

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ชุดทดสอบความจุแบตเตอรี่

BATTERY CAPACITY TESTER



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์

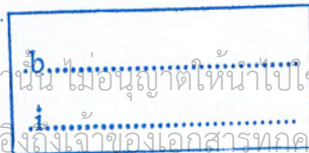
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2545

เลขหมู่.....

เลขทะเบียน 49891

รับ, เดือน, ปี 2 ๒๕๔๕



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูอาจารย์ใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชุดทดสอบความจุแบตเตอรี่
BATTERY CAPACITY TESTER



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2545

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2545

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ชุดทดสอบความจุแบตเตอรี่

BATTERY CAPACITY TESTER

ผู้จัดทำ

- | | | | |
|-----------------|-----------|--------------|----------|
| 1. นายปฐมพงษ์ | ปิ่นตะปวง | รหัสประจำตัว | 43015122 |
| 2. นายประสิทธิ์ | พัฒน์มาก | รหัสประจำตัว | 43015124 |
| 3. นายยืนยง | ตัวละมุล | รหัสประจำตัว | 43015133 |
| 4. ศราพันธ์ | สัญญาทศย์ | รหัสประจำตัว | 43015136 |



อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ.ดร.วิจิตร กิมเรศ)

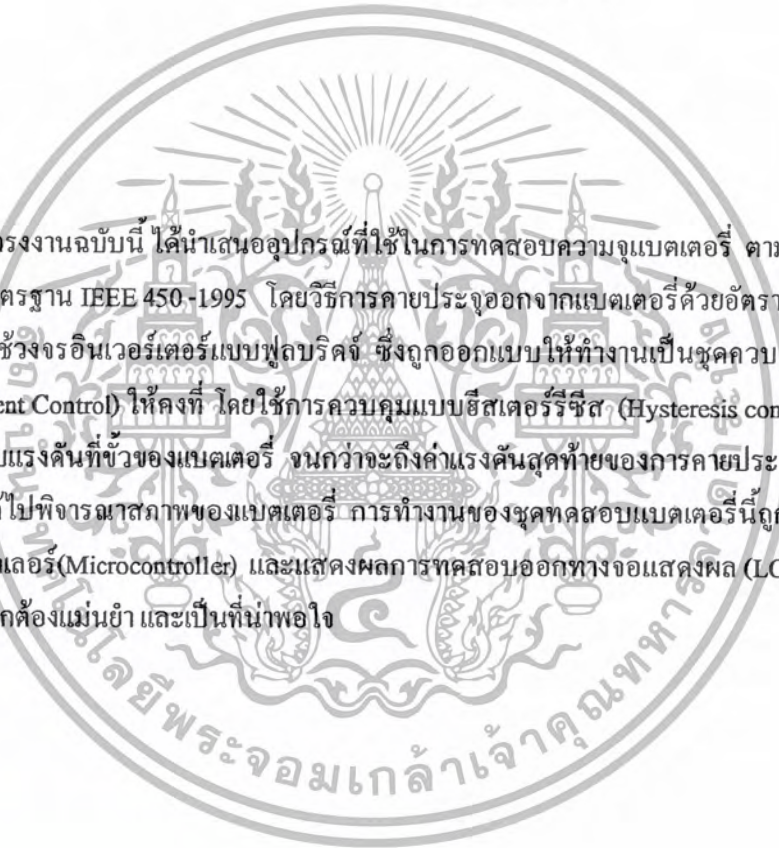
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชุดทดสอบความจุแบตเตอรี่

นายปฐมพงษ์ ปิ่นละปวง
 นายประสิทธิ์ พัฒน์มาก
 นายยืนยง ตัวละมูล
 นายศราพันธ์ ลัญญาทิตย์
 ผศ.ดร.วิจิตร กิณเรศ อาจารย์ที่ปรึกษา
 ปีการศึกษา 2545

บทคัดย่อ

ในโครงการฉบับนี้ ได้นำเสนออุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบความจุแบตเตอรี่ ตามแนวทางและข้อแนะนำของมาตรฐาน IEEE 450-1995 โดยวิธีการคายประจุออกจากแบตเตอรี่ด้วยอัตรากระแสคงที่ โดยการประยุกต์ใช้วงจรอินเวอร์เตอร์แบบฟูลบริดจ์ ซึ่งถูกออกแบบให้ทำงานเป็นชุดควบคุมการไหลของกระแส (Current Control) ให้คงที่ โดยใช้การควบคุมแบบฮีสเทอรีซิส (Hysteresis control, bang bang) ทำการตรวจจับแรงดันที่ขั้วของแบตเตอรี่ จนกว่าจะถึงค่าแรงดันสุดท้ายของการคายประจุ (End Voltage) แล้วนำผลที่ได้ไปพิจารณาสภาพของแบตเตอรี่ การทำงานของชุดทดสอบแบตเตอรี่นี้ถูกควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) และแสดงผลการทดสอบออกทางจอแสดงผล (LCD) ซึ่งจะให้ผลการทดลองที่ถูกต้องแม่นยำ และเป็นที่น่าพอใจ

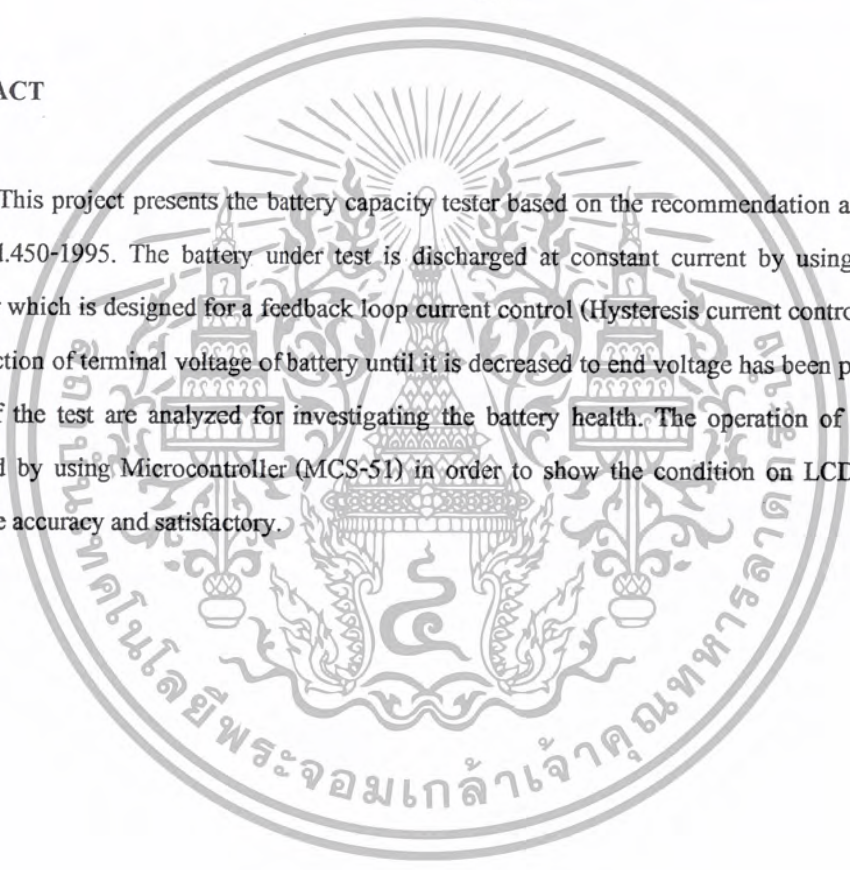


BATTERY CAPACITY TESTER

Pathompong Pankapoung
 Prasit Patmark
 Yuenyong Tourlamool
 Saraphan Sanyatit
 Assoc.Prof.Dr.Vijit Kinnares Advisor
 2002

ABSTRACT

This project presents the battery capacity tester based on the recommendation and standard of IEEE Std.450-1995. The battery under test is discharged at constant current by using a full bridge converter which is designed for a feedback loop current control (Hysteresis current control ,bang-bang). The detection of terminal voltage of battery until it is decreased to end voltage has been performed. The results of the test are analyzed for investigating the battery health. The operation of battery test is controlled by using Microcontroller (MCS-51) in order to show the condition on LCD display. The results are accuracy and satisfactory.



กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.วิจิตร กิณเรศ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้ความเอาใจใส่ แนะนำ และช่วยเหลือเสมอมา

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าทุกท่าน ที่ได้ให้ความรู้ในแขนงต่างๆตลอด ระยะเวลา 3 ปี ซึ่งเป็นประโยชน์ในการทำโครงงานอย่างมาก

ขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ที่ได้เอื้อเฟื้ออุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง ทำโครงงานตลอด 24 ชม.

ขอขอบคุณ พี่ติงหนุ่มเหนืออารมณ์ดี ที่ได้ให้แนวคิดเกี่ยวกับ โครงงาน และคำปรึกษาต่างๆมากมายเกี่ยวกับ โครงงานนี้

ขอขอบคุณ พี่ติงหนุ่ม โสัดจากคินแดนที่ราบสูงผู้คลั่งไคล้ข้าวเหนียว น้ำตก ที่ได้ให้ความรู้เกี่ยวกับ ทฤษฎีการสวิตซ์ชิ่ง และได้เอื้อเฟื้ออุปกรณ์หลายๆอย่างที่จำเป็นใน โครงงานนี้ รวมทั้งหม้อที่ให้ยืมด้วย

ขอขอบคุณ พี่ทศที่สมองทำด้วยไมโคร ผู้ได้ให้คำปรึกษาเกี่ยวกับ ไมโครคอนโทรลเลอร์และการเขียนโปรแกรมในไมโครคอนโทรลเลอร์

ขอขอบคุณ พี่ไอ้สุดสวย ที่ให้ความช่วยเหลือเกี่ยวกับบทความภาคภาษาอังกฤษ ที่สำคัญยิ่งคือ ขอขอบคุณบิดาและมารดาที่ได้ให้การศึกษากับพวกเราอย่างเต็มที่ และช่วยเป็นกำลังใจและกำลังทรัพย์ให้กับพวกเราเสมอมา



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้าที่

บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VI
สารบัญภาพ	VII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	1
1.3 ขอบเขตของโครงการ	1
1.4 วิธีการดำเนินโครงการ	1
บทที่ 2 ทฤษฎีพื้นฐานของแบริเตอร์	3
2.1 โครงสร้างของแบริเตอร์	3
2.2 ประเภทของแบริเตอร์	3
2.3 ประเภทของแบริเตอร์แบบกะทัดรัด	4
2.4 แบริเตอร์แบบพนักไม่ต้องเติมน้ำกลั่น	4
2.5 ระดับแรงดันกระทบกระเทือนต่ออายุของแบริเตอร์	5
2.6 ประสิทธิภาพของแบริเตอร์	6
2.7 การประยุกต์ใช้งาน	7
2.8 คุณสมบัติของการคายประจุแบริเตอร์	7
บทที่ 3 ทฤษฎีของการสวิตซ์ซิ่ง	18
3.1 ฟูล-บริดจ์ ดีซี-ดีซี คอนเวอร์เตอร์	18
3.2 สัญญาณ PWM กับการสวิตซ์ซิ่งแบบ ใบ โพลาร์	19
บทที่ 4 ทฤษฎีของไมโครคอนโทรลเลอร์	22
4.1 โครงสร้างและสถาปัตยกรรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51	22
4.2 การจัดหน่วยความจำของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51	24
4.3 ไทมเมอร์/เคาน์เตอร์ของไมโครคอนโทรลเลอร์	30
4.4 ระบบการสื่อสารอนุกรม	35
4.5 ระบบอินเตอร์รัปต์	37
บทที่ 5 หลักการทำงานและการออกแบบวงจรควบคุม	40
5.1 หลักการทำงานของชุดทดสอบแบริเตอร์	40

	5.2 วงจรที่ทำการออกแบบ	44
บทที่	6 การจำลองการทดลองและการทดลองชุดทดสอบแบบเตอร์	49
	6.1 การจำลองวงจรโดยรวมใช้การจำลองจากโปรแกรมเมทแลป	49
	6.2 การทดลองชุดทดสอบแบบเตอร์	56
บทที่	7 การทดสอบและสรุปผลการทดสอบ	59
	7.1 การทดสอบแบบเตอร์ด้วยชุดทดสอบ	59
	7.2 สรุปผลการทดสอบ	69
ภาคผนวก		
บรรณานุกรม		



สารบัญตาราง

หน้าที่

ตารางที่ 2.1	แสดงความจุเป็นเปอร์เซ็นต์การคายประจุจนถึงแรงดันระดับต่างๆกัน	9
ตารางที่ 2.2	แสดงความจุที่ได้จากการคายประจุของแบตเตอรี่ตะกั่วกรดของยี่ห้อ ที่อัตราการคายประจุต่างๆกัน	16
ตารางที่ 4.1	การเลือกแบงก์ของหน่วยความจำส่วนล่างเพื่อติดต่อกับรีจิสเตอร์แบงก์ R0-R7 แอกคิวเมเตเตอร์	28
ตารางที่ 4.2	โครงสร้างรีจิสเตอร์ TMOD	31
ตารางที่ 4.3	โครงสร้างของรีจิสเตอร์ TCON	32
ตารางที่ 4.4	โครงสร้างของรีจิสเตอร์ T2MOD	33
ตารางที่ 4.5	การควบคุมกรือเลือกโหมดให้แก่ไทเมอร์/คาน์เตอร์ 2	34
ตารางที่ 4.6	แหล่งการเกิดอินเตอร์รัปต์	37
ตารางที่ 4.7	การควบคุมอินเตอร์รัปต์	38
ตารางที่ 6.1	ผลการทดสอบชุดทดสอบแบตเตอรี่	57
ตารางที่ 7.1	ผลการบันทึกค่า 3K แบตเตอรี่ 200Ah 12V 40A	60
ตารางที่ 7.2	ผลการบันทึกค่า GS แบตเตอรี่ 65Ah 12V 50A	62
ตารางที่ 7.3	ผลการบันทึกค่า GS แบตเตอรี่ 65Ah 12V 30A	64
ตารางที่ 7.4	ผลการบันทึกค่า 3K แบตเตอรี่ 200Ah 12V 50A	65
ตารางที่ 7.5	ผลการบันทึกค่า GS แบตเตอรี่ 130Ah 24V 40A	67



สารบัญภาพ

หน้าที่

รูปที่ 2.1	คุณสมบัติแรงดันที่อัตราการคายประจุต่างๆกันที่ 21°C ของแบตเตอรี่ตะกั่วกรดขนาด 1.5 โวลต์	9
รูปที่ 2.2	แสดงคุณสมบัติการคายประจุด้วยกระแสคงที่ ของแบตเตอรี่ตะกั่วกรด	10
รูปที่ 2.3	แสดงคุณสมบัติการคายประจุที่ 20°C ของแบตเตอรี่ตะกั่วกรดของยี่ห้อ	10
รูปที่ 2.4	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับอุณหภูมิของแบตเตอรี่ที่อัตราสูง และอัตราต่ำของแบตเตอรี่เงิน-แคดเมียม	11
รูปที่ 2.5	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความจุที่ได้กับอัตราการคายประจุที่ 20°C ของแบตเตอรี่ตะกั่วกรดขนาด 6 โวลต์	11
รูปที่ 2.6	แสดงการคายประจุที่อัตราต่างๆ (โหลดคงที่)	12
รูปที่ 2.7	แสดงการคายประจุที่อุณหภูมิต่างๆกัน (โหลดกระแสคงที่)	13
รูปที่ 2.8	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระหว่างอัตราการคายประจุกับความจุที่ได้จากการคายประจุ	13
รูปที่ 2.9	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสที่คายประจุกับเวลาในการคายประจุของแบตเตอรี่ตะกั่วกรด แบบนอนสปีด ที่ต่อกันแบบอนุกรมขนาด 6 โวลต์ 12 Ah	15
รูปที่ 2.10	แสดงคุณสมบัติการคายประจุของแบตเตอรี่เงิน-แคดเมียมขนาด 12 Ah	15
รูปที่ 2.11	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการคายประจุและแรงดันของ Rolled sintered Ni-Cd Battery เมื่อคายประจุที่ 0°C และ -20°C หลังจากอัดประจุที่อุณหภูมิห้อง	16
รูปที่ 2.12	แสดงกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันและความจุกับกระแสที่จ่ายออกสำหรับ Ni-Cd battery (0.4 และ 5.6 Ah แบบปิดผนึก)	17
รูปที่ 3.1	ฟูลบริดจ์ ซีซี-ซีซี คอนเวอร์เตอร์	18
รูปที่ 3.2	ชนิดของการควบคุมกระแส	20
รูปที่ 3.3	สัญญาณการสวิตช์ซึ่งที่ได้จากฮีสเตอร์รีซิส	21
รูปที่ 4.1	โครงสร้างพื้นฐานของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 (AT89C51AC2)	22
รูปที่ 4.2	วงจรภายในของพอร์ต 0	23
รูปที่ 4.3	วงจรภายในของพอร์ต 2	23
รูปที่ 4.4	วงจรภายในของพอร์ต 1, 3, 4	23
รูปที่ 4.5	การจัดสรรหน่วยความจำโปรแกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลช	25
รูปที่ 4.6	การเชื่อมต่อหน่วยความจำข้อมูลภายนอกของไมโครคอนโทรลเลอร์	26
รูปที่ 4.7	การจัดสรรพื้นที่ของหน่วยความจำข้อมูลภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลช	26
รูปที่ 4.8	การจัดสรรพื้นที่ของรีจิสเตอร์ฟังก์ชันพิเศษ (SFR)	27
รูปที่ 4.9	รายละเอียดของรีจิสเตอร์แสดงสถานะของโปรแกรมหรือ PSW	29

รูปที่ 5.1	บล็อกไดอะแกรมของชุดทดสอบแบตเตอรี่	41
รูปที่ 5.2	โพลซาร์จการทำงานบางส่วนควบคุม โดยไมโครคอนโทรลเลอร์	42
รูปที่ 5.3	วงจรควบคุมและวงจรตรวจจับแรงดันที่ขั้วแบตเตอรี่	44
รูปที่ 5.4	วงจรรอเฟกทและวงจรขับแมคเนติกคอนแทคเตอร์	45
รูปที่ 5.5	วงจรไฟเลี้ยงและพอร์ตใช้งานของไมโครคอนโทรลเลอร์	46
รูปที่ 5.6	วงจร LCD กราฟฟิก	47
รูปที่ 5.7	ชุดทดสอบแบตเตอรี่ขณะทำการทดสอบ	48
รูปที่ 6.1	วงจรการทำงานจริง	49
รูปที่ 6.2	วงจรการจำลองจากโปรแกรมแมทแล็บ	49
รูปที่ 6.3	การปรับตั้งค่าฮิสเตอร์รีซิส	50
รูปที่ 6.4	การปรับตั้งค่าสวิทช์	50
รูปที่ 6.5	การปรับตั้งค่าโหลด R-L	51
รูปที่ 6.6	การปรับตั้งค่ากระแสปรับตั้ง	51
รูปที่ 6.7	กระแสปรับตั้งที่แรงดัน 3 โวลต์, ฮิสเตอร์รีซิสแบนด์ 0.1 โวลต์	52
รูปที่ 6.8	กระแสปรับตั้งที่แรงดัน 7 โวลต์, ฮิสเตอร์รีซิสแบนด์ 0.1 โวลต์	54
รูปที่ 6.9	กระแสปรับตั้งที่แรงดัน 9 โวลต์, ฮิสเตอร์รีซิสแบนด์ 0.1 โวลต์	55
รูปที่ 6.10	การต่อชุดทดสอบ	56
รูปที่ 6.11	ผลการตรวจจับกระแสโหลด, แรงดันที่โหลด และแรงดันที่ขั้วแบตเตอรี่	58
รูปที่ 7.1	กราฟแรงดันจ่ายโหลด 3K แบตเตอรี่ 200 Ah 12V 40A	62
รูปที่ 7.2	กราฟแรงดันจ่ายโหลด GS แบตเตอรี่ 65 Ah 12V 50A	63
รูปที่ 7.3	กราฟแรงดันจ่ายโหลด GS แบตเตอรี่ 65 Ah 12V 30A	64
รูปที่ 7.4	กราฟแรงดันจ่ายโหลด 3K แบตเตอรี่ 200 Ah 12V 50A	66
รูปที่ 7.5	กราฟแรงดันจ่ายโหลด GS แบตเตอรี่ 130 Ah 24V 40A	68

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มา

ในยุคแห่งการพัฒนาอย่างไม่หยุดยั้งเช่นปัจจุบัน แบตเตอรี่ก็ยิ่งมีความสำคัญและเข้ามามีบทบาทกับชีวิตมนุษย์มากขึ้น เพราะแบตเตอรี่เป็นอุปกรณ์ที่สามารถเก็บสะสมพลังงานไว้ภายในและสามารถเคลื่อนย้ายไปที่ต่างๆ ได้สะดวกเช่น ใช้ในโทรศัพท์มือถือ นาฬิกา รถยนต์ นอกจากนี้ แบตเตอรี่ยังมีความสำคัญในการเก็บพลังงานสำรองไว้ใช้ในยามฉุกเฉิน เช่น UPS นั้นหมายถึงแบตเตอรี่จะต้องอยู่ในสภาพที่พร้อมใช้งานอยู่เสมอ ดังนั้นการตรวจสอบสุขภาพของแบตเตอรี่จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งเพื่อให้รู้ว่าควรใช้แบตเตอรี่นั้นต่อไปหรือไม่

1.2 วัตถุประสงค์ของการทำปริญญานิพนธ์

เพื่อทดสอบสภาพแบตเตอรี่ว่าดีหรือเสื่อมตามแนวทางและวิธีปฏิบัติของมาตรฐาน IEEE Std. 450-1995 ซึ่งทำการทดสอบโดยการคายประจุของแบตเตอรี่ด้วยอัตรากระแสคงที่ และพิจารณาแรงดันที่ขั้วของแบตเตอรี่จนกว่าจะถึงระดับแรงดันสุดท้ายของการคายประจุ และนำผลจากการทดสอบไปวิเคราะห์สภาพของแบตเตอรี่ว่าดีหรือเสื่อม

1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์

- สามารถทดสอบแบตเตอรี่ที่มีพิกัดแรงดันตั้งแต่ 12 ถึง 24 โวลต์
- สามารถทดสอบแบตเตอรี่ที่มีพิกัดความจุตั้งแต่ 20 แอมป์-ชั่วโมง
- สามารถทดสอบได้ที่พิกัดกระแสสูงสุด 50 แอมป์
- ควบคุมการทำงานด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์
- ป้อนพิกัดการทดสอบด้วยเมตริกซ์บอร์ด
- แสดงผลการทดสอบออกทางจอแสดงผล (LCD)
- ควบคุมการคายประจุให้คงที่ ด้วยวิธีการควบคุมกระแส

1.4 วิธีการดำเนินงาน

งานวิจัยในโครงการนี้จะเริ่มด้วยการศึกษาทฤษฎีพื้นฐานต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย ซึ่งมีเรื่องหลัก ๆ อยู่ 3 เรื่องด้วยกัน คือ คุณสมบัติของแบตเตอรี่ ทฤษฎีการสวิตซ์ซิ่ง และทฤษฎีของไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งมีรายละเอียดดังในบทที่ 2, 3 และ 4 จากนั้นก็จะนำเอาความรู้ที่ได้ศึกษาทั้งหมดมาออกแบบชุดทดสอบ ซึ่งมีรายละเอียดของวงจรต่างๆ ในบทที่ 5

จากนั้นก็เริ่มเข้าสู่ขั้นตอนของการทดสอบในบทที่ 6 พร้อมทั้งผลการทดลองการทดสอบแบตเตอรี่ที่ขนาดความจุต่างๆ และที่ค่ากระแสใดๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับบทที่ 7 ซึ่งเป็นบทสุดท้ายก็จะเป็นการสรุปการดำเนินงาน ผลที่ได้รับจากงานโครงการ
ชั้นนี้ และแนวทางในการพัฒนางานวิจัยนี้เพิ่มเติม และแนวทางในการนำไปประยุกต์ใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีพื้นฐานของแบตเตอรี่

แบตเตอรี่เป็นอุปกรณ์ที่สำคัญอย่างหนึ่งทางด้านไฟฟ้า ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานเคมีให้เป็นพลังงานไฟฟ้าจ่ายออกมาให้เครื่องใช้ไฟฟ้าต่างๆ แบตเตอรี่บางชนิดสามารถอัดไฟเข้าไปเพื่อเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานเคมีแล้วค่อยๆ ปล่อยพลังงานออกมาให้เครื่องใช้ไฟฟ้าต่างๆ

2.1 โครงสร้างของแบตเตอรี่

เซลล์ของแบตเตอรี่ประกอบด้วยแผ่นธาตุบวกและแผ่นธาตุลบ และสารละลายที่เป็นของเหลวหรือวุ้น ซึ่งเรียกว่า “อิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte)” เซลล์อาจมีช่องปิดหรือมีช่องให้สารระเหยได้ แผ่นธาตุบวกและแผ่นธาตุลบจะวางอยู่คู่กัน ในเซลล์แบตเตอรี่ทุกชนิด อาจมีแผ่นธาตุบวกและแผ่นธาตุลบหลายๆ ชุดวางขนานกันเป็นคู่ๆ เพื่อให้ได้ขนาดกระแสไฟฟ้าที่จ่ายออกมาสูงขึ้น ปริมาณขนาดกระแสไฟฟ้าที่ได้จากแบตเตอรี่จะขึ้นอยู่กับพื้นที่ของแผ่นธาตุบวกและแผ่นธาตุลบ ระยะห่างระหว่างแผ่นค่า ความเข้มข้นของสารละลาย ความจุของแบตเตอรี่มักวัดเป็นแอมแปร์-ชั่วโมง (Ampere-Hour ; Ah) การวัดความจุโดยให้เวลาคงที่ แล้ววัดกระแสไฟฟ้าที่จ่ายออกมาในช่วงเวลาดังกล่าว เช่น แบตเตอรี่ทุกชนิดจ่ายกระแสไฟฟ้า 20 แอมแปร์ในเวลา 8 ชั่วโมง จะมีความจุ 160 Ah เป็นต้น

2.2 ประเภทของแบตเตอรี่

วัสดุที่นำมาทำแผ่นธาตุบวก (แผ่นแอโนด) มีหลายชนิด เช่น ตะกั่ว แคดเมียม แมกนีเซียม และสังกะสี เพราะแสดงคุณสมบัติในการจ่ายต่อการสลายอิเล็กตรอน ซึ่งจะกลายเป็นประจุไอออนบวก (cations ละอองที่เกาะอยู่ที่ขั้วลบ) ในอิเล็กโทรไลต์ ส่วนวัสดุที่นำมาทำแผ่นธาตุลบ (แผ่นแคโทด) ได้แก่ เลดไดออกไซด์ นิกเกิล โปรท และเงิน เพราะแสดงคุณสมบัติในการรับอิเล็กตรอน ระหว่างการจ่ายประจุสถานะออกซิเดชันของแผ่นบวกจะถูกลดลงและจะสร้างประจุไอออนลบ (anion ธาตุที่หลุดหรือจับทางขั้วบวก) ในอิเล็กโทรไลต์ แล้วอิเล็กโทรไลต์สร้างทางเดินไอออนิก เพื่อให้วงจรไฟฟ้าสมบูรณ์

แบตเตอรี่สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ

2.1 แบตเตอรี่แบบปฐมภูมิ เช่น แบตเตอรี่ที่ทำจากสังกะสี-คาร์บอน โปรท และ ลิเทียม เป็นแบตเตอรี่ใช้งานได้ครั้งเดียว เมื่อจ่ายไฟหมดแล้วต้องทิ้งไปไม่สามารถอัดประจุกลับเข้าไปเพื่อนำกลับมาใช้ได้อีกครั้ง

2.2 แบตเตอรี่แบบทุติยภูมิ เช่น แบตเตอรี่ที่ทำจากตะกั่ว-กรด นิกเกิลแคดเมียม และ อัลคาไลน์บางชนิดแบตเตอรี่ประเภทนี้สามารถอัดประจุเข้าไปใหม่เมื่อไฟหมด ทำให้สามารถใช้งานได้นาน แบตเตอรี่ที่นิยมใช้งานกันมาก คือ ชนิดที่ทำจากตะกั่ว-กรด และแบบนิกเกิลแคดเมียมซึ่งมีราคาแพง แต่อายุการใช้งานนานกว่าแบตเตอรี่แบบตะกั่ว-กรด และอีกชนิดคือ แบบเงิน-สังกะสี ราคาแพงมากแต่จ่ายไฟได้มากที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบตเตอรี่ที่ใช้ใน โครงานนี้เป็นแบตเตอรี่แบบตะกั่ว-กรด ซึ่งเราจะกล่าวถึงแบตเตอรี่แบบตะกั่ว-กรดเท่านั้น

2.3 ประเภทของแบตเตอรี่แบบตะกั่ว-กรด

2.3.1 แบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดชนิดนอนสปิล (Non spill lead-acid battery) แบ่งเป็น 2 ชนิด ได้แก่

2.3.1.1 แบตเตอรี่ทั่วไป (Standard battery)

แบตเตอรี่ชนิดนี้เมื่อไม่ได้ใช้งาน จะมีการคายประจุขณะไร้ภาระ (Self discharge) ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม ต้องมีการอัดประจุใหม่ทุกๆ 4-6 สัปดาห์เพื่อชดเชยค่าการคายประจุขณะไร้ภาระ แบตเตอรี่ประเภทนี้เหมาะสำหรับการใช้งานในช่วงสั้นๆ

2.3.1.2 แบตเตอรี่อายุการใช้งานสูง (Permanent battery)

แบตเตอรี่ชนิดนี้สามารถเก็บ ในที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ได้หลายเดือน โดยไม่ต้องการการดูแลรักษา และสามารถประจุแบตเตอรี่ทุกๆ 10 เดือน และมีการคายประจุขณะไร้ภาระต่ำ เนื่องจากใช้ โลหะตะกั่ว (Lead-alloy) ชนิดพิเศษเหมาะสำหรับใช้งานพิเศษที่ต้องการอายุการใช้งานสูงกว่าแบบมาตรฐาน

2.4 แบตเตอรี่แบบผนึกไม่ต้องเติมน้ำกลั่น (Recombining sealed lead-acid battery)

ปกติแล้วเมื่อแบตเตอรี่อัดประจุจนถึงระดับแรงดันพิกัด (Over charge) กรดซัลฟูริกที่เป็นสารละลายอิเล็กโทรไลต์จะเกิดปฏิกิริยาเป็นก๊าซไฮโดรเจนกับก๊าซออกซิเจน ทำให้ความเข้มข้นของสารละลายอิเล็กโทรไลต์เพิ่มขึ้น เราต้องมีการเติมน้ำกลั่น มิฉะนั้นแบตเตอรี่จะเสื่อมคุณภาพ ได้ ดังนั้นเพื่อเป็นการประหยัดเวลาในการเติมน้ำกลั่น จะได้ไม่เสียเวลาในการบำรุงรักษาจึงได้พัฒนาแบตเตอรี่ที่มีความสามารถในการใช้งานได้โดยไม่ต้องเติมน้ำกลั่น ซึ่งแบ่งได้เป็น 2 ชนิด คือ

2.4.1 แบตเตอรี่แบบ Non-recombining หรือ Partial recombining ใช้วิธีการอัดประจุที่ยุ่งยาก ซับซ้อนมาก ซึ่งจะช่วยลดปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นบนตัวแบตเตอรี่ได้

