

การศึกษาวงจรสลายผลึกซัลเฟตของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด
A STUDY OF DESULFATION CIRCUIT OF LEAD-ACID
BATTERY

รัตนา พรหมกาญจน์

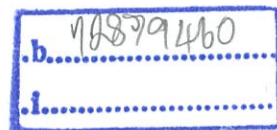
โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)
ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2558

การศึกษาวงจรสลายผลึกซัลเฟตของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด
A STUDY OF DESULFATION CIRCUIT OF LEAD-ACID
BATTERY



รัตนา พรหมกาญจน์

เลขหมู่.....**149024**
เลขทะเบียน.....
วัน,เดือน,ปี.....**27.S.A. 2560**



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)
ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2558

A STUDY OF DESULFATION CIRCUIT OF LEAD-ACID
BATTERY

RATTANA PROMKAN

A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF
THE REQUIRMENT FOR
THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE (APPLIED PHYSICS)
DEPARTMENT OF PHYSICS, FACULTY OF SCIENCE
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2015

หัวข้อโครงการพิเศษ

การศึกษาวางจรสลายผลึกซัลเฟตของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด
A STUDY OF DESULFATION CIRCUIT OF LEAD-ACID
BATTERY

ชื่อนักศึกษา

นางสาวรัตนา พรหมกาญจน์ รหัสนักศึกษา 55051595

ปริญญา

วิทยาศาสตร์บัณฑิต(ฟิสิกส์ประยุกต์)

ภาควิชา

ฟิสิกส์




ปีการศึกษา

2558

อาจารย์ที่ปรึกษา

ดร.กมลปัญญา สุวรรณสุขโข

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้
โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต(ฟิสิกส์ประยุกต์)
ประจำปีการศึกษา 2558

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
อ.ธรรมรัตน์ แต่งตั้ง ประธานกรรมการ	
รศ.วิชิต ศิริโชติ กรรมการ	
ดร.พิศาล สุขวิสูตร กรรมการ	พิศาล สุขวิสูตร
ดร.กมลปัญญา สุวรรณสุขโข กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

หัวข้อโครงการพิเศษ	การศึกษาวงจรสลายผลึกซัลเฟตของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด
ชื่อนักศึกษา	นางสาวรัตนา พรหมกาญจน์ รหัสนักศึกษา 55051595
ปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต(ฟิสิกส์ประยุกต์)
ภาควิชา	ฟิสิกส์
คณะ	วิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัย	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)
ปีการศึกษา	2558
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.กวางปัญญา สุวรรณสุขโข

บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้ได้ทำการศึกษาวงจรสลายผลึกซัลเฟตในแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด เนื่องจากการเกิดผลึกซัลเฟตในแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด เป็นผลให้แบตเตอรี่เกิดการเสื่อมสภาพ ดังนั้นวงจรสลายผลึกซัลเฟตจึงทำให้แบตเตอรี่มีสภาพที่ดีขึ้น โดยในวงจรมี 2 ส่วนดังนี้ วงจรกำลังและวงจรพัลส์ หลักการทดลองวงจรนี้คือการใช้พัลส์ความถี่ในการสลายผลึกซัลเฟตในแบตเตอรี่ในระยะเวลาที่กำหนด โดยชาร์จพัลส์ความถี่ที่แรงดันไฟฟ้ากระแสตรง(V)=42.0 โวลต์ ที่เวลา 8 ชั่วโมง 1 ชั่วโมง 20 นาที 5 นาที 2 นาทีและแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง(V)=25.2 โวลต์ ที่เวลา 30 นาที 2 ชั่วโมง จากนั้นทำการวิเคราะห์ระยะเวลาการคายประจุของแบตเตอรี่ โดยระยะเวลาการคายประจุนั้นบ่งบอกถึงสภาพของแบตเตอรี่นั่นเอง จากผลการทดลองพบว่า การชาร์จพัลส์ความถี่ที่แรงดันไฟฟ้าสูงและใช้เวลาในการชาร์จพัลส์ความถี่นานมีผลทำให้แบตเตอรี่นั้นมีผลทำให้แบตเตอรี่มีระยะเวลาการคายประจุลดลง เนื่องจากแรงดันไฟฟ้าและระยะเวลาการชาร์จพัลส์ความถี่ สภาพแบตเตอรี่ก็เป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการสลายผลึกซัลเฟต หากนำโครงการพิเศษนี้ไปพัฒนาควรใช้แบตเตอรี่ที่หลากหลายสภาพ และควรใช้แรงดันไฟฟ้าที่แรงดันต่ำ

คำสำคัญ : สภาพแบตเตอรี่ แบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด แรงดันไฟฟ้ากระแสตรง การคายประจุชาร์จพัลส์ความถี่

Title	A STUDY OF DESULFATION CIRCUIT OF LEAD-ACID BATTERY
Students	Miss Rattana Promkan Student ID 55051595
Degree	Bachelor of Science (Applied Physics)
Department	Physics
Faculty	Science
University	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)
Academic Year	2558
Advisor	Dr.Kajpanya Suwansukho

Abstract

This special project is a study of desulfation circuit of lead-acid battery. Because a desulfation in lead-acid battery as a result the battery deterioration. This circuit is helps dissolve sulphate crystals. The circuit has two parts: power circuit and a pulse circuit. The experiment is to use a pulse frequency of the sulphate crystals dissolve in the battery in a set time period. By the charging pulse frequency at DC voltage (V)= 42.0 Volt at 8 hours, 1 hour 20 minutes, 5 minutes, 2 minutes and the DC voltage(V) = 25.2 Volt at 30 minutes, 2 hours. Then analyzed the duration of discharge of the battery, by the time the discharge is indicative of the condition of the battery itself. The results showed that the pulse frequency charge high voltage and pulse charging time for a battery that had the effect of discharging the battery for a period of decline. In addition, battery condition used in the experiment was an important factor in the trial. If special project to develop a battery that should be used diverse conditions and use low voltage.

Keywords: Battery condition, Battery lead - acid, DC voltage Pulse, Discharge, frequency charge

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษเรื่องนี้สำเร็จได้ด้วยดี เนื่องจากผู้จัดทำได้รับความกรุณาและความช่วยเหลือเป็นอย่างดีจาก อาจารย์ ดร.กวางปัญญา สุวรรณสุข อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษ ฉบับนี้ ซึ่งได้สละเวลาอันมีค่ายิ่งในการให้คำปรึกษาทางด้านวิชาการ ตลอดจนข้อเสนอแนะและวิธีการแก้ปัญหาต่างๆ เพื่อให้ผู้จัดทำสามารถนำไปปรับปรุงแก้ไขในโครงการพิเศษจนเสร็จสมบูรณ์ อีกทั้งอาจารย์ท่านยังได้ให้คำปรึกษาที่ดีทั้งในเรื่องแนวทางในการทำงาน ประชญาต่างๆเกี่ยวกับการดำเนินชีวิตและการเข้าสังคม เพื่อให้ผู้จัดทำจะได้จบออกไปเป็นคนดีและเป็นกำลังหลักในการพัฒนาของสังคม

ขอขอบพระคุณคณะกรรมการซึ่งประกอบด้วย อ.ธรรมรัตน์ แต่งตั้ง รศ.วิจิต ศิริโชติ ดร.พิศาล สุขวิสูตร ที่ร่วมให้คำแนะนำและข้อคิดที่เป็นประโยชน์ต่อการดำเนินงานและทำให้โครงการพิเศษนี้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณคุณอาจารย์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่าน โดยเฉพาะอย่างยิ่งอาจารย์ประจำภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ ดูแลและให้คำแนะนำ ช่วยเหลือผู้จัดทำตลอดมา และขอขอบคุณเพื่อนภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ที่คอยให้กำลังใจและช่วยเหลือกันตลอดมา

สุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดาและครอบครัว ที่ได้ให้การส่งเสริมทั้งในเรื่องการศึกษา เป็นตัวอย่างที่ดี คอยช่วยเหลือในทุก ๆ ด้านและคอยให้กำลังใจเสมอมา และขอกราบขอบพระคุณครูบาอาจารย์ทุก ๆ ท่านที่ได้เมตตาประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และอบรมสั่งสอนให้มีความรู้มาโดยตลอดจนสำเร็จการศึกษา

รัตนา พรหมกาญจน์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ซ
คำย่อ/สัญลักษณ์	ฎ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย/ปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	1
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	1
1.4 แนวทางการดำเนินการวิจัย	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 บทนำ	3
2.2 ประเภทของแบตเตอรี่	3
2.3 แบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรด	3
2.4 โครงสร้างของแบตเตอรี่ตะกั่วกรด	4
2.5 หลักการทำงานของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรด	5
2.5.1 ปฏิกริยาไฟฟ้าเคมีขณะคายประจุไฟฟ้า	5
2.5.2 ปฏิกริยาไฟฟ้าเคมีขณะอัดประจุไฟฟ้า	6
2.6 หลักการอัดประจุแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรด	7
2.6.1 หลักการพื้นฐานของการอัดประจุ	7
2.6.2 การอัดประจุด้วยกระแสคงที่	8
2.6.3 การอัดประจุด้วยแรงดันคงที่	8
2.6.4 การอัดประจุด้วยแรงดันปกติ	8
2.6.5 การอัดประจุด้วยแรงดันร่นแรง	8
2.7 การเสื่อมสภาพของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรด	9
2.7.1 สาเหตุของการเสื่อมสภาพ	9
2.8 การเสื่อมสภาพจากการเกิดซัลเฟชัน	10
2.9 สาเหตุของการเกิดซัลเฟชัน	11
2.10 วงจรสมมูลของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรด	12
2.11 ทฤษฎีการเปลี่ยนแปลงและรักษาระดับแรงดัน	12
2.11.1 วงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์	13

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.12 ไอซีเบอร์ 555	14
2.12.1 ส่วนประกอบของไอซีเบอร์ 555	14
2.12.2 หน้าที่ส่วนต่างๆ ของไอซีเบอร์ 555	15
2.12.3 คุณสมบัติแต่ละขาของไอซีเบอร์ 555	16
2.13 วงจรกำเนิดพัลส์	16
2.13.1 วงจรโมโนสเตเบิล (Monoastable Circuit)	16
2.13.1 วงจรอะสเตเบิล (Astable Circuit)	18
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	19
3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	19
3.2 หลักการทำงานของวงจรถ่ายผลึกซัลเฟตในแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด	20
3.3 หลักการคำนวณ	21
3.4 ประกอบชิ้นส่วนวงจรกำลัง	21
3.4.1 วงจรกำลัง	21
3.4.2 ประกอบวงจรกำลัง	22
3.5 ประกอบชิ้นส่วนวงจรพัลส์	22
3.5.1 วงจรพัลส์	22
3.5.2 ประกอบวงจรพัลส์	23
3.6 ประกอบวงจรทั้งคู่เข้ากัน	23
3.6.1 วงจรกำลังและวงจรมกำเนิดพัลส์	23
3.6.2 ประกอบระหว่างวงจรมกำเนิดพัลส์และวงจรมกำเนิดพัลส์	24
3.7 ตรวจสอบหลังการประกอบและเริ่มจ่ายไฟ	24
3.8 ตรวจสอบการทำงานเบื้องต้นของวงจร	24
3.9 ตรวจสอบวงจรก่อนการทดลอง	25
3.10 ขั้นตอนการทดลอง	25
3.11 ขั้นตอนการวิเคราะห์สภาพของแบตเตอรี่	27
3.11.1 การชาร์จแบตเตอรี่	27
3.11.2 การดิสชาร์จแบตเตอรี่	29
บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล	30
4.1 การวิเคราะห์สภาพแบตเตอรี่ โดยช่วงเวลาการคายประจุ	30
4.2 การตรวจสอบความถี่ของวงจรก่อนการทดลอง	30
4.2.1 แหล่งจ่ายไฟฟ้าขนาด $V_{DC}=25.2$ โวลต์ ขนาด 3 A	31
4.2.2 แหล่งจ่ายไฟฟ้าขนาด $V_{DC}=42.0$ โวลต์ ขนาด 3 A	35

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
4.3 กระแสไฟฟ้าที่ใช้ในระหว่างการชาร์จพัลส์ความถี่	40
4.3.2 แหล่งจ่ายไฟฟ้าขนาด $V_{Dc}=25.2$ โวลต์ ขนาด 3 A	40
4.2.1 แหล่งจ่ายไฟฟ้าขนาด $V_{Dc}=42.0$ โวลต์ ขนาด 3 A	41
4.4 อภิปรายผลการวิจัย	41
4.4.1 ผลการทดลองของ 38B19L (1)	41
4.4.2 ผลการทดลองของ 38B19L (2)	44
4.4.3 ผลการทดลองของ MF200L	47
4.4.4 ผลการทดลองของ 34B19L (1-1)	50
4.4.5 ผลการทดลองของ 34B19L (1-2)	53
4.4.6 ผลการทดลองของ 34B19L (1-3)	56
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	59
5.1 สรุปผลการวิจัย	59
5.2 ข้อเสนอแนะ	63
เอกสารอ้างอิง	

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 แนวทางการดำเนินการวิจัย	2
2.1 คุณสมบัติวงจรรแนนด์เกต (Nand gate)	15
2.2 คุณสมบัติวงจรฟลิป-ฟลอป (Flip-Flop) แบบ RS – F/F	15
3.1 กำหนดสถานะเงื่อนไขการศึกษาของแบตเตอรี่	27
4.1 ผลการทดลองของ 38B19L (1)	44
4.2 ผลการทดลองของ 38B19L (2)	47
4.3 ผลการทดลองของ MF200L	50
4.4 ผลการทดลองของ 34B19L (1-1)	53
4.5 ผลการทดลองของ 34B19L (1-2)	56
4.6 ผลการทดลองของ 34B19L (1-3)	58
5.1 กำหนดสถานะเงื่อนไขการศึกษาของแบตเตอรี่	59
5.2 ผลการทดลองของ 38B19L (1)	60
5.3 ผลการทดลองของ 38B19L (2)	60
5.4 ผลการทดลองของ MF200L	61
5.5 ผลการทดลองของ 34B19L (1-1)	62
5.6 ผลการทดลองของ 34B19L (1-2)	62
5.7 ผลการทดลองของ 34B19L (1-3)	63

สารบัญญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 โครงสร้างของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรด	4
2.2 ปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีขณะคายประจุไฟฟ้า	6
2.3 ปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีขณะอัดประจุไฟฟ้า	6
2.4 โครงสร้างพื้นฐานของการอัดประจุแบตเตอรี่	7
2.5 การอัดประจุแบตเตอรี่	9
2.6 แผ่นธาตุประจุของแบตเตอรี่	10
2.7 วงจรวงจรสมมูลของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรด	12
2.8 วงจรและแรงดันไฟสลับที่จุดต่างๆของเรียงกระแสแบบบริดจ์	13
2.9 ขณะจ่ายแรงดันไฟสลับไปอัสตรงให้ไดโอด D_2 และ D_4	13
2.10 ขณะจ่ายแรงดันไฟสลับไปอัสให้ไดโอด D_1 D_3	13
2.11 ส่วนประกอบของไอซีเบอร์ 555	14
2.12 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของวงจรโมโนสเตเบิล	17
2.13 วงจรโมโนสเตเบิลโดยไอซีเบอร์ 555	17
2.14 วงจรอะสเตเบิลไอซีเบอร์ 555	18
3.1 วงจรสลายผลึกซัลเฟตในแบตเตอรี่	20
3.2 ผังวงจรกำลัง	21
3.3 วงจรกำลัง	22
3.4 ผังวงจรกำเนิดพัลส์	22
3.5 วงจรกำเนิดพัลส์	23
3.6 ผังวงจรกำลังและวงจรกำเนิดพัลส์	23
3.7 วงจรกำลังและวงจรกำเนิดพัลส์	24
3.8 การทำงานของเครื่องธรรมดาทั่วไป	25
3.9 วิธีการคายประจุของแบตเตอรี่	26
3.10 การทำงานของวงจรสลายผลึกซัลเฟต	26
3.11 วิธีการชาร์จแบตเตอรี่	27
3.12 กราฟขณะชาร์จแบตเตอรี่	28
3.13 วิธีการคายประจุของแบตเตอรี่	28
3.14 กราฟการคายประจุของแบตเตอรี่	29
4.1 การคายประจุของแบตเตอรี่	30
4.2 พัลส์ความถี่ของไอซีเบอร์ 555 (U1) ขาที่3	31
4.3 พัลส์ความถี่ของไอซีเบอร์ 555 (U2) ขาที่3	31
4.4 รูปความกว้างพัลส์ของไอซีเบอร์ 555 (U2) ขาที่3	32
4.5 รูปพัลส์ความถี่ของไอซี TC4426 (U3) ขาที่7	32
4.6 รูปความกว้างพัลส์ของไอซี TC4426 (U3) ขาที่7	33
4.7 รูปพัลส์ความถี่ของไอซี TC4426 (U3) ขาที่5	33

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.8 รูปความกว้างพัลส์ของไอซี TC4426 (U3) ขาที่5	34
4.9 รูปพัลส์ความถี่ของไอซี TC4426 (U4) ขาที่7	34
4.10 รูปความกว้างพัลส์ของไอซี TC4426 (U4) ขาที่7	35
4.11 รูปพัลส์ความถี่ของไอซีเบอร์ 555 (U1) ขาที่3	35
4.12 รูปพัลส์ความถี่ของไอซีเบอร์ 555 (U2) ขาที่3	36
4.13 รูปความกว้างพัลส์ของไอซีเบอร์ 555 (U2) ขาที่3	36
4.14 รูปพัลส์ความถี่ของไอซี TC4426 (U3) ขาที่7	37
4.15 รูปความกว้างพัลส์ของไอซี TC4426 (U3) ขาที่7	37
4.16 รูปพัลส์ความถี่ของไอซี TC4426 (U3) ขาที่5	38
4.17 รูปความกว้างพัลส์ของไอซี TC4426 (U3) ขาที่5	38
4.18 รูปพัลส์ความถี่ของไอซี TC4426 (U4) ขาที่7	39
4.19 รูปความกว้างพัลส์ของไอซี TC4426 (U4) ขาที่7	39
4.20 กราฟกระแสไฟฟ้าที่ใช้พัลส์ในการชาร์จแบตเตอรี่	40
4.21 กราฟกระแสไฟฟ้าที่ใช้พัลส์ในการชาร์จแบตเตอรี่	41
4.22 กราฟการชาร์จประจุด้วยเครื่องธรรมดาทั่วไป 10 ชั่วโมง	41
4.23 กราฟการคายประจุ ด้วยโหลด 5 โอห์ม	42
4.24 กราฟการชาร์จด้วยพัลส์เป็นเวลา 8 ชั่วโมง ด้วยแรงดันไฟฟ้า 42.0 โวลต์	42
4.25 กราฟการชาร์จประจุหลังจากการชาร์จด้วยพัลส์ เป็นเวลา 10 ชั่วโมง	43
4.26 กราฟเปรียบเทียบการคายหลังจากการชาร์จด้วยพัลส์ ด้วยโหลด 5 โอห์ม	43
4.27 กราฟการชาร์จประจุด้วยเครื่องธรรมดาทั่วไป 10 ชั่วโมง	44
4.28 กราฟการคายประจุ ด้วยโหลด 5 โอห์ม	45
4.29 กราฟการชาร์จด้วยพัลส์เป็นเวลา 1 ชั่วโมง 20 นาที ด้วยแรงดันไฟฟ้า 42.0 โวลต์	45
4.30 กราฟการชาร์จประจุหลังจากการชาร์จด้วยพัลส์ เป็นเวลา 10 ชั่วโมง	46
4.31 กราฟเปรียบเทียบการคายหลังจากการชาร์จด้วยพัลส์ ด้วยโหลด 5 โอห์ม	46
4.32 กราฟการชาร์จประจุด้วยเครื่องธรรมดาทั่วไป 10 ชั่วโมง	47
4.33 กราฟการคายประจุ ด้วยโหลด 3 โอห์ม	48
4.34 กราฟการชาร์จด้วยพัลส์ เป็นเวลา 5 นาที ด้วยแรงดันไฟฟ้า 42 โวลต์	48
4.35 กราฟการชาร์จประจุหลังจากการชาร์จด้วยพัลส์ เป็นเวลา 10 ชั่วโมง	49
4.36 กราฟเปรียบเทียบการคายหลังจากการชาร์จด้วยพัลส์ ด้วยโหลด 3 โอห์ม	49
4.37 กราฟการชาร์จประจุด้วยเครื่องธรรมดาทั่วไป 10 ชั่วโมง	50
4.38 กราฟการคายประจุ ด้วยโหลด 3 โอห์ม	51
4.39 กราฟการชาร์จด้วยพัลส์ เป็นเวลา 2 นาที	51
4.40 กราฟการชาร์จประจุหลังจากการชาร์จด้วยพัลส์ เป็นเวลา 10 ชั่วโมง	52
4.41 กราฟเปรียบเทียบการคายหลังจากการชาร์จด้วยพัลส์ ด้วยโหลด 3 โอห์ม	52
4.42 กราฟการชาร์จประจุด้วยเครื่องธรรมดาทั่วไป 10 ชั่วโมง	53

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.43 กราฟการคายประจุ ด้วยโหลด 3 โอห์ม	54
4.44 กราฟการชาร์จด้วยพัลส์ เป็นเวลา 30 นาที	54
4.45 กราฟการชาร์จประจุหลังจากการชาร์จด้วยพัลส์ เป็นเวลา 10 ชั่วโมง	55
4.46 กราฟเปรียบเทียบการคายหลังจากการชาร์จด้วยพัลส์ ด้วยโหลด 3 โอห์ม	55
4.47 กราฟการชาร์จประจุด้วยเครื่องธรรมดาทั่วไป 10 ชั่วโมง	56
4.48 กราฟการคายประจุ ด้วยโหลด 3 โอห์ม	56
4.49 กราฟการชาร์จด้วยพัลส์ เป็นเวลา 2 ชั่วโมง	57
4.50 กราฟการชาร์จประจุหลังจากการชาร์จด้วยพัลส์ เป็นเวลา 10 ชั่วโมง	57
4.51 กราฟเปรียบเทียบการคายหลังจากการชาร์จด้วยพัลส์ ด้วยโหลด 3 โอห์ม	58

คำย่อ/สัญลักษณ์

คำย่อ/ สัญลักษณ์	คำอธิบาย
38B19L (1)	แบตเตอรี่ขนาด12V35Ahลูกที่1
38B19L (2)	แบตเตอรี่ขนาด12V35Ahลูกที่2
MF200L (3)	แบตเตอรี่ขนาด12V45Ahลูกที่3
34B19L (1-1)	แบตเตอรี่ขนาด12V45Ahลูกที่4
34B19L (1-2)	แบตเตอรี่ขนาด12V32Ahลูกที่5
34B19L (1-3)	แบตเตอรี่ขนาด12V32Ahลูกที่6
A	หน่วยของกระแสไฟฟ้า
Vcc	แหล่งจ่ายไฟฟ้า
R	ตัวต้านทาน
C	ค่าความจุไฟฟ้า

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เนื่องจากปัจจุบันมีการใช้แบตเตอรี่แบบตะกั่ว-กรดมากมาย โดยเฉพาะในรถยนต์ ถึงแม้ว่าแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด จะสามารถอัดประจุแล้วนำกลับมาใช้ใหม่ได้ แต่แบตเตอรี่ประเภทนี้ที่ใช้งานได้ไม่นาน ก็จะเสื่อมสภาพเนื่องจากปัจจัยหลายๆอย่าง แต่ปัจจัยหลักคือการเกิดผลึกซัลเฟตในแผ่นเซลล์ของแบตเตอรี่ ทำให้แบตเตอรี่เสื่อมสภาพและไม่สามารถเก็บประจุได้ แบตเตอรี่ที่มีเสื่อมสภาพนั้นก็กลายเป็นขยะมลพิษ ส่งผลต่อกระทบต่อมนุษย์โดยตรงเนื่องจากส่วนประกอบหลักทางเคมีของแบตเตอรี่คือตะกั่ว เมื่อแบตเตอรี่ถูกนำไปทิ้งก็จะก่อให้เกิดมลพิษ

จากปัญหาข้างต้นจึงเป็นที่มาของงานวิจัยนี้ โดยการสร้างสัญญาณพัลส์เพื่อสลายผลึกซัลเฟต ในแผ่นเซลล์แบตเตอรี่ เพื่อป้องกันการเสื่อมสภาพของแบตเตอรี่และสามารถใช้แบตเตอรี่ได้นานขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1.2.1 เพื่อศึกษาการสลายผลึกซัลเฟตในแบตเตอรี่แบบตะกั่ว-กรด
- 1.2.2 สามารถสร้างสัญญาณพัลส์เพื่อสลายผลึกซัลเฟตในขั้วแบตเตอรี่
- 1.2.3 สามารถยืดอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดได้นานขึ้น

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

ศึกษาการสลายซัลเฟตในแบตเตอรี่ สร้างสัญญาณพัลส์ที่สามารถปรับความกว้างและความถี่ของสัญญาณพัลส์ได้ โดยการใช้วงจรทดสอบกับแบตเตอรี่ เพื่อจ่ายสัญญาณพัลส์สลายผลึกซัลเฟตในแผ่นเซลล์ของแบตเตอรี่และสังเกตอายุของการคายประจุ

1.4 แนวทางการดำเนินการวิจัย

โครงการนี้มีระยะเวลาการศึกษาและการจัดทำรวมทั้งสิ้น 10 เดือน โดยเริ่มตั้งแต่เดือนสิงหาคม พ.ศ. 2558 ถึง เดือน พฤษภาคม พ.ศ. 2559 แสดงดังตารางที่ 1.1

ตารางที่ 1.1 แสดงแนวทางการดำเนินงานวิจัย

แผนการดำเนินงาน	ส.ค	ก.ย	ต.ค	พ.ย	ธ.ค	ม.ค	ก.พ	มี.ค	เมษา	พ.ค
เสนอ โครงการพิเศษ	■	■								
ศึกษาหาข้อมูล		■	■	■						
รวบรวมข้อมูล			■	■	■					
จัดเตรียมอุปกรณ์				■	■					
ออกแบบชุดทดลอง					■	■				
ทดสอบการทำงาน					■	■				
ทดลองและเก็บข้อมูล						■	■	■	■	
วิเคราะห์ข้อมูล									■	■

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.5.1 สามารถนำผลงานวิจัยนี้ไปใช้ในการสลายผลิตภัณฑ์เพื่อยืดอายุการใช้ของแบตเตอรี่ได้
- 1.5.1 สามารถลดขยะจากแบตเตอรี่ที่การเสื่อมสภาพ

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 บทนำ

แบตเตอรี่ (Battery) เป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้ในการเก็บรักษาพลังงานไฟฟ้าเอาไว้ใช้งาน เนื่องจากแบตเตอรี่มีขนาดและคุณสมบัติที่หลากหลายสามารถเลือกใช้ได้ตามคุณสมบัติที่ต้องการ นอกจากนี้แบตเตอรี่ยังเป็นอุปกรณ์ที่ใช้งานได้สะดวกอีกด้วย ในปัจจุบันแบตเตอรี่ก็ยังมีการใช้งานอย่างแพร่หลายและยังเป็นที่ต้องการของตลาด โดยแบตเตอรี่จะเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าและเก็บรักษาในรูปของพลังงานเคมี เมื่อนำไปใช้งานแบตเตอรี่จะดิสชาร์จประจุจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับโหลดที่ใช้งาน โดยแบตเตอรี่จะเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าแล้วนำไปใช้งาน

2.2 ประเภทของแบตเตอรี่

1. แบตเตอรี่แบบปฐมภูมิ เป็นแบตเตอรี่ที่สามารถใช้งานได้ครั้งเดียว เมื่อจ่ายไฟหมดแล้วต้องทิ้งเลย และไม่สามารถนำมาชาร์จประจุกลับเข้าไปใหม่ได้ เช่น ถ่านไฟฉาย

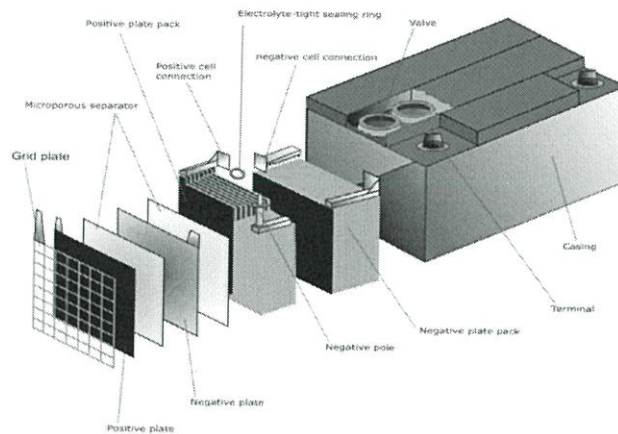
2. แบตเตอรี่แบบทุติยภูมิ เป็นแบตเตอรี่ที่สามารถนำกลับมาใช้งานใหม่ได้ หลังจากจ่ายไฟหมดแล้ว โดยสามารถชาร์จประจุกลับเข้าไปใหม่ ทำให้สามารถใช้งานได้นาน แบตเตอรี่ชนิดนี้มีราคาแพงกว่าแบตเตอรี่ชนิดปฐมภูมิ เช่น แบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรด เป็นต้น

2.3 แบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรด

แบตเตอรี่ตะกั่วกรดเป็นแบตเตอรี่แบบทุติยภูมิ (Secondary Battery) ชนิดแรกของโลกและเป็นชนิดที่มีการใช้งานมาอย่างยาวนานที่สุด ถูกประดิษฐ์ขึ้นครั้งแรกในปี ค.ศ.1859 โดยแกสตันพลองด์ (Gaston Plante) นักฟิสิกส์ชาวฝรั่งเศส ซึ่งในปัจจุบันแบตเตอรี่ตะกั่วกรดมีการใช้งานอย่างแพร่หลายทั้งในภาคอุตสาหกรรมและในชีวิตประจำวัน เนื่องจากมีค่าความจุสูง มีความทนทานและมีราคาต่ำกว่าแบตเตอรี่ชนิดอื่นๆ ที่ความจุเท่ากัน และแบตเตอรี่ชนิดนี้นิยมใช้กับรถยนต์และยานพาหนะต่างๆ (Vehicle), รถเข็น (Wheel Chair), สกูตเตอร์ (Scooter), ระบบสำรองไฟฟ้า (UPS) และระบบไฟแสงสว่างฉุกเฉิน (Emergency Light)

