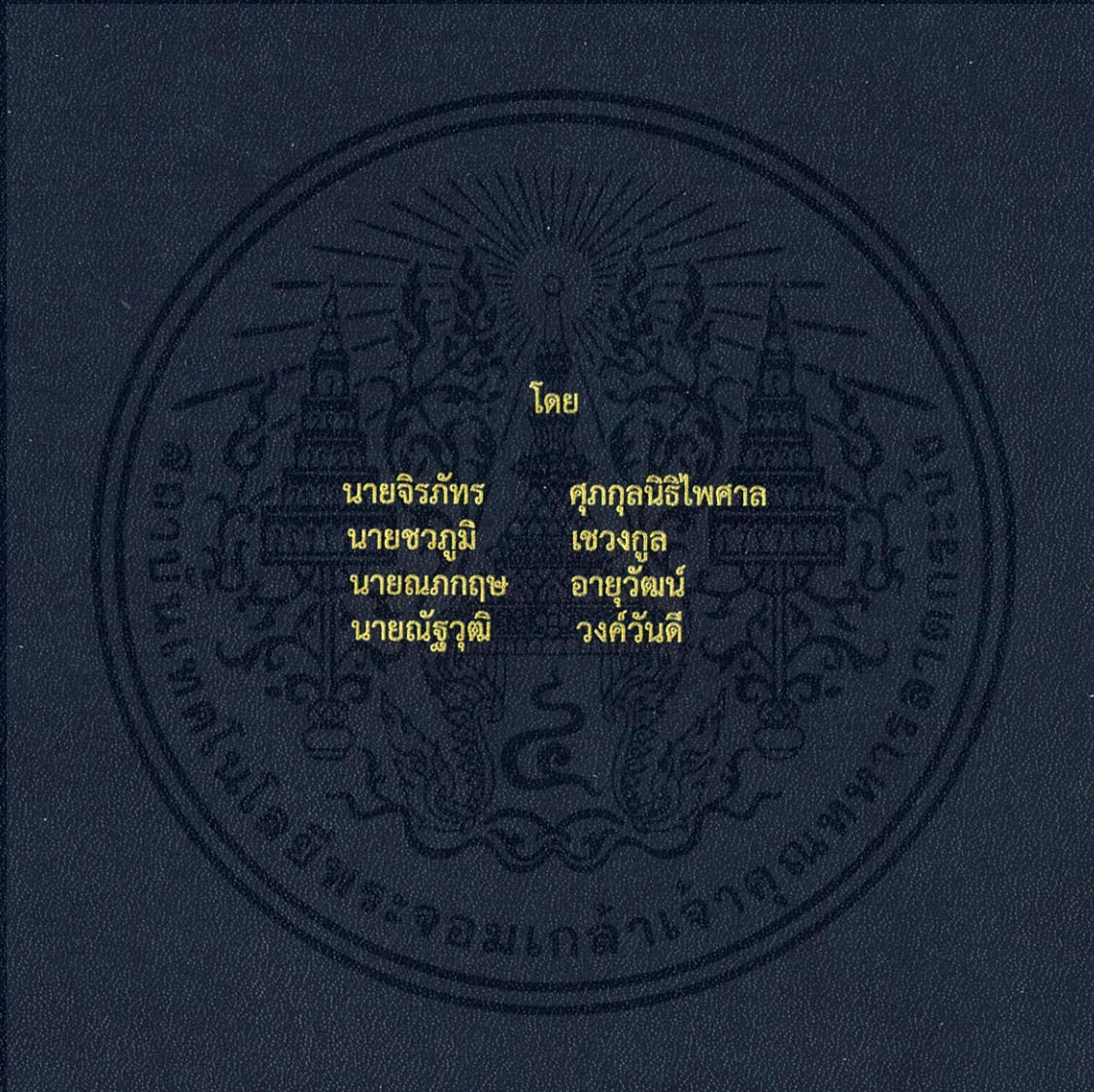


วงจรมดุลแรงดันสำหรับแบตเตอรี่ยานยนต์ไฟฟ้า  
EQUALIZER FOR EV BATTERY



โดย

นายจิรภัทร	ศุภกุลนิธิไพศาล
นายชวภูมิ	เซวงกุล
นายณภกฤษ	อายุวัฒน์
นายณัฐวุฒิ	วงศ์วันดี

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2561

วงจรมดุลแรงดันสำหรับแบตเตอรี่ยานยนต์ไฟฟ้า  
EQUALIZER FOR EV BATTERY



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2561

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# EQUALIZER FOR EV BATTERY



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT FOR  
BACHELOR DEGREE OF ELECTRICAL ENGINEERING  
DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING FACULTY OF ENGINEERING  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2018

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2561

วงจรมอดูลแรงดันสำหรับแบตเตอรี่ยานยนต์ไฟฟ้า  
EQUALIZER FOR EV BATTERY



อาจารย์ที่ปรึกษา

ดร.สมภาพ ผลไม้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2561

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง วงจรสมมูลแรงดันสำหรับแบตเตอรี่ยานยนต์ไฟฟ้า

ผู้จัดทำ

1. นาย จิรภัทร ศุภกุลนิธิไพศาล
2. นาย ชวภูมิ เชวงกุล
3. นาย ณภกฤษ आयुวัฒน์
4. นาย ณัฐวุฒิ วงศ์वंดี





..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(ดร.สมภพ, ผลไม้)

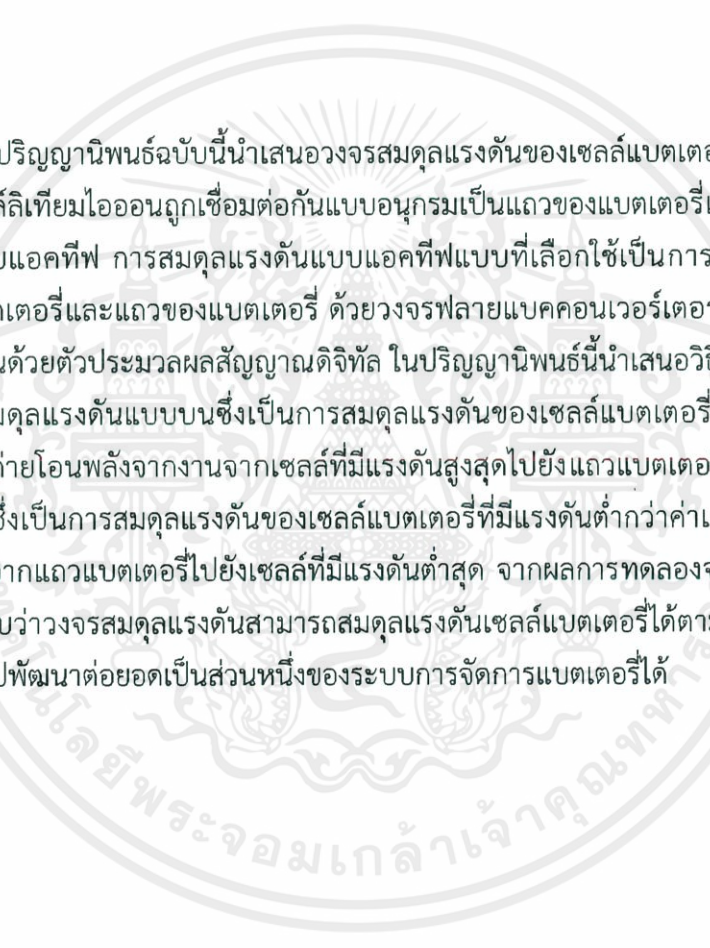
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## วงจรสมมูลแรงดันสำหรับแบตเตอรี่ยานยนต์ไฟฟ้า

นายจิรภัทร	ศุภกุลนิธิไพศาล
นายชวภูมิ	เซวงกุล
นายณภกฤษ	อายุวัฒน์
นายณัฐวุฒิ	วงศ์วันดี
ดร.สมภพ	ผลไม้ อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2561	

### บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอวงจรสมมูลแรงดันของเซลล์แบตเตอรี่ที่ใช้ในยานยนต์ไฟฟ้า ซึ่งเป็นเซลล์ลิเทียมไอออนถูกเชื่อมต่อกันแบบอนุกรมเป็นแถวของแบตเตอรี่และใช้รูปแบบการสมมูลแรงดันแบบแอคทีฟ การสมมูลแรงดันแบบแอคทีฟแบบที่เลือกใช้เป็นการถ่ายโอนพลังงานระหว่างเซลล์แบตเตอรี่และแถวของแบตเตอรี่ ด้วยวงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์สองทิศทาง และควบคุมการทำงานด้วยตัวประมวลผลสัญญาณดิจิทัล ในปริญญานิพนธ์นี้นำเสนอวิธีการสมมูลแรงดันสองวิธีคือ การสมมูลแรงดันแบบบนซึ่งเป็นการสมมูลแรงดันของเซลล์แบตเตอรี่ที่มีแรงดันสูงกว่าค่าเฉลี่ย โดยการถ่ายโอนพลังงานจากเซลล์ที่มีแรงดันสูงสุดไปยังแถวแบตเตอรี่ และ การสมมูลแรงดันแบบล่าง ซึ่งเป็นการสมมูลแรงดันของเซลล์แบตเตอรี่ที่มีแรงดันต่ำกว่าค่าเฉลี่ย โดยการถ่ายโอนพลังงานจากแถวแบตเตอรี่ไปยังเซลล์ที่มีแรงดันต่ำสุด จากผลการทดลองจากเครื่องต้นแบบจำนวน 4 เซลล์พบว่าวงจรสมมูลแรงดันสามารถสมมูลแรงดันเซลล์แบตเตอรี่ได้ตามค่าที่ออกแบบไว้ และสามารถนำไปพัฒนาต่อยอดเป็นส่วนหนึ่งของระบบการจัดการแบตเตอรี่ได้

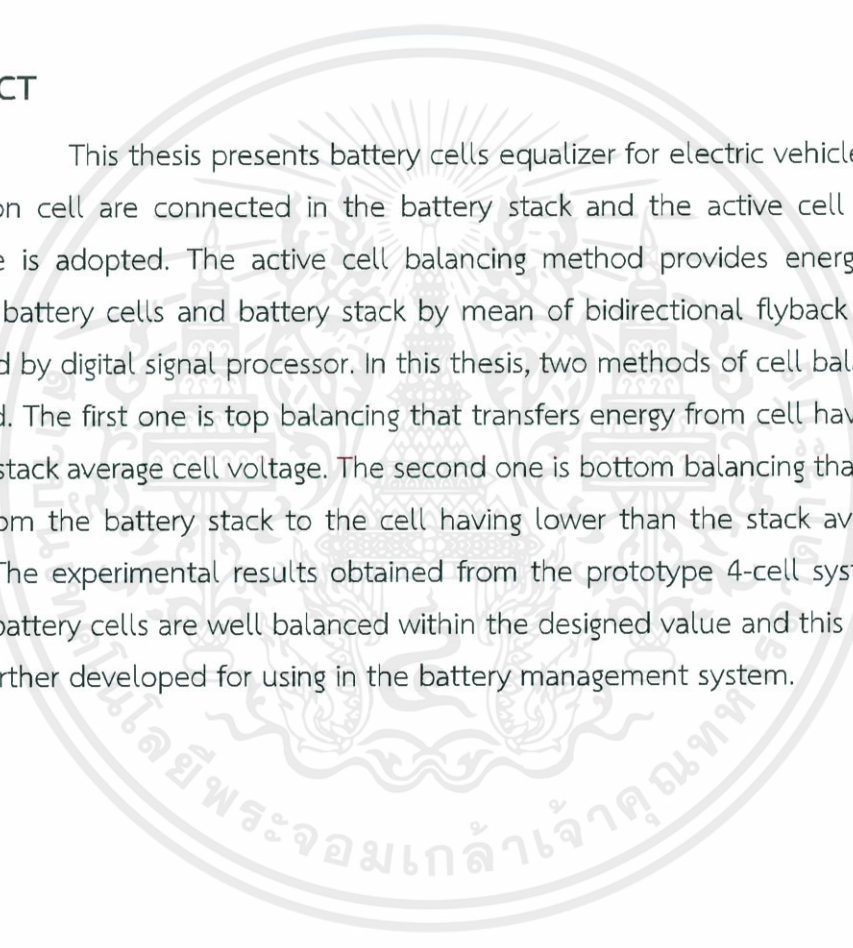


# EQUALIZER FOR EV BATTERY

JIRAPAT SUPAKULNITIPAISARN  
CHAWAPOOM CHAWENGKUL  
NAPAKRIT AYUWAT  
NATTAWUT WONGWANDEE  
Dr.Sompob Polmai Advisor  
2018

## ABSTRACT

This thesis presents battery cells equalizer for electric vehicle in which Lithium-ion cell are connected in the battery stack and the active cell balancing technique is adopted. The active cell balancing method provides energy transfer between battery cells and battery stack by mean of bidirectional flyback converter controlled by digital signal processor. In this thesis, two methods of cell balancing are presented. The first one is top balancing that transfers energy from cell having higher than the stack average cell voltage. The second one is bottom balancing that transfers energy from the battery stack to the cell having lower than the stack average cell voltage. The experimental results obtained from the prototype 4-cell system show that the battery cells are well balanced within the designed value and this prototype can be further developed for using in the battery management system.



## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ด้วยการช่วยเหลือจากหลายท่าน โดยเฉพาะอย่างยิ่งต้องขอขอบคุณ ดร. สมภพ ผลไม้ อาจารย์ที่ปรึกษาที่ได้กรุณาให้ข้อเสนอแนะและข้อคิดเห็นต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อโครงการมาด้วยดีตลอดและได้กรุณาตรวจแก้ไขปริญญาานิพนธ์จนสำเร็จเรียบร้อยเป็นอย่างดี ตลอดจนท่านอาจารย์ทุกท่านในสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ต่างๆให้กับผู้จัดทำโครงการ

ขอขอบคุณ คุณบุญยวีร์ ฉายศิริ ข้อเสนอแนะ แนวทาง และข้อคิดเห็นต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อโครงการมาด้วยดีตลอดและได้กรุณาตรวจแก้ไขปริญญาานิพนธ์จนสำเร็จเรียบร้อยเป็นอย่างดี ตลอดจนถึงเจ้าหน้าที่ประจำภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าทุกท่านที่ได้ให้เบิกใช้เครื่องมืออุปกรณ์ และแนะนำการใช้งาน ตลอดการทำโครงการ

ขอขอบคุณเพื่อนๆที่ร่วมห้องปฏิบัติการ PEARL ที่คอยช่วยเหลือให้คำปรึกษา คำแนะนำ ตลอดจนถึงให้กำลังใจมาโดยตลอดในการทำโครงการ

นอกจากนั้นผู้จัดทำต้องขอขอบคุณ บริษัท ไทยเมเดินชา จำกัด ที่ได้ให้ทุนสนับสนุนสำหรับการทำโครงการ

สุดท้ายนี้คณะผู้จัดทำ ขอกราบขอบพระคุณ บิดามารดา และครอบครัวซึ่งให้การสนับสนุนในด้านการเงินและให้กำลังใจอีกทั้งเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ที่ให้ความช่วยเหลือในด้านการจัดหาอุปกรณ์ต่างๆ ในการทำโครงการครั้งนี้จนสำเร็จได้ด้วยดี จึงขอบคุณไว้ ณ ที่นี้ด้วย

คณะผู้จัดทำ

# สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ.....	I
ABSTRACT .....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญรูป .....	VII
สารบัญตาราง.....	X
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา .....	1
1.3 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย .....	1
1.4 ขอบเขตการวิจัย .....	1
1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย .....	2
1.6 โครงสร้างปริญญานิพนธ์.....	2
1.7 แผนการดำเนินการ.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง .....	3
2.1 ระบบการจัดการแบตเตอรี่ .....	3
2.1.1 ระบบการจัดการแบตเตอรี่.....	3
2.1.2 การตรวจสอบสถานะต่างๆของแบตเตอรี่.....	3
2.2 การสมดุลแรงดันเซลล์แบตเตอรี่.....	4
2.3 รูปแบบวงจรสมดุลแรงดันเซลล์แบตเตอรี่ .....	4
2.3.1 การสมดุลแบบพาสซีฟ .....	5
2.3.2 การสมดุลแบบแอคทีฟ .....	5
2.4 วงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์.....	6
2.4.1 หลักการทำงานของวงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์.....	7
2.4.2 โหมดการทำงานของวงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์.....	9
2.4.2.1 กรณีโหมดกระแสต่อเนื่อง .....	10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

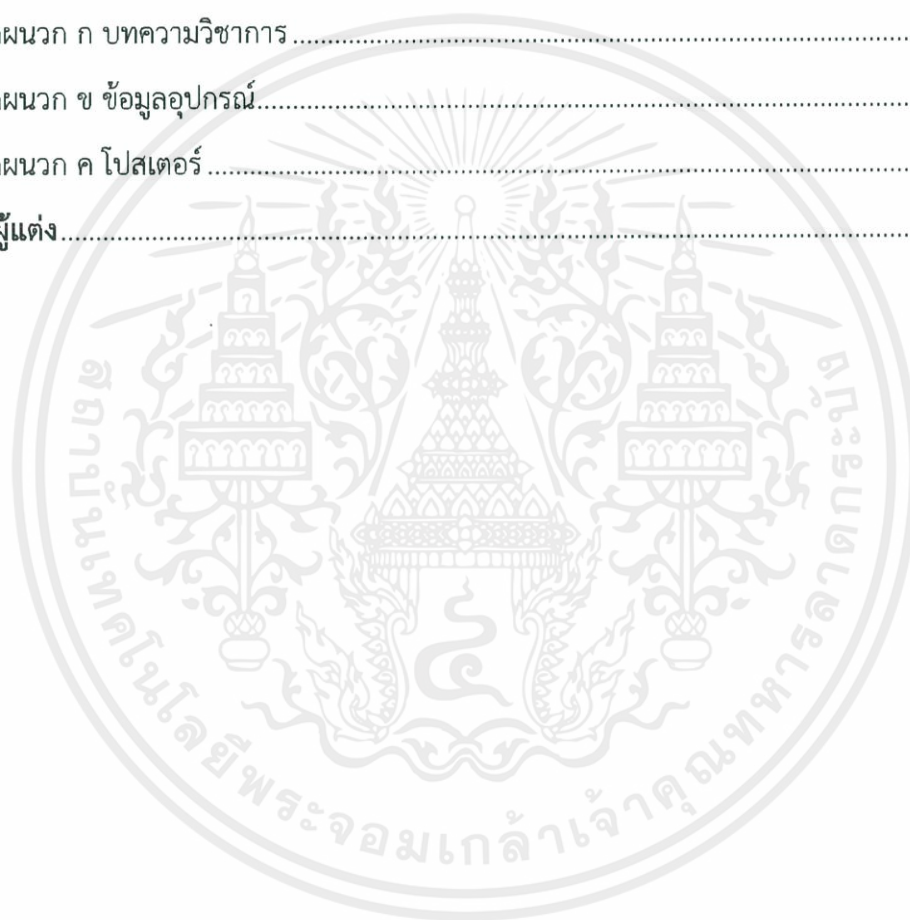
## สารบัญ(ต่อ)

2.4.2.2	กรณีโหมดกระแสไม่ต่อเนื่อง .....	16
2.5	การปรับสมดุลเซลล์แบตเตอรี่.....	17
2.5.1	การสมดุลเซลล์แบตเตอรี่แบบล่าง .....	17
2.5.2	การสมดุลเซลล์แบตเตอรี่แบบบน .....	18
<b>บทที่ 3</b>	<b>การออกแบบและสร้างวงจรสมดุลแรงดันของเซลล์แบตเตอรี่ .....</b>	<b>20</b>
3.1	วงจรกำลัง.....	21
3.1.1	การออกแบบและสร้างหม้อแปลงฟลายแบค .....	21
3.1.2	การเลือกมอสเฟต.....	33
3.1.2.1	มอสเฟตฝั่งแฉวแบตเตอรี่ .....	33
3.1.2.2	มอสเฟตฝั่งเซลล์แบตเตอรี่ .....	34
3.1.2.3	มอสเฟตสำหรับ cell switches และ polarity switches.....	35
3.1.3	วงจรขับมอสเฟต .....	36
3.1.3.1	วงจรขับมอสเฟตฝั่งแฉวแบตเตอรี่ .....	36
3.1.3.2	วงจรขับมอสเฟตเซลล์แบตเตอรี่.....	37
3.1.3.3	วงจรขับมอสเฟตสำหรับ cell switches และ polarity switches .....	38
3.1.4	รางเซลล์แบตเตอรี่.....	40
3.2	วงจรตรวจวัดแรงดันของเซลล์แบตเตอรี่ .....	42
3.2.1	การออกแบบวงจรวัดสำหรับเซลล์แบตเตอรี่.....	43
3.2.2	การออกแบบวงจรวัดสำหรับแฉวแบตเตอรี่ .....	43
3.3	วงจรควบคุม .....	45
3.3.1	หลักการทำงานของโปรแกรมควบคุม .....	45
<b>บทที่ 4</b>	<b>การทดลองและผลการทดลอง .....</b>	<b>50</b>
4.1	การทดสอบการสมดุลแรงดันแบบบน .....	50
4.2	การทดสอบการสมดุลแรงดันแบบล่าง .....	54
4.3	การทดสอบวงจรสมดุลแรงดันแบตเตอรี่ .....	58
4.3.1	การวัดแรงดันเปรียบเทียบระหว่างก่อนและหลังสมดุลแรงดันแบตเตอรี่.....	58
4.3.2	การวัดแรงดันในขณะที่สมดุลแรงดัน .....	59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

## สารบัญ(ต่อ)

บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง .....	61
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	61
5.2 ปัญหาและแนวทางการแก้ไขปัญหา.....	61
5.3 ข้อเสนอแนะในการพัฒนางานวิจัย .....	61
บรรณานุกรม.....	62
ภาคผนวก.....	63
ภาคผนวก ก บทความวิชาการ .....	64
ภาคผนวก ข ข้อมูลอุปกรณ์.....	69
ภาคผนวก ค โปสเตอร์ .....	72
ประวัติผู้แต่ง.....	74



## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 โครงสร้างของระบบจัดการแบตเตอรี่.....	3
2.2 คุณลักษณะของการคายประจุของเซลล์ลิเทียมไอออน.....	4
2.3 ผังรูปแบบวงจรสมดุลงแรงดันเซลล์แบตเตอรี่.....	5
2.4 การสมดุลงแบบพาสซีฟ.....	5
2.5 การสมดุลงแบบแอคทีฟ.....	6
2.6 วงจรสมมุทของวงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์.....	6
2.7 วงจรพื้นฐานของฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์.....	7
2.8 ลักษณะการไหลของกระแสขณะสวิตช์ $Q_1$ นำกระแส.....	8
2.9 ลักษณะการไหลของกระแสขณะสวิตช์ $Q_1$ ไม่นำกระแส.....	8
2.10 กราฟลักษณะกระแสและแรงดันในวงจรขณะทำงาน.....	9
2.11 วงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ขณะนำกระแส.....	10
2.12 วงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ขณะไม่นำกระแส.....	11
2.13 สัญญาณของวงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ขณะไม่นำกระแส.....	15
2.14 ลักษณะกระแสไฟฟ้าไม่ต่อเนื่องของวงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์.....	17
2.15 การสมดุลงเซลล์แบตเตอรี่แบบล่าง.....	17
2.16 รูปคลื่นของการสมดุลงเซลล์แบตเตอรี่แบบล่าง.....	18
2.17 การสมดุลงเซลล์แบตเตอรี่แบบบน.....	19
2.18 รูปคลื่นของการสมดุลงเซลล์แบตเตอรี่แบบบน.....	19
3.1 แผนผังของวงจรสมดุลงแรงดันเซลล์แบตเตอรี่.....	20
3.2 วงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ขณะทำงานในโหมด สมดุลงแรงดันแบบล่าง.....	25
3.3 ผลการจำลอง สัญญาณเกต, กระแสฟุ้งแฉวแบตเตอรี่ และ กระแสฟุ้งเซลล์แบตเตอรี่ ตามลำดับ.....	25
3.4 วงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ขณะทำงานในโหมด สมดุลงแรงดันแบบบน.....	26
3.5 ผลการจำลอง สัญญาณเกต, กระแสฟุ้งเซลล์แบตเตอรี่ และ กระแสฟุ้งแฉวแบตเตอรี่ ตามลำดับ.....	26
3.6 หม้อแปลงฟลายแบค.....	28

3.7 ค่าความเหนี่ยวนำด้านแฉกแบตเตอรี่ ที่วัดจาก LCR Meter .....	29
3.8 ค่าความเหนี่ยวนำรั้วด้านแฉกแบตเตอรี่ ที่วัดจาก LCR Meter .....	29
3.9 ค่าความเหนี่ยวนำด้านเซลล์แบตเตอรี่ ที่วัดจาก LCR Meter .....	30
3.10 ค่าความเหนี่ยวนำรั้วด้านเซลล์แบตเตอรี่ ที่วัดจาก LCR Meter .....	30
3.11 วงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ขณะทำงานในโหมด สมดุลแรงดันแบบล่าง โดยใช้พารามิเตอร์ จริงของหม้อแปลงฟลายแบค .....	31
3.12 กระแสฝั่งเซลล์แบตเตอรี่ และ กระแสฝั่งแฉกแบตเตอรี่ ตามลำดับ .....	31
3.13 วงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ขณะทำงานในโหมด สมดุลแรงดันแบบบน โดยใช้พารามิเตอร์ จริงของหม้อแปลงฟลายแบค .....	32
3.14 กระแสฝั่งแฉกแบตเตอรี่ และ กระแสฝั่งเซลล์แบตเตอรี่ ตามลำดับ .....	32
3.15 ผลการจำลอง สัญญาณเกต, กระแสฝั่งแฉกแบตเตอรี่ และ แรงดันตกคร่อมมอสเฟต VDSฝั่งแฉก แบตเตอรี่ ตามลำดับ .....	33
3.16 มอสเฟตเบอร์ RSD200N05FRA ในวงจรจริง.....	34
3.17 ผลการจำลอง สัญญาณเกต, กระแสฝั่งเซลล์แบตเตอรี่ และ แรงดันตกคร่อมมอสเฟต VDSฝั่ง เซลล์แบตเตอรี่ ตามลำดับ .....	34
3.18 มอสเฟตเบอร์ RSD200N05FRA ในวงจรจริง.....	35
3.19 มอสเฟตเบอร์ FDS6680A ในวงจรจริง .....	35
3.20 วงจรขับมอสเฟตฝั่งแฉกแบตเตอรี่ .....	36
3.21 วงจรขับมอสเฟตฝั่งแฉกแบตเตอรี่ ในวงจรจริง .....	36
3.22 วงจรขับมอสเฟตฝั่งเซลล์แบตเตอรี่.....	37
3.23 วงจรขับมอสเฟตฝั่งเซลล์แบตเตอรี่ ในวงจรจริง .....	37
3.24 วงจรขับมอสเฟตสำหรับ cell switches และ polarity switches .....	38
3.25 วงจรขับมอสเฟตสำหรับ cell switches และ polarity switches ในวงจรจริง.....	39
3.26 Arduino UNO ที่ใช้จำลองเป็น EMB1499 .....	39
3.27 วงจรของรางเซลล์แบตเตอรี่.....	40
3.28 รางเซลล์แบตเตอรี่ .....	40
3.29 วงจรกำลัง.....	41
3.30 วงจรตรวจวัดแรงดันของเซลล์แบตเตอรี่.....	42
3.31 วงจรวัดแรงดันสำหรับเซลล์แบตเตอรี่ .....	43

3.32 วงจรวัดแรงดันสำหรับแอมป์แบบเตอร์รี.....	43
3.33 ผลการจำลองการออกแบบวงจรจากโปรแกรม PSIM.....	44
3.34 วงจรวัดแรงดันเซลล์แบบเตอร์รี ในวงจรจริง .....	44
3.35 ตัวประมวลผลสัญญาณดิจิทัล (DSP) รุ่น TMS320F28335 .....	45
3.36 ผังการทำงานของวงจรสมมูลแรงดัน.....	45
3.37 ผังการทำงานในส่วนคำนวณค่าพารามิเตอร์ .....	46
3.38 ผังการทำงานในส่วนตรวจสอบสถานะผิดปกติ .....	47
3.40 ตัวประมวลผลสัญญาณดิจิทัล และ หลอดไฟบอกสถานะ .....	48
3.42 วงจรสมมูลแรงดันเซลล์แบบเตอร์รี.....	49
4.1 กราฟการเปลี่ยนแปลงแรงดันของเซลล์แบบเตอร์รีขณะทำงานในโหมดสมมูลแบบบน.....	51
4.2 รูปคลื่นของกระแสฟุ้งเซลล์แบบเตอร์รีขณะทำงานในโหมดสมมูลแบบบนจากการจำลองบนโปรแกรม PSIM.....	52
4.3 รูปคลื่นของกระแสฟุ้งเซลล์แบบเตอร์รีขณะทำงานในโหมดสมมูลแบบบนในวงจรจริง.....	52
4.4 รูปคลื่นของกระแสฟุ้งแอมป์แบบเตอร์รีขณะทำงานในโหมดสมมูลแบบบนจากการจำลองบนโปรแกรม PSIM.....	53
4.5 รูปคลื่นของกระแสฟุ้งแอมป์แบบเตอร์รีขณะทำงานในโหมดสมมูลแบบบนในวงจรจริง .....	53
4.6 กราฟการเปลี่ยนแปลงแรงดันของเซลล์แบบเตอร์รีขณะทำงานในโหมดสมมูลแบบล่าง.....	55
4.7 รูปคลื่นของกระแสฟุ้งเซลล์แบบเตอร์รีขณะทำงานในโหมดสมมูลแบบบนจากการจำลองล่างโปรแกรม PSIM.....	56
4.8 รูปคลื่นของกระแสฟุ้งเซลล์แบบเตอร์รีขณะทำงานในโหมดสมมูลแบบล่างในวงจรจริง .....	56
4.9 รูปคลื่นของกระแสฟุ้งแอมป์แบบเตอร์รีขณะทำงานในโหมดสมมูลแบบบนจากการจำลองล่างโปรแกรม PSIM.....	57
4.10 รูปคลื่นของกระแสฟุ้งแอมป์แบบเตอร์รีขณะทำงานในโหมดสมมูลแบบล่างในวงจรจริง .....	57
4.11 วงจรสมมูลแรงดันเซลล์แบบเตอร์รี.....	58
4.12 แรงดันเซลล์แบบเตอร์รีขณะสมมูลแรงดัน .....	60
ข.1 DIGITAL MULTIMETER HIOKI รุ่น DT 4252.....	70
ข.2 ดิจิทัลออสซิลโลสโคป YOKOGAWA รุ่น DL1740E .....	70
ข.3 LCR METER HIOKI รุ่น IM 3536.....	71
ข.4 CLAMP ON AC/DC HITESTER HIOKI รุ่น 3287 .....	71

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 แรงดันของเซลล์แบตเตอรี่ขณะทำงานในโหมดสมดุลแบบบน.....	50
4.2 แรงดันของเซลล์แบตเตอรี่ขณะทำงานในโหมดสมดุลแบบล่าง.....	54
4.3 เปรียบเทียบแรงดันระหว่างก่อนและหลังสมดุลแรงดันแบตเตอรี่.....	58
4.4 แรงดันเซลล์แบตเตอรี่ขณะสมดุลแรงดัน.....	59



# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เนื่องจากในปัจจุบันยานยนต์ไฟฟ้ากำลังเป็นที่น่าสนใจเนื่องจากประสิทธิภาพการใช้พลังงานที่สูง ไม่ก่อเกิดมลพิษจึงเป็นตัวเลือกใหม่ที่จะมาแทนที่ยานยนต์ระบบใช้พลังงานน้ำมันเราจึงเห็นความสำคัญของยานยนต์ไฟฟ้าซึ่งยานยนต์ไฟฟ้ามีแหล่งพลังงานหลักคือแบตเตอรี่ ระบบแบตเตอรี่จึงเป็นระบบที่มีความสำคัญอย่างมากที่ควรจะต้องบำรุงรักษาให้อายุการใช้งานให้ได้ยาวนานที่สุดจึงได้ทำการศึกษาระบบการสมดุลเซลล์แบตเตอรี่ของแบตเตอรี่ยานยนต์ไฟฟ้าเพราะแบตเตอรี่ในรถไฟฟ้าจะมีการจัดเรียงเซลล์ย่อยเชื่อมต่อกันเป็นแบบอนุกรมซึ่งหากไม่มีการสมดุลเซลล์แรงดันเซลล์แบตเตอรี่จะทำให้เกิดปัญหาการชาร์จแรงดันเกิน (over charging) หรือคลายประจุจนมากเกินไป (deep discharge) หากมีการเกิดปัญหาดังกล่าวเพียงเซลล์เดียวจะทำให้แบตเตอรี่ชุดนั้นเกิดความเสียหายและไม่สามารถใช้งานได้ดังนั้นการสมดุลแรงดันเซลล์แบตเตอรี่จึงช่วยแก้ปัญหาทั้งสองที่กล่าวมาข้างต้นได้จะทำให้สามารถยืดอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ให้มีอายุที่ยาวนานขึ้นได้

วงจรที่เลือกใช้ในการสมดุลแรงดันเซลล์แบตเตอรี่คือวงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ (flyback converter) ในโหมดไม่ต่อเนื่อง (Discontinuous mode) เนื่องจากวงจรชนิดนี้มีการแยกกันของระบบสายดิน (ground) ทั้งฝั่งปฐมภูมิและทุติยภูมิ (isolate) เพราะหากเกิดปัญหาระหว่างการชาร์จจะไม่ทำให้ตัวแบตเตอรี่เกิดความเสียหายได้หากด้านปฐมภูมิจميعมีความผิดปกติเกิดขึ้นและหากเกิดปัญหาด้านทุติยภูมิก็จะไม่ทำให้เครื่องชาร์จเกิดความเสียหายได้เช่นกัน

### 1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้มุ่งหวังเพื่อศึกษาและนำเสนอ การออกแบบและสร้างวงจรสมดุลแรงดันเซลล์แบตเตอรี่