แบตเตอรี่แบบนี้ไม่ต้องบำรุงรักษาใดๆ และไม่ต้องอัดประจุให้ถึงระดับแรงดันเกินพิกัด เพื่อให้แบตเตอรี่เต็ม ในกรณีที่อุณหภูมิใช้งานสูงกว่าอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมมากๆ แบตเตอรี่จะเกิดก๊าซทำให้ความดันสูงขึ้น ซึ่งแบตเตอรี่จะมีวาล์วที่คอยเปิดให้ก๊าซออกไปในที่ที่ และวาล์วจะปิดอัตโนมัติเมื่อความดันก๊าซลดต่ำลง ด้วยเหตุนี้จึงใช้ได้กับทุกสถานะแวดล้อม แบตเตอรี่แบบนี้จะปิดผนึกไว้ ภายในแบตเตอรี่จะไม่เกิดก๊าซ อีกทั้งมีความต้านทานภายในต่ำ และจ่ายกระแสได้สูง ภายใต้การอัดประจุแบบรักษาระดับแรงดันคงที่จะอัดประจุด้วยกระแสสูงๆ ในคอนเริ่มต้นและในขั้นที่ สอง เมื่อแรงดันย้อนกลับของแบตเตอรี่เริ่มสูงขึ้น และต้องควบคุมกระแสในการอัดประจุ เมื่อแบตเตอรี่เต็มจะต้องรักษาระดับแรงดันแบตเตอรี่ โดยลดกระแสให้เหลือน้อยๆ เพื่อไม่ให้แรงดันอัดประจุเกินพิกัด และป้องกัน Electrolyte loss partially recombining แบตเตอรี่แบบตะกั่ว-กรดที่ขนาดความจุเดียวกัน สามารถต่อกันเป็นอนุกรมหรือขนานได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าอัดประจุแบตเตอรี่แบบอนุกรม จะใช้แรงดันสูงและกระแสต่ำ

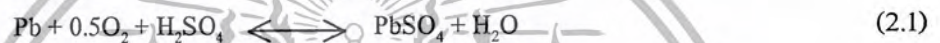
ถ้าอัดประจุแบตเตอรี่แบบขนาน จะใช้แรงดันต่ำและกระแสสูง

แบตเตอรี่แบบนี้สามารถอัดประจุและสามารถจ่ายประจุได้ที่อุณหภูมิ -20 ถึง 50 องศาเซลเซียส ซึ่งดีกว่าแบบนิกเกิล-แคดเมียม

2.4.2 แบตเตอรี่แบบ Fully recombining sealed โดยก๊าซที่เกิดขึ้นจากการคายประจุคือไฮโดรเจนกับออกซิเจนจะรวมตัวกันเป็นน้ำทำให้ปริมาตรของสารละลายอิเล็กโทรไลต์ไม่ลดลง

โครงสร้างคล้ายๆ กับแบบ Standard cylindrical Ni-Cd เหมาะสำหรับการใช้งาน Stand by ใช้ Alloy plate grids ชนิดพิเศษ และมีการรวมตัวของก๊าซออกซิเจนที่ดี อายุการใช้งานขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งาน และสภาวะแวดล้อม มีความต้านทานภายในต่ำ อัตราการคายประจุสูง การอัดประจุส่วนใหญ่เป็นแบบแรงดันคงที่ (Constant voltage) หรือกระแสคงที่ (Constant current) หรือการเปลี่ยนแท๊ป (Tap changing) หรือการเปลี่ยนสัญญาณพัลส์ (Pulse changing) และอื่นๆ

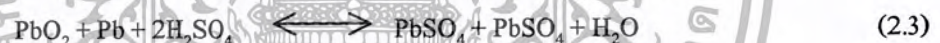
ขบวนการปฏิกิริยาทางเคมี



ในขั้นตอนสุดท้ายของการประจุการเกิดออกซิเจนที่ขั้วบวก



ออกซิเจนจะถูกดูดซับที่ขั้วลบ ซึ่งจะเกิดปฏิกิริยาดังนี้



ปฏิกิริยาการเกิดก๊าซและการดูดซับก๊าซ อธิบายโดยสมการ



ออกซิเจนที่เกิดจากขั้วบวกจะถูกขั้วลบดูดซับแล้วเกิดปฏิกิริยาแต่ก๊าซออกซิเจนบางส่วนจะค่อยๆ เพิ่มจนความดันสูง แบตเตอรี่จะมีช่องระบายความดันก๊าซเรียกว่า วาล์วระบายก๊าซ (Safety valve)

สำหรับก๊าซไฮโดรเจนก็เกิดขึ้นเช่นกัน เมื่อมีการอัดประจุเกินพิกัดที่ขั้วลบ



2.5 ระดับแรงดันกระทบกระเทือนต่ออายุของแบตเตอรี่

การปรับระดับแรงดันในการอัดประจุแบตเตอรี่นับว่าเป็นสิ่งจำเป็นอย่างมาก ถ้าหากการปรับระดับแรงดันในการอัดประจุไม่ถูกต้อง ในขณะที่มีการอัดประจุปกติประจำวัน แบตเตอรี่จะได้รับแรงดันในการอัดประจุโดยตรงจากเครื่องอัดประจุตลอดเวลา จะทำให้แบตเตอรี่เกิดการเสียหายขึ้น 2 ลักษณะ คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.1 อันเดอร์ชาร์จ (Under charge)

ในการใช้แรงดันในการอัดประจุแบตเตอรี่ในระดับ โฟลท-ชาร์จ (Float charge) ต่ำกว่า 2.15 V/cell ถ้าหากใช้แรงดันในการอัดประจุระดับนี้ไปนานๆ จะทำให้เกิดซัลเฟอไรเซชันที่แผ่นธาตุทั้งบวกและลบ หากทิ้งไว้นานวันปริมาณซัลเฟอไรเซชันนี้จะเพิ่มมากขึ้น จนเป็นเหตุให้การทำปฏิกิริยาเคมีระหว่างแผ่นธาตุบวกและลบกับน้ำอิเล็กโทรไลต์ ทั้งการอัดประจุและจ่ายประจุเป็นไปด้วยความยากลำบาก ซึ่งส่งผลทำให้ความจุ (Capacity) ของแบตเตอรี่ลดลงตามลำดับ ถ้าหากทิ้งไว้นานวันจะส่งผลกระทบต่ออายุการใช้งานของแบตเตอรี่ ดังนั้นหากตรวจพบว่าแบตเตอรี่เกิด Under charge ขึ้นต้องรีบแก้ไข

การเกิด Under charge สังเกตได้ดังนี้

- มีการปรับระดับน้ำอิเล็กโทรไลต์น้อยครั้งที่สุด ในระยะเวลาอันยาวนาน หรือ ไม่มีการเติมน้ำกลั่นเลยตลอดเวลาที่แบตเตอรี่ใช้งานอยู่
- มีฟองอากาศผุดภายในเซลล์น้อยที่สุดหรือน้อยกว่าปกติ
- สีของแผ่นธาตุลบมีสีขาวเกาะจับ
- ค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำอิเล็กโทรไลต์ในเซลล์ต่ำกว่า 1.18
- วัดแรงดันตกคร่อมแต่ละเซลล์ต่ำกว่า 2.15 V
- ความร้อนในเซลล์แบตเตอรี่ต่ำกว่าปกติ

2.5.2 โอเวอร์ชาร์จ (Over charge)

เป็นการใช้แรงดันในการประจุในระดับโฟลท อัดประจุสูงกว่า 2.25 โวลต์/เซลล์ซึ่งเป็นระดับแรงดันที่สูงกว่าปกติ ทำให้เกิดกระแสไหลในวงจรแบตเตอรี่สูง ทำให้การทำปฏิกิริยาเคมีระหว่างน้ำอิเล็กโทรไลต์กับแผ่นธาตุเป็นไปอย่างรุนแรง และรวดเร็วกว่าปกติ ซึ่งทำให้แผ่นธาตุทั้งสองเกิดการสึกกร่อนอย่างรวดเร็วเช่นกัน

2.6 ประสิทธิภาพของแบตเตอรี่

ประสิทธิภาพของแบตเตอรี่มีอยู่ 2 ชนิด คือ

2.6.1 ประสิทธิภาพจากแอมแปร์-ชั่วโมง (Ah efficiency) ซึ่งคำนวณทางบริษัทผู้ผลิตจะเป็นผู้กำหนดมาให้ โดยปกติมีค่าประมาณ 90% หาได้จาก

$$\begin{aligned} \% \text{Ah Eff} &= \text{ประจุที่จ่ายออกมา} / \text{ประจุที่อัดเข้าไป} \\ &= 90\% \end{aligned} \quad (2.7)$$

2.6.2 ประสิทธิภาพ Watt-hour ซึ่งผู้ใช้จะต้องคำนึงถึง หาได้โดย

$$\% \text{Watt-hour} = (\% \text{Ah Eff}) * (V_{\text{discharge}} / V_{\text{charge}}) \quad (2.8)$$

V_{charge} สำหรับเซลล์ตะกั่วกรดเท่ากับ 2.25 V/cell ที่ 25 องศาเซลเซียส

V_{charge} สำหรับนิกเกิลแคดเมียมเท่ากับ 1.35 – 1.45 V/cell

V_{charge} จะอยู่ที่ผู้ใช้งานต้องการเท่าใด ถ้ามีค่าต่ำมากจะทำให้ %Watt-hour มีค่าต่ำ ดังนั้นเรา

จึงจำเป็นต้องให้ระดับ $V_{\text{discharge}}$ มีค่าสูงค่าไม่มากนักเพื่อให้ค่าประสิทธิภาพสูง

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 การประยุกต์ใช้งาน

การประยุกต์ใช้งานของแบตเตอรี่แบบตะกั่ว-กรด (Sealed lead-acid battery) แบ่งอย่างกว้างๆ ได้เป็น 2 แบบ คือ

2.7.1 การใช้งานแบบเป็นรอบ (Cyclic operation)

การทำงานเป็นรอบๆ ต้องการเวลาในการอัดประจุสั้น และต้องป้องกันการอัดประจุและคายประจุเกิน สิ่งสำคัญในการอัดประจุด้วยเทคนิคแรงดันคงที่ คือ การรักษาเอาที่พุทไว้ที่ระดับแรงดันสุดท้ายของการอัดประจุและจำกัดกระแสให้ต่ำกว่าค่าที่ออกแบบสูงสุดไว้ ถ้าแบตเตอรี่ถูกอัดประจุในช่วงอุณหภูมิสถานะแวดล้อมกว้างๆ จะต้องมีการชดเชยทางอุณหภูมิด้วย มิฉะนั้นการอัดประจุสูงไปหรือต่ำไปในที่อุณหภูมิสูงหรือต่ำเกินไป จะทำให้ได้ประจุไม่ตรงตามที่ต้องการ และระยะเวลาในการใช้งานแบตเตอรี่ในแต่ละรอบจะสั้นลง

2.7.2 การใช้งานแบบชั่วคราวหรือสำรอง (Standby or Backup charging)

ใช้ในงานประเภทสำรองเอาไว้ใช้ในยามฉุกเฉิน ปกติจะเก็บในสถานะแบตเตอรี่เต็มตลอดเวลา และจ่ายพลังงานไปให้โหลด เมื่อแหล่งจ่ายไฟหลัก (Line voltage) ผิดปกติ

2.8 คุณสมบัติของการคายประจุแบตเตอรี่

2.8.1 กราฟแสดงการคายประจุ (Discharge curve)

กราฟแสดงการคายประจุนิยมเขียนในรูปที่ความสัมพันธ์ของแรงดันที่ขั้วแบตเตอรี่กับเวลา โดยกำหนดให้อุณหภูมิและอัตราการคายประจุคงที่

โดยทั่วไปสามารถหาความจุปกติ (Nominal capacity) ได้โดยการคายประจุอย่างต่อเนื่องด้วยอัตรา 20 ชั่วโมง ที่ 20 °C จะให้ความจุเท่ากับ $1 \times C_{20}$ ถ้าแบตเตอรี่ตัวเดียวกันนี้นำมาคายประจุด้วยกระแสที่สูงกว่าจนถึงจุดแรงดันสุดท้าย เช่น นำมาคายประจุด้วยอัตรา 10 ชั่วโมง จะให้ความจุ $2C_{20}$

$$\frac{\text{คายประจุ 20 ชั่วโมง}}{\text{คายประจุ 10 ชั่วโมง}} \times C_{20} = 2C_{20} \quad (2.9)$$

ในทำนองเดียวกัน เมื่อคายประจุที่ 40, 50, 100, 200 และ 400 ชั่วโมง ความจุที่ได้ก็จะเป็น 0.5C, 0.4C, 0.2C, 0.1C และ 0.05C

ถ้านำแบตเตอรี่ตัวเดียวกันนี้มาคายประจุอย่างต่อเนื่องให้หมดในระยะเวลาที่น้อยกว่า 20 ชั่วโมงที่ 20 °C จุดแรงดันสุดท้ายของเซลล์จะลดลง และจะไม่ให้ความจุเต็มตามความจุปกติ $1 \times C_{20}$ (ความจุปกติ) เช่น $2C$ (คายประจุ 10 ชั่วโมง) $< 1C_{20}$ ในทางตรงกันข้าม ถ้าคายประจุแบตเตอรี่ด้วยระยะเวลาที่นานกว่า 20 ชั่วโมง จุดแรงดันสุดท้ายของเซลล์จะเพิ่มขึ้น และจะให้ความจุเต็มตามความจุปกติ ในความเป็นจริงแบตเตอรี่บางตัวจะมีความจุมากกว่าความจุปกติเล็กน้อย เช่น 0.05C (คายประจุ 400 ชั่วโมง) $\geq 1C_{20}$

โดยทั่วไปถ้าแบตเตอรี่ที่มีความจุปกติ 20 Ah ที่คายประจุด้วยอัตรา 20 ชั่วโมง ($1 \times C_{20}$) นำมาคายประจุอย่างต่อเนื่องด้วยกระแสสูงในอัตรา 5 ชั่วโมง จะให้ความจุเท่ากับ $4C = 80\%$ ของ $1C_{20}$ นั่นคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความจุที่ได้จะเป็น 16 Ah จะเห็นได้ว่าการคายประจุด้วยกระแสที่สูงกว่าจะมีความสูญเสียมากกว่า ในทางตรงกันข้าม แรงดันที่ได้จากการคายประจุด้วยอัตรา 5 ชั่วโมงจะต่ำกว่าการคายประจุด้วยอัตรา 20 ชั่วโมงที่ 20 Ah อัตรา 20 ชั่วโมง (IC_{20}):

$$\text{กระแส (IA) x เวลา (t h)} = C_{20}$$

$$I A \times 20 \text{ h} = 20 \text{ Ah}$$

จะได้กระแส แอมป์ (I) สำหรับอัตรา 20 ชั่วโมง ที่ โวลต์ (V)

ที่อัตรา 5 ชั่วโมง (4C):

$$\text{ความจุจริง} = 0.8C_{20} = 16 \text{ Ah}$$

$$x A \times 5 \text{ h} = 16 \text{ Ah}$$

$$x = 3.2 \text{ A}$$

จะได้กระแส 3.2 แอมป์ สำหรับ 5 ชั่วโมง ที่ V_1 โวลต์ ($V_1 < V$)

เช่นเดียวกันที่อัตรา 1 ชั่วโมง ความจุ ($10C_{20}$) จะเหลือเพียง 50% ของ Nominal capacity

นั่นคือ

$$10/1 \times C_{20} = 50\% \text{ ของ } IC_{20}$$

$$= 50\% \text{ ของ } 20\text{Ah}$$

$$= 10 \text{ Ah}$$

$$y A \times 1 \text{ h} = 10 \text{ Ah}$$

$$y = 10 \text{ A}$$

จะได้กระแส 10 แอมป์ สำหรับ 1 ชั่วโมงที่ V_2 โวลต์ ($V_2 < V_1$) เพื่อให้ได้ความจุปกติจริงจำเป็นต้องทำการวัดที่อุณหภูมิ 20°C และ ใช้การคายประจุด้วยกระแสคงที่ จากนั้นนำค่าแรงดันกับเวลามาเขียนกราฟ

การเลือกจุดแรงดันสุดท้ายให้เลือกจุดที่แรงดันตกลงอย่างรวดเร็ว จุดแรงดันสุดท้ายของแต่ละค่ากระแสที่ทำการคายประจุจะไม่เท่ากัน จากกราฟที่เขียนขึ้นจะเห็นว่าจุดแรงดันสุดท้ายกับเวลาในการคายประจุจะมีความสัมพันธ์กับกระแสที่ทำการคายประจุ

ผลคูณของกระแสที่ทำการคายประจุกับเวลาในการคายประจุจะได้ความจุ เมื่อเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความจุกับเวลาในการคายประจุ และจะอ่านค่าความจุปกติ จากกราฟที่คายประจุด้วยอัตรา 20 ชั่วโมงคือ C_{20}

การที่ทราบค่าความจุปกติ (C_{20}) และ เวลาดีสชาร์จปกติ (Nominal discharge time) (20 h) ทำให้สามารถคำนวณ กระแสดีสชาร์จปกติ (Nominal discharge current) (I_{20}) ได้ ซึ่งเป็นกระแสคายประจุที่จ่ายค่าความจุแบตเตอรี่ปกติ (Nominal battery capacity) (C_{20} Ah) ในการคายประจุอย่างต่อเนื่องในอัตรา 20 ชั่วโมงที่ 20°C เมื่อเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างจุดแรงดันสุดท้ายกับเวลาในการคายประจุ (แต่ละจุดแรงดันสุดท้าย) และอ่านค่าแรงดันที่ได้ระหว่างการคายประจุ 20 ชั่วโมง และกล่าวได้ว่าการคายประจุที่ 20°C ที่ I_{20} A ด้วยอัตรา 20 ชั่วโมง จนถึงสถานะจุดแรงดันสุดท้ายจะได้ค่าความจุปกติเท่ากับ C_{20} Ah

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกราฟเราจะทราบพารามิเตอร์สำหรับสถานะการคายประจุด้วยกระแสที่ต่างๆ กันของแบตเตอรี่ ถ้าทำการคายประจุแบตเตอรี่อย่างต่อเนื่องจนถึงจุดแรงดันสุดท้ายที่ 20°C (หรืออุณหภูมิอื่นๆ ที่กำหนดไว้) สำหรับการคายประจุด้วยกระแส I_{20} A 20 ชั่วโมง จะได้ค่าความจุปกติเท่ากับ C_{20} Ah ถ้ากระแสที่ทำการคายประจุอย่างต่อเนื่องเพิ่มขึ้น เช่น $2I_{20}$ หรือ $10I_{20}$ เวลาในการคายประจุและจุดแรงดันสุดท้ายจะลดลง ความจุที่ได้จะเป็นเพียงเปอร์เซ็นต์ของค่าความจุปกติ C_{20}

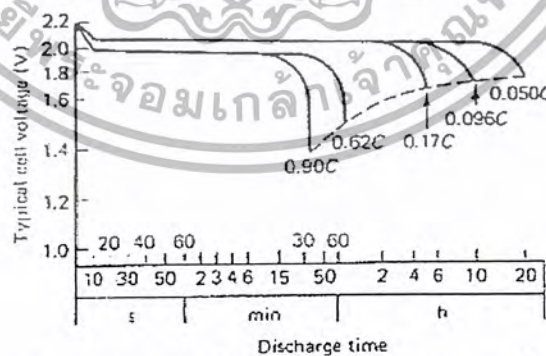
2.8.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันที่ขั้วกับเวลาในการคายประจุ(Terminal voltage-discharge time curve)

คุณสมบัติแรงดันของเซลล์สามารถอธิบายได้จากการเขียนกราฟสัมพันธ์ระหว่างแรงดันที่ขั้วกับเวลาในการคายประจุ เมื่อกำหนดให้อัตราการคายประจุและอุณหภูมิของแบตเตอรี่คงที่

สำหรับแบตเตอรี่ตะกั่วกรดแบบปิดผนึกโดยทั่วไปสามารถทำการอัดประจุ-คายประจุอย่างสมบูรณ์ได้ 200-300 รอบ เมื่อความลึกในการคายประจุ (Depth of discharge) น้อยกว่า 100% อายุการใช้งานจะยาวนานขึ้น ความลึกในการคายประจุกำหนดเป็นเปอร์เซ็นต์ของอัตราความจุที่จ่ายออกเมื่อทำการคายประจุภายใต้สภาวะที่กำหนดให้คงที่ โดยทั่วไปเมื่อคายประจุจนถึงแรงดันระดับต่างๆ กัน จะได้ความจุเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่าความจุปกติดังตารางที่ 2.1

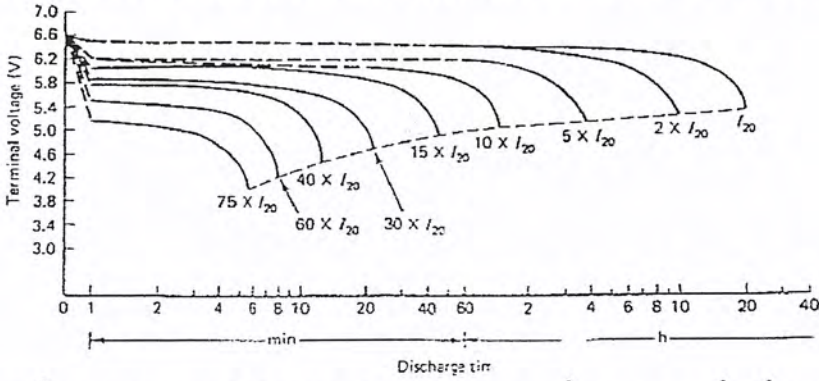
Discharge rate (h)	Approximate percentage of rated capacity	End-voltage (V/cell)
20	100	1.75
10	97	1.70
5	88	1.65
1	62	1.50
0.5	52	1.00

ตารางที่ 2.1 แสดงความจุเป็นเปอร์เซ็นต์การคายประจุจนถึงแรงดันระดับต่างๆ กัน



รูปที่ 2.1 คุณสมบัติแรงดันที่อัตราการคายประจุต่างๆ กันที่ 21°C ของแบตเตอรี่ตะกั่วกรดขนาด 1.5 โวลต์

จากรูปที่ 2.1 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ของแรงดันทั่วไปของแบตเตอรี่ที่อัตราการคายประจุต่างกัน



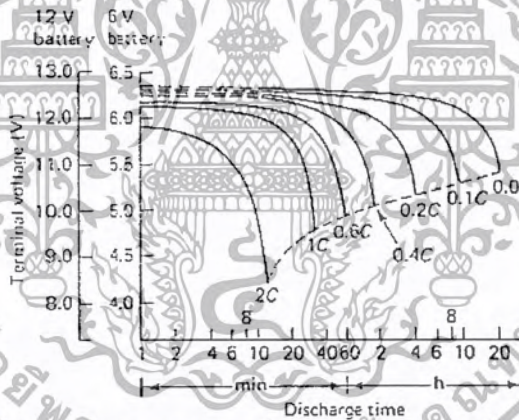
รูปที่ 2.2 แสดงคุณสมบัติการคายประจุด้วยกระแสคงที่ ของแบตเตอรี่ตะกั่วกรด

รูปที่ 2.2 แสดงพฤติกรรม การคายประจุของ Crompton-Parkinson range ของ partially recombining sealed batteries อย่างของการใช้กราฟเหล่านี้ พิจารณาแบตเตอรี่ SLA6-6.4 จ่ายกระแส 1.5 แอมป์ มีค่าความจุปกติ C₂₀ = 6.4 Ah จะได้

$$I_{20} = 6.4 / 20 = 0.32 \text{ Ah}$$

$$\text{จากนั้น } 1.5 / 0.32 \times I_{20} = 5 \times I_{20}$$

กราฟ 5 x I₂₀ ในรูปที่ 2.2 จะได้แรงดันสุดท้าย 5.1 โวลต์ เมื่อผ่านไป 3.5 ชั่วโมง



รูปที่ 2.3 แสดงคุณสมบัติการคายประจุที่ 20 °C ของแบตเตอรี่ตะกั่วกรดของยี่ห้อ

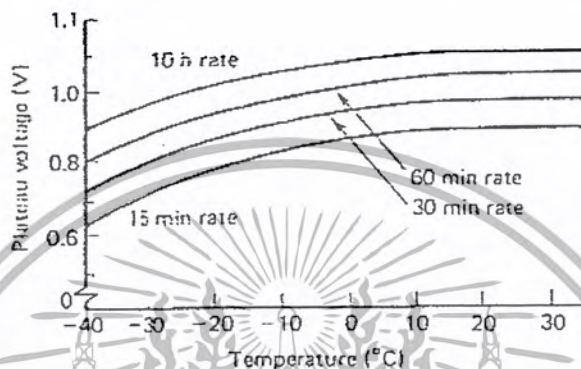
รูปที่ 2.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันที่ชั่วกับเวลาในการคายประจุที่ผ่านไป เมื่อใช้อัตรา 20 ชั่วโมงของแบตเตอรี่ตะกั่วกรดแบบปิดผนึกกับแคลเซียมตะกั่วอัลลอยกริด (Calcium-lead alloy grids) ขนาด 6 และ 12 โวลต์ และรูปที่ 2.2 แสดงความสัมพันธ์เช่นเดียวกับรูปที่ 2.3 แต่เป็นแบตเตอรี่ขนาด 1.5 โวลต์ กราฟเหล่านี้แสดงค่าความจุปกติ ของแบตเตอรี่ที่ได้จากการคายประจุด้วยอัตรา 20 ชั่วโมง จนถึงแรงดันสุดท้าย 1.75 โวลต์/เซลล์ กราฟจะแสดงที่ตกลงเมื่อคายประจุด้วยอัตราความจุต่างๆ กันที่ 20 °C หลังจากทำการอัดประจุ-คายประจุ 2-3 รอบ

จากรูปที่ 2.3 เห็นได้ว่าความจุของแบตเตอรี่ที่อัตรา 20 ชั่วโมง เป็นค่ามาตรฐานในการอธิบาย ถ้าใช้อัตรามากกว่า 20 ชั่วโมงจะได้อายุที่ต่ำกว่าที่อัตรา 20 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับอุณหภูมิของแบตเตอรี่ (Plateau voltage-battery temperature curves)

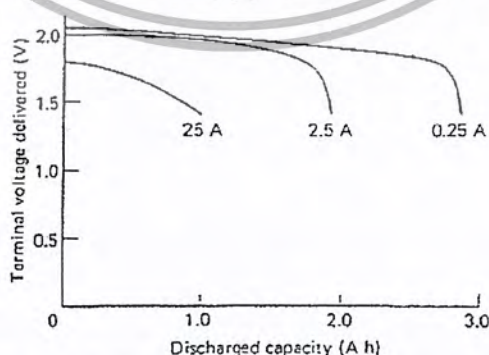
วิธีที่ใช้ในการศึกษาผลของอุณหภูมิที่มีต่อพฤติกรรมของแบตเตอรี่ตะกั่วกรด และ เงินแคดเมียม คือการเขียนกราฟของแรงดันที่ได้จากการคายประจุด้วยอัตราต่างๆ กันกับอุณหภูมิของแบตเตอรี่ รูปที่ 2.4 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับอุณหภูมิของแบตเตอรี่ที่อัตราสูงและอัตราต่ำของแบตเตอรี่เงินแคดเมียม เมื่ออุณหภูมิของแบตเตอรี่ลดลงจะทำให้แรงดันของแบตเตอรี่เปลี่ยนแปลงไปเล็กน้อย



รูปที่ 2.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับอุณหภูมิของแบตเตอรี่ที่อัตราสูงและอัตราต่ำของแบตเตอรี่เงิน-แคดเมียม

2.8.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระหว่างความจุที่ได้จากการคายประจุ กับอัตราการคายประจุ (Capacity returned (discharge capacity) – discharge rate curve)

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความจุที่ได้จากการคายประจุต่างๆ กันของแบตเตอรี่กับช่วงเวลาในการคายประจุในหน่วยชั่วโมง ที่อัตราการคายประจุและอุณหภูมิแบตเตอรี่ที่กำหนดไว้ใช้ในการประเมินพฤติกรรมต่างๆ ของแบตเตอรี่ การคายประจุที่ช้ากว่าจะให้ความจุที่มากกว่า 20°C รูปที่ 2.5 แสดงกราฟของแบตเตอรี่ตะกั่วกรดแบบนอนสปิลขนาด 6 โวลต์ (9 โวลต์ และ 28 Ah) คายประจุ 20°C ด้วยอัตรา 20 ชั่วโมง



รูปที่ 2.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความจุที่ได้กับอัตราการคายประจุที่ 20°C ของแบตเตอรี่ตะกั่วกรดขนาด 6 โวลต์

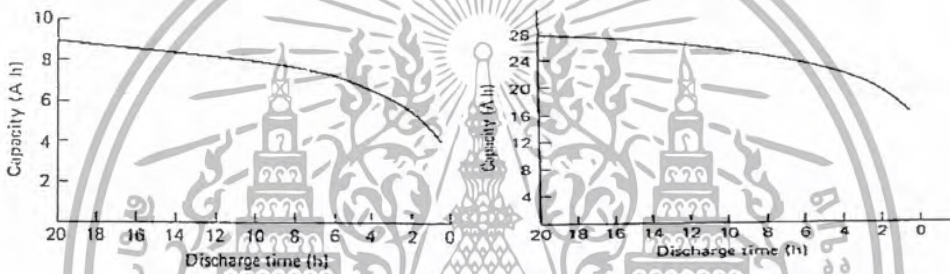
2.8.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความจุที่ได้จากการคายประจุกับแรงดันที่ขั้ว(Capacity returned (discharge capacity) – terminal voltage curves)

ตามที่ได้กล่าวในหัวข้อกราฟแสดงการคายประจุ ถ้ากระแสที่ได้จากแบตเตอรี่ขึ้นกับการคายประจุเพิ่มขึ้น ช่วงเวลาการคายประจุจนถึงจุดแรงดันสุดท้ายจะลดลง และแรงดันก็ลดลงด้วย กล่าวคือ ช่วงที่คายประจุอย่างรวดเร็ว แรงดันที่ได้จะลดลง เมื่อพิจารณาแบตเตอรี่ที่ใช้ในงานเฉพาะ จะต้องการแรงดันเฉพาะระหว่างการคายประจุ จึงต้องมีกำหนดอัตราการคายประจุและความจุที่ต้องการไว้ล่วงหน้า

เพื่อให้ได้ความจุรวมและแรงดันที่อุณหภูมิเฉพาะ บางครั้งต้องมีการตัดสินใจที่จะเลือกใช้แบตเตอรี่ที่มีขนาดใหญ่หรือเล็กกว่าที่ต้องการ กระแส, แรงดัน, ช่วงเวลาในการคายประจุและอุณหภูมิ มีความสัมพันธ์กันมาก การเขียนกราฟแสดงความจุที่ได้จากการคายประจุและแรงดันที่ขั้ว (หรือร้อยละของความจุที่ได้จากการคายประจุกับแรงดันที่ขั้ว) ก็มีความสำคัญในการตัดสินใจเลือกใช้แบตเตอรี่

(ก) VTP 6.9/8 (6 V , 9 Ah)

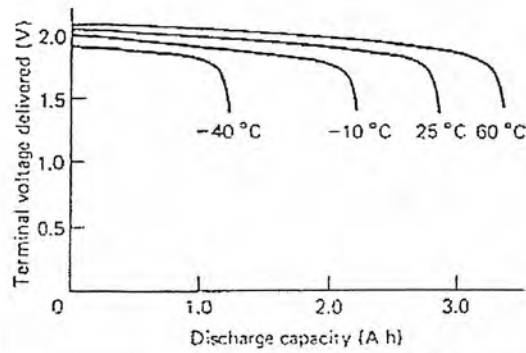
(ข) VTP 6.15/30 (6 V , 28 Ah)



รูปที่ 2.6 แสดงการคายประจุที่อัตราต่างๆ (โหลดคงที่)

สำหรับแบตเตอรี่ตะกั่วกรด รูปที่ 2.6 แสดงแรงดันที่ขั้วในการอัดประจุซึ่งเป็นฟังก์ชันของความจุที่ได้จากการคายประจุของแบตเตอรี่ชนิด General Electric fully recombining D cell กราฟทั่วไปจะแสดงการคายประจุด้วยกระแสคงที่ที่สภาวะมาตรฐาน

ทั้งความจุและแรงดันที่ได้จากการคายประจุที่เปลี่ยนแปลงไปจะเป็นส่วนกลับของฟังก์ชันของอัตราการคายประจุ ที่อัตราการคายประจุต่ำสุด แรงดันและความจุสูงสุด ชีดจำกัดของแรงดันที่ใช้ทำงานอยู่ที่ 1.4 โวลต์ แรงดันคัทออฟที่จุดนั้นจะเร็ว และพลังงานที่ใช้เพิ่มขึ้นเล็กน้อยนั้นจะได้รับจากเซลล์โดยการพยายามใช้ให้มีระดับต่ำกว่า 1.4 โวลต์ กราฟในรูปที่ 2.6 แสดงให้เห็นถึงอัตราการคายประจุที่สูงและรุนแรงมาก สภาวะของ Concentration polarization (ความเข้มข้นของสารอิเล็กโทรไลต์ลดลงจนเกือบกลายเป็น Active material ที่แผ่นเพลต เนื่องจากมีการแพร่ของไอออนไม่เพียงพอ) เป็นผลให้เกิดการลดลงของแรงดันและความจุ