2.4 โครงสร้างของแบตเตอรี่ตะกั่วกรด

แบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรดมีส่วนประกอบที่สำคัญภายใน ดังรูปที่ 2.1 ประกอบไปด้วยแผ่นธาตุบวก และแผ่นธาตุลบ และสารละลายกรดซัลฟิวริกหรือที่เรียกว่าสารอิเล็กโทรไลต์ แผ่นธาตุบวกและแผ่นธาตุลบจะวางอยู่คู่กันแช่อยู่ในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ ในเซลล์แบตเตอรี่ลูกหนึ่งอาจจะมีแผ่นธาตุบวกและแผ่นธาตุลบหลายคู่ เพื่อให้ได้ขนาดของกระแสที่ออกมาสูงขึ้น โดยปริมาณขนาดของกระแสที่ได้จากแบตเตอรี่จะขึ้นอยู่กับพื้นที่แผ่นธาตุบวกและแผ่นธาตุลบ ระยะห่างระหว่างแผ่นธาตุและความเข้มข้นของสารละลาย ความจุของแบตเตอรี่วัดเป็นหน่วยแอมแปร์-ชั่วโมง (Ampere-Hour; Ah)



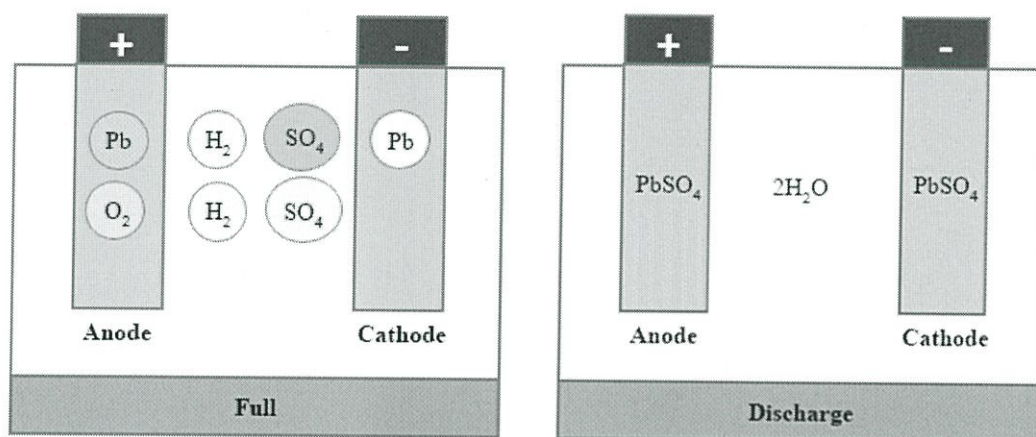
รูปที่ 2.1 โครงสร้างของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรด
(ที่มา <http://www.doitpoms.ac.uk>)

โครงสร้างของแบตเตอรี่ตะกั่วกรด อาจจะมีวัสดุที่แตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับประเภทงานที่นำไปใช้งานและการออกแบบของผู้ผลิต แต่จะมีโครงสร้างหลักที่เหมือนกัน ดังนี้

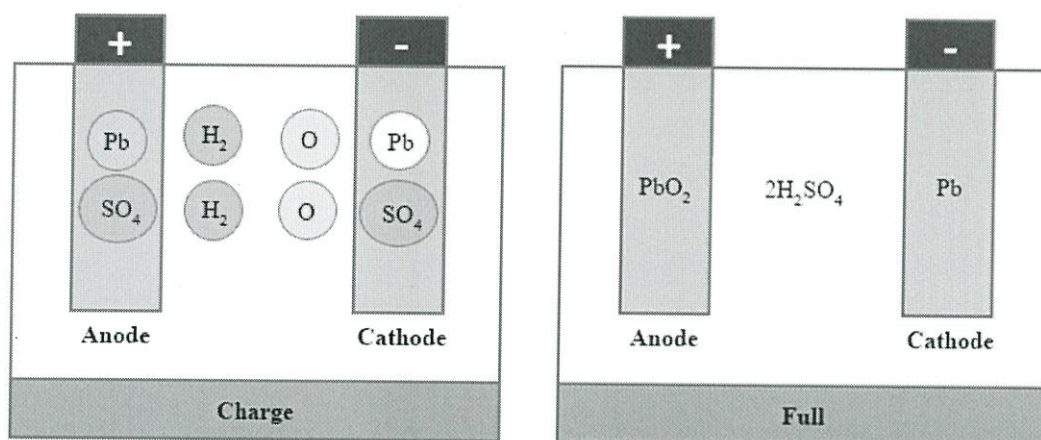
- แผ่นธาตุ (Plates) ในแบตเตอรี่มี 2 ชนิด คือ แผ่นธาตุบวก และแผ่นธาตุลบ แผ่นธาตุบวกทำมาจากตะกั่วออกไซด์ (PbO_2) และแผ่นธาตุลบทำจากตะกั่ว (Pb) วางเรียงสลับกัน จนเต็มพอดิในแต่ละเซลล์ แล้วกันไม่ให้แตะกัน ด้วยกัน
- แผ่นกั้น (Separator) แผ่นกั้นดังรูปที่ มีหน้าที่ป้องกันไม่ให้แผ่นธาตุบวก และแผ่นธาตุลบสัมผัสกัน ซึ่งจะทำให้เกิดการลัดวงจรขึ้น แผ่นกั้นนี้ทำมาจากไฟเบอร์กลาสหรือยางแข็งเจาะรูพรุน เพื่อให้ให้น้ำยาอิเล็กโทรไลต์สามารถที่จะไหลถ่ายเทไปมาได้ระหว่างแผ่นธาตุ คุณสมบัติที่ดีของแผ่นกั้นนั้นจะต้องมีความต้านทานการไหลของไอออนในสารละลายต่ำและไม่ทำปฏิกิริยากับน้ำยาอิเล็กโทรไลต์ หรือแผ่นธาตุ และมีขนาดความกว้างยาวเท่ากับแผ่นธาตุบวกและแผ่นธาตุลบ
- น้ำยาอิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte) น้ำยาอิเล็กโทรไลต์ในแบตเตอรี่เป็นกรดซัลฟิวริกหรือกรดกำมะถันเจือจาง คือมีกรดกำมะถัน (H_2SO_4) ประมาณ 38 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งค่าความถ่วงจำเพาะจะอยู่ที่ประมาณ 1.260-1.280 ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส น้ำยาอิเล็กโทรไลต์ในแบตเตอรี่เป็นตัวที่ทำให้แผ่นธาตุลบ เกิดปฏิกิริยาทางเคมีจนเกิดกระแสไฟฟ้าและแรงเคลื่อนไฟฟ้าขึ้นมาได้

2.5.2 ปฏิกริยาไฟฟ้าเคมีขณะอัดประจุไฟฟ้า

ปฏิกริยาการอัดประจุไฟฟ้าหรือปฏิกริยาผันกลับของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรดดังแสดงในรูปที่ 2.3 ซัลเฟต (SO_4) แยกตัวออกจากตะกั่วซัลเฟต (PbSO_4) เกิดเป็นตะกั่ว (Pb) ขึ้นที่แผ่นธาตุประจุลบ ส่วนน้ำ (H_2O) แตกตัวเป็นไฮโดรเจน (H_2) และออกซิเจน (O_2) โดยที่ไฮโดรเจน (H_2) จะทำปฏิกริยากับสารซัลเฟต (SO_4) เกิดเป็นกรดกำมะถัน (H_2SO_4) ออกซิเจน (O_2) จะทำปฏิกริยากับตะกั่ว (Pb) เกิดเป็นตะกั่วออกไซด์ (PbO_2) ขึ้นที่แผ่นธาตุประจุบวก ปฏิกริยาอัดประจุไฟฟ้าสามารถเขียนสมการปฏิกริยาได้ดังนี้



รูปที่ 2.2 ปฏิกริยาไฟฟ้าเคมีขณะคายประจุไฟฟ้า



รูปที่ 2.3 ปฏิกริยาไฟฟ้าเคมีขณะอัดประจุไฟฟ้า

2.6 หลักการอัดประจุแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรด

2.6.1 หลักการพื้นฐานของการอัดประจุ

การอัดประจุแบตเตอรี่ หมายถึง การทำให้แบตเตอรี่เกิดปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีผันกลับ โดยการจ่ายพลังงานไฟฟ้ากระแสตรงเข้าสู่แบตเตอรี่ การอัดประจุแบตเตอรี่มีโครงสร้างพื้นฐานดังแสดงในรูปที่ 2.4 เมื่อกำหนดให้ระดับแรงดันของการอัดประจุสูงกว่าระดับแรงดันที่ขั้วของแบตเตอรี่ (Open Circuit Voltage หรือ OCV) กระแสไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายจะไหลเข้าสู่แบตเตอรี่

จากกฎแรงดันเคอร์ชอฟ (Kirchhoff' Voltage Law หรือ KVL) สมการของการอัดประจุแบตเตอรี่ตามสมการที่ 2.6 การคำนวณค่ากระแสในการอัดประจุแบตเตอรี่สามารถคำนวณได้ตามสมการที่ 2.7 จะเห็นได้ว่าของกระแสในการอัดประจุแบตเตอรี่นั้นจะขึ้นอยู่กับผลต่างของค่าแรงดันในการอัดประจุกับแรงดันที่ขั้วแบตเตอรี่ รวมถึงการเปลี่ยนแปลงของค่าความต้านทานภายใน (Internal Resistance) ของแบตเตอรี่

$$V - E - I \cdot R = 0 \quad (2.6)$$

$$I = \frac{V - E}{R} \quad (2.7)$$

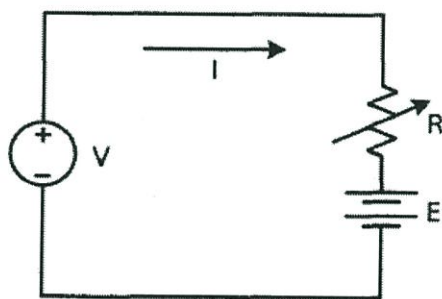
ค่า V คือ ค่าแรงดันในการอัดประจุ

ค่า E คือ ค่าแรงดันที่ขั้วของแบตเตอรี่

ค่า I คือ ค่ากระแสในการอัดประจุ

ค่า R คือ ค่าความต้านทานภายใน

การอัดประจุแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรดจะคำนึงถึงระดับของแรงดันและกระแสในการอัดประจุแบตเตอรี่เป็นสำคัญ เพราะจะส่งผลกระทบต่ออายุการใช้งานและการเสื่อมสภาพของแบตเตอรี่ ดังนั้นการกำหนดค่าแรงดันและกระแสที่เหมาะสมในการอัดประจุแบตเตอรี่จึงเป็นสิ่งสำคัญต่อคุณภาพของการอัดประจุ



รูปที่ 2.4 โครงสร้างพื้นฐานของการอัดประจุแบตเตอรี่

2.6.2 การอัดประจุด้วยกระแสคงที่

การอัดประจุด้วยกระแสคงที่ (Constant Current Charge หรือ CC) คือการจำกัดกระแสในการอัดประจุแบตเตอรี่ให้อยู่ในค่าที่เหมาะสม โดยการปรับเปลี่ยนค่าแรงดันในการอัดประจุค่ากระแสการอัดประจุถูกจำกัดด้วยค่าอัตราความจุ (Capacity Tare หรือ C-Rate) โดยทั่วไปค่ากระแสสูงสุดที่เหมาะสมในการอัดประจุแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรดจะมีค่าประมาณ 0.1-0.2C ซึ่งเป็นค่ากระแสสูงสุดที่ไม่ทำให้แบตเตอรี่เกิดความเสียหาย การอัดประจุด้วยกระแสคงที่ดังแสดงในรูปที่ 2.5 จะเห็นได้ว่าค่าคงที่ตลอดช่วงของการอัดประจุ แต่ค่าแรงดันที่ขั้วของแบตเตอรี่จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาของการอัดประจุ เพื่อเป็นการป้องกันแรงดันเกินในการอัดประจุแบตเตอรี่ (Over Charge) แรงดันสูงสุดที่ขั้วแบตเตอรี่สำหรับการอัดประจุด้วยกระแสคงที่จะถูกกำหนดจากค่าสถานะของการอัดประจุ (State of Charge หรือ SOC) ไว้ที่ 2.25 โวลต์/เซลล์ หรือ 90% ของค่าความจุแบตเตอรี่

2.6.3 การอัดประจุด้วยแรงดันคงที่

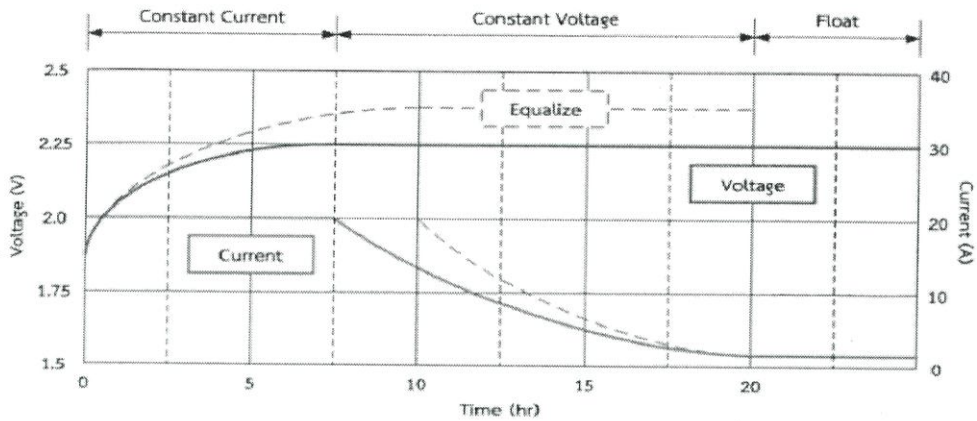
การอัดประจุด้วยแรงดันคงที่ (Constant Voltage Charge หรือ CV) คือ การกำหนดให้ค่าแรงดันที่ขั้วของแบตเตอรี่มีค่าคงที่ตลอดช่วงในการอัดประจุ โดยการปรับเปลี่ยนค่าแรงดันในการอัดประจุ การอัดประจุด้วยแรงดันคงที่เป็นช่วงของการอัดประจุที่ต่อเนื่องมาจากช่วงอัดประจุด้วยกระแสคงที่ดังแสดงในรูปที่ 2.5 แรงดันที่ขั้วของแบตเตอรี่จะมีค่าสูงสุดที่ 2.25 โวลต์/เซลล์ และจะคงที่เท่านี้ตลอดช่วงของการอัดประจุ ค่ากระแสในการอัดประจุจะมีค่าลดลงตามระยะเวลาของการอัดประจุ เมื่อกระแสในการอัดประจุลดลงเข้าใกล้ 0 A (End of Charge) แสดงว่าแบตเตอรี่จะถูกอัดประจุเต็มความจุ

2.6.4 การอัดประจุด้วยแรงดันปกติ

การอัดประจุด้วยแรงดันปกติ (Float Charge) คือ การอัดประจุด้วยแรงดันที่ต่ำที่สุดที่ถือว่าเป็นการอัดประจุ ในสภาวะปกติแบตเตอรี่จะถูกอัดประจุด้วยแรงดันปกติเพื่อให้แบตเตอรี่มีประจุเต็มอยู่เสมอ และเพื่อการป้องกันการคายประจุในตัวเองของแบตเตอรี่ (Self Discharge) การอัดประจุด้วยระดับแรงดันปกติดังแสดงในรูปที่ 2.5 จะได้เห็นว่แรงดันมีค่าเท่ากับ 2.25 โวลต์/เซลล์ และกระแสในการอัดประจุมีค่าน้อยมาก สำหรับแบตเตอรี่ชนิด (VLA) จะมีค่าเท่ากับ 20-30 mA/100Ah ส่วนแบตเตอรี่ชนิดปิดผนึก (VRLA) จะมีค่าเท่ากับ 40-80 mA/100Ah ที่ 25 องศาเซลเซียส

2.6.5 การอัดประจุด้วยแรงดันรุนแรง

การอัดประจุด้วยระดับแรงดันรุนแรง (Equalize Charge) คือ การอัดประจุด้วยแรงดันที่สูงที่สุดที่ถือว่าเป็นการอัดประจุ เพื่อเป็นการกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาเคมีภายในแบตเตอรี่หลังจากแบตเตอรี่มีการคายประจุ รวมถึงเป็นการบำรุงรักษาแบตเตอรี่ที่ไม่ได้ใช้งานมาเป็นเวลานาน เป็นช่วงของการอัดประจุที่ต่อเนื่องมาจากการอัดประจุด้วยกระแสคงที่ดังแสดงในรูปที่ 2.5 ระดับแรงดันในการอัดประจุจะคงที่เท่ากับ 2.45 โวลต์/เซลล์ ระยะเวลาของการอัดประจุถูกกำหนดโดยผู้ผลิตแบตเตอรี่ การอัดประจุในโหมดนี้อาจส่งผลกระทบต่อแบตเตอรี่เนื่องจากการอัดประจุด้วยแรงดันสูง ดังนั้นควรมีการควบคุมอุณหภูมิเพื่อเป็นการป้องกันการเสียหายของแบตเตอรี่จากอุณหภูมิที่สูงขึ้น (Thermal Runaway)



รูปที่ 2.5 การอัดประจุแบตเตอรี่

2.7 การเสื่อมสภาพของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรด

2.7.1 สาเหตุของการเสื่อมสภาพ

แบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรดที่ใช้ในระบบไฟฟ้า (Stationary Battery) ถูกออกแบบให้มีอายุการใช้งานประมาณ 10-20 ปีตามทฤษฎี แต่ในทางปฏิบัติแบตเตอรี่ส่วนใหญ่จะเกิดการเสื่อมสภาพก่อนกำหนด การเสื่อมสภาพก่อนกำหนดนี้อาจมีสาเหตุมาจากลักษณะการใช้งาน เช่น การใช้งานในสภาพแวดล้อมที่มีอุณหภูมิสูง การขาดการบำรุงรักษาที่ดี รวมถึงคุณภาพในการอัดและคายประจุในตัวเอง (Self Discharge) เนื่องจากปฏิกิริยาภายในแบตเตอรี่นั้นเกิดขึ้นตลอดเวลาและเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้แบตเตอรี่เกิดการเสื่อมสภาพของแบตเตอรี่ดังนี้

1) การแบ่งชั้นของกรด (Acid Stratification) เกิดจากความหนาแน่นสารละลายอิเล็กโทรไลต์มีค่าไม่เท่ากัน จึงเกิดความแตกต่างศักย์ขึ้นของอิเล็กโทรไลต์ เป็นสาเหตุให้เกิดการคายประจุบางส่วนอยู่นภายในแบตเตอรี่ ทำให้เกิดแก๊สและนำไปสู่การสูญเสียน้ำในน้ำยาอิเล็กโทรไลต์

2) การเกิดซัลเฟตชัน (Sulfation) เกิดจากปฏิกิริยาภายในแบตเตอรี่ไม่สามารถเกิดขึ้นได้โดยสมบูรณ์ ทำให้เกิดผลึกของตะกั่วซัลเฟต ($PbSO_4$) ที่แผ่นธาตุประจุและบางส่วนตกตะกอนอยู่ด้านล่าง ทำให้เกิดการสูญเสียสารซัลเฟตในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ แบตเตอรี่จะมีค่าความจุพลังงานลดลงและเสื่อมสภาพในที่สุด

3) การกัดกร่อน (Corrosion) เกิดจากแผ่นธาตุประจุถูกแช่อยู่ในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่มีสภาพเป็นกรด (H_2SO_4) การผุกร่อนของแผ่นธาตุจึงเป็นสิ่งที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ โดยมีอุณหภูมิเป็นตัวเร่งให้เกิดการกัดกร่อน อุณหภูมิที่เพิ่มทุกๆ 10 องศาเซลเซียส จะทำให้อายุการใช้งานของแผ่นธาตุประจุลดลง 2 เท่า

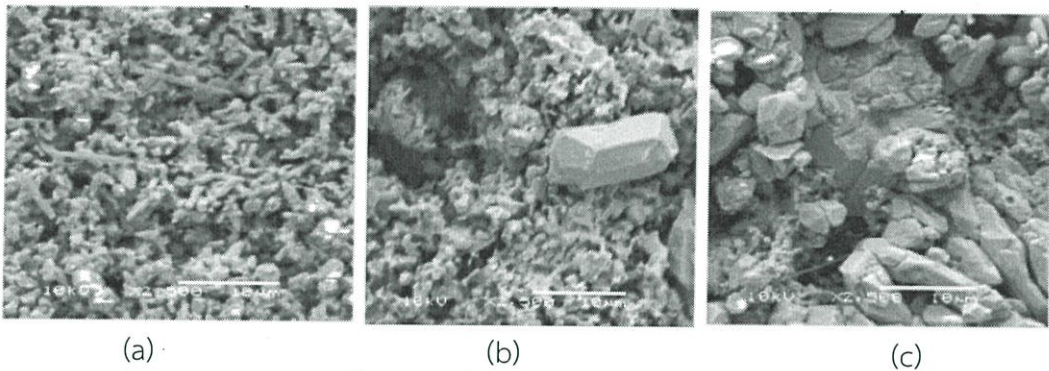
4) การสูญเสียน้ำในอิเล็กโทรไลต์ (Dry Out) เกิดจากการอัดประจุด้วยแรงดันที่สูงเกิน ทำให้เกิดไอระเหยแก๊สไฮโดรเจน (H_2) และออกซิเจน (O_2) ซึ่งเป็นส่วนประกอบของน้ำ (H_2O) เมื่อมีการสูญเสีย น้ำ ปฏิกิริยาภายในแบตเตอรี่ไม่สามารถเกิดขึ้นได้โดยสมบูรณ์

2.8 การเสื่อมสภาพจากการเกิดซัลเฟชัน

การเสื่อมสภาพของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรดอาจเป็นได้หลายสาเหตุ จากผลการศึกษาข้อมูลพบว่า การเสื่อมสภาพของแบตเตอรี่ชนิดนี้ 80% เกิดจากสาเหตุการสะสมของซัลเฟต (SO_4) บนแผ่นธาตุประจุหรือการเกิดซัลเฟชัน (Sulfation)

จากสมการปฏิกิริยาเคมีของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรดในสมการที่ 2.1 จะเห็นว่าทุกครั้งที่แบตเตอรี่คายประจุไฟฟ้าจะมีสารซัลเฟต (SO_2) เกิดขึ้นบนแผ่นธาตุประจุ สารซัลเฟตเหล่านี้จะเกิดปฏิกิริยาคืนกลับไปเป็นสารละลายอิเล็กโทรไลต์ (H_2SO_4) ได้ทั้งหมดเมื่อทำการอัดประจุ แต่นั่นเป็นเพียงสมการปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นในทางอุดมคติเท่านั้น ในทางปฏิบัติไม่สามารถใช้งานแบตเตอรี่ได้ตรงตามทฤษฎี 100% ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นจริงในทางปฏิบัติ คือ สารซัลเฟตที่เกิดขึ้นบนแผ่นธาตุประจุของแบตเตอรี่ (PbSO_4) ไม่สามารถเกิดปฏิกิริยาคืนกลับไปเป็นสารละลายอิเล็กโทรไลต์ (H_2SO_4) ได้ทั้งหมด เมื่อแบตเตอรี่ถูกใช้งานไปในระยะหนึ่ง แผ่นธาตุประจุจะเกิดสารซัลเฟตสะสมจนเป็นผลึก (Crystal) ขนาดใหญ่ปกคลุมพื้นที่ผิวของแผ่นธาตุประจุดังแสดงในรูปที่ 2.6

ผลึกของสารซัลเฟตเหล่านี้จะมีคุณสมบัติเป็นฉนวนทำให้ความต้านทานภายในของแบตเตอรี่เพิ่มสูงขึ้น แบตเตอรี่ไม่สามารถการเกิดปฏิกิริยาเคมีได้อย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องจากพื้นที่ผิวสัมผัสในการทำปฏิกิริยาระหว่างแผ่นธาตุประจุกับสารละลายอิเล็กโทรไลต์ลดลง ค่าความถ่วงจำเพาะของสารละลายอิเล็กโทรไลต์ลดลงเพราะเกิดการสูญเสียของสารซัลเฟต ค่าความจุพลังงานลดลงและแบตเตอรี่จะเกิดการเสื่อมสภาพในที่สุด



รูปที่ 2.6 แผ่นธาตุประจุของแบตเตอรี่
 (a) แผ่นธาตุของแบตเตอรี่ใหม่ (b) แผ่นธาตุของที่เริ่มมีการสะสมของซัลเฟต
 (c) แผ่นธาตุของแบตเตอรี่เสื่อมสภาพ

(ที่มา <http://www.altenergystocks.com>)

2.9 สาเหตุของการเกิดซัลเฟชัน

1) การคายประจุในตัวเอง (Self Discharge) คือการที่แบตเตอรี่สูญเสียพลังงานไฟฟ้าเนื่องจากการคายประจุผ่านค่าความต้านภายในของแบตเตอรี่ แบตเตอรี่จะมีประจุไฟฟ้าลดลงเรื่อยๆ เพราะความเข้มข้นของสารละลายอิเล็กโทรไลต์ (H_2SO_4) ถูกใช้ไปในปฏิกิริยา พร้อมทั้งเกิดตะกั่วซัลเฟต ($PbSO_4$) ขึ้นบนแผ่นธาตุประจุ โดยปกติที่ทำให้แบตเตอรี่เกิดการคายประจุในตัวเองต่ำประมาณ 5% ต่อเดือน สาเหตุที่ทำให้แบตเตอรี่เกิดการคายประจุในตัวเอง คือ แบตเตอรี่ไม่ได้รับการอัดประจุให้เต็มความจุก่อนเก็บรักษา และแบตเตอรี่ได้รับการอัดประจุในระดับแรงดันที่ต่ำ (Under Charge) กว่าแรงดันปกติ

2) ระดับแรงดันในการอัดประจุ (Voltage Charge) การควบคุมระดับแรงดันในการอัดประจุแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรดถือเป็นสิ่งสำคัญและส่งผลกระทบต่ออายุการใช้งานของแบตเตอรี่ ระดับแรงดันที่ก่อให้เกิดความเสียหายต่อแบตเตอรี่มี 2 ลักษณะ คือ

- ระดับแรงดันต่ำ (Under Charge) หมายถึง การใช้ระดับแรงดันในการอัดประจุที่ต่ำกว่าระดับแรงดันปกติ (Float Charge) ในสภาวะปกติแบตเตอรี่จะต้องได้รับแรงดันที่คงที่ในการอัดประจุเพื่อให้แบตเตอรี่มีประจุเต็มอยู่เสมอ และเป็นการป้องกันไม่ให้เกิดการคายประจุในตัวเองซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดซัลเฟชัน

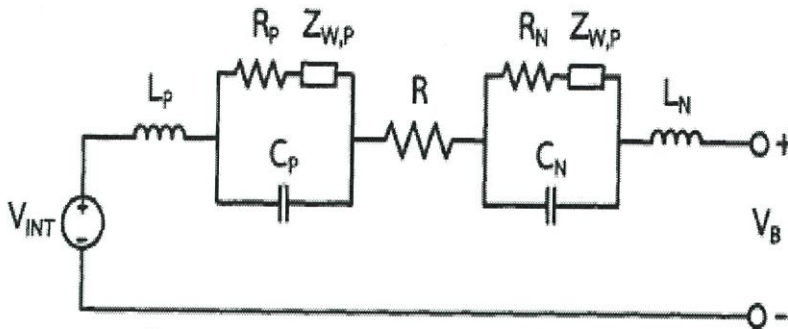
- ระดับแรงดันสูง (Over Charge) หมายถึง การใช้ระดับแรงดันในการอัดประจุที่สูงกว่าระดับแรงดันสูงสุดของแบตเตอรี่ (End of charge) ปฏิกิริยาภายในแบตเตอรี่จะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วและรุนแรง ทำให้เกิดไอระเหยของแก๊สไฮโดรเจน (H_2) และออกซิเจน (O_2) ซึ่งเป็นส่วนประกอบของน้ำ (H_2O) ในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ การสูญเสียน้ำทำให้แบตเตอรี่เกิดปฏิกิริยาเคมีไม่สมบูรณ์

- การคายประจุแบบลึก (Depth of Discharge หรือ DOD) หมายถึง การคายประจุแบตเตอรี่จนกระทั่งเหลือค่าความจุเพียง 20% ของความจุทั้งหมด แรงดันที่ขั้วของแบตเตอรี่จะมีค่าเท่ากับ 1.75 โวลต์/เซลล์ ซึ่งเป็นระดับแรงดันที่ต่ำที่สุดของการคายประจุ (End of Discharge) การคายประจุแบบลึกนี้จะเกิดซัลเฟตสะสมที่แผ่นธาตุประจุเป็นผลึกหนา ทำให้ยากต่อการเกิดปฏิกิริยาคืนกลับไปเป็นสารละลายอิเล็กโทรไลต์ได้ทั้งหมด

- อุณหภูมิ (Temperature) อุณหภูมิเป็นตัวแปรสำคัญและส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพและอายุการใช้งานแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรดมากที่สุด เนื่องจากอุณหภูมิเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาภายในแบตเตอรี่ เช่น อุณหภูมิที่สูงขึ้นทุกๆ 10 องศาเซลเซียส จะส่งผลกระทบต่อแบตเตอรี่เกิดการคายประจุในตัวเองเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า เป็นผลทำให้แบตเตอรี่เกิดซัลเฟชันขึ้นอย่างรวดเร็ว

2.10 วงจรสมมูลของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรด

วงจรสมมูลของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรดจะแสดงถึงกระบวนการทางปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีที่เกิดขึ้นของแผ่นธาตุประจุบวก แผ่นธาตุประจุลบและสารละลายอิเล็กโทรไลต์ รายละเอียดวงจรของสมมูลแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรดดังแสดงในรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 วงจรสมมูลของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรด

$Z_{w,p}$ คือ ความต้านทานที่เกิดขึ้นขณะการถ่ายเทประจุที่แผ่นธาตุบวก

$Z_{w,n}$ คือ ความต้านทานที่เกิดขึ้นขณะการถ่ายเทประจุที่แผ่นธาตุลบ

R_p คือ ความต้านทานบนแผ่นธาตุบวก

R_n คือ ความต้านทานบนแผ่นธาตุลบ

C_p คือ ค่าความจุไฟฟ้าบนแผ่นธาตุบวก

C_n คือ ค่าความจุไฟฟ้าบนแผ่นธาตุลบ

L_p คือ ค่าความเหนี่ยวนำไฟฟ้าที่แผ่นธาตุบวก

L_n คือ ค่าความเหนี่ยวนำไฟฟ้าที่แผ่นธาตุลบ

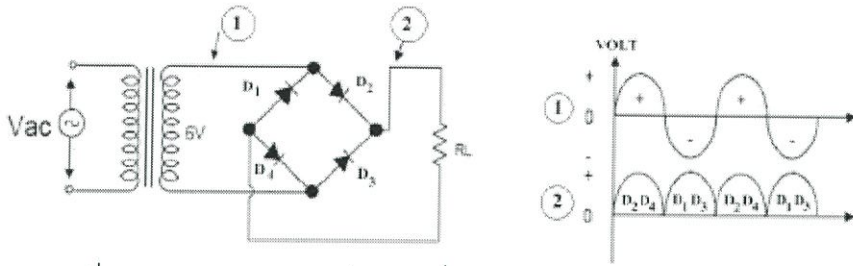
R_m คือ ความต้านทานส่วนที่เป็นโลหะอันประกอบไปด้วยขั้วต่อสาย (Terminal) 12%, ข้อต่อระหว่างแผ่นธาตุแต่ละแผ่น (Strops & Posts) มีค่า 25%