### 1.3 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการศึกษาวงจรสมดุลแรงดันเซลล์แบตเตอรี่ซึ่งเป็นวงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ (flyback converter) เพื่อใช้ในการสมดุลแรงดันเซลล์แบตเตอรี่ของยานยนต์ไฟฟ้าซึ่งเป็นแหล่งพลังงานของยานยนต์ไฟฟ้า

### 1.4 ขอบเขตการวิจัย

1.4.1 ศึกษาวงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ (flyback converter) เพื่อใช้ในการสมดุลแรงดันแบตเตอรี่

1.4.2 ศึกษาวิธีการสมดุลแรงดันแบตเตอรี่

1.4.3 ออกแบบวงจรในการสมดุลแรงดันแบตเตอรี่

1.4.4 ทดสอบการทำงานของอุปกรณ์สมดุลแรงดันเซลล์แบตเตอรี่

### 1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

- 1.5.1 เพื่อเข้าใจถึงความสำคัญของการสมดุลแรงดันเซลล์แบตเตอรี่
- 1.5.2 เพื่อสามารถออกแบบวงจรสมดุลแรงดันเซลล์แบตเตอรี่เพื่อนำไปใช้งานจริงได้
- 1.5.3 เพื่อควบคุมการทำงานของวงจรสมดุลแรงดันเซลล์แบตเตอรี่ได้

### 1.6 โครงสร้างปริญญานิพนธ์

โครงสร้างปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ได้แบ่งออกเป็น 5 บทคือ

บทที่ 1 กล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา วัตถุประสงค์ของการศึกษา ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย ขอบเขตการวิจัย ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

บทที่ 2 กล่าวถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการสมดุลเซลล์แรงดันแบตเตอรี่

บทที่ 3 กล่าวถึงการออกแบบและสร้างวงจรสมดุลแรงดันของเซลล์แบตเตอรี่

บทที่ 4 กล่าวถึงการทดลองและผลการทดลอง

บทที่ 5 กล่าวถึงสรุปข้อเสนอแนะ

### 1.7 แผนการดำเนินการ

ระยะเวลาในการดำเนินการ 9 เดือน ตั้งแต่เดือนสิงหาคม พ.ศ. 2561 ถึง เดือน พฤษภาคม พ.ศ.256

การดำเนินงาน	เดือน									
	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.
1.ศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย										
2.คำนวณ และออกแบบวงจรสมดุลแรงดันเซลล์แบตเตอรี่										
3.เขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานผ่านโปรแกรม										
4.สร้างแบบจำลองวงจรสมดุลแรงดันเซลล์แบตเตอรี่										
5.แก้ไขความผิดพลาดที่เกิดขึ้น										
6.สรุปผลการทำโครงการ										
7.จัดทำรูปเล่มปริญญานิพนธ์										



: ระยะเวลาแผนการดำเนินงานที่วางแผนไว้



: ระยะเวลาแผนการดำเนินงานที่ใช้จริง

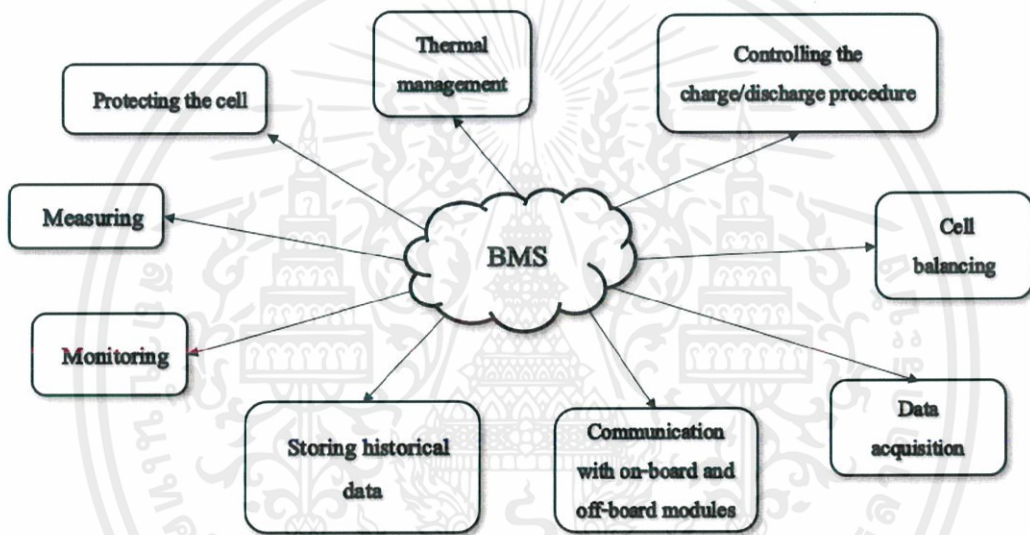
## บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง



### 2.1 ระบบการจัดการแบตเตอรี่

#### 2.1.1 ระบบการจัดการแบตเตอรี่

ระบบจัดการแบตเตอรี่ (BMS) คือระบบอิเล็กทรอนิกส์ที่จัดการแบตเตอรี่ที่สามารถชาร์จใหม่ได้ (เซลล์ หรือ แบตเตอรี่) เช่น การป้องกันแบตเตอรี่จากการทำงานเกินขอบเขตของช่วงที่มันทำงาน, การตรวจสอบสถานะต่างๆ, การคำนวณข้อมูลทุติยภูมิ, การรายงานข้อมูล, การควบคุมสภาพแวดล้อม, การทำให้แบตเตอรี่มีความน่าเชื่อถือและการทำให้แบตเตอรี่สมดุล [1]



รูปที่ 2.1 โครงสร้างของระบบจัดการแบตเตอรี่

#### 2.1.2 การตรวจสอบสถานะต่างๆของแบตเตอรี่

ระบบการจัดการแบตเตอรี่ (BMS) สามารถตรวจสอบสถานะต่างๆของแบตเตอรี่ได้ เช่น

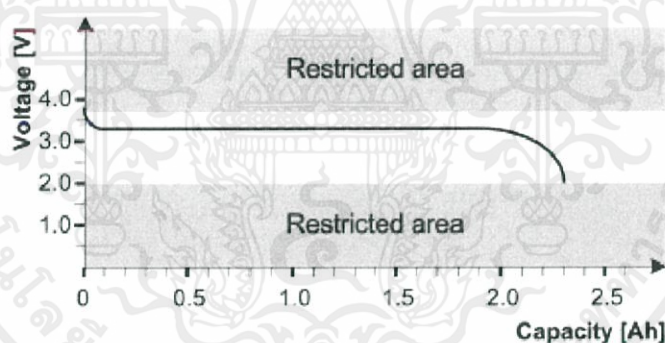
- แรงดันไฟฟ้า (Voltage): แรงดันไฟฟ้าทั้งหมด, แรงดันไฟฟ้าของเซลล์แต่ละเซลล์, แรงดันไฟฟ้าสูงสุดและต่ำสุด
- กระแสไฟฟ้า (Current): กระแสไฟฟ้าเข้าสู่แบตเตอรี่, กระแสไฟฟ้าออกจากแบตเตอรี่
- อุณหภูมิ (Temperature): อุณหภูมิโดยเฉลี่ย, อุณหภูมิขาเข้า, อุณหภูมิขาออก, อุณหภูมิของเซลล์แต่ละเซลล์
- State of charge (SOC) หรือ Depth of discharge (DOD): แสดงระดับของประจุแบตเตอรี่
- State of health (SOH): แสดงค่าประจุที่เหลืออยู่ของแบตเตอรี่ โดยจะแสดงเป็นเปอร์เซ็นต์จากค่าประจุทั้งหมด

- State of power (SOP): ปริมาณพลังงานที่สามารถใช้ได้สำหรับช่วงเวลาที่กำหนดโดยจะบอกเป็นพลังงานที่ใช้ในปัจจุบัน, อุณหภูมิ และเงื่อนไขอื่นๆ

โดยภายใน BMS จะทำงานในหลายๆ ส่วน เพื่อรักษาแบตเตอรี่ เช่น การวัดแรงดัน กระแสและ อุณหภูมิของระบบ, SoC, SoH, อายุการใช้งาน(RUL), ระบบจัดการอุณหภูมิ, ควบคุมการอัดประจุ และ คลายประจุ, แสดงข้อมูล บันทึกลง และ วิเคราะห์ข้อมูล, การสื่อสารระหว่างอุปกรณ์และระบบ และ ส่วนที่สำคัญที่สุดคือ การสมดุลแรงดันเซลล์แบตเตอรี่ [2]

## 2.2 การสมดุลแรงดันเซลล์แบตเตอรี่

ในอุตสาหกรรมยานยนต์ไฟฟ้าเซลล์ลิเทียมไอออน ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลาย โดยการนำมาใช้งานจะเป็นการนำเซลล์จำนวนหลายๆ เซลล์มาเชื่อมต่อกันแบบอนุกรม เพื่อเพิ่มแรงดันของเซลล์แบตเตอรี่ โดยเมื่อนำไปใช้งาน การวัดและแสดงผล SoC ของเซลล์แบตเตอรี่จะถูกวัดในลักษณะของเป็น SoC ของทั้งแถวแบตเตอรี่ ไม่ได้วัดเป็นค่าของแต่ละเซลล์ เนื่องจากแรงดัน และ ประจุของแต่ละเซลล์ที่ไม่ถูกทำให้สมดุล ทำให้เมื่อนำไปใช้งานเซลล์บางเซลล์จะถูกคายประจุเกินพิกัด ส่งผลให้อายุการใช้งานของแบตเตอรี่ลดลง ให้ทำนองเดียวกันขณะทำการอัดประจุหากไม่มีการสมดุลแรงดันเซลล์จะทำให้เซลล์บางเซลล์จะถูกอัดประจุเกินพิกัดทำให้อาจเกิดความเสียหายได้ โดยขอบเขตของแรงดันขณะอัดประจุ และ คลายประจุ สามารถดูได้จากกราฟคุณลักษณะการคายประจุ

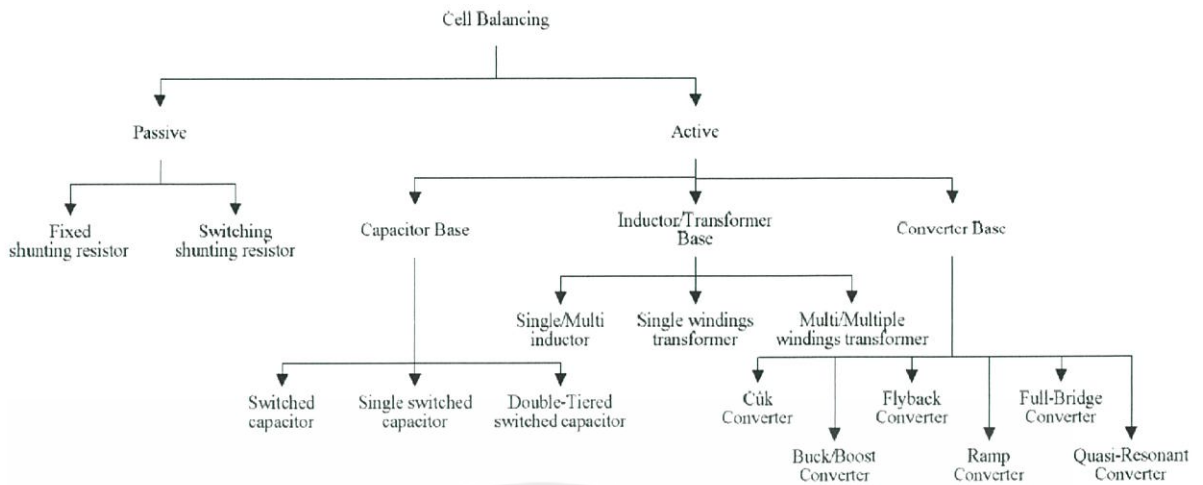


รูปที่ 2.2 คุณลักษณะของการคายประจุของเซลล์ลิเทียมไอออน [7]

## 2.3 รูปแบบวงจรสมดุลแรงดันเซลล์แบตเตอรี่

รูปแบบวงจรสมดุลแรงดันเซลล์แบตเตอรี่ สามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภทดังแสดงใน

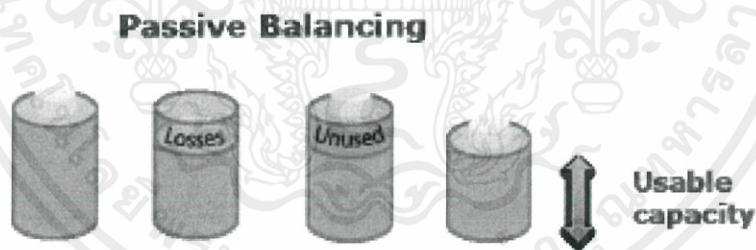
รูปที่ 2.3 [3]



รูปที่ 2.3 ผังรูปแบบวงจรสมดุลแรงดันเซลล์แบตเตอรี่ [2]

### 2.3.1 การสมดุลแบบพาสซีฟ

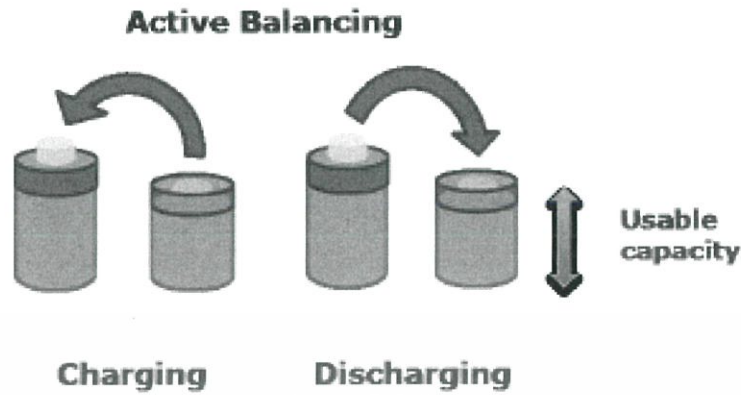
การสมดุลแบบพาสซีฟ เป็นการสมดุลประจุของเซลล์แบตเตอรี่โดยการคลายประจุของเซลล์ที่เกินออกจากเซลล์ผ่านตัวต้านทาน ในรูปของความร้อน การสมดุลแบบนี้จะไม่สามารถนำพลังงานที่เกินมาใช้งานได้ ทำให้เป็นการปล่อยพลังงานทิ้งไปอย่างสูญเปล่า แต่มีข้อดีคือรูปแบบวงจรที่ง่ายไม่ซับซ้อน และ ราคาถูก [2], [3]



รูปที่ 2.4 การสมดุลแบบพาสซีฟ [3]

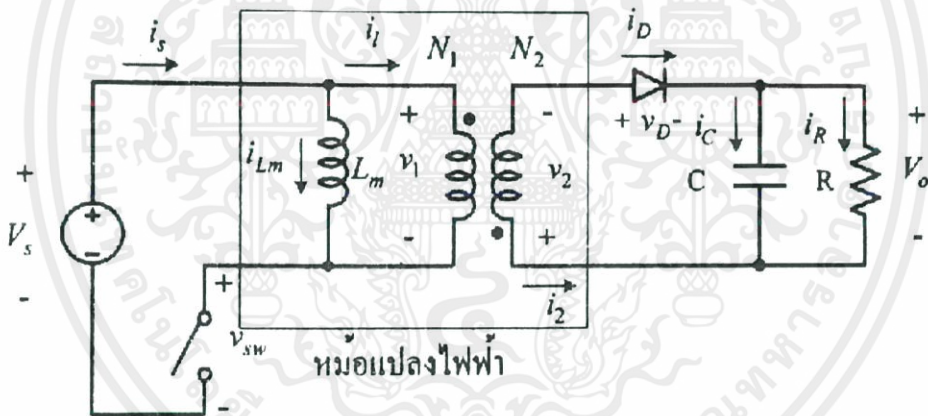
### 2.3.2 การสมดุลแบบแอคทีฟ

การสมดุลแบบแอคทีฟ เป็นการสมดุลประจุของเซลล์แบตเตอรี่โดยการถ่ายพลังงานระหว่างเซลล์เพื่อให้ประจุของแต่ละเซลล์มีค่าใกล้เคียงกัน โดยอาศัย ตัวเก็บประจุ หรือ ตัวเหนี่ยวนำ ในการเก็บพลังงาน และ ถ่ายพลังงาน ควบคุมทิศทางด้วยการเปิด-ปิดสวิตช์ ที่ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ ข้อดีของการสมดุลแบบแอคทีฟ คือมีประสิทธิภาพสูงกว่า เนื่องจากสามารถถ่ายโอนพลังงานได้ทำให้ไม่มีการปล่อยพลังงานทิ้งอย่างสูญเปล่า แต่จะมีรูปแบบวงจร และ การควบคุมที่ซับซ้อนกว่าแบบพาสซีฟ และ ราคาสูงกว่า



รูปที่ 2.5 การสมดุลแบบแอคทีฟ [3]

#### 2.4 วงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์



รูปที่ 2.6 วงจรสมมูลของวงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ [4]

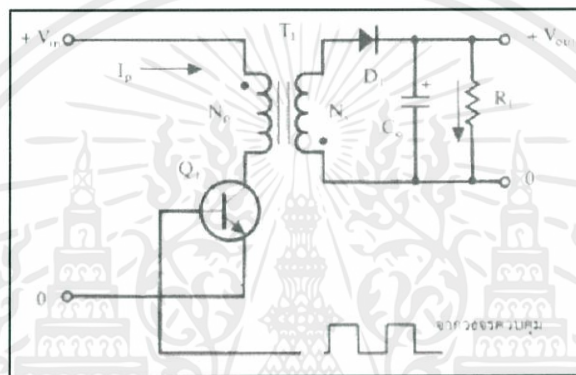
วงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์จัดอยู่ในประเภทการป้อนแบบแรงดันไฟฟ้า (Voltage fed) โดยรูปแบบของวงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ และวงจรสมมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์การทำงานของวงจร สามารถกำหนดเงื่อนไขของการวิเคราะห์ได้ดังนี้ [4]

- อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลังทั้งหมด เช่น สวิตช์และไดโอด จะถือว่าเป็นอุดมคติ
- วงจรสมมูลของหม้อแปลงไฟฟ้า จะถือว่าเป็นอุดมคติ คือ ไม่มีตัวเหนี่ยวนำรั่ว (leakage inductance) แต่จะมีค่าตัวเหนี่ยวนำทำแม่เหล็ก (magnetizing inductor :  $L_m$  ขนาดขึ้นอยู่กับขดลวดด้านปฐมภูมิ( $N_p$ ) เท่านั้น
- ตัวเก็บประจุตัวออกจะมีขนาดใหญ่มาก จนถือว่าเป็นแรงดันไฟฟ้าด้านออกของวงจรมีค่าคงที่

- พิจารณาวงจรขณะทำงานในสภาวะคงตัวเท่านั้น หมายถึง แรงดันและกระแสไฟฟ้าจะเป็นสัญญาณรายคาบ
- ค่าดิวตี้ไซเคิล (duty cycle) ของสวิตช์ D จะมีช่วงเวลาขณะนำกระแสเท่ากับ  $DT$  และมีช่วงช่วงเวลา ขณะไม่นำกระแสเท่ากับ  $(1-D)T$

#### 2.4.1 หลักการทำงานของวงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์

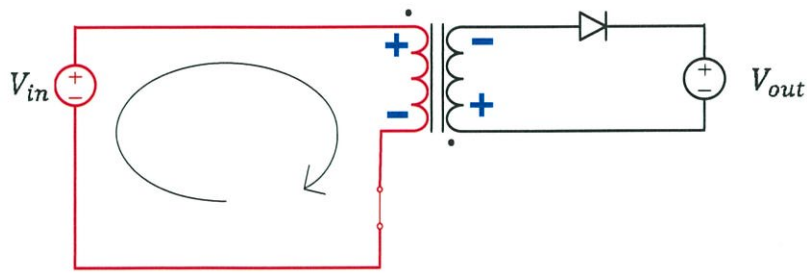
วงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์มีพื้นฐานมาจากวงจรบัก-บูสต์คอนเวอร์เตอร์ (Buck-boost converter) คือวงจรที่สามารถทำการลดหรือเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้าด้านขาออกให้ต่ำกว่าหรือสูงกว่าแรงดันไฟฟ้าด้านขาเข้า [5]



รูปที่ 2.7 วงจรพื้นฐานของฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ [5]

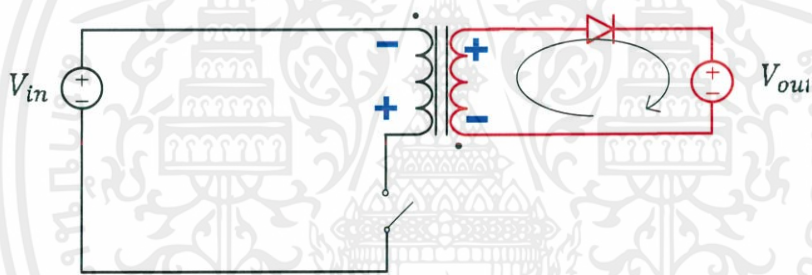
(ที่มา : [https://www.cpe.ku.ac.th/~yuen/204471/power/switching\\_regulator/converter.html](https://www.cpe.ku.ac.th/~yuen/204471/power/switching_regulator/converter.html))

จากรูปที่ 2.7 วงจรพื้นฐานของฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ มีหลักการทำงานดังนี้ เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์  $Q_1$  ในฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์จะทำงานในลักษณะเป็นสวิตช์ และจะนำกระแสตามคำสั่งของพัลส์สี่เหลี่ยมที่ป้อนให้ทางขาเบส เนื่องจากหม้อแปลง  $T_1$  จะกำหนดขดลวดปฐมภูมิและขดลวดทุติยภูมิให้มีลักษณะกลับเฟสกับอยู่ ดังนั้นเมื่อ  $Q_1$  นำกระแส ไดโอด  $D_1$  จึงอยู่ในลักษณะถูกไบแอสกลับและไม่นำกระแส จึงมีการสะสมพลังงานที่ขดลวดปฐมภูมิของหม้อแปลง  $T_1$  แทน [5]



รูปที่ 2.8 ลักษณะการไหลของกระแสขณะสวิตช์  $Q_1$  นำกระแส

เมื่อ  $Q_1$  หยุดนำกระแส สนามแม่เหล็ก  $T_1$  ยุบตัวทำให้เกิดการกลับขั้วแรงดันที่ขดลวดปฐมภูมิและขดลวดทุติยภูมิ  $D_1$  ก็จะอยู่ในลักษณะไบแอสตรง พลังงานที่สะสมในขดลวดปฐมภูมิของหม้อแปลงก็จะถูกถ่ายเทออกไปยังขดลวดทุติยภูมิ และมีกระแสไหลผ่านไดโอด  $D_1$  ไปยังตัวเก็บประจุเอาต์พุต  $C_o$  และไหลได้ ค่าของแรงดันที่เอาต์พุตของคอนเวอร์เตอร์จะขึ้นอยู่กับค่าความถี่การทำงานของ  $Q_1$  ช่วงเวลานำกระแสของ  $Q_1$  อัตราส่วนจำนวนรอบของหม้อแปลง และค่าของแรงดันที่อินพุต



รูปที่ 2.9 ลักษณะการไหลของกระแสขณะสวิตช์  $Q_1$  ไม่นำกระแส

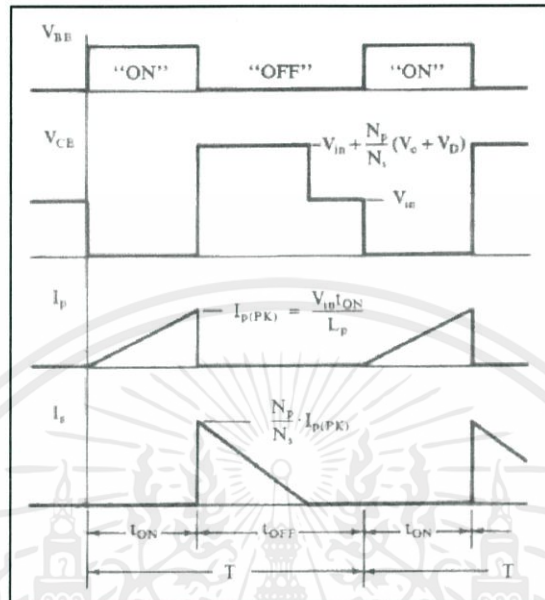
เมื่อวงจรทำงานอยู่ในสภาวะคงที่ ค่าแรงดันเอาต์พุตที่ได้จากคอนเวอร์เตอร์จะเป็นไปตามสมการ

$$V_{out} = \frac{t_{on} \times (N_s/N_p)(V_{in} - V_{CE(sat)})}{(T - t_{on})} - V_D$$

โดยที่

- T คือ คาบเวลาการทำงานของ  $Q_1$  มีหน่วยเป็นวินาที
- $t_{on}$  คือ ช่วงเวลา มีหน่วยเป็นวินาที
- $N_p$  คือ จำนวนรอบของขดลวดปฐมภูมิ
- $N_s$  คือ จำนวนรอบของขดลวดทุติยภูมิ
- $V_{out}$  คือ แรงดันที่เอาต์พุตของคอนเวอร์เตอร์ มีหน่วยเป็นโวลต์
- $V_{in}$  คือ แรงดันที่อินพุตของคอนเวอร์เตอร์ มีหน่วยเป็นโวลต์

$V_{CE(sat)}$  คือ แรงดันตกคร่อม  $Q_1$  ขณะนำกระแสที่จุดอิ่มตัว มีหน่วยเป็นโวลต์  
 $V_D$  คือ แรงดันตกคร่อม  $D_1$  ขณะนำกระแส มีหน่วยเป็นโวลต์



รูปที่ 2.10 กราฟลักษณะกระแสและแรงดันในวงจรขณะทำงาน

(ที่มา : [https://www.cpe.ku.ac.th/~yuen/204471/power/switching\\_regulator/converter.html](https://www.cpe.ku.ac.th/~yuen/204471/power/switching_regulator/converter.html))

ฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์มีโครงสร้างของวงจรไม่ซับซ้อน นิยมในงานที่ต้องการกำลังไฟฟ้าด้านออกต่ำๆ โดยอยู่ในช่วงไม่เกิน 150W อุปกรณ์น้อยและมีราคาถูก ข้อเสียคือจะมีแกนแม่เหล็กของหม้อแปลงไฟฟ้าจะต้องมีขนาดใหญ่เพียงพอที่จะรองรับกำลังไฟฟ้าด้านออกที่เพิ่มขึ้นได้ แรงดันไฟฟ้าตกคร่อมสวิตช์ของวงจรฟลายแบคยังมีค่าสูง

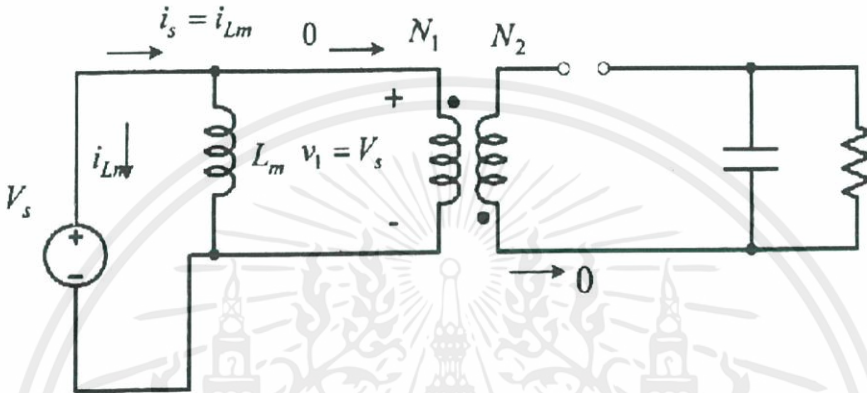
#### 2.4.2 โหมดการทำงาน of วงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์

หม้อแปลงไฟฟ้าของวงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์จะทำหน้าที่เสมือนตัวเหนี่ยวนำ นอกจากทำหน้าที่หลักเป็นหม้อแปลงไฟฟ้า โครงสร้างของหม้อแปลงไฟฟ้าในวงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์จะสะสมพลังงานในช่วงเวลา  $DT_s$  เมื่อสวิตช์นำกระแส และจะถ่ายเทพลังงานไปยังโหลดขณะที่สวิตช์ไม่นำกระแสในช่วงเวลา  $D'T_s$  ทำให้สามารถแบ่งโหมดการทำงานได้ 2 รูปแบบ คือ โหมดการนำกระแสแบบต่อเนื่อง (Continuous Conduction Mode : CCM) และโหมดการนำกระแสแบบไม่ต่อเนื่อง (Discontinuous Conduction Mode : DCM) [5]

### 2.4.2.1 กรณีโหมตกระแสต่อเนื่อง

การทำงานในโหมตการนำกระแสแบบต่อเนื่อง คือ กระแสในตัวเหนี่ยวนำของหม้อแปลงฟลายแบคมีค่ามากกว่าศูนย์ในแต่ละคาบเวลาการสวิตช์ เนื่องจากพลังงานที่สะสมในขดลวดปฐมภูมิยังคงเหลืออยู่ในขดลวดก่อนที่จะเริ่มการทำงานรอบใหม่ [4], [5]

#### 2.4.2.1.1 การวิเคราะห์กรณีสวิตช์นำกระแส



รูปที่ 2.11 วงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ขณะนำกระแส [4]

- พิจารณาต้านเข้าของหม้อแปลง

$$v_i = V_s = L_m \frac{di_{Lm}}{dt} \quad (2.1)$$

$$\frac{di_{Lm}}{dt} = \frac{\Delta i_{Lm}}{\Delta t} = \frac{\Delta i_{Lm}}{DT} = \frac{V_s}{L_m} \quad (2.2)$$

- การเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำทำแม่เหล็กของหม้อแปลงไฟฟ้าจะเท่ากับ

$$(\Delta i_{Lm})_{closed} = \frac{V_s DT}{L_m} \quad (2.3)$$

- พิจารณาด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงไฟฟ้า

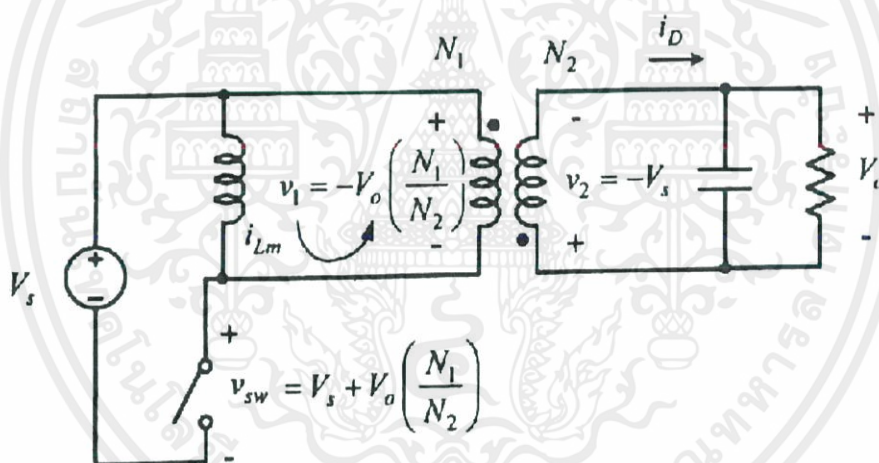
$$v_2 = v_1 \left( \frac{N_2}{N_1} \right) = V_s \left( \frac{N_2}{N_1} \right) \quad (2.4)$$

$$v_D = -V_o - V_s \left( \frac{N_2}{N_1} \right) < 0 \quad (2.5)$$

$$i_2 = 0, i_1 = 0 \quad (2.6)$$

พิจารณาด้านทฤษฎีของหม้อแปลงไฟฟ้า เนื่องจากไดโอดไม่นำกระแส (ช่วงเวลาที่สวิตช์ ON) เป็นผลทำให้กระแสไฟฟ้าด้านทฤษฎีของหม้อแปลงไฟฟ้า ( $i_2$ ) มีค่าเป็นศูนย์ซึ่งหมายถึงกระแสไฟฟ้าด้านปฐมภูมิของหม้อแปลงไฟฟ้า ( $i_1$ ) ก็จะมีค่าเท่ากับศูนย์

#### 2.4.2.1.2 การวิเคราะห์กรณีสวิตช์ไม่นำกระแส



รูปที่ 2.12 วงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ขณะไม่นำกระแส [4]

เมื่ออยู่ในช่วงที่สวิตช์ไม่นำกระแสไฟฟ้า จะพบว่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลตัวเหนี่ยวนำทำแม่เหล็กจะไม่สามารถเปลี่ยนแปลงอย่างทันทีทันใดได้ ทำให้มีกระแสไหลผ่านขดปฐมภูมิของหม้อแปลงไฟฟ้าอยู่ โดยนำกระแสไฟฟ้า ( $i_{Lm}$ ) จะไหลเข้าจุดที่ไม่มีขีด (undotted) ด้านขดลวดปฐมภูมิและกระแสไฟฟ้าด้านทฤษฎีจะไหลออกจากจุดที่ไม่มีขีดและแรงดันไฟฟ้าจะเป็นบวก ณ จุดที่ไม่มีขีดเช่นกัน ซึ่งทำให้ไดโอดได้รับการไบอัสตรงและเกิดการนำกระแส แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงด้านออกมีค่าคงที่เท่ากับ  $V_o$  ทำให้เกิดแรงดันเหนี่ยวนำย้อนกลับที่เกิดจากตัวเหนี่ยวนำ  $L_m$  ด้านขดลวดปฐมภูมิเท่ากับ  $-V_o$  ซึ่งมีค่าเท่ากับ

$$v_1 = -V_o \left( \frac{N_1}{N_2} \right) \quad (2.7)$$

แรงดันและกระแสไฟฟ้าขณะสวิตช์ไม่นำกระแสจะมีค่าเท่ากับ

$$v_2 = -V_o \quad (2.8)$$

$$v_1 = v_2 \left( \frac{N_1}{N_2} \right) = -V_o \left( \frac{N_1}{N_2} \right)$$

$$L_m \frac{di_{Lm}}{dt} = v_1 = -V_o \left( \frac{N_1}{N_2} \right)$$

$$\frac{di_{Lm}}{dt} = \frac{\Delta i_{Lm}}{\Delta t} = \frac{\Delta i_{Lm}}{(1-D)T} = -\frac{V_o}{L_m} \cdot \frac{N_1}{N_2} \quad (2.9)$$

การเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำทำแม่เหล็กของหม้อแปลง  
ไฟฟ้าจะเท่ากับ

$$(\Delta i_{Lm})_{opened} = \frac{-V_o(1-D)T}{L_m} \cdot \frac{N_1}{N_2} \quad (2.10)$$

เนื่องจากกระแสไฟฟ้าเฉลี่ยที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ  $L_m$  จะต้องมีค่าเท่าศูนย์ ดังนั้น  
จะได้

$$(\Delta i_{Lm})_{closed} + (\Delta i_{Lm})_{opened} = 0$$

$$\left( \frac{V_s DT}{L_m} \right) - \left( \frac{V_o(1-D)T}{L_m} \cdot \frac{N_1}{N_2} \right) = 0$$

จะได้ค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงด้านออกเท่ากับ

$$V_o = V_s \cdot \frac{D}{1-D} \cdot \frac{N_1}{N_2} \quad (2.11)$$

สำหรับค่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านไดโอดด้านออก ตัวเก็บประจุด้านออก และ แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมสวิตช์จะสามารถหาได้ดังสมการต่อไปนี้

$$i_D = -i_1 \left( \frac{N_1}{N_2} \right) = i_{Lm} \left( \frac{N_1}{N_2} \right) \quad (2.12)$$

$$v_{sw} = V_s - v_1 = V_s + V_o \left( \frac{N_1}{N_2} \right) \quad (2.13)$$

$$i_R = \frac{V_o}{R} \quad (2.14)$$

$$i_c = i_D - i_R = i_{Lm} \left( \frac{N_1}{N_2} \right) - \frac{V_o}{R} \quad (2.15)$$

จากแหล่งจ่าย ในอุดมคติ ค่ากำลังไฟฟ้าที่โหลดตัวต้านทานจะต้องมีค่าเท่ากับกำลังไฟฟ้าที่ป้อน

$$P_s = P_o \quad (2.16)$$

หรือ

$$V_s I_s = \frac{V_o^2}{R} \quad (2.17)$$

ค่ากระแสไฟฟ้าด้านเข้าเฉลี่ย ( $I_s$ ) จะสัมพันธ์กับค่าแม่เหล็กเฉลี่ย  $I_{Lm}$  ดังนี้

$$I_s = \frac{(I_{Lm})DT}{T} = (I_{Lm})D \quad (2.18)$$

แทนค่าสมการ (2.18) ลงใน (2.17) เพื่อหาค่ากระแสไฟฟ้า  $I_{Lm}$

$$V_s I_{Lm} D = \frac{V_o^2}{R} \quad (2.19)$$

$$I_{Lm} = \frac{V_o^2}{V_s \cdot R \cdot D} \quad (2.20)$$

แทนค่าแรงดันไฟฟ้า  $V_o$  ในสมการ (2.11) ลงใน (2.20) จะได้

$$I_{Lm} = \frac{V_s D}{(1-D)^2 \cdot R} \cdot \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 = \frac{V_o}{(1-D)R} \cdot \left(\frac{N_2}{N_1}\right) \quad (2.21)$$

ค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุดและต่ำสุดที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ  $L_m$  จะสามารถหาได้จากสมการที่ (2.21) และ (2.3) มีค่าเท่ากับ

$$I_{Lm,max} = I_{Lm} + \frac{\Delta i_{Lm}}{2}$$

$$I_{Lm,max} = \frac{V_s D}{(1-D)^2 \cdot R} \cdot \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 + \frac{V_s D T}{2L_m} \quad (2.22)$$

$$I_{Lm,min} = I_{Lm} - \frac{\Delta i_{Lm}}{2}$$

$$I_{Lm,min} = \frac{V_s D}{(1-D)^2 \cdot R} \cdot \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 - \frac{V_s D T}{2L_m} \quad (2.23)$$

กรณีการทำงานในโหมดกระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำแบบต่อเนื่องจะต้องทำให้ค่ากระแสไฟฟ้า  $I_{Lm,min}$  ในสมการ (2.23) มีค่ามากกว่าศูนย์และที่ขอบเขตระหว่างโหมดนำกระแสแบบต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่องจะอยู่ที่เงื่อนไข

$$I_{Lm,min} = 0 \quad (2.24)$$

$$\frac{V_s D}{(1-D)^2 \cdot R} \cdot \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 = \frac{V_s D T}{2L_m} = \frac{V_s D}{2L_m f_s} \quad (2.25)$$

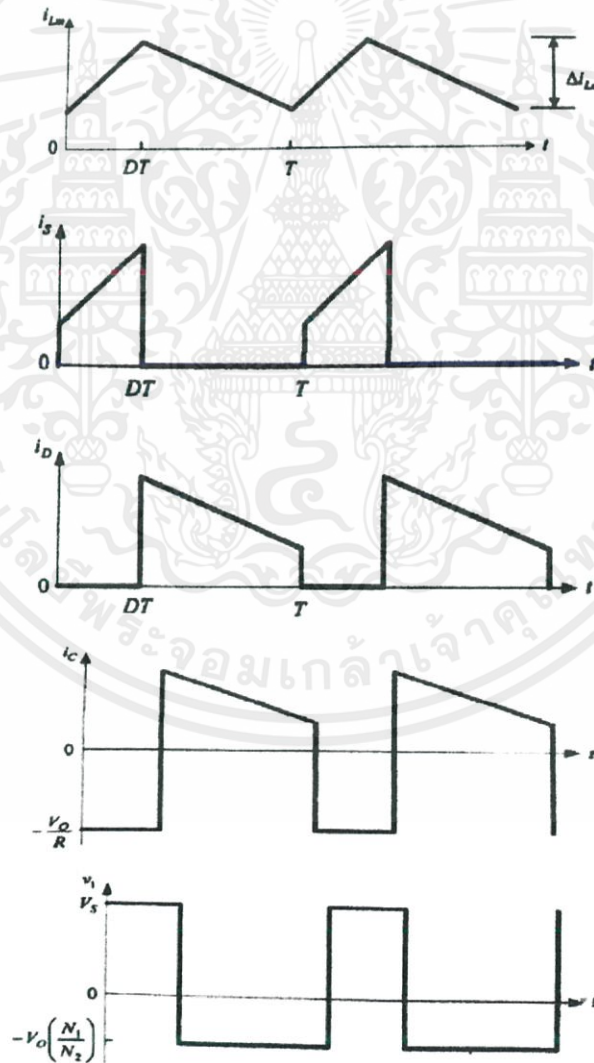
โดยที่  $f_s$  หมายถึง ความถี่สวิตซ์ซึ่ง

ค่าความเหนี่ยวนำทำแม่เหล็ก  $L_m$  ต่ำสุดที่ทำให้กระแสไฟฟ้ายังคงไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำอย่างต่อเนื่อง จะเท่ากับ

$$I_{Lm,min} = \frac{(1-D)^2 R}{2f_s} \cdot \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 \quad (2.26)$$

เนื่องจากโครงสร้างทางด้านออกของฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ จะเหมือนกับวงจรบีก-บูสต์ ดังนั้นค่าระลอกคลื่นด้านออกของวงจรทั้งสองจะมีค่าเท่ากัน ซึ่งมีค่าเท่ากับ

$$\frac{\Delta V_o}{V_o} = \frac{D}{R \cdot C \cdot f_s} \quad (2.27)$$



รูปที่ 2.13 สัญญาณของวงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ขณะไม่นำกระแส [4]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.4.2.2 กรณีโหมดกระแสไม่ต่อเนื่อง

กระแสไฟฟ้าไม่ต่อเนื่อง หมายถึง กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำทำแม่เหล็ก  $L_m$  มีค่าไม่ต่อเนื่อง โดยมีบางช่วงเวลาที่กระแสเป็นศูนย์

สำหรับวงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์โหมดกระแสไม่ต่อเนื่อง คือ การที่กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่าน  $L_m$  มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างเป็นเชิงเส้นเมื่อสวิตช์นำกระแส ซึ่งจะเหมือนกับกรณีโหมดกระแสต่อเนื่องอย่างไรก็ตาม กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านจะค่อยๆ ลดลงจนกระทั่งเป็นศูนย์เมื่อสวิตช์ไม่นำกระแส สมการกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน  $L_m$  ขณะที่สวิตช์นำกระแสจะมีค่าเท่ากับค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุด ซึ่งจะเหมือนกับสมการ (2.3) หรือ เท่ากับ

$$I_{Lm,max} = \frac{V_s DT}{L_m} \quad (2.28)$$

ค่าแรงดันไฟฟ้าด้านออกสามารถหาได้จากความสัมพันธ์ของกำลังไฟฟ้าในวงจร โดยถ้ากำหนดให้อุปกรณ์ทั้งหมดเป็นอุดมคติจะได้ ค่ากำลังไฟฟ้าด้านเข้าจะเท่ากับค่ากำลังไฟฟ้าด้านออก ดังนั้นจะได้

$$P_s = P_o$$

$$V_s I_s = \frac{V_o^2}{R} \quad (2.29)$$

ค่ากระแสไฟฟ้าด้านเข้าเฉลี่ย จะหมายถึงพื้นที่ของรูปคลื่นสามเหลี่ยมหารด้วยคาบเวลาสวิตซ์ซึ่ง จะได้

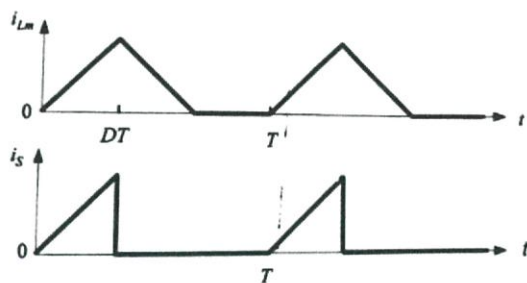
$$I_s = \left(\frac{1}{2}\right) \cdot \left(\frac{V_s DT}{L_m}\right) \cdot (DT) \cdot \left(\frac{1}{T}\right) = \frac{V_s D^2 T}{2L_m} \quad (2.30)$$

แทนค่าลงใน (2.29) จะได้

$$\frac{V_s D^2 T}{2L_m} = \frac{V_o^2}{R} \quad (2.31)$$

จะได้

$$V_o = V_s D \cdot \sqrt{\frac{RT}{2L_m}} = V_s \cdot D \cdot \sqrt{\frac{R}{2L_m f_s}} \quad (2.32)$$



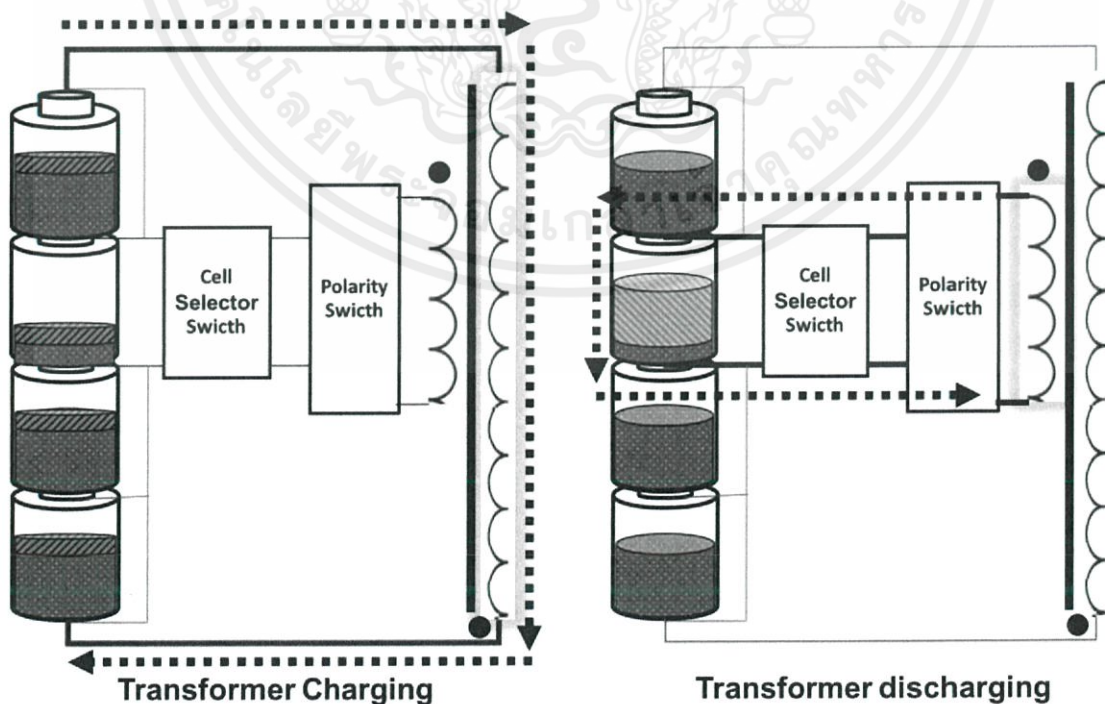
รูปที่ 2.14 ลักษณะกระแสไฟฟ้าไม่ต่อเนื่องของวงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ [4]

### 2.5 การปรับสมดุลเซลล์แบตเตอรี่

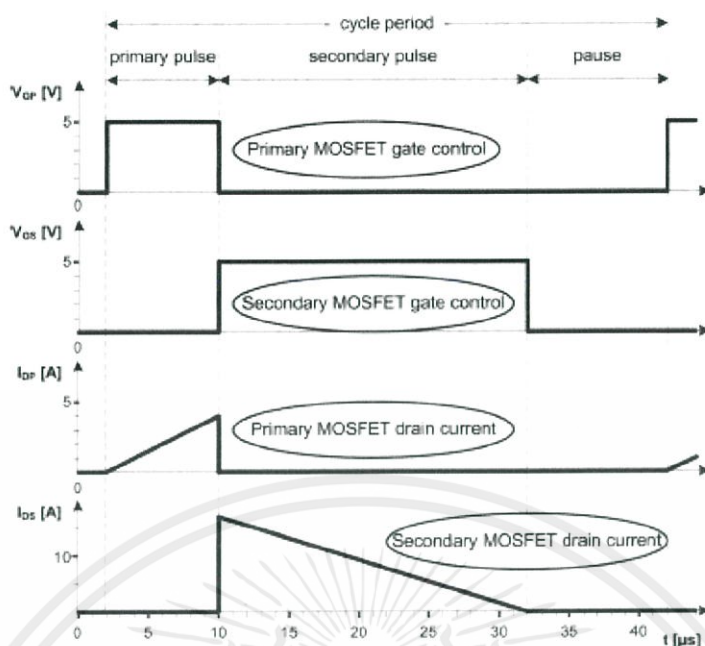
การใช้หม้อแปลงแบบ 2 ทิศทาง จะมีวิธีการปรับสมดุลแรงดันอยู่ 2 รูปแบบ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสถานการณ์ต่างๆ เช่น หลังจากมีการตรวจสอบเซลล์ของแรงดันแบตเตอรี่ แล้วนำไปคำนวณค่าเฉลี่ยแล้ว และนำไปเปรียบเทียบกับค่าที่มีความต่างจากค่าเฉลี่ยมากที่สุด หากต่ำกว่าค่าเฉลี่ยจะมีการสมดุลเซลล์แบบล่าง แต่ถ้าหากสูงกว่าค่าเฉลี่ยจะมีการสมดุลเซลล์แบบบน [6], [7]

#### 2.5.1 การสมดุลเซลล์แบตเตอรี่แบบล่าง

เป็นการสมดุลแรงดันเซลล์แบตเตอรี่จากแถวแบตเตอรี่ ไปยังเซลล์ที่มีแรงดันต่ำสุด จากตัวอย่างในรูปที่ 2.15 เป็นวิธีการสมดุลเซลล์แบบล่าง จากรูปเซลล์ที่ 2 เป็นเซลล์ที่มีค่าแรงดันต่ำที่สุด เมื่อสวิตช์ด้านปฐมภูมิถูกปิด หม้อแปลงจะถูกชาร์จจากแถวแบตเตอรี่หลังจากที่สวิตช์ด้านปฐมภูมิถูกเปิด พลังงานที่ถูกเก็บสะสมไว้ในหม้อแปลงจะถูกถ่ายโอนมายังเซลล์ที่ถูกเลือก (เซลล์ที่ 2) ในกรณีนี้จะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อสวิตช์ด้านทุติยภูมิต้องทำงานตรงกันข้ามกับสวิตช์ด้านปฐมภูมิ



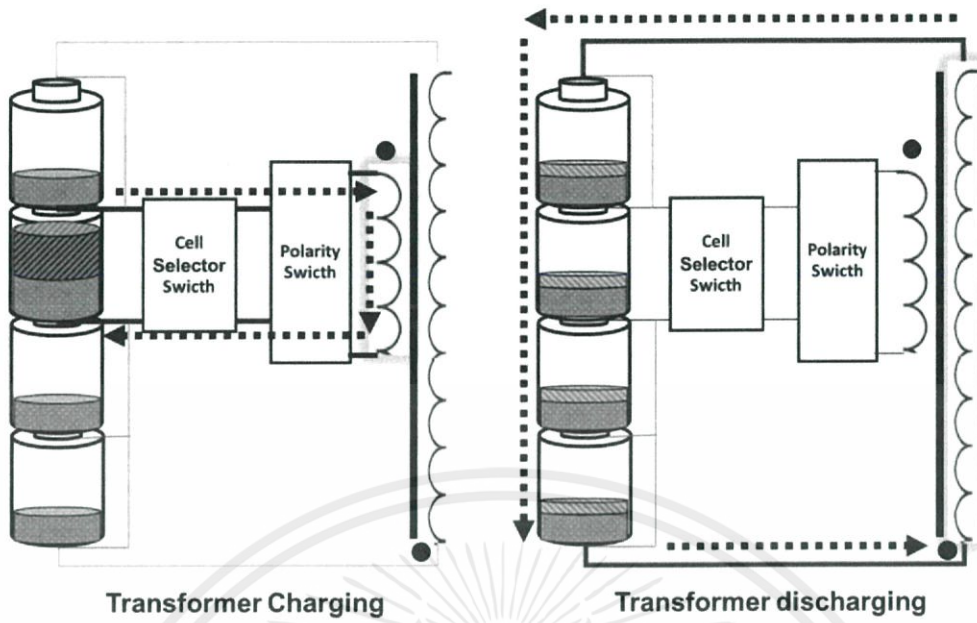
รูปที่ 2.15 การสมดุลเซลล์แบตเตอรี่แบบล่าง



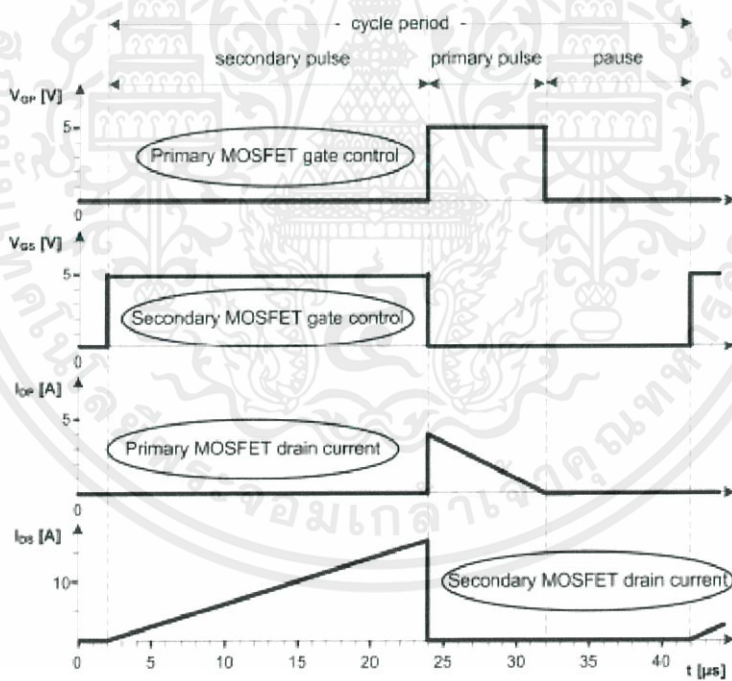
รูปที่ 2.16 รูปคลื่นของการสมดุลเซลล์แบตเตอรี่แบบล่าง [7]

### 2.5.2 การสมดุลเซลล์แบตเตอรี่แบบบน

เป็นการสมดุลแรงดันเซลล์แบตเตอรี่จากเซลล์ที่มีแรงดันสูงสุด ไปยัง แกวแบตเตอรี่ จากตัวอย่างในรูปที่ 2.17 ได้แสดงถึงวิธีการสมดุลเซลล์แบบบน จากรูปเซลล์ที่ 5 เป็นเซลล์ที่มีแรงดันสูงที่สุด เมื่อสวิตช์ปฐมภูมิที่ 5 ปิดวงจร กระแสจะไหลจากเซลล์แบตเตอรี่เข้าสู่หม้อแปลง หลังจากที่สวิตช์ปฐมภูมิที่ 5 เปิด สวิตช์ปฐมภูมิจะปิดวงจร หม้อแปลงจะทำหน้าที่ถ่ายพลังงานไหลเข้าสู่แอกแบตเตอรี่ด้านทุติยภูมิ



รูปที่ 2.17 การสมดุลงเซลล์แบตเตอรี่แบบบน

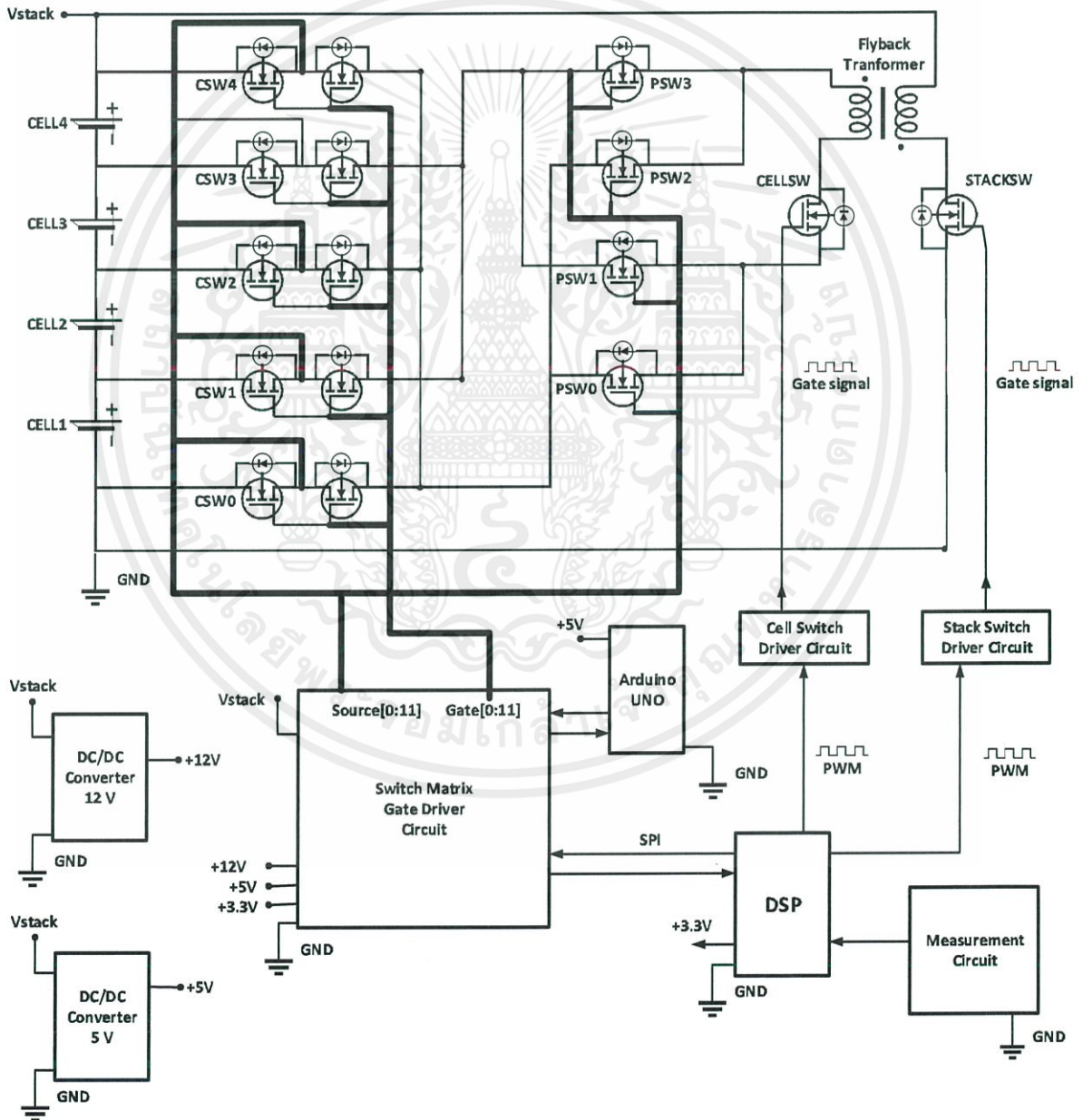


รูปที่ 2.18 รูปคลื่นของการสมดุลงเซลล์แบตเตอรี่แบบบน

### บทที่ 3

## การออกแบบและสร้างวงจรสมมูลแรงดันของเซลล์แบตเตอรี่

ในบทนี้จะกล่าวถึงการออกแบบและสร้างวงจรสมมูลแรงดันของเซลล์แบตเตอรี่ โดยคำนวณพารามิเตอร์ตามทฤษฎี และ จำลองการทำงานด้วยโปรแกรม Power Simulation (PSIM) เพื่อศึกษาผลตอบสนองและนำมาวิเคราะห์เพื่อออกแบบวงจรที่สามารถใช้งานจริงได้ โดยแผนผังของวงจรสมมูลแรงดันเซลล์แบตเตอรี่เป็นไปดัง รูปภาพที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แผนผังของวงจรสมมูลแรงดันเซลล์แบตเตอรี่

วงจรสมดุลงแรงดันเซลล์แบตเตอรี่ ประกอบด้วยวงจร 2 ส่วนคือ วงจรกำลัง และ วงจรควบคุม โดยในส่วนของวงจรกำลังจะทำหน้าจ่ายโวลต์งานเพื่อสมดุลงแรงดัน ซึ่งจะประกอบด้วย เซลล์แบตเตอรี่, ฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์, มอสเฟต, และ วงจรขับมอสเฟต โดยได้ออกแบบเพื่อรองรับเซลล์แบตเตอรี่จำนวน 4 เซลล์ และ ในส่วนของวงจรควบคุมจะทำหน้าที่ควบคุมการทำงานจากวงจรถูกสมดุลงแรงดัน จะประกอบไปด้วย ตัวประมวลผลสัญญาณดิจิทัล (DSP) และ วงจรวัดแรงดัน โดยมีขั้นตอนการออกแบบและสร้างวงจรดังนี้

### 3.1 วงจรกำลัง

ทำการออกแบบวงจรถูกสมดุลงแรงดันเซลล์แบตเตอรี่ โดยกำหนดให้ มีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

- ออกแบบเพื่อรองรับเซลล์ลิเทียมไอออนจำนวน 4 เซลล์
- ออกแบบโดยใช้ ฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ (Flyback Converter) ในโหมดกระแสไม่ต่อเนื่อง (discontinuous current mode)
- แรงดันเอาต์พุตฝั่งเซลล์แบตเตอรี่ ( $V_{cell}$ ) = 4.2 V
- กระแสเอาต์พุตฝั่งเซลล์แบตเตอรี่ ( $I_{cell}$ ) = 1 A
- แรงดันอินพุตฝั่งแกวแบตเตอรี่ ( $V_{stk}$ ) = 16.8 V (สำหรับ 4 เซลล์)
- ดิวตี้ไซเคิล ( $D$ ) = 0.5
- ความถี่สวิตซ์ซิ่ง ( $f_{sw}$ ) = 100 kHz
- ประสิทธิภาพมากกว่า 90 %

#### 3.1.1 การออกแบบและสร้างหม้อแปลงฟลายแบค

(ก) คำนวณกำลังไฟฟ้าเอาต์พุตฝั่งเซลล์แบตเตอรี่ ( $P_{ocell}$ )

$$P_{ocell} = V_{cell} \times I_{cell} = 4.2 \times 1 = 4.2 \text{ W} \quad (3.1)$$

(ข) คำนวณหาขนาดของแกนแม่เหล็ก

กำหนดให้  $J = 3 \text{ A/mm}^2$ ,  $K_w = 0.4$ ,  $B_m = 0.25 \text{ T}$

$$A_p = \frac{P_{ocell} \times \left( \frac{1}{\eta} \sqrt{\frac{4D}{3}} + \sqrt{\frac{4(1-D)}{3}} \right)}{J K_w B_m f_{sw}} \quad (3.2)$$

$$A_p = \frac{4.2 \times \left( \frac{1}{1} \sqrt{\frac{4 \times 0.5}{3}} + \sqrt{\frac{4(1-0.5)}{3}} \right)}{(3 \times 10^6) \times (0.4) \times (0.25) \times (100000)}$$

$$A_p = 2.2862 \times 10^{-10} \text{ m}^4$$

$$A_p = 228.62 \text{ mm}^4$$

เลือกใช้แกน Ferrite EE 25/13/7

$$A_p = 4780 \text{ mm}^4, A_w = 87 \text{ mm}^2, A_c = 55 \text{ mm}^2, A_e = 52.5 \text{ mm}^2$$

(ค) คำนวณค่ากระแสยอดฟิ่งแฉวแบตเตอรี ( $I_{stk(peak)}$ )

$$I_{stk(peak)} = \frac{2P_{o_{cell}}}{V_{stk} \times D \times \eta} \quad (3.3)$$

$$I_{stk(peak)} = \frac{2(4.2)}{16.8 \times 0.5 \times 1}$$

$$I_{stk(peak)} = 1 \text{ A}$$

(ง) คำนวณค่ากระแส rms ฟิ่งแฉวแบตเตอรี ( $I_{stk(rms)}$ )

$$I_{stk(rms)} = I_{stk(peak)} \sqrt{\frac{D}{3}} \quad (3.4)$$

$$I_{stk(rms)} = 1 \times \sqrt{\frac{0.5}{3}}$$

$$I_{stk(rms)} = 0.408 \text{ A}$$

(จ) คำนวณค่าความเหนี่ยวนำฟิ่งแฉวแบตเตอรี ( $L_{stk}$ )

$$L_{stk} = \frac{V_{stk} \times D}{I_{stk(peak)} \times f_{sw}} \quad (3.5)$$

$$L_{stk} = \frac{16.8 \times 0.5}{1 \times 100000}$$

$$L_{stk} = 84 \mu\text{H}$$

(ฉ) คำนวณจำนวนรอบขดลวดฟิ่งแฉวแบตเตอรี ( $N_{stk}$ )

$$L_{stk} = \frac{\mu_0 N_{stk}^2 A_e}{l_g} \quad (3.6)$$

$$N_{stk} = \sqrt{\frac{L_{stk} l_g}{\mu_0 A_e}} \quad (3.7)$$

$$N_{stk} = \sqrt{\frac{(84 \times 10^{-6}) \times (0.2 \times 10^{-3})}{(4\pi \times 10^{-7}) \times (0.525 \times 10^{-4})}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$N_{stk} = 15.96 \approx 16 \text{ turn}$$

(ข) คำนวณจำนวนรอบขดลวดฝั่งเซลล์แบตเตอรี่ ( $N_{cell}$ )

$$\frac{N_{stk}}{N_{cell}} = \frac{V_{stk}}{(V_{cell} + V_d)} \times \frac{D}{(1 - D)} \quad (3.8)$$

$$N_{cell} = N_{stk} \times \frac{(V_{cell} + V_d)}{V_{stk}} \times \frac{(1 - D)}{D} \quad (3.9)$$

$$N_{cell} = 16 \times \frac{(4.2)}{16.8} \times \frac{(1 - 0.5)}{0.5}$$

$$N_{cell} = 4 \text{ turn}$$

(ค) คำนวณค่าความเหนี่ยวนำฝั่งเซลล์แบตเตอรี่ ( $L_{cell}$ )

$$L_{cell} = \frac{\mu_0 N_{cell}^2 A_e}{l_g} \quad (3.10)$$

$$L_{cell} = \frac{(4\pi \times 10^{-7}) \times (4)^2 \times (0.525 \times 10^{-4})}{(0.2 \times 10^{-3})}$$

$$L_{cell} = 5.278 \mu H$$

(ง) คำนวณค่าพลังงานใน 1 pulse

$$W = V_{stk} \times \frac{I_{stk(peak)}}{2} \times \frac{D}{f_{sw}} \quad (3.11)$$

$$W = 16.8 \times \frac{1}{2} \times \frac{0.5}{100000}$$

$$W = 42 \mu J$$

(จ) คำนวณช่วงเวลาถ่ายพลังงาน

$$T_{off} = \sqrt{\frac{2W \times L_{cell}}{V_{cell}^2}} \quad (3.12)$$

$$T_{off} = \sqrt{\frac{2 \times (42 \times 10^{-6}) \times (5.278 \times 10^{-6})}{(4.2)^2}}$$

$$T_{off} = 5.0133 \mu s$$

(ง) คำนวณค่ากระแสยอดฟิงเซลล์แบตเตอรี่ ( $I_{cell(peak)}$ )

$$I_{cell(peak)} = \frac{V_{cell} \times T_{off}}{L_{cell}} \quad (3.13)$$

$$I_{cell(peak)} = \frac{(4.2) \times (5.0133 \times 10^{-6})}{(5.278 \times 10^{-6})}$$

$$I_{cell(peak)} = 3.989 \text{ A}$$

(จ) คำนวณค่ากระแส rms ฟิงเซลล์แบตเตอรี่ ( $I_{cell(rms)}$ )