รูปที่ 2.7 แสดงการคายประจุที่อุณหภูมิต่างๆกัน (โพลดกระแสคงที่)

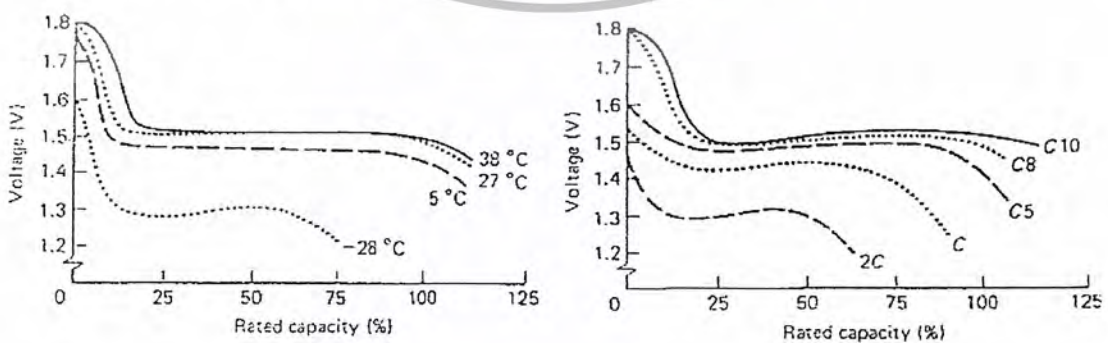
ผลของอุณหภูมิที่มีต่อกราฟแสดงการคายประจุของ D cell แสดงได้ดังรูปที่ 2.7 กราฟทั้งหมดได้จากการคายประจุด้วยกระแส 250 มิลลิแอมป์ ขณะที่อุณหภูมิต่ำลง อัตราการแพร่ของไอออนในสารอิเล็กโทรไลต์ก็จะลดลง ด้วยเหตุนี้แรงดันที่จ่ายออกและความจุที่ได้ก็จะลดลงเมื่ออุณหภูมิของเซลล์ลดลง

2.8.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความจุที่สามารถนำมาใช้ได้กับแรงดัน (Withdrawable capacity – terminal voltage curves)

วิธีที่จะแสดงแรงดันที่ขึ้นอยู่กับความจุได้จากการคายประจุ คือการเขียนกราฟร้อยละของความจุที่สามารถนำมาใช้ได้ ค่าความจุที่นำมาใช้ได้เป็นร้อยละของค่าความจุปกติ เป็นฟังก์ชันของแรงดันของแบตเตอรี่ กราฟแบบนี้มีประโยชน์มากในการประเมินความสามารถในการอัดประจุเกิน (Overcharge) ของแบตเตอรี่

2.8.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความจุที่ได้จากการคายประจุ กับกระแสที่ใช้คายประจุ (Capacity returned (discharge capacity) – discharge current curve)

กราฟนี้แสดงได้ดังรูปที่ 2.8 เป็นการแสดงกราฟกระแสที่ใช้คายประจุกับความจุที่ได้จากการคายประจุจนถึงจุดแรงดันสุดท้ายต่างๆกัน

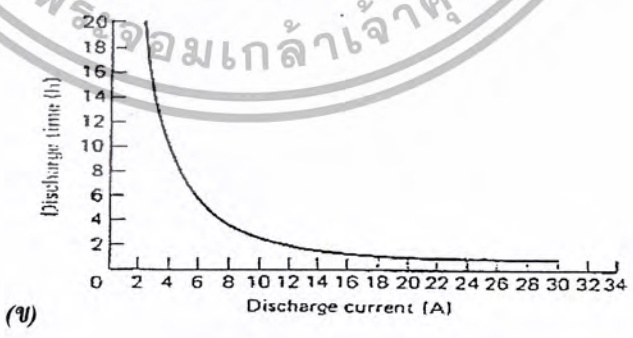
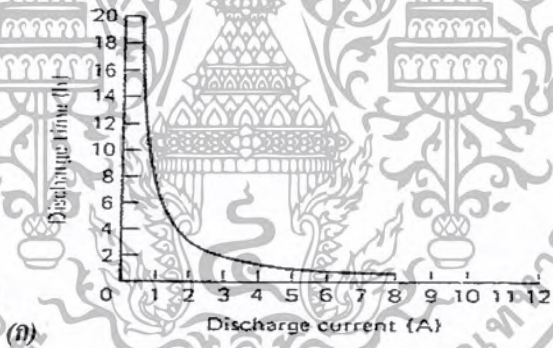


รูปที่ 2.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระหว่างอัตราการคายประจุ กับความจุที่ได้จาก

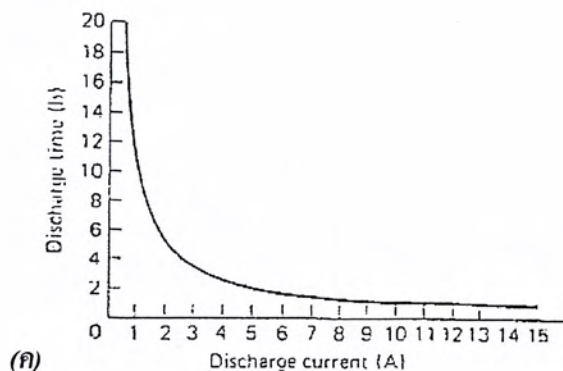
การคายประจุ (Discharge rate = capacity returned / discharge capacity) curves)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบตเตอรี่ที่ผลิตจากโรงงานมีความจุ 20 Ah เมื่อคายประจุอย่างต่อเนื่องด้วยอัตรา 20 ชั่วโมง จนถึงจุดแรงดันสุดท้ายที่กำหนดไว้ ภายใต้สภาวะเหล่านี้ ความจุสูงสุดจริง 20 Ah จะได้จากการจ่ายกระแส 1 แอมป์ ด้วยอัตรา 20 ชั่วโมง (IC_{20}) หรือผลคูณต่างๆของ 20 Ah เช่น 0.5แอมป์ สำหรับ 40 ชั่วโมง ($0.5 \times C_{20}$) หรือ 2A ($2 \times C_{20}$) สำหรับ 10 ชั่วโมง ความจุเต็ม 20 Ah จะถูกจ่ายออกมา (และบางครั้งก็มากกว่าเล็กน้อย) เมื่อระยะเวลาในการคายประจุเพิ่มมากกว่า 20 ชั่วโมง แต่ถ้าระยะเวลาในการคายประจุอย่างสมบูรณ์ลดลง เช่น 2 ชั่วโมง หรือ 10 นาที กระแสที่จ่ายออกมาจะมีค่าสูงกว่าแต่ระยะเวลาที่ได้จะต่ำกว่าที่คำนวณจากความสัมพันธ์ข้างต้นซึ่งปรากฏการณ์เหล่านี้เกิดจากกระบวนการทางเคมีที่เกิดกับแบตเตอรี่ซึ่งจำกัดไว้ที่ความจุเต็มที 20 Ah ด้วยเหตุนี้ถ้าการคายประจุอย่างรวดเร็วถูกแบ่งออกเป็นการคายประจุด้วยอัตราต่างๆ กันซึ่งมีช่วงเวลาในการพัก ความจุรวมที่ได้รับจะเกือบเท่ากับค่าทางทฤษฎี 20 Ah เนื่องจากช่วงเวลาที่เกิดขึ้นอยู่กับกระบวนการภายในแบตเตอรี่ เพื่อแสดงผลของอัตราการคายประจุที่มีต่อความจุได้จากการคายประจุรูปที่ 2.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสที่จ่ายกับเวลาในการคายประจุ สำหรับแบตเตอรี่ตะกั่วกรดแบบนอนสปิลที่ต่อกันแบบอนุกรมขนาด 6 โวลต์ 12 Ah VPT 6.13/12 battery ตัวอย่างเช่น ความจุที่ได้ 12 Ah เมื่อคายประจุอย่างช้าๆ มีความสัมพันธ์กับกระแสที่จ่ายออกประมาณ 0.6 แอมป์ มากกว่า 20 ชั่วโมง อย่างไรก็ตาม เมื่อแบตเตอรี่ถูกคายประจุอย่างรวดเร็วใน 1 ชั่วโมง ที่ 10 แอมป์ จะได้ความจุเพียง 10 Ah เท่านั้น

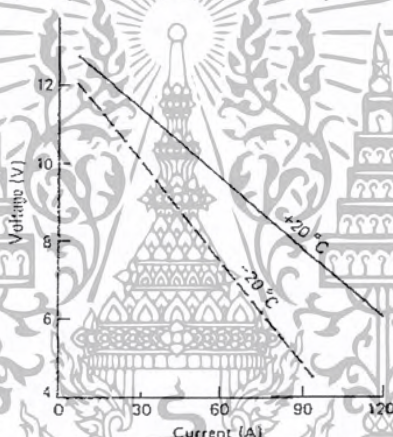


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสที่คายประจุกับเวลาในการคายประจุของแบตเตอรี่ตะกั่วกรด แบบนอนสปีด ที่ต่อกันแบบอนุกรมขนาด 6 โวลต์ 12 Ah

การที่แรงดันของเซลล์ลดลงเกี่ยวกับการเพิ่มขึ้นของกระแสที่จ่ายออก การลดลงของแรงดันนี้จะลดลงอย่างรวดเร็วขึ้น เมื่ออุณหภูมิต่ำกว่า ซึ่งแสดงได้ดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 แสดงคุณสมบัติการคายประจุของแบตเตอรี่เงิน-แคดเมียมขนาด 12 Ah

สำหรับแบตเตอรี่ตะกั่วกรด ตารางที่ 2.2 แสดงผลของอัตราการคายประจุระหว่างอัตรา 20 ชั่วโมง กับอัตรา 1 ชั่วโมง ที่มีผลต่อความจุที่ได้จากการคายประจุ ความจุที่ได้รับต่ำกว่าจะใช้เวลาในการคายประจุอย่างสมบูรณ์ลดลงมากกว่าช่วงทั้งหมดของแบตเตอรี่(กล่าวคืออัตราการคายประจุเพิ่มขึ้น)

Type	Discharge capacity (A h)				
	20 h rate	10 h rate	5 h rate	3 h rate	1 h rate
NP1.2-6	1.2	1.1	1.0	0.9	0.7
NP2.6-6	2.6	2.4	2.2	2.0	1.6
NP4-6	4.0	3.7	3.4	3.1	2.4
NP4.5-6	4.5	4.2	3.8	3.5	2.7
NP6-6	6.0	5.6	5.1	4.6	3.6
NP8-6	8.0	7.4	6.8	6.2	4.8
NP10-6	10.0	9.3	8.5	7.7	6.0
NP1.9-12	1.9	1.8	1.6	1.5	1.1
NP2.6-12	2.6	2.4	2.2	2.0	1.6
NP6-12	6.0	5.6	5.1	4.6	3.6
NP20-12	20.0	18.6	17.0	15.4	12.0

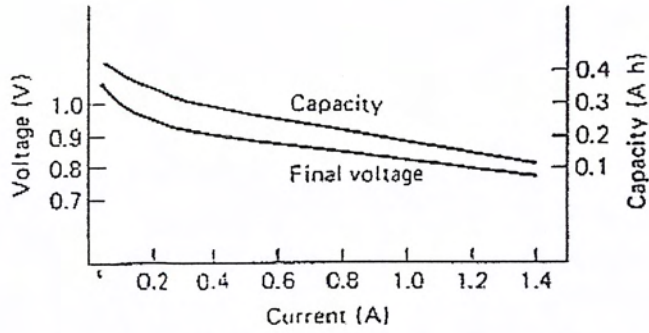
ตารางที่ 2.2 แสดงความจุที่ได้จากการคายประจุของแบตเตอรี่ตะกั่วกรดของยี่ห้อ
ที่อัตราการคายประจุต่างกัน

2.8.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการคายประจุ กับแรงดันที่ขั้วแบตเตอรี่
(Discharge rate – terminal voltage curves)



รูปที่ 2.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการคายประจุและแรงดันของ
Rolled sintered Ni-Cd battery เมื่อคายประจุที่ 0°C และ -20°C
หลังจากอัดประจุที่อุณหภูมิห้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



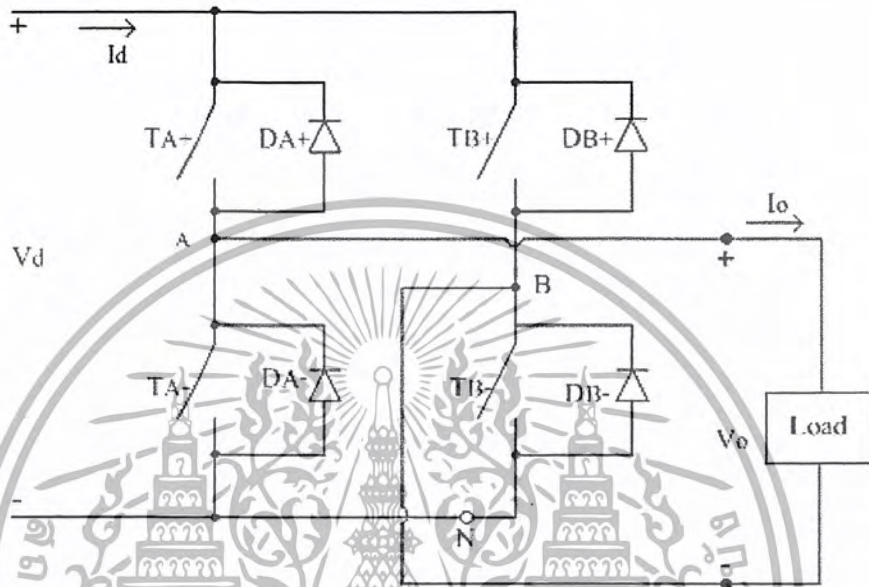
รูปที่ 2.12 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันและความจุกับกระแสที่จ่ายออก สำหรับ Ni-Cd battery (0.4 และ 5.6 Ah แบบปิดผนึก) จะเห็นได้ว่าทั้งความจุและแรงดันลดลง ขณะที่กระแสจ่ายออกเพิ่มขึ้น



บทที่ 3

ทฤษฎีของการสวิตซ์ซิ่ง

3.1 ฟูล-บริดจ์ ดีซี-ดีซี คอนเวอร์เตอร์ (Full Bridge dc-dc Converter)



รูปที่ 3.1 ฟูลบริดจ์ ดีซี-ดีซี คอนเวอร์เตอร์

จากรูปที่ 3.1 เป็นวงจรฟูล-บริดจ์ ดีซี-ดีซี คอนเวอร์เตอร์ (full-bridge dc-dc converter) ประกอบด้วย 2 กิ่งคือ A และ B โดยมีไดโอดคั่นขนานดังรูปเพื่อป้องกันสวิตซ์ ซึ่งในขณะที่สวิตซ์ปิด วงจร (t_{on}) อาจจะมีกระแสส่วนหนึ่งไหลย้อนกลับผ่านสวิตซ์ ขึ้นอยู่กับทิศทางกระแสเอาต์พุต การทำงานของวงจรสวิตซ์ในทางปฏิบัติจะมีช่วงที่สวิตซ์ปิดวงจร-เปิดวงจร พร้อมกันในแต่ละกิ่ง เพราะฉะนั้นจำเป็นจะต้องมีช่วงระยะเวลาหนึ่งที่สวิตซ์ไม่นำกระแสพร้อมกันเรียกว่า Blanking time เพื่อป้องกันการลัดวงจรของอินพุต

ด้านแรงดันเอาต์พุตจากรูปที่ 3.1 พิจารณาที่โหนด A เมื่อ สวิตซ์ T_{A+} ปิดวงจร กระแสจะไหลผ่านสวิตซ์ T_{A+} เพราะฉะนั้นแรงดันเอาต์พุตที่ได้จะเป็น

$$V_{AN} = V_d \quad (3.1)$$

ในทำนองเดียวกัน เมื่อสวิตซ์ T_{A-} ปิดกระแสเอาต์พุตจะไหลกลับทิศทางเป็นลบผ่านสวิตซ์ T_{A-} (D_{A+} ได้รับไบอัสกลับ) กระแสเอาต์พุตจะไหลผ่าน D_{A-} เพราะฉะนั้น

$$V_{AN} = 0 \quad (3.2)$$

จากสมการ (3.1) และ(3.2) V_{AN} จะขึ้นอยู่กับช่วงสวิตซ์ปิดเท่านั้น โดยไม่ขึ้นอยู่กับทิศทางของกระแสเอาต์พุต เพราะฉะนั้นแรงดันเอาต์พุตเฉลี่ยของคอนเวอร์เตอร์ที่ช่วงเวลา T_s จะขึ้นอยู่กับแรงดันอินพุต V_d และ duty ratio ของ T_{A+}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$V_{AN} = \frac{V_d t_{on} + 0 * t_{off}}{T_s} = V_d * \text{duty ratio ของ } T_{A+} \quad (3.3)$$

ในทำนองเดียวกันแรงดัน V_{BN} ขึ้นอยู่กับแรงดันอินพุต และ duty ratio ของสวิตช์ T_{B+}

$$V_{BN} = V_d * \text{duty ratio ของ } T_{B+} \quad (3.4)$$

เพราะฉะนั้น แรงดันเอาต์พุตของคอนเวอร์เตอร์สามารถควบคุมได้โดยการปรับ duty ratio ของการสวิตช์ซึ่ง

$$V_o = V_{AN} - V_{BN} \quad (3.5)$$

3.2 สัญญาณ PWM กับการสวิตช์ซึ่งแบบไบโพลาร์

การสวิตช์ซึ่งแบบไบโพลาร์ สวิตช์ (T_{A+}, T_{B+}) และ (T_{A-}, T_{B-}) จะทำงานพร้อมกันเป็นคู่ โดยการควบคุมการสวิตช์ซึ่งในปริภูมิเฟสระดับนี้ จะกล่าวถึงการควบคุมกระแสพื้นฐานแบบต่างๆ

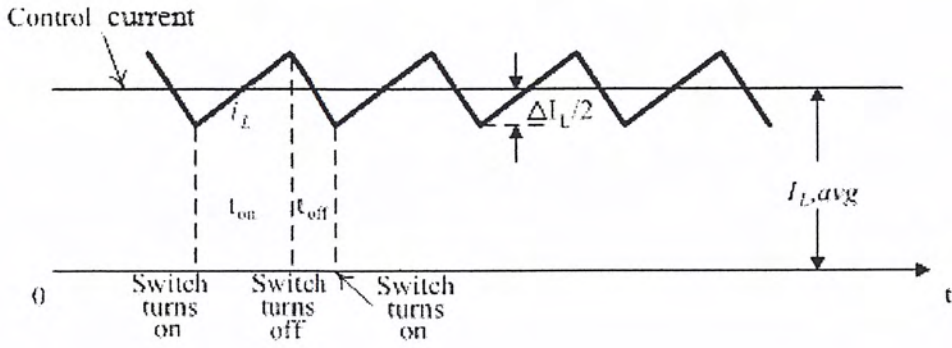
การควบคุมกระแสมี 3 แบบพื้นฐาน คือ

1. การควบคุมโดยการกำหนดขอบเขต (Tolerance band control, Hysteresis band control)
2. การควบคุมเวลาเปิดวงจร (t_{off}) ให้คงที่ (Constant "off"-time control)
3. การควบคุมความถี่ให้คงที่ โดยการใช้สัญญาณนาฬิกา (Constant-frequency control with turn-on clock time)

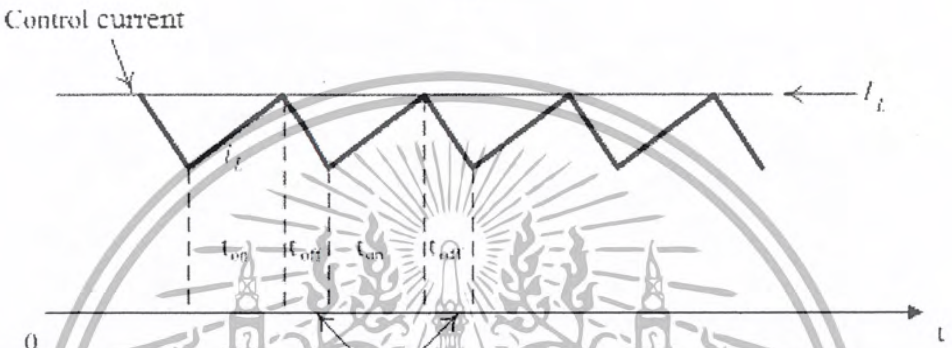
การควบคุมโดยการกำหนดขอบเขต จะใช้สัญญาณกระแส error บังคับค่าเฉลี่ยของกระแสอินคัลเตอร์ ΔI_L ดังรูปที่ 3.2 (ก) ซึ่งความถี่สวิตช์ซึ่งจะขึ้นอยู่กับค่าของ ΔI_L , พารามิเตอร์ของคอนเวอร์เตอร์ และสถานะการทำงาน แต่อย่างไรก็ตามการควบคุมแบบนี้จะใช้ได้ในโหมดของกระแสต่อเนื่องเท่านั้น

การควบคุมเวลาเปิดวงจร (t_{off}) ให้คงที่ ดังรูปที่ 3.2 (ข) สัญญาณกระแสควบคุมจะเป็นตัวบังคับกระแส I_L ซึ่งความถี่สวิตช์ซึ่งจะไม่คงที่ ขึ้นอยู่กับ พารามิเตอร์ของคอนเวอร์เตอร์ และ สถานะการทำงาน

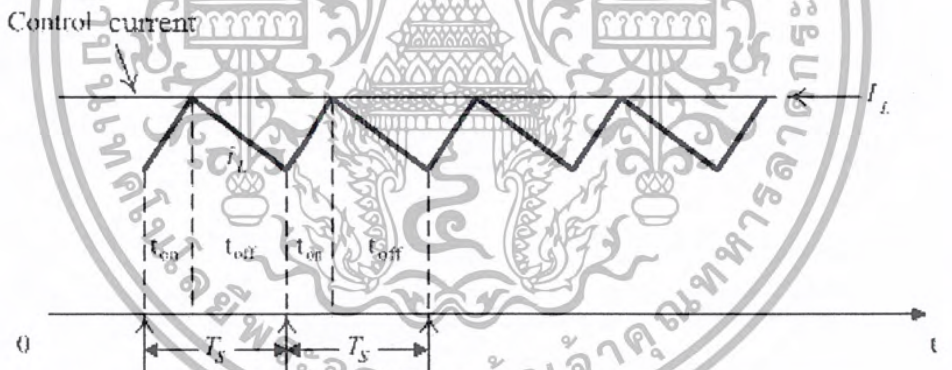
การควบคุมความถี่ให้คงที่ โดยการใช้สัญญาณนาฬิกา สวิตช์จะเปิดวงจรเริ่มที่จุดเริ่มต้นของคาบเวลาที่ได้จากการความถี่ซึ่งได้กำหนดไว้ สัญญาณกระแสควบคุมจะเป็นตัวบังคับกระแส I_L กำหนด การเปิดวงจรของสวิตช์ ดังรูปที่ 3.2 (ค) สวิตช์จะยังคงเปิดวงจรจนกระทั่งมีการเริ่มคาบเวลาการสวิตช์ซึ่งใหม่ อีกรอบ การควบคุมให้ความถี่สวิตช์ซึ่งคงที่จะทำให้ง่ายต่อการออกแบบวงจรกรองสัญญาณเอาต์พุต



(ก)



(ข)

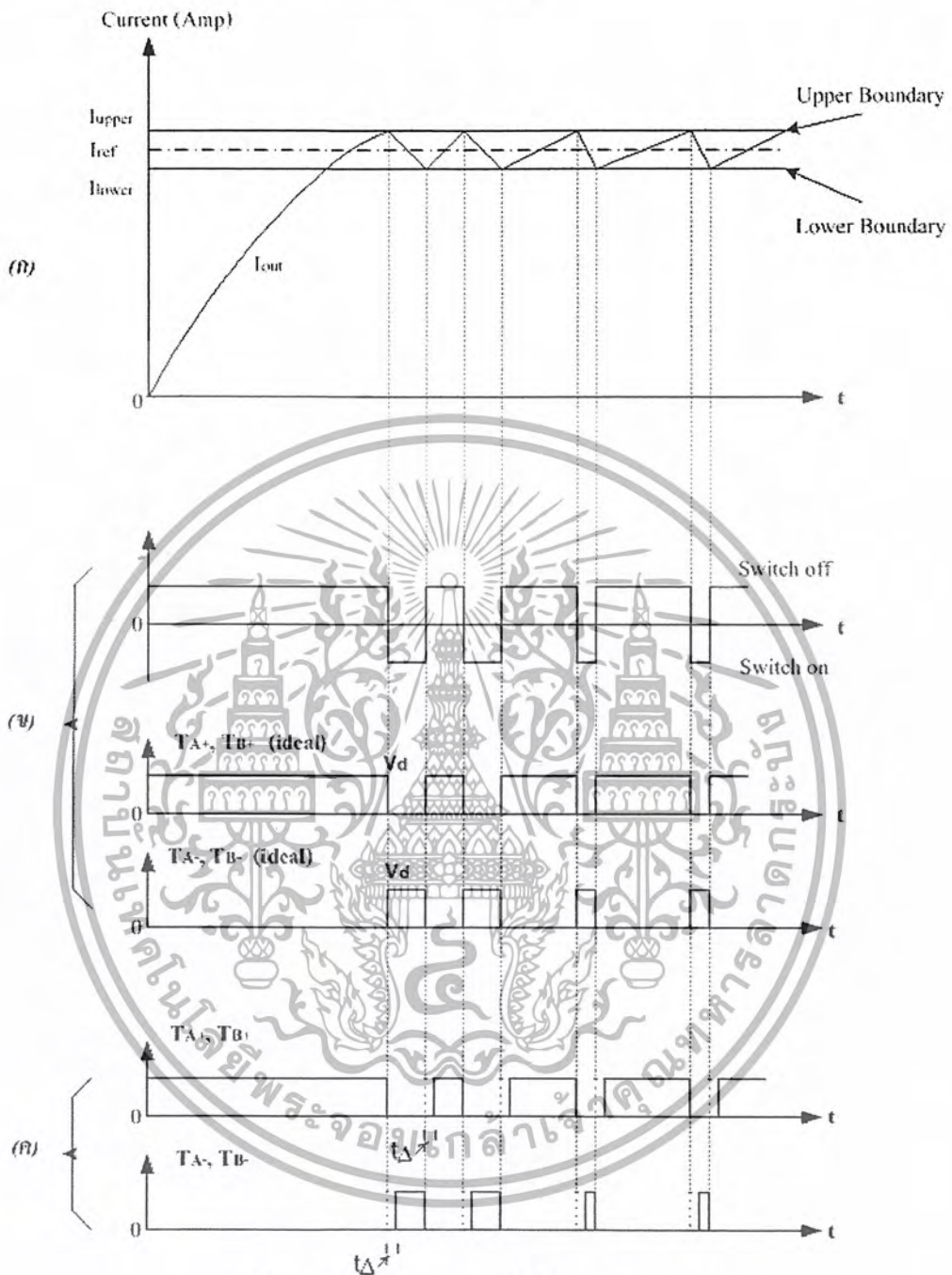


(ค)

รูปที่ 3.2 ชนิดของการควบคุมกระแส (ก) การควบคุมโดยการกำหนดขอบเขต (ข) การควบคุมเวลาเปิดวงจร (t_{off}) ให้คงที่ (ค) การควบคุมความถี่ให้คงที่ โดยใช้สัญญาณนาฬิกา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.1 การควบคุมกระแสโดยมีการกำหนดขอบเขต



รูปที่ 3.3 สัญญาณการสวิตซ์ซึ่งที่ได้จากฮีสเตอร์รีซิส

จากรูปที่ 3.3 (ก) มีการกำหนดขอบเขตบนและล่างของกระแสโหลด ให้กระแสโหลดเกาะตามกระแสอ้างอิง เมื่อกระแสโหลดชนขอบเขตบนของฮีสเตอร์รีซิสจะทำให้เกิดแรงดันลบในส่วนเอาต์พุตของฮีสเตอร์รีซิส เมื่อกระแสโหลดชนขอบเขตล่างของฮีสเตอร์รีซิส จะทำให้เกิดแรงดันบวกที่เอาต์พุตของฮีสเตอร์รีซิสและนำสัญญาณนี้ไปใช้ยับยั้งการสวิตซ์ซึ่ง ดังรูปที่ 3.3 (ข) ส่วนในรูปที่ 3.3 (ค) เป็นสัญญาณการสวิตซ์ซึ่งที่ใช้ในทางปฏิบัติ ซึ่งจะต้องมีช่วง Blanking time เพื่อป้องกันการเกิดการลัดวงจรในกิ่งเดียวกัน

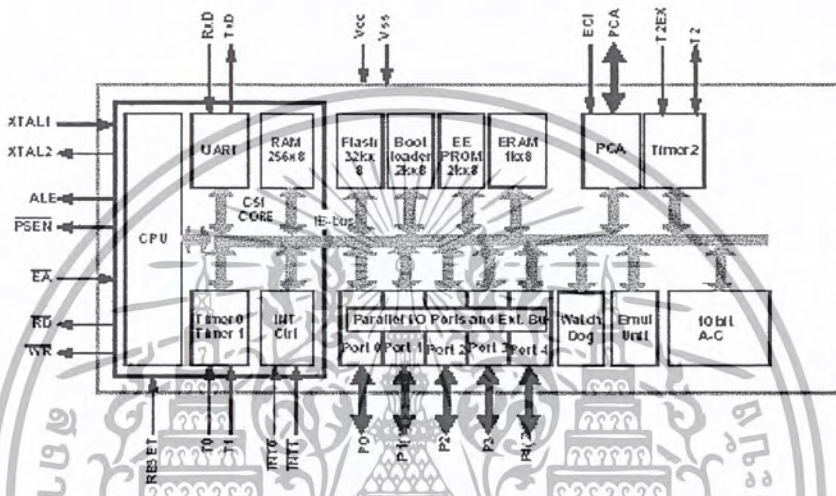
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ทฤษฎีของไมโครคอนโทรลเลอร์

ไมโครคอนโทรลเลอร์แบบแฟลช MCS-51 นี้จะมีอยู่ด้วยกันหลายเบอร์แต่โครงสร้างพื้นฐานจะมีลักษณะคล้ายกัน ซึ่งในโครงการนี้จะใช้เบอร์ AT89C51AC2

4.1 โครงสร้างและสถาปัตยกรรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51



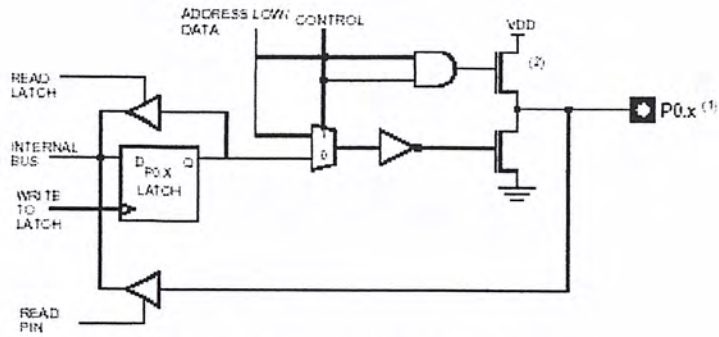
รูปที่ 4.1 โครงสร้างพื้นฐานของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 (AT89C51AC2)

4.1.1 โครงสร้างและการทำงานของพอร์ต (AT89C51AC2)

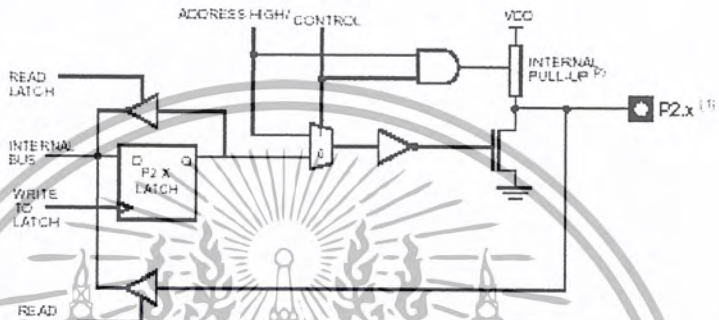
ไมโครคอนโทรลเลอร์จะมีพอร์ตขนาด 8 บิต จำนวน 4 พอร์ต (P0, P1, P2, P3) และ 2 บิต จำนวน 1 พอร์ต และยังสามารถกำหนดให้แต่ละพอร์ตใช้งานเป็นอินพุตหรือเอาต์พุตได้อย่างใดอย่างหนึ่งได้อย่างอิสระ