R_a คือ ความต้านทานซึ่งประกอบด้วยความต้านทานของสารละลาย (Electrolyte) 15%, แผ่นแยกระหว่างแผ่นธาตุบวกและลบ (Separator) 1%

2.11 ทฤษฎีการเปลี่ยนและรักษาระดับแรงดัน

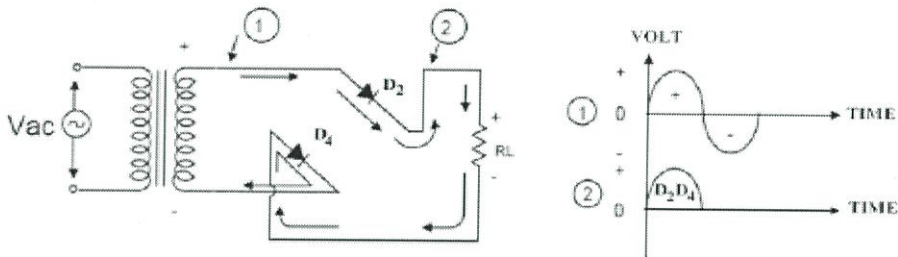
2.11.1 วงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์

วงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์ แรงดันไฟสลับที่ถูกเรียงกระแสแล้วออกเอาต์พุตทั้งช่วงบวกและช่วงลบของแรงดันไฟสลับเหมือนกัน ความแตกต่างระหว่างเรียงกระแสแบบบริดจ์ และแบบเต็มคลื่นต่างกันตรงการต่อวงจรเรียงกระแส แบบเต็มคลื่นใช้ไดโอด 2 ตัว หม้อแปลงไฟฟ้า (Transformer) ที่จะนำมาใช้งานจะเป็นชนิด 3 ขั้ว ส่วนแบบบริดจ์ใช้ไดโอด 4 ตัว หม้อแปลงไฟฟ้า (Transformer) ที่จะนำมาใช้งานจะเป็นชนิด 2 ขั้ว ข้อดีของวงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์ คือ สามารถที่จะทำเป็นวงจรเรียงกระแสแบบ 3 ขั้วไฟออกเอาต์พุตได้ คือ ขั้วบวก (+) ขั้วลบ (-) และขั้วกราวด์ (GND) นำไปใช้งานในการจ่ายไฟให้



รูปที่ 2.8 วงจรและแรงดันไฟสลัที่จุดต่างๆของเรียงกระแสแบบบริดจ์

จากรูปที่ 2.8 แสดงวงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์ และแรงดันไฟสลัที่จุดต่างๆของวงจร ซึ่งได้แรงดันไฟสลัแต่ละจุดเหมือนกันกับเรียงกระแสแบบเต็มคลื่นทุกประการ เพียงแต่ในจุดที่ 2 แรงดันไฟสลัช่วงบวกที่ได้ จะต้องผ่านไดโอดทำหน้าที่เรียงกระแสครึ่งละ 2 ตัว D_2, D_4 ทำงานครึ่งหนึ่ง และ D_1, D_3 ทำงานอีกครึ่งหนึ่งสลับกันไปสามารถอธิบายการทำงานแต่ละครั้งได้ดังนี้

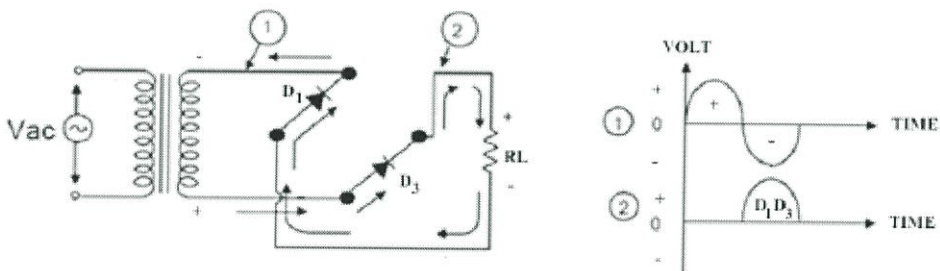


(ก) วงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์

(ข) แรงดันไฟสลั

รูปที่ 2.9 ขณะจ่ายแรงดันไฟสลัไบอัสตรงให้ไดโอด D_2 และ D_4

จากรูปที่ 2.9 เมื่อจ่ายแรงดันไฟสลัเข้ามาที่ขดทุติยภูมิ ด้านบนขดด้านล่างลบจ่ายไบอัสให้ไดโอดทั้ง 4 ตัว ไดโอดที่ได้รับไบอัสตรงคือ ไดโอด D_2 และ D_4 มีกระแสไหลจากขั้วบวกด้านบน ผ่านไดโอด D_2 ผ่านโหลด R_L ผ่านไดโอด D_4 ครบวงจรที่ขั้วด้านล่าง มีศักย์ตกคร่อมโหลด R_L บนขดด้านล่าง ได้แรงดันไฟสลัช่วงบวกเอาท์พุท



(ก) ไดโอด $D_1 D_3$ นำกระแส

(ข) แรงดันไฟสลัช่วงลบป้อนเข้ามา

รูปที่ 2.10 ขณะจ่ายแรงดันไฟสลัไบอัสให้ไดโอด $D_1 D_3$

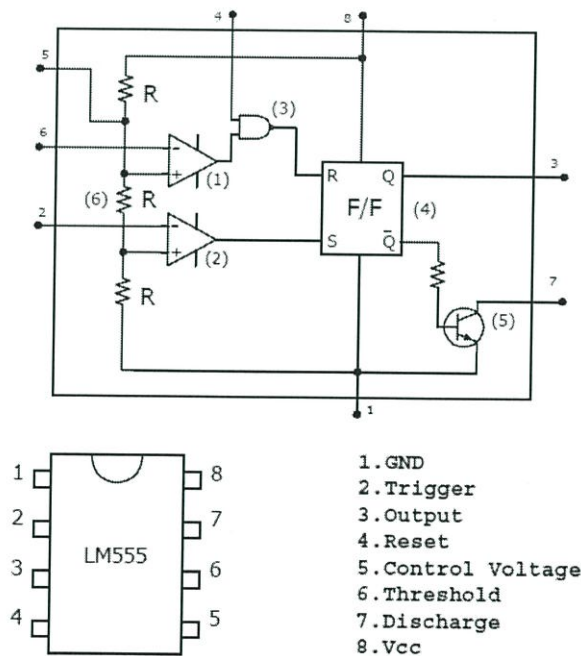
จากรูปที่ 2.10 เมื่อจ่ายแรงดันไฟสลับเข้ามาที่ขดทุติยภูมิ ด้านบนลง ด้านล่างบวก จ่ายเป็นไบอัสให้ไดโอดทั้ง 4 ตัว ไดโอดตัวที่ได้รับไบอัสตรง คือ ไดโอด D_1 D_3 มีกระแสไหลจากขดด้านล่างผ่านไดโอด D_3 ผ่านโหลด R_L ผ่านไดโอด D_1 ครบวงจรที่ขั้วลบด้านบน มีคัตต์ตกรวมโหลด R_L บนขด ล่างลง ได้แรงไฟสลับช่วงบวกเอาท์พุท

การทำงานของวงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์ จะทำทุกครึ่งของแรงดันไฟสลับที่ป้อนเข้ามา ไดโอด D_2 D_4 และไดโอด D_1 D_3 จะทำงานสลับกันครึ่งละครึ่งสัญญาณ ไดโอด D_2 D_4 ทำงานเมื่อจ่ายบวกเข้าด้านบน จ่ายลบเข้าด้านล่างขดทุติยภูมิ ไดโอด D_1 D_3 จะทำงานเมื่อจ่ายลบเข้า ด้านบน จ่ายบวกเข้าด้านล่าง ได้แรงดันไฟฟ้าออกเอาท์พุทเป็นแรงดันไฟตรงกระแสเต็มแบบเต็มคลื่นแสดงดังรูปที่ 2.10 ตำแหน่งที่ 2

2.12 ไอซีเบอร์ 555

IC เบอร์ 555 เป็นไอซี ที่นิยมใช้กันมากในการนำ ไปสร้างสัญญาณรูปคลื่นแบบต่างๆ เช่น สัญญาณรูปสี่เหลี่ยม (Square Wave) , สัญญาณพัลส์ ,สัญญาณเอียง (ramp) และวงจรตั้งเวลา ไอซีเบอร์ 555 เป็นอุปกรณ์วงจรรวมที่มีอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อื่นๆ อยู่ภายใน และมีส่วนที่ต้องต่อภายนอกเพื่อควบคุมการทำงาน และใช้งานเป็นลักษณะต่างๆ ซึ่งง่ายต่อการออกแบบ และง่ายในการสร้างสัญญาณพัลส์ความถี่ต่างๆ อีกทั้งสามารถเข้าใจการทำงานได้ง่ายนอกจากไอซีเบอร์ 555 แล้ว ยังมีไอซีเบอร์ 556 ที่เป็นแบบ Dual Timer ประกอบด้วย ไอซีเบอร์ 555 จำนวน 2 ตัว อยู่ภายในตัวเดียวกัน เพื่อใช้เป็นวงจรตั้งเวลา และสะดวกในการออกแบบวงจรที่ต้องใช้ไอซีเบอร์ 555 หลายๆตัว

2.12.1 ส่วนประกอบของไอซีเบอร์ 555



รูปที่ 2.11 ส่วนประกอบของไอซีเบอร์ 555

2.12.2 หน้าที่ส่วนต่างๆ ของไอซีเบอร์ 555

(1), (2) คือวงจรเปรียบเทียบ (Comparator) เป็นตัวที่ทำหน้าที่เปรียบเทียบสัญญาณ อินพุต ทั้ง 2 ขา ถ้าศักดาไฟฟ้าที่ขั้วบวกมากกว่าศักดาที่ขั้วลบ เอาท์พุทจะมีค่า ลอจิก “1” เท่ากับ Vcc ถ้า ศักดาที่ขั้วบวกน้อยกว่าขั้วลบ เอาท์พุทจะมีค่า ลอจิก “0” เท่ากับศูนย์โวลต์ (0 โวลต์)

(3) คือวงจรแนนด์เกต (Nand gate) มีคุณสมบัติว่า ถ้าอินพุททั้งสองขาเป็นลอจิก “1” เอาท์พุท จะมีค่าเป็น ลอจิก “0” แต่ถ้า อินพุทขาใดขาหนึ่งเป็น ลอจิก “0” ก็จะทำให้ เอาท์พุท จะมี ค่าเป็น ลอจิก “1” ทันที

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติวงจรแนนด์เกต (Nand gate)

Input 1	Input 2	Output
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

(4) เป็นวงจรฟลิป-ฟลอป (Flip-Flop) แบบ RS – F/F มีคุณสมบัติดังนี้

ตารางที่ 2.2 เป็นวงจรฟลิป-ฟลอป (Flip-Flop) แบบ RS – F/F

R	S	Q	\bar{Q}
0	0	Q เดิม	\bar{Q} เดิม
0	1	1	0
1	0	0	1
1	1	ไม่ใช่	ไม่ใช่

Q และ \bar{Q} จะตรงข้ามกันเสมอ คือ ถ้า Q = “1”, \bar{Q} = “0” และ Q = “0”, \bar{Q} = “1”

(5) เป็นวงจรทรานซิสเตอร์ (Transistor) ที่ทำหน้าที่เป็น สวิตชิง (Switching) ถ้า Q เป็น ลอจิก “1” ทรานซิสเตอร์ จะทำงาน “ON” นั่นคือจะ Short วงจร ระหว่างขา 7 และ 1 ถ้า Q เป็น ลอจิก “0” จะ Open ขา 7 และ 1 ของไอซีเบอร์ 555

(6) เป็นตัวต้านทาน 3 ตัว ที่มีขนาดความต้านทานเท่ากันทั้ง 3 ตัว มีหน้าที่แบ่งแรงดัน Vcc ออกเป็น 3 ส่วนเท่าๆกัน ตกคร่อม R แต่ละตัว มีค่าเท่ากับ $V_{CC}/3$ ค่า R นี้จะมีขนาดความต้านทาน เป็น K โอห์ม

2.12.3 คุณสมบัติแต่ละขาของไอซีเบอร์ 555

- ขาที่ 1 Gnd เป็นขาราวด์ของไอซีเบอร์ 555
- ขาที่ 2 ทริกเกอร์ (Trigger) เมื่อขาที่มีระดับแรงดันต่ำกว่า $V_{cc}/3$ ทำให้เอาต์พุตของตัวเปรียบเทียบแรงดันเปลี่ยนจากลอจิก “0” เป็นลอจิก “1” และไปกระตุ้นขา R ของฟลิป-ฟลอปความกว้างของพัลส์ที่จะมากระตุ้นขาทริกเกอร์นั้นต้องมีคาบเวลามากกว่า 1×10^{-6} วินาที หรือ $1\mu S$ และกระแสในการทริกเกอร์จะค่าประมาณ 0.5×10^{-6} A
- ขาที่ 3 เอาต์พุต (Output) แรงดันเอาต์พุตที่ลอจิก “1” จะมีศักย์ไฟฟ้าต่ำกว่า V_{cc} ประมาณ 1.7 โวลต์ และแรงดันเอาต์พุตที่ลอจิก “0” ศักย์ไฟฟ้าขึ้นอยู่กับแหล่งจ่ายไฟเช่นเมื่อใช้แหล่งจ่ายไฟ $V_{cc} = 5$ โวลต์ จะได้ เอาต์พุตเท่าศักย์สูงเท่ากับ 3.3 โวลต์ และศักย์ต่ำเท่ากับ 0.25 โวลต์ เมื่อใช้แหล่งจ่ายไฟ $V_{cc} = 15$ โวลต์ จะได้เอาต์พุตเท่าศักย์สูงเท่ากับ 13.3 โวลต์ และศักย์ต่ำเท่ากับ 2 โวลต์ ที่กระแส 100×10^{-3} A เป็นต้น ข้อมูลเหล่านี้สามารถค้นหาได้จากคู่มือของไอซี 555
- ขาที่ 4 รีเซต (Reset) สามารถถูกกระตุ้นได้ด้วยลอจิกต่ำ โดยเมื่อป้อนแรงดันที่มีค่าประมาณ 0.7 โวลต์ และมีกระแสซิงก์ (sink current) ประมาณ 0.0001 A โดยป้อนเข้าไปประมาณ $(0.47-0.50) \times 10^{-6}$ วินาที หรือ 0.47-0.50 μS จะทำให้สัญญาณเอาต์พุตเป็นลอจิก “0” โดยไม่ขึ้นอยู่กับค่าของ R และ S ในฟลิป-ฟลอป ถ้าหากไม่จำเป็นต้องใช้ขา รีเซต จะต่อขา รีเซตเข้ากับ V_{cc} เพื่อไม่ให้ขา รีเซตถูกกระตุ้น
- ขาที่ 5 คอนโทรล (Control) ใช้ในการควบคุมแรงดันให้กับตัว เปรียบเทียบที่มีแรงดันเท่ากับ $2V_{cc}/3$ โดยทั่วไปขา นี้จะไม่ถูกใช้งาน จึงควรมีตัวเก็บประจุขนาด 0.00000001 ฟารัดหรือ 0.001 μF ลงไปที่ขาราวด์ (Gnd) เพื่อป้องกันสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นในวงจร
- ขาที่ 6 เทรสโฮลด์ (Threshold) การทำงานคล้ายกับขาทริกเกอร์ เมื่อ ขาที่มีระดับแรงดันถึง $2V_{cc}/3$ เอาต์พุตของตัวเปรียบเทียบแรงดันจะเปลี่ยนจาก ลอจิก “0” เป็นลอจิก “1” และไปกระตุ้นขา S ของฟลิป-ฟลอป
- ขาที่ 8 V_{cc} ขาไฟเลี้ยงของไอซี 555 สามารถทำงานได้ที่แรงดัน ระหว่าง 5-15 โวลต์

2.13 วงจรกำเนิดพัลส์

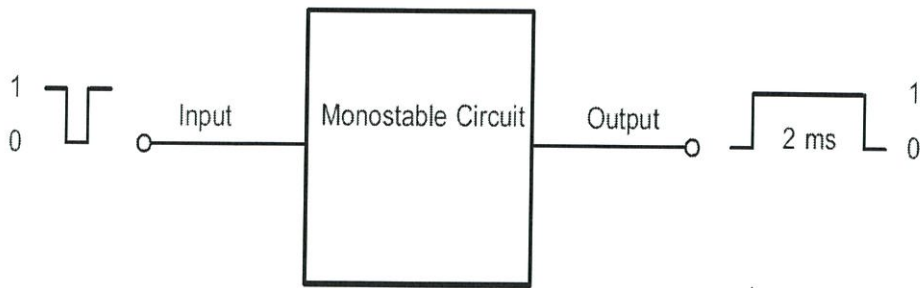
โดยอาศัยการทำงานเป็น 2 แบบ คือ

- เป็นตัวผลิตสัญญาณค่าความถี่ต่างๆ และ
- เป็นวงจรนับสัญญาณ

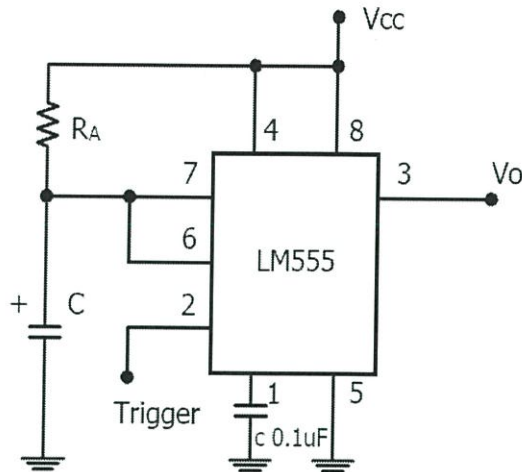
จึงแบ่งการทำงานเป็นวงจรที่สำคัญ ได้ 2 ชนิดคือ

2.13.1 วงจรโมโนสเตเบิล (Monostable Circuit)

วงจรโมโนสเตเบิลหรือบางตำราเรียกว่าวงจรโมโนสเตเบิลมีลติไวเบรเตอร์ (Monostable Multivibrator) หรือเรียกสั้น ๆ ว่า one-shot คือวงจรที่เมื่อถูกกระตุ้นจะมีสัญญาณเอาต์พุตเป็นพัลส์ 1 ลูก ที่มีความกว้างของสัญญาณตามที่ต้องการ ซึ่งกำหนดได้จากค่า RC รูปที่ 2.12 แสดงในรูปที่ 2.12 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของวงจรโมโนสเตเบิลที่มีสัญญาณเอาต์พุตขนาด 0.002 วินาทีหรือ 2 ms



รูปที่ 2.12 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของวงจรโมโนสเตเบิล



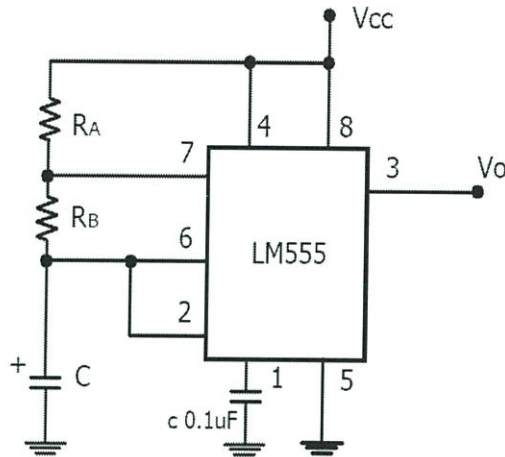
รูปที่ 2.13 วงจรโมโนสเตเบิลโดยใช้ไอซีเบอร์ 555

ขณะที่ไม่มีสัญญาณกระตุ้น (Trigger) ที่ขา 2 แรงดันไฟฟ้ากระตุ้น (V_{trig}) = แรงดันไฟฟ้าจากแหล่งจ่าย (V_{CC}) แรงดันคร่อมคาปาซิเตอร์จะเป็นศูนย์ เพราะว่าแรงดันไฟฟ้าจากแหล่งจ่าย (V_{CC}) จะมีกระแสไหลผ่าน R_A ผ่าน Tr ลงกราวด์ ได้แรงดันไฟฟ้าเอาต์พุต (V_{out}) = 0 เมื่อมีสัญญาณกระตุ้นที่ขา 2 คือแรงดันไฟฟ้ากระตุ้น (V_{trig}) = 0 Tr ภายในจะ “หยุดทำงาน(off)” แรงดันไฟฟ้าจากแหล่งจ่าย (V_{CC}) จะทำการเก็บประจุ (Charge C) จนกระทั่งเกิดแรงดันตกคร่อมคาปาซิเตอร์ประมาณ $2V_{CC}/3$ คาปาซิเตอร์จะคายประจุผ่าน Tr ขณะที่คาปาซิเตอร์คายประจุ เอาต์พุตจะเป็นลอจิก “1” ได้ แรงดันไฟฟ้าเอาต์พุต (V_{out}) = แรงดันไฟฟ้าจากแหล่งจ่าย (V_{CC})

$$\text{ความกว้างของพัลส์ (T)} = 1.1R_A C \tag{2.8}$$

2.13.2 วงจรออสเตเบิล (Astable Circuit)

วงจรออสเตเบิล เป็นวงจรที่ไม่ต้องการสัญญาณอินพุตจากภายนอกและ สามารถให้สัญญาณเอาต์พุตออกมาเป็นกระบวนคลื่นพัลส์ โดยที่ความถี่ (f) และ วัฏจักรหน้าที่ หรือ Duty Cycle สามารถคำนวณได้จากค่า R_A และ R_B และ C ของวงจรดังรูปที่การทำงานของวงจรนี้จะคล้ายกับ วงจรกำเนิดความถี่หรือ วงจรออสซิลเลเตอร์ (oscillator) ในบางตำราวงจรนี้จะถูกเรียกว่า ฟรีรันนิ่งมัลติไวเบรเตอร์ (Free running Multivibrator)



รูปที่ 2.14 วงจรออสเตเบิลไอซีเบอร์ 555

จะเห็นได้ว่าวงจรนี้ไม่มีการต่อสัญญาณอินพุตจากภายนอก ขากระตุ้น(Trigger) และ ขาเทรชโฮลด์ (Threshold) จะต่อเข้าด้วยกันไปยังตัวเก็บประจุ C ทำให้แรงดันที่ใช้เปรียบเทียบของ คอมพาราเตอร์ทั้งสองมีค่าเท่ากับ V_C ในส่วนของขาดีสชาร์จ (Discharge) จะต่ออยู่ระหว่าง R_A และ R_B เพื่อให้ตัวเก็บประจุ C คายประจุผ่าน R_B ลงสู่กราวด์

$$\text{ความถี่ของเอาต์พุต } (f) = \frac{1.443}{(R_A + 2R_B)C} \quad \text{เฮิร์ตซ์ (Hz)} \quad (2.9)$$

ไซเคิลทำงาน (Duty cycle) ซึ่งได้แก่อัตราส่วนของเวลาที่พัลส์มีระดับสูง (High Time) ต่อ เวลาใน 1 ไซเคิล สามารถหาได้จากสมการ

$$\text{ไซเคิลทำงาน} = \frac{R_A + R_B}{R_A + 2R_B} \times 100\% \quad (2.10)$$

บทที่ 3

วิธีดำเนินการ

ในโครงการพิเศษนี้เราได้ทำการศึกษาการวางจรสลายผลึกซิลเฟตในแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด โดยเราได้ทำการศึกษาโดยใช้แบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด ขนาด 12 โวลต์ โดยการชาร์จพัลส์ความถี่ให้แบตเตอรี่ในเวลาที่แตกต่างกัน

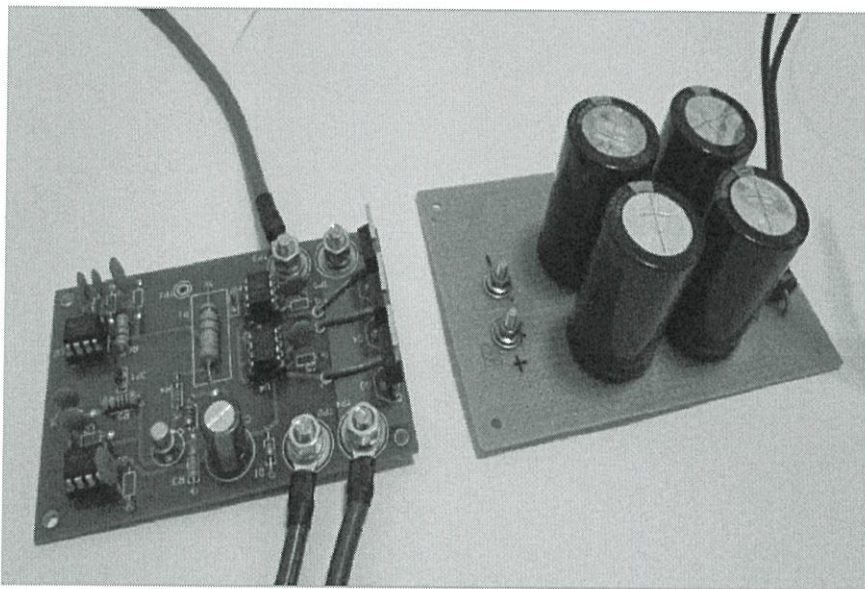
3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. ตัวเก็บประจุ		
C1	470uF/ 25โวลต์	1 ตัว
C2 – C5	0.1uF/ 50โวลต์	4 ตัว
C6 – C9	0.01uF/ 50โวลต์	4 ตัว
2. ไดโอด	12โวลต์/ 1.3W zener	1 ตัว
3. ทรานซิสเตอร์		
Q1	2N2907	1 ตัว
4. มอสเฟต		
Q2 – Q4	IRFB3307	3 ตัว
5. ตัวต้านทาน		
R1	510R/ 2W (Gr Br Br) อินพุท=24 โวลต์	1 ตัว
	1k/ 3W (Br B R) อินพุท=36 โวลต์	1 ตัว
	1k5/ 5W อินพุท=48 โวลต์	1 ตัว
R2 & R6	3K (O B B Br Br)	2 ตัว
R3	22.6K(R R Bl R Br)	1 ตัว
R4	10K (Br B O) f=1907 Hz	1 ตัว
R5	100R (Br B B B Br)	1 ตัว
6. ไอซี 555		
U1 – U2	LM555	2 ตัว
7. ไมโครชิพ		
U3 – U4	TC4426	2 ตัว
8. หม้อแปลงไฟฟ้าขนาด 18V _{AC} 3A, 15V _{AC} 3A		1 ตัว
9. อุปกรณ์อื่น ๆ		
8pin DIL socket		4 ตัว
M4 x 12mm brass bolt		4 ตัว
M4 brass nut		8 ตัว
M4 brass washer		8 ตัว
PCB		1 แผ่น
10. แบตเตอรี่ ชนิดตะกั่ว-กรด ขนาด 12 โวลต์		4 ลูก

11. ดิจิตอลมัลติมิเตอร์ (Digital Multimeters)	1 เครื่อง
12. โหลด (DC Electronic load)	1 เครื่อง
13. โปรแกรม Lab View ที่เขียนโปรแกรมเรียบร้อยแล้ว	1 ตัว
14. Computer	1 เครื่อง
15. เครื่องชาร์จแบตเตอรี่	1 เครื่อง
16. ออสซิลอโคป	1 เครื่อง
17. น้ำกลั่น	1 ขวด

3.2 หลักการทำงานของวงจรสลายผลึกซัลเฟตในแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด

แบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดนั้น เมื่อใช้งานเป็นระยะเวลานานจะเกิดผลึกซัลเฟตเกาะที่แผ่นธาตุของแบตเตอรี่ ซึ่งเป็นผลทำให้แบตเตอรี่เกิดการเสื่อมสภาพ วงจรสลายผลึกซัลเฟตจะทำการสลายผลึกซัลเฟต โดยการใช้พัลส์ความถี่ในการชาร์จแบตเตอรี่ การใช้พัลส์ความถี่นั้นจะเป็นตัวกระตุ้นที่แผ่นธาตุ ทำให้ตะกั่วซัลเฟตที่เกาะแผ่นธาตุนั้นหลุดออก ส่งผลทำให้แบตเตอรี่มีอายุการใช้งานยาวนานขึ้น



รูปที่ 3.1 วงจรสลายผลึกซัลเฟตในแบตเตอรี่

3.3 หลักการคำนวณ

แรงดันไฟฟ้าที่ใช้ในโครงการพิเศษนี้ใช้หม้อแปลง 2 ขนาดคือ

1.แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ (V_{AC}) = 18 โวลต์ ขนาด 3 A

2.แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ (V_{AC}) = 30 โวลต์ ขนาด 3 A

การแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ (V_{AC}) เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (V_{DC}) สามารถคำนวณได้ดังนี้

แรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (V_{DC}) = $18 \times 1.4 = 25.2$ โวลต์

แรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (V_{DC}) = $30 \times 1.4 = 42.0$ โวลต์

การคำนวณความกว้างและความถี่ของพัลส์ในวงจรสลายผลึกสลายซิลิเกตในแบตเตอรี่คำนวณได้ดังนี้

ความกว้างพัลส์ (T) = $1.1 \times R6 \times C8$

เมื่อ $R6 = 3000$ โอห์ม, $C8 = 0.00000001$ ฟารัด

ความกว้างพัลส์ = $1.1 \times 3000 \times 0.00000001$

ความกว้างพัลส์ = 0.000033 วินาที

$$\text{ความถี่พัลส์ (f)} = \frac{(R2 \times V_{CC}) - 0.65(R2 + R3)}{0.333 \times V_{CC} \times R4 \times (R2 + R3) \times C6}$$

เมื่อ $R2 = 3000$ โอห์ม, $V_{CC} = 12$ โวลต์, $R3 = 3000$ โอห์ม, $R4 = 22500$ โอห์ม, $C6 = 0.00000001$ ฟารัด