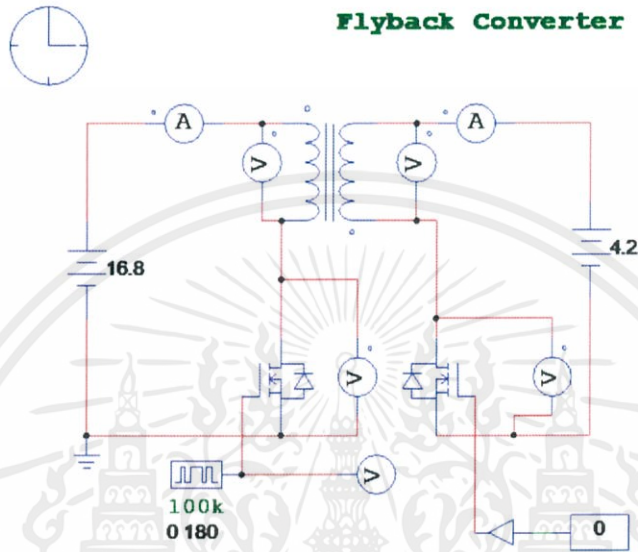
$$I_{cell(rms)} = I_{cell(peak)} \sqrt{\frac{D}{3}} \quad (3.14)$$

$$I_{cell(rms)} = 3.989 \times \sqrt{\frac{0.5}{3}}$$

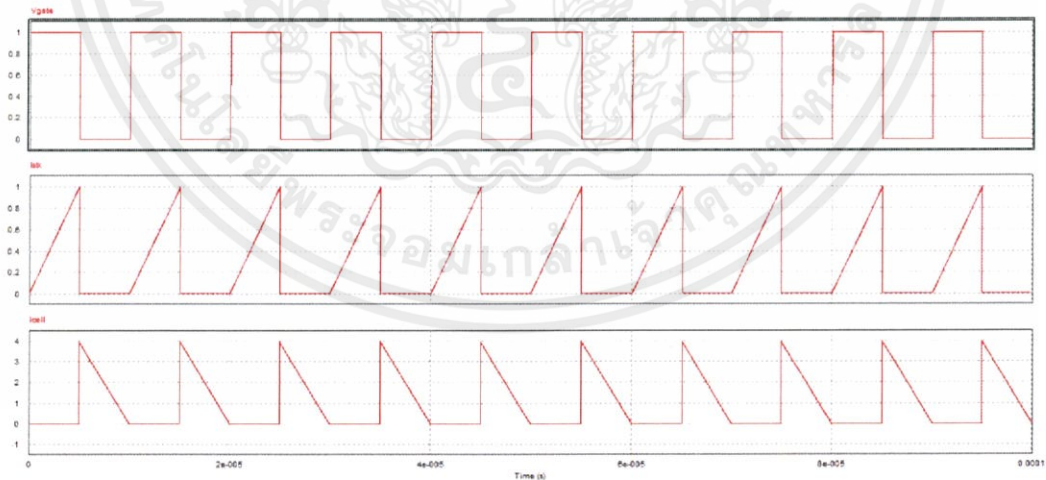
$$I_{cell(rms)} = 1.629 \text{ A}$$



จากนั้นนำค่าพารามิเตอร์ที่ได้ไปจำลองในโปรแกรม PSIM เพื่อผลการตอบสนอง และ เอาดัตหลุด เพื่อตรวจสอบว่าพารามิเตอร์ที่ได้ทำให้วงจรทำงานในโหมดกระแสไม่ต่อเนื่องหรือไม่ โดยวงจรที่ใช้จำลองผลเป็นวงจรในอุดมคติดังรูปที่ 3.2 เป็นการจำลองการทำงานของวงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ขณะทำงานในโหมดสมมูลแรงดันแบบล่าง

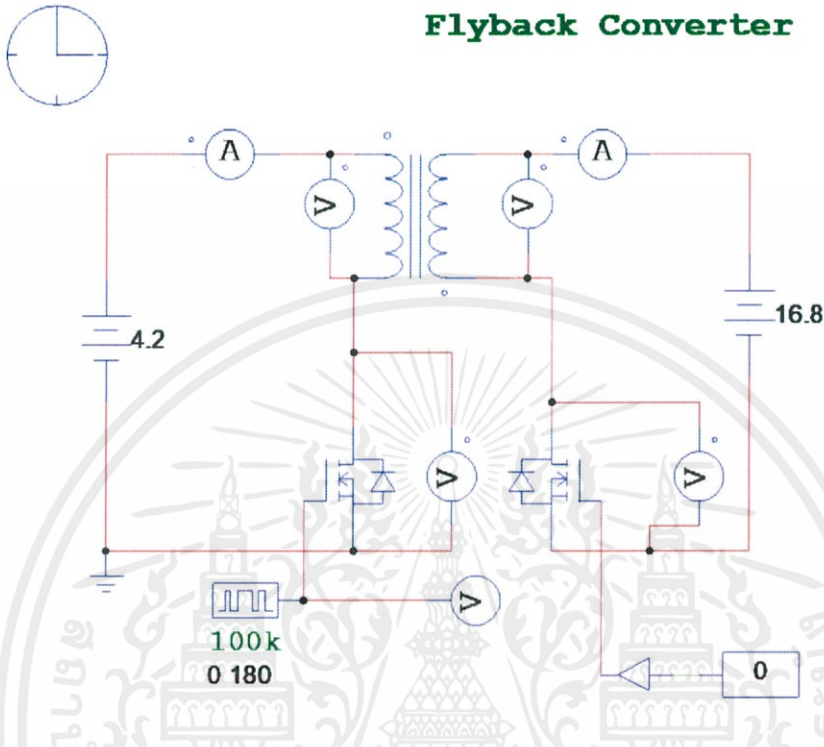


รูปที่ 3.2 วงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ขณะทำงานในโหมดสมมูลแรงดันแบบล่าง

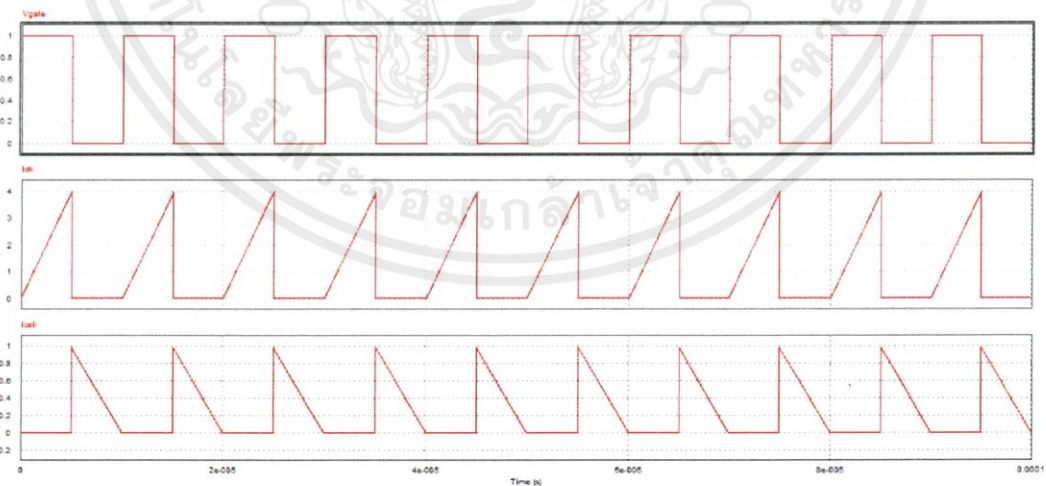


รูปที่ 3.3 ผลการจำลอง สัญญาณเกต, กระแสฝั่งแฉวแบตเตอรี่ และ กระแสฝั่งเซลล์แบตเตอรี่ ตามลำดับ

และในรูปที่ 3.4 เป็นการจำลองการทำงานของวงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ขณะทำงานในโหมดสมมูลแรงดันแบบบน



รูปที่ 3.4 วงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ขณะทำงานในโหมดสมมูลแรงดันแบบบน



รูปที่ 3.5 ผลการจำลอง สัญญาณเกต, กระแสฝั่งเซลล์แบตเตอรี่ และ กระแสฝั่งแฉวแบตเตอรี่ ตามลำดับ

จากผลการจำลองด้วยโปรแกรม PSIM โดยใช้พารามิเตอร์ที่ได้คำนวณมา ทั้งการทำงานในโหมดสมมูลแรงดันแบบบน และ สมมูลแรงดันแบบล่าง ฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ทำงานในโหมดกระแสไม่ต่อเนื่องตามที่ได้ออกแบบไว้ ขั้นตอนต่อไปคือการออกแบบหม้อแปลงฟลายแบคสำหรับใช้ในวงจรจริง จากการคำนวณในหัวข้อ 3.1.1 ได้ค่าพารามิเตอร์สำหรับออกแบบหม้อแปลงฟลายแบค ดังนี้

- กำลังไฟฟ้าเอาต์พุตฝั่งเซลล์ ( $P_{ocell}$ ) = 4.2 W
- ค่าความเหนี่ยวนำฝั่งแกวแบตเตอรี่ ( $L_{stk}$ ) = 84  $\mu$ H
- จำนวนรอบขดลวดฝั่งแกวแบตเตอรี่ ( $N_{stk}$ ) = 16 turn
- ค่ากระแสยอดฝั่งแกวแบตเตอรี่ ( $I_{stk(peak)}$ ) = 1 A
- คำนวนค่ากระแส rms ฝั่งแกวแบตเตอรี่ ( $I_{stk(rms)}$ ) = 0.408 A
- ค่าความเหนี่ยวนำฝั่งเซลล์แบตเตอรี่ ( $L_{cell}$ ) = 5.278  $\mu$ H
- จำนวนรอบขดลวดฝั่งเซลล์แบตเตอรี่ ( $N_{cell}$ ) = 4 turn
- ค่ากระแสยอดฝั่งเซลล์แบตเตอรี่ ( $I_{cell(peak)}$ ) = 3.989 A
- คำนวนค่ากระแส rms ฝั่งเซลล์แบตเตอรี่ ( $I_{cell(rms)}$ ) = 1.629 A

(ก) คำนวน Skin dept

$$\varepsilon = \frac{6.62}{\sqrt{f_{sw}}} \quad (3.15)$$

$$\varepsilon = \frac{6.62}{\sqrt{100000}}$$

$$\varepsilon = 0.0209 \text{ cm}$$

(ข) คำนวนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางสูงสุดของลวดตัวนำ

$$\text{Wire Diameter} = 2(\varepsilon) = 0.0418 \text{ cm} \quad (3.16)$$

ดังนั้น เลือกลวดตัวนำที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 0.0418 cm

เลือกใช้ ลวดตัวนำเบอร์ AWG 26 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.040386 cm

(ค) คำนวณการตีเกลียวของลวดตัวนำ

ขดลวดฟุ้งแฉกแบบเตอรี

$$S_{np} = \frac{I_{p(rms)}}{\text{Conductor Maximum amps for power transmission}} \quad (3.17)$$

$$I_{p(rms)} = 0.408 \text{ A}$$

$$\text{Conductor Maximum amps for power transmission} = 0.361 \text{ A}$$

$$S_{np} = \frac{0.408}{0.361}$$

$$S_{np} = 1.131 \approx 2$$

ดังนั้นเลือกการตีเกลียว 2 เส้น

ขดลวดฟุ้งเซลล์แบบเตอรี

$$S_{ns} = \frac{I_{s(rms)}}{\text{Conductor Maximum amps for power transmission}} \quad (3.18)$$

$$I_{s(rms)} = 1.629 \text{ A}$$

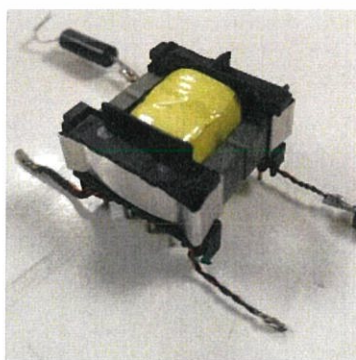
$$\text{Conductor Maximum amps for power transmission} = 0.361 \text{ A}$$

$$S_{np} = \frac{1.629}{0.361}$$

$$S_{np} = 4.511 \approx 5$$

ดังนั้นเลือกการตีเกลียว 5 เส้น

เมื่อคำนวณพารามิเตอร์เรียบร้อยแล้วก็ทำการสร้างหม้อแปลงฟลายแบค ตามค่าและวัสดุที่คำนวณไว้ จะได้หม้อแปลงฟลายแบคดังรูปที่ 3.6

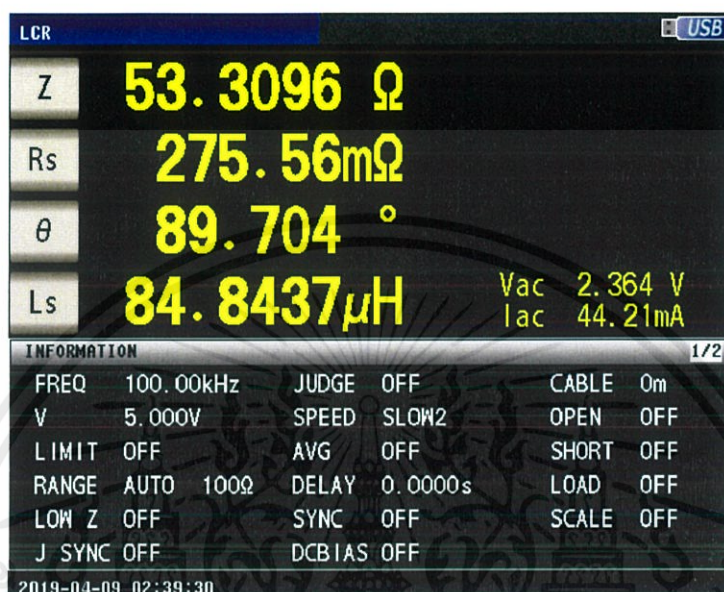


รูปที่ 3.6 หม้อแปลงฟลายแบค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

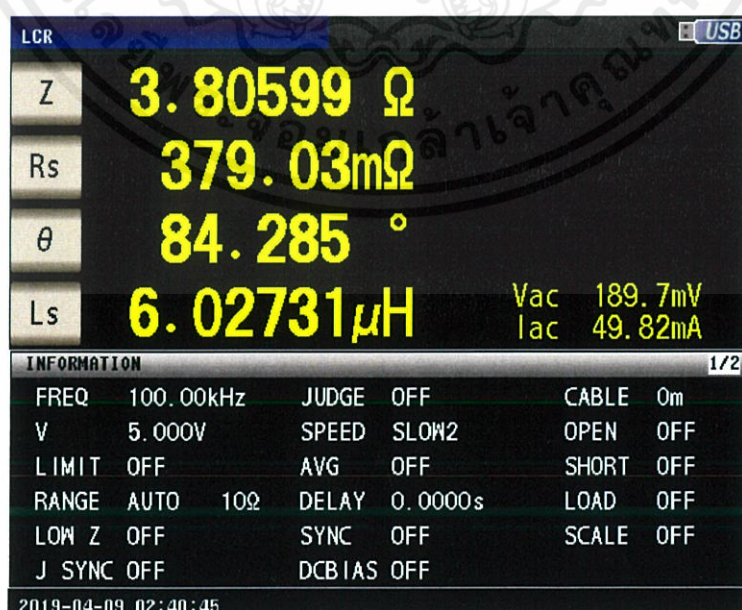
จากนั้นทำการวัดค่าความเหนี่ยวนำด้วยเครื่อง LCR meter เพื่อตรวจสอบว่าสร้างหม้อแปลงได้ค่าตามที่ต้องการหรือไม่ โดยได้ผลการวัดออกมาดังนี้

ค่าความเหนี่ยวนำด้านแกนเบตเตอรี่ ( $L_{stk}$ )



รูปที่ 3.7 ค่าความเหนี่ยวนำด้านแกนเบตเตอรี่ ที่วัดจาก LCR Meter

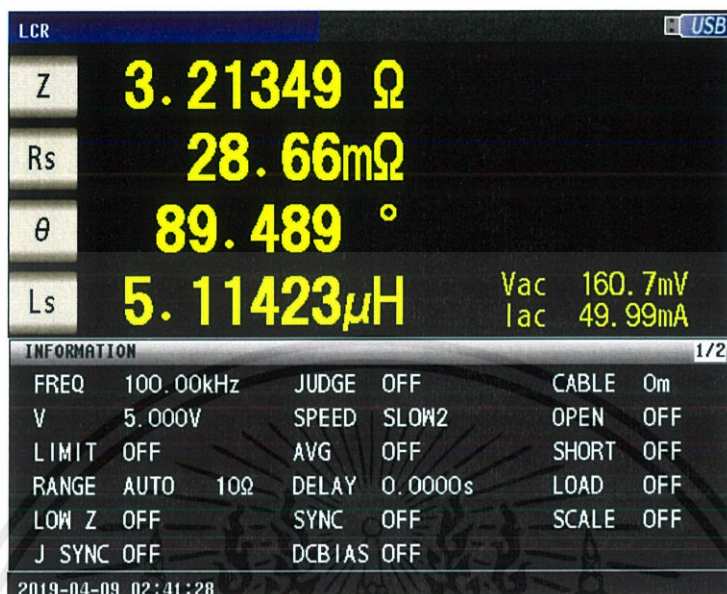
ค่าความเหนี่ยวนำรั่วไหลด้านแกนเบตเตอรี่ ( $L_{stk(leak)}$ )



รูปที่ 3.8 ค่าความเหนี่ยวนำรั่วไหลด้านแกนเบตเตอรี่ ที่วัดจาก LCR Meter

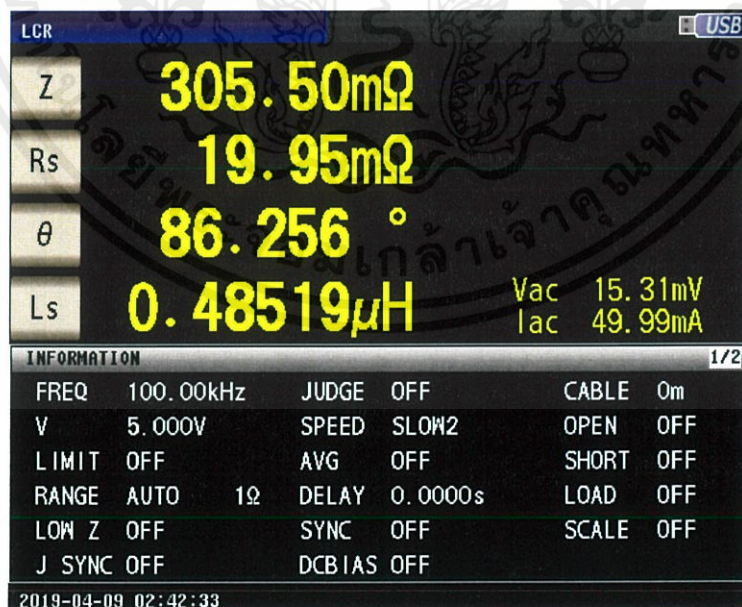
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าความเหนี่ยวนำด้านเซลล์แบตเตอรี่ ( $L_{cell}$ )



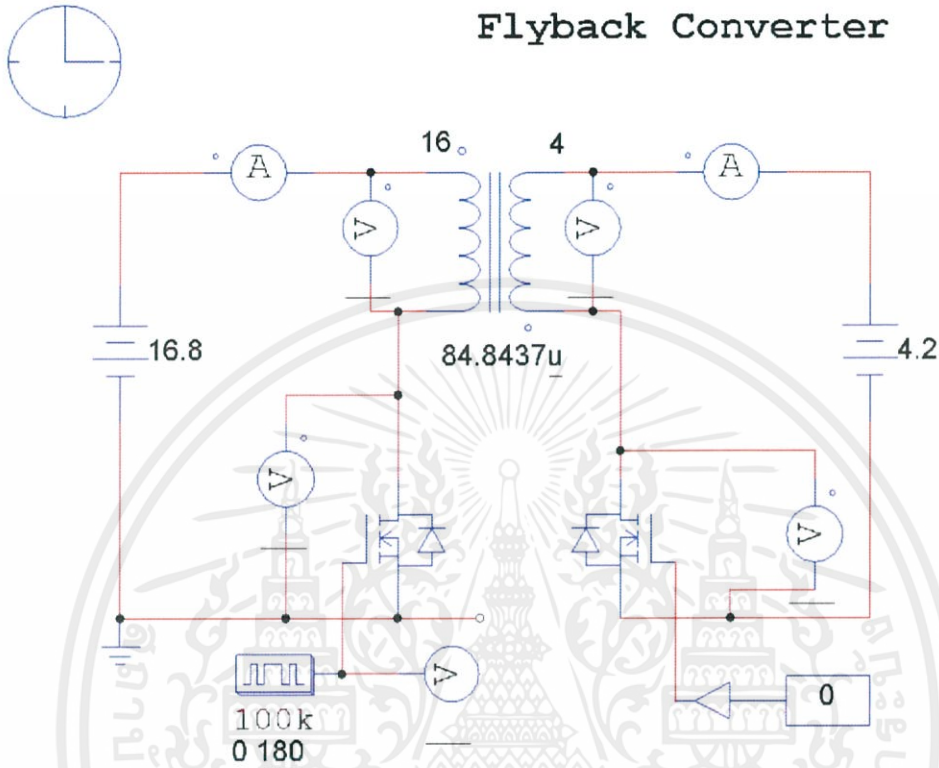
รูปที่ 3.9 ค่าความเหนี่ยวนำด้านเซลล์แบตเตอรี่ ที่วัดจาก LCR Meter

ค่าความเหนี่ยวนำรั่วไหลด้านเซลล์แบตเตอรี่ ( $L_{cell(leak)}$ )

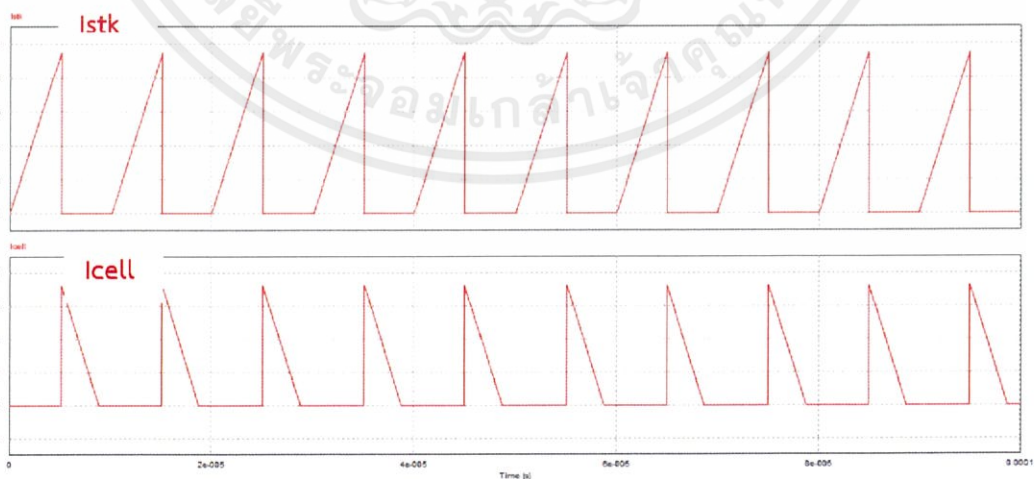


รูปที่ 3.10 ค่าความเหนี่ยวนำรั่วด้านเซลล์แบตเตอรี่ ที่วัดจาก LCR Meter

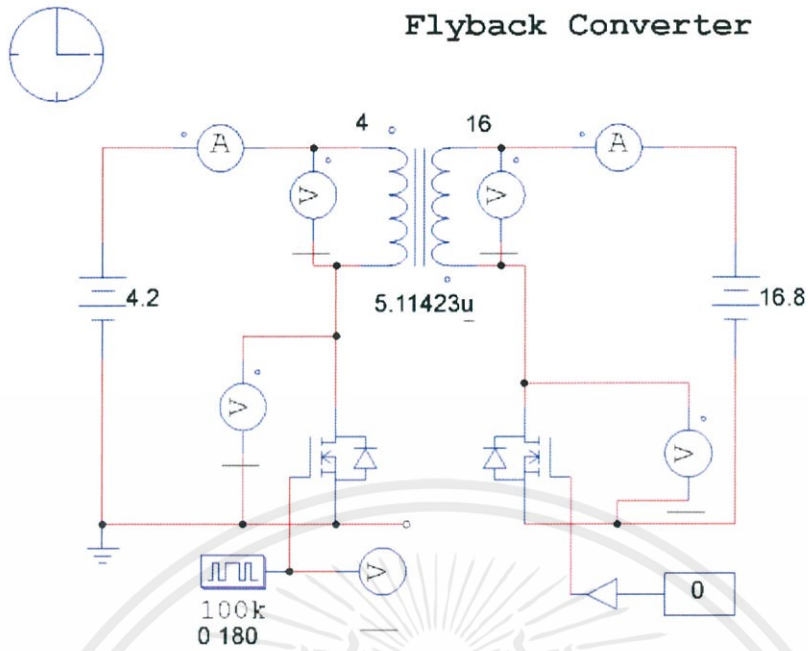
จากนั้นนำค่าความเหนี่ยวนำของหม้อแปลงฟลายแบค ที่วัดได้นำไปจำลองด้วยโปรแกรม PSIM อีกครั้งเพื่อตรวจสอบและ เอาต์พุต ดังรูปที่ 3.11



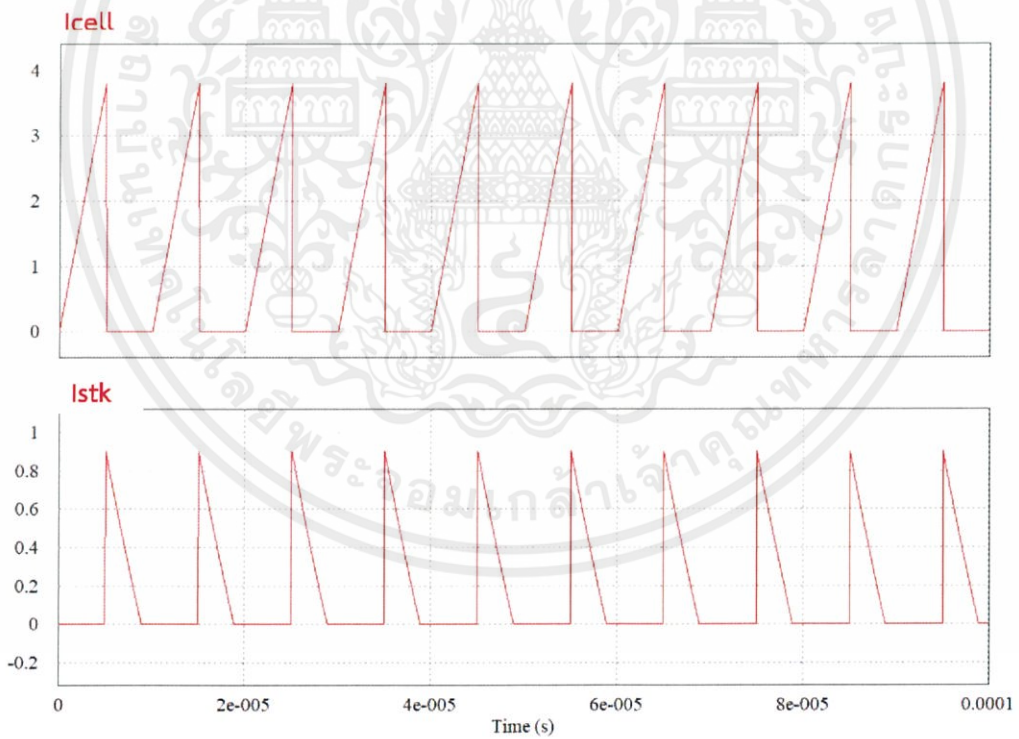
รูปที่ 3.11 วงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ขณะทำงานในโหมดสมดุลงแรงดันแบบล่าง โดยใช้พารามิเตอร์จริงของหม้อแปลงฟลายแบค



รูปที่ 3.12 กระแสฝั่งแถวแบตเตอรี่ และ กระแสฝั่งเซลล์แบตเตอรี่ ตามลำดับ



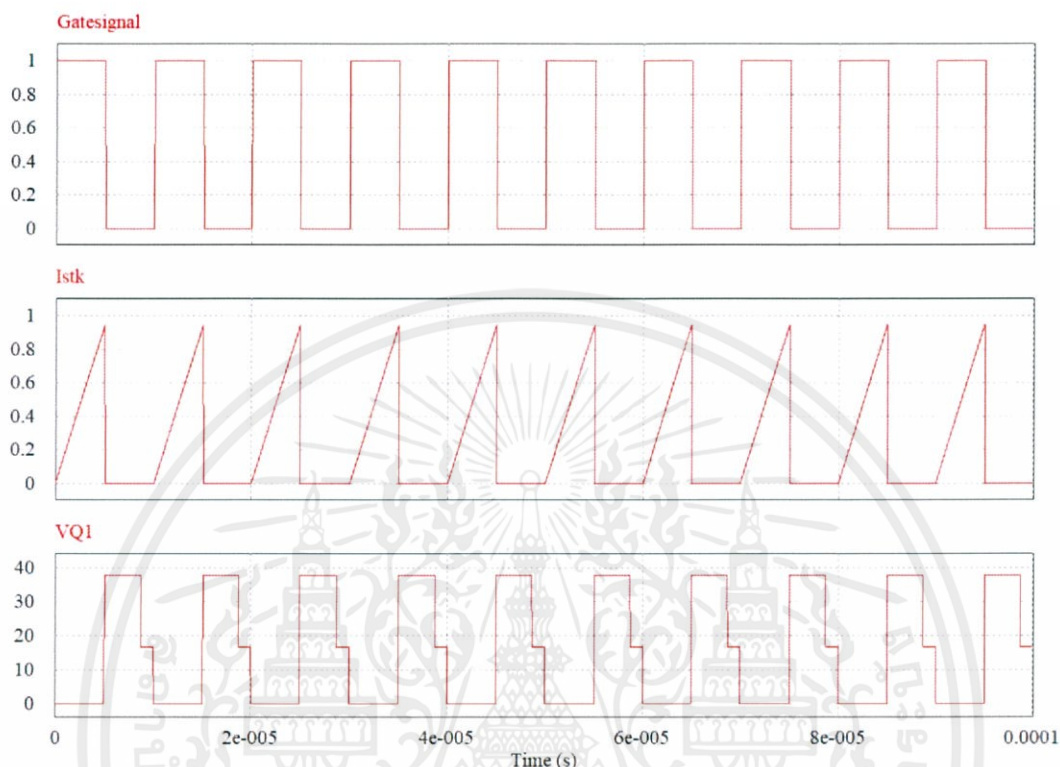
รูปที่ 3.13 วงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ขณะทำงานในโหมดสมมูลแรงดันแบบบน โดยใช้พารามิเตอร์จริงของหม้อแปลงฟลายแบค



รูปที่ 3.14 กระแสฝั่งเซลล์แบตเตอรี่ และ กระแสฝั่งแฉกแบตเตอรี่ ตามลำดับ

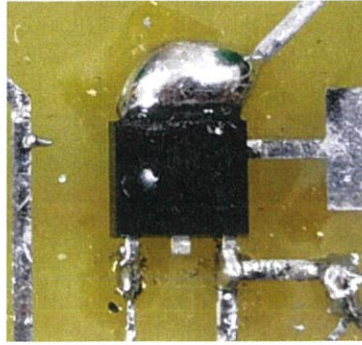
### 3.1.2 การเลือกมอสเฟต

#### 3.1.2.1 มอสเฟตฝั่งแฉกแบตเตอรี่



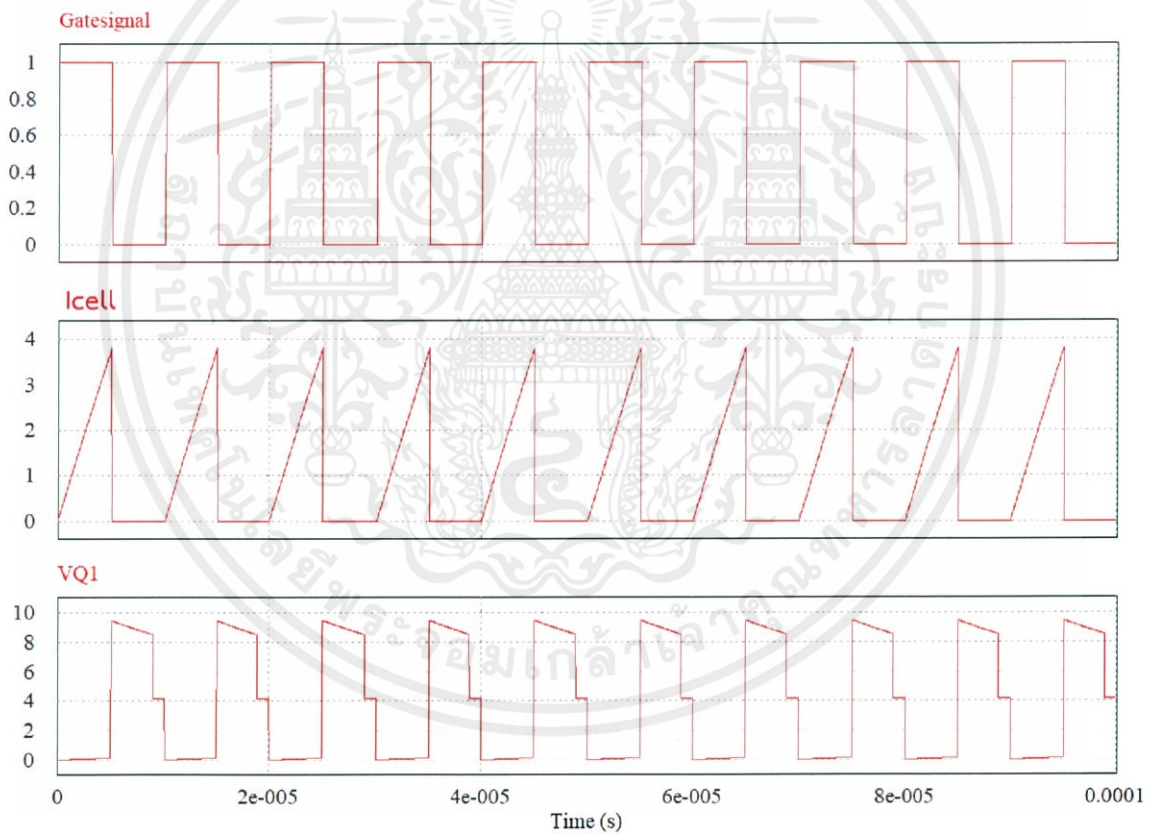
รูปที่ 3.15 ผลการจำลอง สัญญาณเกต, กระแสฝั่งแฉกแบตเตอรี่ และ แรงดันตกคร่อมมอสเฟต ( $V_{DS}$ ) ฝั่งแฉกแบตเตอรี่ ตามลำดับ