- พอร์ต 0 มีทั้งหมด 8 บิตคือ (P0.0-P0.7) มีโครงสร้างใช้งานเป็นแบบ Open Drain Bi-directional ใช้งานได้ 2 หน้าทีคือ ส่งแอดเดรส (A0-A7) และค่า (D0-D7) ออกไปให้หน่วยความจำภายนอกเมื่อทำการเขียนข้อมูลลงในหน่วยความจำภายนอกควบคุมด้วยขา control รูปที่ 5.5 และอีกหน้าที่คือเป็นพอร์ตอินพุตหรือพอร์ตเอาต์พุต ถ้าต้องการให้ทำงานเป็นพอร์ตอินพุตต้องส่งลอจิก 1 ไปยังแต่ละบิตของพอร์ตนี้ จะมีผลทำให้ขาพอร์ตนั้นมีสถานะปล่อยลอย (float) จึงมีอินพุตอิมพีแดนซ์สูงสามารถใช้งานเป็นขาพอร์ตอินพุตได้ดังรูปที่ 4.2

- พอร์ต 1 มีทั้งหมด 8 บิตคือ (P1.0-P1.7) มีโครงสร้างคล้ายพอร์ต 0 หากแต่ไม่มีวงจรมัลติเพล็กซ์ เนื่องจากพอร์ตนี้อาจจะไม่มีการติดต่อกับหน่วยความจำภายนอก แต่จะมีวงจรมัลติเพล็กซ์ภายในที่แต่ละบิตของพอร์ตนี้นั้น

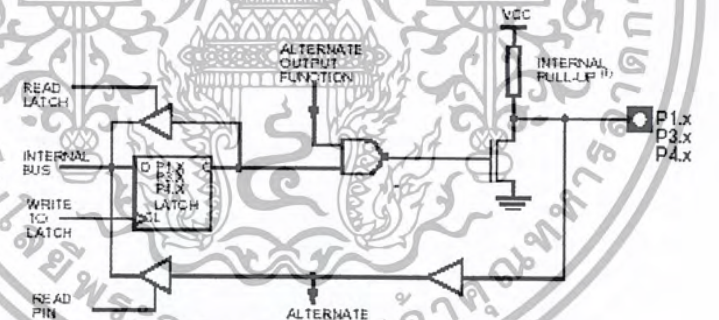


รูปที่ 4.2 วงจรภายในของพอร์ต 0



รูปที่ 4.3 วงจรภายในของพอร์ต 2

- พอร์ต 2 มี 8 บิตคือ (P2.0-2.7) มีโครงสร้างคล้ายพอร์ต 0 ต่างกันเพียงมีวงจรพูลอัปเพิ่มเติมเข้ามา ดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.4 วงจรภายในของพอร์ต 1, 3, 4

- พอร์ต 3 มี 8 บิตคือ (P3.0-3.7) มีโครงสร้างคล้ายพอร์ต 1 มีการเพิ่มเติมวงจรบัฟเฟอร์และวงจรอินพุตเอนท์พุตเมื่อทำงานในฟังก์ชันพิเศษเข้ามา พอร์ต 3 สามารถใช้งานในหน้าที่พิเศษได้ทุกขา สามารถแสดงโครงสร้างของพอร์ต 3 ดังรูปที่ 4.4

P3.0/RxD ใช้เป็นขาอินพุตสำหรับรับส่งข้อมูลจากการสื่อสารแบบอนุกรม

P3.1/TxD ใช้เป็นขาอินพุตสำหรับส่งข้อมูลจากการสื่อสารแบบอนุกรม

P3.2/ $\overline{\text{INT0}}$ ใช้เป็นขาอินพุตรับสัญญาณอินเตอร์รัปต์จากภายนอกช่อง 0

P3.3/ $\overline{\text{INT1}}$ ใช้เป็นขาอินพุตรับสัญญาณอินเตอร์รัปต์จากภายนอกช่อง 1

P3.4/T0 ใช้เป็นขาอินพุตสำหรับรับสัญญาณไทมเมอร์จากภายนอกช่อง 0

P3.5/T1 ใช้เป็นขาอินพุตสำหรับรับสัญญาณไทมเมอร์จากภายนอกช่อง 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

P3.6 ใช้เป็นขาสัญญาณ \overline{WR} ในกรณีที่ใช้เชื่อมต่อกับหน่วยความจำภายนอก

P3.7 ใช้เป็นขาสัญญาณ \overline{RD} ในกรณีที่ใช้เชื่อมต่อกับหน่วยความจำภายนอก

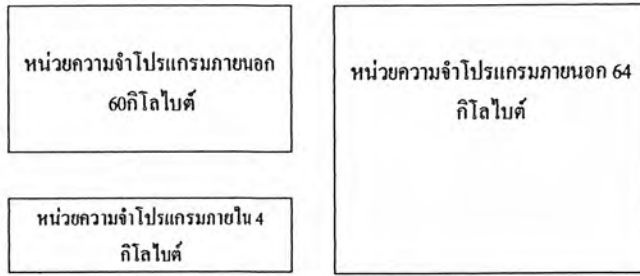
- พอร์ต 4 มี 2 บิต กำหนดให้เป็นทั้งพอร์ตอินพุตและเอาต์พุตสำหรับใช้งานทั่วไป
- ขา \overline{ALE} เป็นขาที่ใช้ในการควบคุมการแลตช์ของขาพอร์ต 0 เมื่อมีการใช้งานหน่วยความจำภายนอก และยังเป็นขาสำหรับรับพัลส์ของการ โปรแกรมข้อมูลลงในไมโครคอนโทรลเลอร์ รุ่นที่มีหน่วยความจำแบบอีพรอม
- ขารีเซต ใช้ในการรีเซตการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์โดยป้อนสัญญาณเพื่อรีเซตอย่างน้อย 2 เมกซ์ซินไซเคิล
- ขา \overline{PSEN} ใช้ในการส่งสัญญาณเพื่อร้องขอติดต่อกับหน่วยความจำโปรแกรมภายนอกเมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์ ต้องการอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก โดยจะส่งสัญญาณออกมาที่ขา \overline{PSEN} 2 ครั้งในแต่ละเมกซ์ซินไซเคิล แต่ถ้าเป็นการอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำภายในจะไม่มีสัญญาณออกที่ขา \overline{PSEN}
- ขา \overline{EA}/V_{pp} ใช้สำหรับเลือกการติดต่อกับหน่วยความจำโปรแกรมจากภายนอกหรือภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ ถ้าหากขา \overline{EA} เป็น 0 เป็นการเลือกให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ติดต่อกับหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก แต่ถ้าหากขา \overline{EA} เป็น 1 เป็นการเลือกให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ติดต่อกับหน่วยความจำภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์
- ขา XTAL1 และ XTAL2 เป็นขาลำหรับต่อคริสตัลเพื่อสร้างสัญญาณนาฬิกาในการกำหนดจังหวะการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์

4.2 การจัดหน่วยความจำของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

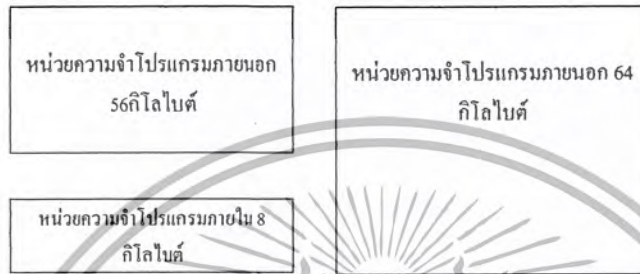
ในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชมีหน่วยความจำภายในหลักๆ อยู่ 2 ส่วนคือ หน่วยความจำโปรแกรมและหน่วยความจำข้อมูล ซึ่งก็มีขนาดและการจัดสรรแตกต่างกันไปในแต่ละเบอร์

4.2.1 หน่วยความจำโปรแกรม (Program memory)

ในรูปที่ 4.5 แสดงการจัดหน่วยความจำโปรแกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชต่างๆ ที่นิยมใช้งาน



(ก) การจัดสรรหน่วยความจำโปรแกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ AT89C51



(ข) การจัดสรรหน่วยความจำโปรแกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ AT89C52

รูปที่ 4.5 การจัดสรรหน่วยความจำโปรแกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลช

หน่วยความจำโปรแกรมใช้เก็บข้อมูลของโปรแกรมควบคุมการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์หรือที่เรียกว่า **โปรแกรมมอนิเตอร์ (monitor program)** หากใช้หน่วยความจำภายนอกมักจะบรรจุอยู่ในหน่วยความจำชนิดอีพรอม (EPROM) ซึ่งสามารถทำการอ่านได้เพียงอย่างเดียว

หน่วยความจำโปรแกรมมีแอดเดรสเริ่มต้นที่ 0000H เมื่อซีพียูได้รับการรีเซ็ตให้เริ่มต้นการทำงาน จะต้องมาเริ่มต้นที่แอดเดรส 0000H นี้เสมออย่างไรก็ตาม ในพื้นที่ของหน่วยความจำโปรแกรมไม่ว่าจะใช้งานจากภายในหรือภายนอกก็ตาม ต้องมีการสงวนพื้นที่บางตำแหน่งเอาไว้สำหรับการอินเทอร์รัปต์ 6 ประเภท ๆ ละ 8 ไบต์ ประกอบด้วย

พื้นที่สำหรับการอินเทอร์รัปต์ 0 จากภายนอก กำหนดไว้ที่แอดเดรส 0003H

พื้นที่สำหรับการอินเทอร์รัปต์จากไทมเมอร์ 0 กำหนดไว้ที่แอดเดรส 000BH

พื้นที่สำหรับการอินเทอร์รัปต์ 1 จากภายนอก กำหนดไว้ที่แอดเดรส 0013H

พื้นที่สำหรับการอินเทอร์รัปต์จากไทมเมอร์ 1 กำหนดไว้ที่แอดเดรส 001BH

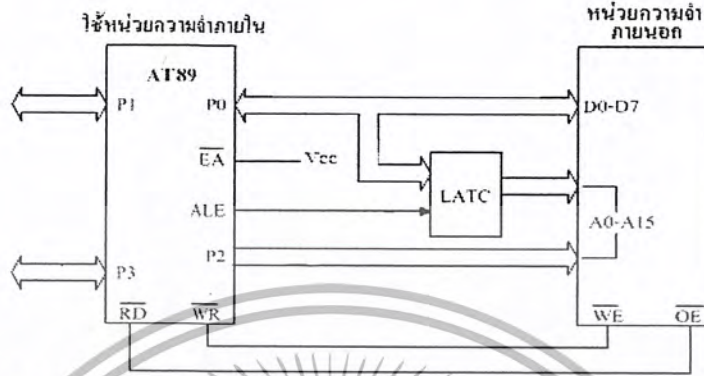
พื้นที่สำหรับการอินเทอร์รัปต์ของสื่อสารอนุกรม กำหนดไว้ที่แอดเดรส 0023H

พื้นที่สำหรับการอินเทอร์รัปต์จากไทมเมอร์ 2 กำหนดไว้ที่แอดเดรส 002BH

กรณีที่มีหน่วยความจำโปรแกรมภายใน แต่ต้องการติดต่อกับหน่วยความจำภายนอกทำได้โดยกำหนดแอดเดรสของหน่วยความจำโปรแกรมให้ต่อจากแอดเดรสสุดท้ายของหน่วยความจำโปรแกรมภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์

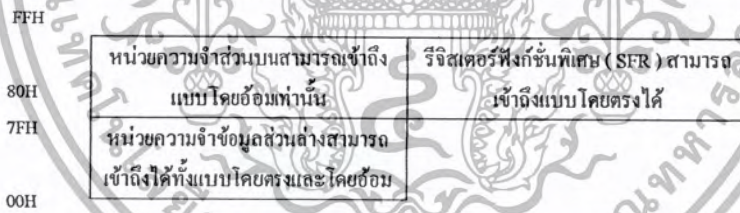
4.2.2 หน่วยความจำข้อมูล (Data memory)

มีด้วยกัน 2 แบบคือ หน่วยความจำข้อมูลภายนอกและภายใน โดยไมโครคอนโทรลเลอร์แบบแฟลช สามารถติดต่อกับหน่วยความจำข้อมูลภายนอกได้สูงสุด 64 กิโลไบต์ดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 การเชื่อมต่อหน่วยความจำข้อมูลภายนอกของไมโครคอนโทรลเลอร์

สำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชในอนุกรม AT89Sxx ทุกเบอร์จะมีหน่วยความจำข้อมูลภายในเป็นแบบแรม (RAM : Random Access Memory) แต่ละเบอร์จะมีขนาดแตกต่างกัน ในเบอร์ที่ใช้ในโครงงานนี้จะมีหน่วยความจำข้อมูลภายในขนาด 32 กิโลไบต์ สำหรับการจัดสรรหน่วยความจำข้อมูลภายในแบ่งเป็น 3 ส่วนคือ หน่วยความจำข้อมูลส่วนล่าง (Lower), ส่วนบน (upper) และ รีจิสเตอร์ฟังก์ชันพิเศษ (SFR : Special Function Register) แต่ละส่วนมีขนาด 128 ไบต์ ดังแสดงการจัดสรรในรูปที่ 4-7



รูปที่ 4-7 การจัดสรรพื้นที่ของหน่วยความจำข้อมูลภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51แบบแฟลช

4.2.2.1 รีจิสเตอร์ฟังก์ชันพิเศษ (SFR : Special Function Register)

เป็นรีจิสเตอร์ที่ใช้ควบคุมการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 รีจิสเตอร์ฟังก์ชันพิเศษมีแอดเดรสอยู่ระหว่าง 80H-FFH ในพื้นที่ของหน่วยความจำข้อมูลส่วนบน สามารถเข้าถึงได้โดยตรง รูปที่ 4.8 แสดงการจัดสรรพื้นที่ของรีจิสเตอร์ SFR รายละเอียดเบื้องต้นของรีจิสเตอร์ฟังก์ชันพิเศษมีดังนี้

แอดเดรส

บิต

FFH									
F0H	B7	B6	B5	B4	B3	B2	B1	B0	รีจิสเตอร์ B
E0H	A7	A6	A5	A4	A3	A2	A1	A0	รีจิสเตอร์ ACC
D0H	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	รีจิสเตอร์ PSW
B8H	-	-	-	D4	D3	D2	D1	D0	รีจิสเตอร์ IP
B0H	3.7	3.6	3.5	3.4	3.3	3.2	3.1	3.0	รีจิสเตอร์ P3
A8H	D7	-	-	D4	D3	D2	D1	D0	รีจิสเตอร์ IE
A0H	2.7	2.6	2.5	2.4	2.3	2.2	2.1	2.0	รีจิสเตอร์ P2
99H	ไม่สามารถเข้าถึงระดับบิตได้								รีจิสเตอร์ SBUF
98H	S7	S6	S5	S4	S3	S2	S1	S0	รีจิสเตอร์ SCON
90H	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3	1.2	1.1	1.0	รีจิสเตอร์ P1
8DH	ไม่สามารถเข้าถึงระดับบิตได้								รีจิสเตอร์ TH1
8CH	ไม่สามารถเข้าถึงระดับบิตได้								รีจิสเตอร์ TH0
8BH	ไม่สามารถเข้าถึงระดับบิตได้								รีจิสเตอร์ TL1
8AH	ไม่สามารถเข้าถึงระดับบิตได้								รีจิสเตอร์ TL0
89H	ไม่สามารถเข้าถึงระดับบิตได้								รีจิสเตอร์ TMOD
88H	T7	T6	T5	T4	T3	T2	T1	T0	รีจิสเตอร์ TCON
87H	ไม่สามารถเข้าถึงระดับบิตได้								รีจิสเตอร์ PCON
83H	ไม่สามารถเข้าถึงระดับบิตได้								รีจิสเตอร์ DPH
82H	ไม่สามารถเข้าถึงระดับบิตได้								รีจิสเตอร์ DPL
81H	ไม่สามารถเข้าถึงระดับบิตได้								รีจิสเตอร์ SP

รูปที่ 4.8 การจัดสรรพื้นที่ของรีจิสเตอร์ฟังก์ชันพิเศษ (SFR)

* รีจิสเตอร์แสดงสถานะของโปรแกรม (Program Status Word : PSW)

เป็นรีจิสเตอร์ขนาด 8 บิต สามารถเข้าถึงได้ในระดับบิต จึงสามารถกำหนดค่าในแต่ละบิตของรีจิสเตอร์ตัวนี้ได้อย่างอิสระ มีแอดเดรสอยู่ที่ D0H ทำหน้าที่เก็บสถานะของการทำงานของโปรแกรมในขณะนั้นจะเรียกสถานะต่างๆ ของโปรแกรมว่า แฟล็ก (flag) เมื่อซีพียูกระทำคำสั่งทางคณิตศาสตร์และลอจิกแล้วเกิดการเปลี่ยนแปลงสถานะขึ้น ผลของการเปลี่ยนแปลงนั้นจะปรากฏที่บิตต่างๆ ของรีจิสเตอร์ PSW ดังรูปที่ 4.8

จะเห็นได้ว่า นอกจากรีจิสเตอร์ PSW ถูกใช้ในการเก็บสถานะของโปรแกรมแล้ว ที่บิต RS0 และ RS1 ยังใช้ในการเลือกแบงก์ของหน่วยความจำส่วนล่าง ซึ่งเป็นพื้นที่ของรีจิสเตอร์ R0-R7 ด้วยดังมีรายละเอียดแสดงในตารางที่ 4.1 โดยปกติแล้วการใช้งานรีจิสเตอร์ R0-R7 มักนิยมใช้แบงก์ 0 เป็นลำดับแรก หากไม่เพียงพอจึงเลือกในแบงก์อื่นๆ มาใช้ แต่ต้องระมัดระวังในการกำหนดค่าและลำดับการติดต่อให้ดี มิเช่นนั้น อาจทำให้การเขียนโปรแกรมเกิดความสับสน

RS1	RS0	แบงก์ของรีจิสเตอร์	ช่วงแอดเดรส
0	0	แบงก์ 0	00H-07H
0	1	แบงก์ 1	08H-0FH
1	0	แบงก์ 2	10H-17H
1	1	แบงก์ 3	18H-1FH

ตารางที่ 4.1 การเลือกแบงก์ของหน่วยความจำส่วนล่างเพื่อติดต่อกับรีจิสเตอร์แบงก์ R0-R7

*** แอควิวมูเลเตอร์ (Accumulator : ACC)**

มีขนาด 8 บิต มีแอดเดรสอยู่ที่ตำแหน่ง E0H เป็นรีจิสเตอร์ที่ใช้สำหรับเก็บข้อมูลหรือผลลัพธ์ที่ได้จากการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการคำนวณทางคณิตศาสตร์ และ ลอจิก ก่อนที่จะส่งข้อมูลหรือผลลัพธ์ที่ได้ให้แก่ซีพียูเพื่อทำการประมวลผลต่อไปอาจเรียกสั้นๆ ว่า รีจิสเตอร์ A หรือ ACC รีจิสเตอร์ที่สามารถเข้าถึงระดับบิตได้

*** รีจิสเตอร์ B**

มีขนาด 8 บิต มีแอดเดรสอยู่ที่ F0H มีหน้าที่พิเศษคือ หากต้องการคูณหรือหารทางคณิตศาสตร์ ต้องนำข้อมูลที่ต้องการหารหรือคูณมาเก็บไว้ในรีจิสเตอร์ B แล้วจึงกระทำคำสั่งการคูณหรือหารกับค่าในรีจิสเตอร์ A ต่อไป ในกรณีที่ไม้ได้มีความต้องการคูณหรือหารข้อมูล สามารถใช้รีจิสเตอร์ B นี้ในการเก็บข้อมูลทั่วไปได้เหมือนกับรีจิสเตอร์ปกติ และสามารถเข้าถึงในระดับบิตได้

*** โปรแกรมเคาน์เตอร์ (Program Counter : PC)**

มีขนาด 16 บิต มีหน้าที่แจ้งแอดเดรสของหน่วยความจำโปรแกรมในตำแหน่งถัดไปที่ซีพียูจะต้องไปทำงาน รีจิสเตอร์ PC เป็นรีจิสเตอร์ตัวเดียวที่ไม่ได้จัดสรรไว้ร่วมกับรีจิสเตอร์ SFR ใดๆ การเปลี่ยนแปลงค่าของรีจิสเตอร์ PC จะขึ้นอยู่กับผลของการกระทำคำสั่งภายในหน่วยความจำโปรแกรมที่ผู้เขียนโปรแกรมกำหนด

บิต 7	บิต 6	บิต 5	บิต 4	บิต 3	บิต 2	บิต 1	บิต 0
CY	AC	F0	RS1	RS0	OV	-	P

CY : แฟลททค (carry flag) เป็น 1 เมื่อมีการกระทำคำสั่งทางคณิตศาสตร์และลอจิก แล้วค่าของแอควิวมูเลเตอร์เกิน 256 (ฐานสิบ) หรือ FFH

AC : แฟลททคเสริม (Auxiliary Carry flag) เป็น 1 เมื่อมีการการทำคำสั่งทางคณิตศาสตร์แล้วทำให้เกิดการทดข้ามจากบิต 3 มายัง บิต 4

F0 : แฟลทใช้งานทั่วไป เมื่อผู้เขียนโปรแกรมกำหนดค่าที่บิตนี้แล้วไม่ว่าจะกระทำคำสั่งใดๆ ที่บิตนี้จะไม่มีการเปลี่ยนแปลง

RS1 : บิตเลือกรีจิสเตอร์แบงก์ (Register Select1) ใช้ร่วมกับบิต RS0 เพื่อเลือกแบงก์ของรีจิสเตอร์ R0-R7

RS0 : บิตเลือกรีจิสเตอร์แบงก์ (Register Select0) ใช้งานร่วมกับบิต RS1 เพื่อเลือกแบงก์ของรีจิสเตอร์ R0-R7

OV : บิตเกิน (Overflow) เป็น 1 เมื่อมีการกระทำคำสั่งทางคณิตศาสตร์และลอจิก

แล้ว ทำให้เกิดการทดข้ามจากบิต 6 มายังบิต 7 ของแอสคิวิมูเลเตอร์ หรือแอสคิวิมูเลเตอร์มีค่าเกิน 127 (ฐานสิบ) นอกจากนั้นยังใช้เป็นการแสดงค่าลบด้วย

- : บิตนี้ผู้ใช้งานสามารถกำหนดใช้งานได้อย่างอิสระ

P : บิตพาริตี (Parity) ใช้ในการตรวจสอบจำนวนค่า 1 ภายในแอสคิวิมูเลเตอร์

ถ้าหากในแอสคิวิมูเลเตอร์มีจำนวนบิตที่เป็น 1 รวมกันเป็นเลขคู่ บิตนี้จะเป็น 0 ถ้ารวมกันเป็นเลขคี่ บิตนี้จะเป็น 1

รูปที่ 4.9 รายละเอียดของรีจิสเตอร์แสดงสถานะของโปรแกรมหรือ PSW

* สแต็กพอยน์เตอร์ (Stack Pointer : SP)

เป็นรีจิสเตอร์ขนาด 8 บิต อยู่ที่ตำแหน่ง 81H ใช้ในการเก็บค่าตำแหน่งของตัวชี้สแต็ก ซึ่งสามารถเปลี่ยนแปลงได้เมื่อซีพียูมีการกระโดดไปทำงานที่โปรแกรมย่อย เมื่อมีการรีเซตเกิดขึ้นค่าของรีจิสเตอร์ SP จะเท่ากับ 07H

* รีจิสเตอร์ชี้ข้อมูลหรือค่าพอยน์เตอร์ (Data Pointer : DPTR)

มีขนาด 16 บิต แบ่งเป็นรีจิสเตอร์ชี้ข้อมูล ไปต่สูง (DPH) และรีจิสเตอร์ชี้ข้อมูล ไปต่ต่ำ (DPL) ใช้ในการเก็บค่าแอสคิวิมูเลเตอร์ของหน่วยความจำหรืออุปกรณ์ภายนอกที่ไม่โครคอนโทรลเลอร์ต้องการติดต่อด้วย

* รีจิสเตอร์พอร์ต (Port register)

เป็นรีจิสเตอร์ขนาด 8 บิต ที่ใช้เก็บข้อมูลของแต่ละพอร์ตของไมโครคอนโทรลเลอร์ รีจิสเตอร์ทุกตัวสามารถเข้าถึงระดับบิตได้ เมื่อต้องการอ่านหรือเขียนข้อมูลออกไปยังพอร์ตของไมโครคอนโทรลเลอร์ จะต้องกระทำผ่านรีจิสเตอร์นี้ทุกครั้ง

* รีจิสเตอร์บัฟเฟอร์ข้อมูลอนุกรม (Serial Data Buffer : SBUF)

เป็นรีจิสเตอร์ ขนาด 8 บิต มีแอสคิวิมูเลเตอร์อยู่ที่ 99H ใช้ในการเก็บข้อมูลที่ส่งออกหรือรับเข้าของวงจรสื่อสารอนุกรมที่มีอยู่ในไมโครคอนโทรลเลอร์แบบแฟลช โดยภายในรีจิสเตอร์จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ รีจิสเตอร์บัฟเฟอร์สำหรับส่งข้อมูล (transmit buffer register) และ รีจิสเตอร์บัฟเฟอร์สำหรับรับข้อมูล (receive buffer register) เมื่อมีการเขียนข้อมูลมายังรีจิสเตอร์ข้อมูลนั้นจะถูกส่งต่อไปยังบัฟเฟอร์สำหรับส่งข้อมูลเพื่อส่งออกจากไมโครฯ ผ่านทางขา TxD ในกรณีมีการอ่านข้อมูลจากรีจิสเตอร์ ข้อมูลจะถูกส่งผ่านไปยังรีจิสเตอร์บัฟเฟอร์สำหรับรับข้อมูลเพื่อส่งไปยังไมโครฯ สำหรับการรับข้อมูลอนุกรมจากภายนอกจะผ่านมาจากขา RxD

* รีจิสเตอร์ไทมเมอร์ (Timer register)

เป็นรีจิสเตอร์ขนาด 16 บิตแบ่งเป็นไปต่สูงและไปต่ต่ำ ใช้ในการเก็บค่าของตัวนับหรือเคาน์เตอร์ ภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อใช้ในการสร้างฐานเวลา จับเวลา หรือนับจำนวนพัลส์ สัญญาณนาฬิกาภายใน บางทีเรียกรีจิสเตอร์ตัวนี้ว่า รีจิสเตอร์ไทมเมอร์/เคาน์เตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

* รีจิสเตอร์แคปเจอร์ (Capture register)

เป็นรีจิสเตอร์ขนาด 16 บิต มีเฉพาะในไมโครคอนโทรลเลอร์แบบแฟลช และในอนุกรม AT89Sxx เท่านั้นเนื่องจากต้องใช้ร่วมกับไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 2 รีจิสเตอร์แคปเจอร์จะถูกใช้งานเมื่อกำหนดให้ ไทเมอร์ 2 ทำงานในโหมดแคปเจอร์ ซึ่งเป็นโหมดที่กำหนดให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ทำการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงสถานะทางลอจิกที่ขา T2EX ทั้งนี้เพื่อประโยชน์ในการวัดคาบเวลา ความถี่ และการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณพัลส์ที่ขา T2EX

* รีจิสเตอร์ควบคุม (Control register)

- รีจิสเตอร์ PCON เป็นรีจิสเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการกำหนดอัตราการรับส่งข้อมูลของวงจรสื่อสารอนุกรมและกำหนดการทำงานในโหมดประหยัดพลังงานของไมโครคอนโทรลเลอร์

- รีจิสเตอร์ SCON เป็นรีจิสเตอร์ที่ใช้ในการควบคุมการทำงานของวงจรสื่อสารอนุกรมภายในไมโครคอนโทรลเลอร์

- รีจิสเตอร์ TCON และ T2CON เป็นรีจิสเตอร์ที่ใช้ในการควบคุมการทำงานของไทเมอร์/เคาน์เตอร์ภายในไมโครฯ โดย T2CON ใช้สำหรับไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 2 ของไมโครคอนโทรลเลอร์และในอนุกรม AT89Sxx

- รีจิสเตอร์ TMOD และ T2MOD เป็นรีจิสเตอร์ที่ใช้กำหนดโหมดหรือลักษณะในการทำงานของไทเมอร์/เคาน์เตอร์ภายในไมโครฯ แบบแฟลช โดย T2MOD ใช้สำหรับไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 2

- รีจิสเตอร์ IE และ IP เป็นรีจิสเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการตอบสนองการอินเตอร์รัปต์ โดย IE เป็นรีจิสเตอร์สำหรับเอ็นแอมเบิลหรือใช้ในการกำหนดลักษณะของการตอบสนองการอินเตอร์รัปต์ ในขณะที่ IP เป็นรีจิสเตอร์สำหรับกำหนดลำดับความสำคัญของการตอบสนองการอินเตอร์รัปต์ว่า จะให้ซีพียูตอบสนองการเกิดอินเตอร์รัปต์ในลักษณะใดก่อนหรือหลัง

4.3 ไทเมอร์/เคาน์เตอร์ของไมโครคอนโทรลเลอร์

ไทเมอร์/เคาน์เตอร์ คือ วงจรที่ทำหน้าที่นับความถี่ของสัญญาณนาฬิกา หรือนับจำนวนครั้งความเปลี่ยนแปลงของลอจิก มีหลักการทำงานก็คือการนับจากค่าที่ตั้งเอาไว้ หรือจากค่า 0 ไปยังจำนวนสูงสุดที่นับได้ เช่น $FFFF_{16}$ หรือ FF_{16} เมื่อถึงค่าสูงสุดก็จะเกิดการล้น (OVERFLOW) โดยคู่ได้จากบิตการตรวจล้นของ ไทเมอร์/เคาน์เตอร์ (TF0 และ TF1) เมื่อเกิดการล้น ไมโครคอนโทรลเลอร์ก็จะสร้างสัญญาณอินเตอร์รัปต์ของไทเมอร์/เคาน์เตอร์ตัวนั้นขึ้นมา เสร็จแล้วไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำการเปลี่ยนค่าจากค่าสูงสุด ($FFFF_{16}$ หรือ FF_{16}) ให้กลับเป็น 0 อีกครั้งหนึ่ง

ความแตกต่างในการทำงานระหว่างไทเมอร์ กับ เคาน์เตอร์ ก็คือ

ไทเมอร์ - เป็นการนับจำนวนสัญญาณนาฬิกาของตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยจะนับสัญญาณนาฬิกาจำนวน 12 ลูกต่อการเปลี่ยนแปลง 1 ครั้ง หมายความว่าไทเมอร์จะนับค่าเพิ่มขึ้น 1 ค่า เมื่อเกิดสัญญาณนาฬิกาไปแล้วจำนวน 12 ลูก ดังนั้น ถ้าเราใช้คริสตอลความถี่ 12 MHz เพื่อสร้างสัญญาณนาฬิกา

ให้ไมโครคอนโทรลเลอร์เราก็จะสามารถใช้ไทเมอร์ที่มีความถี่สูงสุด 1 MHz

ไม่ว่การณ์ใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เคาน์เตอร์ - เป็นการนับสัญญาณจากภายนอก โดยใช้ขา T0/T1 ในการรับข้อมูล การนับของเคาน์เตอร์ 1 ครั้งต้องใช้เวลาประมาณ 2 แมกซ์ไซเคิล หรือสัญญาณนาฬิกาจำนวน 24 ลูก ทำให้เมื่อเราใช้คริสตอลความถี่ 12 MHz เราจะสามารถนับความถี่ได้สูงสุดไม่เกิน 500 KHz