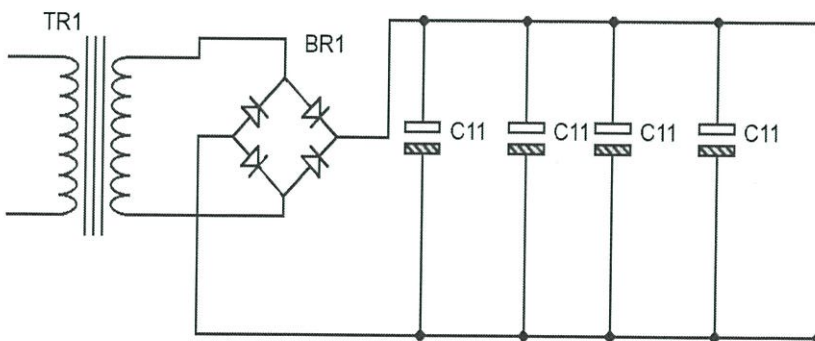
$$\text{ความถี่พัลส์} = \frac{(3000 \times 12) - 0.65(3000 + 3000)}{0.333 \times 12 \times 22500 \times (3000 + 3000) \times 0.00000001}$$

$$\text{ความถี่พัลส์} = \frac{(36000 - 16575)}{10.1898}$$

ความถี่พัลส์ = 1906 เฮิรตซ์

3.4 ประกอบชิ้นส่วนวงจรกำลัง

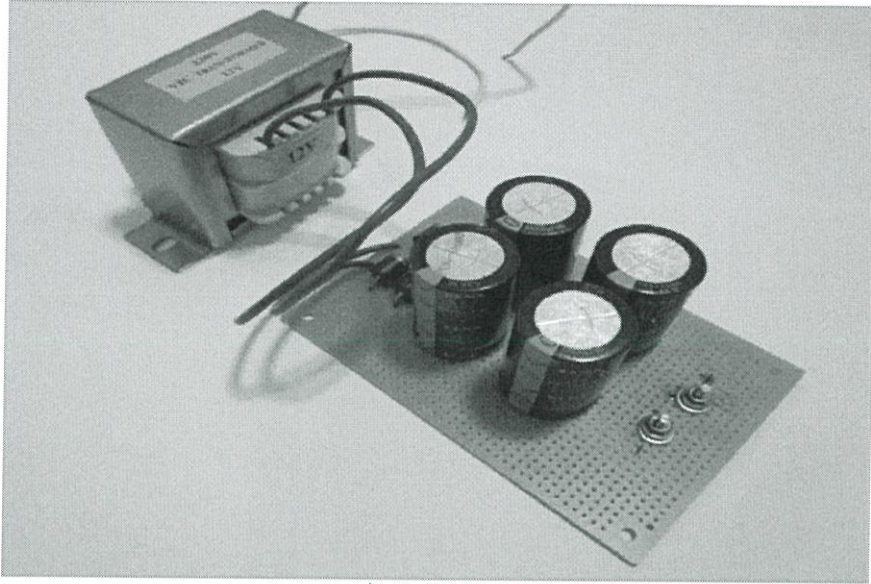
3.4.1 วงจรกำลัง



รูปที่ 3.2 ผังวงจรกำลัง

3.4.2 ประกอบวงจรกำลัง

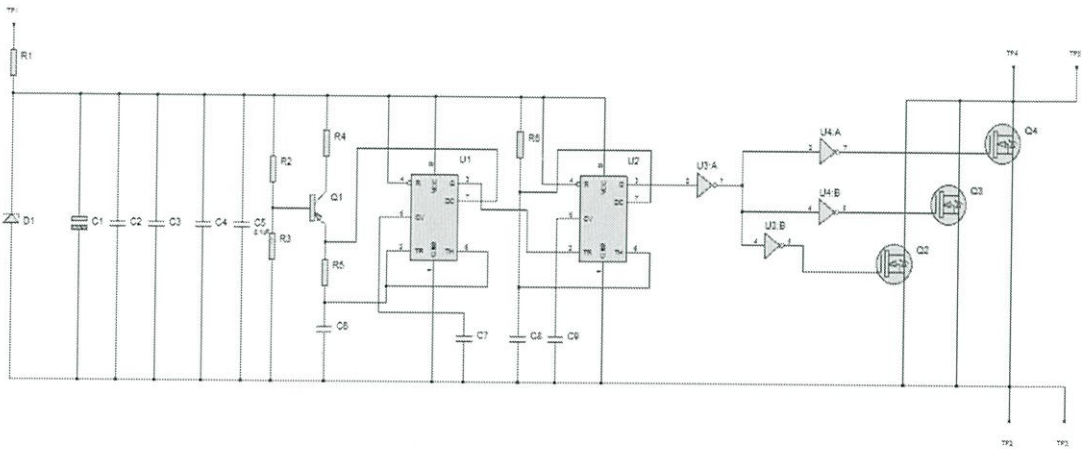
- ประกอบไดโอดลงบนแผ่นวงจรและเชื่อมต่อให้เป็นวงจรบริดจ์ (BR1)
- ประกอบตัวเก็บประจุ (C11) ลงบนแผ่นวงจรและเชื่อมต่อเข้ากับวงจรบริดจ์และขาเอาต์พุต
- เชื่อมต่อแผ่นวงจรเข้ากับหม้อแปลง (TR1)



รูปที่ 3.3 วงจรกำลัง

3.5 ประกอบชิ้นส่วนวงจรพัลส์

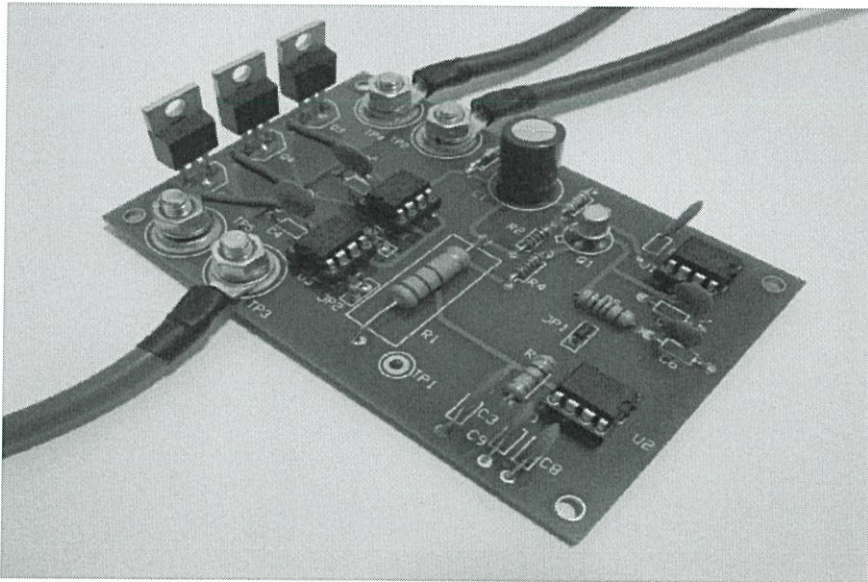
3.5.1 วงจรพัลส์



รูปที่ 3.4 ผังวงจรกำเนิดพัลส์

3.5.2 ประกอบวงจรฟิลล์

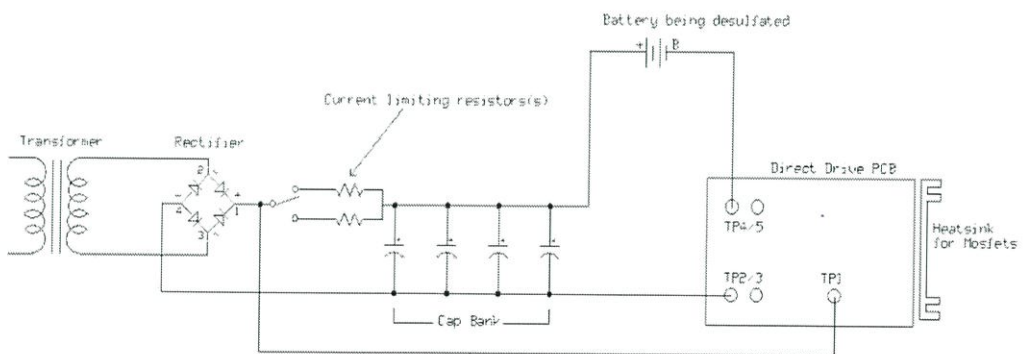
- ตรวจสอบอุปกรณ์ให้ครบตามที่กำหนด
- เริ่มประกอบอุปกรณ์เข้ากับแผ่นวงจร โดยเริ่มประกอบอุปกรณ์ที่มีขนาดเล็กก่อน
- ในการประกอบอุปกรณ์ให้เว้นช่องว่างระหว่างอุปกรณ์และแผ่นวงจรพอสมควรเพื่อการระบายความร้อนให้กับอุปกรณ์
- ลัดวงจรที่ตำแหน่ง JP1, JP2 และ JP3
- เชื่อมต่อตำแหน่ง A-B, C-D และ E-F เพื่อเชื่อมต่อ ขาเกทของมอสเฟต (MOSFET) โดยเติมตะกั่วที่จุดเชื่อมต่อให้เต็ม
- ประกอบสกรูและนัต M4 เข้ากับแผ่นวงจรที่ตำแหน่ง TP2/TP3/TP4 และ TP5 และ บัดกรีโดยเติมตะกั่วที่บริเวณหัวสกรูและนัตให้เต็ม



รูปที่ 3.5 วงจรกำเนิดฟิลล์

3.6 ประกอบวงจรทั้งคู่เข้าด้วยกัน

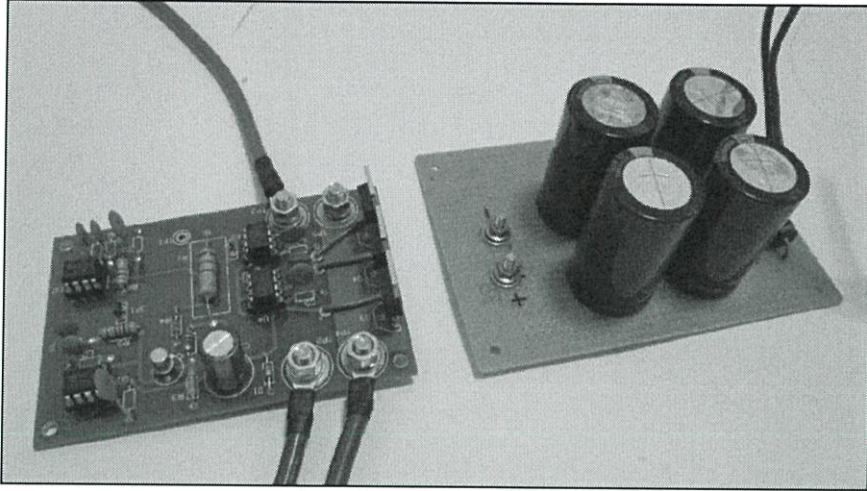
3.6.1 วงจรกำลังและวงจรถักฟิลล์



รูปที่ 3.6 ผังวงจรถักฟิลล์และวงจรถักกำลัง

3.6.2 ประกอบระหว่างวงจรกำลังและวงจรถูกไฟ

- ต่อสายจากขั้วลบของวงจรถูกไฟเข้ากับขั้ว TP2/3
- ต่อสายจากขั้วบวกของวงจรถูกไฟเข้ากับขั้ว TP1



รูปที่ 3.7 วงจรกำลังและวงจรถูกไฟ

3.7 ตรวจสอบหลังการประกอบและเริ่มจ่ายไฟ

- ตรวจสอบการประกอบอุปกรณ์ด้วยสายตา
- ตรวจสอบการลัดวงจรจากความผิดพลาดจากการเชื่อมวงจรในการบัดกรี
- ตรวจสอบการประกอบไอซีให้ถูกต้องตามทิศทางที่กำหนด
- ลัดวงจรที่จุด JP1, JP2, JP3, AB, CD, และ EF
- ตรวจสอบการประกอบอุปกรณ์อื่น ทุกตัว
- ใช้ตัวต้านทานที่มีค่าสูงสุดในการเริ่มทดลอง

3.8 ตรวจสอบการทำงานเบื้องต้นของวงจร

- ต่อไฟฟ้าเข้ากับวงจร
- ต่อสายขั้วลบของโวลต์มิเตอร์เข้ากับขั้ว TP2/3
- ต่อสายขั้วบวกของโวลต์มิเตอร์เข้ากับขั้วบวกของวงจรถูกไฟ ค่าที่อ่านได้ควรจะมากกว่า

1.4 เท่าของค่าแรงดันทางด้านทุติยภูมิของหม้อแปลง

- ต่อสายขั้วบวกของโวลต์มิเตอร์เข้ากับขั้วบวกตัวเก็บประจุ (C1) บนแผ่นวงจร ค่าที่อ่านได้ควรจะมีความสูงกว่า 12 โวลต์เล็กน้อย

- ตรวจสอบอุณหภูมิที่ตัวต้านทาน R1 จะต้องปกติและไม่ร้อนเกินกว่าจะสัมผัสได้
- ใช้มิเตอร์วัดความถี่ที่จุด JP1 ค่าความถี่ที่วัดได้จะต้องมีค่าประมาณ 1000 เฮิรตซ์ ถ้ากรณีไม่มีมิเตอร์วัดความถี่ให้ใช้ลำโพงขนาดเล็กโดยต่อตัวต้านทานที่มีค่า 100 ถึง 1000 โอห์ม โดยขาหนึ่งต่อเข้ากับขั้ว TP2/3 อีกขาหนึ่งต่อที่ขั้ว JP1 จะเกิดเสียงดังที่ลำโพง

- ต่อมิเตอร์หรือลำโพงเข้ากับ JP2 เสียงจะต้องดังขึ้น
- ต่อมิเตอร์หรือลำโพงเข้ากับ JP3 เสียงจะต้องดังขึ้นมากกว่าที่ขั้ว JP2

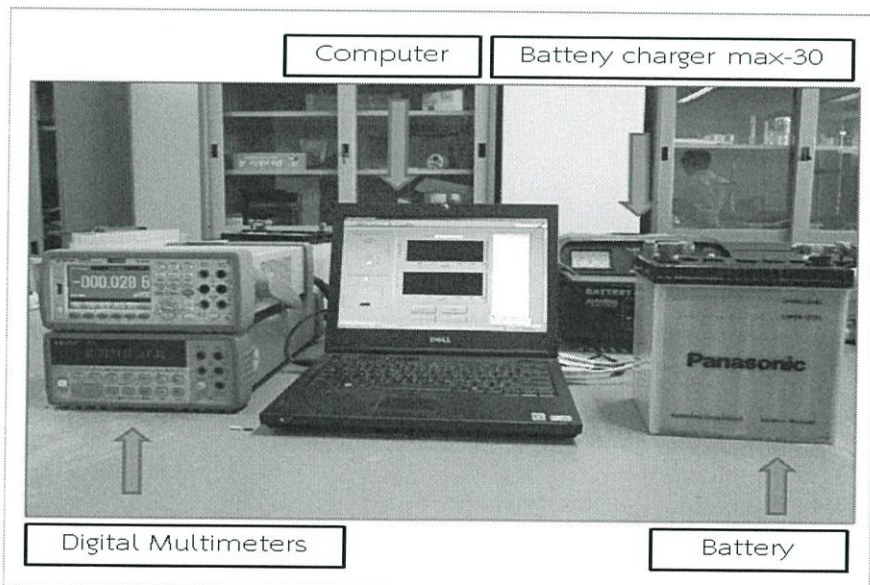
3.9 การตรวจสอบวงจรก่อนการทดลอง

- นำไอซีในวงจรออกให้หมด นำโวลต์มิเตอร์วัดคร่อมตัว D1 (ตัวซีเนอร์ไดโอด) ควรอ่านได้ 12 โวลต์ ถ้าไม่ได้ควรตรวจสอบแผ่นวงจร PBC
- นำไอซี U1 ใส่ในวงจร วัดโวลต์ตกคร่อม D1 จากนั้นนำออสซิลโลสโคปวัดที่ขา3 พัลส์ที่เกิดขึ้น ควรได้ประมาณ 1 กิโลเฮิร์ตซ์
- นำไอซี U2 ใส่ในวงจร วัดโวลต์ตกคร่อม D1 จากนั้นนำออสซิลโลสโคปวัดที่ขา3 พัลส์ที่เกิดขึ้น ควรได้ประมาณ 1 กิโลเฮิร์ตซ์
- นำไอซี U3 ใส่ในวงจร วัดโวลต์ตกคร่อม D1 จากนั้นนำออสซิลโลสโคปวัดที่ขา7 พัลส์ที่เกิดขึ้น ควรได้ประมาณ 1 กิโลเฮิร์ตซ์ รูปสัญญาณกลับหัว
- จากนั้นนำออสซิลโลสโคปวัดที่ขา5 พัลส์ที่เกิดขึ้น ควรได้ประมาณ 1 กิโลเฮิร์ตซ์ รูปสัญญาณไม่กลับหัว
- นำไอซี U4 ใส่ในวงจร วัดโวลต์ตกคร่อม D1 จากนั้นนำออสซิลโลสโคปวัดที่ขา7 พัลส์ที่เกิดขึ้น ควรได้ประมาณ 1 กิโลเฮิร์ตซ์ รูปสัญญาณไม่กลับหัว

3.10 ขั้นตอนการทดลอง

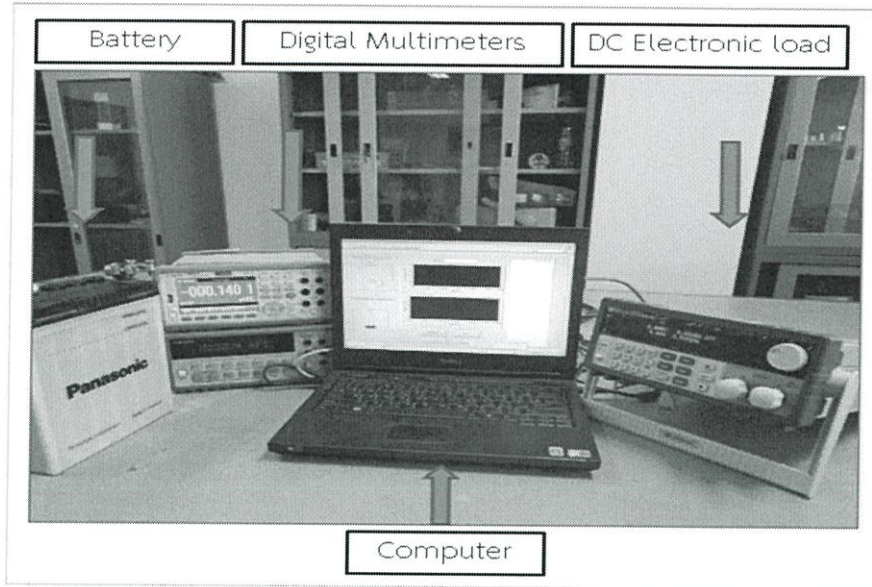
ในการศึกษาการสลายผลึกซัลเฟตภายในแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด ในการศึกษาครั้งนี้มีเงื่อนไขที่แตกต่างกัน โดยการชาร์จพัลส์ความถี่จะทำในระยะเวลาและแรงดันไฟฟ้าแตกต่างกันดังนี้ ที่แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ $V_{DC}=42.0$ โวลต์ ที่เวลา 8 ชั่วโมง, 1 ชั่วโมง 20 นาที, 5 นาที, 2 นาทีและแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ $V_{DC}=25.2$ โวลต์ ที่เวลา 30 นาที, 2 ชั่วโมง จากนั้นนำแบตเตอรี่มาชาร์จประจุด้วยเครื่องชาร์จแบบทั่วไปเพื่อดูระยะเวลาการคายประจุของแบตเตอรี่

3.10.1 นำแบตเตอรี่มาชาร์จด้วยเครื่องชาร์จแบบธรรมดาทั่วไปเป็นเวลา 10 ชั่วโมงก่อนการทดลอง



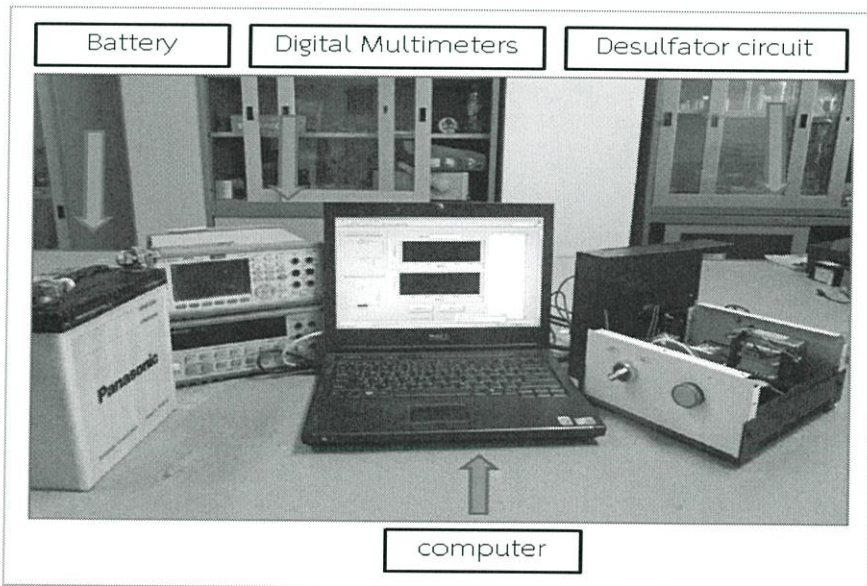
รูปที่ 3.8 การทำงานของเครื่องธรรมดาทั่วไป

3.10.2 หลังชาร์จแบตเตอรี่เป็นเวลา 10 ชั่วโมง แล้วก็นำแบตเตอรี่มาคายประจุด้วยโหลดที่เตรียมไว้



รูปที่ 3.9 วิธีการคายประจุของแบตเตอรี่

3.10.3 นำแบตเตอรี่มาทำการสลายผลึกซัลเฟตด้วยวงจรสลายผลึกซัลเฟตโดยชาร์จพัลส์ความถี่ (เวลาตามเงื่อนไขที่กำหนด)



รูปที่ 3.10 การทำงานของวงจรสลายผลึกซัลเฟต

3.10.2 นำแบตเตอรี่มาชาร์จด้วยเครื่องชาร์จแบบธรรมดาทั่วไปเป็นเวลา 10 ชั่วโมง

3.10.3 นำแบตเตอรี่มาคายประจุ เพื่อดูระยะเวลาการคายประจุของแบตเตอรี่ โดยระยะเวลาการคายประจุบ่งบอกถึงสภาพของแบตเตอรี่

3.10.4 นำผลที่ได้ทั้งก่อนและหลังการทดลอง มาทำการเปรียบเทียบกันเพื่อดูประสิทธิภาพการคายประจุของแบตเตอรี่

ตารางที่ 3.1 กำหนดสถานะเงื่อนไขการศึกษาของแบตเตอรี่

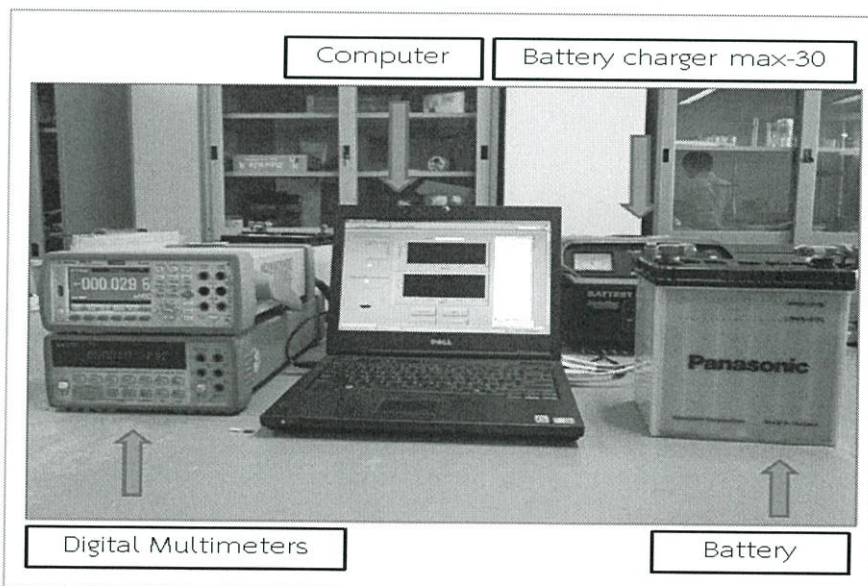
แบตเตอรี่รุ่น	เงื่อนไขการศึกษา
38B19L (1)	ใช้แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (V_{DC}) มีค่าเท่ากับ 42.0 โวลต์ ชาร์จด้วยพัลส์ความถี่เป็นเวลา 8 ชั่วโมง
38B19L (2)	ใช้แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (V_{DC}) มีค่าเท่ากับ 42.0 โวลต์ ชาร์จด้วยพัลส์ความถี่เป็นเวลา 1 ชั่วโมง 20 นาที
MF200L	ใช้แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (V_{DC}) มีค่าเท่ากับ 42.0 โวลต์ ชาร์จด้วยพัลส์ความถี่เป็นเวลา 5 นาที
34B19L (1-1)	ใช้แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (V_{DC}) มีค่าเท่ากับ 42.0 โวลต์ ชาร์จด้วยพัลส์ความถี่เป็นเวลา 2 นาที
34B19L (1-2)	ใช้แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (V_{DC}) มีค่าเท่ากับ 25.2 โวลต์ ชาร์จด้วยพัลส์ความถี่เป็นเวลา 30 นาที
34B19L (1-3)	ใช้แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (V_{DC}) มีค่าเท่ากับ 25.2 โวลต์ ชาร์จด้วยพัลส์ความถี่เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

3.11 ขั้นตอนการวิเคราะห์สภาพของแบตเตอรี่

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงขั้นตอนในการวิเคราะห์สภาพของแบตเตอรี่ แบ่งออกเป็น 2 ช่วง ดังนี้คือ การชาร์จ และการดิสชาร์จ

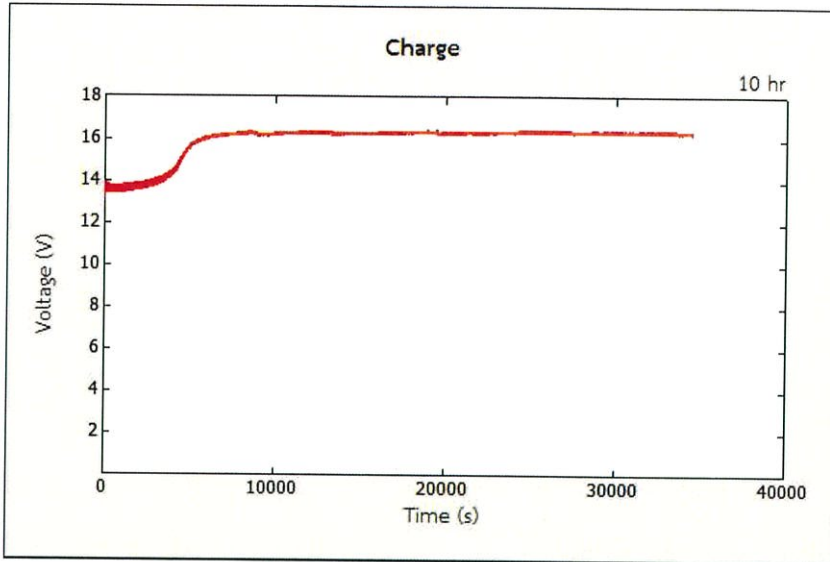
3.11.1 การชาร์จแบตเตอรี่

ในขั้นตอนนี้จะทำการชาร์จแบตเตอรี่เพื่อเตรียมนำไปทำการวัดหาสภาพของแบตเตอรี่ โดยในขั้นตอนนี้จะทำการชาร์จแบตเตอรี่เป็นเวลา 10 ชั่วโมง



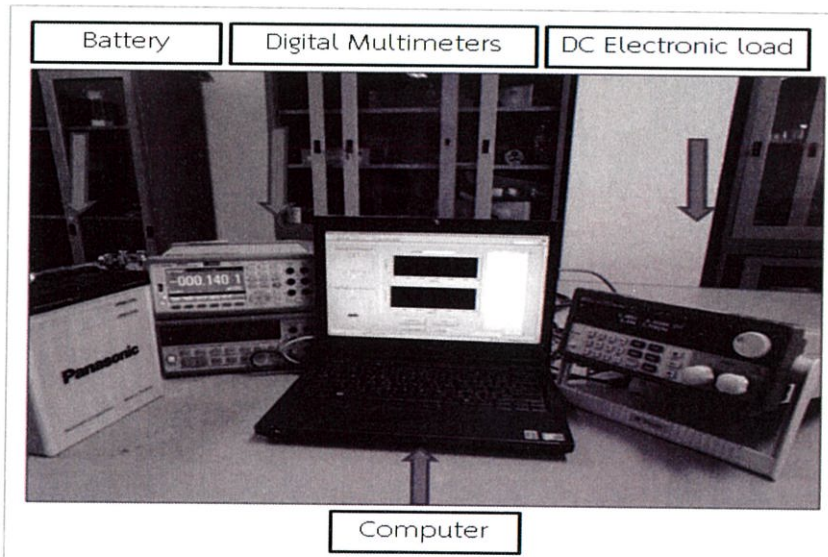
รูปที่ 3.11 วิธีการชาร์จแบตเตอรี่

ในการชาร์จเราจะทำการบันทึกค่าด้วย Computer โดยใช้โปรแกรม LabVIEW โดยจะวัดค่าแรงดันที่ขั้วของแบตเตอรี่โดยใช้ดิจิตอลมัลติมิเตอร์ และอัดประจุด้วยเครื่องชาร์จแบตเตอรี่แบบทั่วไป (Battery charger max-30)



รูปที่ 3.12 กราฟขณะชาร์จแบตเตอรี่

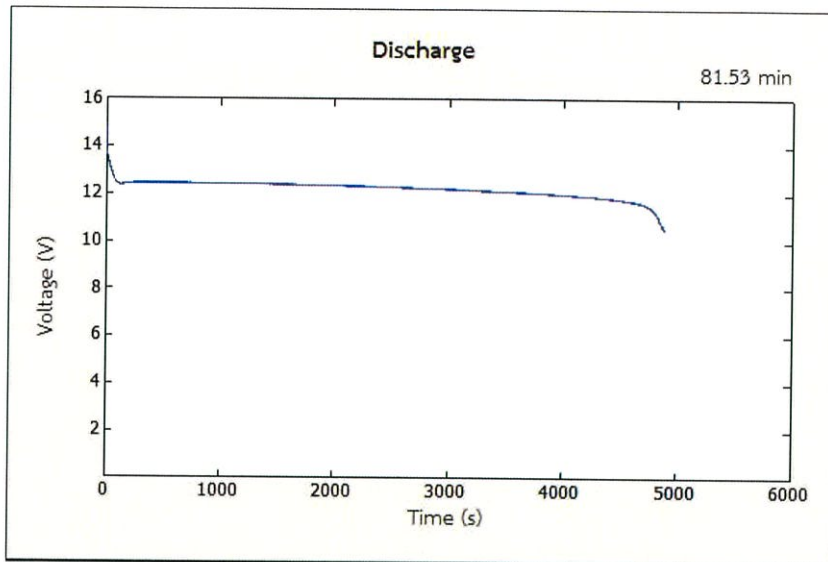
ไปจนกระทั่งเวลาผ่านไป 10 ชั่วโมง โดยทิ้งไว้ให้แบตเตอรี่ชาร์จต่อไปอีกสักระยะ หลังจากนั้นให้ปิดเครื่องชาร์จแบตเตอรี่แบบทั่วไป (Battery charger max-30) แล้วนำแบตเตอรี่เข้าสู่ขั้นตอนต่อไปคือการดิสชาร์จหรือคายประจุ