จากผลการจำลองในรูปที่ 3.15 พบว่าแรงดันตกคร่อมมอสเฟต ( $V_{DS}$ ) ขณะที่ไม่นำกระแสมีค่าสูงสุด 37.7 V และ กระแสเฉลี่ย 0.238 A จึงใช้มอสเฟตเบอร์ RSD200N05FRA พิกัดแรงดัน 45 V พิกัดกระแส 20 A



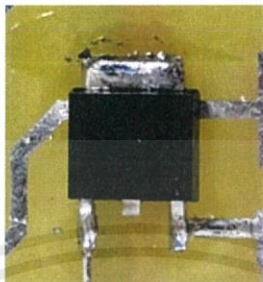
รูปที่ 3.16 มอสเฟตเบอร์ RSD200N05FRA ในวงจรจริง

### 3.1.2.2 มอสเฟตฝั่งเซลล์แบตเตอรี่



รูปที่ 3.17 ผลการจำลอง สัญญาณเกต, กระแสฝั่งเซลล์แบตเตอรี่ และ แรงดันตกคร่อมมอสเฟต ( $V_{DS}$ ) ฝั่งเซลล์แบตเตอรี่ ตามลำดับ

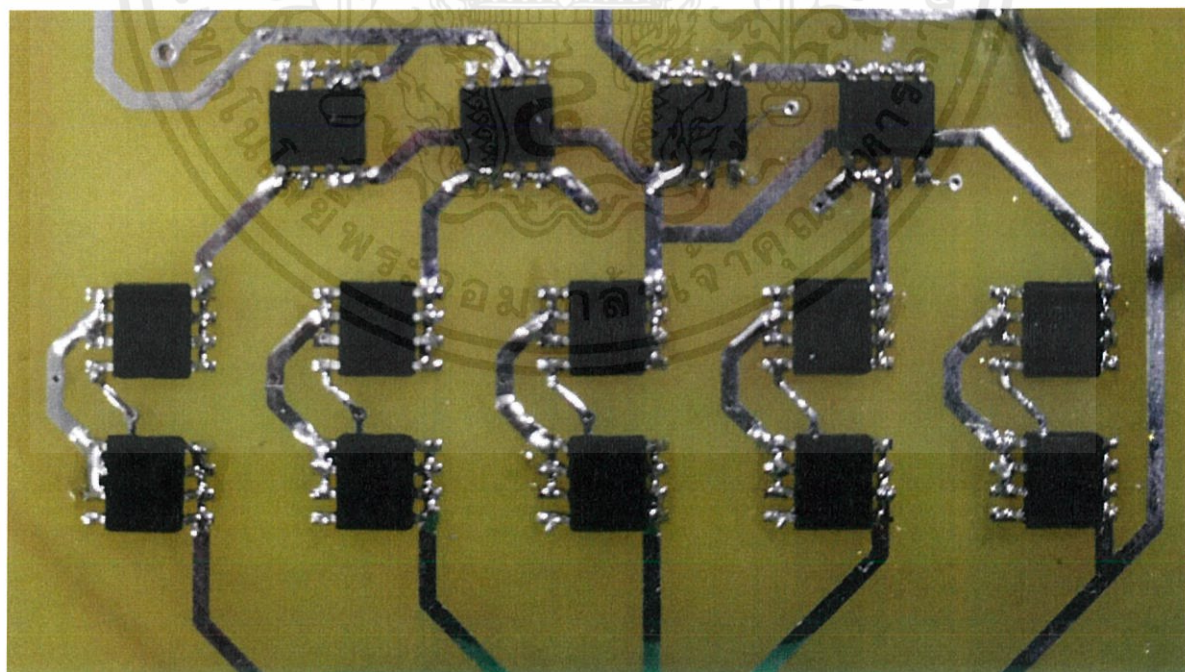
จากผลการจำลองในรูปที่ 3.17 พบว่าแรงดันตกคร่อมมอสเฟต ( $V_{DS}$ ) ขณะที่ไม่นำกระแสมีค่าสูงสุด 9.44 V และ กระแสเฉลี่ย 0.964 A จึงใช้มอสเฟตเบอร์ RSD200N05FRA พิกัดแรงดัน 45 V พิกัดกระแส 20 A



รูปที่ 3.18 มอสเฟตเบอร์ RSD200N05FRA ในวงจรจริง

### 3.1.2.3 มอสเฟตสำหรับ cell switches และ polarity switches

ต้องการมอสเฟตที่สามารถนำกระแสได้สูง แรงดันตกคร่อมเมื่อนำกระแสต่ำ แต่ไม่ต้องการใช้เวลาริมและหยุดนำกระแสที่เร็วมากนักเนื่องจากไม่ได้ใช้ในการสวิตซ์ซึ่ง จึงเลือกใช้มอสเฟตเบอร์ FDS6680A พิกัดแรงดัน 30 V พิกัดกระแส 12.5 A

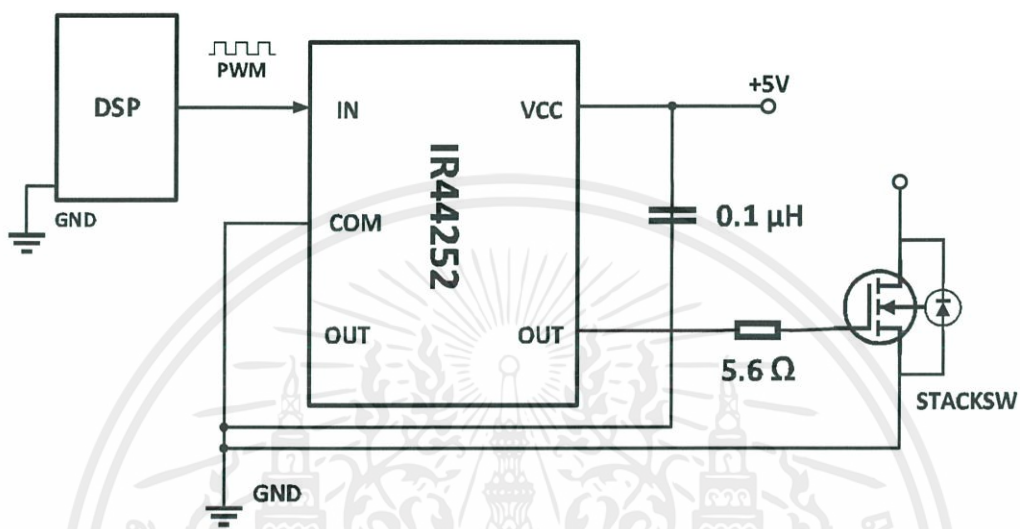


รูปที่ 3.19 มอสเฟตเบอร์ FDS6680A ในวงจรจริง

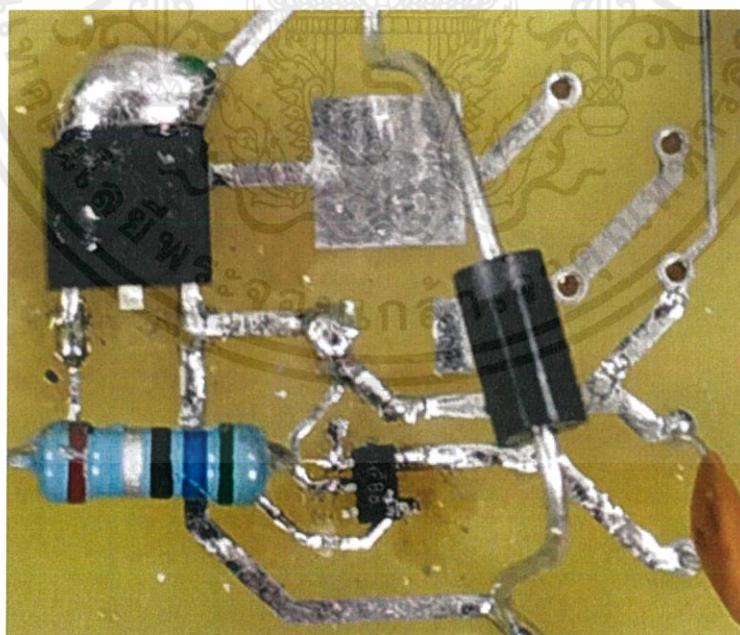
### 3.1.3 วงจรขับมอเตอร์

#### 3.1.3.1 วงจรขับมอเตอร์ฝั่งแฉกแบตเตอรี่

วงจรขับมอเตอร์ฝั่งแฉกแบตเตอรี่ เลือกใช้ไอซีเบอร์ IR44252 ของบริษัท International Rectifier เป็นวงจรขับมอเตอร์แบบ Low – side ลักษณะวงจรเป็นดังรูปที่ 3.20



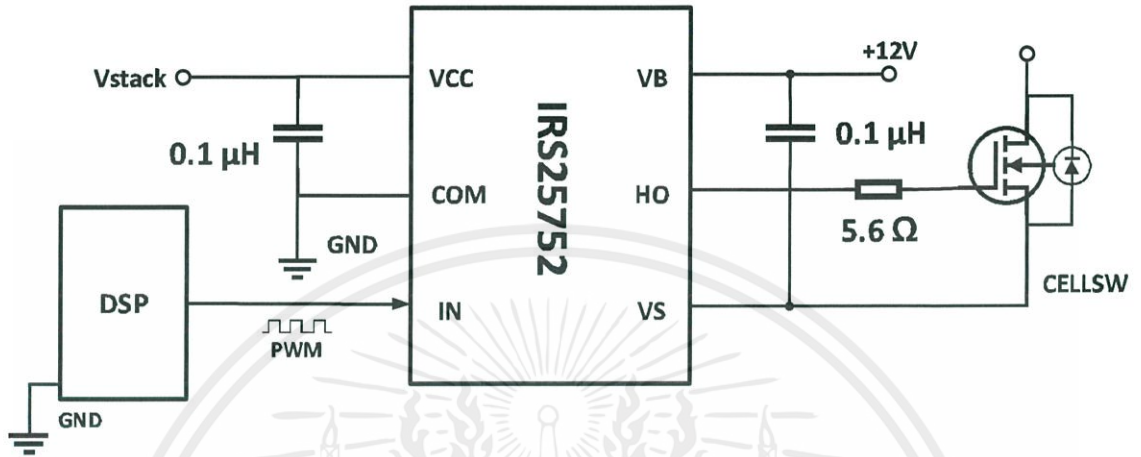
รูปที่ 3.20 วงจรขับมอเตอร์ฝั่งแฉกแบตเตอรี่



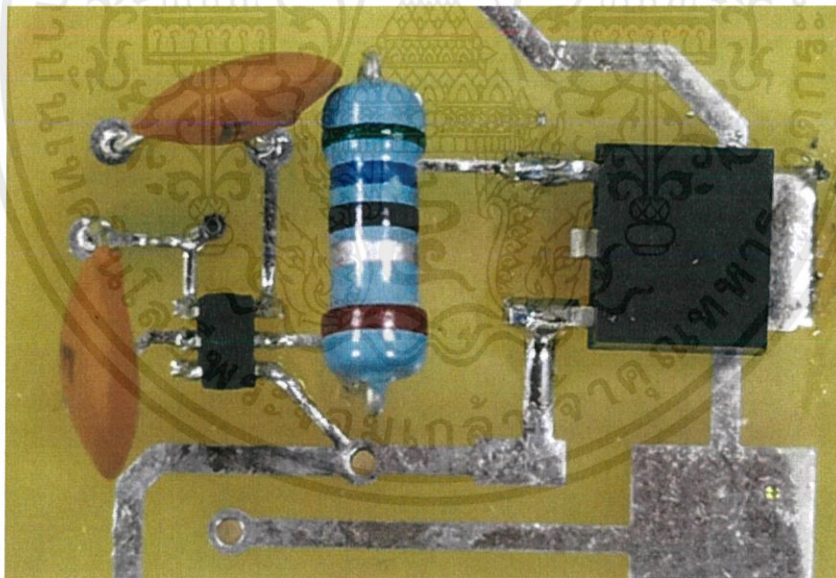
รูปที่ 3.21 วงจรขับมอเตอร์ฝั่งแฉกแบตเตอรี่ ในวงจรจริง

### 3.1.3.2 วงจรขับมอเตอร์เฟดเซลล์แบตเตอรี่

วงจรขับมอเตอร์เฟดเซลล์แบตเตอรี่ เลือกใช้ไอซีเบอร์ IRS25752 ของบริษัท Infineon เป็นวงจรขับมอเตอร์แบบ High-side ลักษณะวงจรเป็นดังรูปที่ 3.22



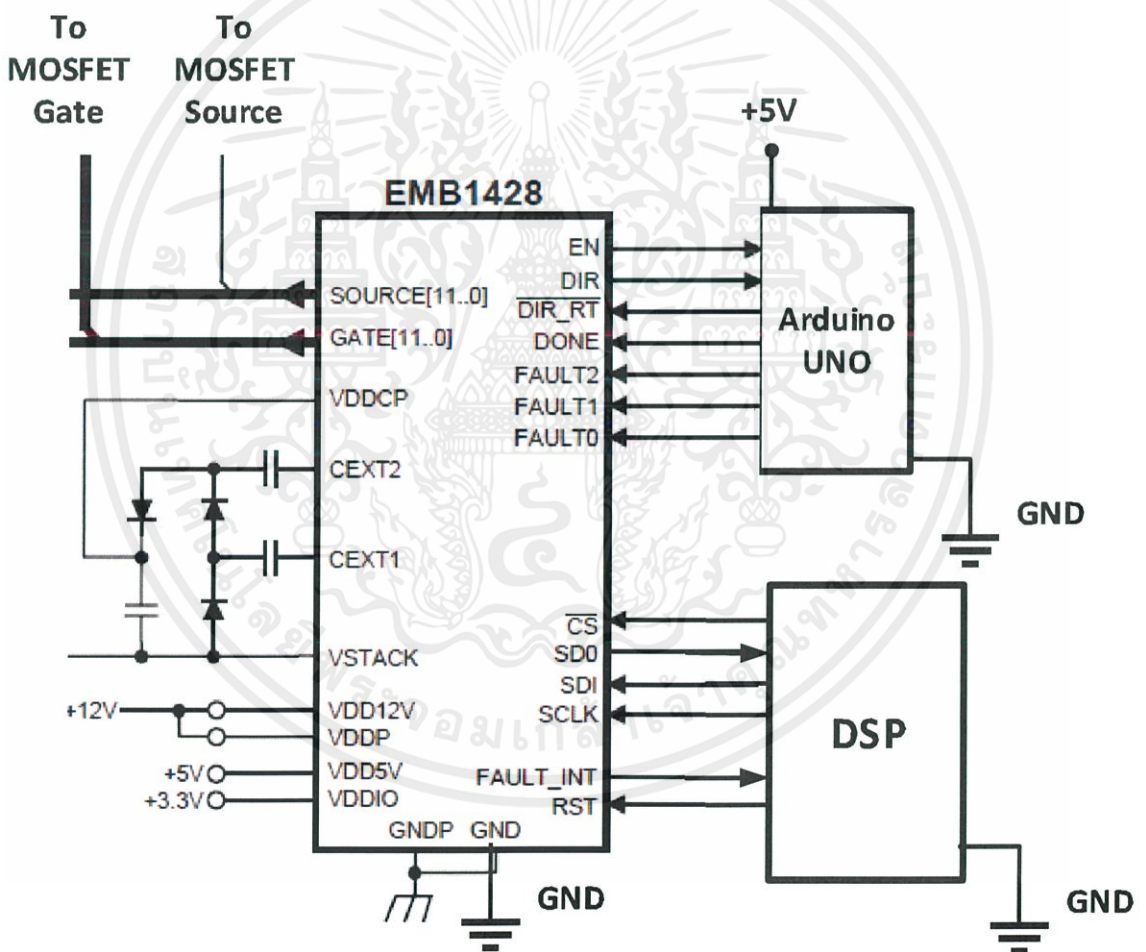
รูปที่ 3.22 วงจรขับมอเตอร์เฟดเซลล์แบตเตอรี่



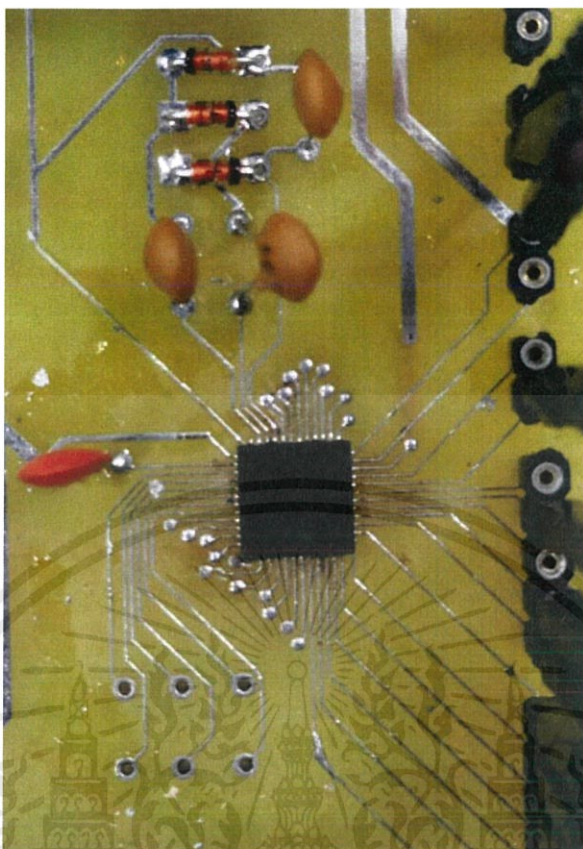
รูปที่ 3.23 วงจรขับมอเตอร์เฟดเซลล์แบตเตอรี่ ในวงจรจริง

### 3.1.3.3 วงจรขับมอสเฟตสำหรับ cell switches และ polarity switches

เลือกใช้ไอซีเบอร์ EMB1428Q ของบริษัท texas instruments เป็นวงจรขับมอสเฟตแบบเมทริกซ์ ที่ออกแบบมาเพื่อใช้งานในวงจรสมมูลแรงดันโดยเฉพาะ โดยรองรับเซลล์ได้ถึง 7 เซลล์ ใช้สำหรับควบคุมสวิตช์เลือกเซลล์ (Cell selecting switch) และ สวิตช์กลับขั้ว (Polarity switch) โดย EMB1428Q จะรับคำสั่งจากไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อสั่งให้มอสเฟตแต่ละตัวทำงานโดยการรับคำสั่งและส่งข้อมูลผ่าน Serial Peripheral Interface (SPI) และ โดยปกติ EMB1428Q จะทำงานประสานกับไอซีอีกเบอร์คือ EMB1499 โดยจะมีการส่งข้อมูลติดต่อกันตลอดการทำงาน จึงได้ใช้ Arduino UNO จำลองการทำงานเสมือนเป็น ไอซี EMB1499 เพื่อให้วงจรสามารถทำงานได้ แผนผังวงจรเป็นไปดังรูปที่ 3.24



รูปที่ 3.24 วงจรขับมอสเฟตสำหรับ cell switches และ polarity switches



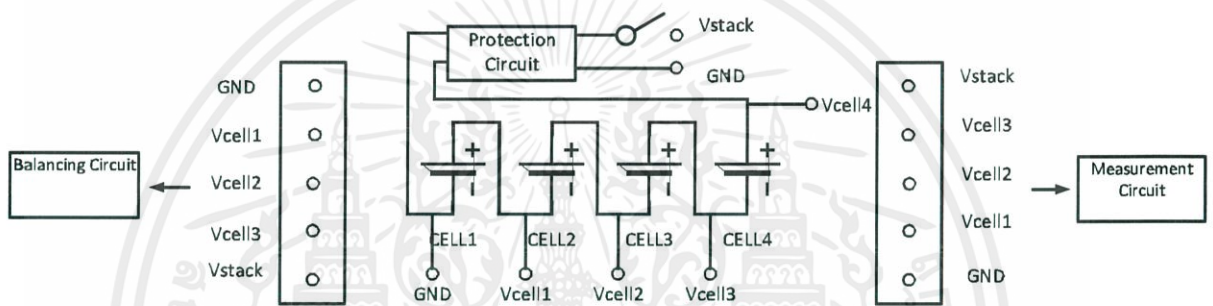
รูปที่ 3.25 วงจรขับมอสเฟตสำหรับ cell switches และ polarity switches ในวงจรจริง



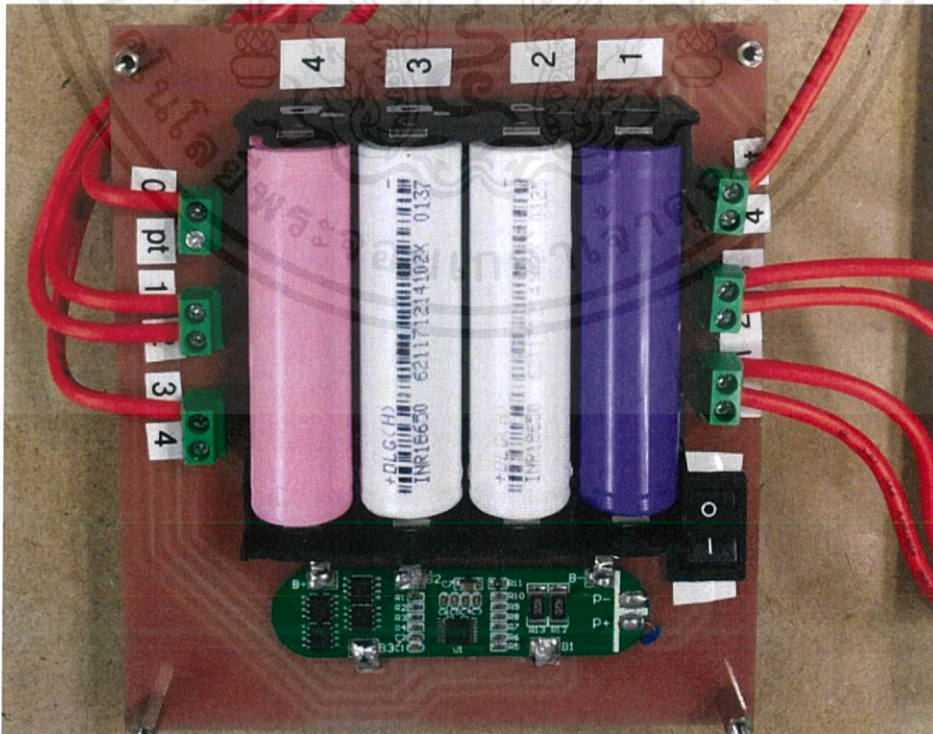
รูปที่ 3.26 Arduino UNO ที่ใช้จำลองเป็น EMB1499

### 3.1.4 รางเซลล์แบตเตอรี่

รางเซลล์แบตเตอรี่ ใช้สำหรับใส่เซลล์แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนขนาด 18650 จำนวน 4 เซลล์โดยวงจรภายในจะเชื่อมต่อให้เซลล์แต่ละเซลล์ต่อกัน โดยขั้วลบของเซลล์ตัวที่ 1 จะเป็นกราวด์ของระบบ และ เป็นขั้วลบของแถวแบตเตอรี่ ส่วนขั้วบวกของเซลล์ที่ 4 จะเป็นขั้วบวกของแถวแบตเตอรี่ โดยขั้วบวก และ ขั้วลบของแถวแบตเตอรี่ จะถูกต่อเข้ากับวงจรป้องกันซึ่งสามารถป้องกันการลัดวงจร, แรงดันเกิน, และแรงดันต่ำกว่าค่ามาตรฐาน และเอาต์พุตของวงจรป้องกันจะถูกต่อผ่านสวิตช์ เพื่อให้สามารถตัดต่อพลังงานได้ และในส่วนของขั้วบวกและลบ ของแต่ละเซลล์จะถูกเชื่อมต่อออกมายังเทอร์มินัล เพื่อให้เป็นจุดเชื่อมต่อไปยัง วงจรสมดุลแรงดัน และ วงจรวัดแรงดัน ดังรูปที่ 3.27

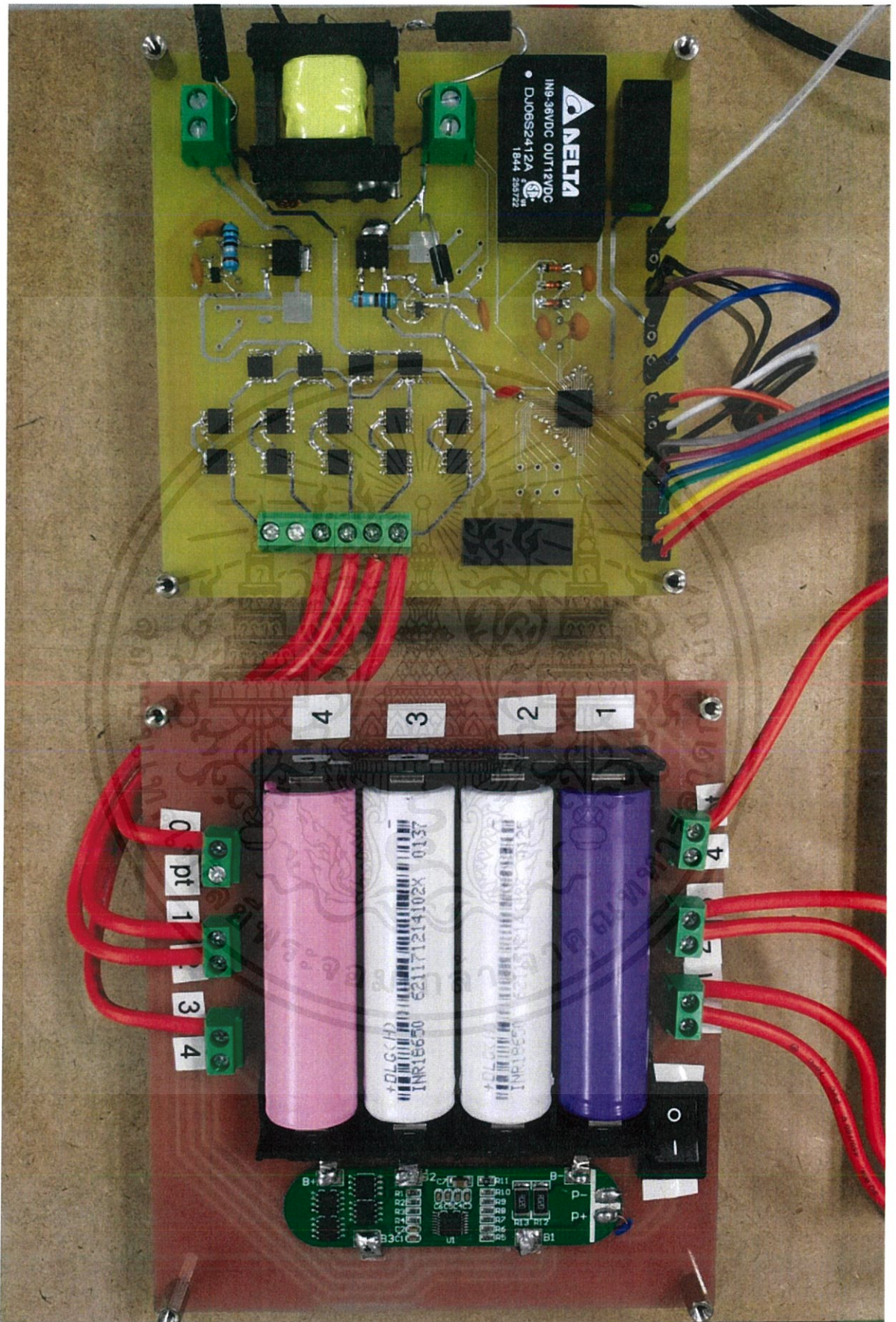


รูปที่ 3.27 วงจรของรางเซลล์แบตเตอรี่



รูปที่ 3.28 รางเซลล์แบตเตอรี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้า ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

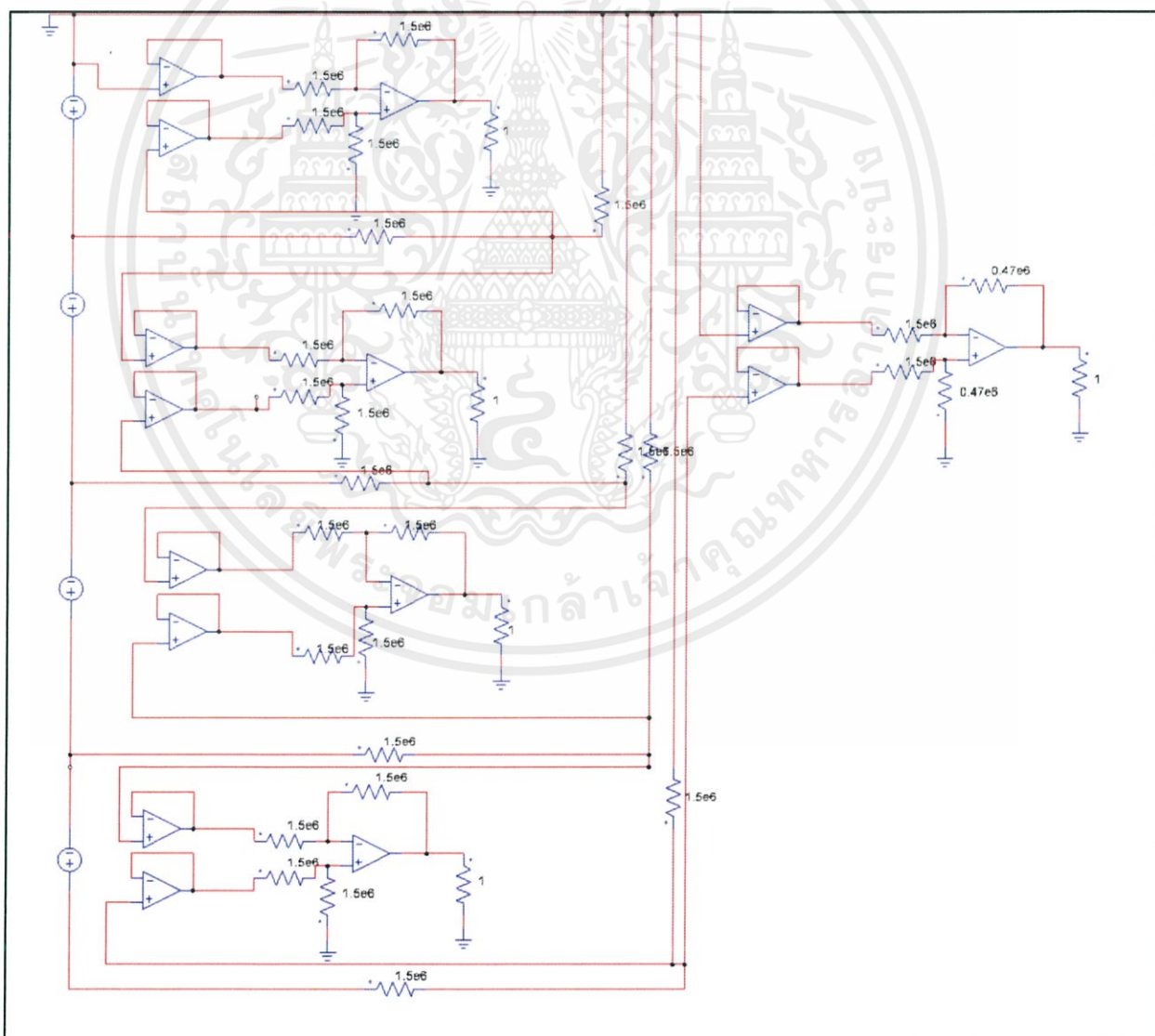


รูปที่ 3.29 วงจรกำลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2 วงจรตรวจวัดแรงดันของเซลล์แบตเตอรี่

สำหรับหลักการคือตรวจวัดแรงดันไฟฟ้าระหว่างจุดสองจุดและสามารถส่งสัญญาณแรงดันไปหาอุปกรณ์ควบคุมได้โดยจะใช้อปแอมป์ในการสร้างเป็นวงจรวัดความต่างศักย์ ออปแอมป์ และได้มีการใส่ฟีดแบ็คเพื่อแยกให้สัญญาณอินพุตและเอาต์พุตออกจากกันโดยจะใช้ LM358 ในการสร้างวงจรวัดซึ่งจะมีการใช้ค่าอัตราส่วนการลดขนาดสัญญาณที่ต่างกันโดยจะใช้ค่าอัตราส่วนการลดขนาดสัญญาณที่แถวแบตเตอรี่ เป็น 0.313 เท่า ซึ่งจะเลือกใช้  $R_1 = 1.5\text{M}\Omega$  และ  $R_2 = 470\text{k}\Omega$  และในส่วนของเซลล์แบตเตอรี่จะใช้ค่าอัตราส่วนการลดขนาดสัญญาณเป็น 1 เท่าซึ่งจะเลือกใช้  $R_1 = 1.5\text{M}\Omega$  และ  $R_2 = 1.5\text{M}\Omega$  ซึ่งจะมีการลดขนาดสัญญาณอินพุตลงครึ่งหนึ่งก่อนที่จะส่งสัญญาณเข้าที่ออปแอมป์เพื่อลดขนาดเอาต์พุตให้น้อยกว่าสัญญาณอินพุตเนื่องจากวงจรดังกล่าวได้มีการใช้ไฟแบตเตอรี่เป็นไฟเลี้ยงของระบบซึ่งสัญญาณเอาต์พุตต้องน้อยกว่าอินพุตประมาณ 2 ถึง 3 โวลต์ จึงจะสามารถทำให้วงจรทำงานได้



รูปที่ 3.30 วงจรตรวจวัดแรงดันของเซลล์แบตเตอรี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

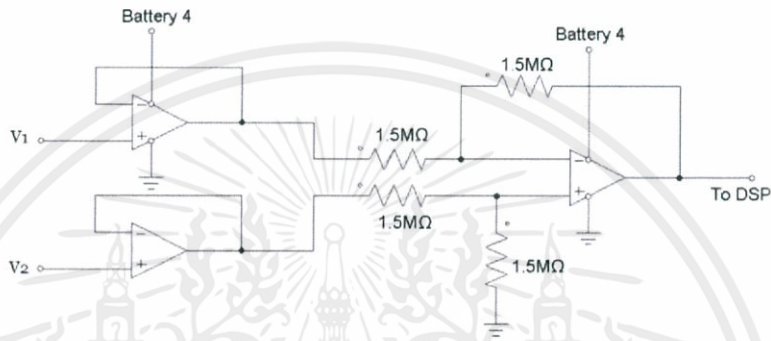
### 3.2.1 การออกแบบวงจรวัดสำหรับเซลล์แบตเตอรี่