4.3.1 โหมดการทำงานของไทเมอร์/เคาน์เตอร์ มีด้วยกัน 4 แบบ คือ

โหมด 0 - เป็นการนับแบบ 13 บิต โดยใช้ TLx (TL0 หรือ TL1) จำนวน 5 บิตล่างกับ THx (TH0 หรือ TH1) ทั้ง 8 บิต ในการนับ ในการนับนั้นเมื่อ TLx มีค่าเป็น 00011111_2 แล้วมีการนับเพิ่มอีก 1 ตัว TLx ก็จะส่งบิต 1 ไปให้ THx นับต่อ แล้ว TLx จะเปลี่ยนค่าเป็น 00000000_2 แล้วทำการนับไปเรื่อยๆ จนกว่า TLx เป็น 00011111_2 และ THx เป็น 11111111_2 ก็จะเกิดการโอเวอร์โฟลวกับ TFX หลังจากนั้นไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำการสร้างสัญญาณอินเตอร์รัปต์สำหรับไทเมอร์/เคาน์เตอร์ขึ้นมา แล้วเปลี่ยนค่าของ THx กับ TLx ให้เป็น 00000000_2 เพื่อเริ่มต้นการนับต่อไป

โหมด 1 - เป็นการนับแบบ 16 บิต โดยใช้ TLx เก็บข้อมูล ไบต์ล่าง และ THx เก็บข้อมูล ไบต์บน เวลาทำงานจะเริ่มนับจาก 0000_{16} หรือจากค่าที่ตั้งไว้ไปจนกว่าจะถึง $FFFF_{16}$ หลังจากนั้นก็จะเกิดการโอเวอร์โฟลวกับ TFX หลังจากนั้นไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำการสร้างสัญญาณอินเตอร์รัปต์สำหรับไทเมอร์/เคาน์เตอร์ขึ้นมา แล้วเปลี่ยนค่าของ THx กับ TLx ให้เป็น 0000_{16} เพื่อเริ่มต้นการนับต่อไป

โหมด 2 - เป็นการนับแบบ 8 บิต โดยใช้ TLx เป็นตัวนับ และ THx เป็นตัวเก็บค่าเริ่มต้น เมื่อ TLx นับจนมีค่าเป็น FF_{16} ก็จะเกิดการโอเวอร์โฟลวกับ TLx หลังจากนั้นไมโครคอนโทรลเลอร์ก็จะทำการสร้างสัญญาณอินเตอร์รัปต์สำหรับไทเมอร์/เคาน์เตอร์ขึ้นมา แล้วเปลี่ยนค่าของ TLx ให้เป็น ค่าที่เก็บเอาไว้ใน THx เพื่อเริ่มต้นการนับต่อไป

โหมด 3 - เป็นการนับแบบ 8 บิต ที่แยกการนับของ TH0 กับ TL0 ออกจากกัน แล้วใช้ TFI เป็นที่เก็บการเกิดโอเวอร์โฟลวของ TH0 และใช้ TFO เป็นที่เก็บการเกิดโอเวอร์โฟลวของ TL0 การทำงานในโหมดนี้จะทำให้ไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 1 ไม่สามารถสร้างสัญญาณอินเตอร์รัปต์ได้

4.3.2 การกำหนดโหมดการทำงาน

เราต้องเข้าไปกำหนดในรีจิสเตอร์ TMOD ขนาด 8 บิต ซึ่งมีโครงสร้างดังนี้

7	6	5	4	3	2	1	0
Gate	C/T	M1	M0	Gate	C/T	M1	M0
ไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 1				ไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 2			

ตารางที่ 4.2 โครงสร้างรีจิสเตอร์ TMOD

จากโครงสร้างเห็นได้ว่าเราสามารถใส่ TMOD กำหนดรูปแบบการทำงานของไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 0 และ 1 ได้ในครั้งเดียวกัน โดยที่บิตสูงและบิตต่ำจะเอาไว้กำหนดการทำงานของไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 0 และ 1 ตามลำดับ แต่ละบิตมีความหมายดังนี้

ชื่อของบิต	หน้าที่
Gate	ถ้าเป็น 0 การทำงานของไทเมอร์/เคาน์เตอร์จะถูกควบคุมการทำงานโดยซอฟต์แวร์คือจะสั่งการให้ทำงานหรือหยุดโดยการกำหนดค่าแก่บิต TRx ใน TCON แต่ถ้าเป็น 1 เราจะต้องควบคุมการทำงานของไทเมอร์/เคาน์เตอร์ด้วยฮาร์ดแวร์คือต้องกำหนดให้บิต TRx ใน TCON เป็น 1 และค่าสถานะของลอจิกที่ขา INTO และ INT1 จะต้องเป็น 1 ไทเมอร์/เคาน์เตอร์จึงจะทำงาน
C/T	ถ้าเป็น 1 แสดงว่าให้ทำงานเป็นเคาน์เตอร์ ถ้าเป็น 0 แสดงว่าให้ทำงานเป็นไทเมอร์
M1/M0	ใช้กำหนดค่าให้ไทเมอร์/เคาน์เตอร์ทำงานโหมดใด ดังนี้ ถ้า M1=0, M0=0 แสดงว่าเลือกโหมด 0 ถ้า M1=0, M0=1 แสดงว่าเลือกโหมด 1 ถ้า M1=1, M0=0 แสดงว่าเลือกโหมด 2 ถ้า M1=1, M0=1 แสดงว่าเลือกโหมด 3

4.3.3 การควบคุมการทำงานของไทเมอร์/เคาน์เตอร์

เราต้องทำผ่านทางรีจิสเตอร์ TCON ขนาด 8 บิต มีรายละเอียดดังนี้

7	6	5	4	3	2	1	0
TF1	TR1	TF0	TR0	IE1	IT1	IE0	IT0

ตารางที่ 4.3 โครงสร้างของรีจิสเตอร์ TCON

ชื่อของบิต	หน้าที่
IT0	ถ้าเป็น 0 เลือกให้ช่วงขอบขาลงเป็นสัญญาณอินเตอร์รัปต์ ถ้าเป็น 1 เลือกให้ช่วงที่เป็นลอจิกต่ำเป็นสัญญาณอินเตอร์รัปต์
IE0	จะเป็น 1 เมื่อเกิดสัญญาณลักษณะเหมือนกับที่กำหนดไว้ใน IT0
IT1	เหมือน IT0 แต่เป็นการกำหนดสำหรับ INT1
IE1	เหมือน IE0 แต่เป็นการกำหนดสำหรับ INT1
TR0	เป็นบิตปิดเปิดการทำงานของไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 0 คือถ้าเป็น 1 หมายถึงให้ไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 1 ทำงาน แต่ถ้าเป็น 0 แสดงว่าหยุดการทำงานของไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 0
TF0	ถ้าเป็น 1 แสดงว่าเกิดการโอเวอร์โฟลวของไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 0
TR1	เหมือนกับ TR0 แต่ใช้กับไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 1
TF1	เหมือนกับ TF0 แต่ใช้กับไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 1

4.3.4 ไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 2 มีเฉพาะ ไมโครคอนโทรลเลอร์ ตระกูล 8052 การทำงานของไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 2 จะมีรีจิสเตอร์พิเศษเพิ่มมาอีกหลายตัว รีจิสเตอร์ที่ทำหน้าที่กำหนดโหมดในการทำงานของไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 2 ก็คือ T2MOD ขนาด 8 บิต มีรายละเอียดดังนี้

7	6	5	4	3	2	1	0
-	-	-	-	-	-	-	DCEN

ตารางที่ 4.4 โครงสร้างของรีจิสเตอร์ T2MOD

ชื่อของบิต	หน้าที่
DCEN	ถ้าเป็น 0 แสดงว่าเราต้องการให้ ไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 2 ทำงานแบบนับขึ้นเท่านั้น ถ้าเป็น 1 แสดงว่าเราให้ไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 2 ทำงานเป็นตัวนับแบบขึ้นและลง โดยดูจากสัญญาณที่ขา T2EX คือ ถ้า T2EX เป็น 1 เป็นการนับขึ้น ถ้า T2EX เป็น 0 เป็นการนับลง

นอกจากนี้ ไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 2 จะถูกควบคุมโดยรีจิสเตอร์ 8 บิตที่ชื่อว่า T2CON ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

7	6	5	4	3	2	1	0
TF2	EXF2	RCLK	TCLX	EXEN2	TR2	C/T2	CP/RL2



ชื่อของบิต	หน้าที่
CP/RL2	เป็นบิตเลือกโหมดการทำงาน คือ ถ้าเป็น 1 ให้ทำงานในโหมดแคปเจอร์ ถ้าเป็น 0 ให้ทำงานในโหมด Auto-Reload
C/T2	ถ้าเป็น 1 แสดงว่าไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 2 ทำงานแบบคัวนับ ถ้าเป็น 0 แสดงว่าไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 2 ทำงานแบบไทเมอร์
TR2	ถ้าเป็น 1 หมายความว่าเราสั่งให้ไทเมอร์ 2 ทำงาน
EXEN2	ถ้าเป็น 1 หมายความว่าให้รับข้อมูลจากภายนอกซึ่งใช้กับ โหมด Auto-Reload หรือ Capture ถ้าเป็น 0 แสดงว่าจะไม่รับสัญญาณจากภายนอก
TCLK	ถ้าเป็น 1 แสดงว่าใช้ไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 2 เป็นตัวกำหนดอัตราบอดในการส่งข้อมูลแบบอนุกรม ถ้าเป็น 0 แสดงว่าใช้ไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 1 เป็นตัวกำหนดอัตราบอดในการส่งข้อมูลแบบอนุกรม
RCLK	ถ้าเป็น 1 แสดงว่าใช้ไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 2 เป็นตัวกำหนดอัตราบอดในการส่งข้อมูลแบบอนุกรม ถ้าเป็น 0 แสดงว่าใช้ไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 1 เป็นตัวกำหนดอัตราบอดในการส่งข้อมูลแบบอนุกรม
EXF2	ถ้าเป็น 1 แสดงว่าเกิดโอเวอร์โฟลวใน RCAP2H/RCAP2L
TF2	ถ้าเป็น 1 แสดงว่าเกิดโอเวอร์โฟลวใน TH2/TL2 ถ้าใช้ไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 2 ในการสื่อสารอนุกรม บิตนี้จะไม่ถูกเซต

การควบคุมหรือเลือกโหมดให้แก่ไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 2 ทำได้ดังนี้

RCLK และ TCLK	CP/RL2	TR2	โหมดที่ได้
0	0	1	16 บิต Auto-Reload
0	1	1	16 บิต Capture
1	-	1	Baud Rate generator
-	-	0	หยุดการทำงานของไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 2

ตารางที่ 4.5 การควบคุมหรือเลือกโหมดให้แก่ไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 2

4.3.5 โหมดการทำงานของไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 2

โหมด 16 บิต Auto-Reload - เป็นระบบการนับแบบอัตโนมัติ มี 2 ลักษณะ คือ ถ้า EXEN2 เป็น 0 จะนับด้วย TH2/TL2 เมื่อเกิด โอเวอร์โฟลวบิตของ TF2 ก็จะถูกเซตให้เป็น 1 แล้วสร้างสัญญาณอินเตอร์รัปต์ จากนั้นก็จะทำการโหลดค่าจาก RCAP2H/RCAP2L เพื่อนับใหม่ ถ้า EXEN2 เป็น 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะคล้ายกรณีแรก แต่เมื่อเกิดการ โอเวอร์โฟลวแล้วจะมีการรอก่อนว่าที่ขา T2EX มีสัญญาณแปลงจากบิต 1 มาเป็นบิต 0 หรือช่วงขอบลงหรือไม่ ถ้ามีก็จะทำการ โหลดค่าจาก RCAP2H/RCAP2L มาใหม่ พร้อมทั้ง เซตบิต TF2 และสร้างสัญญาณอินเตอร์รัพท์

โหมด 16 บิต Capture - มีการทำงาน 2 ลักษณะเช่นเดียวกัน คือ ถ้าให้บิต EXEN2 เป็น 0 ไทมเมอร์/คาน์เตอร์ 2 จะถูกใช้เป็นไทมเมอร์หรือคาน์เตอร์ขนาด 16 บิต ค่าของ TH2/TL2 ก็จะเพิ่มขึ้น 1 ทุกครั้งเมื่อเวลาผ่านไป 1 แมกซ์ซินไซเคิล หรือมีสัญญาณจากขา T2 เมื่อเกิดการ โอเวอร์โฟลว ค่าของ TF2 ก็จะเป็น 1 พร้อมทั้งมีการเกิดสัญญาณอินเตอร์รัพท์ขึ้น หลังจากนั้นค่าของ TH2/TL2 ก็จะกลายเป็น 00₁₆ ถ้าให้บิต EXEC2 เป็น 1 ก็จะทำงานเหมือน 0 แต่มีการทำงานเพิ่มเติมเข้ามา คือ เมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลง สัญญาณขาจากบิต 1 เป็น 0 ที่ขา T2EX ทำให้ค่าของ TH2/TL2 ถูกโหลดไปเก็บใน RCAP2H/RCAP2L แล้วบิต EXF2 ก็จะเป็น 1 พร้อมทั้งเกิดสัญญาณอินเตอร์รัพท์ขึ้น

โหมด Baud rate generator - ทำงานได้เมื่อค่าของบิต TCLK และ RCLK เป็น 1 ใน การทำงานบิต TF2 จะไม่ถูกเซต หรือเรียกได้ว่าจะไม่เกิดการ โอเวอร์โฟลว ดังนั้นสัญญาณอินเตอร์รัพท์ ต่างๆ ก็ไม่มีด้วยเช่นกัน

4.4 ระบบการสื่อสารอนุกรม

4.4.1 การควบคุมการทำงานของพอร์ตสื่อสารอนุกรม ในการรับส่งข้อมูลของไมโครคอนโทรลเลอร์นี้ จะมีรีจิสเตอร์ SBUF เป็นที่เก็บข้อมูลที่รับเข้ามาทางพอร์ตสื่อสารอนุกรม หรือเก็บข้อมูลที่จะส่งผ่านทางพอร์ตสื่อสารอนุกรม เราจะควบคุมการทำงานของพอร์ตอนุกรมได้จากรีจิสเตอร์ SCON ขนาด 8 บิต มีรูปแบบการเก็บข้อมูลในบิตต่างๆ ดังนี้

7	6	5	4	3	2	1	0
SM0	SM1	SM2	REN	TB8	RB8	TI	RI

ชื่อของบิต	หน้าที่
RI	ถ้าเป็น 1 แสดงว่าได้ทำการรับข้อมูลจากพอร์ตสื่อสารอนุกรมเสร็จสิ้นแล้ว
TI	ถ้าเป็น 1 แสดงว่าได้ทำการส่งข้อมูลจากพอร์ตสื่อสารอนุกรมเสร็จสิ้นแล้ว
RB8	เป็นที่เก็บบิตที่ 8 ที่รับมาจากพอร์ตสื่อสารอนุกรม ใช้กับโหมด 2/3
TB8	เป็นที่เก็บบิตที่ 8 ที่สำหรับส่งออกทางพอร์ตสื่อสารอนุกรม ใช้กับโหมด 2/3
REN	ถ้าเป็น 1 แสดงว่าให้ไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถรับข้อมูลจากพอร์ตสื่อสารอนุกรมได้
SM2	ถ้าเป็น 1 แสดงว่ากำลังทำงานในระบบหลายโปรเซสเซอร์
SM0/SM1	ใช้เลือกโหมดการทำงานของพอร์ตสื่อสารอนุกรม ดังนี้ ถ้า SM0=0, SM1=0 ทำงานในโหมด 0 ถ้า SM0=0, SM1=1 ทำงานในโหมด 1 ถ้า SM0=1, SM1=0 ทำงานในโหมด 2 ถ้า SM0=1, SM1=1 ทำงานในโหมด 3

<p>ถ้า SM0=1, SM1=0 ทำงานในโหมด 2</p> <p>ถ้า SM0=1, SM1=1 ทำงานในโหมด 3</p>

4.4.2 โหมดการทำงานของพอร์ตสื่อสารอนุกรม มีด้วยกัน 4 โหมด คือ

โหมด 0 - เป็นโหมดที่ใช้ RxD เป็นขารับข้อมูล และใช้ TxD สำหรับส่งข้อมูล เวลาที่ส่งข้อมูลเสร็จแล้วบิต TI ก็จะเป็น 1 และเกิดอินเตอร์รัปต์การสื่อสารอนุกรม หลังจากนั้น TI ก็จะเป็น 0 ส่วนกรณีที่มีการรับข้อมูลเป็นที่เรียบร้อย RI ก็จะกลายเป็น 1 พร้อมทั้งกับการเกิดสัญญาณอินเตอร์รัปต์ หลังจากนั้น RI ก็จะกลายเป็น 0 ส่วนการกำหนดอัตราบอดในการสื่อสารจะมีค่าดังนี้

$$\text{Baud Rate} = 1/12 * \text{Crystal Frequency}$$

ดังนั้น ถ้าเราใช้คริสตอลความถี่ 12 MHz เราจะสามารถสื่อสารได้ด้วยอัตรารับส่ง 1,000,000 บิตต่อวินาที การรับส่งข้อมูลในโหมด 0 จะรับส่งข้อมูลขนาด 8 บิต โดยทำการส่งบิตต่างออกไปก่อน

โหมด 1 - เป็นโหมดรับส่งข้อมูลครั้งละ 10 บิต มีลำดับการส่ง คือ ส่งบิตเริ่มต้น 1 บิต ออกมาก่อน แล้วตามด้วยบิตข้อมูลขนาด 8 บิต และปิดท้ายด้วยบิตจบข้อมูลอีก 1 บิต ในขั้นตอนรับข้อมูลนั้น บิตจบจะถูกเก็บเก็บเอาไว้ใน RB8 อัตราความเร็วในการรับส่งนั้น ไม่ตายตัว แต่แค่เรากำหนด การกำหนดอัตราบอดจะต้องใช้การเกิดโอเวอร์โฟลวของ ไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 1 หรือ 2 ช่วยในการทำงาน การรับข้อมูลจะใช้ขา RxD และการส่งจะส่งผ่านทางขา TxD เวลาที่ส่งข้อมูลเสร็จ บิต TI ก็จะเป็น 1 และเกิดอินเตอร์รัปต์การสื่อสารอนุกรม จากนั้นเราต้องกำหนด TI เป็น 0 เพื่อจะได้ทำการส่งข้อมูลต่อไปได้ กรณีที่มีการรับข้อมูลเป็นที่เรียบร้อย RI ก็จะกลายเป็น 1 พร้อมทั้งกับการเกิดสัญญาณอินเตอร์รัปต์ หลังจากนั้นเราต้องทำให้ RI เป็น 0 เพื่อจะได้รับข้อมูลตัวต่อไป

สูตรการคำนวณอัตราบอดสำหรับ ไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 1 เป็นดังนี้

$$\text{Baud Rate} = (2\text{SMOD}/32) * \text{Overflow Rate}$$

$$\text{Overflow Rate} = \text{Crystal Frequency} / (12 * (256 - \text{TH1}))$$

สูตรการหาอัตราบอดสำหรับ ไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 2 เป็นดังนี้

$$\text{Baud Rate} = (\text{Overflow Rate}) / 16$$

$$\text{Overflow Rate} = \text{Crystal Frequency} / (32 * (65536 - \text{RCAP2H}/\text{RCAP2L}))$$

โดย RCAP2H/RCAP2L คือค่าขนาด 16 จากการทำให้ RCAP2H เป็นไบต์สูง และ RCAP2L เป็นไบต์ต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โหมด 2 / โหมด 3 - สามารถรับส่งข้อมูลได้ 11 บิต โดยจะเป็นบิตเริ่มต้น 1 บิต ตามด้วยข้อมูลอีก 9 บิตที่เรียงจากบิตล่าง ไปหาบิตบน และจบท้ายด้วยบิตจบอีก 1 บิต โดยโหมด 2 นั้นสามารถเลือกได้ว่าจะใช้อัตราบอดเป็น 1/32 หรือ 1/64 ของความถี่สัญญาณนาฬิกา ดังสูตรต่อไปนี้

$$\text{Baud Rate} = 2\text{SMOD} / 64$$

ส่วน โหมด 3 จะสามารถกำหนดอัตราบอดได้เหมือนกับโหมด 1 คือ สูตรคำนวณอัตราบอดสำหรับ ไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 1 เป็นดังนี้

$$\text{Baud Rate} = (2\text{SMOD}/32) * \text{Overflow Rate}$$

$$\text{Overflow Rate} = \text{Crystal Frequency} / (12 * (256 - \text{TH1}))$$

สูตรหาอัตราบอดสำหรับ ไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 2 เป็นดังนี้

$$\text{Baud Rate} = (\text{Overflow Rate}) / 16$$

$$\text{Overflow Rate} = \text{Crystal Frequency} / (32 * (65536 - \text{RCAP2H}/\text{RCAP2L}))$$

โดย RCAP2H/RCAP2L คือ ค่าขนาด 16 จากการทำให้ RCAP2H เป็นไบต์สูง และ RCAP2L เป็นไบต์ต่ำ

4.5 ระบบอินเตอร์รัปต์

เป็นเทคนิคที่นำให้ระบบมีการสนองสนองตามเหตุการณ์ที่เกิดขึ้น ในตอนแรกนั้นระบบจะทำงานในส่วนของ โปรแกรมที่เราเขียนจนเกิดการอินเตอร์รัปต์ก็จะมีการกระโดดไปทำงานของ โปรแกรมตอบสนองอินเตอร์รัปต์ เมื่อทำงานเสร็จก็จะกระโดดกลับไปทำงานของ โปรแกรมที่เราเขียนอีกครั้งหนึ่งจนจบโปรแกรม

4.5.1 แหล่งการเกิดอินเตอร์รัปต์ มีหลายแหล่ง ได้แก่

ชื่อของอินเตอร์รัปต์	ความหมาย	ตำแหน่งที่กระโดดไปทำ
INT0	เกิดอินเตอร์รัปต์จากภายนอกที่ขา INT0	0003 ₁₆
T0	เกิดอินเตอร์รัปต์จาก ไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 0	000B ₁₆
INT1	เกิดอินเตอร์รัปต์จากภายนอกที่ขา INT1	0013 ₁₆
T1	เกิดอินเตอร์รัปต์จาก ไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 1	001B ₁₆
SER	เกิดอินเตอร์รัปต์จากพอร์ตสื่อสารอนุกรม	0023 ₁₆
T2	เกิดอินเตอร์รัปต์จาก ไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 2	002B ₁₆

ตารางที่ 4.6 แหล่งการเกิดอินเตอร์รัปต์

เมื่อเกิดอินเตอร์รัปต์ INT0 ไมโครคอนโทรลเลอร์จะกระโดดไปที่หน่วยความจำโปรแกรม

ตำแหน่งที่ 0003₁₆ เมื่อเกิดอินเตอร์รัปต์ T0 ไมโครคอนโทรลเลอร์จะกระโดดไปที่หน่วยความจำโปรแกรม

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตำแหน่งที่ 000B₁₆ เมื่อเกิดอินเตอร์รัปต์ INT1 ไมโครคอนโทรลเลอร์จะกระโดดไปที่หน่วยความจำโปรแกรมตำแหน่งที่ 0013₁₆ เมื่อเกิดอินเตอร์รัปต์ T1 ไมโครคอนโทรลเลอร์จะกระโดดไปที่หน่วยความจำโปรแกรมตำแหน่งที่ 001B₁₆ เมื่อเกิดอินเตอร์รัปต์ SER ไมโครคอนโทรลเลอร์จะกระโดดไปที่หน่วยความจำโปรแกรมตำแหน่งที่ 0023₁₆ และเมื่อเกิดอินเตอร์รัปต์ T2 ไมโครคอนโทรลเลอร์จะกระโดดไปที่หน่วยความจำโปรแกรมตำแหน่งที่ 002B₁₆

จากอินเตอร์รัปต์ทั้ง 6 แหล่ง เมื่อจัดลำดับความสำคัญที่มากที่สุด ไปยังน้อยที่สุด จะได้ออกมาเป็นดังนี้

ลำดับการตอบสนอง	ชื่อของอินเตอร์รัปต์
1	INT0
2	T0
3	INT1
4	T1
5	SER
6	T2

แต่เราสามารถเปลี่ยนให้อินเตอร์รัปต์ใดมีความสำคัญที่สุดได้ด้วยการกำหนดค่าแกรีจิสเตอร์ IP ขนาด 8 บิต ซึ่งมีโครงสร้างดังนี้

7	6	5	4	3	2	1	0
-	-	PT2	PS	PT1	PX1	PT0	PX0

ถ้าต้องการให้อินเตอร์รัปต์ใดมีความสำคัญมากที่สุดเราก็ให้บิตนั้นเป็น 1 โดย PT2 หมายถึงลำดับความสำคัญของไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 2, PS หมายถึงลำดับความสำคัญของการสื่อสารอนุกรม, PT1 คือลำดับความสำคัญของไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 1, PX1 คือลำดับความสำคัญของ INT1, PT0 คือลำดับความสำคัญของไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 0 และ PX0 คือลำดับความสำคัญของ INT0

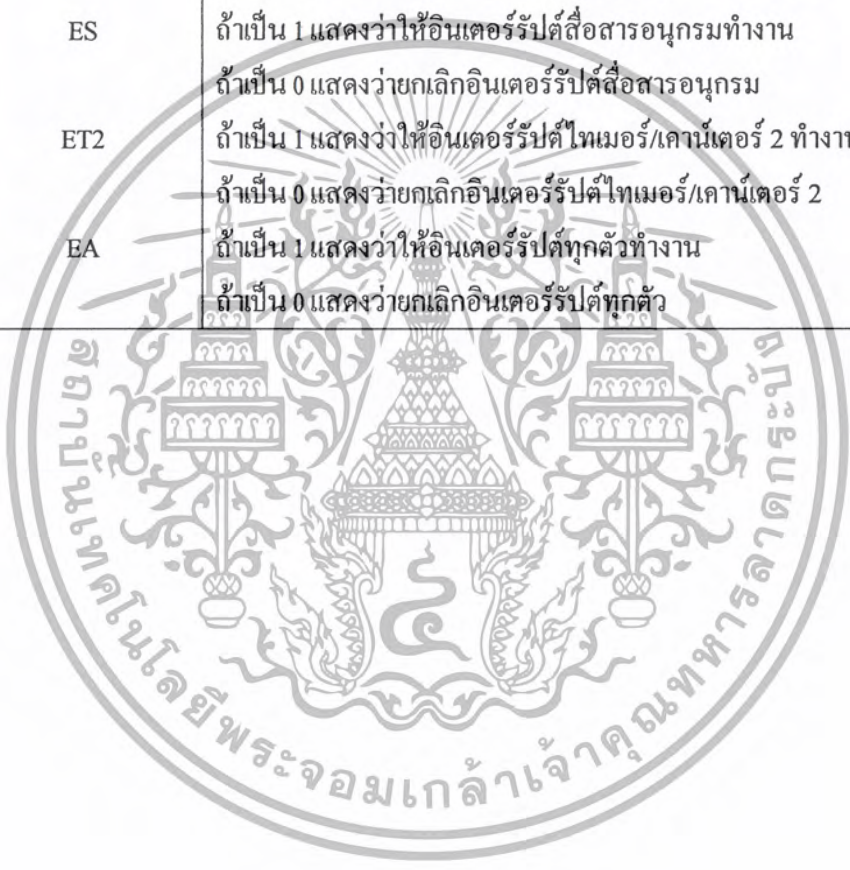
4.5.2 การควบคุมอินเตอร์รัปต์ เราต้องกำหนดค่าในรีจิสเตอร์ IE ขนาด 8 บิต มีรายละเอียดดังนี้

7	6	5	4	3	2	1	0
EA	-	ET2	ES	ET1	EX1	ET0	EX0

ตารางที่ 4.7 การควบคุมอินเตอร์รัปต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อของบิต	หน้าที่
EX0	ถ้าเป็น 1 แสดงว่าให้อินเตอร์รัปต์ภายนอก หรือ INTO ทำงาน ถ้าเป็น 0 แสดงว่ายกเลิกอินเตอร์รัปต์ภายนอก
ET0	ถ้าเป็น 1 แสดงว่าให้อินเตอร์รัปต์ไทมเมอร์/เคาน์เตอร์ 0 ทำงาน ถ้าเป็น 0 แสดงว่ายกเลิกอินเตอร์รัปต์ไทมเมอร์/เคาน์เตอร์ 0
EX1	ถ้าเป็น 1 แสดงว่าให้อินเตอร์รัปต์ภายนอก หรือ INT1 ทำงาน ถ้าเป็น 0 แสดงว่ายกเลิกอินเตอร์รัปต์ภายนอก
ET1	ถ้าเป็น 1 แสดงว่าให้อินเตอร์รัปต์ไทมเมอร์/เคาน์เตอร์ 1 ทำงาน ถ้าเป็น 0 แสดงว่ายกเลิกอินเตอร์รัปต์ไทมเมอร์/เคาน์เตอร์ 1
ES	ถ้าเป็น 1 แสดงว่าให้อินเตอร์รัปต์สื่อสารอนุกรมทำงาน ถ้าเป็น 0 แสดงว่ายกเลิกอินเตอร์รัปต์สื่อสารอนุกรม
ET2	ถ้าเป็น 1 แสดงว่าให้อินเตอร์รัปต์ไทมเมอร์/เคาน์เตอร์ 2 ทำงาน ถ้าเป็น 0 แสดงว่ายกเลิกอินเตอร์รัปต์ไทมเมอร์/เคาน์เตอร์ 2
EA	ถ้าเป็น 1 แสดงว่าให้อินเตอร์รัปต์ทุกตัวทำงาน ถ้าเป็น 0 แสดงว่ายกเลิกอินเตอร์รัปต์ทุกตัว

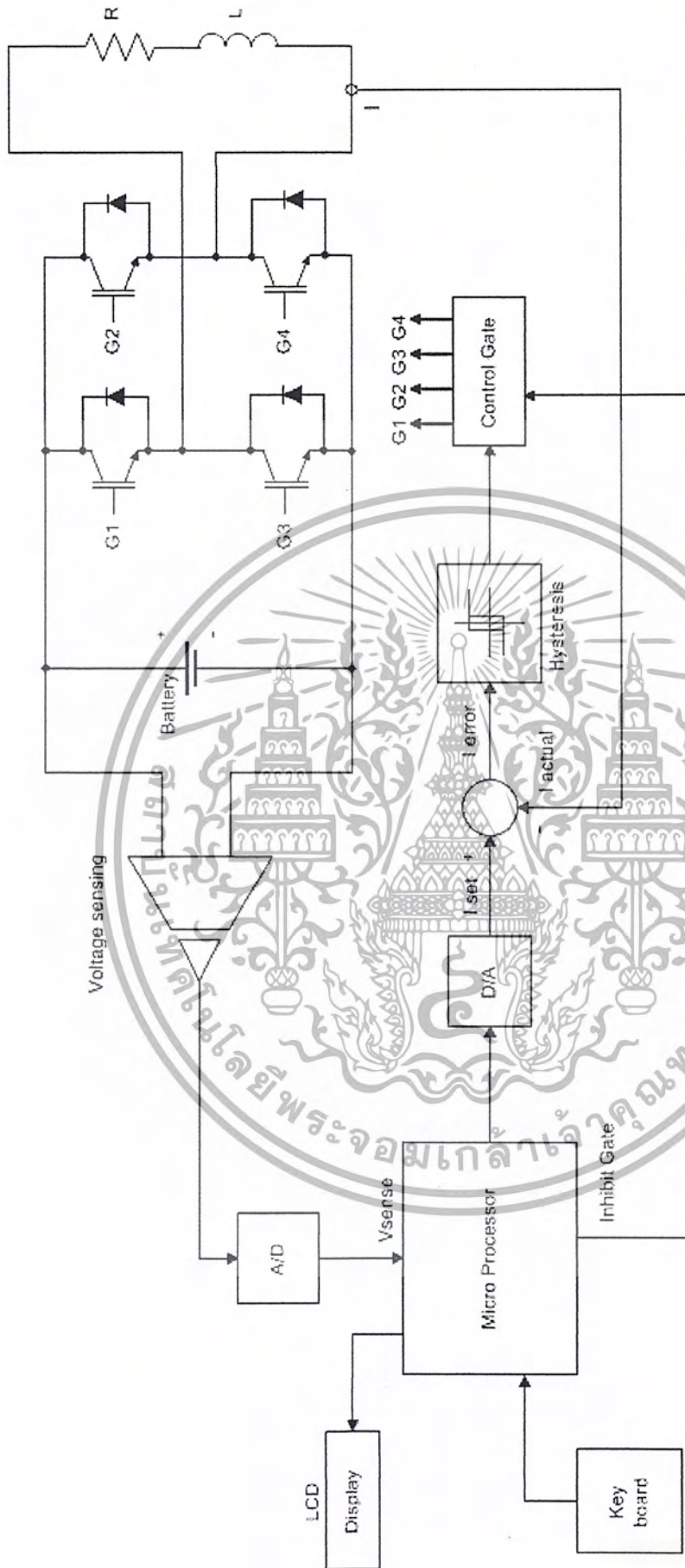


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลักการงานและการออกแบบวงจรควบคุม