รูปที่ 3.13 วิธีการคายประจุของแบตเตอรี่

3.11.2 การดิสชาร์จแบตเตอรี่

ในขั้นตอนนี้นั้นเราจะต่อโหลด(Dc Electronic load) ขนาด 5 โอห์ม, 3 โอห์ม ที่ขั้วของแบตเตอรี่ ในขั้นตอนนี้จะใช้ดิจิตอลมัลติมิเตอร์ (Digital Multimeters) 1ตัว โดยวัดค่าแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วของแบตเตอรี่ โดยบันทึกผลด้วยโปรแกรม Labview ผ่าน Computer



รูปที่ 3.14 กราฟการคายประจุของแบตเตอรี่

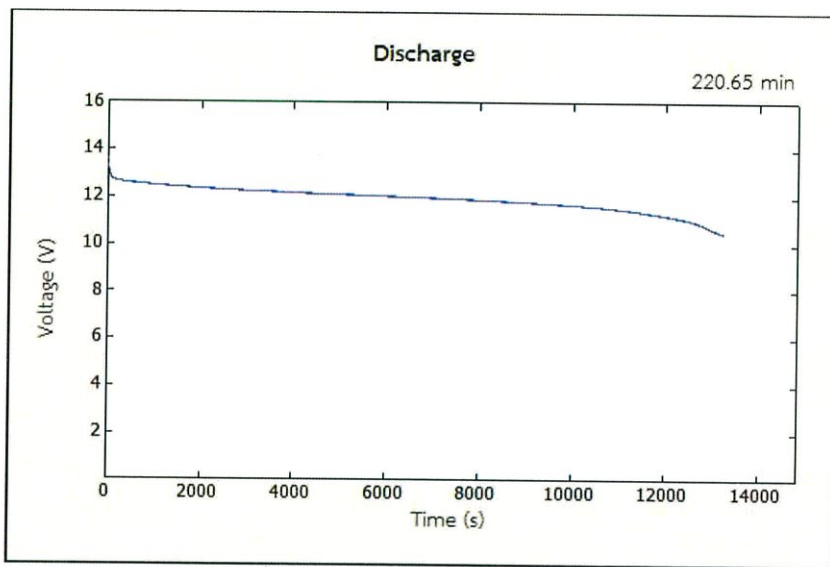
ค่าที่ได้จากการบันทึกนั้นจะมีทั้งหมด 2 ค่านั้นคือ ระยะเวลาและแรงดันไฟฟ้าที่ขั้ว ค่าที่เห็นในรูปที่3.14 เป็นค่าของแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วของแบตเตอรี่กับเวลา เมื่อแบตเตอรี่มีแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วถึง 10.5 โวลต์ ควรจะต้องถอดโหลด (DC Electronic load) ออกจากแบตเตอรี่ เมื่อถอดโหลดออกแล้ว แบตเตอรี่จะทำการฟื้นฟูตัวเอง หลังจากนั้นรอให้แรงดันไฟฟ้าคงที่สักระยะเวลาถือว่าเสร็จการทดลอง

บทที่ 4

ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

ในการวิจัยนี้ได้ทำการวิจัยการศึกษาวงจรสลายผลึกซัลเฟตภายในแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด โดยได้ทำการศึกษาทั้งหมด 6 กรณี โดยการชาร์จพัลส์ความถี่ในเวลาที่ต่างกัน เพื่อวิเคราะห์ค่าจากการเก็บประจุของแบตเตอรี่โดยวัดค่าจากช่วงเวลาการคายเพื่อให้ทราบถึงสภาพของแบตเตอรี่ โดยได้ผลการทดลอง ดังนี้

4.1 การวิเคราะห์สภาพแบตเตอรี่ โดยช่วงเวลาการคายประจุ



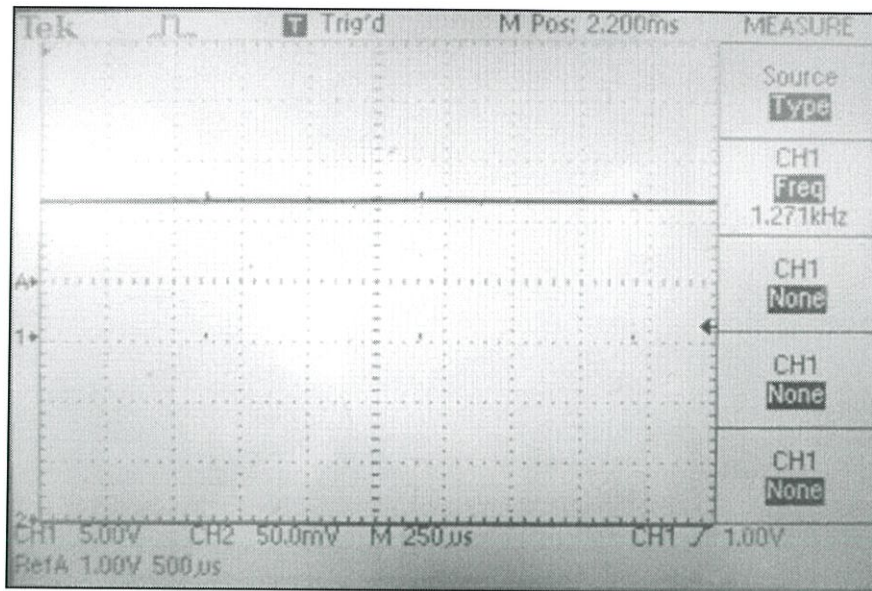
รูปที่ 4.1 การคายประจุของแบตเตอรี่

โดยการวิเคราะห์หาค่าการเก็บประจุ โดยดูจากระยะเวลาการคายประจุของแบตเตอรี่ตั้งแต่เริ่มต้นคายประจุจนถึงแรงดันไฟฟ้าสุดท้ายคือ 10.5 โวลต์ นำกราฟที่ได้ในแต่ละครั้ง มาเปรียบเทียบการเก็บประจุ โดยดูจากช่วงระยะเวลาการคายประจุของแบตเตอรี่

4.2 การตรวจสอบความถี่ของวงจรก่อนการทดลอง

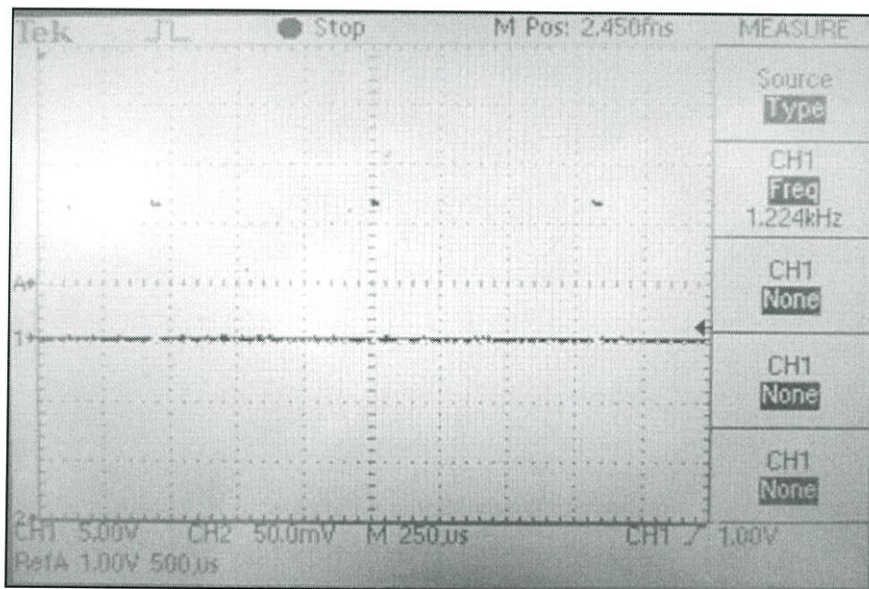
เนื่องจากการทดลองนี้ใช้พัลส์ความถี่ ดังนั้นควรมีการสอบตรวจสอบสัญญาณความถี่ก่อนที่จะทดลอง ค่าที่ควรจะได้ประมาณ 1 กิโลเฮิร์ตซ์ โดยการตรวจสอบสัญญาณความถี่นั้นแยกออกเป็น 2 กรณี ตามแหล่งจ่ายไฟฟ้าและขั้นตอนการตรวจสอบความถี่มีดังนี้

4.2.1 แรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (V_{DC}) มีค่าเท่ากับ 25.2 โวลต์ ขนาด 3 A



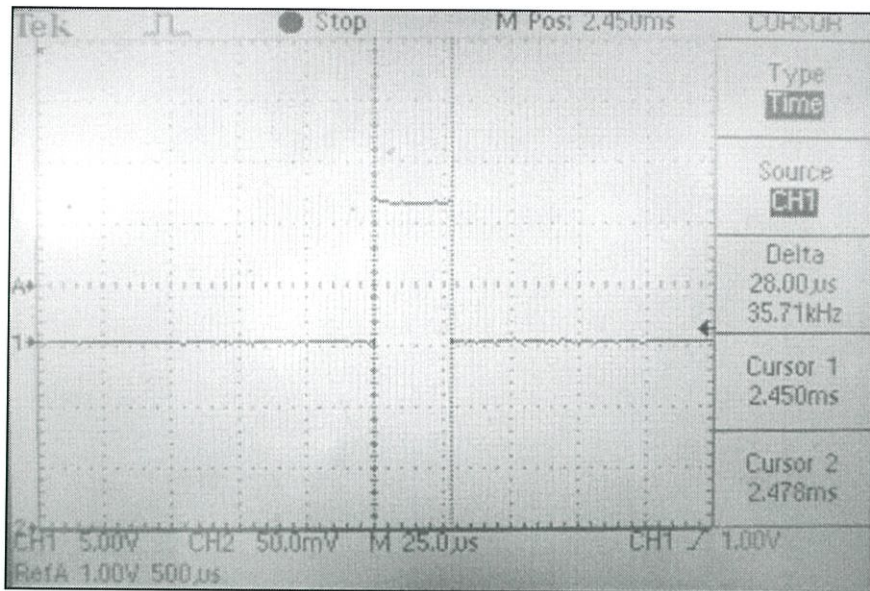
รูปที่ 4.2 รูปพัลส์ความถี่ของไอซีเบอร์ 555 (U1) ขาที่3

จากรูปที่ 4.2 นำออสซิลโลสโคปวัดที่ขา3 ของไอซีเบอร์555 (U1) ความถี่พัลส์ 1.271 กิโลเฮิรตซ์



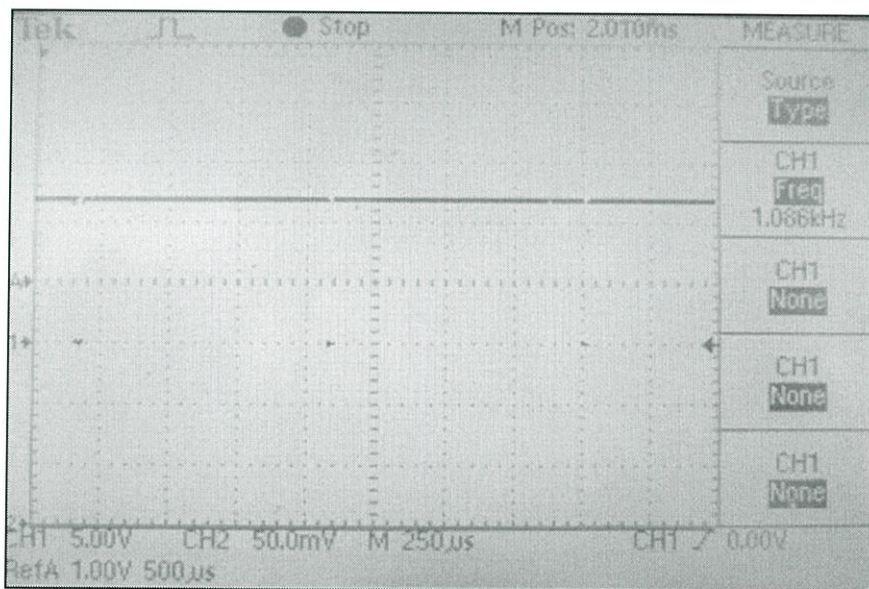
รูปที่ 4.3 รูปพัลส์ความถี่ของไอซีเบอร์ 555 (U2) ขาที่3

จากรูปที่ 4.3 นำออสซิลโลสโคปวัดที่ขา3 ของไอซีเบอร์ 555 (U2) ความถี่พัลส์ 1.224 กิโลเฮิรตซ์



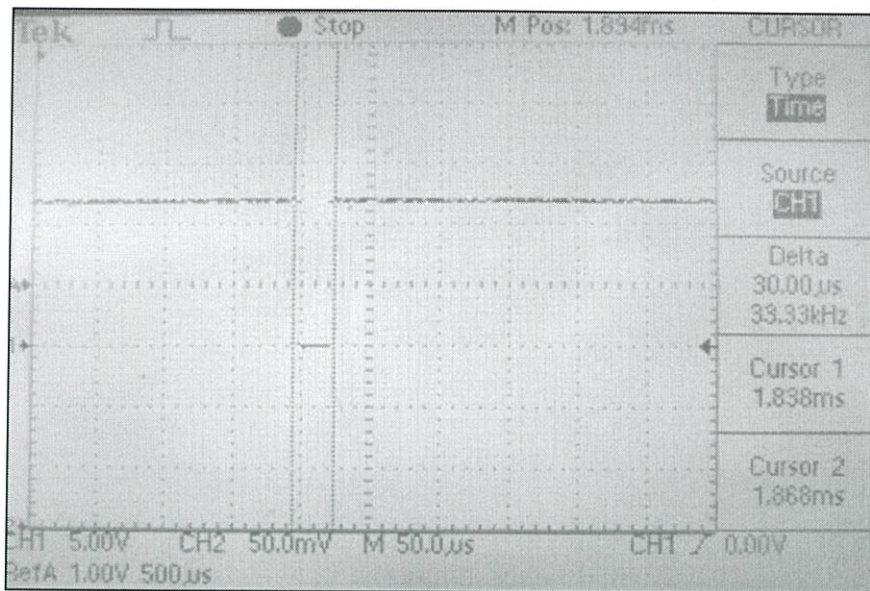
รูปที่ 4.4 รูปความกว้างพัลส์ของไอซีเบอร์ 555 (U2) ขาที่3

จากรูปที่ 4.4 นำออสซิลโลสโคปวัดที่ขา3 ของไอซีเบอร์ 555 (U2) ความกว้างพัลส์ 28×10^{-6} วินาทีหรือ 28 us



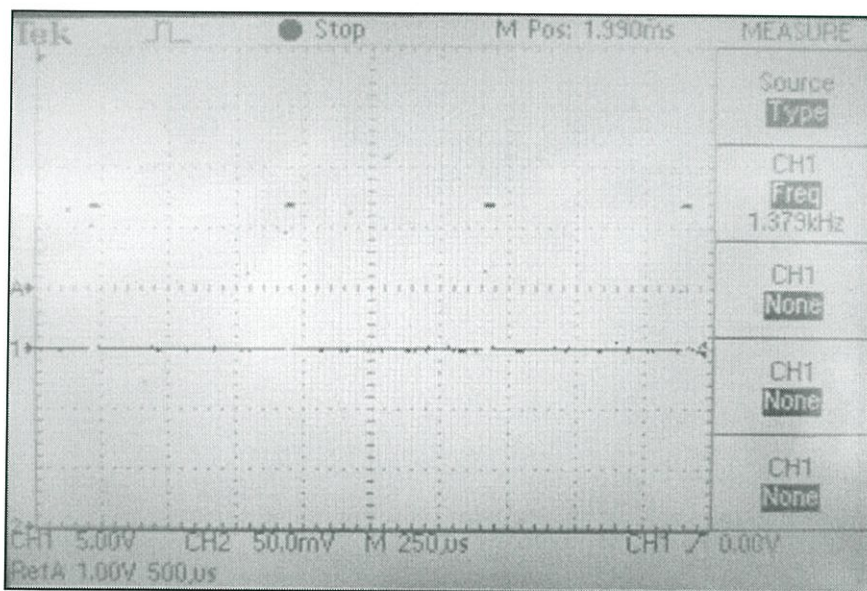
รูปที่ 4.5 รูปพัลส์ความถี่ของไอซี TC4426 (U3) ขาที่7

จากรูปที่ 4.5 นำออสซิลโลสโคปวัดที่ขา7 ของไอซี TC4426 (U3) พัลส์ความถี่ 1.086 กิโลเฮิร์ตซ์ รูปสัญญาณความถี่กลับหัว



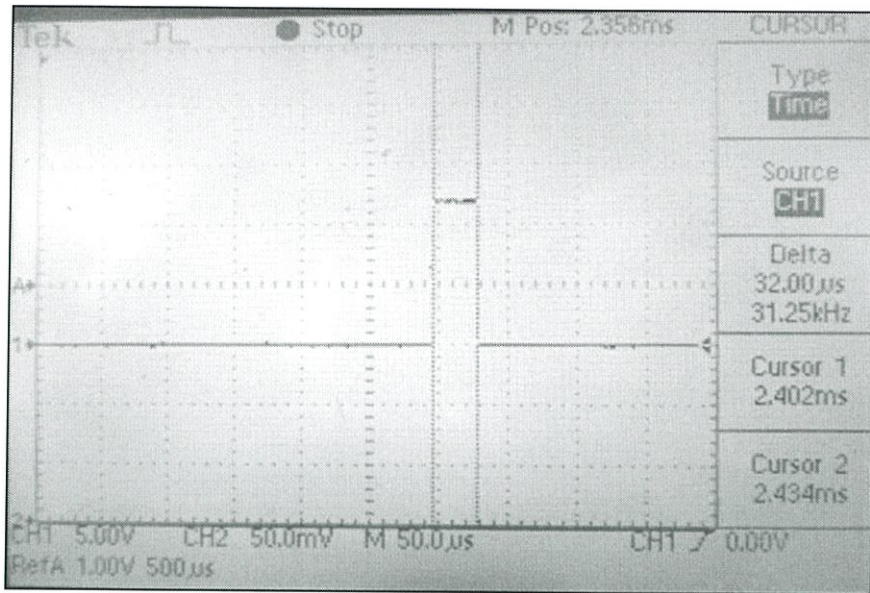
รูปที่ 4.6 รูปความกว้างพัลส์ของไอซี TC4426 (U3) ขาที่7

จากรูปที่ 4.6 นำออสซิลโลสโคปวัดที่ขา7 ของไอซี TC4426 (U3) ความกว้างพัลส์ 30×10^{-6} วินาทีหรือ 30 μ S รูปสัญญาณความถี่กลับหัว



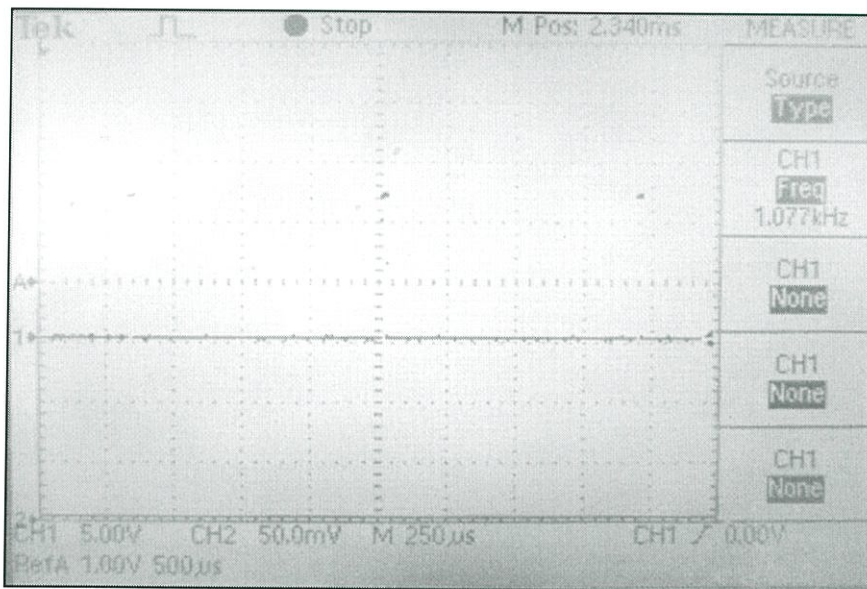
รูปที่ 4.7 รูปพัลส์ความถี่ของไอซี TC4426 (U3) ขาที่5

จากรูปที่ 4.7 นำออสซิลโลสโคปวัดที่ขา5 ของไอซี TC4426 (U3) ความถี่พัลส์ 1.379 กิโลเฮิรตซ์ รูปสัญญาณความถี่ไม่กลับหัว



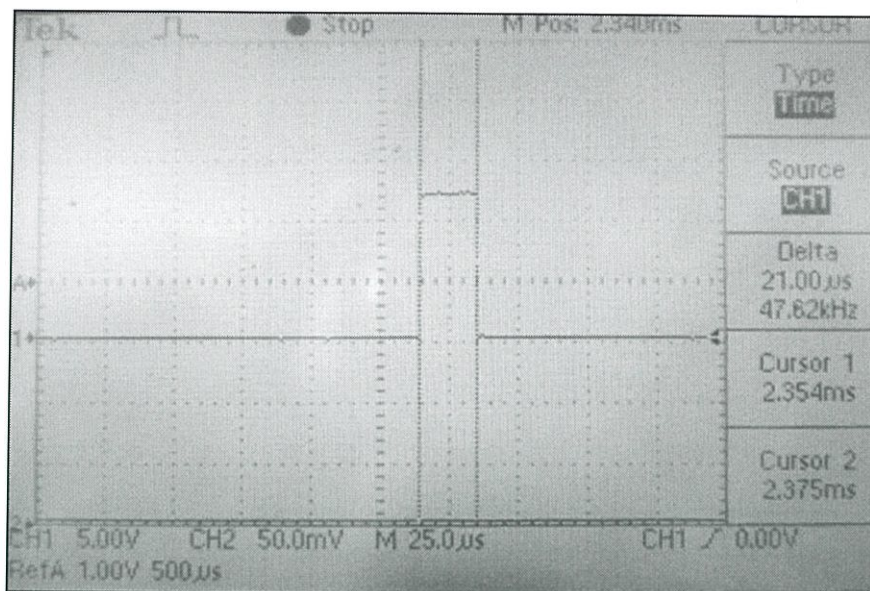
รูปที่ 4.8 รูปความกว้างพัลส์ของไอซี TC4426 (U3) ขาที่5

จากรูปที่ 4.8 นำออสซิลโลสโคปวัดที่ขา5 ของไอซี TC4426 (U3) ความกว้างพัลส์ 32×10^{-6} วินาทีหรือ 32 μ S รูปสัญญาณความถี่ไม่กลับหัว



รูปที่ 4.9 รูปพัลส์ความถี่ของไอซี TC4426 (U4) ขาที่7

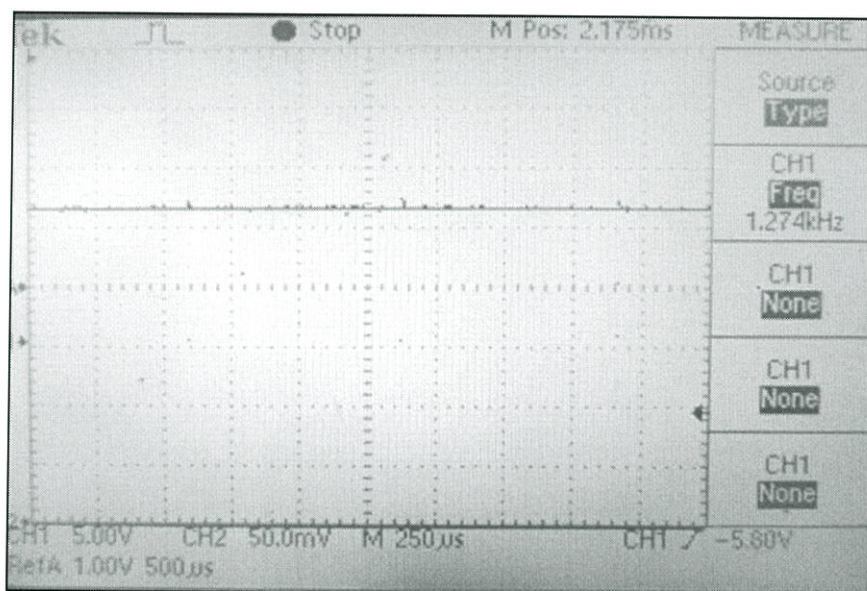
จากรูปที่ 4.9 นำออสซิลโลสโคปวัดที่ขา7 ของไอซี TC4426 (U4) ความถี่พัลส์ 1.077 กิโลเฮิร์ตซ์ รูปสัญญาณความถี่ไม่กลับหัว



รูปที่ 4.10 รูปความกว้างพัลส์ของไอซี TC4426 (U4) ขาที่7

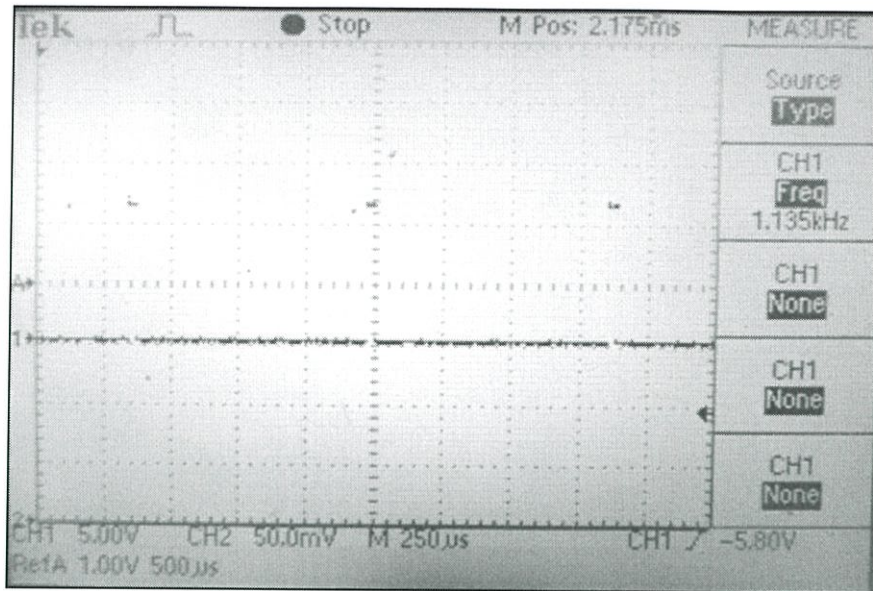
จากรูปที่ 4.10 นำออสซิลโลสโคปวัดที่ขา7 ของไอซี TC4426 (U4) ความกว้างพัลส์ 21×10^{-6} วินาทีหรือ 21 us รูปสัญญาณความถี่ไม่กลับหัว

4.2.2 แรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (V_{DC}) มีค่าเท่ากับ 42.0 โวลต์ ขนาด 3 A



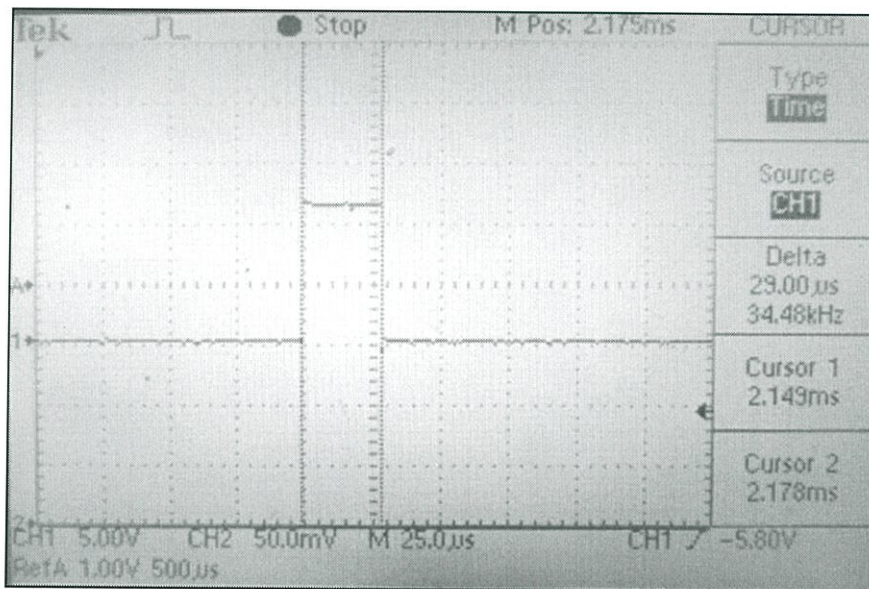
รูปที่ 4.11 รูปพัลส์ความถี่ของไอซีเบอร์ 555 (U1) ขาที่3

จากรูปที่ 4.11 นำออสซิลโลสโคปวัดที่ขา5 ของไอซี TC4426 (U3) ความถี่พัลส์ 1.274 กิโลเฮิรตซ์ รูปสัญญาณความถี่ไม่กลับหัว



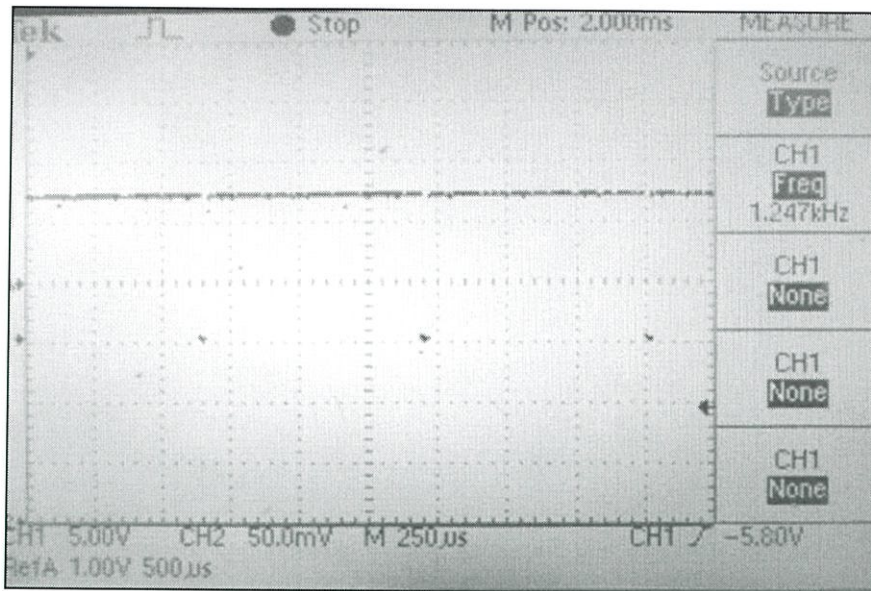
รูปที่ 4.12 รูปพัลส์ความถี่ของไอซีเบอร์ 555 (U2) ขาที่3

จากรูปที่ 4.12 นำออสซิลโลสโคปวัดที่ขา3 ของไอซีเบอร์ 555 (U2) ความถี่พัลส์ 1.135 กิโลเฮิรตซ์