(ก) อัตราส่วนอินพุตและเอาต์พุต

$$\frac{V_o}{V_2 - V_1} = \frac{R_2}{R_1} = \frac{1.5 \times 10^6}{1.5 \times 10^6} = 1 \quad (3.19)$$

(ข) ขนาดเอาต์พุต

$$V_o = \frac{R_2}{R_1} \times (V_2 - V_1) = 1 \times (1.8 - 0) = 1.8 \text{ V} \quad (3.20)$$



รูปที่ 3.31 วงจรวัดแรงดันสำหรับเซลล์แบตเตอรี่

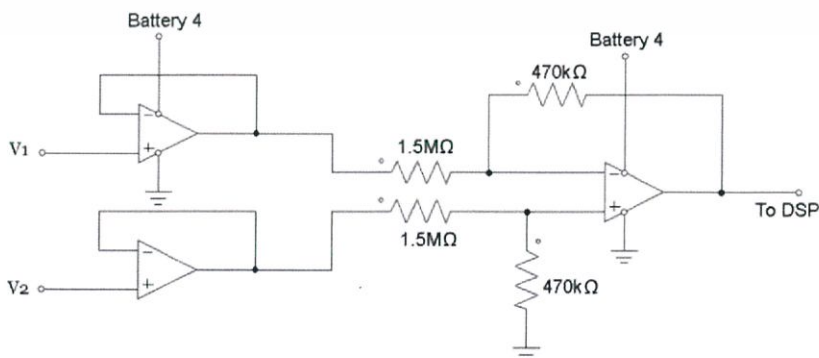
### 3.2.2 การออกแบบวงจรวัดสำหรับแกลวแบตเตอรี่

(ก) อัตราส่วนอินพุตและเอาต์พุต

$$\frac{V_o}{V_2 - V_1} = \frac{R_2}{R_1} = \frac{0.47 \times 10^6}{1.5 \times 10^6} = 0.313 \quad (3.21)$$

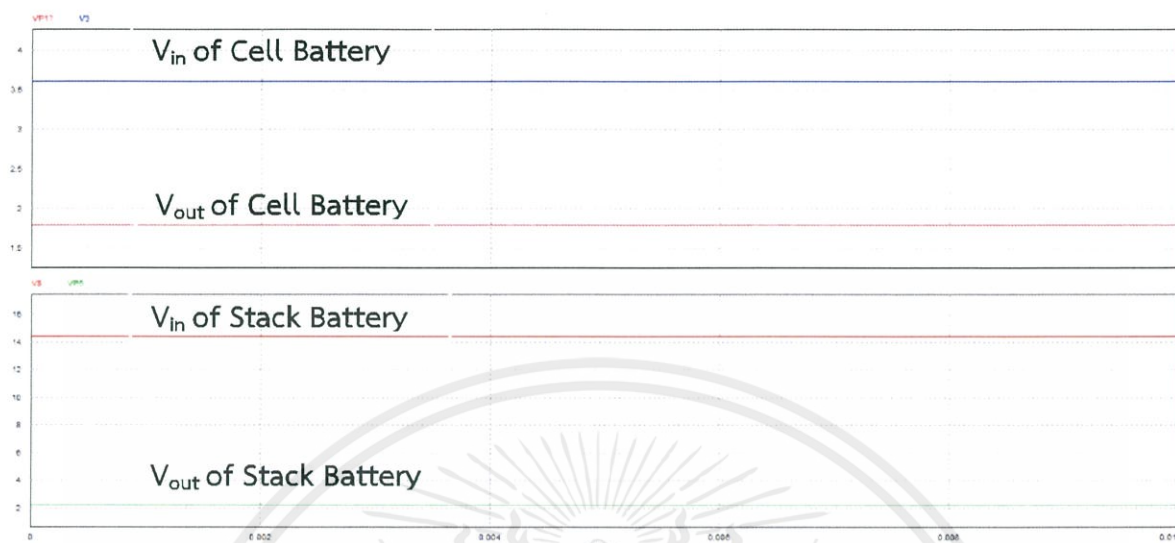
(ข) ขนาดเอาต์พุต

$$V_o = \frac{R_2}{R_1} (V_2 - V_1) = 0.313 \times (7.2 - 0) = 2.254 \text{ V} \quad (3.22)$$

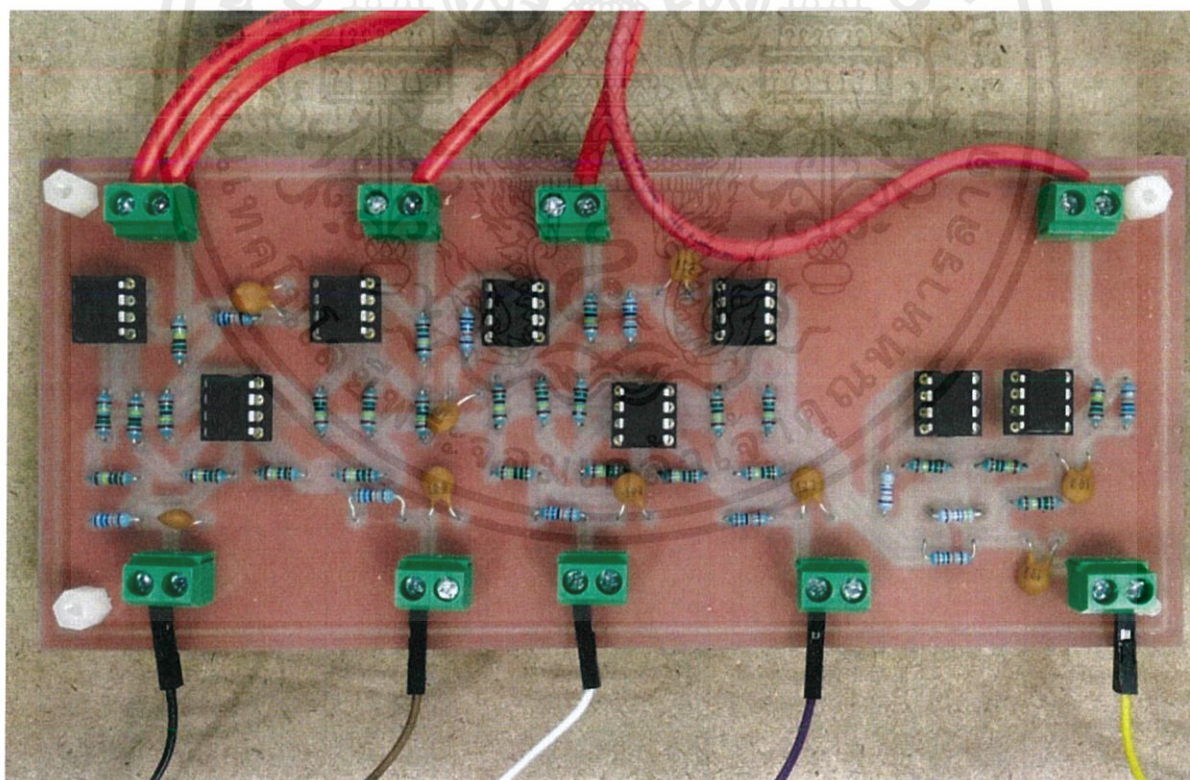


รูปที่ 3.32 วงจรวัดแรงดันสำหรับแกลวแบตเตอรี่

ผลการจำลองการออกแบบวงจรจากโปรแกรม PSIM



รูปที่ 3.33 ผลการจำลองการออกแบบวงจรจากโปรแกรม PSIM

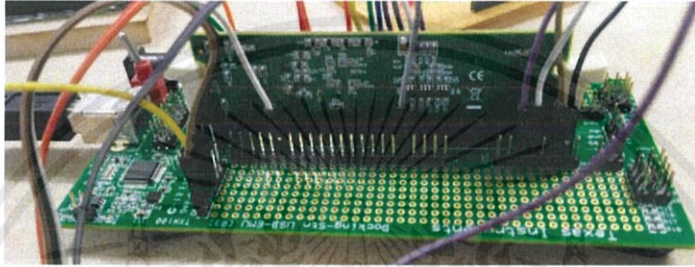


รูปที่ 3.34 วงจรวัดแรงดันเซลล์แบตเตอรี่ ในวงจรจริง

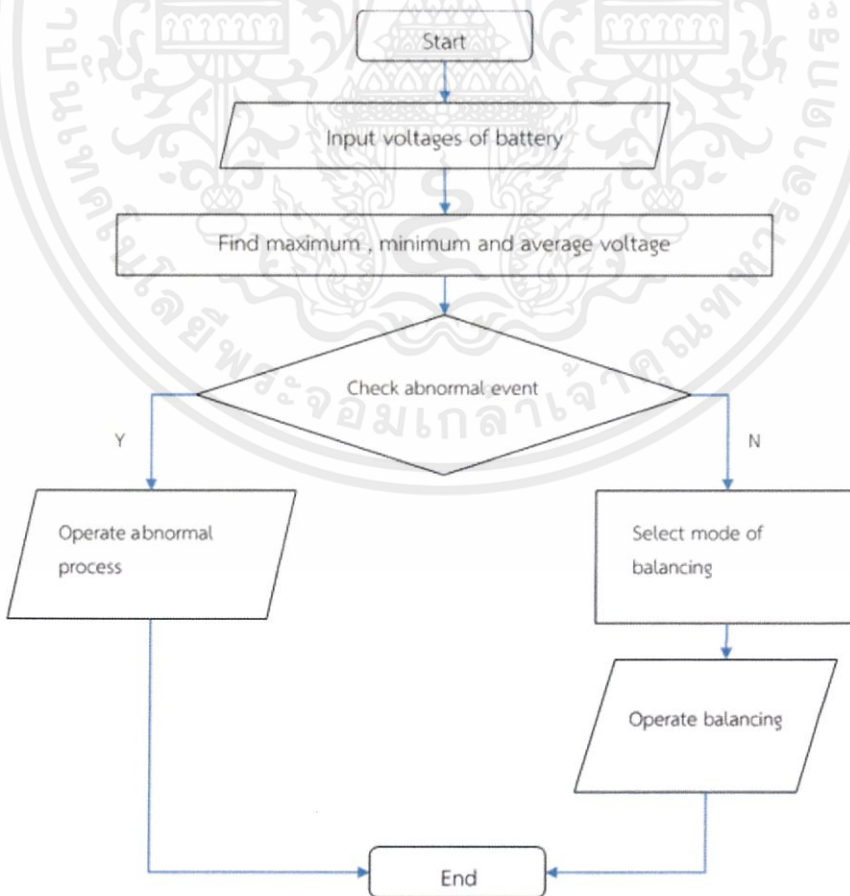
### 3.3 วงจรควบคุม

#### 3.3.1 หลักการทำงานของโปรแกรมควบคุม

ในวงจรสมดุลงแรงดันจะใช้ ตัวประมวลผลสัญญาณดิจิทัล (DSP) รุ่น TMS320F28335 เป็นตัวควบคุมการทำงานของวงจรหลักทั้งหมด ซึ่งจะมีการทำงานเป็นวัฏจักรทุก 10 วินาที คือ การวัดแรงดันของเซลล์แบตเตอรี่ 1 วินาที และการสมดุลงแรงดันแบตเตอรี่ 9 วินาที โดยจะแบ่งออกเป็น 3 ส่วนหลักๆ คือ ส่วนคำนวณค่าต่างพารามิเตอร์ , ส่วนตรวจสอบสถานะผิดปกติ และส่วนระบุโหมดที่ใช้ในการทำงาน

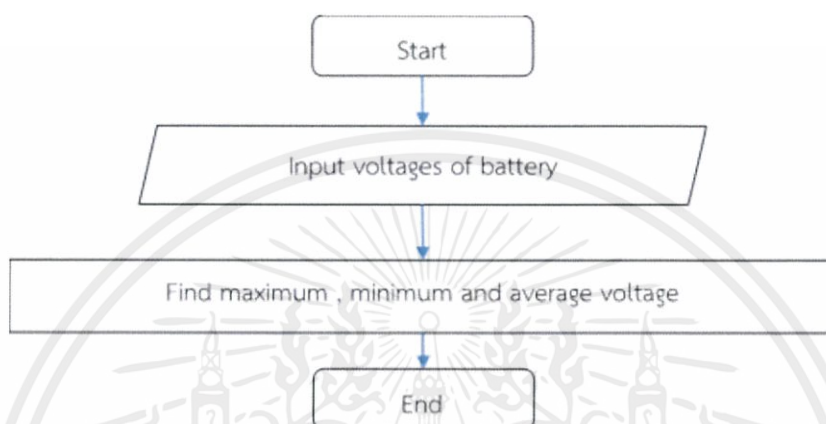


รูปที่ 3.35 ตัวประมวลผลสัญญาณดิจิทัล (DSP) รุ่น TMS320F28335



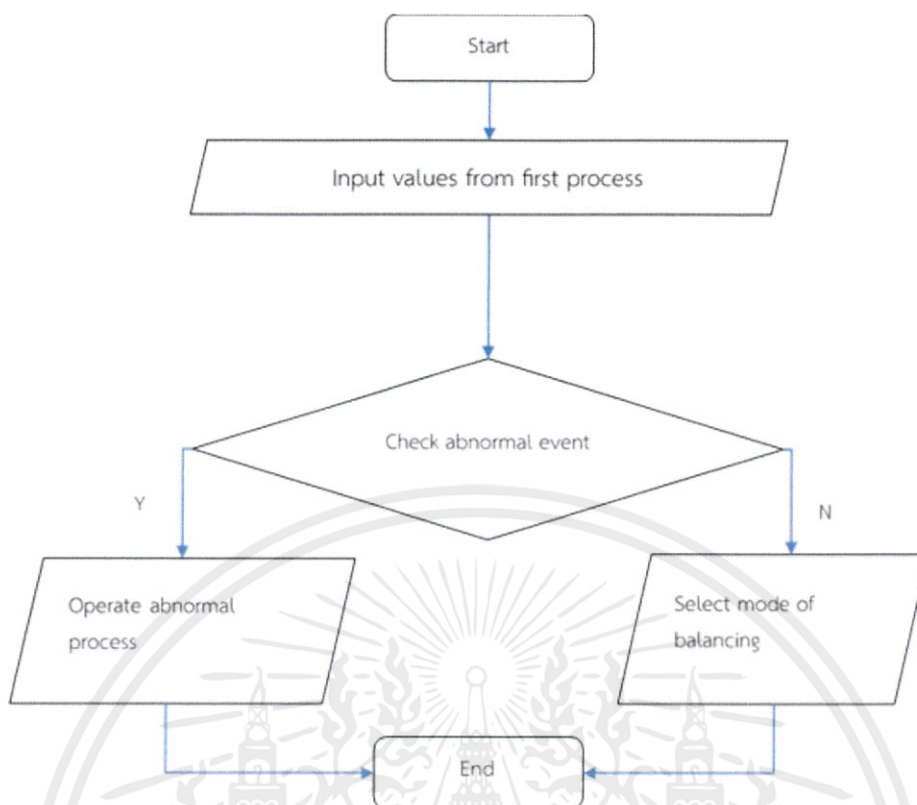
รูปที่ 3.36 ฟังก์ชันการทำงานของวงจรสมดุลงแรงดัน

ในส่วนคำนวณพารามิเตอร์ มีหน้าที่ในการรับค่าความต่างศักย์ที่แบตเตอรี่แต่ละเซลล์ทุก 0.001 วินาที มาเก็บไว้จำนวน 1,000 ค่า รวมเป็นเวลา 1 วินาที ในช่วงที่ไม่มีกระแสตรงแบตเตอรี่ ซึ่งจะค่าเฉลี่ยออกมาในทุก 10 วินาที เมื่อได้ค่าความต่างศักย์เฉลี่ยของแบตเตอรี่แต่ละเซลล์ออกมาแล้ว จะนำไประบุค่าสูงสุด ต่ำสุด และค่าเฉลี่ยของทั้ง 4 เซลล์ เพื่อนำไปใช้งานในส่วนอื่นต่อไป ดังรูปที่ 3.37



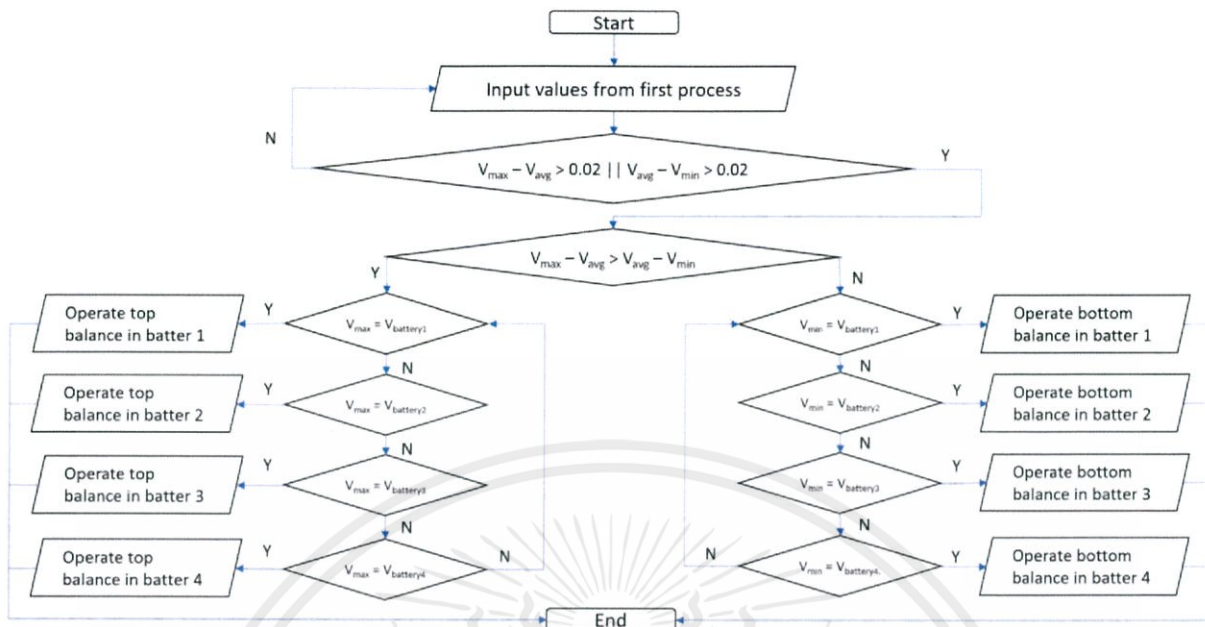
รูปที่ 3.37 ผังการทำงานในส่วนคำนวณค่าพารามิเตอร์

ส่วนที่ 2 คือ ส่วนตรวจสอบสถานะผิดปกติ สถานะผิดปกติในส่วนนี้หมายถึงการที่เซลล์แบตเตอรี่มีความต่างศักย์มากกว่า 4.21 โวลต์ น้อยกว่า 2.49 โวลต์ หรือมีการทำงานในโหมดเดิมที่นานมากกว่า 5 ชั่วโมง หากมีสถานะผิดปกติเกิดขึ้น ระบบสมมูลแรงดันจะหยุดทำงานและไฟสถานะแจ้งเตือนสีแดงจะสว่างขึ้น หากไม่พบสถานะผิดปกติ ก็จะดำเนินการไปที่ส่วนถัดไป ดังรูปที่ 3.38

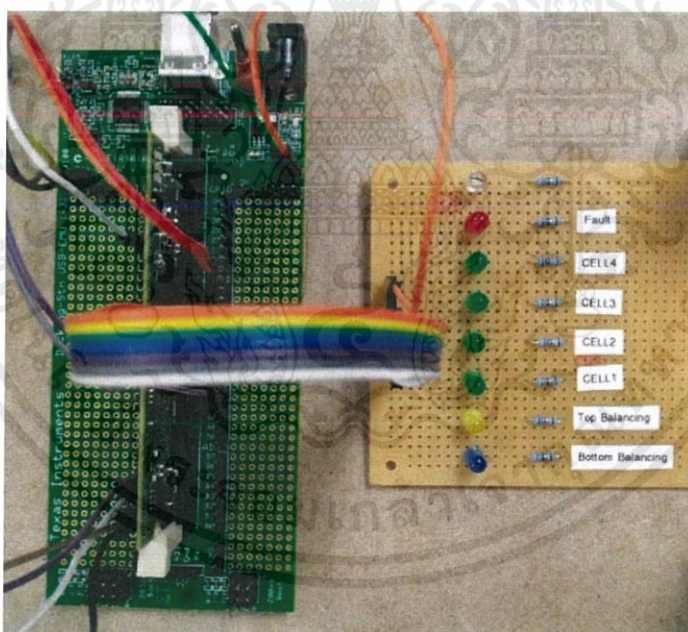


รูปที่ 3.38 ผังการทำงานในส่วนตรวจสอบสถานะผิดปกติ

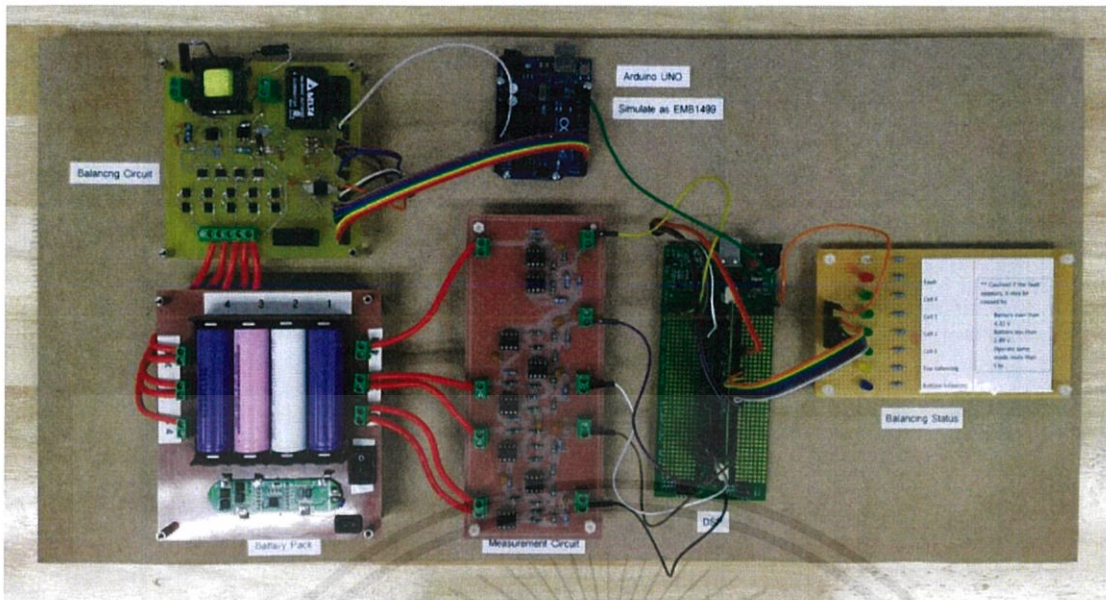
ส่วนที่ 3 คือ ส่วนระบุโหมดที่ใช้ในการทำงาน ในส่วนนี้จะนำค่าจากค่านวนพารามิเตอร์มาตรวจสอบว่า ผลต่างระหว่างค่าเฉลี่ยกับค่าที่มากที่สุด หรือ ผลต่างระหว่างค่าเฉลี่ยกับค่าที่น้อยที่สุดมีค่ามากกว่า 20 mV หรือไม่ หากมีค่าน้อยกว่าก็จะไม่ทำการสมดุลแรงดัน แต่หากมีค่ามากกว่าก็จะทำการตรวจสอบผลต่างระหว่างค่าเฉลี่ยกับค่าที่มากที่สุด และ ผลต่างระหว่างค่าเฉลี่ยกับค่าที่น้อยที่สุด ว่าค่าใดที่มีค่ามากกว่ากัน เพื่อระบุโหมดการทำงานว่าเป็นแบบสมดุลแรงดันแบบบนหรือแบบล่าง จากนั้นก็จะทำการระบุเซลล์แบตเตอรี่ ส่งสัญญาณสำหรับขับมอเตอร์ พร้อมทั้งแสดงสถานะโหมดผ่านหลอดไฟ LED ดังรูปที่ 3.40



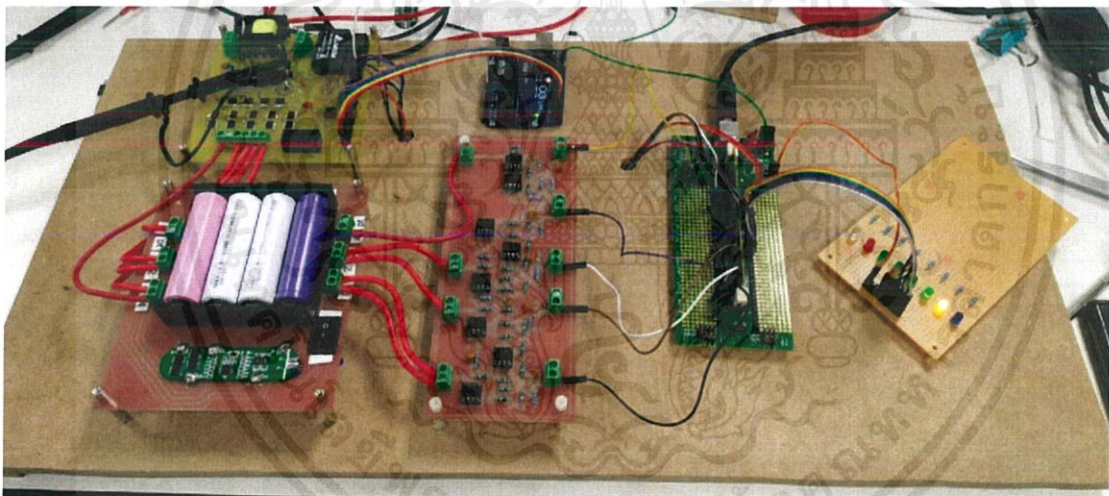
รูปที่ 3.39 ผังการทำงานในส่วนระบุโหมดที่ใช้ในการทำงาน



รูปที่ 3.40 ตัวประมวลผลสัญญาณดิจิทัล และ หลอดไฟบอกสถานะ



รูปที่ 3.41 วงจรสมดุลงแรงดันเซลล์แบตเตอรี่



รูปที่ 3.42 วงจรสมดุลงแรงดันเซลล์แบตเตอรี่

## บทที่ 4

### การทดลองและผลการทดลอง

#### 4.1 การทดสอบการสมดุลแรงดันแบบบน

ทำการทดสอบวงจรสมดุลแรงดันเซลล์แบตเตอรี่ขณะทำงานในโหมดการสมดุลแรงดันแบบบน (Top balancing) โดยแรงดันเริ่มต้นของแต่ละเซลล์แบตเตอรี่มีค่าดังนี้

$$V_{cell1} = 4.0956 \text{ V}$$

$$V_{cell2} = 3.8783 \text{ V}$$

$$V_{cell3} = 3.988 \text{ V}$$

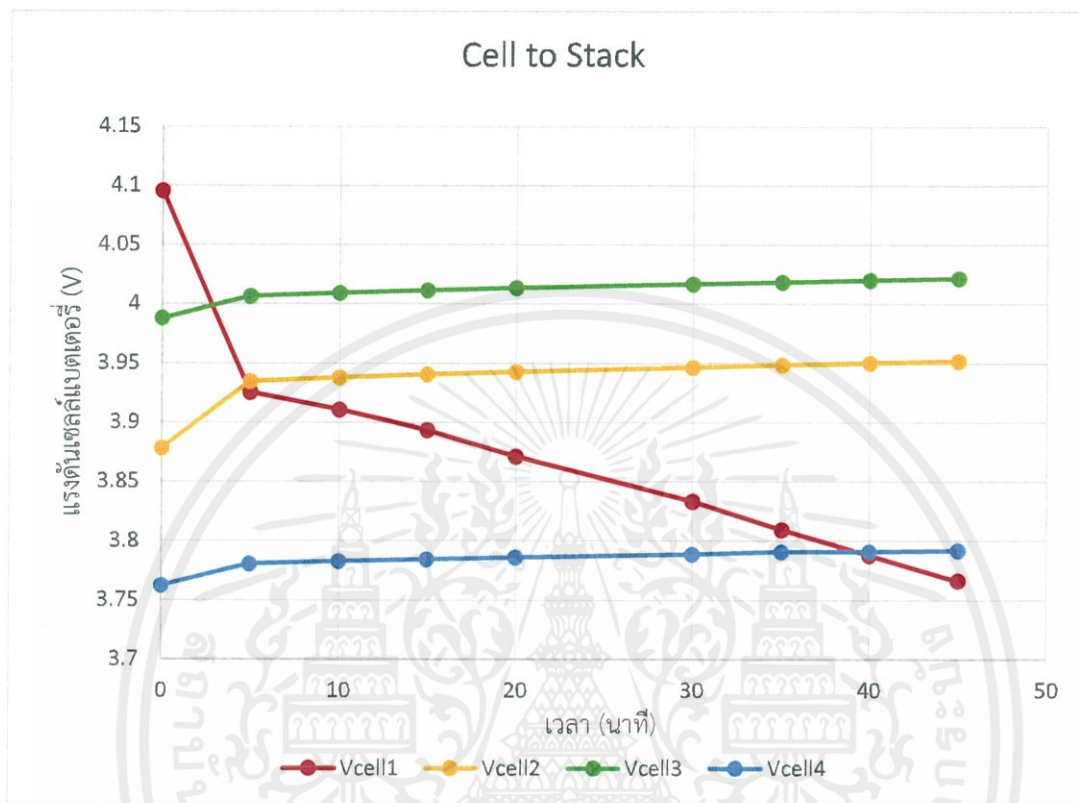
$$V_{cell4} = 3.7625 \text{ V}$$

จากนั้นทำการต่อเซลล์แบตเตอรี่เข้ากับวงจรสมดุลแรงดันเซลล์แบตเตอรี่และให้วงจรทำงานในโหมดการสมดุลแรงดันแบบบน (Top balancing) เป็นเวลา 45 นาที โดยกำหนดให้ **เซลล์ตัวที่ 1 เป็นเซลล์ที่ถูกสมดุลแรงดัน** ผลการทดลองเป็นไปดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แรงดันของเซลล์แบตเตอรี่ขณะทำงานในโหมดสมดุลแบบบน

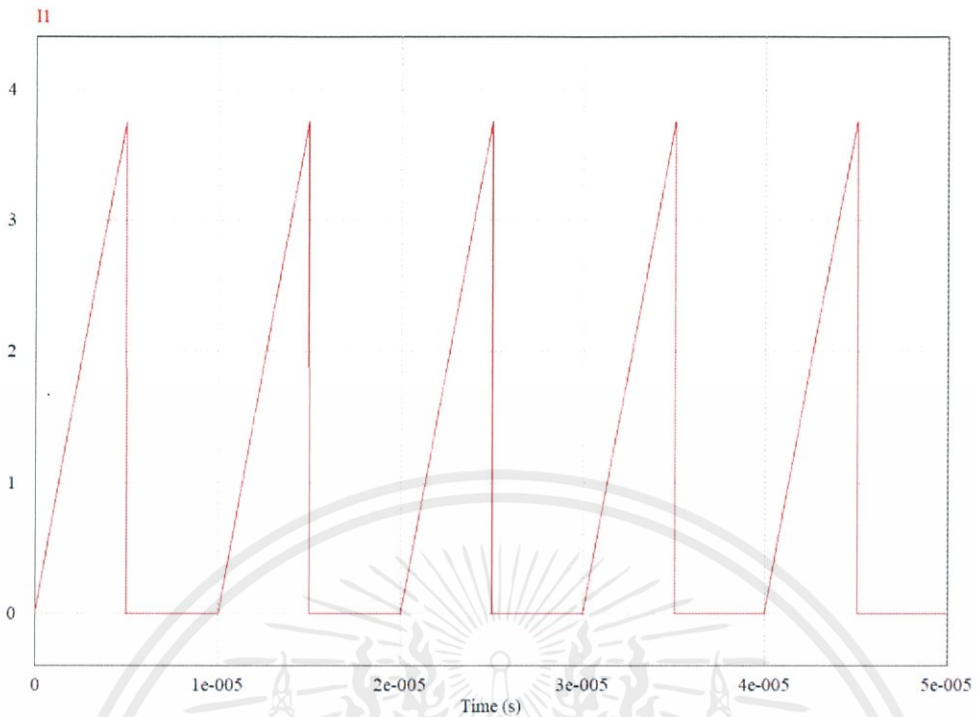
เวลา (นาที)	Vcell1 (V)	Vcell2 (V)	Vcell3 (V)	Vcell4 (V)
0	4.0956	3.8783	3.988	3.7625
5	3.9256	3.9347	4.0068	3.7806
10	3.9105	3.9379	4.0095	3.7829
15	3.8936	3.9404	4.0117	3.7846
20	3.8713	3.9428	4.0139	3.7864
30	3.8333	3.9463	4.017	3.7886
35	3.8096	3.9484	4.0187	3.791
40	3.7878	3.9501	4.0202	3.7911
45	3.7664	3.952	4.0219	3.7922

นำค่าจากตารางที่ 4.1 มาพลอตกราฟเพื่อดูการเปลี่ยนแปลงของแรงดันของเซลล์แบตเตอรี่แต่ละเซลล์ แสดงดังรูปที่ 4.1