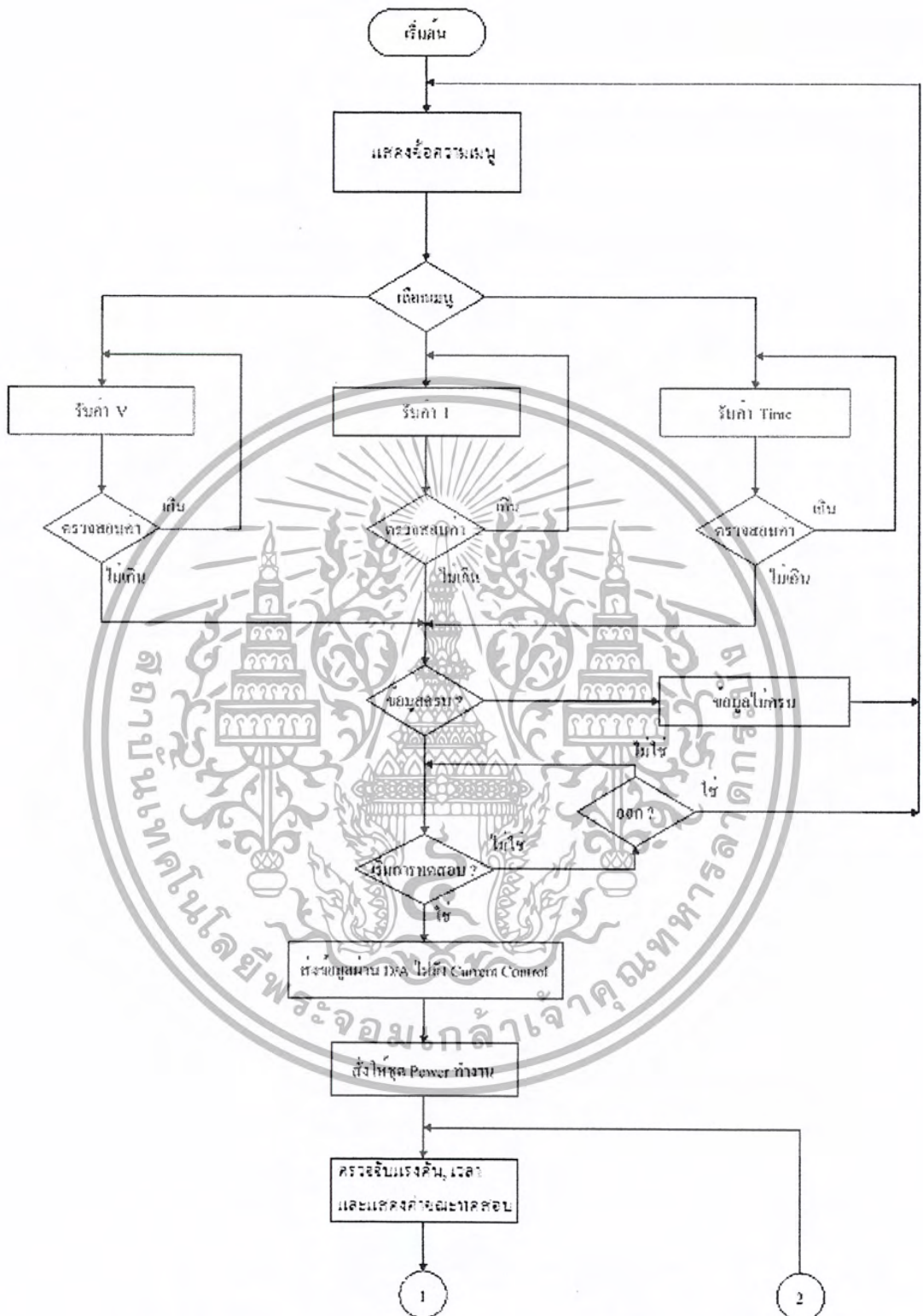
5.1 หลักการทำงานของชุดทดสอบเบตเตอร์

เริ่มจากการทำงานในส่วน ไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งในส่วนนี้จะเป็นส่วนควบคุมการทำงานของชุดทดสอบทั้งหมดในช่วงแรกนี้ ไมโครคอนโทรลเลอร์จะควบคุมการรับข้อมูลการทดสอบจากคีย์บอร์ด (Keyboard) และแสดงผลการทำงาน ไปยังจอแสดงผล ซึ่งหลังจากการป้อนข้อมูลการทดสอบครบถ้วนแล้ว ข้อมูลกระแสในการทดสอบจากไมโครคอนโทรลเลอร์ จะถูกส่งไปยังชุดแปลงดิจิทัลเป็นอนาล็อก (D/A) เพื่อให้เป็นค่ากระแสอ้างอิงในการทดสอบ (I set) ป้อนเข้าสู่ชุดควบคุมการไหลของกระแส และเมื่อมีคำสั่งให้เริ่มทำการทดสอบ ไมโครคอนโทรลเลอร์ก็จะสั่งให้ชุดควบคุมเกต (Control Gate) ทำงานทันที เป็นผลให้ชุดกำลังทำงานซึ่งชุดกำลังนี้คือ อินเวอร์เตอร์ฟูล-บริดจ์ (Full Bridge Inverter) แบบไบโพลาร์ (Bipolar) ผลการสวิตช์ซิ่งของชุดอินเวอร์เตอร์ทำให้เกิดกระแสไหลผ่านชุดโพลค่ากระแสที่ไหลผ่านโพลนี้จะมีลักษณะเป็นฟังก์ชัน ของการอินทิเกรตสัญญาณแรงดัน มีลักษณะเป็นพัลส์ที่ตกร่วมโพล ทำการป้อนกลับสัญญาณนี้ไปกลับสัญญาณกระแสอ้างอิง ก็จะได้ค่าผิดพลาด (error) ป้อนเข้าสู่ชุดอีดีเตอร์รีซิส ซึ่งสามารถปรับแถบของค่าความผิดพลาดได้ จะทำให้เอาต์พุตกระแสของชุดกำลังคงที่ตลอดอย่างต่อเนื่อง ทำให้แรงดันที่ขั้วของเบตเตอร์นั้นตกลงไปเรื่อยๆ ซึ่งแรงดันที่ขั้วจะเป็นตัวบ่งบอกว่าเบตเตอร์นั้นได้คายประจุออกมาตามพิกัดที่เก็บไว้หรือยัง ค่าแรงดันที่แสดงว่าเบตเตอร์นั้น ได้คายประจุออกมาหมดแล้วนั้นเรียกว่า แรงดันค่าสุดท้ายของการคายประจุ ในขณะที่กำลังทำการคายประจุนั้น ไมโครคอนโทรลเลอร์ ก็จะทำการตรวจจับแรงดันที่ขั้วของเบตเตอร์ และเปรียบเทียบกับค่าแรงดันสุดท้ายของการคายประจุตลอดเวลา ทราบว่าค่าแรงดันที่ขั้วของเบตเตอร์ยังมากกว่าแรงดันสุดท้ายของการคายประจุ การคายประจูก็ยังคงดำเนินต่อไป และไมโครคอนโทรลเลอร์ ก็จะนับเวลานี้ไว้ไปเรื่อยๆ จนกระทั่งแรงดันที่ขั้วเบตเตอร์มีค่าเท่ากับแรงดันค่าสุดท้ายของการคายประจุ ไมโครคอนโทรลเลอร์ ก็จะสั่งให้หยุดการคายประจุ โดยสั่งงานให้หยุดการทำงานหลังจากนั้น ไมโครคอนโทรลเลอร์ จะนำข้อมูลที่ได้จากการทดสอบ ได้แก่ เวลาและค่ากระแสคายประจุ ไปทำการประมวลผลเปรียบเทียบตามมาตรฐานการทดสอบ และแสดงผลสภาพของเบตเตอร์ที่ทดสอบนั้นออกมาทางจอแสดงผล



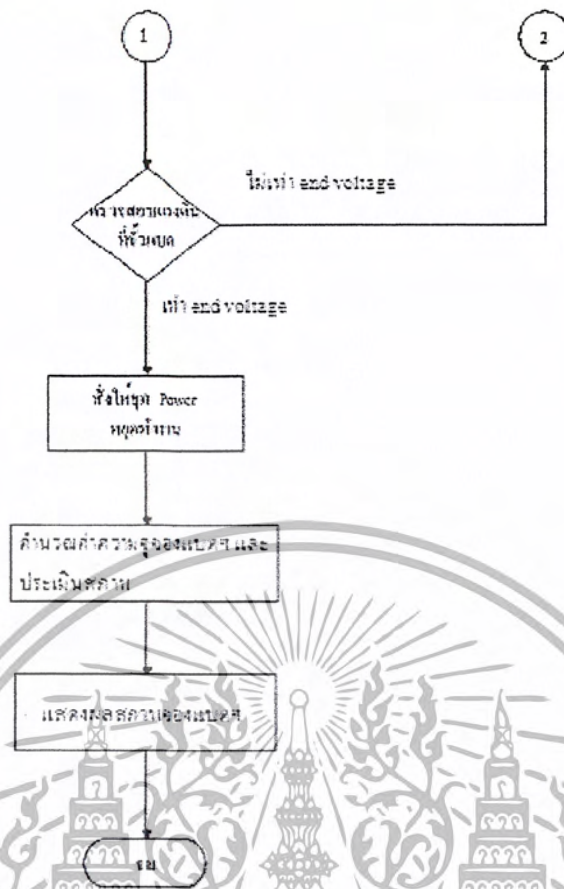
รูปที่ 5.1 บล็อก
ไดอะแกรมของ
ชุดทดสอบ
แบตเตอรี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.2 โฟลทาร์จการทำงานของส่วนควบคุม โดยไมโครคอนโทรลเลอร์

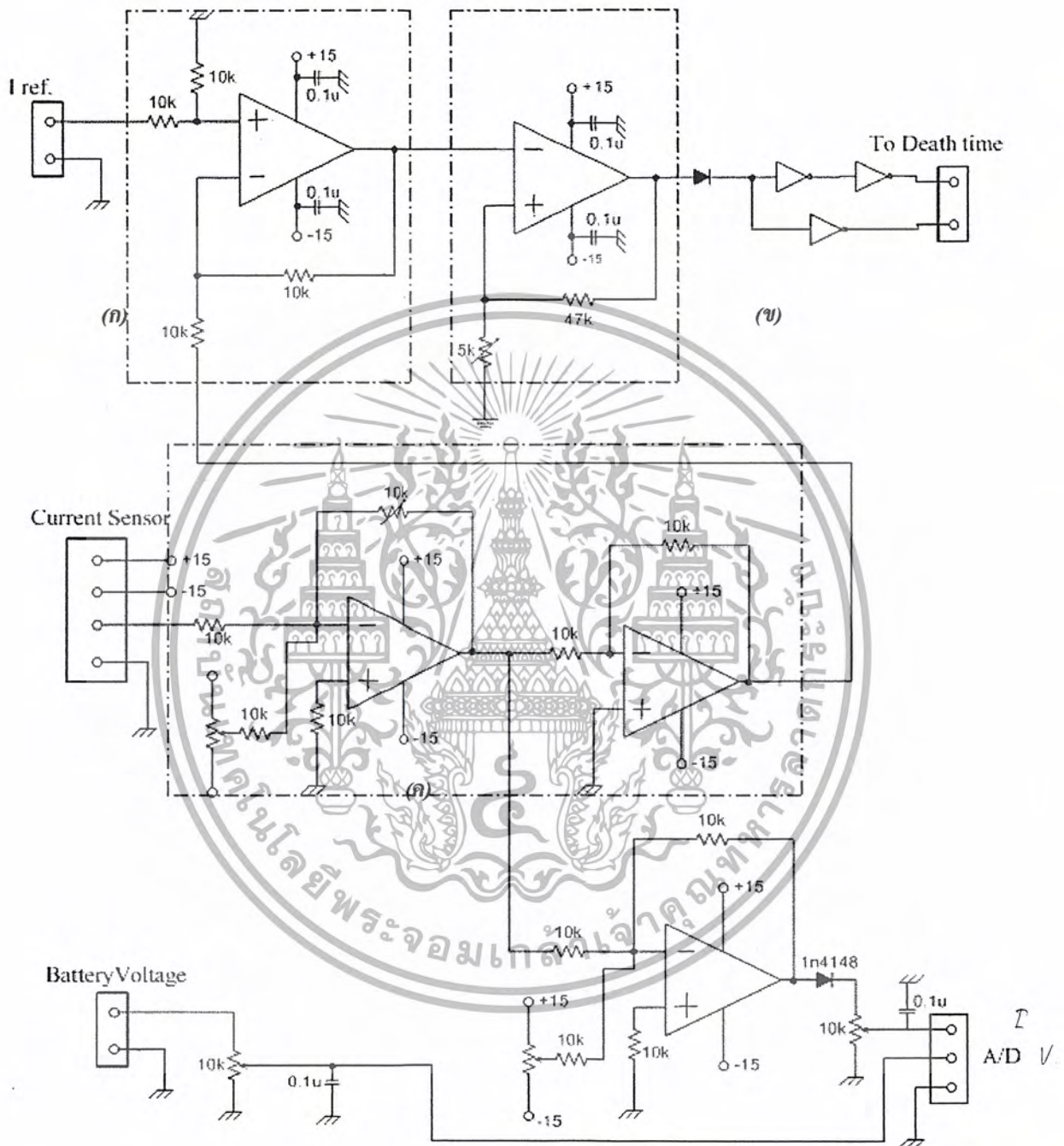
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.2 โฟลชาร์การทำงานของส่วนควบคุม โดยไมโครคอนโทรลเลอร์ (ต่อ)

5.2 วงจรที่ทำการออกแบบ

5.2.1 วงจรควบคุมและวงจรตรวจจับแรงดันขั้วแบตเตอรี่



รูปที่ 5.3 วงจรควบคุมและวงจรตรวจจับแรงดันที่ขั้วแบตเตอรี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

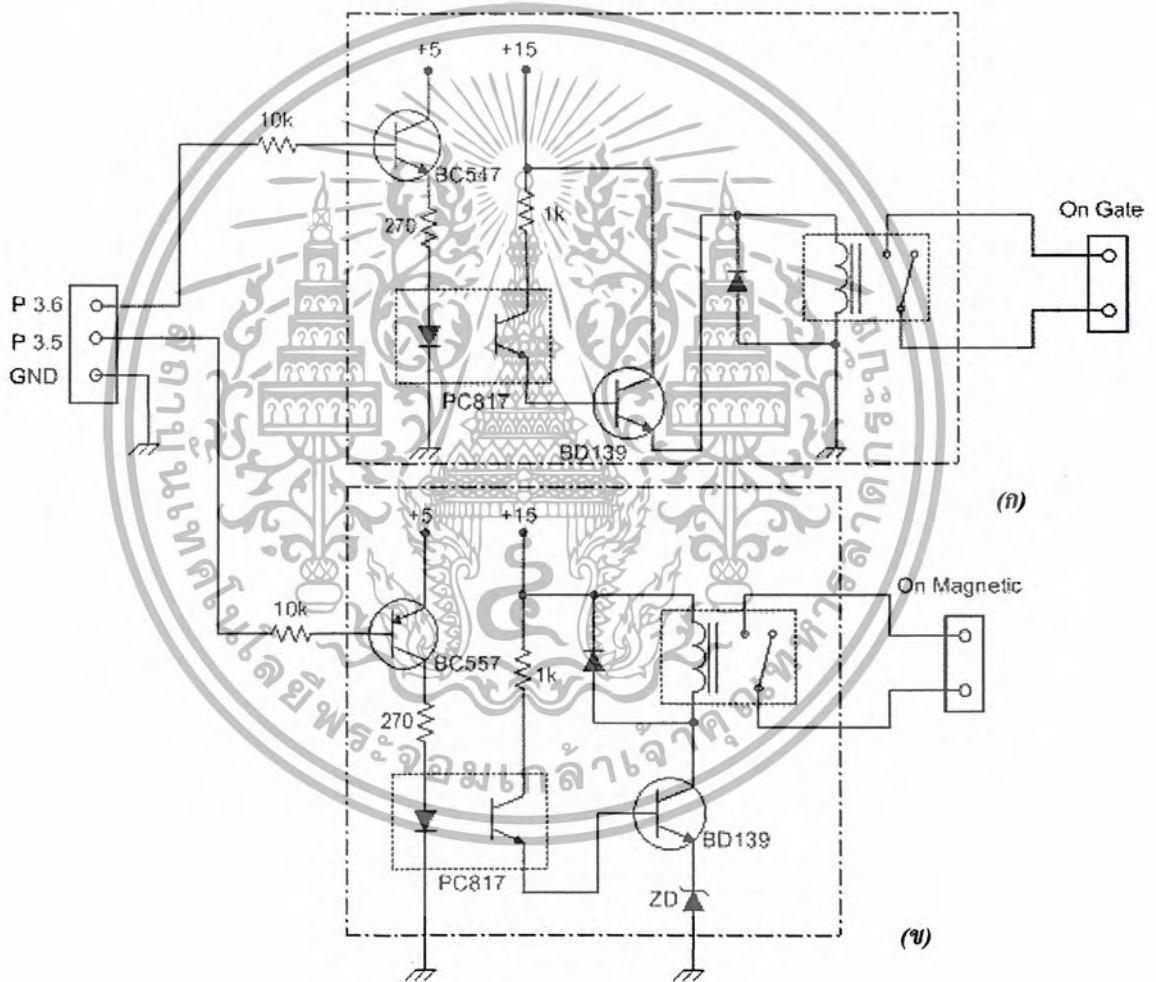
จากรูปที่ 5.3 (ก) จะเป็นวงจร error amplifier สัญญาณเอาต์พุตที่ได้จะเป็นผลต่างระหว่างสัญญาณกระแสอ้างอิงกับสัญญาณกระแสที่ผ่านจากเกน (gain) รูป (ข) จะเป็นวงจรฮีสเตอร์ซิสคอมพาราเตอร์คั้งที่ได้กล่าวในทฤษฎีตอนต้น ใช้กำหนดขอบเขตของกระแสเฉลี่ย คำนวณได้จากสมการที่ 5.1

$$V_o = \pm \frac{5k}{47k} * V_{cc} \tag{5.1}$$

รูป (ค) เป็นเกนขยายสัญญาณของกระแสที่ได้จากตัวตรวจจับกระแสคำนวณได้จากสมการที่ 5.2

$$V_o = -\frac{R_2}{R_1} V_i \tag{5.2}$$

5.2.2 วงจรออน-ออฟเกทและวงจรจับแมกเนติกคอนแทกเตอร์



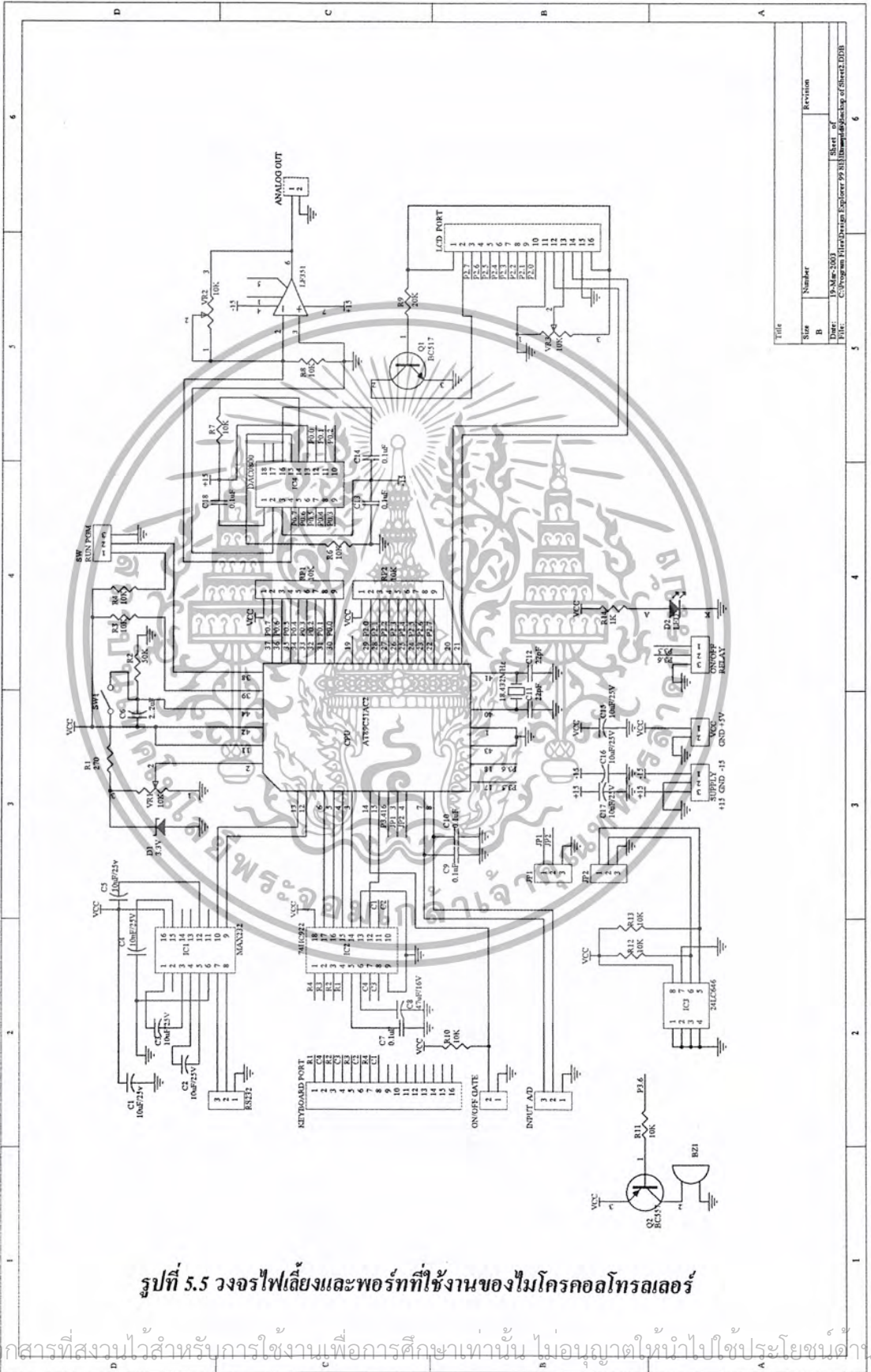
รูปที่ 5.4 วงจรออฟเกทและวงจรจับแมกเนติกคอนแทกเตอร์

จากรูปที่ 5.4 (ก) เป็นวงจรการควบคุมการออน-ออฟเกท วงจรนี้เมื่อเริ่มทำการทดสอบไมโครคอนโทรลเลอร์จะส่งสัญญาณมาที่พอร์ต P3.6 เป็นการเริ่มการทำงาน และในขณะที่แรงดันที่ขั้วของแบตเตอรี่ลดลงต่ำกว่าแรงดันสุดท้ายซึ่งได้ทำการคั้งค่าไว้ ไมโครคอนโทรลเลอร์จะสั่งให้วงจรนี้ทำงานตัดวงจร เป็นการสิ้นสุดการทดสอบ ส่วนรูป (ข) จะใช้ควบคุมการปลดความต้านทานทางด้านอินพุต

ออกจากวงจรเมื่อเริ่มทำการทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.3 พอร์ทที่ใช้งานของไมโครคอนโทรลเลอร์



รูปที่ 5.5 วงจรไฟเลี้ยงและพอร์ทที่ใช้งานของไมโครคอนโทรลเลอร์

Title	
Size	Number
Rev	Revision
Date:	Drawn by:
File:	Sheet of
	Sheet of

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชุดทดสอบแบตเตอรี่ที่เสร็จสมบูรณ์



รูปที่ 5.7 ชุดทดสอบแบตเตอรี่ขณะทำการทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

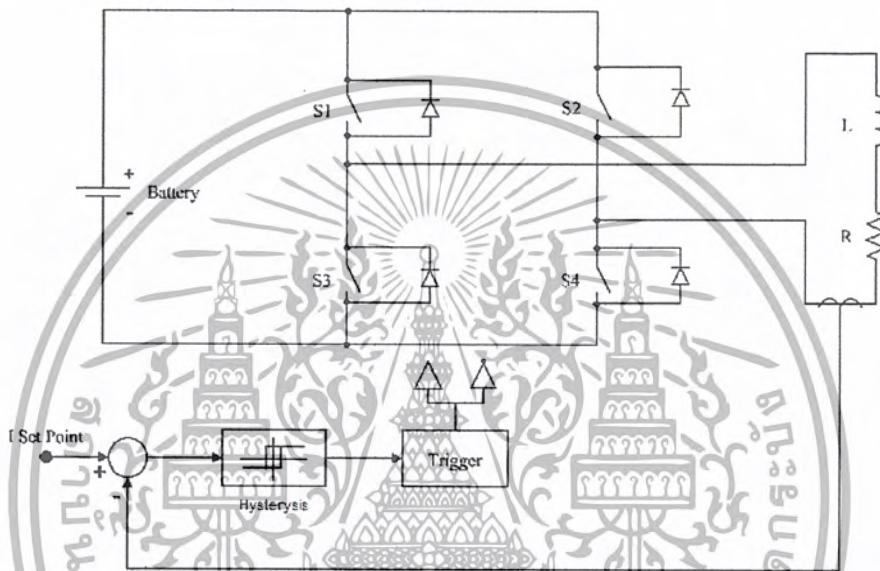
บทที่ 6

การจำลองการทดลองและการทดลองชุดทดสอบเบตเตอร์

6.1 การจำลองวงจรโดยรวมใช้การจำลองจากโปรแกรมแมทแลบ(MATLAB)

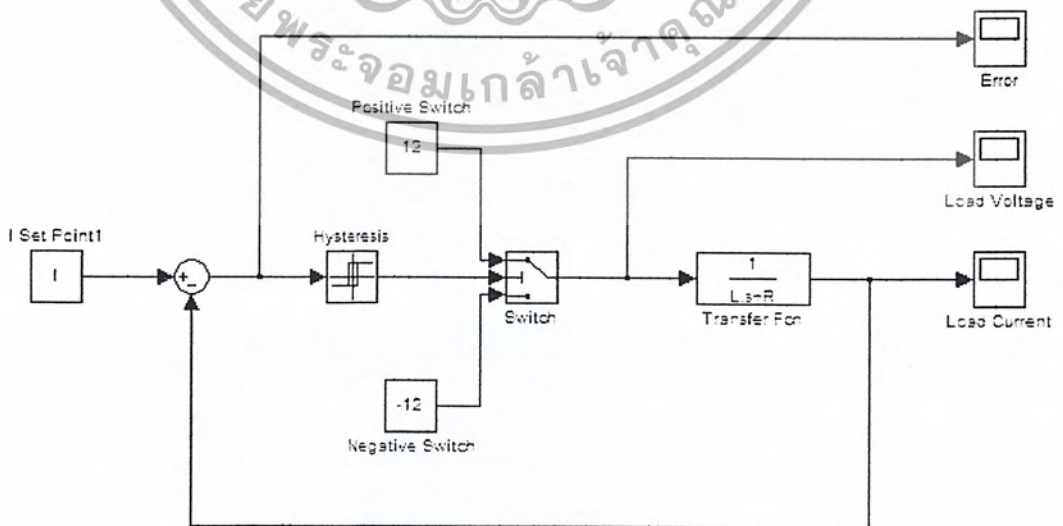
วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาหลักการทำงานของวงจร
2. เพื่อจำลองการหาค่า อินคัลเตอร์ และความต้านทาน ที่เหมาะสมกับวงจร



รูปที่ 6.1 วงจรการทำงานจริง

6.1.1 การจำลองจากโปรแกรมแมทแลบ(MATLAB)

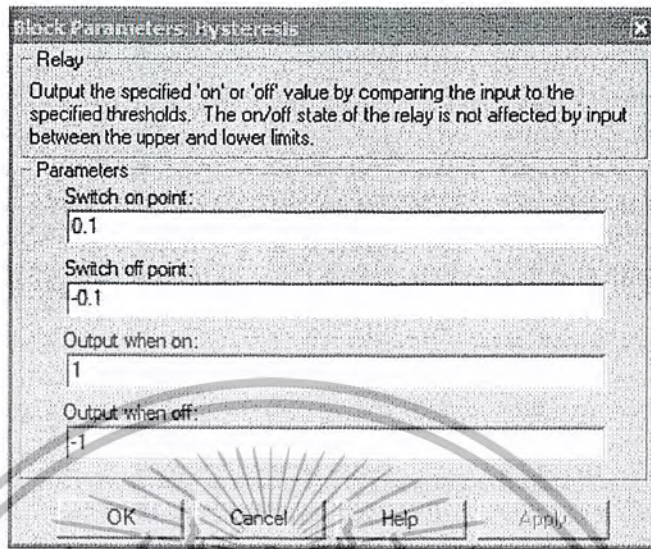


รูปที่ 6.2 วงจรการจำลองจากโปรแกรมแมทแลบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การตั้งค่าฮิสเตอร์รีซิส

ใช้ขอบเขตของแรงดัน Error ที่ค่า 0.1 Vp ต้องปรับค่าดังนี้



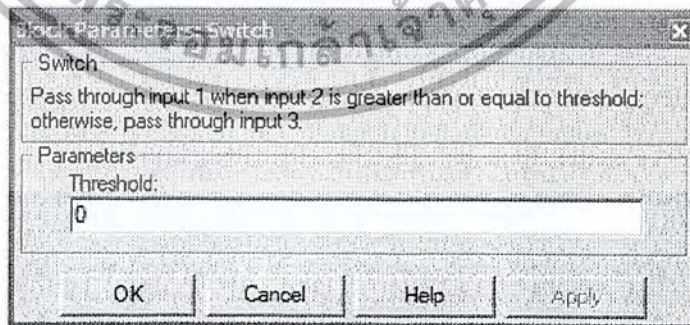
รูปที่ 6.3 การปรับตั้งค่า ฮิสเตอร์รีซิส

- ค่า Switch on point และค่า Switch on point เป็นค่าขอบเขตของความผิดพลาดของกระแสที่ไหลต่อที่เราอมให้เกิดความคลาดเคลื่อนจากกระแสปรับตั้ง ได้เท่าใดในขณะที่ สวิตซ์ทำงานและหยุดทำงาน (รูปที่ 6.3 ใช้ ± 0.1 โวลท์)

- ค่า Output when on และค่า Output when off เป็นค่าที่ถูกส่งออกไปขณะสวิตซ์ทำงานและหยุดทำงาน (รูปที่ 6.3 ใช้ ± 1)

- การตั้งค่าสวิตซ์

ใช้แทนอุปกรณ์ Switching ต้องปรับค่าดังนี้



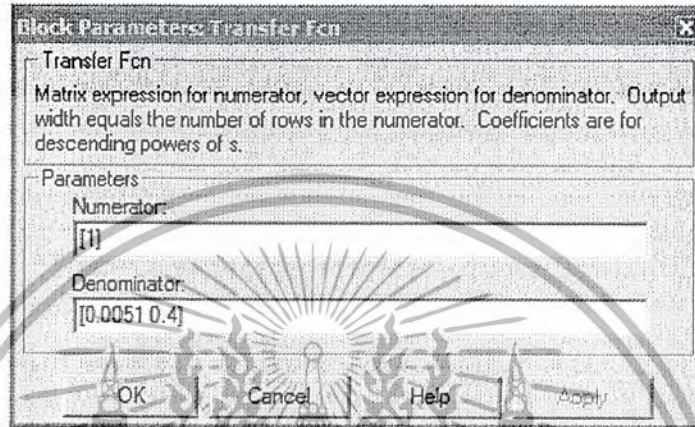
รูปที่ 6.4 การปรับตั้งค่าสวิตซ์

- ค่า Threshold เป็นค่าที่ใช้ตัดสินว่าจะส่งค่าใดออกเป็นเอาท์พุท กรณีค่าอินพุท 2 มีค่ามากกว่าค่า Threshold สวิตซ์จะส่งค่าอินพุท 1 ออกไป แต่ถ้าค่าอินพุท 2 มีค่าน้อยกว่า ค่า Threshold สวิตซ์จะส่งค่าอินพุท 3 ออกไป (รูปที่ 6.4 ใช้ค่า 0)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การตั้งค่าโหนด R-L