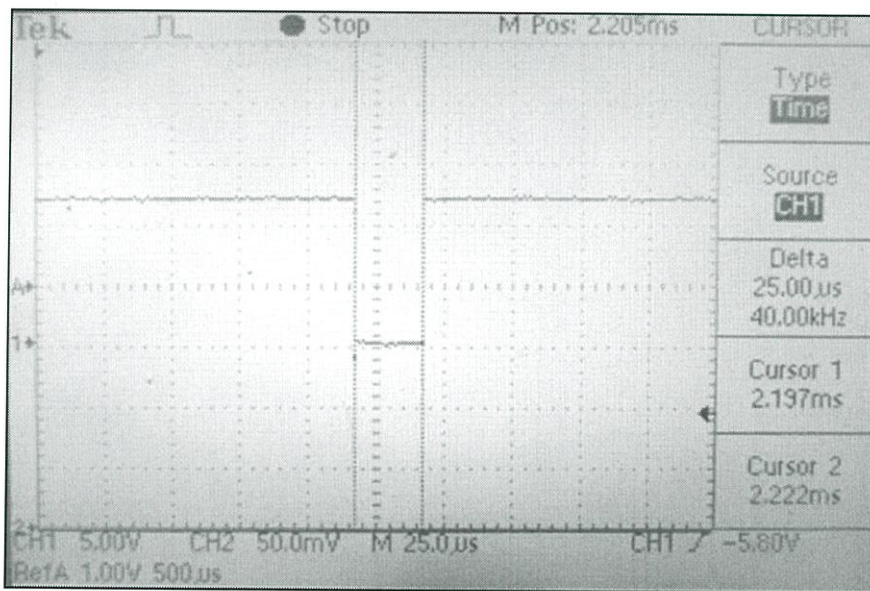
รูปที่ 4.13 รูปความกว้างพัลส์ของไอซีเบอร์ 555 (U2) ขาที่3

จากรูปที่ 4.13 นำออสซิลโลสโคปวัดที่ขา 3 ของไอซีเบอร์ 555 (U2) ความกว้างพัลส์ 29×10^{-6} วินาทีหรือ 29 us



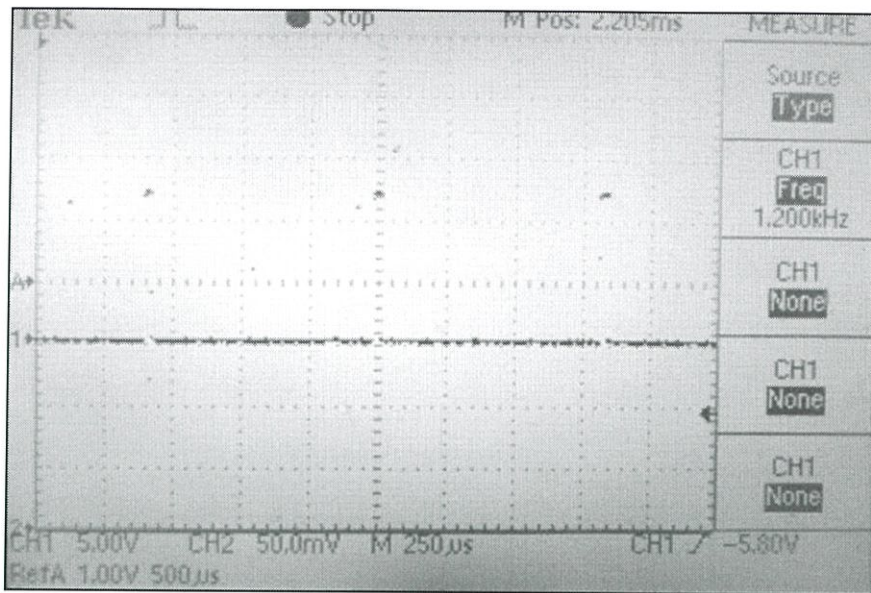
รูปที่ 4.14 รูปพัลส์ความถี่ของไอซี TC4426 (U3) ขาที่ 7

จากรูปที่ 4.14 นำออสซิลโลสโคปวัดที่ขา 7 ของไอซี TC4426 (U3) ความถี่พัลส์ 1.247 กิโลเฮิร์ตซ์ รูปสัญญาณความถี่กลับหัว



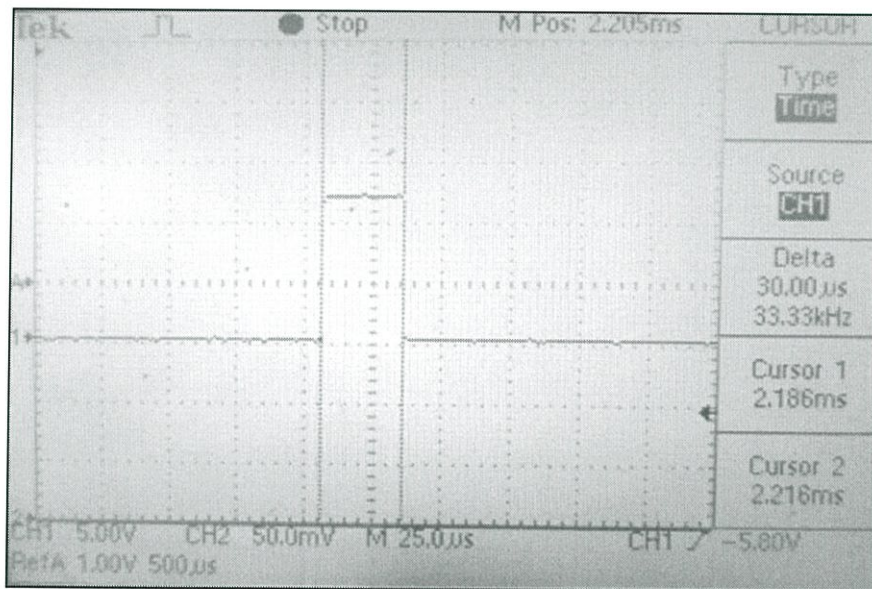
รูปที่ 4.15 รูปความกว้างพัลส์ของไอซี TC4426 (U3) ขาที่ 7

จากรูปที่ 4.15 นำออสซิลโลสโคปวัดที่ขา 7 ของไอซี TC4426 (U3) ความกว้างพัลส์ 25×10^{-6} วินาทีหรือ 33 uS รูปสัญญาณความถี่กลับหัว



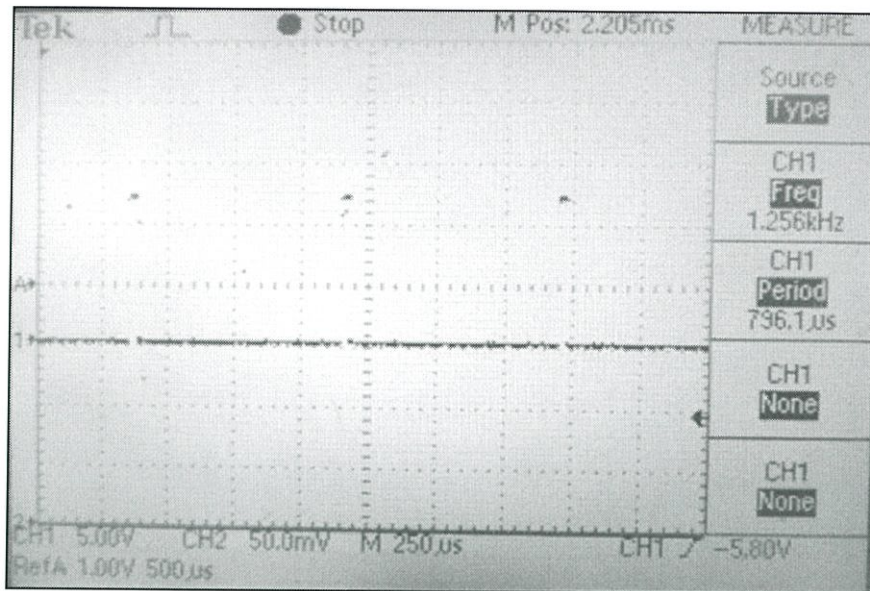
รูปที่ 4.16 รูปพัลส์ความถี่ของไอซี TC4426 (U3) ขาที่5

จากรูปที่ 4.16 นำออสซิลโลสโคปวัดที่ขา 5 ของไอซี TC4426 (U3) ความถี่พัลส์ 1.200 กิโลเฮิร์ตซ์ รูปสัญญาณความถี่ไม่กลับหัว



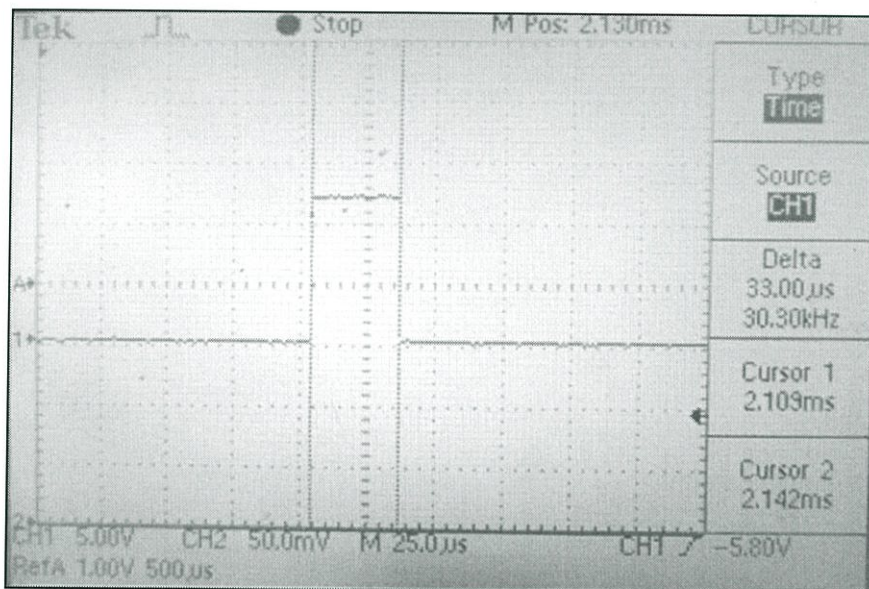
รูปที่ 4.17 รูปความกว้างพัลส์ของไอซี TC4426 (U3) ขาที่5

จากรูปที่ 4.17 นำออสซิลโลสโคปวัดที่ขา 5 ของไอซี TC4426 (U3) ความกว้างพัลส์ 30×10^{-6} วินาทีหรือ 30 μ s รูปสัญญาณความถี่ไม่กลับหัว



รูปที่ 4.18 รูปพัลส์ความถี่ของไอซี TC4426 (U4) ขาที่ 7

จากรูปที่ 4.18 นำออสซิลโลสโคปวัดที่ขา 7 ของไอซี TC4426 (U4) ความถี่พัลส์ 1.256 กิโลเฮิร์ตซ์ รูปสัญญาณความถี่ไม่กลับหัว



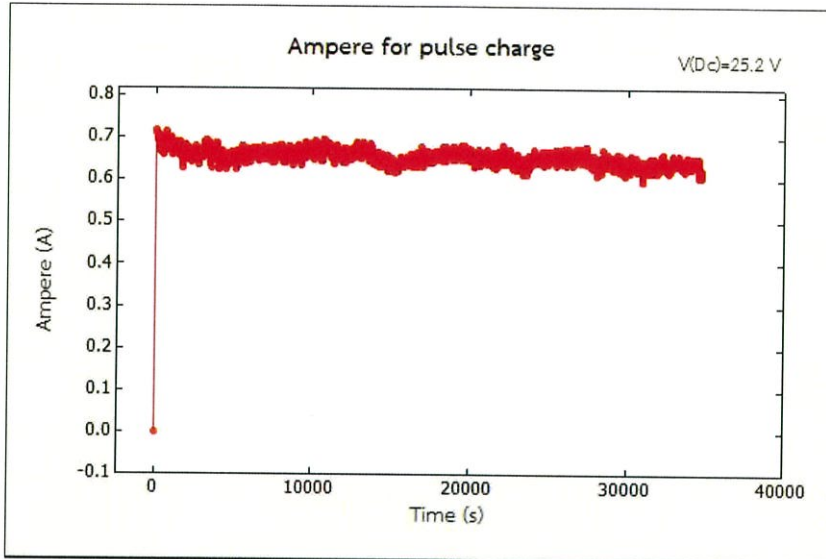
รูปที่ 4.19 รูปความกว้างพัลส์ของไอซี TC4426 (U4) ขาที่ 7

จากรูปที่ 4.19 นำออสซิลโลสโคปวัดที่ขา 7 ของไอซี TC4426 (U4) ความกว้างพัลส์ 33×10^{-6} วินาทีหรือ 33 µs รูปสัญญาณความถี่ไม่กลับหัว

4.3 กระแสไฟฟ้าที่ใช้ในระหว่างการชาร์จพัลส์ความถี่

เนื่องจากทดลอง ใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้า 2 ขนาด ดังนั้นค่ากระแสไฟฟ้าจึงมีค่าไม่เท่ากันสังเกตได้จากกราฟ ดังรูปต่อไปนี้

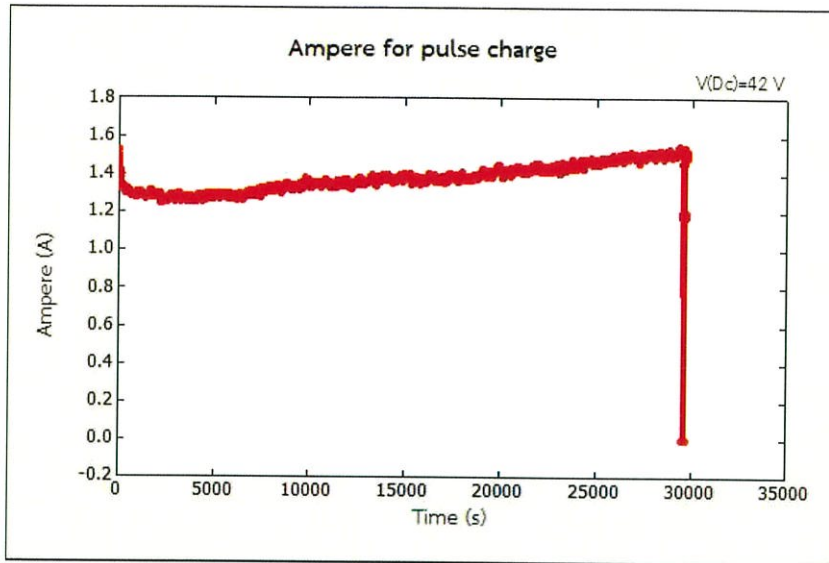
4.3.1 แรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (V_{DC}) มีค่าเท่ากับ 25.2 โวลต์ ขนาด 3 A



รูปที่ 4.20 กราฟกระแสไฟฟ้าที่ใช้พัลส์ในการชาร์จแบตเตอรี่

จากกราฟรูปที่ 4.20 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าและเวลา ซึ่งทำการวัดโดยขณะกำลังชาร์จแบตเตอรี่ด้วยพัลส์ความถี่ที่แรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (V_{DC}) เท่ากับ 25.2 โวลต์ ขนาด 3 A พบว่ากระแสไฟฟ้าโดยเฉลี่ยจะอยู่ในช่วง 0.6-0.7 A เมื่อเริ่มชาร์จจะเห็นว่ากระแสจะอยู่ที่ 0 A ในเวลาเพียงช่วงสั้นๆ ที่กระแสอยู่ที่ 0 A เพราะว่าเครื่องที่ใช้วัดกระแสไฟฟ้าเกิดภาระเกิน (over load) ดังนั้นจึงบันทึกค่าไม่ได้ แต่มีบางครั้งสามารถบันทึกค่าได้ซึ่งค่าที่เกิดภาระเกิน (over load) อยู่ประมาณ $9.90E+37$ A

4.3.2 แรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (V_{DC}) มีค่าเท่ากับ 42.0 โวลต์ ขนาด 3 A

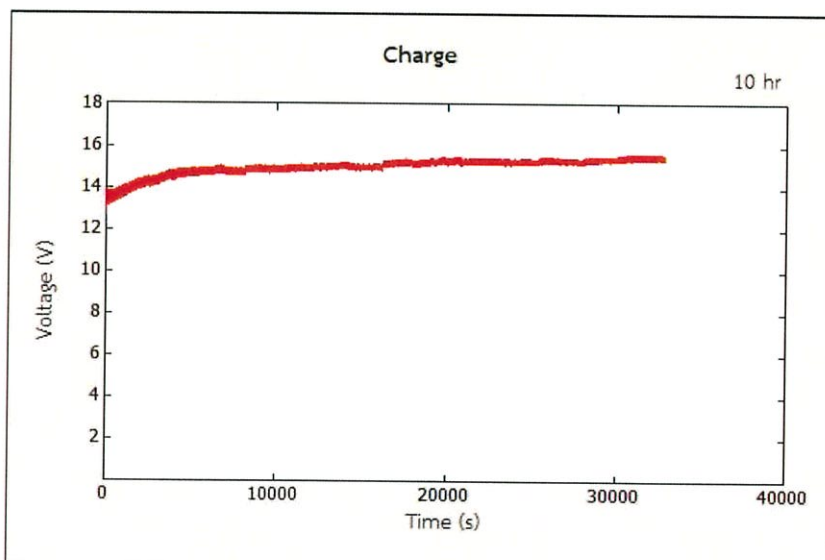


รูปที่ 4.21 กราฟกระแสไฟฟ้าที่ใช้พัลส์ในการชาร์จแบตเตอรี่

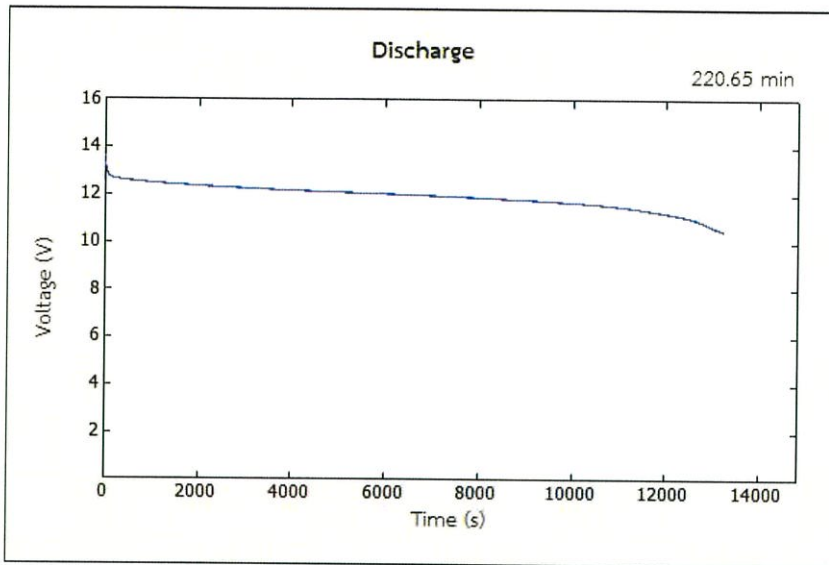
จากกราฟรูปที่ 4.21 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าและเวลา ซึ่งทำการวัดโดยขณะกำลังชาร์จแบตเตอรี่ด้วยพัลส์ความถี่ที่แรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (V_{DC}) เท่ากับ 42.0 โวลต์ ขนาด 3 A พบว่ากระแสโดยเฉลี่ยจะอยู่ในช่วง 1.2-1.6 A เมื่อทำการชาร์จเป็นเวลานาน จะเห็นว่ากระแสไฟฟ้าเริ่มที่จะเกิดภาระเกิน (over load) ซึ่งเวลาที่ภาระเกินค่อนข้างที่จะใช้ระยะเวลานาน

4.4 อภิปรายผลการวิจัย

4.4.1 ผลการทดลองของ 38B19L (1)



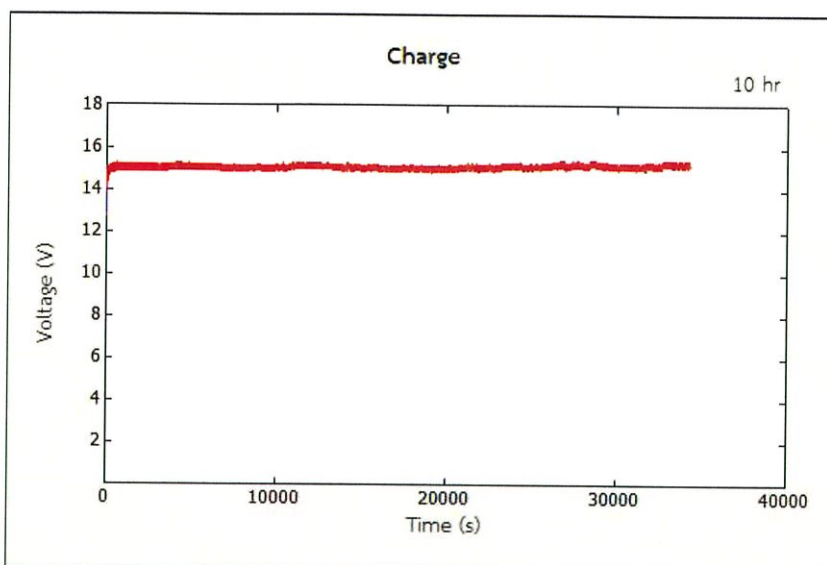
รูปที่ 4.22 กราฟการชาร์จประจุด้วยเครื่องธรรมดาทั่วไป 10 ชั่วโมง



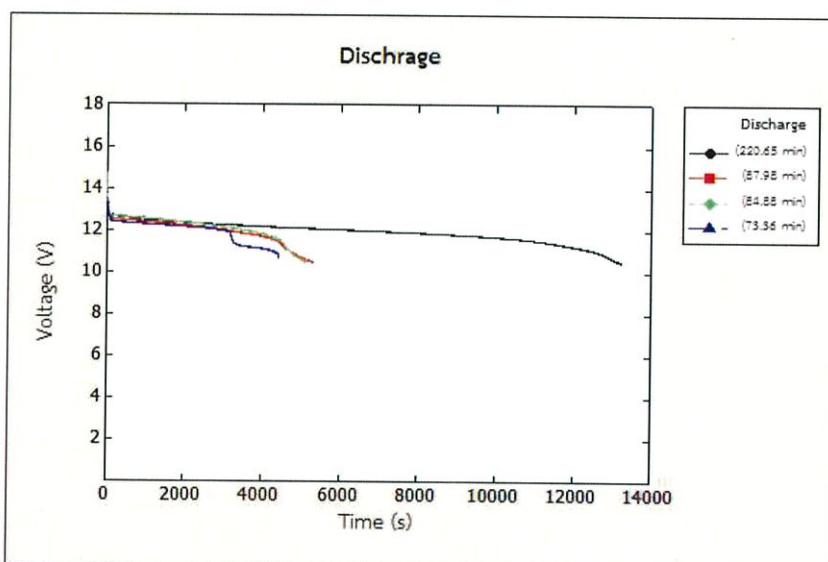
รูปที่ 4.23 กราฟการคายประจุ ด้วยโหลด 5 โอห์ม



รูปที่ 4.24 กราฟการชาร์จด้วยพัลส์ เป็นเวลา 8 ชั่วโมง ด้วยแรงดันไฟฟ้า 42.0 โวลต์



รูปที่ 4.25 กราฟการชาร์จประจุหลังจากการชาร์จด้วยพัลส์ เป็นเวลา 10 ชั่วโมง



รูปที่ 4.26 กราฟเปรียบเทียบการคายหลังจากการชาร์จด้วยพัลส์ ด้วยโหลด 5 โอห์ม

แบตเตอรี่ที่ใช้ในการทดลองคือ 38B19L (1) เป็นแบตเตอรี่ที่นำมาใช้ในโซลาร์เซลล์เป็นเวลา 2 ปี จากนั้นก็นำมาเก็บไว้ในห้องทดลองเป็นเวลา 1 ปี โดยไม่มีการชาร์จประจุก่อนเก็บและไม่มีการดูแลรักษา

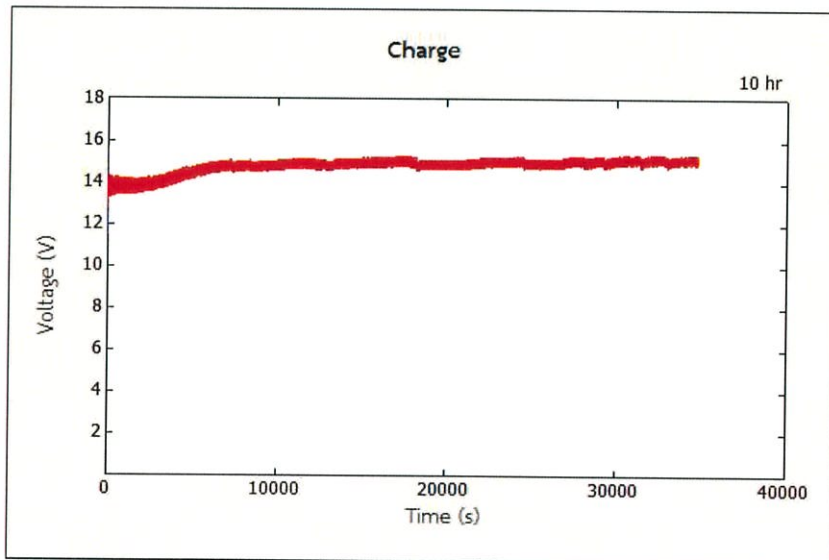
จากรูปกราฟที่ 4.23 คือ ระยะเวลาการคายประจุของแบตเตอรี่ก่อนการทดลอง เวลาที่ใช้คายประจุประมาณ 13,239 วินาที หลังจากนั้นชาร์จพัลส์ความถี่เป็นเวลา 8 ชั่วโมงและแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (V_{DC}) ที่ใช้มีค่าเท่ากับ 42.0 โวลต์ หลังจากนั้นนำมาชาร์จแบบปกติเป็นเวลา 10 ชั่วโมงเมื่อเสร็จก็นำแบตเตอรี่มาคายประจุด้วยโหลด 5 โอห์ม ทำทั้งหมด 3 ครั้ง

จากผลการทดลองนำมาเปรียบเทียบดังกราฟรูปที่ 4.26 จากกราฟจะเห็นได้ว่าการทดลองครั้งที่ 1 มีระยะเวลาการคายประจุลดลงกว่าระยะเวลาการคายประจุก่อนการทดลองเป็นจำนวนมาก และเมื่อนำการทดลองครั้งที่ 1 ครั้งที่ 2 และครั้งที่ 3 มาเปรียบเทียบกัน ผลที่ได้คือระยะเวลาการคายประจุไม่ค่อยแตกต่างกันมากนัก แต่ค่าระยะเวลาการคายประจุจะน้อยลงเรื่อยๆ ดังนี้ 5,279 วินาที 5,093 วินาที 4,402 วินาที ตามตารางที่ 4.1

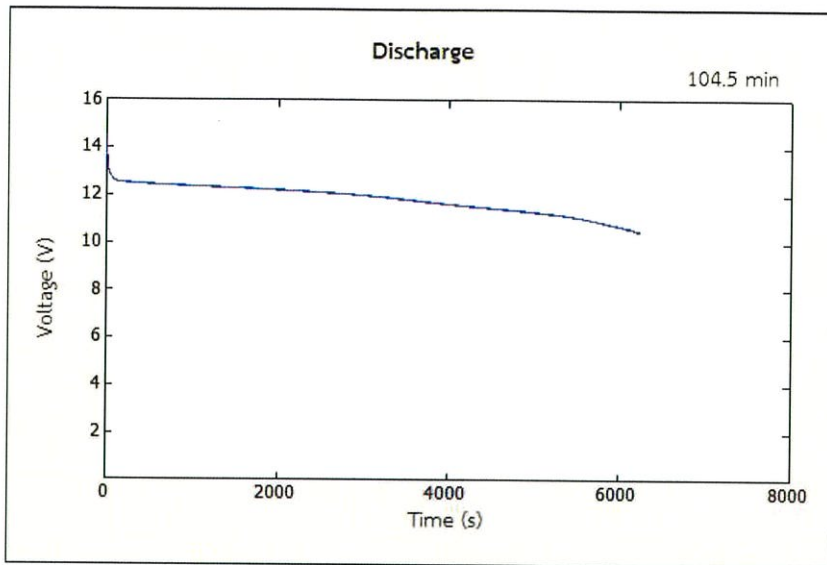
ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองของ 38B19L (1)

34B19L (1)	R (โอห์ม)	เวลาที่ใช้คายประจุ (วินาที)
ก่อนการทดลอง	5	13,239
ครั้งที่ 1	5	5,279
ครั้งที่ 2	5	5,093
ครั้งที่ 3	5	4,402

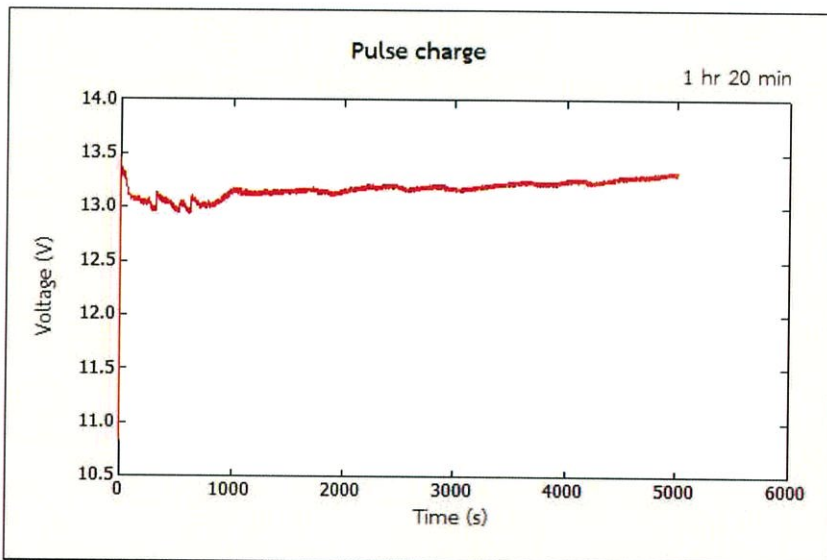
4.4.2 ผลการทดลองของ 38B19L (2)



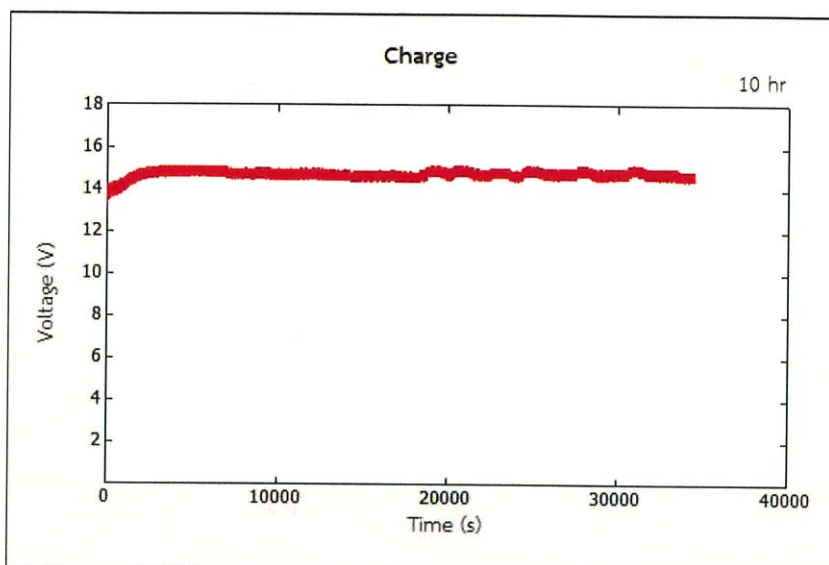
รูปที่ 4.27 กราฟการชาร์จประจุด้วยเครื่องธรรมดาทั่วไป 10 ชั่วโมง