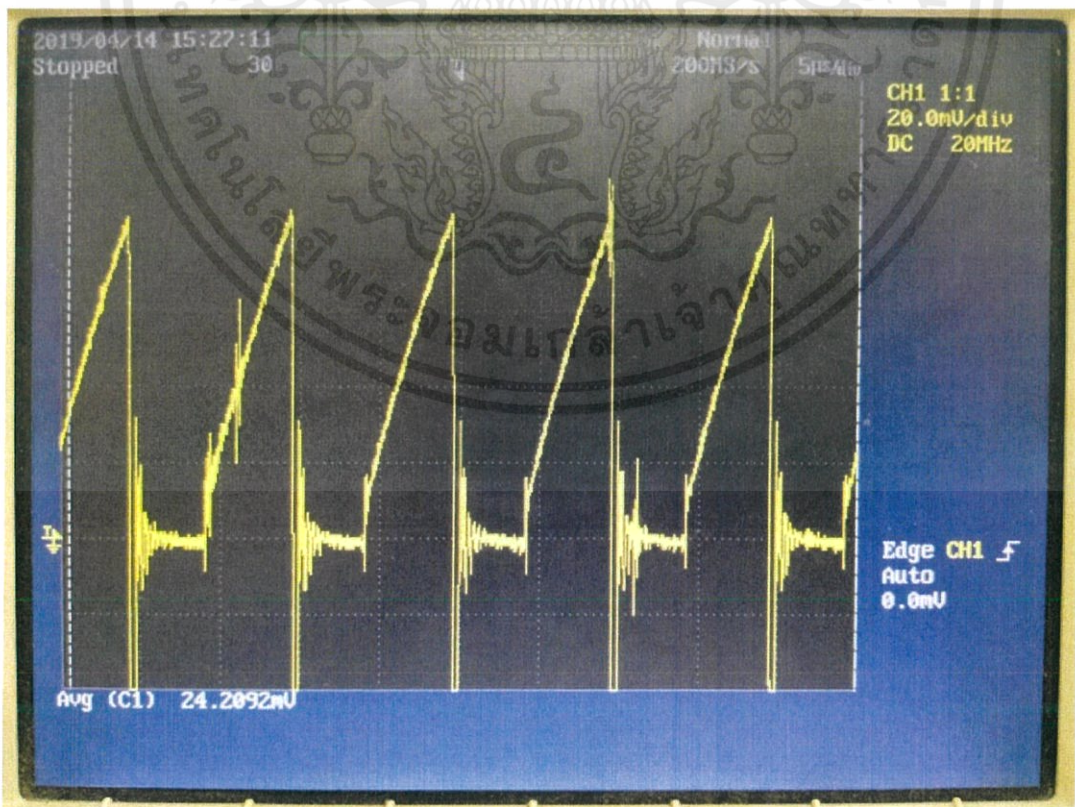


รูปที่ 4.1 กราฟการเปลี่ยนแปลงแรงดันของเซลล์แบตเตอรี่ขณะทำงานในโหมดสมดุลแบบบน

จากกราฟในรูปที่ 4.1 จะสามารถสังเกตได้ว่าแรงดันของเซลล์ที่ 1 จะลดลงเรื่อยๆ ในขณะที่ แรงดันของเซลล์ที่เหลือจะเพิ่มขึ้น เนื่องจากการสมดุลแบบบน เป็นถ่ายโอนพลังงานจากเซลล์ที่ถูกเลือก ไปยังแถวแบตเตอรี่ จากผลการทดสอบสรุปได้ว่าวงจรสมดุลแรงดันเซลล์แบตเตอรี่สามารถทำงานในโหมดสมดุลแบบบนได้ตามที่ออกแบบไว้

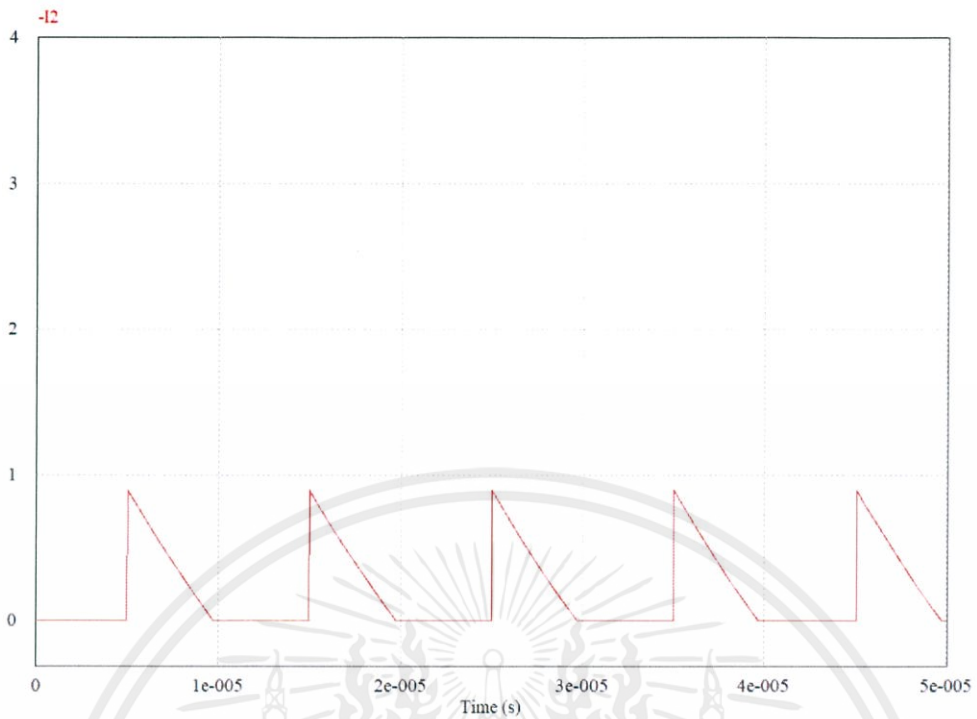


รูปที่ 4.2 รูปคลื่นของกระแสฟิงเซลล์แบตเตอรี่ขณะทำงานในโหมดสวิตชิ่งแบบบนจากการจำลองบนโปรแกรม PSIM

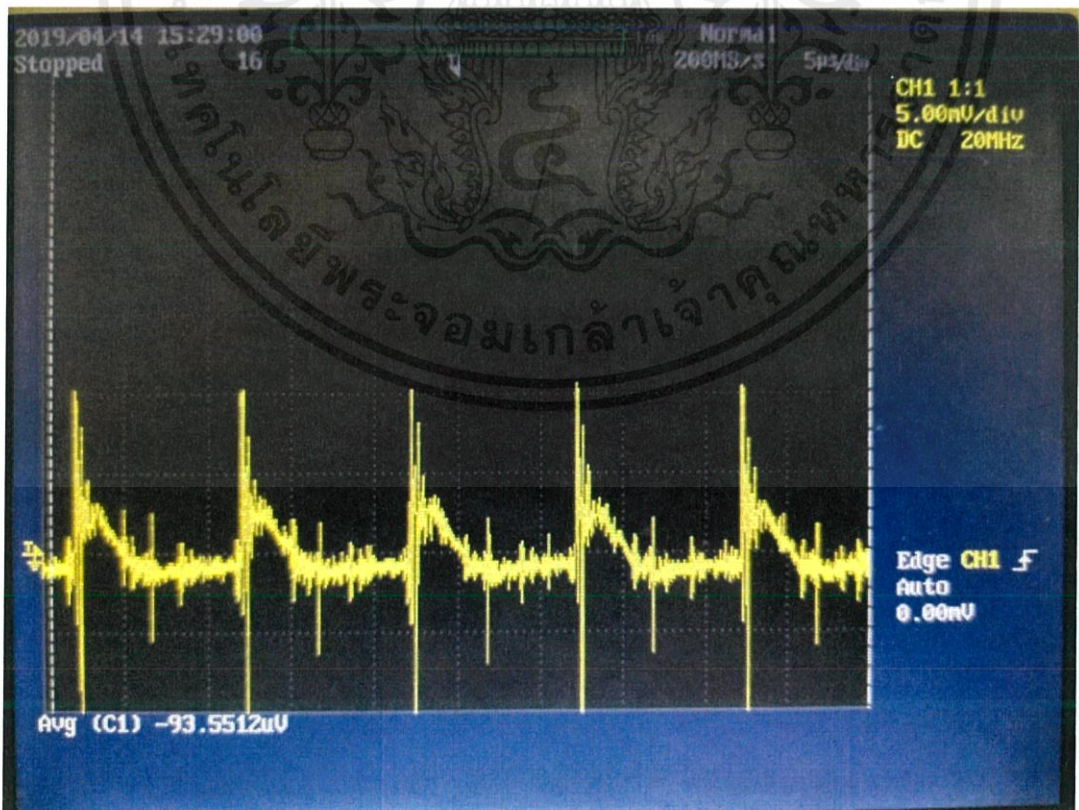


รูปที่ 4.3 รูปคลื่นของกระแสฟิงเซลล์แบตเตอรี่ขณะทำงานในโหมดสวิตชิ่งแบบบนในวงจรจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 รูปคลื่นของกระแสฝั่งแฉกแบตเตอรี่ขณะทำงานในโหมดสมมูลแบบบนจากการจำลองบนโปรแกรม PSIM



รูปที่ 4.5 รูปคลื่นของกระแสฝั่งแฉกแบตเตอรี่ขณะทำงานในโหมดสมมูลแบบบนในวงจรจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.2 การทดสอบการสมดุลแรงดันแบบล่าง

ทำการทดสอบวงจรสมดุลแรงดันเซลล์แบตเตอรี่ขณะทำงานในโหมดการสมดุลแรงดันแบบล่าง (Bottom balancing) โดยแรงดันเริ่มต้นของแต่ละเซลล์แบตเตอรี่มีค่าดังนี้

$$V_{cell1} = 4.0791 \text{ V}$$

$$V_{cell2} = 3.9873 \text{ V}$$

$$V_{cell3} = 4.1114 \text{ V}$$

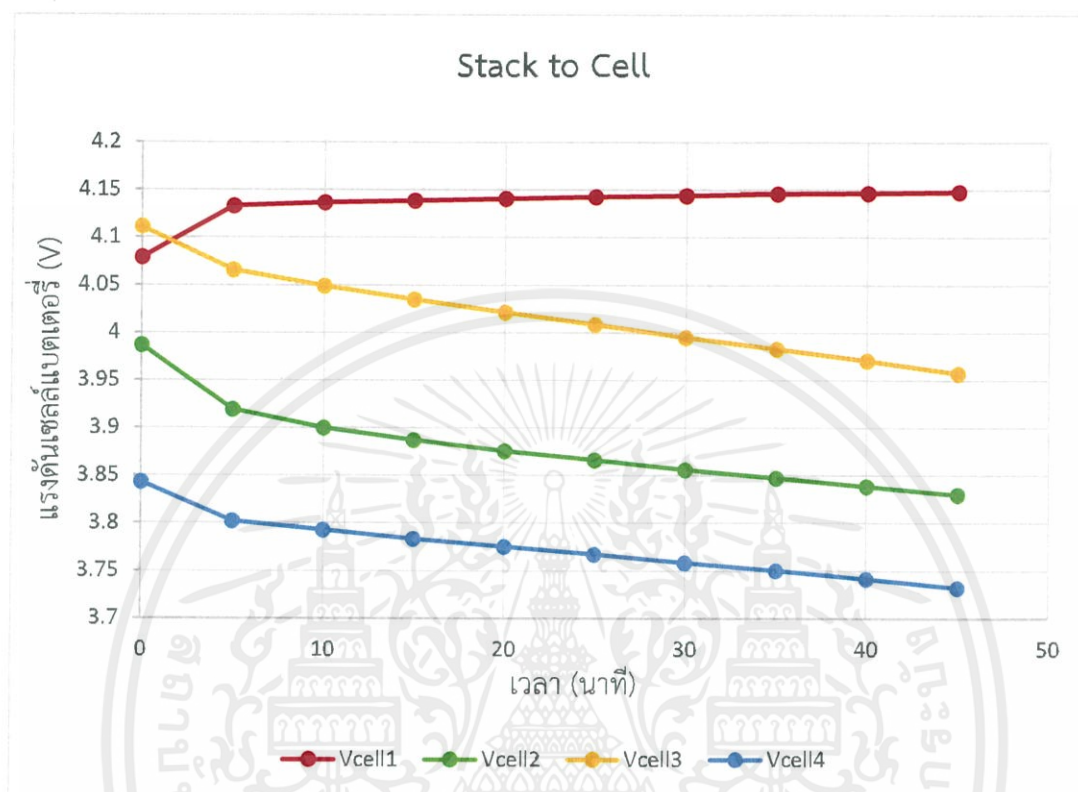
$$V_{cell4} = 3.8435 \text{ V}$$

จากนั้นทำการต่อเซลล์แบตเตอรี่เข้ากับวงจรสมดุลแรงดันเซลล์แบตเตอรี่และให้วงจรทำงานในโหมดการสมดุลแรงดันแบบล่าง (Bottom balancing) เป็นเวลา 45 นาที โดยกำหนดให้ เซลล์ตัวที่ 1 เป็นเซลล์ที่ถูกสมดุลแรงดัน ผลการทดลองเป็นไปดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 แรงดันของเซลล์แบตเตอรี่ขณะทำงานในโหมดสมดุลแบบล่าง

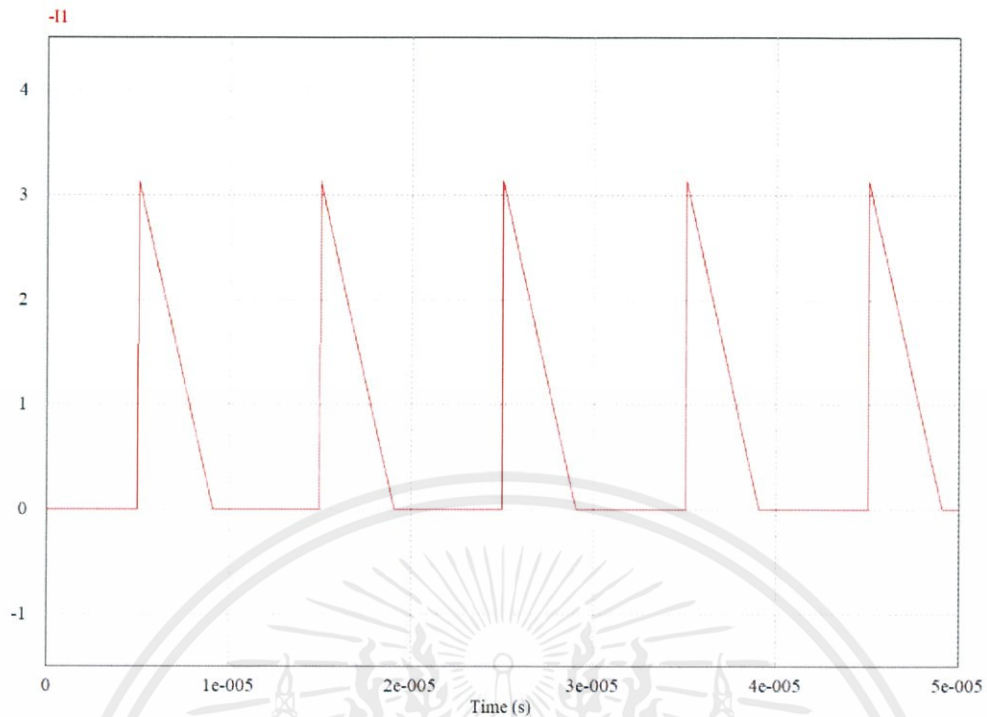
เวลา (นาที)	Vcell1 (V)	Vcell2 (V)	Vcell3 (V)	Vcell4 (V)
0	4.0791	3.9873	4.1114	3.8435
5	4.1333	3.9195	4.0659	3.8024
10	4.1368	3.8997	4.0492	3.7926
15	4.1389	3.8871	4.0349	3.7834
20	4.1409	3.8759	4.0214	3.7752
25	4.1427	3.8663	4.0083	3.7672
30	4.1444	3.856	3.9948	3.7582
35	4.1458	3.8472	3.9829	3.7501
40	4.147	3.8388	3.9707	3.7415
45	4.1484	3.8302	3.9572	3.732

นำค่าจากตารางที่ 4.2 มาพล็อตกราฟเพื่อดูการเปลี่ยนแปลงของแรงดันของเซลล์แบตเตอรี่แต่ละเซลล์ แสดงดังรูปที่ 4.6

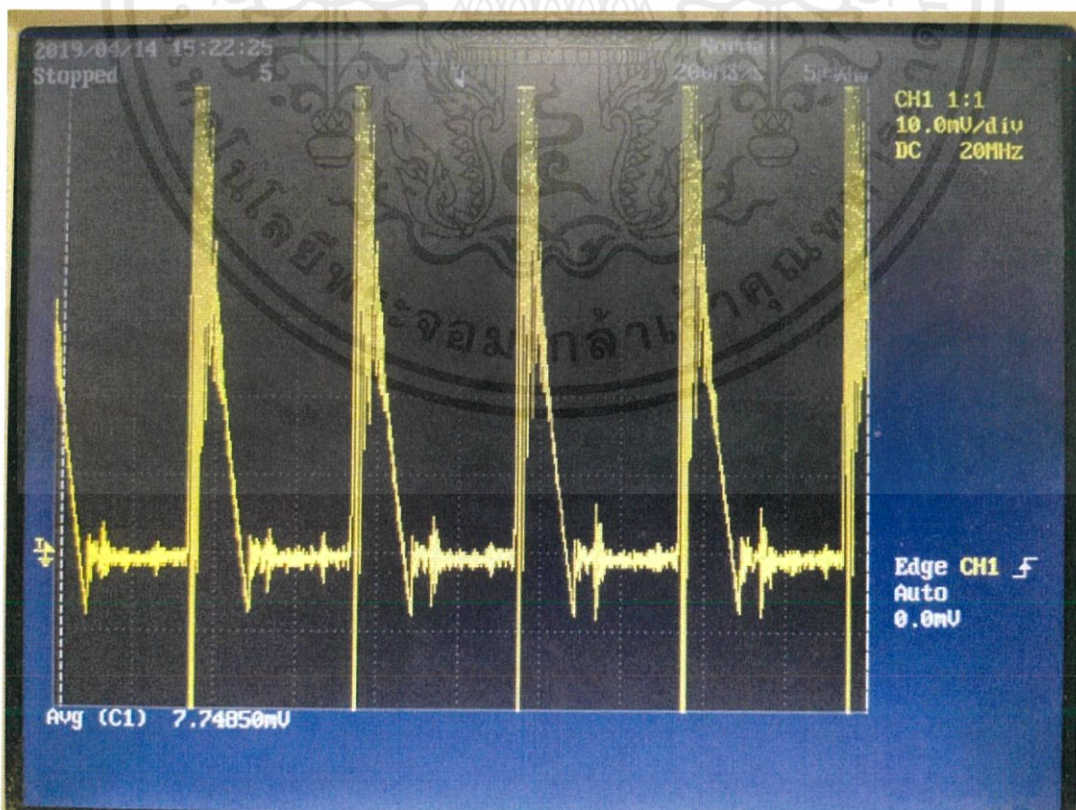


รูปที่ 4.6 กราฟการเปลี่ยนแปลงแรงดันของเซลล์แบตเตอรี่ขณะทำงานในโหมดสมดุลแบบล่าง

จากกราฟในรูปที่ 4.6 จะสามารถสังเกตได้ว่าแรงดันของเซลล์ที่ 1 จะเพิ่มเรื่อยๆ ในขณะที่ แรงดันของเซลล์ที่เหลือจะลดลง เนื่องจากการสมดุลแบบล่าง เป็นถ่ายโอนพลังงานจากแถวแบตเตอรี่ ไปยัง เซลล์ที่ถูกเลือก จากผลการทดสอบสรุปได้ว่าวงจรสมดุลแรงดันเซลล์แบตเตอรี่สามารถทำงานในโหมดสมดุลแบบล่างได้ตามที่ออกแบบไว้

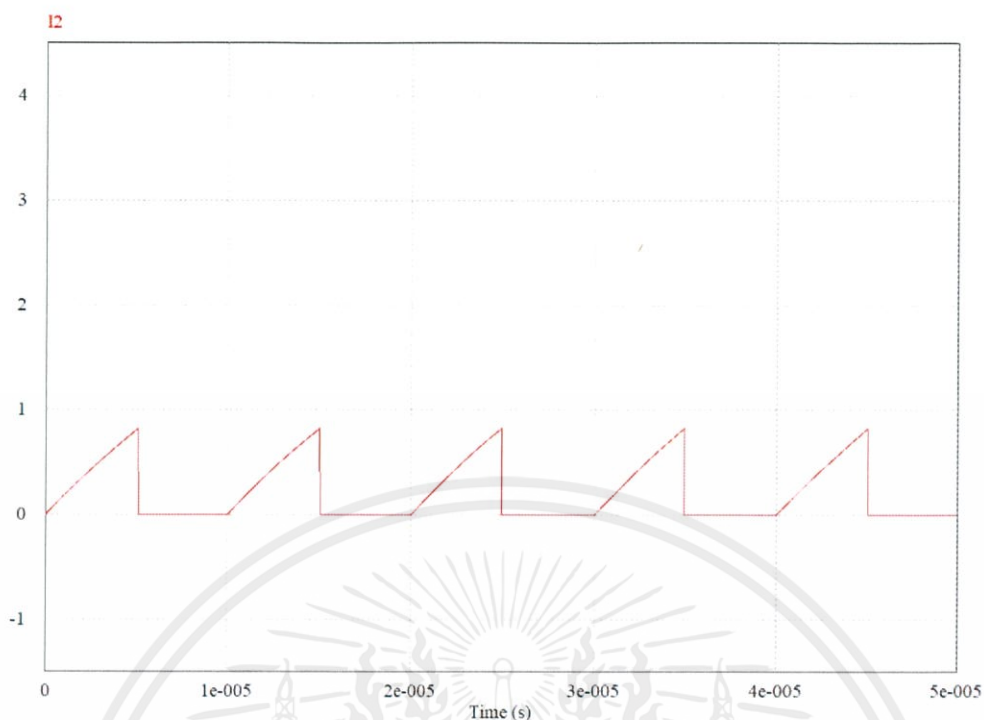


รูปที่ 4.7 รูปคลื่นของกระแสฟิงเซลล์แบตเตอร์ี่ขณะทำงานในโหมดสมมูลแบบล่างจากการจำลองด้วยโปรแกรม PSIM

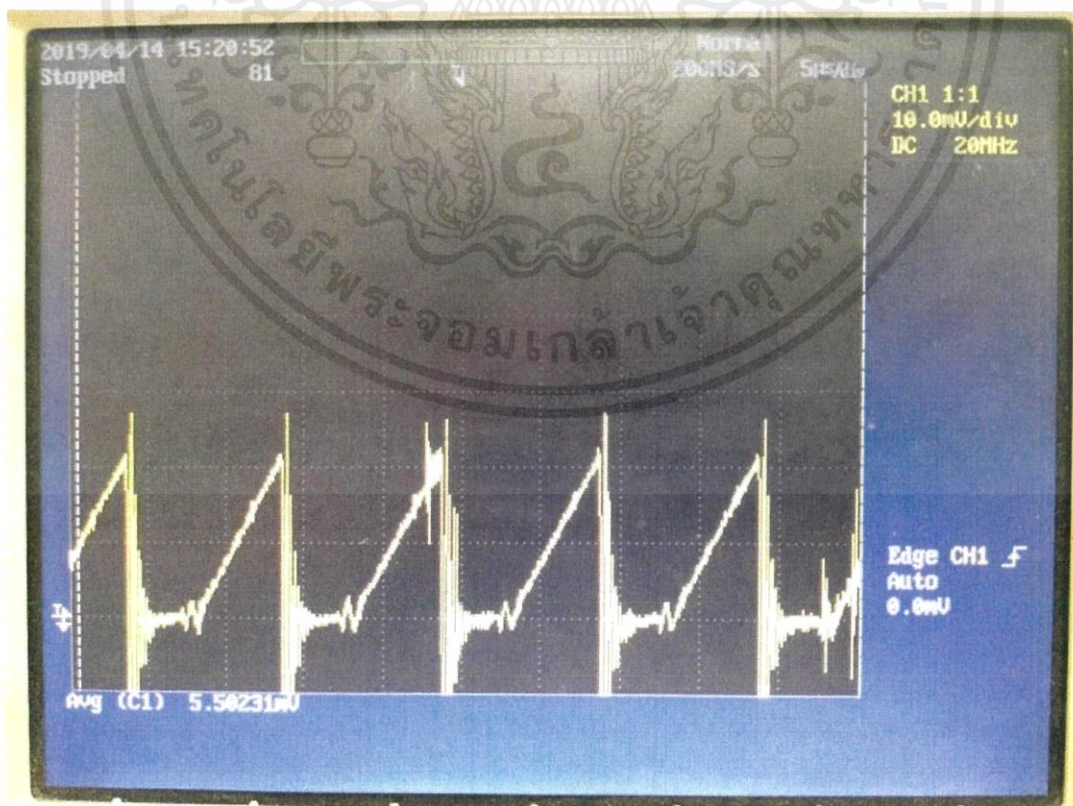


รูปที่ 4.8 รูปคลื่นของกระแสฟิงเซลล์แบตเตอร์ี่ขณะทำงานในโหมดสมมูลแบบล่างในวงจรจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่หรือใช้  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 รูปคลื่นของกระแสฟิ่งแฉวแบตเตอรีขณะทำงานในโหมดสมดุลแบบล่างจากการจำลองด้วยโปรแกรม PSIM

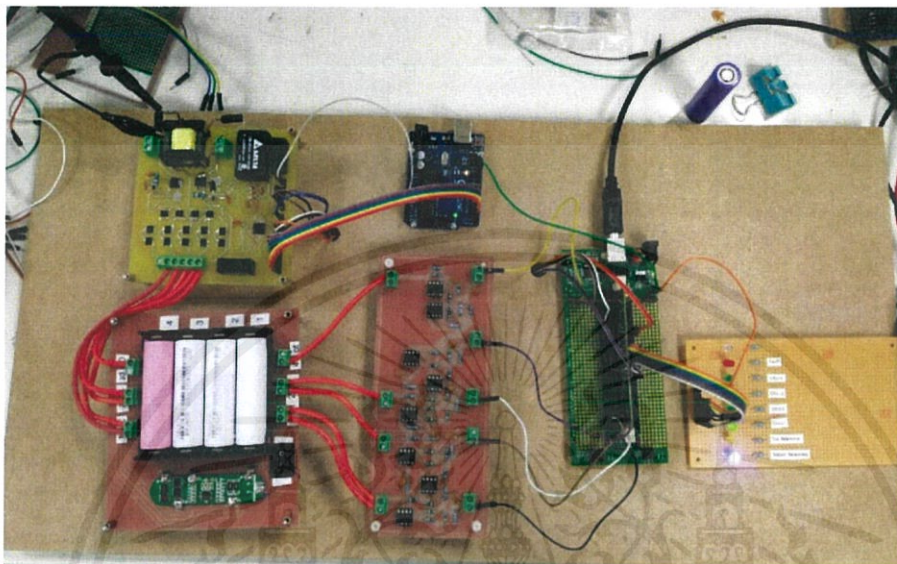


รูปที่ 4.10 รูปคลื่นของกระแสฟิ่งแฉวแบตเตอรีขณะทำงานในโหมดสมดุลแบบล่างในวงจรถริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการเขียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.3 การทดสอบวงจรสมดุลงแรงดันแบตเตอรี่

ทำการสมดุลงแรงดันแบตเตอรี่ 4 ตัว โดยใช้โหมตการทำงานแบบการสมดุลแบบบน และการสมดุลแบบล่าง ในการทำงานทั้งสิ้น 195 นาที ซึ่งมีการต่อวงจรดังรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 วงจรสมดุลงแรงดันเซลล์แบตเตอรี่

#### 4.3.1 การวัดแรงดันเปรียบเทียบระหว่างก่อนและหลังสมดุลงแรงดันแบตเตอรี่

จากการทำงานของวงจรสมดุลงแรงดันระหว่างแบตเตอรี่ทั้ง 4 ก่อน สามารถวัดแรงดันของแบตเตอรี่ในขณะก่อนสมดุลงแรงดัน และหลังเสร็จการสมดุลงแรงดันซึ่งทำการเปิดวงจร 15 นาทีแล้วจึงจะวัดค่าได้ดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 เปรียบเทียบแรงดันระหว่างก่อนและหลังสมดุลงแรงดันแบตเตอรี่

	แบตเตอรี่ 1 (V)	แบตเตอรี่ 2 (V)	แบตเตอรี่ 3 (V)	แบตเตอรี่ 4 (V)	ค่าเฉลี่ย (V)
ก่อนการ สมดุลงแรงดัน	3.038	3.539	3.514	3.913	3.501
ค่าแรงดันที่ แตกต่างจาก ค่าเฉลี่ย(ก่อน)	0.463	0.038	0.013	0.412	-
หลังการ สมดุลงแรงดัน	3.462	3.488	3.472	3.497	3.480
ค่าแรงดันที่ แตกต่างจาก ค่าเฉลี่ย(หลัง)	0.018	0.008	0.007	0.017	-

#### 4.3.2 การวัดแรงดันในขณะสมดุลแรงดัน

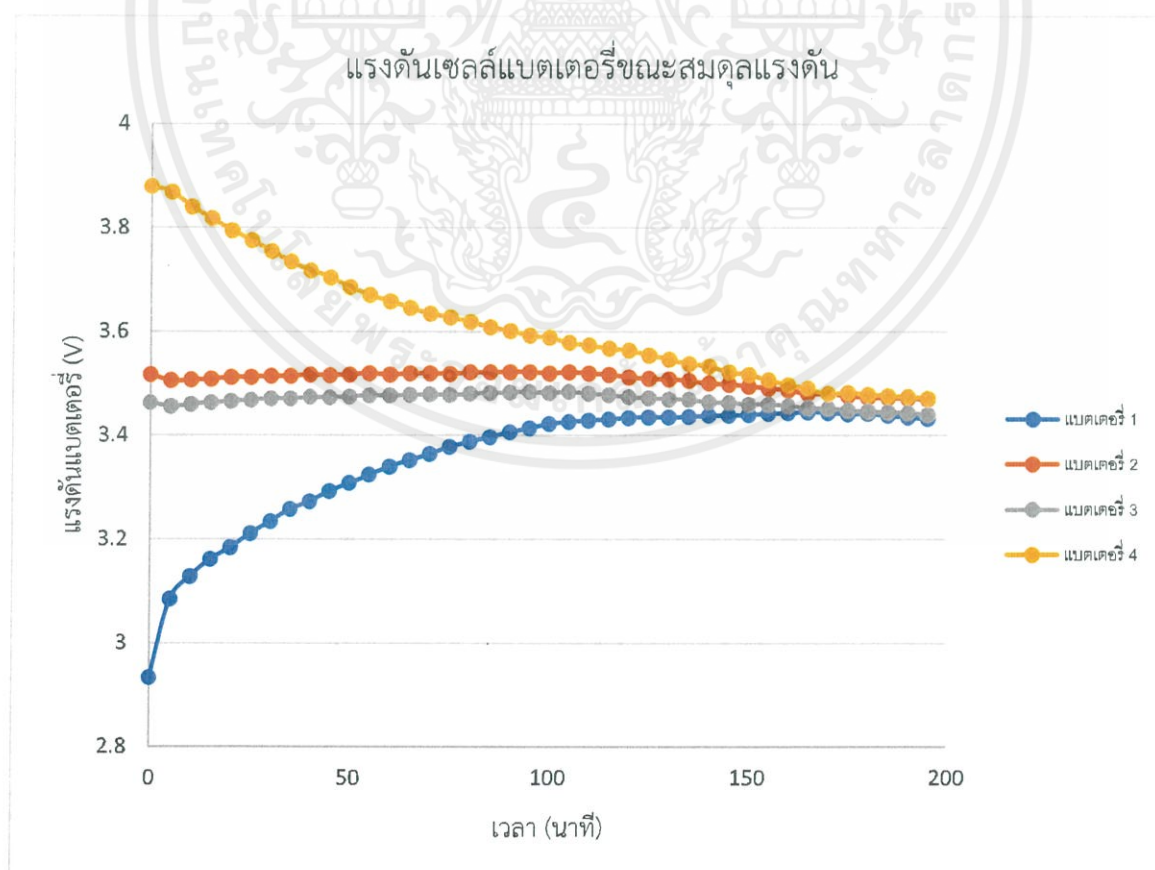
จากการทดลองได้มีการเปิดการทำงานของวงจรสมดุลแรงดันไว้ 195 นาที ซึ่งจะมีการทำงานเป็นวัฏจักรทุก 10 วินาที โดยแบ่งเป็น 1 วินาทีที่หยุดการสมดุลแรงดัน เพื่อวัดแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่ไปใช้ในการเลือกโหมดการทำงานของวงจรสมดุลแรงดัน และ 9 วินาทีในการสมดุลแรงดัน โดยได้มีการวัดแรงดันแบตเตอรี่ในทุก 5 นาที ดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 แรงดันเซลล์แบตเตอรี่ขณะสมดุลแรงดัน

นาที	แบตเตอรี่ 1 (V)	แบตเตอรี่ 2 (V)	แบตเตอรี่ 3 (V)	แบตเตอรี่ 4 (V)
0	2.933	3.517	3.463	3.879
5	3.084	3.505	3.456	3.868
10	3.128	3.506	3.460	3.840
15	3.161	3.508	3.463	3.817
20	3.184	3.511	3.466	3.794
25	3.211	3.512	3.468	3.775
30	3.234	3.514	3.471	3.754
35	3.258	3.514	3.471	3.734
40	3.273	3.517	3.474	3.717
45	3.293	3.515	3.473	3.704
50	3.308	3.517	3.475	3.685
55	3.324	3.519	3.477	3.670
60	3.340	3.517	3.477	3.658
65	3.352	3.519	3.478	3.645
70	3.364	3.519	3.479	3.634
75	3.378	3.518	3.478	3.627
80	3.388	3.521	3.480	3.618
85	3.397	3.521	3.482	3.608
90	3.406	3.522	3.483	3.601
95	3.414	3.522	3.484	3.592
100	3.422	3.519	3.482	3.588
105	3.426	3.522	3.484	3.578
110	3.429	3.519	3.481	3.573
115	3.431	3.517	3.478	3.567
120	3.434	3.512	3.474	3.563
125	3.435	3.509	3.472	3.554
130	3.435	3.508	3.470	3.546
135	3.436	3.505	3.469	3.537

140	3.438	3.500	3.464	3.533
145	3.438	3.498	3.463	3.522
150	3.440	3.494	3.460	3.517
155	3.442	3.491	3.460	3.506
160	3.443	3.487	3.457	3.497
165	3.445	3.480	3.453	3.490
170	3.444	3.480	3.452	3.480
175	3.441	3.476	3.449	3.482
180	3.442	3.473	3.446	3.478
185	3.438	3.472	3.445	3.476
190	3.435	3.471	3.443	3.474
195	3.432	3.469	3.440	3.471