- รูปที่ 6.2 Transfer function คือ $\frac{1}{Ls + R} = \frac{1}{(0.0051)s + R}$
- R เลือกใช้ค่า 0.4 Ohm เพราะแรงดันต่ำสุด 8.4 V แต่กระแสสูงสุด 20 A
- ดังนั้น Transfer function คือ $\frac{1}{(0.0051)s + 0.4}$

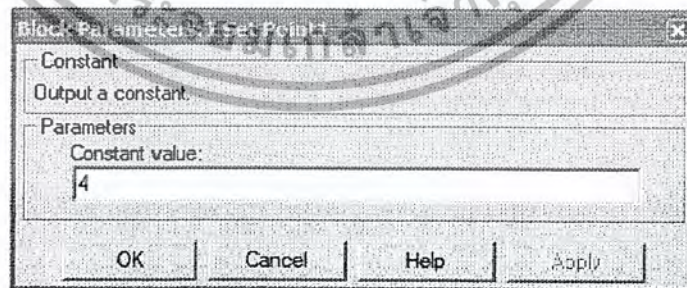


รูปที่ 6.5 การปรับตั้งค่าโหนด R-L

- ค่า Numerator เป็นค่าเศษของทราเนสเฟอร์ฟังก์ชัน (รูปที่ 6.5 ใช้ค่า 1)
- ค่า Denominator เป็นค่าส่วนของทราเนสเฟอร์ฟังก์ชัน เรียงจากตัวหลังสุดเป็นค่าที่คูณอยู่กับ S ที่มีสัมประสิทธิ์เป็น 0 ถัดมาจะคูณกับ S ที่มีสัมประสิทธิ์เป็น 1 เรียงกันไปเรื่อยๆ

- การตั้งค่ากระแสปรับตั้ง (I Set Point)

เลือกค่ากระแสที่ต้องการ แล้วตั้งค่าดังนี้



รูปที่ 6.6 การปรับตั้งค่ากระแสปรับตั้ง

- Constant value เป็นค่าคงที่ ที่ต้องการเพื่อให้เกิดค่าเอาต์พุตตามที่เรากำลังต้องการ (มองเป็นค่าไฟฟ้ากระแสตรง)

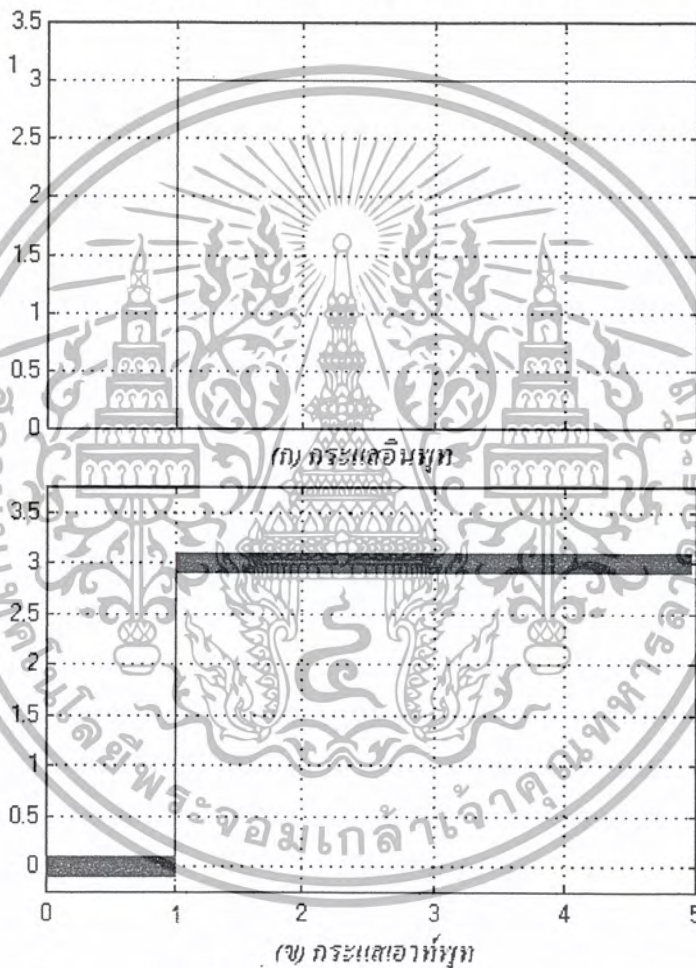
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นของหน่วยงานการไฟฟ้าการเคหะชุมชน กรุงเทพมหานคร ไม่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การทำงานของวงจรจำลองจากโปรแกรมแมทแลบ

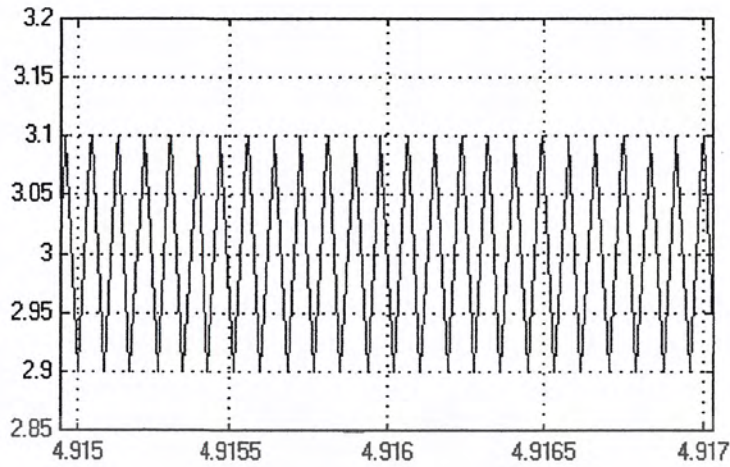
จากรูปที่ 6.2 ค่ากระแสปรับตั้งจะเป็นตัวกำหนดค่ากระแสที่ไหลลงว่าจะจ่ายกระแสค่าเท่าใด และมีการตรวจจับค่ากระแสที่ไหลมาเปรียบเทียบกับกระแสปรับตั้งเพื่อให้ได้ค่า Error ไปเข้าวงจรฮีสเทอรีซิส ขอบเขต Error ของ ฮีสเทอรีซิสทำให้ได้สัญญาณการสวิตซ์ซึ่งเพื่อให้ได้แรงดันโหลดที่ทำให้เกิดกระแสโหลดตั้งค่ากระแสปรับตั้ง

6.1.2 ผลการจำลองจากโปรแกรมแมทแลบ(MATLAB)

- กระแสปรับตั้งที่แรงดัน 3 โวลต์, ฮีสเทอรีซิส band 0.1 โวลต์



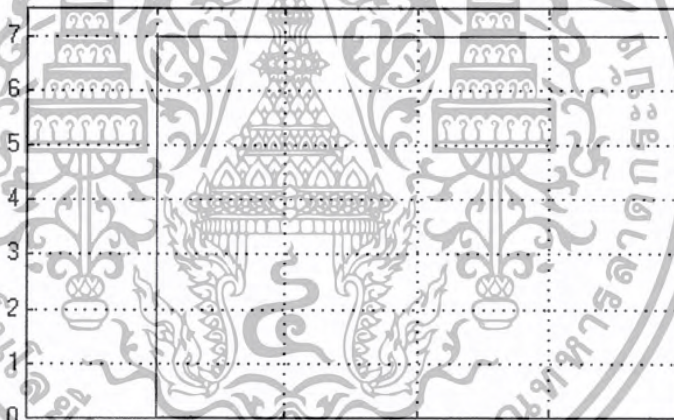
รูปที่ 6.7 กระแสปรับตั้งที่แรงดัน 3 โวลต์, ฮีสเทอรีซิสband 0.1 โวลต์



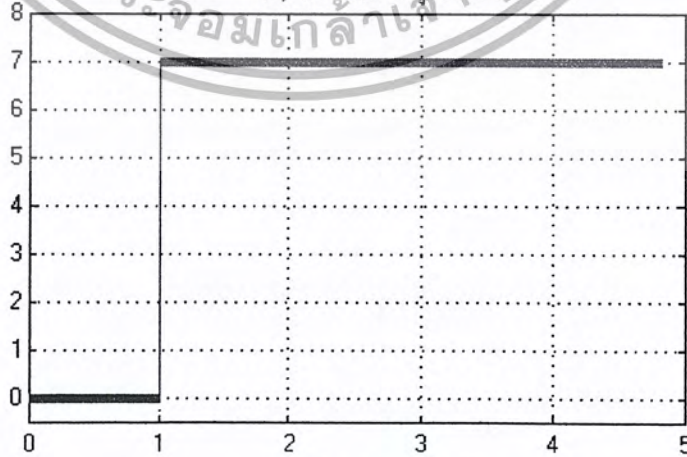
(ค) ภาพขยายของกระแสเอาต์พุต

รูปที่ 6.7 กระแสปรับตั้งที่แรงดัน 3 โวลต์, ฮิสเตอร์รีซิส band 0.1 โวลต์ (ต่อ)

- กระแสปรับตั้งที่แรงดัน 7 โวลต์, ฮิสเตอร์รีซิส band 0.1 โวลต์

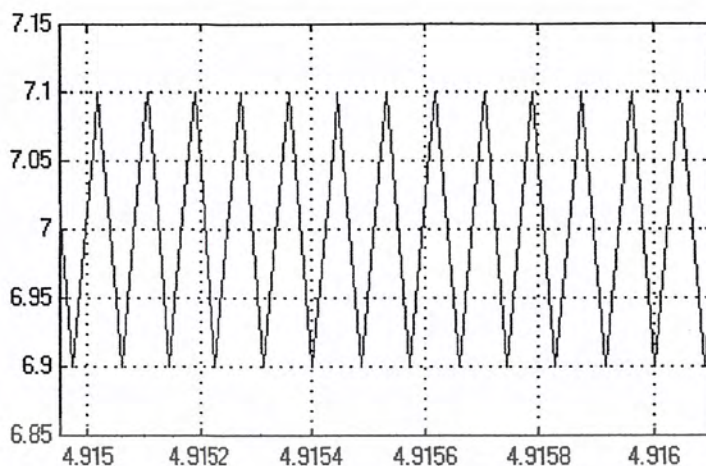


(ก) กระแสอินพุต



(ข) กระแสเอาต์พุต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



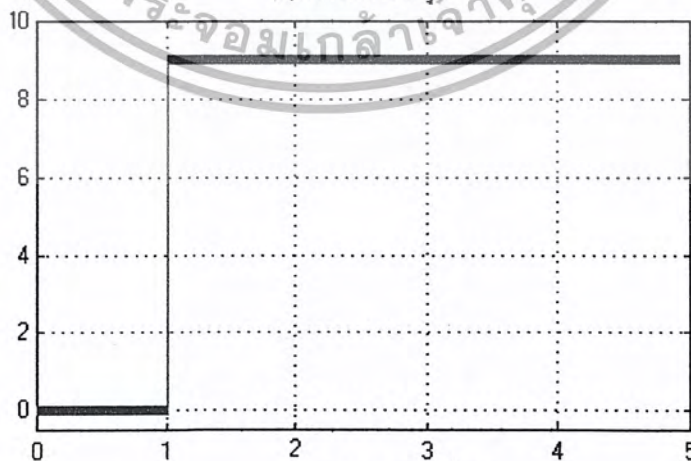
(ค) ภาพขยายกระแสเอาต์พุต

รูปที่ 6.8 กระแสปรับตั้งที่แรงดัน 7 โวลต์, ฮิสเตอร์รีซิส band 0.1 โวลต์

- กระแสปรับตั้งที่แรงดัน 9 โวลต์, ฮิสเตอร์รีซิส band 0.1 โวลต์

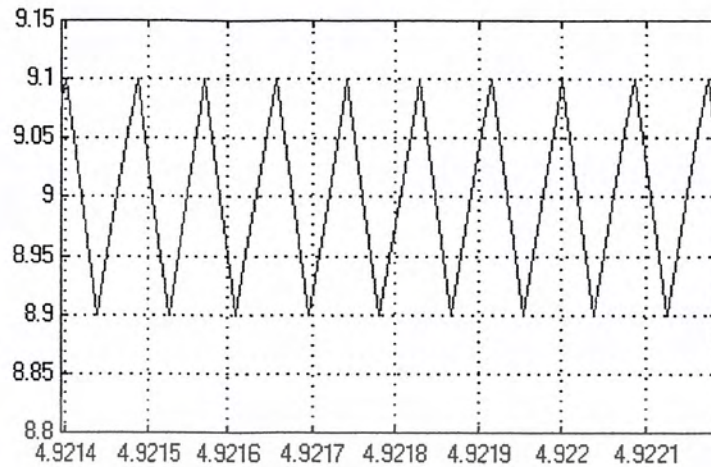


(ก) กระแสอินพุต



(ข) กระแสเอาต์พุต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ค) ภาพขยายของกระแสเอาต์พุต

รูปที่ 6.9 กระแสปรับตั้งที่แรงดัน 9 โวลต์, ฮีสเตอร์ซิส band 0.1 โวลต์ (ต่อ)

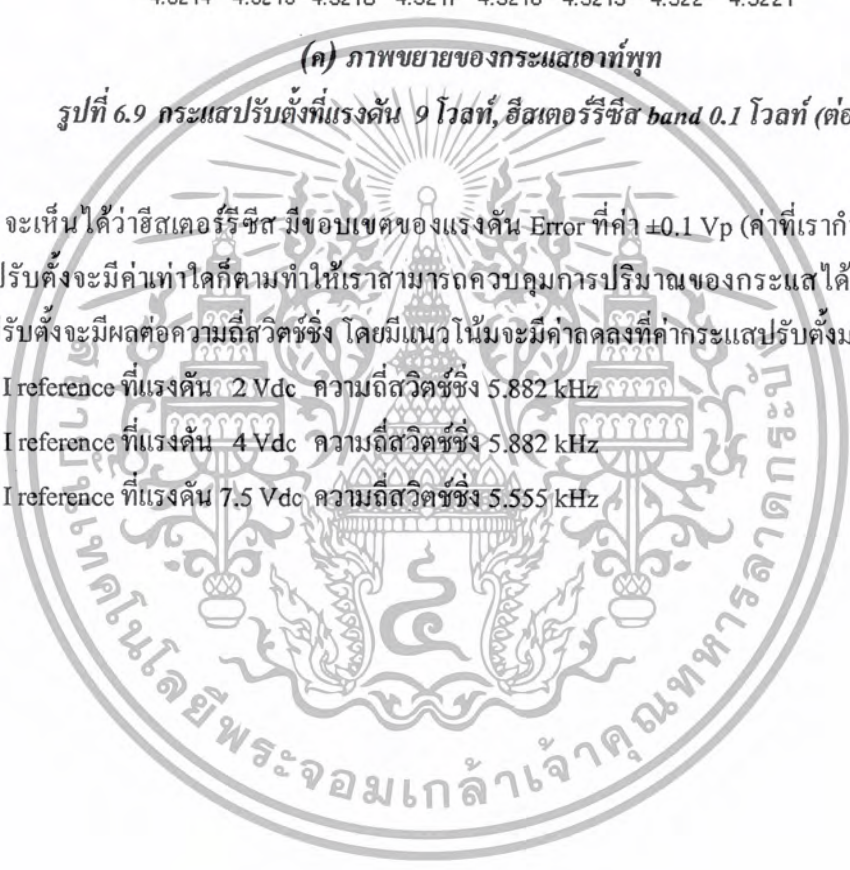
สรุป

จะเห็นได้ว่าฮีสเตอร์ซิส มีขอบเขตของแรงดัน Error ที่ค่า ± 0.1 Vp (ค่าที่เรากำหนด)ไม่ว่าค่ากระแสปรับตั้งจะมีค่าเท่าใดก็ตามทำให้เราสามารถควบคุมการปริมาณของกระแสได้ แต่การแปรค่ากระแสปรับตั้งจะมีผลต่อความถี่สวิตซ์ซึ่ง โดยมีแนวโน้มจะมีค่าลดลงที่ค่ากระแสปรับตั้งมากขึ้น

Ireference ที่แรงดัน 2 Vdc ความถี่สวิตซ์ซึ่ง 5.882 kHz

Ireference ที่แรงดัน 4 Vdc ความถี่สวิตซ์ซึ่ง 5.882 kHz

Ireference ที่แรงดัน 7.5 Vdc ความถี่สวิตซ์ซึ่ง 5.555 kHz



ผลการทดลองที่ 1

ตารางที่ 6.1 ผลการทดลองชุดทดสอบแบตเตอรี่

ครั้งที่	I ref. (A)	ย่านโปรบวัด กระแส	ค่าที่วัดได้ (mV)	คิดเป็นกระแส (A)	ค่าที่วัดได้หลัง ปรับเกน(A)	% ผิดพลาด
1	1	100mV/A	47.6	0.476	0.92	8%
2	2	100mV/A	182.2	1.822	1.94	3%
3	4	100mV/A	389.8	3.898	3.91	2.25%
4	20	10mV/A	195.4	19.54	19.63	1.85%
5	45	10mV/A	441.8	44.18	44.7	0.66%
6	34	10mV/A	337.6	33.76	33.76	0.70%
7	28	10mV/A	278.1	27.81	27.81	0.67%
8	7	100mV/A	695.8	6.953	6.953	0.67%

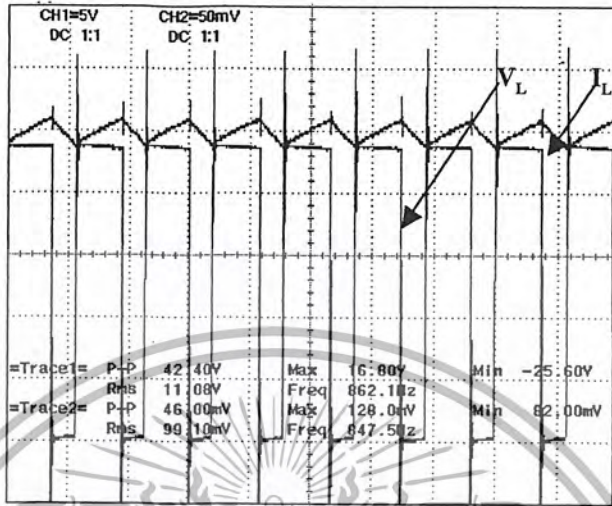
สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองจะเห็นว่าค่าเริ่มต้นของการทดลองนั้นกระแสจะยังไม่เป็นไปตามที่ได้คาดหมายไว้ทั้งนี้สาเหตุอาจจะมาความผิดพลาดของ ส่วนที่ใช้ตรวจจับกระแสในการ โคลงรูป ความผิดพลาดของเกนที่ได้ปรับตามการคำนวณ หรือเกิดจากแรงดันออฟเซตในวงจรคอนโทรล และจะเห็นว่าการปรับเกนที่ค่ากระแสปรับตั้งค่าน้อยๆจะทำได้ค่อนข้างยากเพราะมีความละเอียดสูงกว่าที่ค่ากระแสปรับตั้งมากๆ

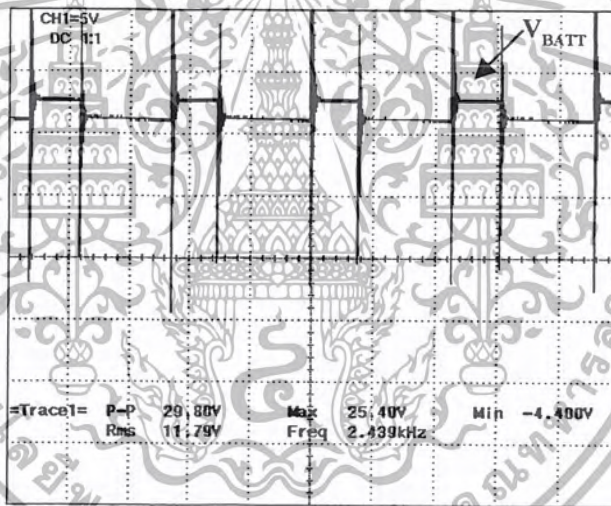
จะเห็นว่าจากการปรับแต่งเกนทำให้ ได้ค่าความผิดพลาดน้อยพอที่จะสามารถทดสอบ กระดาษประจุได้จริงซึ่งมีค่าความผิดพลาดเพียง 0.66% โดยเฉลี่ยเท่านั้น ดังนั้นชุดทดสอบนี้สามารถใช้ได้จริง

ผลการทดลองที่ 2

บันทึกรูปคลื่นจาก GS แบตเตอรี่ , ความจุ 65 Ah , แรงดันที่ขั้วแบตเตอรี่ 12V , จ่ายกระแสที่ 10 A



(ก)



(ข)

รูปที่ 6.11 ผลการตรวจจ็ับกระแสไหลต แรงดันที่ไหลต และ แรงดันที่ขั้วแบตเตอรี่

สรุปผลจากรูปของ กระแสไหลต แรงดันที่ไหลต แรงดันที่ขั้วแบตเตอรี่

จากรูปที่ 6.11 (ก) จะเห็นว่าแรงดันไหลต V_L มีขนาดแรงดันตอนสวิทซ์ซึ่งทางด้านบวก น้อยกว่าขนาดแรงดันตอนสวิทซ์ซึ่งทางด้านลบพิจารณารูปที่ 6.11 (ข) แรงดันที่ขั้วแบตเตอรี่จะไม่เรียบ เป็นไฟฟ้ากระแสตรงปกติซึ่งสาเหตุจะสรุปได้ดังนี้

ขณะที่มีการสวิทซ์ซึ่งแรงดันบวก แบตเตอรี่มีการจ่ายไหลตทำให้ในช่วงนี้แรงดันที่ขั้ว แบตเตอรี่มีค่าลดลง(โวลต์เตจเรตกูละชั้น) และในช่วงจ่ายแรงดันลบจะมีพลังงานที่คายออกมาจากอินดัก เตอร์ดังนั้นก็เปรียบเสมือนแบตเตอรี่ไม่ได้จ่ายไหลตแรงดันในช่วงนี้จึงไม่ลดลง ดังรูปที่ 6.11 (ข) จึงเป็น ผลให้รูปคลื่นของแรงดันที่ไหลตเป็นดังรูปที่ 6.11 (ก) ซึ่งแรงดันไหลต V_L มีขนาดแรงดันตอนสวิทซ์ซึ่ง

ทางด้านบวกน้อยกว่าขนาดแรงดันตอนสวิทซ์ซึ่งทางด้านลบ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 7

การทดสอบและสรุปผลการทดสอบ

7.1 การทดสอบแบตเตอรี่ด้วยชุดทดสอบ

วัตถุประสงค์

1. เพื่อให้ได้กราฟคุณสมบัติของแบตเตอรี่ที่นำมาทดสอบ
2. เพื่อประเมินคุณภาพของแบตเตอรี่ที่นำมาทดสอบ

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

- | | |
|-------------------------------|-----------|
| 1. ชุดทดสอบแบตเตอรี่ | 1 เครื่อง |
| 2. สโคป | 1 เครื่อง |
| 3. โพรบวัดไฟฟ้ากระแสตรง | 1 สาย |
| 4. แบตเตอรี่ 12 หรือ 24 โวลต์ | 1 ตัว |
| 5. มัลติมิเตอร์ | 1 เครื่อง |

ขั้นตอนการทดสอบ

1. ต่อแบตเตอรี่เข้ากับชุดทดสอบ
2. ป้อนค่าที่ต้องใช้ในการทดสอบตามที่ไมโครคอนโทรลเลอร์ต้องการอันได้แก่ ค่าแรงดันขั้วแบตเตอรี่, ค่าความจุแบตเตอรี่, ค่าความถี่ในการตรวจจับแรงดัน, ค่ากระแสจ่ายโหลด, ค่าแรงดันสุดท้าย
3. ทำการรันชุดทดสอบ
4. บันทึกผลเมื่อชุดทดสอบทดสอบเสร็จสิ้น
5. นำผลที่ได้ไปพล็อตกราฟ แรงดัน ต่อ เวลา ซึ่งจะเห็นกราฟในการจ่ายโหลดของแบตเตอรี่ตัวนั้นๆ
6. ประเมินคุณสมบัติของแบตเตอรี่จากกราฟในข้อ 5.

ผลการทดสอบ

● ผลการทดสอบที่ 1

แบตเตอรี่ยี่ห้อ 3K แบตเตอรี่ ความจุ 200 Ah , แรงดันที่ขั้วแบตเตอรี่ 12V , ทดสอบที่กระแส 40 A , ความถี่ในการบันทึกค่า 2 นาที/ครั้ง

ตารางที่ 7.1 ผลการบันทึกค่า 3K แบตเตอรี่, 200 Ah, 12V, 40 A, ความถี่ในการบันทึกค่า 2 นาที/ครั้ง

นาฬิกาที่	แรงดันแบตเตอรี่ (V)	นาฬิกาที่	แรงดันแบตเตอรี่ (V)	นาฬิกาที่	แรงดันแบตเตอรี่ (V)	นาฬิกาที่	แรงดันแบตเตอรี่ (V)
0	12	48	12	96	11.88	144	11.77
2	12.12	50	12	98	11.88	146	11.77
4	12.12	52	12	100	11.88	148	11.77
6	12.12	54	12	102	12	150	11.77
8	12.12	56	12	104	11.88	152	11.77
10	12.12	58	12	106	11.88	154	11.77
12	12.12	60	12	108	11.88	156	11.77
14	12.12	62	12	110	11.88	158	11.77
16	12.12	64	11.88	112	11.88	160	11.88
18	12.12	66	11.88	114	11.88	162	11.88
20	12.12	68	12	116	11.88	164	11.65
22	12.12	70	11.88	118	11.88	166	11.77
24	12.12	72	11.88	120	11.88	168	11.77
26	12.12	74	11.88	122	11.88	170	11.77
28	12.12	76	11.88	124	11.88	172	11.77
30	12	78	11.88	126	11.88	174	11.77
32	12	80	11.88	128	11.88	176	11.77
34	12.12	82	12	130	11.88	178	11.65
36	12.12	84	11.88	132	11.77	180	11.77
38	11.88	86	11.88	134	11.77	182	11.77
40	12	88	12	136	11.88	184	11.77
42	12	90	11.88	138	11.88	186	11.77
44	12	92	11.88	140	11.77	188	11.65
46	12	94	11.88	142	11.88	190	11.65

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

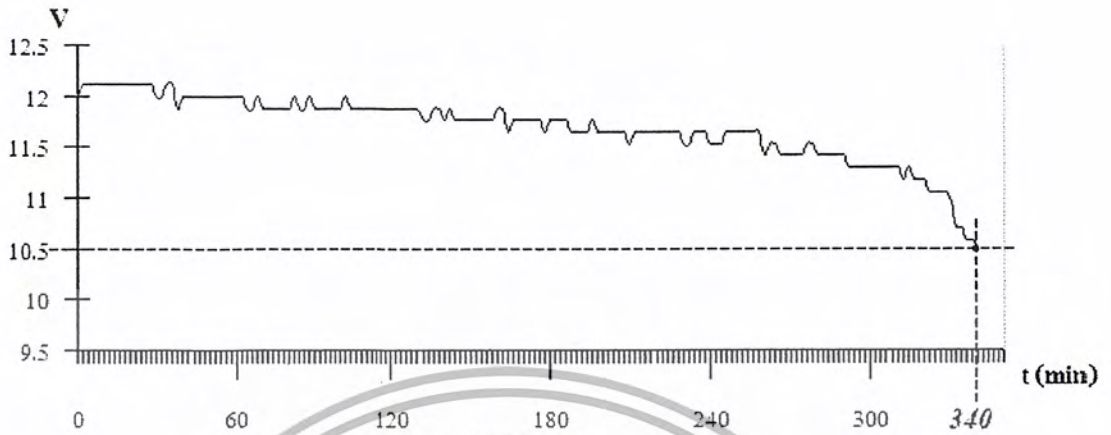
ตารางที่ 7.1 ผลการบันทึกค่า 3Kแบตเตอรี่, 200 Ah, 12V, 40 A, ความถี่ในการบันทึกค่า 2 นาที/ครั้ง (ต่อ)

นาทีที่	แรงดันแบตเตอรี่ (V)	นาทีที่	แรงดันแบตเตอรี่ (V)	นาทีที่	แรงดันแบตเตอรี่ (V)	นาทีที่	แรงดันแบตเตอรี่ (V)
192	11.65	240	11.53	288	11.41	336	10.59
194	11.65	242	11.53	290	11.41	338	10.59
196	11.77	244	11.53	292	11.29	340	10.5
198	11.65	246	11.65	294	11.29		
200	11.65	248	11.65	296	11.29		
202	11.65	250	11.65	298	11.29		
204	11.65	252	11.65	300	11.29		
206	11.65	254	11.65	302	11.29		
208	11.65	256	11.65	304	11.29		
210	11.53	258	11.65	306	11.29		
212	11.65	260	11.41	308	11.29		
214	11.65	262	11.53	310	11.29		
216	11.65	264	11.53	312	11.18		
218	11.65	266	11.41	314	11.29		
220	11.65	268	11.41	316	11.18		
222	11.65	270	11.41	318	11.18		
224	11.65	272	11.41	320	11.18		
226	11.65	274	11.41	322	11.06		
228	11.65	276	11.53	324	11.06		
230	11.53	278	11.53	326	11.06		
232	11.53	280	11.41	328	11.06		
234	11.65	282	11.41	330	10.94		
236	11.65	284	11.41	332	10.71		
238	11.65	286	11.41	334	10.71		

เวลาในการทดสอบ : 5 ชม. 41 นาที ความจุแบตเตอรี่ 113.3 % ของที่กัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการบันทึกค่าได้กราฟดังนี้



รูปที่ 7.1 กราฟแรงดันจ่ายโหลด 3K แบตเตอรี่ 200Ah 12V กระแสคายประจุ 40A

- ผลการทดสอบที่ 2
แบตเตอรี่หือ GS แบตเตอรี่ ความจุ 65 Ah , แรงดันที่ขั้วแบตเตอรี่ 12V , ทดสอบที่
กระแส 50 A , ความถี่ในการบันทึกค่า 1 นาที/ครั้ง

ตารางที่ 7.2 ผลการบันทึกค่า GS แบตเตอรี่ , 65 Ah , 12V , 50 A , ความถี่ในการบันทึกค่า 1 นาที/ครั้ง

นาทีที่	แรงดันแบตเตอรี่ (V)	นาทีที่	แรงดันแบตเตอรี่ (V)	นาทีที่	แรงดันแบตเตอรี่ (V)	นาทีที่	แรงดันแบตเตอรี่ (V)
0	11.77	9	11.77	18	11.53	27	11.41
1	11.77	10	11.65	19	11.65	28	11.29
2	11.88	11	11.65	20	11.53	29	11.41
3	11.77	12	11.65	21	11.53	30	11.41
4	11.77	13	11.65	22	11.53	31	11.41
5	11.77	14	11.53	23	11.53	32	11.29
6	11.77	15	11.65	24	11.41	33	11.29
7	11.65	16	11.53	25	11.41	34	11.29
8	11.77	17	11.53	26	11.53	35	11.29

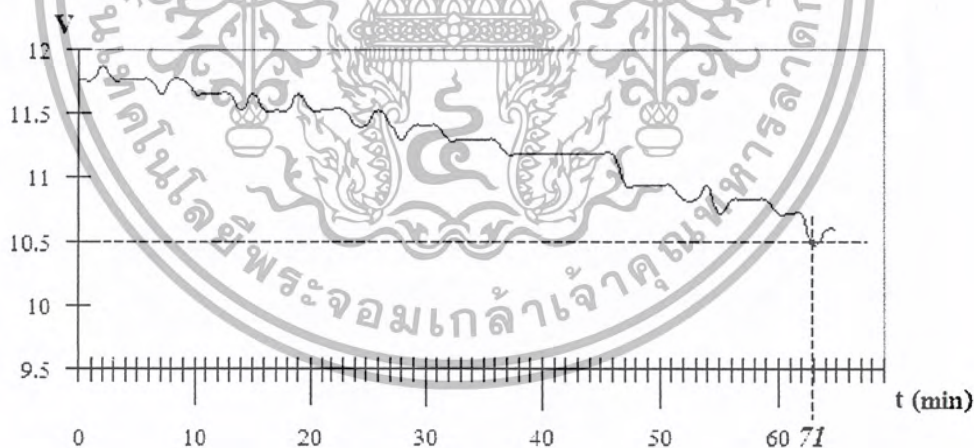
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 7.2 ผลการบันทึกค่า GS แบตเตอรี่, 65 Ah, 12V, 50 A, ความถี่ในการบันทึกค่า 1 นาที/ครั้ง (ต่อ)

