียมอุปกรณ์สำหรับการจัดเก็บหรือขนส่ง
* A screenshot of a computer

  Description automatically generatedA diagram of a circuit

  Description automatically generated**ผลต่อ FETs:** การเปลี่ยนเป็นโหมดขนส่งอาจส่งผลต่อการเปิดหรือปิดของ FETs ขึ้นอยู่กับการออกแบบวงจรของอุปกรณ์นั้นๆ ตัวอย่างเช่น ในบางระบบ FETs ทั้งหมดอาจถูกปิดเพื่อป้องกันการใช้งานอุปกรณ์ระหว่างการขนส่ง ในขณะที่ระบบอื่นอาจเปิดเฉพาะ DSG FET เพื่อให้สามารถระบายประจุแบตเตอรี่ออกก่อนการจัดเก็บ

5. Read Voltage

The circuit you mentioned (Q2, Q15, R73, R66, R70, R67, and R69) is likely a voltage divider circuit. This type of circuit is used to reduce the high voltage of the entire battery pack to a level that can be safely measured by the analog-to-digital converter (ADC) of the bq76920 battery management IC.

Here's how it works:

1. **Voltage Division:** The voltage from the full battery pack is divided by the resistors in the circuit (R73, R66, R70, R67, and R69). The specific ratio of the resistors determines the amount of voltage reduction.
2. **ADC Conversion:** The filtered voltage is then converted into a digital value by the ADC of the bq76920 IC.

A diagram of a circuit

Description automatically generated

6. MCU Current Sense

The MSP430 can directly read the current through its ADC and the current measurement circuit (Q16, R64, R72, and R74). Those current measurements could be used to implement additional current limit threshold in firmware.

* การใช้วงจรวัดกระแสภายใน MSP430 ช่วยลดขนาดและต้นทุนของระบบ
* เฟิร์มแวร์สามารถปรับเปลี่ยนการ **Set threshold** ประจำไฟฟ้าได้อย่างยืดหยุ่น

A diagram of a circuit

Description automatically generated

7. Voltage supervisor

**ตัวควบคุมแรงดันไฟ TPS3839G33DBZR:** อุปกรณ์นี้ทำหน้าที่ตรวจสอบแรงดันไฟที่เลี้ยงให้กับ MSP430 และรีเซ็ต MSP430 หากแรงดันไฟตกลงต่ำกว่าระดับที่กำหนด

**การทำงานของ TPS3839G33DBZR:**

* TPS3839G33DBZR จะตรวจสอบแรงดันไฟที่เลี้ยงให้กับ MSP430 อย่างต่อเนื่อง
* หากแรงดันไฟตกลงต่ำกว่า 3.08 โวลต์ TPS3839G33DBZR จะส่งสัญญาณรีเซ็ตไปยัง MSP430 เพื่อหยุดการทำงาน
* สัญญาณรีเซ็ตจะคงอยู่เป็นเวลาประมาณ 200 มิลลิวินาที (typical) แม้ว่าแรงดันไฟจะกลับมาสูงกว่า 3.08 โวลต์แล้ว
* สิ่งนี้ช่วยป้องกันไม่ให้ MSP430 ทำงานผิดปกติเนื่องจากแรงดันไฟที่ไม่เสถียร

**เหตุผลที่ใช้ TPS3839G33DBZR:**

* MSP430 ต้องการแรงดันไฟระหว่าง 1.8 ถึง 3.6 โวลต์ ดังนั้นการใช้แหล่งจ่ายไฟที่จ่ายไฟ 3.3 โวลต์โดยตรงอาจจะไม่ปลอดภัยหากแรงดันไฟลดลง
* TPS3839G33DBZR มีขนาดเล็ก ใช้พลังงานต่ำ และตรวจสอบแรงดันไฟได้อย่างแม่นยำ ทำให้เหมาะสำหรับการใช้งานในระบบที่ต้องการประหยัดพลังงาน

A diagram of a circuit

Description automatically generated

8. BQ7692003pwr

The bq769x0 family of robust AFE devices serves as part of a complete pack monitoring and protection solution for next-generation high-power systems such as power tools. The bq769x0 is designed with low power in mind: Sub-blocks within the IC may be enabled or disabled to control the overall chip current consumption, and a SHIP mode provides a simple way to put the pack into an ultra-low power state. The bq76920 supports up to 4-cell series or typical 16-V packs. This AFE can measure a variety of battery chemistries, including Li-ion, Li-iron phosphate, and more. Through I2C, a host controller can use the bq76920 to implement many battery pack management functions such as monitoring (cell voltages, pack current, pack temperatures), protection (controlling charge or discharge FETs), and balancing. Integrated ADCs enable a purely digital readout of critical system parameters with calibration handled in TI’s manufacturing process.

A diagram of a circuit board

Description automatically generated

9. Battery Management System Controller

A battery management controller is required to set the protection registers, enable FETs, recover from faults, and provide a balancing algorithm if desired. The MCU can also implement a gauging algorithm and provide display or communication appropriate for the system. The TI MSP430™ family of ultra-low-power MCUs consists of several devices, featuring different sets of peripherals targeted for various applications. The architecture, combined with five low-power modes, is optimized to achieve an extended battery life in portable measurement applications. The device features a powerful 16-bit RISC(Risk Instruction Set Computing) CPU, 16-bit registers, and constant generators that contribute to maximum code efficiency. Wide operation supply-voltage range of 1.8 to 3.6 V and ultra-low power consumption with active mode 230 µA at 1 MHz 2.2 V, standby mode 0.5 µA and off mode 0.1 µA features make the MSP430G2553 a perfect fit for battery powered applications including battery management systems.

A diagram of a block diagram

Description automatically generated

**Main components of the image:**

* **CPU:** Central processing unit, includes 16 registers and operates at 16 MHz
* **Flash:** Flash memory, 16 KB, stores program data
* **RAM:** Random-access memory, 512 bytes, stores temporary data
* **ADC:** 10-bit, 8-channel analog-to-digital converter, samples analog signals
* **Port P1, P2, P3:** Three 8-bit I/O ports, control external devices
* **Clock:** Clock system, controls timing of the system
* **Peripherals:** Other devices, such as:
  + **Comp\_A+:** 8-channel comparator, compares voltages
  + **Watchdog:** Watchdog timer, prevents system lockup
  + **Timer0\_A3, Timer1\_A3:** Three timers, measure time and generate signals
  + **USCI\_A0, USCI\_B0:** UART, SPI, I²C interfaces, communicate with other devices
  + **JTAG:** Interface for debugging

**Additional details:**

* **DVCC, DVSS:** Power supply for core and memory
* **MAB:** Bus that connects CPU to memory
* **MDB:** Data bus
* **XIN, XOUT:** Pins for crystal oscillator
* **RST/NMI:** Pin for reset and interrupt
* **Brownout Protection:** Circuit that protects against power dips

A diagram of a computer

Description automatically generated

10. Balance Terminal

A diagram of a computer

Description automatically generated

**ส่วนประกอบหลักของวงจรที่นำมาต่อจากววงจรภายนอก:**



10. PCB

A white circuit board with many square and square objects

Description automatically generated

Figure 10.1 Top Overlay

A black and white image of various shapes

Description automatically generated

Figure 10.2 Top Solder Mask

A black and white circuit board

Description automatically generated

Figure 10.3 Top Layer

A black and white drawing of a circuit board

Description automatically generated

Figure 10.4 Bottom Layer

A black dots on a white background

Description automatically generated

Figure 10.5 Bottom Solder Mask