จากตารางที่ 4.4 พบว่าแรงดันในทุบบัดเตอรีจะลู่เข้าหากันตามการทำงานของโปรแกรมควบคุมซึ่งกำหนดให้แบตเตอรี่ทุกเซลล์มีแรงดันห่างจากค่าเฉลี่ยไม่เกิน 20 mV หากเกินให้วงจรสมดุลแรงดันทำงาน โดยสามารถสังเกตการลู่เข้าของแบตเตอรี่ได้จากรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.12 แรงดันเซลล์แบตเตอรี่ขณะสมดุลแรงดัน

## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลอง

#### 5.1 สรุปผลการทดลอง

โครงการงานเรื่องวงจรสมมูลแรงดันสำหรับแบตเตอรี่ยานยนต์ไฟฟ้า จำลองการสมมูลแรงดันแบตเตอรี่สำหรับยานยนต์ไฟฟ้าโดยใช้แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนจำนวน 4 เซลล์ และใช้วงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ 100 kHz 0.5 ดิวตี้ไซเคิลในการส่งถ่ายพลังงาน โดยวงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ด้านปฐมภูมิจะต่ออยู่กับเซลล์แบตเตอรี่ซึ่งใช้มอสเฟตในการเลือกเซลล์แบตเตอรี่ที่จะต่อเข้ากับวงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ ส่วนด้านทุติยภูมิจะต่อกับแถวแบตเตอรี่ โดยสัญญาณที่ใช้ในการเลือกเซลล์แบตเตอรี่ที่จะต่อเข้ากับฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ฝั่งปฐมภูมิ และสัญญาณที่ใช้เพื่อควบคุมการทำงานของฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์นั้นจะใช้ตัวประมวลผลสัญญาณดิจิทัล (DSP) รุ่น TMS320F28335 ซึ่งมีความเร็วในการประมวลผล 150 MHz ในการควบคุมการทำงาน

จากการทำงานของวงจรสมมูลแรงดันสำหรับแบตเตอรี่ยานยนต์ไฟฟ้านั้น มีผลที่ได้สามารถสมมูลแรงดันของแบตเตอรี่ทั้ง 4 เซลล์ให้มีค่าอยู่ในช่วงใกล้เคียงกัน สามารถทำงานสมมูลแรงดันได้ทั้งกรณีที่เซลล์มีแรงดันสูงกว่าค่าเฉลี่ย และกรณีที่เซลล์มีแรงดันต่ำกว่าค่าเฉลี่ยตามที่มีการออกแบบไว้

#### 5.2 ปัญหาและแนวทางการแก้ไขปัญหา

ในการออกแบบวงจรสมมูลแรงดันสำหรับแบตเตอรี่ยานยนต์ไฟฟ้าพบว่าอุปกรณ์ที่ใช้ในวงจรบางส่วนมีขนาดใหญ่เกินไป ส่งผลให้ตัววงจรมีขนาดใหญ่ตามมาด้วย เมื่อทดสอบวงจรพบว่ามีความสูญเสียในระบบที่สูง และแรงดันกระชากจากขั้วหม้อแปลงที่สูง จากปัญหาที่พบในการวิจัยอาจสามารถแก้ไขและพัฒนาได้โดยการเลือกขนาดอุปกรณ์และจัดรูปแบบวงจรใหม่เพื่อลดขนาดของวงจร เปลี่ยนอุปกรณ์ให้มีประสิทธิภาพที่สูงมากยิ่งขึ้น ใช้พลังงานลดลง หลีกเลี่ยงการใช้อุปกรณ์ที่มีความสูญเสียสูงเพื่อลดความสูญเสียในระบบ และการศึกษาการสร้างหม้อแปลงอย่างประณีต หรือเลือกใช้อุปกรณ์สำหรับลดแรงดันกระชากที่เหมาะสมจะสามารถลดแรงดันกระชากที่เกิดจากขั้วหม้อแปลงได้ ส่งผลให้สามารถลดคุณสมบัติของอุปกรณ์บางอย่างลงได้

#### 5.3 ข้อเสนอแนะในการพัฒนางานวิจัย

องค์ความรู้จากโครงการงานเรื่องวงจรสมมูลแรงดันสำหรับแบตเตอรี่ยานยนต์ไฟฟ้าสามารถนำไปวิจัยพัฒนาเพื่อใช้เพิ่มจำนวนเซลล์แบตเตอรี่ พัฒนาประสิทธิภาพในการส่งถ่ายพลังงาน การนำไปพัฒนาใช้กับแบตเตอรี่สำหรับยานยนต์ไฟฟ้าจริง และการพัฒนาเป็นระบบจัดการแบตเตอรี่ที่มีระบบที่หลากหลายขึ้นได้

## บรรณานุกรม

- [1] Himax, (2018), “ระบบจัดการแบตเตอรี่”, [Online], Available : <http://th.himaxbattery.net/info/battery-management-system-29437990.html>
- [2] M. Daowd, N. Omar, P. V. D. Bossche, J. Van Mierlo, “A Review of Passive and Active Battery Balancing based on MATLAB/Simulink,” **2011 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference**, 2011, pp. 1-7.
- [3] M. Räber, D.Ould Abdeslam, A. Heinzelmann, A. Ramirez, “ Performance estimation of a cell-to-cell-type active balancing circuit for lithium-ion battery systems,” **IEEE 26th International Symposium on Industrial Electronics**, 2017, pp. 1005-1010.
- [4] วีระเชษฐ ชันเงิน และ วุฒิพล ธาราธิระเศรษฐ์, **อิเล็กทรอนิกส์กำลัง Power Electronics**, พิมพ์ครั้งที่ 14, กรุงเทพมหานคร, ห้างหุ้นส่วนจำกัด วี.เจ. พรินติ้ง, 2557, หน้า 361–364.
- [5] Jatapol, (2013), “คอนเวอร์เตอร์”, [Online], Available : <http://jatapol00.blogspot.com/2013/02/rfiemi-flyback-converter-forward.html>
- [6] Infineon, “Active Charge Balancing for Li-ion Battery Stacks,” **Power Electronics Europe issue 3**, 2008, pp. 25-27.
- [7] C. Bonfiglio, W. Roessler, “A Cost Optimized Battery Management System with Active Cell Balancing for Lithium Ion Battery Stacks,” **2009 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference**, 2009, pp. 304–309.
- [8] Colonel Wm. T. Mclyman, **Transformer and Inductor Design Handbook**, New York, Marcel Dekker, Inc., 2004.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# วงจรสมดุลแรงดันสำหรับแบตเตอรี่ยานยนต์ไฟฟ้า

## Equalizer for EV Battery

จิรภัทร ศุภกุลนิธิไพศาล, ชวภูมิ เสงวนกุล, ฌกฤษ อายุวัฒน์, ณัฐฤติ วงศ์วันดี, ดร.สมภพ ผลไม้

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

1 ซอยฉลองกรุง 1 ลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520 โทรศัพท์ 02-739-2478 E-mail : jirapat.supakul@gmail.com

### บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอวงจรสมดุลแรงดันของเซลล์แบตเตอรี่ที่ใช้ในยานยนต์ไฟฟ้า ซึ่งเป็นเซลล์ลิเทียมไอออนที่เชื่อมต่อกันแบบอนุกรมเป็นแถวของแบตเตอรี่และใช้รูปแบบการสมดุลแรงดันแบบแอคทีฟ การสมดุลแรงดันแบบแอคทีฟแบบที่เลือกใช้เป็น การถ่ายโอนพลังงานระหว่างเซลล์แบตเตอรี่และแถวของแบตเตอรี่ ด้วยวงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์สองทิศทาง และควบคุมการทำงานด้วยตัวประมวลผลสัญญาณดิจิทัล ในปริญญานิพนธ์นี้นำเสนอวิธีการสมดุลแรงดันสองวิธีคือ การสมดุลแรงดันแบบบนซึ่งเป็นการสมดุลแรงดันของเซลล์แบตเตอรี่ที่มีแรงดันสูงกว่าค่าเฉลี่ย โดยการถ่ายโอนพลังงานจากเซลล์ที่มีแรงดันสูงสุดไปยังแถวแบตเตอรี่ และการสมดุลแรงดันแบบล่าง ซึ่งเป็นการสมดุลแรงดันของเซลล์แบตเตอรี่ที่มีแรงดันต่ำกว่าค่าเฉลี่ย โดยการถ่ายโอนพลังงานจากแถวแบตเตอรี่ไปยังเซลล์ที่มีแรงดันต่ำสุด จากผลการทดลองจากเครื่องต้นแบบจำนวน 4 เซลล์พบว่า วงจรสมดุลแรงดันสามารถสมดุลแรงดันเซลล์แบตเตอรี่ได้ตามค่าที่ออกแบบไว้ และสามารถนำไปพัฒนาต่อเป็นเป็นส่วนหนึ่งของระบบการจัดการแบตเตอรี่ได้

**คำสำคัญ:** การสมดุลแรงดันเซลล์แบตเตอรี่, การสมดุลแรงดันแบบบน, การสมดุลแรงดันแบบล่าง, วงจรสมดุลแรงดันเซลล์แบตเตอรี่, การสมดุลแบบแอคทีฟ, ฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์

### Abstract

This thesis presents battery cells equalizer for electric vehicle in which Lithium-ion cell are connected in the battery stack and the active cell balancing technique is adopted. The active cell balancing method provides energy transfer between battery cells and battery stack by mean of bidirectional flyback converter controlled by digital signal processor. In this thesis, two methods of cell balancing are presented. The first one is top balancing that transfers energy from cell having higher than the stack average cell voltage. The second one is bottom balancing that transfers energy from the battery stack to the cell

having lower than the stack average cell voltage. The experimental results obtained from the prototype 4-cell system show that the battery cells are well balanced within the designed value and this prototype can be further developed for using in the battery management system.

**Keyword:** Cell balancing, Top balancing, Bottom balancing, Balancing circuit, Active balancing, Flyback converter

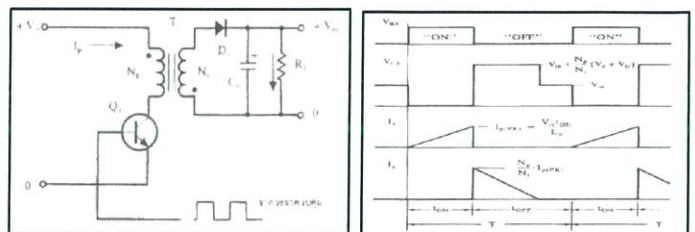
### 1. บทนำ

เนื่องจากในปัจจุบันยานยนต์ไฟฟ้ากำลังเป็นที่มาสนใจเนื่องจากประสิทธิภาพการใช้พลังงานที่สูง ไม่ก่อเกิดมลพิษจึงเป็นตัวเลือกใหม่ที่จะมาแทนที่ยานยนต์ระบบใช้พลังงานน้ำมันเราจึงเห็นความสำคัญของยานยนต์ไฟฟ้าซึ่งยานยนต์ไฟฟ้ามีแหล่งพลังงานหลักคือแบตเตอรี่ระบบแบตเตอรี่จึงเป็นระบบที่มีความสำคัญอย่างมากที่ควรจะต้องบำรุงรักษาให้ได้อายุการใช้งานให้ได้อย่างยาวนานที่สุดจึงได้ทำการศึกษาระบบการสมดุลเซลล์แบตเตอรี่ของแบตเตอรี่ยานยนต์ไฟฟ้าเพราะแบตเตอรี่ในรถไฟฟ้าจะมีการจัดเรียงเซลล์ย่อยเชื่อมต่อกันเป็นแบบอนุกรมซึ่งหากไม่มีการสมดุลเซลล์แรงดันเซลล์แบตเตอรี่จะทำให้เกิดปัญหาการชาร์จแรงดันเกิน (over charging) หรือคายประจุจนมากเกินไป (deep discharge) หากมีการเกิดปัญหาดังกล่าวเพียงเซลล์เดียวจะทำให้แบตเตอรี่ชุดนั้นเกิดความเสียหายและไม่สามารถใช้งานได้ดังนั้นการสมดุลแรงดันเซลล์แบตเตอรี่จึงช่วยแก้ปัญหาทั้งสองที่กล่าวมาข้างต้นได้จะทำให้สามารถยืดอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ให้มีอายุที่ยาวนานขึ้นได้

### 2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 วงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์

คือวงจรที่สามารถทำการลดหรือเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้าด้านขาออกให้ต่ำกว่าหรือสูงกว่าแรงดันไฟฟ้าด้านขาเข้าได้



รูปที่ 2.1 วงจรและกราฟการทำงานของวงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์

(ที่มา :

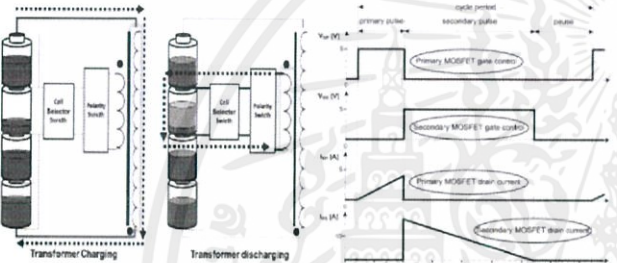
[https://www.cpe.ku.ac.th/~yuen/204471/power/switching\\_regulator/converter.html](https://www.cpe.ku.ac.th/~yuen/204471/power/switching_regulator/converter.html))

2.2 การปรับสมดุลเซลล์แบตเตอรี่

การใช้หม้อแปลงแบบ 2 ทิศทาง จะมีวิธีการปรับสมดุลแรงดันอยู่ 2 รูปแบบ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสถานการณ์ต่างๆ เช่น หลังจากมีการตรวจสอบเซลล์ของแรงดันแบตเตอรี่ แล้วนำไปคำนวณค่าเฉลี่ยแล้ว และนำไปเปรียบเทียบกับค่าที่มีความต่างจากค่าเฉลี่ยมากที่สุด หากต่ำกว่าค่าเฉลี่ยจะมีการสมดุลเซลล์แบบล่าง แต่ถ้าหากสูงกว่าค่าเฉลี่ยจะมีการสมดุลเซลล์แบบบน

2.2.1 การสมดุลเซลล์แบตเตอรี่แบบล่าง

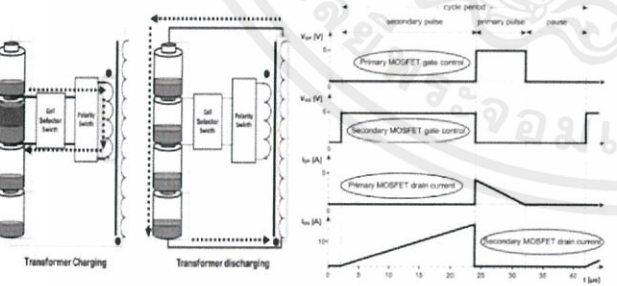
เป็นการสมดุลแรงดันเซลล์แบตเตอรี่จากแถวแบตเตอรี่ไปยังเซลล์ที่มีแรงดันต่ำสุด



รูปที่ 2.2 การสมดุลเซลล์แบตเตอรี่และคลื่นของการสมดุลเซลล์แบตเตอรี่แบบล่าง [2]

2.2.2 การสมดุลเซลล์แบตเตอรี่แบบบน

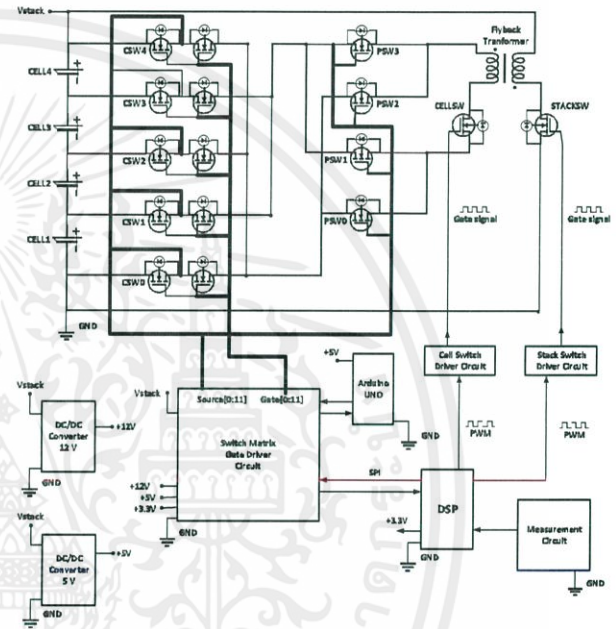
เป็นการสมดุลแรงดันเซลล์แบตเตอรี่จากเซลล์ที่มีแรงดันสูงสุด ไปยัง แถวแบตเตอรี่



รูปที่ 2.3 การสมดุลเซลล์แบตเตอรี่และคลื่นของการสมดุลเซลล์แบตเตอรี่แบบบน [2]

3. การออกแบบวงจร

วงจรสมดุลแรงดันเซลล์แบตเตอรี่ ประกอบด้วยวงจร 2 ส่วนคือ วงจรกำลัง และ วงจรควบคุม โดยในส่วนของวงจรกำลังจะทำหน้าที่จ่ายโวลต์พลังงานเพื่อสมดุลแรงดัน ซึ่งจะประกอบด้วย เซลล์แบตเตอรี่, ฟลายแบคคอนคอนเวอร์เตอร์, มอสเฟต, และ วงจรขับมอสเฟต โดยได้ออกแบบเพื่อรองรับเซลล์แบตเตอรี่จำนวน 4 เซลล์ และ ในส่วนของวงจรควบคุมจะทำหน้าที่ควบคุมการทำงานจากวงจรสมดุลแรงดัน จะประกอบไปด้วย ตัวประมวลผลสัญญาณดิจิทัล (DSP) และ วงจรวัดแรงดัน



รูปที่ 3.1 แผนผังของวงจรสมดุลแรงดันเซลล์แบตเตอรี่

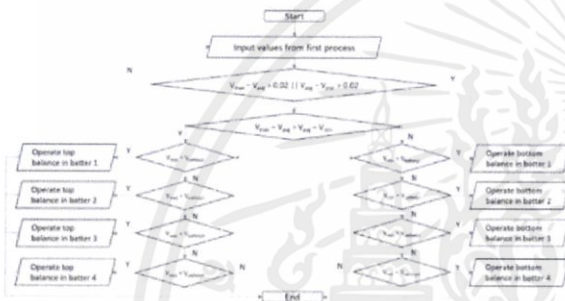
3.1 การเลือกใช้พารามิเตอร์ของวงจรที่ได้ออกแบบฝั่งแถวแบตเตอรี่

Stack side		
L stack	84	μH
I stack (peak)	1	A
I stack (rms)	0.408	A
I stack (avg)	0.25	A
N stack	16	turn
S stack	2	turn

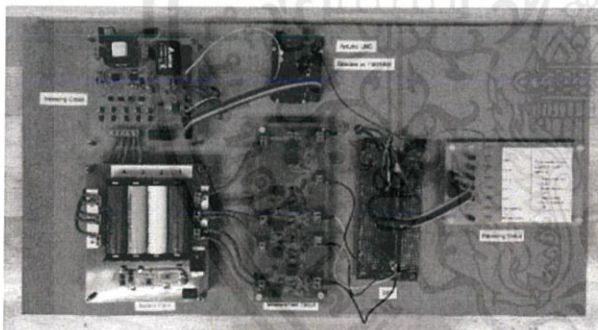
3.2 การเลือกใช้พารามิเตอร์ของวงจรที่ได้ออกแบบฟังก์ชัน

Cell side		
L cell	5.2779	μH
I cell (peak)	3.989	A
I cell (rms)	1.629	A
I cell (avg)	1	A
N cell	4	turn
S cell	6	turn

3.3 ฟังก์ชันการทำงานในส่วนระบบโหมดที่ใช้ในการทำงาน

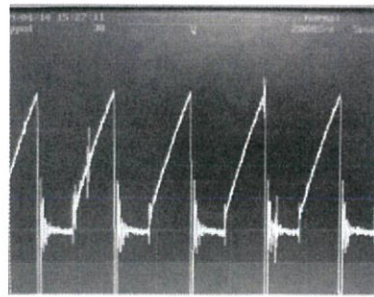


รูปที่ 3.2 ฟังก์ชันการทำงานในส่วนระบบโหมดที่ใช้ในการทำงาน

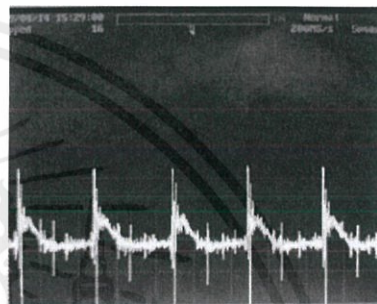


รูปที่ 3.3 วงจรสมดุลแรงดัน

รูปที่ 4.1 การเปลี่ยนแปลงแรงดันเซลล์ของการสมดุลแบบบน

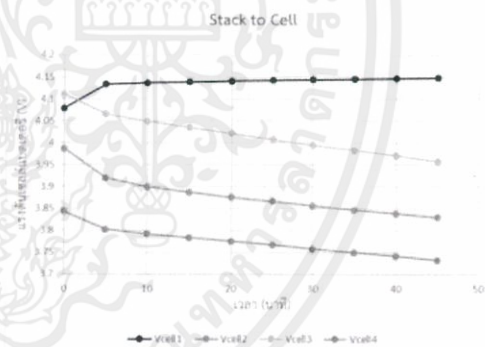


รูปที่ 4.2 กระแสฝั่งเซลล์เบตเตอร์การสมดุลแบบบน



รูปที่ 4.3 กระแสฝั่งแฉวเบตเตอร์การสมดุลแบบบน

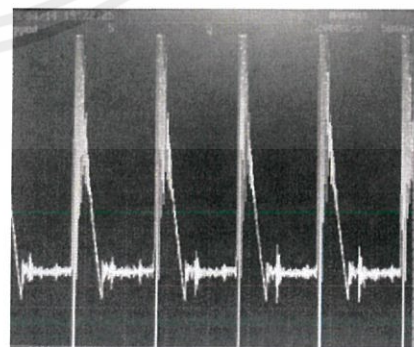
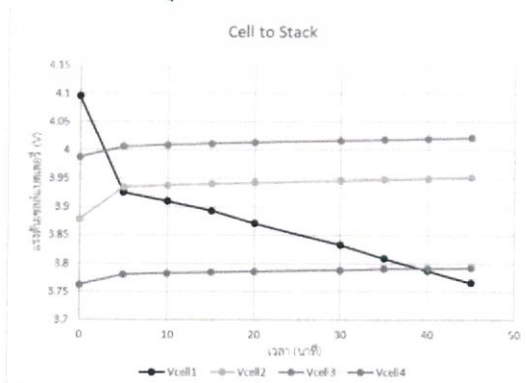
4.2 การทดสอบการสมดุลแรงดันแบบล่าง



รูปที่ 4.4 การเปลี่ยนแปลงแรงดันเซลล์ของการสมดุลแบบล่าง

4. ผลการทดลอง

4.1 การทดสอบการสมดุลแรงดันแบบบน



รูปที่ 4.5 กระแสฝั่งเซลล์เบตเตอร์การสมดุลแบบล่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



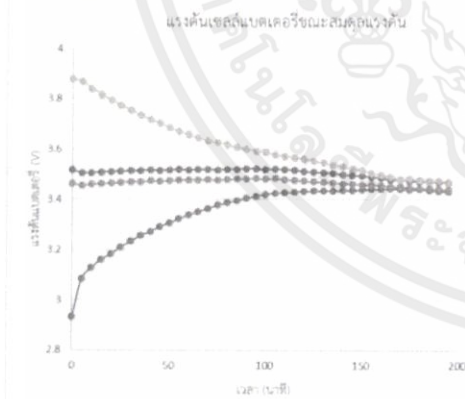
รูปที่ 4.6 กระแสฝั่งแถวแบตเตอรี่การสมดุลแบบล่าง

4.3 ทดสอบการสมดุลแรงดันเซลล์แบตเตอรี่

เปรียบเทียบแรงดันระหว่างก่อนและหลังสมดุลแรงดันแบตเตอรี่

	แบตเตอรี่ 1	แบตเตอรี่ 2	แบตเตอรี่ 3	แบตเตอรี่ 4
ก่อนการสมดุลแรงดัน	3.038 V	3.539 V	3.514 V	3.913 V
หลังการสมดุลแรงดัน	3.462 V	3.488 V	3.472 V	3.497 V

เมื่อทำการสมดุลแรงดัน แรงดันในทุกระบบแบตเตอรี่จะเข้าหาค่าการทำงานของโปรแกรมควบคุมซึ่งกำหนดให้แบตเตอรี่ทุกเซลล์มีแรงดันห่างจากค่าเฉลี่ยไม่เกิน 20 mV หากเกินในวงจรสมดุลแรงดันทำงาน การเปลี่ยนแปลงของแรงดันเซลล์แบตเตอรี่ที่ผ่านการสมดุลแรงดันแล้วเป็นไปตามรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 การเปลี่ยนแปลงแรงดันเซลล์แบตเตอรี่ที่ผ่านการสมดุลแรงดัน

5. สรุปผล

จากการทำงานของวงจรสมดุลแรงดันสำหรับแบตเตอรี่ยานยนต์ไฟฟ้านั้น มีผลที่ได้สามารถสมดุลแรงดันของแบตเตอรี่ทั้ง 4 เซลล์ให้มีค่าอยู่ในช่วงใกล้เคียงกัน สามารถทำงานสมดุลแรงดันได้ทั้งกรณีที่เซลล์มีแรงดันสูงกว่าค่าเฉลี่ย และกรณีที่เซลล์มีแรงดันต่ำกว่าค่าเฉลี่ยตามค่าที่มีการออกแบบไว้

6. กิตติกรรมประกาศ

ปัญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ด้วยการช่วยเหลือจากหลายท่าน โดยเฉพาะอย่างยิ่งต้องขอขอบคุณ ดร. สมภพ ผลไม้ อาจารย์ที่ปรึกษาที่ได้กรุณาให้ข้อเสนอแนะและข้อคิดเห็นต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อโครงการมาด้วยดีตลอดและได้กรุณาตรวจแก้ไขปัญญานิพนธ์จนสำเร็จเรียบร้อยเป็นอย่างดี ตลอดจนท่านอาจารย์ทุกท่านในสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ต่างๆ ให้อาจารย์ผู้จัดทำโครงการ รวมถึงบิดา มารดา เพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ที่ให้การสนับสนุนและกำลังใจตลอดการทำโครงการ

เอกสารอ้างอิง

- [1] Infineon, "Active Charge Balancing for Li-ion Battery Stacks," *Power Electronics Europe issue 3*, 2008, pp. 25-27.
- [2] C. Bonfiglio, W. Roessler, "A Cost Optimized Battery Management System with Active Cell Balancing for Lithium Ion Battery Stacks," *2009 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference*, 2009, pp. 304-309
- [3] วีระเชษฐ ชันเงิน และ วุฒิพล ชาราธิร์เศรษฐ์, อิเล็กทรอนิกส์กำลัง *Power Electronics*, พิมพ์ครั้งที่ 14, กรุงเทพมหานคร, ห้างหุ้นส่วนจำกัด วี.เจ. ฟรินตัง, 2557, หน้า 361-364.
- [4] Colonel Wm. T. Mclyman, *Transformer and Inductor Design Handbook*, New York, Marcel Dekker, Inc., 2004.

ประวัติผู้แต่ง



ชื่อ-นามสกุล : นายจิรภัทร สุภกุลนิธิไพศาล  
เบอร์โทร : 091-068-9898  
E-mail: jirapat.supakul@gmail.com



ชื่อ-นามสกุล : นายชวภูมิ ชวงกุล  
เบอร์โทร : 095-770-7161  
E-mail: chavaphoom-c@outlook.com



ชื่อ-นามสกุล : นายณภกฤษ อาวุฒวัฒน์  
เบอร์โทร : 097-140-0732  
E-mail: napakrit1@hotmail.com



ชื่อ-นามสกุล : นายณัฐวุฒิ วงศ์วันดี  
เบอร์โทร : 084-657-5725  
E-mail: nwongwande@gmail.com



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.1 DIGITAL MULTIMETER HIOKI รุ่น DT 4252



รูปที่ ข.2 ดิจิตอลออสซิลโลสโคป YOKOGAWA รุ่น DL1740E

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.3 LCR METER HIOKI รุ่น IM 3536



รูปที่ ข.4 CLAMP ON AC/DC HITESTER HIOKI รุ่น 3287

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



# Equalizer for EV Battery

Jirapat Supakulnitipaisarn<sup>1</sup>, Chawapoom Chawengkul<sup>2</sup>,  
Napakrit Ayuwat<sup>3</sup>, Nattawut Wongwandee<sup>4</sup> and Dr. Sompob Polmai<sup>5</sup>

## Abstract

This project presents about invention of the voltage balancing circuit of battery cells used in electric vehicles which is a serial connected Lithium-ion cell. The balancing topology used in this circuit is active balancing: transferring energy between battery cells using the flyback converter circuit. Connecting and switching with the MOSFET. Controlled by digital signal processor (DSP) model TMS320F28335. There are 2 type of balancing methods: top balancing: balancing of the battery cells which voltage is higher than the average by transferring energy from highest voltage cell to cell stack, and bottom balancing: balancing of the battery cells which voltage is lower than the average by transferring energy from cell stack to lowest voltage cell. The voltage balancing helps increase the life of the battery cell. From the experimental results, voltage balancing circuit can balance the battery cell voltage as designed and can be further developed into Battery Management System.

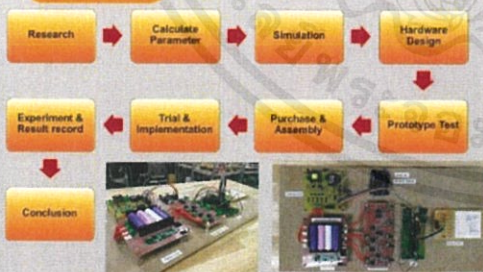
## Introduction

As associated with energy independence and environmental issue, alternative fuel vehicle, especially Electric and Hybrid electric vehicle has become part of the government policy all over the world. Electric vehicle (EV) based on electric propulsion system. All the power is based on electric power as the energy source. The main advantage is the high efficiency in power conversion through its propulsion system of electric motor. Recently there has been massive research and development work reported in both academic and industry.

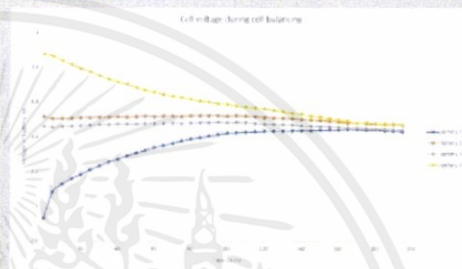
The battery is the main energy storage in the electric vehicle. The battery has a battery system that is important system. So this project is about developing voltage balancing circuit for Li-Ion cell battery which are connected in series. Voltage balancing is the process making voltage of each cell to be equal during the operation, charging or discharging. The balancing method used in this project is active balancing. This method balances cell's voltage by transfer energy between the cell.

The objective of this project is to study and prove the theory of Active cell balancing by making practical circuit.

## Methodology



## Results



This graph show the voltage of each cell battery during balancing operation. The balancing operate between top balancing and bottom balancing. Finally voltages of battery are convergence.

By the vertical axis is voltage of cell battery (unit: volt), the horizontal axis is time (unit: minute), blue line is voltage of battery 1, red line is voltage of battery 2, gray line is voltage of battery 3 and yellow line is voltage of battery 4.

## Conclusion

We are creating active cell balancing circuit for Li-Ion battery. This circuit is used to balancing the voltage of cell battery to be equal by transfer energy between cells. This circuit can protect Li-Ion cell battery from overcharging or over discharging during the operation. This can help us to maintain lifetime and reliability of battery. Form the experiment result, Circuit can be operated cell balancing as designed and the knowledge obtaining from this project can develop into more effective and complicate called Battery Management System.

## References

- [1] M. Rüber, D Ould Abdeslam, A. Heinzelmann, A. Ramirez, - Performance estimation of a cell-to-cell-type active balancing circuit for lithium ion battery systems, **IEEE 26th International Symposium on Industrial Electronics**, 2017, pp. 1005-1010.
- [2] Infineon, "Active Charge Balancing for Li-ion Battery Stacks," **Power Electronics Europe issue 3**, 2008, pp. 25-27.
- [3] C. Bonfiglio, W. Roessler, "A Cost Optimized Battery Management System with Active Cell Balancing for Lithium Ion Battery Stacks," **2009 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference**, 2009, pp. 304-309.

## Acknowledgement

This project is kindly endowed by Thai Meidensha Co.,Ltd



E-mail: sompob.po@kmitl.ac.th<sup>1</sup>

## ประวัติผู้แต่ง



นายจิรภัทร ศุภกุลนิธิไพศาล  
เกิดวันที่ 9 มีนาคม 2540  
ที่อยู่ 295/19 หมู่ 2 ต.หนองจ้อม อ.สันทราย จ.เชียงใหม่ 50210  
สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมจากโรงเรียนมงฟอร์ตวิทยาลัย  
E-mail: jirapat.supakul@gmail.com



นายชวภูมิ เชวงกุล  
เกิดวันที่ 9 มิถุนายน 2539  
ที่อยู่ 82/69 หมู่ 5 ต.เริงราง อ.เสาไห้ จ.สระบุรี 18160  
สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมจากโรงเรียนสระบุรีวิทยาคม  
E-mail: chavaphoom-c@outlook.com



นายณภกฤษ อายวัฒน์  
เกิดวันที่ 7 ตุลาคม 2539  
ที่อยู่ 109/1 หมู่ 3 ต.บางนอน อ.เมือง จ.ระนอง 85000  
สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมจากโรงเรียนพิชัยรัตนาคาร  
E-mail: Napakrit1@hotmail.com



นายณัฐวุฒิ วงศ์วันดี  
เกิดวันที่ 27 เมษายน 2540  
ที่อยู่ 99/463 ซลลดาสุวรรณภูมิ ต.ศรีษะจรเจ้จั่นอย อ.บางเสาธง  
จ.สมุทรปราการ 10570  
สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมจากโรงเรียนบดินทรเดชา (สิงห์ สิงหเสนี)  
E-mail: nwongwandee@gmail.com