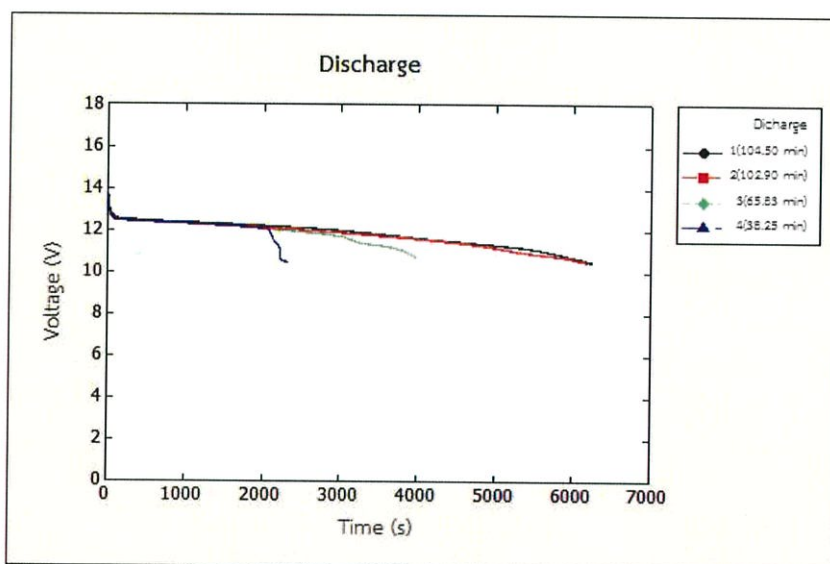
รูปที่ 4.28 กราฟการคายประจุ ด้วยโหลด 5 โอห์ม



รูปที่ 4.29 กราฟการชาร์จด้วยพัลส์ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง 20 นาที ด้วยแรงดันไฟฟ้า 42.0 โวลต์



รูปที่ 4.30 กราฟการชาร์จประจุหลังจากการชาร์จด้วยพัลส์ เป็นเวลา 10 ชั่วโมง



รูปที่ 4.31 กราฟเปรียบเทียบการคายหลังจากการชาร์จด้วยพัลส์ ด้วยโหลด 5 โอห์ม

แบตเตอรี่ที่ใช้ในการทดลองคือ 38B19L (2) เป็นแบตเตอรี่ที่นำมาใช้ในโซลาร์เซลล์เป็นเวลา 2 ปี จากนั้นนำมาเก็บไว้ในห้องทดลองเป็นเวลา 1 ปี โดยไม่มีการชาร์จประจุก่อนเก็บและไม่ได้มีการดูแลรักษา

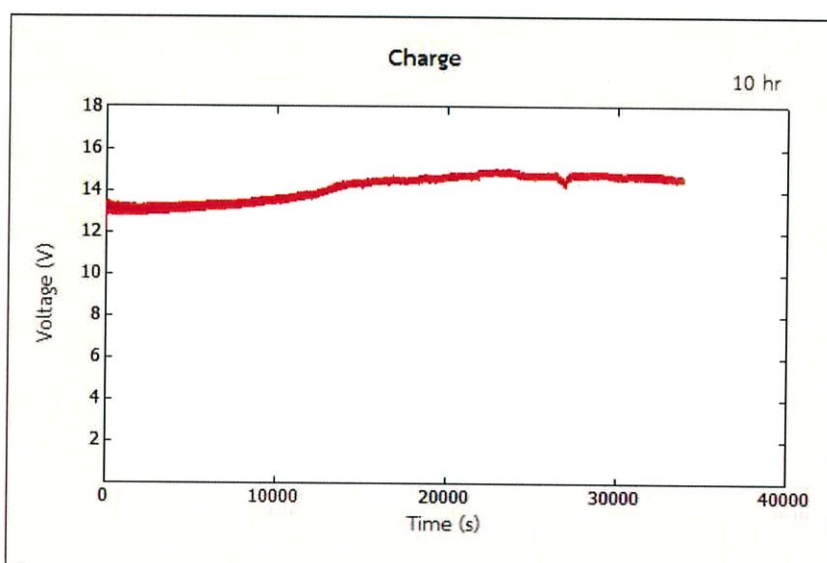
จากรูปกราฟที่ 4.28 คือ ระยะการคายประจุของแบตเตอรี่ก่อนการทดลอง ระยะเวลาในการคายประจุประมาณ 6,243 วินาที หลังจากนั้นชาร์จพัลส์ความถี่เป็นเวลา 1 ชั่วโมง 20 นาทีและแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (V_{DC}) ที่ใช้มีค่าเท่ากับ 42.0 โวลต์ หลังจากนั้นนำมาชาร์จแบบปกติเป็นเวลา 10 ชั่วโมง เมื่อเสร็จนำแบตเตอรี่มาคายประจุด้วยโหลด 5 โอห์ม ทำทั้งหมด 3 ครั้ง

จากผลการทดลองนำมาเปรียบเทียบดังกราฟรูปที่ 4.31 จากกราฟจะเห็นได้ว่าการทดลองครั้งที่ 1 มีระยะเวลาการคายประจุใกล้เคียงกับระยะเวลาการคายประจุก่อนการทดลอง และเมื่อนำการทดลองครั้งที่ 1 ครั้งที่ 2 และครั้งที่ 3 มาเปรียบเทียบกัน ผลที่ได้คือระยะเวลาการคายประจุจะลดลงเรื่อยๆ ดังนี้ 6,174 วินาที 3,950 วินาที 2,295 วินาทีตามลำดับ ตามตารางที่ 4.2

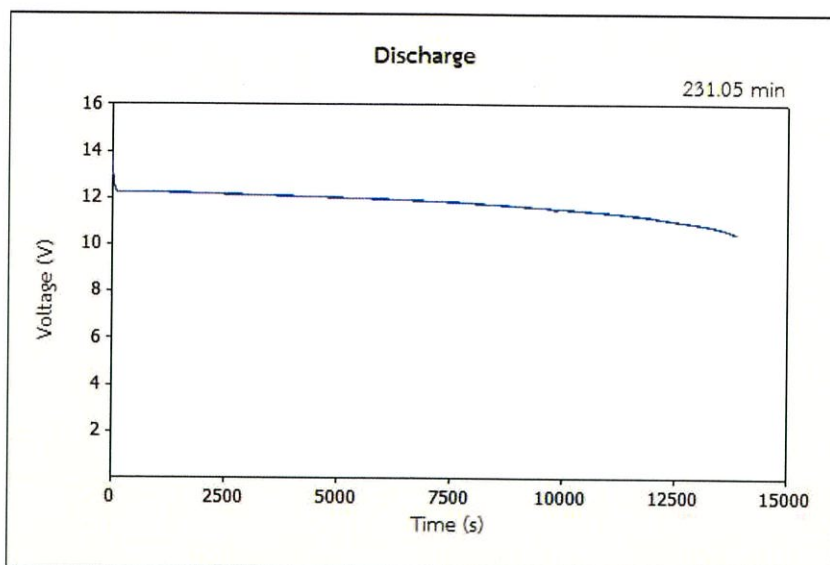
ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองของ 38B19L (2)

34B19L (2)	R (โอห์ม)	เวลาที่ใช้คายประจุ (วินาที)
ก่อนการทดลอง	5	6,243
ครั้งที่ 1	5	6,174
ครั้งที่ 2	5	3,950
ครั้งที่ 3	5	2,295

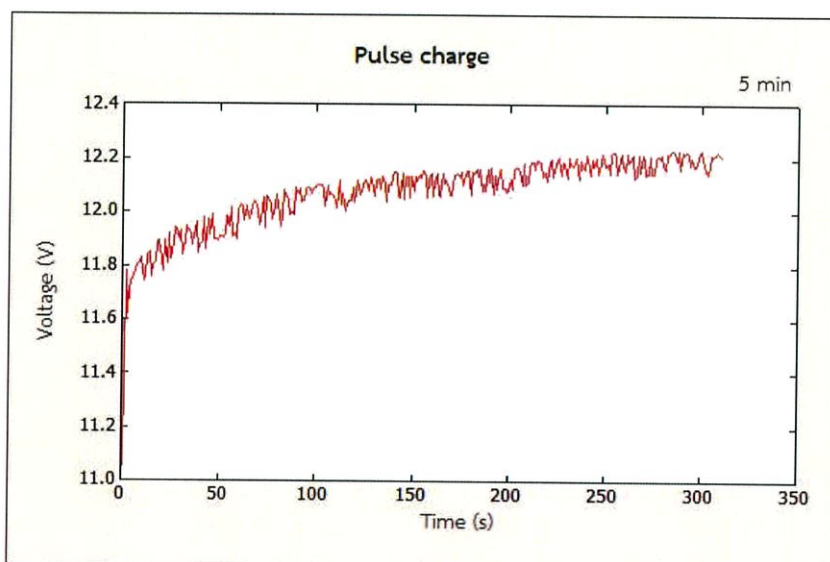
4.4.3 ผลการทดลองของ MF200L



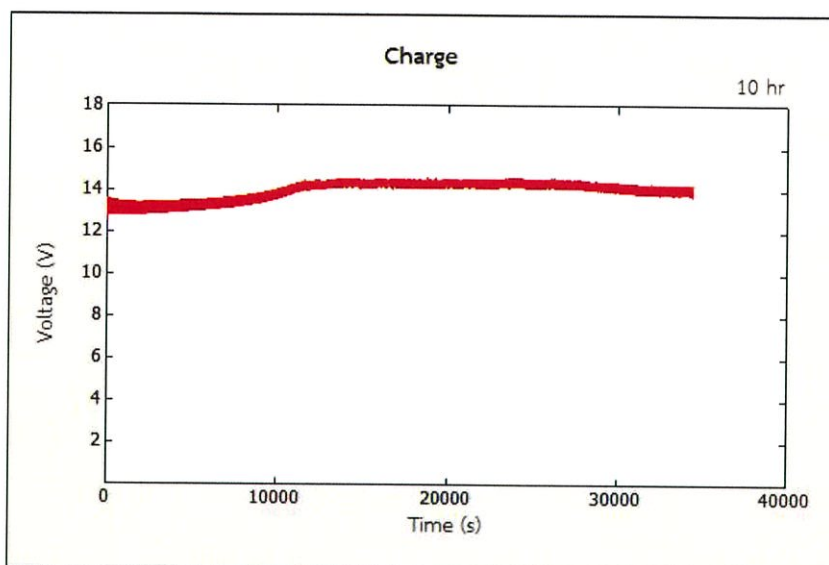
รูปที่ 4.32 กราฟการชาร์จประจุด้วยเครื่องธรรมดาทั่วไป 10 ชั่วโมง



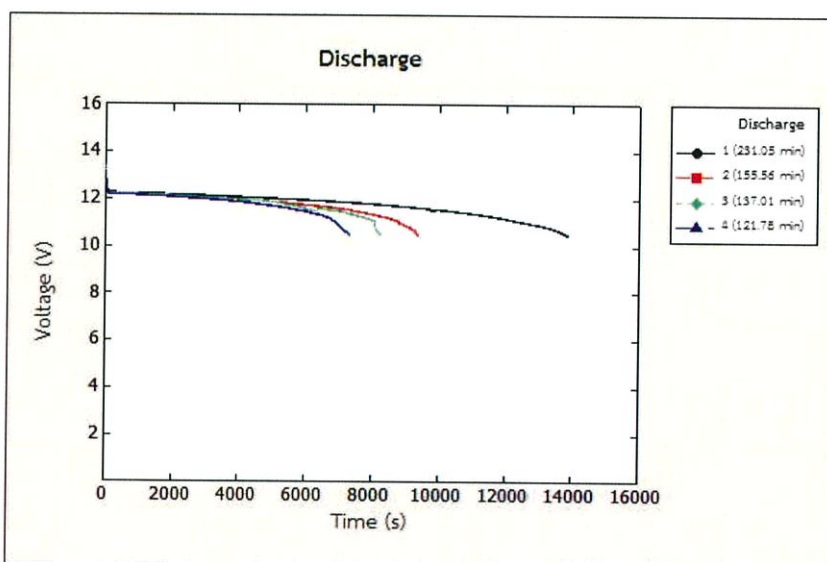
รูปที่ 4.33 กราฟการคายประจุ ด้วยโหลด 3 โอห์ม



รูปที่ 4.34 กราฟการชาร์จด้วยพัลส์ เป็นเวลา 5 นาที ด้วยแรงดันไฟฟ้า 42.0 โวลต์



รูปที่ 4.35 กราฟการชาร์จประจุหลังจากการชาร์จด้วยพัลส์ เป็นเวลา 10 ชั่วโมง



รูปที่ 4.36 กราฟเปรียบเทียบการคายหลังจากการชาร์จด้วยพัลส์ ด้วยโหลด 3 โอห์ม

แบตเตอรี่ที่ใช้ในการทดลองคือ MF200L เป็นแบตเตอรี่ที่ใช้งานในรถยนต์ เนื่องแบตเตอรี่หมดอายุการใช้งาน ดังนั้นจึงนำแบตเตอรี่มาที่ไว้ในห้องทดลองเป็นเวลา 2 เดือน โดยไม่มีการชาร์จประจุก่อนเก็บรักษา

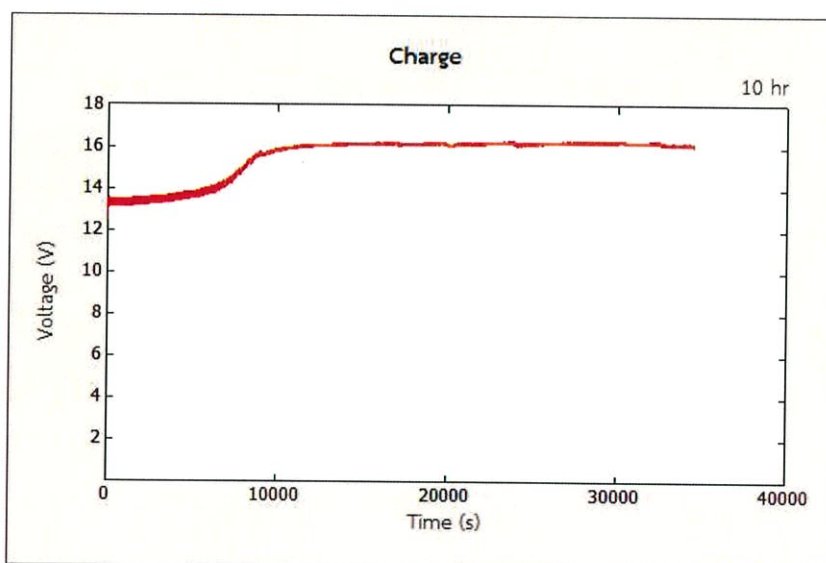
จากรูปกราฟที่ 4.33 คือ ระยะการคายประจุของแบตเตอรี่ก่อนการทดลอง ระยะเวลาในการคายประจุประมาณ 13,869 วินาที หลังจากนั้นชาร์จพัลส์ความถี่เป็นเวลา 5 นาทีและแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (V_{DC}) ที่ใช้มีค่าเท่ากับ 42.0 โวลต์ หลังจากนั้นนำมาชาร์จแบบปกติเป็นเวลา 10 ชั่วโมง เมื่อเสร็จให้นำแบตเตอรี่มาคายประจุด้วยโหลด 3 โอห์ม ทำทั้งหมด 3 ครั้ง

จากผลการทดลองนำมาเปรียบเทียบดังกราฟรูปที่ 4.36 จากกราฟจะเห็นได้ว่าการทดลองเวลาการคายประจุจะเยอะกว่าการทดลองครั้งที่ 1 เมื่อนำการทดลองทั้ง 3 ครั้งมาเปรียบเทียบกันพบว่าระยะเวลาการคายประจุนั้นจะลดลงเรื่อยๆตามลำดับดังนี้ 9,334 วินาที 8,221 วินาที 7,302 วินาทีตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 4.3

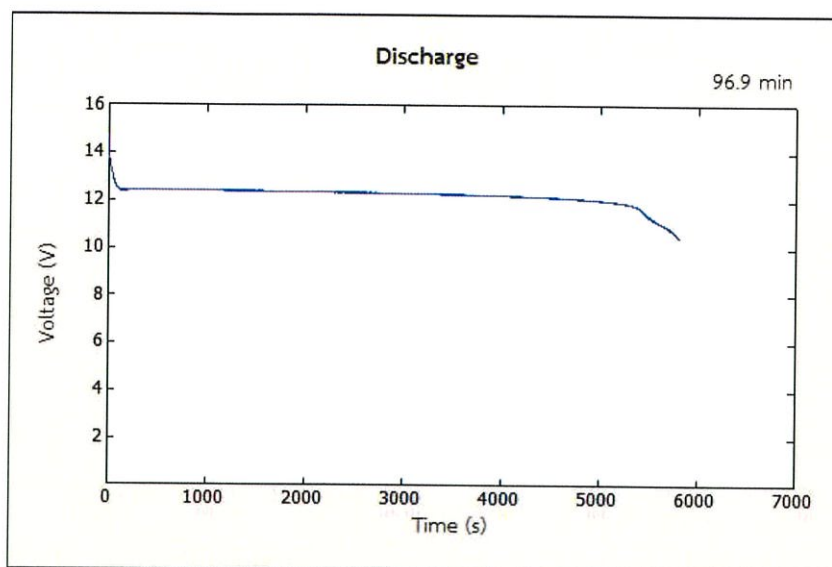
ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองของ MF200L

MF200L	R(โอห์ม)	เวลาที่ใช้คายประจุ (วินาที)
ก่อนการทดลอง	3	13,863
ครั้งที่ 1	3	9,334
ครั้งที่ 2	3	8,221
ครั้งที่ 3	3	7,302

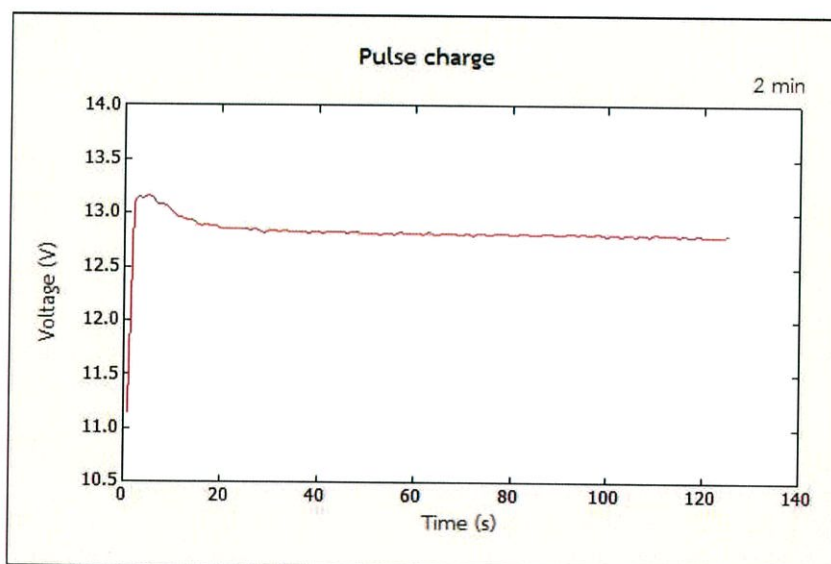
4.4.4 ผลการทดลองของ 34B19L (1-1)



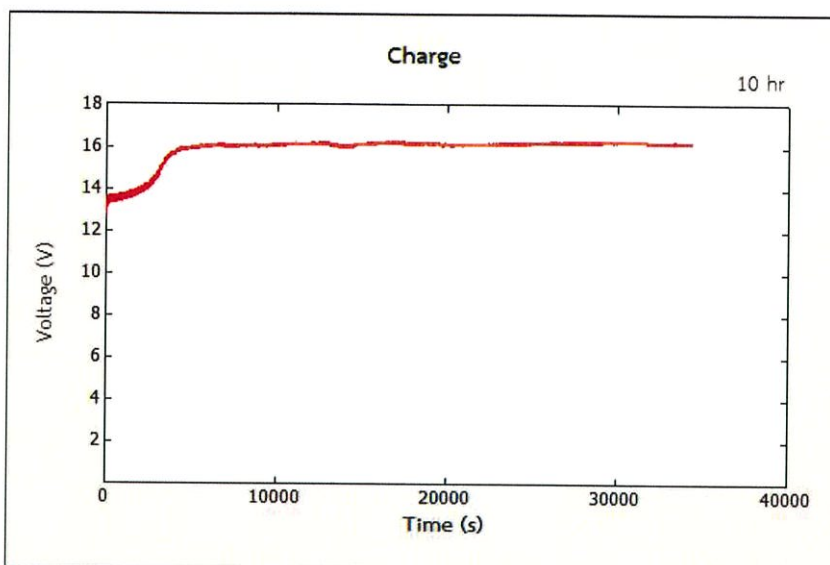
รูปที่ 4.37 กราฟการชาร์จประจุด้วยเครื่องธรรมดาทั่วไป 10 ชั่วโมง



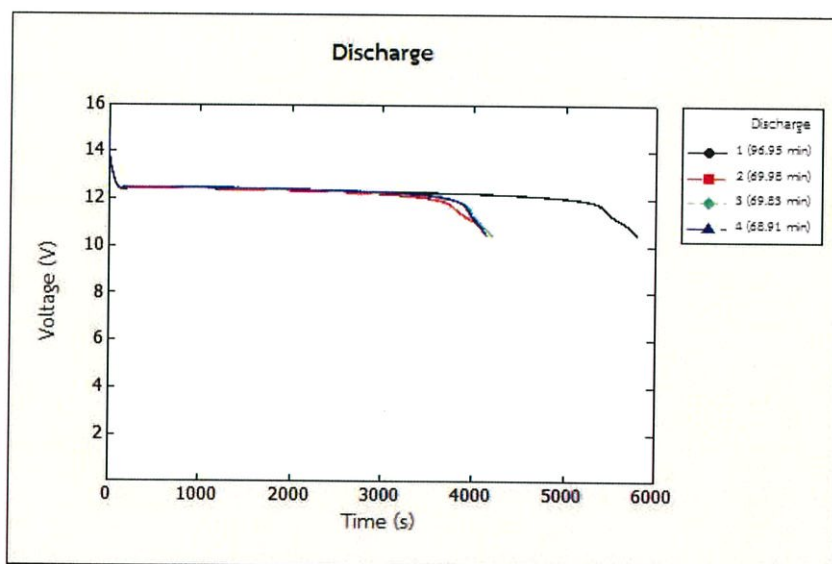
รูปที่ 4.38 กราฟการคายประจุ ด้วยโหลด 3 โอห์ม



รูปที่ 4.39 กราฟการชาร์จด้วยพัลส์ เป็นเวลา 2 นาที ด้วยแรงดันไฟฟ้า 42.0 โวลต์



รูปที่ 4.40 กราฟการชาร์จประจุหลังจากการชาร์จด้วยพัลส์ เป็นเวลา 10 ชั่วโมง



รูปที่ 4.41 กราฟเปรียบเทียบการคายหลังจากการชาร์จด้วยพัลส์ ด้วยโหลด 3 โอห์ม

แบตเตอรี่ที่ใช้ในการทดลองคือ 34B19L (1-1) เป็นแบตเตอรี่ที่ใช้งานในรถยนต์ เนื่องจากแบตเตอรี่หมดอายุการใช้งาน จากนั้นก็นำแบตเตอรี่มาทดลอง โดยที่ไม่ได้ทิ้งแบตเตอรี่ไว้เป็นเวลานาน

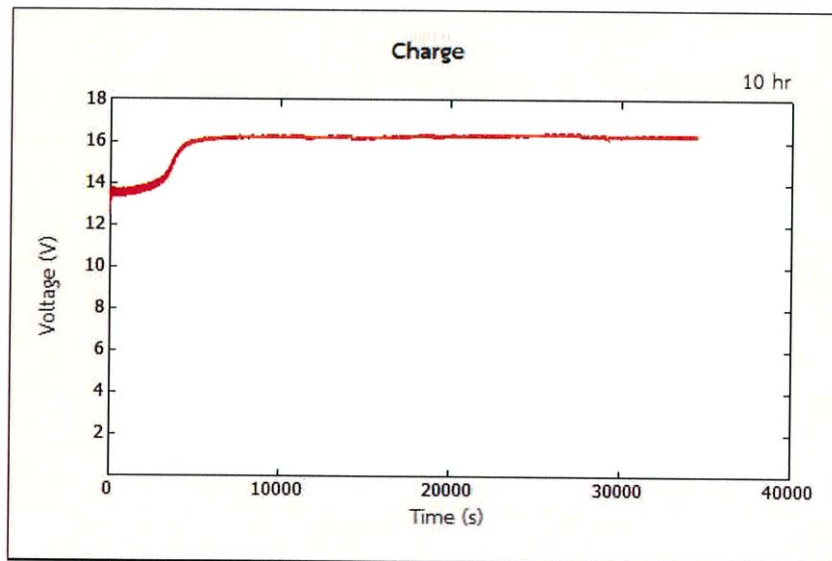
จากรูปกราฟที่ 4.38 คือ ระยะการคายประจุของแบตเตอรี่ก่อนการทดลอง ระยะเวลาในการคายประจุประมาณ 5,817 วินาที หลังจากนั้นชาร์จพัลส์ความถี่เป็นเวลา 2 นาทีและแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (V_{DC}) ที่ใช้มีค่าเท่ากับ 42.0 โวลต์ หลังจากนั้นนำมาชาร์จแบบปกติเป็นเวลา 10 ชั่วโมง เมื่อเสร็จก็นำแบตเตอรี่มาคายประจุด้วยโหลด 3 โอห์ม ทำทั้งหมด 3 ครั้ง

จากผลการทดลองนำมาเปรียบเทียบดังกราฟรูปที่ 4.41 จากกราฟจะเห็นได้ว่าการทดลองเวลาการคายประจุจะเยาะกว่าหลังการทดลองเล็กน้อย และเมื่อนำการทดลองทั้ง 3 ครั้งมาเปรียบเทียบกันพบว่าระยะเวลาการคายประจุไม่ค่อยต่างกันมากเท่าไรนัก ดังนี้ 4,199 วินาที 4,190 วินาที 4,135 วินาทีตามลำดับ จะสังเกตได้ว่าระยะเวลาการคายประจุไม่ค่อยต่างกันมากตามตารางที่ 4.4

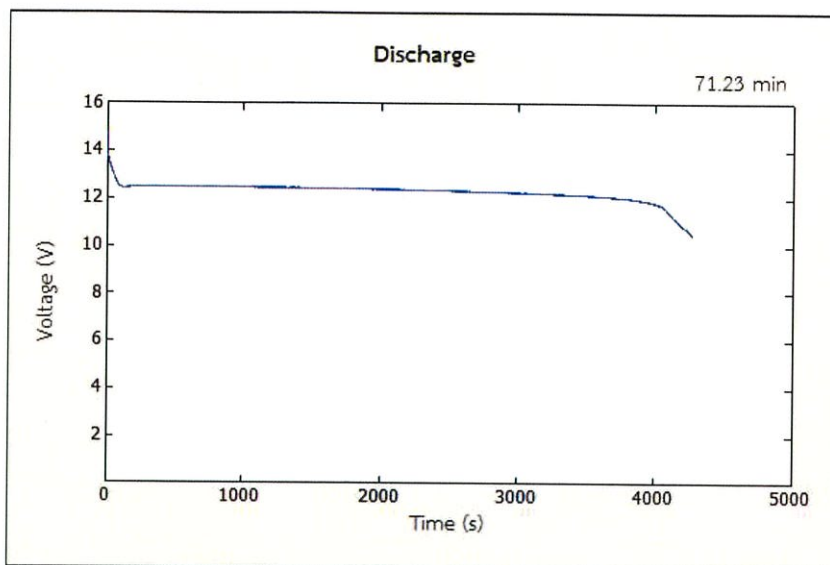
ตารางที่ 4.4 ผลการทดลองของ 34B19L (1-1)

34B19L (1-1)	R(โอห์ม)	เวลาที่ใช้คายประจุ (วินาที)
ก่อนการทดลอง	3	5,817
ครั้งที่ 1	3	4,199
ครั้งที่ 2	3	4,190
ครั้งที่ 3	3	4,135

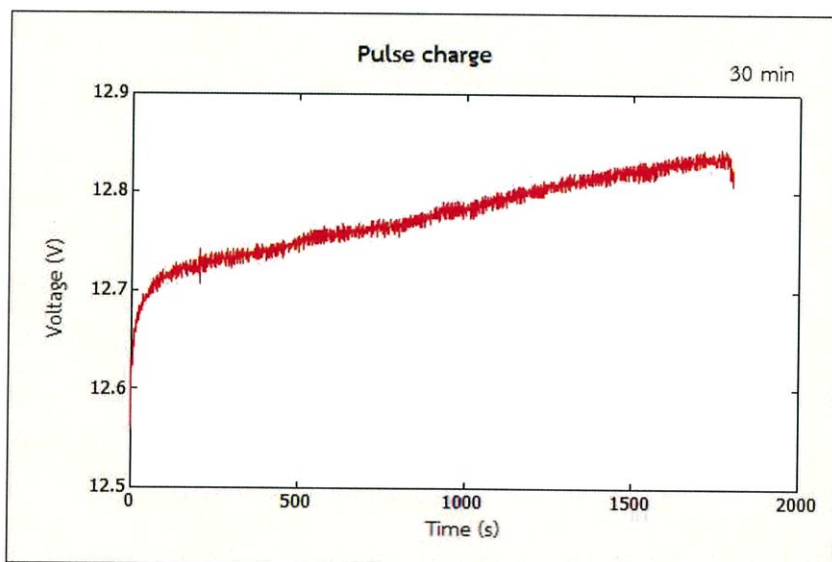
4.4.5 ผลการทดลองของ 34B19L (1-2)



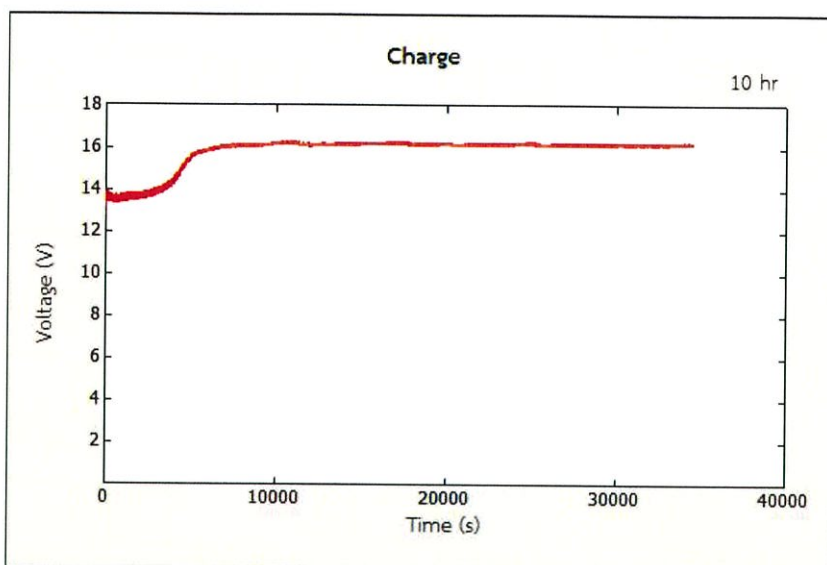
รูปที่ 4.42 กราฟการชาร์จประจุด้วยเครื่องธรรมดาทั่วไป 10 ชั่วโมง



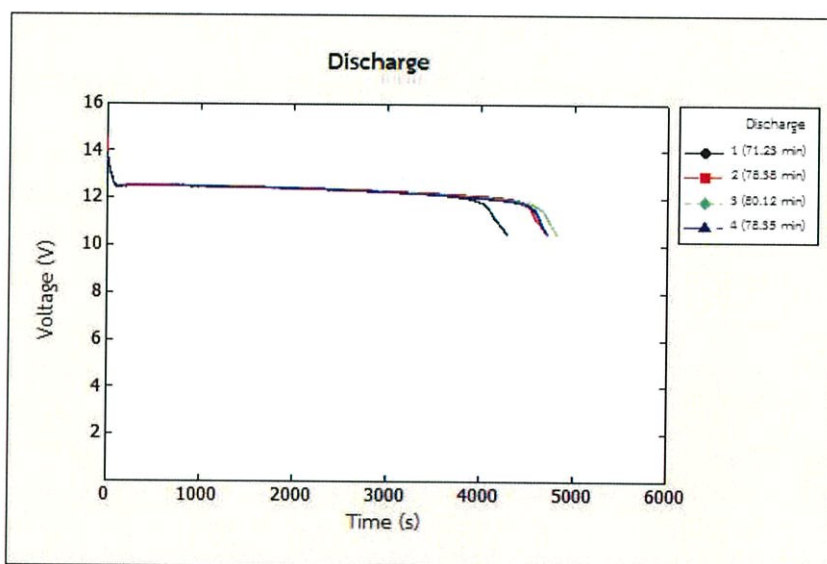
รูปที่ 4.43 กราฟการคายประจุ ด้วยโหลด 3 โอห์ม



รูปที่ 4.44 กราฟการชาร์จด้วยพัลส์ เป็นเวลา 30 นาที ด้วยแรงดันไฟฟ้า 25.2 โวลต์



รูปที่ 4.45 กราฟการชาร์จประจุหลังจากการชาร์จด้วยพัลส์ เป็นเวลา 10 ชั่วโมง



รูปที่ 4.46 กราฟเปรียบเทียบการคายหลังจากการชาร์จด้วยพัลส์ ด้วยโหลด 3 โอห์ม

แบตเตอรี่ที่ใช้ในการทดลองคือ 34B19L (1-2) เป็นแบตเตอรี่ที่ใช้ในการทดลองที่ผ่านมา

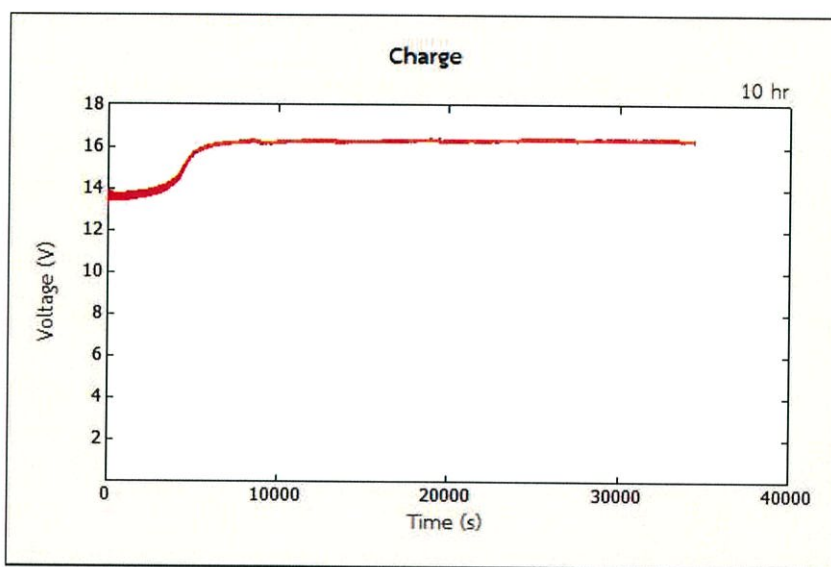
จากรูปกราฟที่ 4.43 คือ ระยะเวลาการคายประจุของแบตเตอรี่ก่อนการทดลอง ระยะเวลาในการคายประจุประมาณ 4,274 วินาที หลังจากนั้นชาร์จพัลส์ความถี่เป็นเวลา 2 นาทีและแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (V_{DC}) ที่ใช้มีค่าเท่ากับ 25.2 โวลต์ หลังจากนั้นนำมาชาร์จแบบปกติเป็นเวลา 10 ชั่วโมง เมื่อเสร็จก็นำแบตเตอรี่มาคายประจุด้วยโหลด 3 โอห์ม ทำทั้งหมด 3 ครั้ง

จากผลการทดลองนำมาเปรียบเทียบดังกราฟรูปที่ 4.46 จากกราฟจะเห็นได้ว่าการทดลองระยะเวลาการคายประจุจะมีค่าน้อยกว่าหลังการทดลองทั้ง 3 ครั้งเพียงเล็กน้อย ดังนี้ 4,703 วินาที 4,807 วินาที 4,701 วินาทีตามลำดับ จะสังเกตได้ว่าระยะเวลาการคายประจุไม่ค่อยต่างกันมาก ตามตารางที่ 4.5

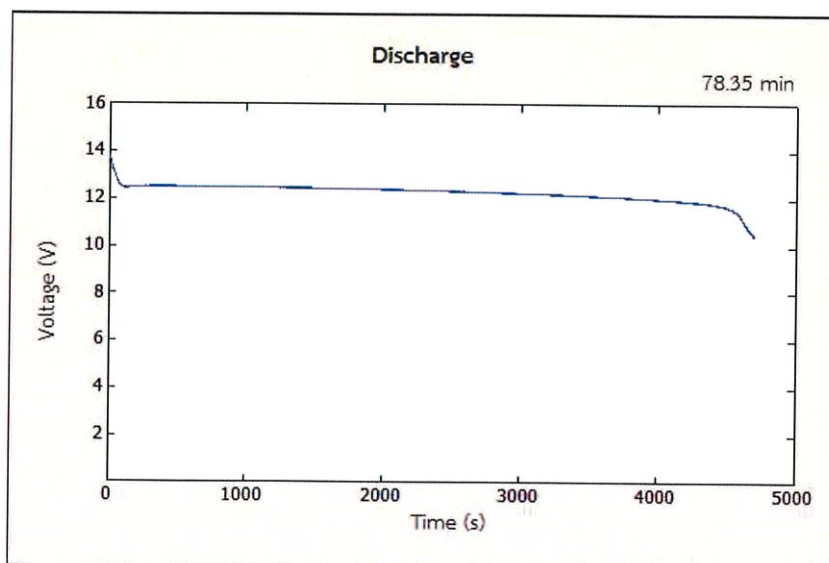
ตารางที่ 4.5 ผลการทดลองของ 34B19L (1-2)

34B19L (1-2)	R (โอห์ม)	เวลาที่ใช้คายประจุ (วินาที)
ก่อนการทดลอง	3	4,274
ครั้งที่ 1	3	4,703
ครั้งที่ 2	3	4,807
ครั้งที่ 3	3	4,701

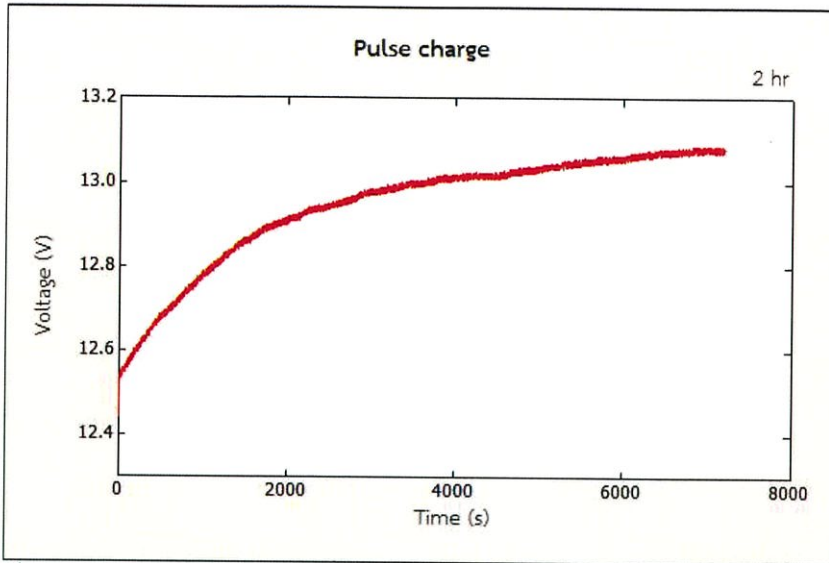
4.4.6 ผลการทดลองของ 34B19L (1-3)



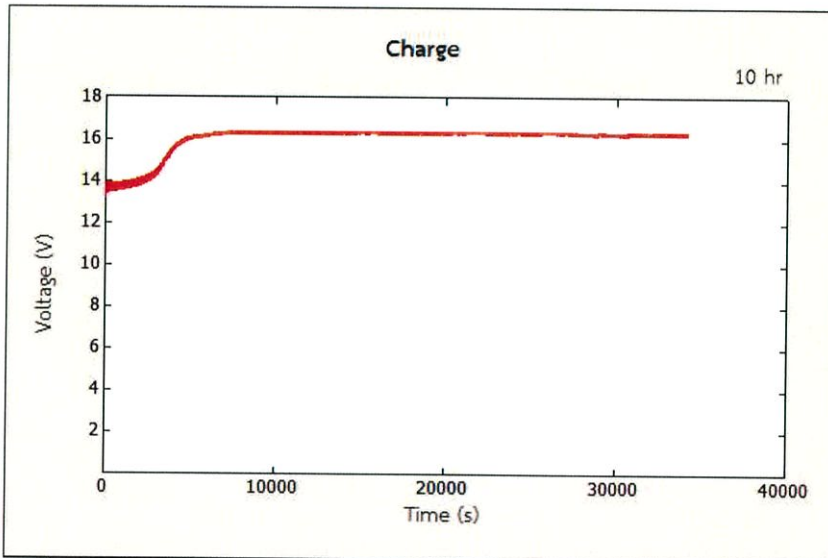
รูปที่ 4.47 กราฟการชาร์จประจุด้วยเครื่องธรรมดาทั่วไป 10 ชั่วโมง



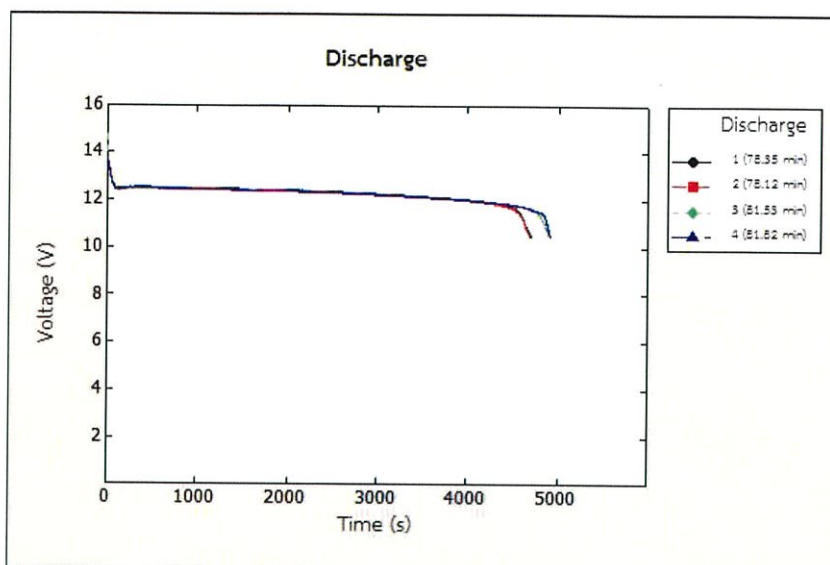
รูปที่ 4.48 กราฟการคายประจุ ด้วยโหลด 3 โอห์ม



รูปที่ 4.49 กราฟการชาร์จด้วยพัลส์ เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ด้วยแรงดันไฟฟ้า 25.2 โวลต์



รูปที่ 4.50 กราฟการชาร์จประจุหลังจากการชาร์จด้วยพัลส์ เป็นเวลา 10 ชั่วโมง



รูปที่ 4.51 กราฟเปรียบเทียบการคายหลังจากการชาร์จด้วยพัลส์ ด้วยโหลด 3 โอห์ม

แบตเตอรี่ที่ใช้ในการทดลองคือ 34B19L (1-3) เป็นแบตเตอรี่ที่ใช้ในการทดลองที่ผ่านมา

จากรูปกราฟที่ 4.48 คือระยะเวลาการคายประจุของแบตเตอรี่ก่อนการทดลอง ระยะเวลาในการคายประจุประมาณ 4,274 วินาที หลังจากนั้นชาร์จพัลส์ความถี่เป็นเวลา 2 นาทีและแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (V_{DC}) ที่ใช้มีค่าเท่ากับ 42.0 โวลต์ หลังจากนั้นก็นำมาชาร์จแบบปกติเป็นเวลา 10 ชั่วโมง เมื่อเสร็จนำมาแบตเตอรี่มาคายประจุด้วยโหลด 3 โอห์ม ทำทั้งหมด 3 ครั้ง

จากผลการทดลองการเปรียบเทียบดังกราฟรูปที่ 4.51 จากกราฟจะเห็นได้ว่าการทดลองระยะเวลาการคายประจุค่อนข้างมีค่าเท่ากับการทดลองครั้งที่ 1 และเมื่อทำการเปรียบเทียบการทดลองทั้ง 3 ครั้ง พบว่าค่าระยะเวลาการคายประจุเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย ดังนี้ 4,687 วินาที 4,892 วินาที 4,909 วินาทีตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ผลการทดลองของ 34B19L (1-3)

34B19L (1-3)	R(โอห์ม)	เวลาที่ใช้คายประจุ (วินาที)
ก่อนการทดลอง	3	4,701
ครั้งที่ 1	3	4,687
ครั้งที่ 2	3	4,892
ครั้งที่ 3	3	4,909

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

โครงการพิเศษเรื่องนี้ศึกษาการสลายผลึกซัลเฟตในแบตเตอรี่ตะกั่วกรด ทำการศึกษาโดยใช้พัลส์ความถี่ในการสลายผลึกซัลเฟตในแบตเตอรี่ โดยทำการศึกษาทั้งหมด 6 กรณีดังนี้

ตารางที่ 5.1 กำหนดสถานะเงื่อนไขการศึกษาของแบตเตอรี่

แบตเตอรี่รุ่น	เงื่อนไขการศึกษา
38B19L (1)	ใช้แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (V_{DC}) มีค่าเท่ากับ 42.0 โวลต์ ชาร์จด้วยพัลส์ความถี่เป็นเวลา 8 ชั่วโมง
38B19L (2)	ใช้แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (V_{DC}) มีค่าเท่ากับ 42.0 โวลต์ ชาร์จด้วยพัลส์ความถี่เป็นเวลา 1 ชั่วโมง 20 นาที
MF200L	ใช้แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (V_{DC}) มีค่าเท่ากับ 42.0 โวลต์ ชาร์จด้วยพัลส์ความถี่เป็นเวลา 5 นาที
34B19L (1-1)	ใช้แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (V_{DC}) มีค่าเท่ากับ 42.0 โวลต์ ชาร์จด้วยพัลส์ความถี่เป็นเวลา 2 นาที
34B19L (1-2)	ใช้แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (V_{DC}) มีค่าเท่ากับ 25.2 โวลต์ ชาร์จด้วยพัลส์ความถี่เป็นเวลา 30 นาที
34B19L (1-3)	ใช้แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (V_{DC}) มีค่าเท่ากับ 25.2 โวลต์ ชาร์จด้วยพัลส์ความถี่เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

เมื่อเริ่มการทดลองที่แรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (V_{DC}) มีค่าเท่ากับ 25.2 โวลต์และ 42.0 โวลต์ ที่ให้เป็นแหล่งจ่ายของวงจรสลายผลึกซัลเฟตพบว่า แรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (V_{DC}) มีค่าเท่ากับ 25.2 โวลต์เกิดการเกิน (over load) ในเวลาเริ่มต้นการทดลองในช่วงระยะเวลาสั้นๆซึ่งสังเกตได้ว่า กระแสไฟฟ้าเฉลี่ยจะอยู่ในช่วง 0.6-0.7 A และเมื่อแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (V_{DC}) มีค่าเท่ากับ 42.0 โวลต์ เมื่ออัดประจุแบตเตอรี่ไปนานๆ จนถึงเวลาที่จุดๆหนึ่งพบว่าจะเกิดการเกิน (over load) มีช่วงเวลาการเกิดที่นาน จึงต้องทำการปิดเครื่อง เนื่องจากการเกิดการเกิน (over load) ทำให้ กระแสไฟฟ้าที่วัดได้เกินกว่าเครื่องจะรับได้ กระแสไฟฟ้าโดยเฉลี่ยของแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (V_{DC}) ที่ 42.0 โวลต์ พบว่าอยู่ในช่วง 1.2-1.6 A จากผลการทดลองสามารถวิเคราะห์ได้ว่าค่ากระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการสลายผลึกซัลเฟต นั้นจะขึ้นอยู่กับแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับวงจรสลายผลึกซัลเฟต

ทดลองตามเงื่อนไขที่กำหนดตามตารางที่ 5.1 พบว่าได้ผลการทดลองดังต่อไปนี้

1. 38B19L (1) แรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (V_{DC}) มีค่าเท่ากับ 42.0 โวลต์ ชาร์จด้วยพัลส์ความถี่เป็นเวลา 8 ชั่วโมง

ตารางที่ 5.2 ผลการทดลองของ 38B19L (1)

34B19L (1)	R (โอห์ม)	เวลาที่ใช้คายประจุ (วินาที)
ก่อนการทดลอง	5	13,239
ครั้งที่ 1	5	5,279
ครั้งที่ 2	5	5,093
ครั้งที่ 3	5	4,402

พบว่าแบตเตอรี่มีแนวโน้มการคายประจุที่ลดลง จากการสังเกตพบว่า แบตเตอรี่มีระยะเวลาการคายประจุก่อนการทดลองมากกว่าระยะเวลาการคายประจุของการทดลองทั้ง 3 ครั้ง จะสังเกตว่าระยะเวลาการคายประจุนั้นมีค่าลดลง ดังนั้นสามารถวิเคราะห์ได้ว่าอาจจะเกิดจากระยะเวลาในการชาร์จพัลส์ความถี่ครั้งแรกเป็นเวลานาน หรือการใช้แรงดันไฟฟ้าที่มีค่าสูง ซึ่งค่าแรงดันไฟฟ้าที่สูงจะทำให้กระแสไฟฟ้านั้นสูงขึ้นด้วย ทำให้แผ่นธาตุเกิดความเสียหายและทำให้การเก็บประจุของแบตเตอรี่ลดลง นอกเหนือจากนี้แล้วสภาพของแบตเตอรี่ก็มีผลต่อการทดลอง เนื่องจากแบตเตอรี่อาจจะถูกทิ้งไว้นานจนเกินไปและไม่ได้รับการดูแลรักษาที่ถูกต้อง

2. 38B19L (2) แรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (V_{DC}) มีค่าเท่ากับ 42.0 โวลต์ ชาร์จด้วยพัลส์ความถี่เป็นเวลา 1 ชั่วโมง 20 นาที

ตารางที่ 5.3 ผลการทดลองของ 38B19L (2)

34B19L (2)	R (โอห์ม)	เวลาที่ใช้คายประจุ (วินาที)
ก่อนการทดลอง	5	6,243
ครั้งที่ 1	5	6,174
ครั้งที่ 2	5	3,950
ครั้งที่ 3	5	2,295

การทดลองนี้ได้ปรับเวลาการชาร์จพัลส์ความถี่ลงจากการทดลองแรก จากผลการทดลองพบว่าแบตเตอรี่มีแนวโน้มการคายประจุที่ลดลง แต่ในช่วงการทดลองครั้งที่1 พบว่าการคายประจุนั้น ค่อยข้างใกล้เคียงกับระยะเวลาการคายประจุก่อนการทดลอง แต่เมื่อสังเกตระยะเวลาการคายประจุของการทดลองทั้ง 3 ครั้งพบว่าระยะเวลาการคายประจุมีค่าลดลง ดังนั้นสามารถวิเคราะห์ได้ว่าการชาร์จพัลส์ครั้งที่1อาจจะยังไม่มีผลต่อแผ่นธาตุของแบตเตอรี่มากนัก แต่เมื่อชาร์จพัลส์ความถี่ครั้งที่2 แผ่นธาตุในแบตเตอรี่อาจจะเกิดความเสียหาย จึงทำให้ระยะเวลาการคายประจุลดลง ซึ่งปัจจัยหลักที่ทำให้เป็นเช่นนี้คือการใช้เวลาชาร์จพัลส์ที่นานจนเกินไปหรือสภาพของแบตเตอรี่เก่าจนเกินไป เมื่อได้รับแรงดันไฟฟ้าที่สูงอาจจะทำให้แผ่นธาตุเกิดความเสียหาย

3. MF200L แรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (V_{DC}) มีค่าเท่ากับ 42.0 โวลต์ ชาร์จด้วยพัลส์ความถี่เป็นเวลา 5 นาที

ตารางที่ 5.4 ผลการทดลองของ MF200L

MF200L	R(โอห์ม)	เวลาที่ใช้คายประจุ (วินาที)
ก่อนการทดลอง	3	13,863
ครั้งที่ 1	3	9,334
ครั้งที่ 2	3	8,221
ครั้งที่ 3	3	7,302

จากผลการทดลองพบว่าเมื่อปรับเวลาการชาร์จพัลส์ความถี่ลง แบตเตอรี่ยังมีแนวโน้มการคายประจุที่ลดลง สังเกตได้ว่าระยะเวลาการคายประจุลดลงอย่างต่อเนื่อง ซึ่งอาจจะมีสาเหตุมาจากแบตเตอรี่ลูกนี้เคยใช้งานกับรถยนต์จนหมดอายุ การใช้งานในรถยนต์นั้นมีการเขย่า ดังนั้นอาจจะทำให้แผ่นธาตุเสียหายอยู่แล้ว และเมื่อนำมาชาร์จด้วยพัลส์ความถี่ด้วยแรงดันไฟฟ้าที่สูง ซึ่งอาจจะเป็นปัจจัยที่ทำให้แผ่นธาตุนั้นเสียหายได้ง่าย จึงทำให้ระยะเวลาการคายประจุลดลง

4. 34B19L (1-1) แรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (V_{DC}) มีค่าเท่ากับ 42.0 โวลต์ ชาร์จด้วยพัลส์ความถี่เป็น เวลา 2 นาที

ตารางที่ 5.5 ผลการทดลองของ 34B19L (1-1)

34B19L (1-1)	R(โอห์ม)	เวลาที่ใช้คายประจุ (วินาที)
ก่อนการทดลอง	3	5,817
ครั้งที่ 1	3	4,199
ครั้งที่ 2	3	4,190
ครั้งที่ 3	3	4,135

เมื่อทำการชาร์จพัลส์ความถี่ จากผลการทดลองที่ได้พบว่าระยะเวลาการคายประจุของ แบตเตอรี่นั้น มีค่าค่อนข้างใกล้เคียงกัน สามารถวิเคราะห์ได้ว่าการชาร์จพัลส์ความถี่ค่อนข้างไม่มีผล ต่อแบตเตอรี่ ซึ่งอาจจะมีสาเหตุมาจากระยะเวลาที่ใช้ชาร์จพัลส์ความถี่น้อยเกินไปหรือสภาพ แบตเตอรี่ยังค่อนข้างดี

5. 34B19L (1-2) แรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (V_{DC}) มีค่าเท่ากับ 25.2 โวลต์ ชาร์จด้วยพัลส์ความถี่เป็น เวลา 30 นาที

ตารางที่ 5.6 ผลการทดลองของ 34B19L (1-2)

34B19L (1-2)	R(โอห์ม)	เวลาที่ใช้คายประจุ (วินาที)
ก่อนการทดลอง	3	4,274
ครั้งที่ 1	3	4,703
ครั้งที่ 2	3	4,807
ครั้งที่ 3	3	4,701

แบตเตอรี่ที่ใช้ทดลองเป็นแบตเตอรี่ที่ใช้ในการทดลองที่4 จากผลการทดลองสามารถนำมา วิเคราะห์ได้ว่าแนวโน้มการคายประจุของแบตเตอรี่นั้นค่อนข้างมีแนวโน้มที่ดีขึ้น ซึ่งแตกต่างจากการ ทดลองก่อนหน้า อาจจะมีสาเหตุมาจากการใช้แรงดันไฟฟ้าที่ต่ำกว่าการทดลองที่ผ่านมา ซึ่งการใช้ แรงดันไฟฟ้าต่ำจะทำให้แผ่นธาตุไม่ได้รับความเสียหายมากนัก ถึงแม้ว่าเวลาการคายประจุจะมีค่า เพิ่มขึ้น แต่ก็ยังคงมีการเสื่อมสภาพของแบตเตอรี่อยู่

6. 34B19L (1-3) แรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (V_{DC}) มีค่าเท่ากับ 25.2 โวลต์ ชาร์จด้วยพัลส์ความถี่เป็นเวลา 30 นาที

ตารางที่ 5.7 ผลการทดลองของ 34B19L (1-3)

34B19L (1-3)	R(โอห์ม)	เวลาที่ใช้คายประจุ (วินาที)
ก่อนการทดลอง	3	4,701
ครั้งที่ 1	3	4,687
ครั้งที่ 2	3	4,892
ครั้งที่ 3	3	4,909

แบตเตอรี่ที่ใช้ทดลองเป็นแบตเตอรี่ที่ใช้ในการทดลองที่ 5 จากผลการทดลองสามารถวิเคราะห์ได้ว่าการคายประจุของแบตเตอรี่ค่อนข้างมีค่าที่เพิ่มขึ้น แต่ก็ยังอยู่ในเกณฑ์ที่แบตเตอรี่ยังเสื่อมสภาพ ซึ่งอาจจะมีสาเหตุมาจากการใช้แรงดันไฟฟ้าต่ำ ทำให้แผ่นธาตุไม่เสียหาย จึงทำให้แบตเตอรี่มีระยะเวลาการเก็บประจุที่เพิ่มมากขึ้น

จากการผลการทดลองทั้ง 6 กรณีพบว่าการใช้แรงดันไฟฟ้าต่ำจะทำให้แผ่นธาตุของแบตเตอรี่นั้นไม่เกิดความเสียหายเหมือนการใช้แรงดันไฟฟ้าสูง ระยะเวลาการชาร์จพัลส์ก็มีผลต่อแบตเตอรี่เช่นกัน รวมถึงสภาพของแบตเตอรี่ที่ใช้ในการทดลอง

5.2 ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากการทดลองผู้ทำการทดลองใช้แบตเตอรี่ที่เสื่อมสภาพหรือหมดอายุการใช้งานเท่านั้น หากนำโครงการพิเศษนี้ไปพัฒนาต่อไปควรใช้แบตเตอรี่ที่ยังไม่เสื่อมสภาพมากนัก และแรงดันไฟฟ้าที่ใช้ควรใช้แรงดันไฟฟ้าต่ำและควรใช้กระแสไฟฟ้าที่ต่ำ ทำการชาร์จที่เวลาที่น้อยไปหาเวลามากเพื่อป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดกับแผ่นธาตุของแบตเตอรี่และควรปรับเปลี่ยนความถี่และความกว้างพัลส์เพื่อการทดลองที่หลากหลาย

เอกสารอ้างอิง

- [1] วิทวัตร ศรีสุข, วุฒินันท์ ผาโสม, วุฒิพงษ์ แก่นโพธิ์.2554.เครื่องอัดประจุโดยใช้เทคนิคการอัดประจุด้วยพัลส์ความถี่สำหรับประยุกต์ใช้ ในการฟื้นฟูแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรดที่เสื่อมสภาพ, ปรียญยานิพนธ์ สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- [2] ธัชพล จิรโมฬี.2555.คอนเวอร์เตอร์หลายระดับสำหรับประยุกต์ใช้ในการยืดอายุการใช้งาน แบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรด โดยใช้เทคนิคการอัดประจุด้วยพัลส์ความถี่ซ้อนทับ, วิทยานิพนธ์ สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- [3] เจษฎา สุขสัมฤทธิ์.2555.การศึกษาวิธีวิเคราะห์วงจรสมมูลไฟฟ้าของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด, ปรียญยานิพนธ์ สาขาฟิสิกส์ประยุกต์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- [4] นันศิริ แก้วเงินลาด.2556. การศึกษาการประมาณค่าสถานะการประจุด้วยวิธีแรงดันไฟฟ้า วงจรเปิดสำหรับแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด, ปรียญยานิพนธ์สาขาฟิสิกส์ประยุกต์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [5] วิทวัตร ศรีสุข, วุฒินันท์ ผาโสม, วุฒิพงษ์ แก่นโพธิ์.2554.เครื่องอัดประจุโดยใช้เทคนิคการอัดประจุด้วยพัลส์ความถี่สำหรับประยุกต์ใช้ ในการฟื้นฟูแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรดที่เสื่อมสภาพ, ปรียญยานิพนธ์ สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- [6] สุรภัช จันทรบาง, สุทธิ ตั้งแสงพรกุล.2554.ผลิตไฟฟ้าจากลมระบายความร้อนของคอมเพรสเซอร์, ปรียญยานิพนธ์, สาขาเทคโนโลยีไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ มหาวิทยาลัยบูรพา
- [7] Simple Direct Drive Desulfator PCB thread. [Online].
Available: <http://leadacidbatterydesulfation.yuku.com/topic/1246/Simple-Direct-Drive-Desulfator-PCB-thread#.V0yB4TV97IU>
- [8]. Simple Direct Drive Desulfator PCB / Desulfator kit instructions. [Online].
Available: <http://www.courtiestown.co.uk/media/custom/upload/File-1368475803.pdf>
- [9] วงจรผลิตสัญญาณ IC # 555. [Online].
Available: <http://www.chontech.ac.th/~electric/pdf/IC555.pdf>
- [10] การทดลองที่ 7 วงจรกำเนิดพัลส์ (Pulse Generator). [Online].
Available: <http://www.pltc.ac.th/~boonlueo/sheets/digital/job7.pdf>