นาทีที่	แรงดันแบตเตอรี่ (V)	นาทีที่	แรงดันแบตเตอรี่ (V)	นาทีที่	แรงดันแบตเตอรี่ (V)	นาทีที่	แรงดันแบตเตอรี่ (V)
36	11.29	44	11.18	52	10.82	60	10.71
37	11.18	45	11.18	53	10.82	61	10.71
38	11.18	46	11.18	54	10.94	62	10.71
39	11.18	47	10.94	55	10.71	63	10.47
40	11.18	48	10.94	56	10.82	64	10.59
41	11.18	49	10.94	57	10.82	65	10.59
42	11.18	50	10.94	58	10.82		
43	11.18	51	10.94	59	10.82		

เวลาในการทดสอบ: 1 ชม. 5 นาที ความจุแบตเตอรี่ 83.3% ของที่กัก

จากผลการบันทึกค่าได้กราฟดังนี้



รูปที่ 7.2 กราฟแรงดันจ่ายโหลด GS แบตเตอรี่ 65Ah 12V กระแสคายประจุ 50A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

● ผลการทดสอบที่ 3

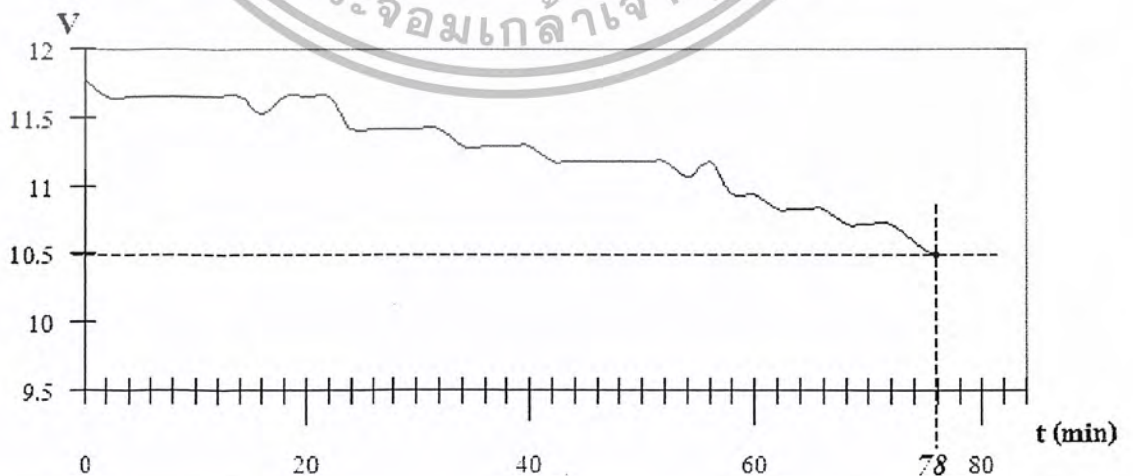
แบตเตอรี่ยี่ห้อ GS แบตเตอรี่ ความจุ 65 Ah , แรงดันที่ขั้วแบตเตอรี่ 12V , ทดสอบที่ กระแส 30 A , ความถี่ในการบันทึกค่า 2 นาที/ครั้ง

ตารางที่ 7.3 ผลการบันทึกค่า GS แบตเตอรี่ , 65 Ah , 12V , 30 A , ความถี่ในการบันทึกค่า 2 นาที/ครั้ง

นาทีที่	แรงดันแบตเตอรี่ (V)	นาทีที่	แรงดันแบตเตอรี่ (V)	นาทีที่	แรงดันแบตเตอรี่ (V)	นาทีที่	แรงดันแบตเตอรี่ (V)
0	11.77	20	11.65	40	11.29	60	10.94
2	11.65	22	11.65	42	11.18	62	10.82
4	11.65	24	11.41	44	11.18	64	10.82
6	11.65	26	11.41	46	11.18	66	10.82
8	11.65	28	11.41	48	11.18	68	10.71
10	11.65	30	11.41	50	11.18	70	10.71
12	11.65	32	11.41	52	11.18	72	10.71
14	11.65	34	11.29	54	11.06	74	10.59
16	11.53	36	11.29	56	11.18	76	10.47
18	11.65	38	11.29	58	10.94		

เวลาในการทดสอบ : 1 ชม. 16 นาที ความจุแบตเตอรี่ 56.9% ของพิกัด

จากผลการบันทึกค่าได้กราฟดังนี้



รูปที่ 7.3 กราฟแรงดันจ่ายโหลด GS แบตเตอรี่ 65Ah 12V กระแสคงที่ 30A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

● ผลการทดสอบที่ 4

แบตเตอรี่ยี่ห้อ 3K แบตเตอรี่ ความจุ 200 Ah , แรงดันที่ขั้วแบตเตอรี่ 12V , ทดสอบที่ กระแส 50 A , ความถี่ในการบันทึกค่า 2 นาที/ครั้ง

ตารางที่ 7.4 ผลการบันทึกค่า 3K แบตเตอรี่ , 200 Ah , 12V , 50 A , ความถี่ในการบันทึกค่า 2 นาที/ครั้ง

นาทีที่	แรงดันแบตเตอรี่ (V)	นาทีที่	แรงดันแบตเตอรี่ (V)	นาทีที่	แรงดันแบตเตอรี่ (V)	นาทีที่	แรงดันแบตเตอรี่ (V)
0	12.12	36	12	72	11.88	108	11.77
2	12.12	38	12	74	11.77	110	11.65
4	12.12	40	12	76	11.88	112	11.65
6	12	42	12	78	11.77	114	11.65
8	12.12	44	12	80	11.77	116	11.65
10	12.12	46	12	82	11.77	118	11.65
12	12	48	11.88	84	11.77	120	11.53
14	12.12	50	11.88	86	11.77	122	11.53
16	12.24	52	11.88	88	11.77	124	11.65
18	12.12	54	11.88	90	11.88	126	11.53
20	12.12	56	11.88	92	11.77	128	11.65
22	12.12	58	12	94	11.65	130	11.53
24	12	60	11.88	96	11.65	132	11.53
26	12	62	11.88	98	11.77	134	11.53
28	12	64	11.88	100	11.65	136	11.53
30	12.12	66	11.88	102	11.77	138	11.41
32	12	68	11.88	104	11.65	140	11.53
34	12	70	11.88	106	11.65	142	11.53

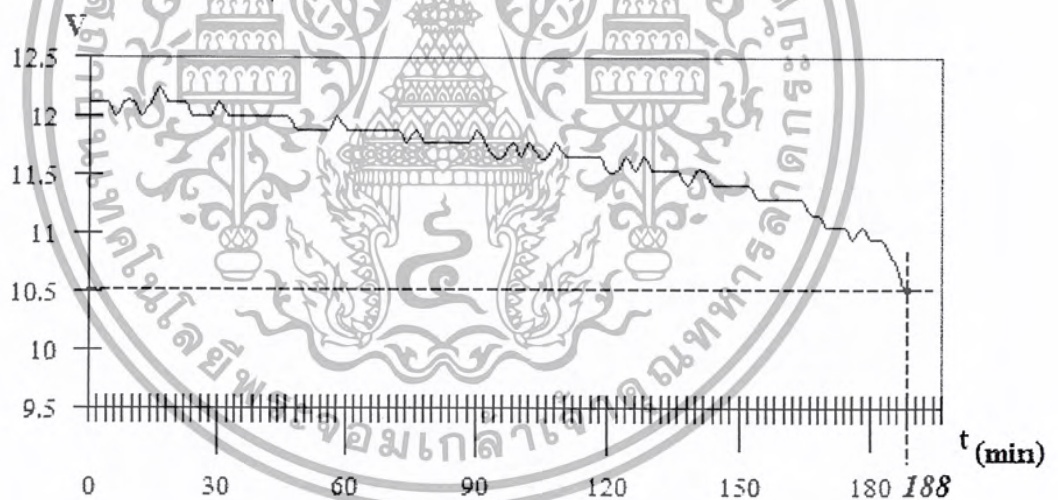
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 7.4 ผลการบันทึกค่า 3K แบตเตอรี่ , 200 Ah ,12V , 50 A , ความถี่ในการบันทึกค่า 2 นาที/ครั้ง(ต่อ)

นาทีที่	แรงดันแบตเตอรี่ (V)	นาทีที่	แรงดันแบตเตอรี่ (V)	นาทีที่	แรงดันแบตเตอรี่ (V)	นาทีที่	แรงดันแบตเตอรี่ (V)
144	11.41	156	11.29	168	11.16	180	10.94
146	11.41	158	11.29	170	11.06	182	10.94
148	11.41	160	11.29	172	11.06	184	10.82
150	11.41	162	11.29	174	11.06	186	10.71
152	11.41	164	11.29	176	10.94	188	10.47
154	11.29	166	11.18	178	11.06		

เวลาในการทดสอบ : 3 ชม. 8 นาที ความจุแบตเตอรี่ 77.5%

จากผลการบันทึกค่าได้กราฟดังนี้



รูปที่ 7.4 กราฟแรงดันจ่ายโหลด 3K แบตเตอรี่ 200Ah , 12V กระแสจ่ายประจุม 50A

● ผลการทดสอบที่ 5

แบตเตอรี่ยี่ห้อ GS แบตเตอรี่ ความจุ 130 Ah , แรงดันที่ขั้วแบตเตอรี่ 24V , ทดสอบที่ กระแส 40 A , ความถี่ในการบันทึกค่า 2 นาที/ครั้ง

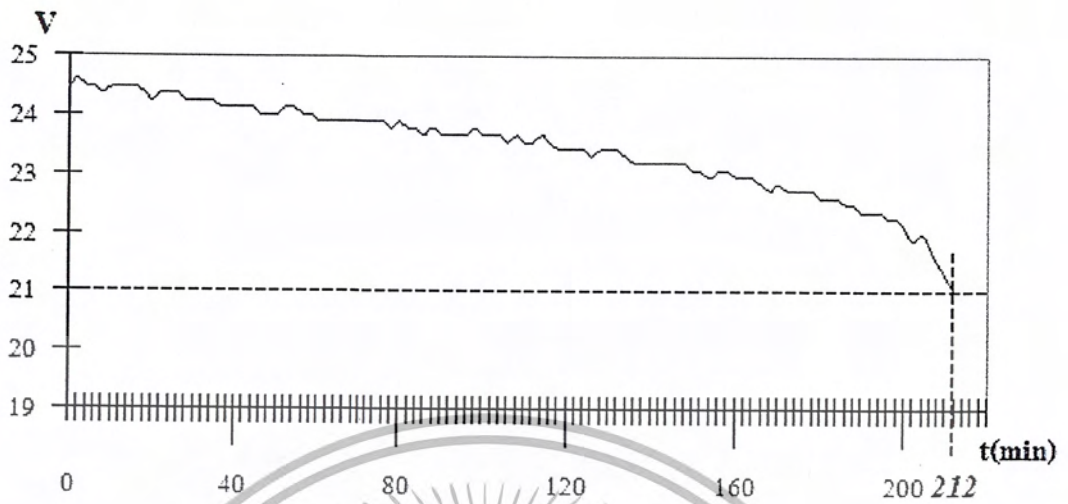
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 7.5 ผลการบันทึกค่า GS แบตเตอรี่, 130 Ah, 24V, 40 A, ความถี่ในการบันทึกค่า 2 นาที/ครั้ง

นาทีที่	แรงดันแบตเตอรี่ (V)	นาทีที่	แรงดันแบตเตอรี่ (V)	นาทีที่	แรงดันแบตเตอรี่ (V)	นาทีที่	แรงดันแบตเตอรี่ (V)
0	24.48	54	24.12	108	23.65	162	22.95
2	24.59	56	24.01	110	23.54	164	22.95
4	24.48	58	24.01	112	23.54	166	22.83
6	24.48	60	23.89	114	23.65	168	22.71
8	24.36	62	23.89	116	23.54	170	22.83
10	24.48	64	23.89	118	23.42	172	22.71
12	24.48	66	23.89	120	23.42	174	22.71
14	24.48	68	23.89	122	23.42	176	22.71
16	24.48	70	23.89	124	23.42	178	22.71
18	24.36	72	23.89	126	23.3	180	22.59
20	24.24	74	23.89	128	23.42	182	22.59
22	24.36	76	23.89	130	23.42	184	22.59
24	24.36	78	23.77	132	23.42	186	22.48
26	24.36	80	23.89	134	23.3	188	22.48
28	24.24	82	23.77	136	23.18	190	22.36
30	24.24	84	23.77	138	23.18	192	22.36
32	24.24	86	23.65	140	23.18	194	22.36
34	24.24	88	23.77	142	23.18	196	22.24
36	24.12	90	23.65	144	23.18	198	22.24
38	24.12	92	23.65	146	23.18	200	22.12
40	24.12	94	23.65	148	23.18	202	21.89
42	24.12	96	23.65	150	23.06	204	22
44	24.12	98	23.77	152	23.06	206	21.77
46	24.01	100	23.65	154	22.95	208	21.53
48	24.01	102	23.65	156	23.06	210	21.3
50	24.01	104	23.65	158	23.06	212	21
52	24.12	106	23.54	160	22.95		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการทดสอบ: 3 ชม. 32 นาที ความจุแบตเตอรี่ 108.7%
 ไม่สามารถแก้ไขใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการบันทึกค่าได้กราฟดังนี้



รูปที่ 7.5 กราฟแรงดันจ่ายโหลด GS แบตเตอรี่ 130Ah, 24 V กระแสคายประจุ 40A



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.2 สรุปผลการทดสอบ

จากผลจากการทดสอบ แบตเตอรี่ 200 Ah ในครั้งแรก ได้ผลตามตารางที่ 7.1 จากการทดสอบการคายประจุด้วยอัตราคงที่ 40 A พบว่า แบตเตอรี่ยังคงรักษาระดับแรงดันไว้ได้ก่อนถึงแรงดันสุดท้ายของการทดสอบเป็นเวลา 5 ชั่วโมง 41 นาที คิดเป็น 113.3 % ของพิกัดความจุของแบตเตอรี่ ผลการทดสอบครั้งนี้แสดงให้เห็นว่า แบตเตอรี่ลูกนี้ยังอยู่ในสภาพที่ดีมากอยู่

ผลการทดสอบ แบตเตอรี่ 200 Ah ในครั้งที่ 2 ได้ผลการทดสอบตามตารางที่ 7.4 จากการทดสอบที่กระแสคายประจุคงที่ 50 A พบว่าใช้เวลาในการทดสอบ 3 ชั่วโมง 8 นาที คิดเป็น 77.5 % ของพิกัดความจุของแบตเตอรี่ เมื่อพิจารณาผลจะเห็นว่า แบตเตอรี่อยู่ในสภาพที่พอใช้งานได้ แต่ไม่ดีนัก

ผลการทดสอบ แบตเตอรี่ 65 Ah ในครั้งแรก ได้ผลตามตารางที่ 7.2 จากการทดสอบที่กระแสคายประจุคงที่ 50 A พบว่าใช้เวลาในการทดสอบ 1 ชั่วโมง 5 นาที คิดเป็น 83.3 % ของพิกัดความจุของแบตเตอรี่ เมื่อพิจารณาผลจะเห็นว่า แบตเตอรี่อยู่ในสภาพพอใช้งานได้

ผลการทดสอบ แบตเตอรี่ 65 Ah ในครั้งที่ 2 ได้ผลตามตารางที่ 7.3 จากการทดสอบที่กระแสคายประจุคงที่ 30 A พบว่าใช้เวลาในการทดสอบ 1 ชั่วโมง 16 นาที คิดเป็น 56.9 % ของพิกัดความจุของแบตเตอรี่ เมื่อพิจารณาผลจะเห็นว่า แบตเตอรี่อยู่ในสภาพที่ไม่ดี ไม่เหมาะแก่การนำไปใช้งานต่อ

อย่างไรก็ตามผลจากการทดสอบด้วยเครื่องทดสอบแบตเตอรี่ในโครงการนี้ อาจจะไม่ใช่เป็นผลการทดสอบที่ถูกต้อง 100 % เนื่องจากผลของการชาร์จประจุแบตเตอรี่ และผลของอุณหภูมิแวดล้อม รวมไปถึงความแม่นยำของชุดทดสอบเอง ซึ่งถ้าได้มีการควบคุมเงื่อนไขต่าง ๆ ตามที่ผู้ผลิตแบตเตอรี่ระบุ ให้เหมาะสมแล้ว ก็จะทำให้ผลการทดสอบมีความถูกต้องแม่นยำยิ่งขึ้น แต่อย่างไรก็ตามผลที่ได้นี้ก็พอชี้ให้เห็นพฤติกรรมการจ่ายโวลตของแบตเตอรี่นั้น ๆ ทำให้พอที่จะทราบสภาพของแบตเตอรี่คร่าว ๆ ได้ เป็นแนวทางในการศึกษาและพัฒนาเครื่องทดสอบที่ถูกต้องแม่นยำต่อไป หรืออาจนำไปทดสอบแบตเตอรี่ที่มีความจุเท่ากัน หลายยี่ห้อเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพแบตเตอรี่แต่ละยี่ห้อ เพื่อเป็นข้อมูลในการพิจารณาเลือกใช้แบตเตอรี่ครั้งต่อไปได้อย่างเหมาะสม

แนวทางการศึกษาและการพัฒนาในอนาคต

- ศึกษาการนำข้อมูลที่ได้จากการทดสอบป้อนเข้าสู่คอมพิวเตอร์เพื่อทำการวิเคราะห์คุณสมบัติของแบตเตอรี่ ให้ได้ผลที่แม่นยำยิ่งขึ้น
- ปรับปรุงเครื่องทดสอบให้สามารถนำพลังงานที่ได้จากการทดสอบการคายประจุป้อนเข้าสู่ระบบของการไฟฟ้าได้
- ปรับปรุงและพัฒนาให้เข้าสู่ระบบของงานอุตสาหกรรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- [1]. N.Mohan , T.M.Underland , W.P. Robbins , “Power Electronics : Converter, applications and desing” ,second Edition John Wiley & Sons, 1995
- [2]. T.R.Crompton , “Battery reference book” ,third Edition Newnes , 2000.
- [3]. โททม อารียา , “อิเล็กทรอนิกส์กำลัง 2” , กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดดูเคชั่น , 2544.
- [4]. วรพจน์ กรแก้ววิวัฒนกุลแก้ว, ชัยวัฒน์ ลิ้มเจริญจิตวิไล, “ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51”, กรุงเทพฯ : อินโนเวทีฟ เอ็กเพอริเม้นต์
- [5]. ศุภชัย บุศราทิจ, “คู่มือภาษาซีสำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51”, กรุงเทพฯ : อีทีที, 2543



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก

เอกสารประกอบการทำโครงการ

ทบวง
เทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IEEE Recommended Practice for Maintenance, Testing, and Replacement of Vented Lead-Acid Batteries for Stationary Applications

Sponsor

Energy Development and Power Generation Committee
of the
IEEE Power Engineering Society

Approved January 24, 1995

IEEE Standards Board

Abstract: Maintenance, test schedules, and testing procedures that can be used to optimize the life and performance of permanently installed, vented lead-acid storage batteries used for standby power applications are provided. This recommended practice also provides guidance to determine when batteries should be replaced. This recommended practice is applicable to all stationary applications. However, specific applications, such as emergency lighting units and semiportable equipment, may have other appropriate practices and are beyond the scope of this recommended practice.

Keywords: acceptance test, battery capacity, battery installation, battery maintenance, battery replacement criteria, battery service test, battery terminal voltage, connection resistance readings, electrolyte level, equalize charge, float voltage, modified performance test, performance test, service test, specific gravity, standby power applications, state of charge, test discharge rate, vented lead-acid battery

The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc.
345 East 47th Street, New York, NY 10017-2394, USA

Copyright © 1995 by the Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc.
All rights reserved. Published 1995. Printed in the United States of America.

ISBN 1-55937-515-9

No part of this publication may be reproduced in any form, in an electronic retrieval system or otherwise, without the prior written permission of the publisher.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IEEE Standards documents are developed within the Technical Committees of the IEEE Societies and the Standards Coordinating Committees of the IEEE Standards Board. Members of the committees serve voluntarily and without compensation. They are not necessarily members of the Institute. The standards developed within IEEE represent a consensus of the broad expertise on the subject within the Institute as well as those activities outside of IEEE that have expressed an interest in participating in the development of the standard.

Use of an IEEE Standard is wholly voluntary. The existence of an IEEE Standard does not imply that there are no other ways to produce, test, measure, purchase, market, or provide other goods and services related to the scope of the IEEE Standard. Furthermore, the viewpoint expressed at the time a standard is approved and issued is subject to change brought about through developments in the state of the art and comments received from users of the standard. Every IEEE Standard is subjected to review at least every five years for revision or reaffirmation. When a document is more than five years old and **has not been reaffirmed**, it is reasonable to conclude that its contents, although still of some value, do not wholly reflect the present state of the art. Users are cautioned to check to determine that they have the latest edition of any IEEE Standard.

Comments for revision of IEEE Standards are welcome from any interested party, regardless of membership affiliation with IEEE. Suggestions for changes in documents should be in the form of a proposed change of text, together with appropriate supporting comments.

Interpretations: Occasionally questions may arise regarding the meaning of portions of standards as they relate to specific applications. When the need for interpretations is brought to the attention of IEEE, the Institute will initiate action to prepare appropriate responses. Since IEEE Standards represent a consensus of all concerned interests, it is important to ensure that any interpretation has also received the concurrence of a balance of interests. For this reason IEEE and the members of its technical committees are not able to provide an instant response to interpretation requests except in those cases where the matter has previously received formal consideration.

Comments on standards and requests for interpretations should be addressed to:

Secretary, IEEE Standards Board
445 Hoes Lane
P.O. Box 1331
Piscataway, NJ 08855-1331
USA

IEEE Standards documents may involve the use of patented technology. Their approval by the Institute of Electrical and Electronics Engineers does not mean that using such technology for the purpose of conforming to such standards is authorized by the patent owner. It is the obligation of the user of such technology to obtain all necessary permissions.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IEEE Recommended Practice for Maintenance, Testing, and Replacement of Vented Lead-Acid Batteries for Stationary Applications

1. Scope

This recommended practice provides maintenance, test schedules, and testing procedures that can be used to optimize the life and performance of permanently installed, vented lead-acid storage batteries used for standby power applications. It also provides guidance to determine when batteries should be replaced. This recommended practice is applicable to all stationary applications. However, specific applications, such as emergency lighting units and semiportable equipment, may have other appropriate practices and are beyond the scope of this recommended practice.

Sizing, installation, qualification, other battery types, and application are also beyond the scope of this recommended practice.

This recommended practice does not include any other component of the dc system, or surveillance and testing of the dc system, even though the battery is part of that system. Preoperational and periodic dc system tests of chargers and other dc components may require that the battery be connected to the system. Details for these tests will depend on the requirements of the dc system and are beyond the scope of this recommended practice.

2. References

This recommended practice shall be used in conjunction with the following publications:

IEEE Std 100-1992, The New IEEE Standard Dictionary of Electrical and Electronics Terms (ANSI).¹

IEEE Std 308-1991, IEEE Standard Criteria for Class 1E Power Systems for Nuclear Power Generating Stations (ANSI).

IEEE Std 323-1983 (Rcaff 1990), IEEE Standard for Qualifying Class 1E Equipment for Nuclear Power Generating Stations (ANSI).

¹IEEE publications are available from the Institute of Electrical and Electronics Engineers, 445 Hoes Lane, P.O. Box 1331, Piscataway, NJ 08855-1331, USA.

IEEE Std 484-1987, IEEE Recommended Practice for Installation Design and Installation of Large Lead Storage Batteries for Generating Stations and Substations (ANSI).

IEEE Std 485-1983, IEEE Recommended Practice for Sizing Large Lead Storage Batteries for Generating Stations and Substations (ANSI).

IEEE Std 494-1974 (Reaff 1990), IEEE Standard Method for Identification of Documents Related to Class 1E Equipment and Systems for Nuclear Power Generating Stations (ANSI).

IEEE Std 535-1986 (Reaff 1994), IEEE Standard for Qualification of Class 1E Lead Storage Batteries for Nuclear Power Generating Stations (ANSI).

IEEE Std 946-1992, IEEE Recommended Practice for the Design of DC Auxiliary Power Systems for Generating Stations (ANSI).

3. Definitions

The following definitions apply specifically to the subject matter of this recommended practice. For other definitions, refer to the standards listed in clause 2.

3.1 acceptance test: A constant current or power capacity test made on a new battery to determine that it meets specifications or manufacturer's ratings.

3.2 capacity test: A discharge of a battery at a constant current or power to a specified terminal voltage.

3.3 critical period: That portion of the duty cycle that is the most severe, or the specified time period of the battery duty cycle.

3.4 duty cycle: The load currents a battery is expected to supply for specified time periods.

3.5 equalizing voltage: The voltage, higher than float, applied to a battery to correct inequalities among battery cells (voltage or specific gravity) that may develop in service.

3.6 float voltage: The voltage applied to a battery to maintain it in a fully charged condition during normal operation.

3.7 modified performance test: A test, in the "as found" condition, of a battery's capacity and its ability to provide a high-rate, short-duration load (usually the highest rate of the duty cycle) that will confirm the battery's ability to meet the critical period of the load duty cycle, in addition to determining its percentage of rated capacity.

3.8 performance test: A constant current or constant power capacity test, made on a battery after it has been in service, to detect any change in the capacity.

3.9 service test: A test, in the "as found" condition, of the battery's capability to satisfy the battery duty cycle.

3.10 terminal connection detail: Connections made between rows of cells or at the positive and negative terminals of the battery, which may include terminal plates, cables with lugs, and connectors.

3.11 vented cell: A cell in which the products of electrolysis and evaporation are allowed to escape to the atmosphere as they are generated. These batteries are commonly referred to as "flooded."

4.3.3 Yearly

At least once each year, the quarterly inspection should be augmented as follows. Check and record the following:

- a) Specific gravity of each cell
- b) Cell condition [This would involve a detailed visual inspection (see annex F for guidelines) of each cell in contrast to the general inspection in 4.3.1. Review the manufacturer's recommendations.]
- c) Cell-to-cell and terminal connection detail resistance (see D.2)
- d) Structural integrity of the battery rack and/or cabinet

4.3.4 Special inspections

If the battery has experienced an abnormal condition (such as a severe discharge or overcharge), an inspection should be made to ensure that the battery has not been damaged. Include the requirements of 4.3.1 through 4.3.3.

4.4 Corrective actions

The corrective actions listed in 4.4.1 through 4.4.3 are meant to provide optimum life of the battery. They in themselves will not guarantee that the battery is completely charged at any given time. Annexes A through G provide some technical background for the necessary actions and their timing and provide another more accurate means for determining the state of charge of a battery.

4.4.1 Cell/battery problems

The following items indicate conditions that can be easily corrected prior to the next general inspection. Major deviations in any of these items may necessitate immediate action.

- a) When any cell electrolyte reaches the low-level line, water should be added (see A.4). Water quality should be in accordance with the manufacturer's instructions.
- b) If terminal corrosion is noted [see 4.3.1 item f)], clean the visible corrosion off of the terminal and check the resistance of the connection.
- c) If resistance readings obtained in 4.3.3 item c) or 4.4.1 item b) are more than 20% above the installation value or above a ceiling value established by the manufacturer, or if loose connections are noted, retorque and retest. If retested resistance value remains unacceptable, the connection should be disassembled, cleaned, reassembled, and retested. Refer to IEEE Std 484-1987 for detailed procedures. See also D.2 and annex G.
- d) When cell temperatures deviate more than 3 °C (5 °F) from each other during a single inspection, determine the cause and correct the problem. If sufficient correction cannot be made, contact the manufacturer for allowances that must be taken.
- e) When excessive dirt is noted on cells or connectors, wipe with water-moistened clean wiper. Remove electrolyte spillage on cell covers and containers with a bicarbonate of soda solution [using a ratio of 0.1 kg bicarbonate of soda per liter of water (1 lb bicarbonate of soda to 1 gal water)]. Avoid the use of hydrocarbon-type cleaning agents (oil distillates) and strong alkaline cleaning agents, which may cause containers and covers to crack or craze.
- f) When the float voltage measured at the battery terminals is outside of its recommended operating range, it should be adjusted.

4.4.2 Equalizing charge

The following items indicate conditions that, if allowed to persist for extended periods, can reduce battery life. They do not necessarily indicate a loss of capacity. Therefore, the corrective action can be accomplished prior to the next quarterly inspection, provided that the battery condition is monitored at regular intervals (not to exceed one week). Note that an equalizing charge normally requires that equalizing voltage be applied continuously for 35–70 h or longer (refer to the manufacturer's instructions). Single cell charging is an acceptable method when a single cell or a small number of cells appear to need equalizing.

- a) An equalizing charge is desirable if individual cell float voltage(s) deviate from the average value by an amount greater than that recommended by the manufacturer. Typical recommendations are ± 0.04 V for lead-calcium cells and ± 0.02 V for lead antimony cells.
- b) An equalizing charge should be given if the specific gravity, corrected for temperature, of an individual cell falls below the manufacturer's lower limit (see D.4).
- c) An equalizing charge should be given immediately if any cell voltage is below the manufacturer's recommended minimum cell voltage (see C.1) at the time of inspection.
- d) Periodic equalizing charges are recommended by some manufacturers. This equalizing charge can be waived for certain batteries based on an analysis of the records of operation and maintenance inspections (see clause 8).

4.4.3 Other abnormalities

Correct any other abnormal conditions noted.

NOTE—Refer to the annexes for a more detailed discussion of these abnormalities and the urgency of the corrective actions.

4.5 State of charge

The most accurate indicator of return to full charge is a stabilized charging or float current (refer to the annexes). Specific gravity readings may not be accurate when the battery is on charge following a discharge or following the addition of water. When cell design permits, specific gravity reading accuracy can be improved by averaging several readings taken at different levels within a cell.

5. Test schedule

The following schedule of tests is used to

- a) Determine whether the battery meets its specification or the manufacturer's rating, or both.
- b) Periodically determine whether the performance of the battery, as found, is within acceptable limits.
- c) If required, determine whether the battery, as found, meets the design requirements of the system to which it is connected.

5.1 Acceptance

An acceptance test of the battery (see 6.4) should be made either at the factory or upon initial installation as determined by the user. The test should meet a specific discharge rate and duration relating to the manufacturer's rating or to the purchase specification's requirements.

NOTE—Batteries may have less than rated capacity when delivered. Unless 100% capacity upon delivery is specified, initial capacity can be as low as 90% of rated. This will rise to at least rated capacity in normal service after several years of float operation. (See IEEE Std 485-1983.)

5.2 Performance

- a) A performance test of the battery capacity (see 6.4) should be made within the first two years of service. It is desirable for comparison purposes that the performance tests be similar in duration to the battery duty cycle.
- b) Each battery should undergo additional performance tests at five-year intervals until the battery shows signs of degradation as outlined in 5.2 item c).
- c) Annual performance tests of battery capacity should be made on any battery that shows signs of degradation or has reached 85% of the service life expected for the application. Degradation is indicated when the battery capacity drops more than 10% from its capacity on the previous performance test, or is below 90% of the manufacturer's rating. If the battery has reached 85% of service life, delivers a capacity of 100% or greater of the manufacturer's rated capacity, and has shown no signs of degradation, performance testing at two-year intervals is acceptable until the battery shows signs of degradation.
- d) If performance testing is to be used to reflect baseline capacity or benchmark capacity of the battery (the most accurate form of battery trending), then perform requirements a) through f) of 6.1. If performance testing is to be used to reflect maintenance practices as well as trending, then omit requirement a), perform requirement b), but take no corrective action unless there is a possibility of permanent damage to the battery, and perform requirements c) through f) of 6.1. If, on a performance test that is used to reflect maintenance practices, the battery does not deliver its expected capacity, then the test should be repeated after requirements a) and b) of 6.1 have been completed.

5.3 Service

A service test of the battery capability (see 6.6) may be required by the user to meet a specific application requirement. This is a test of the battery's ability "as found" to satisfy the battery duty cycle. When a service test is also being used on a regular basis it will reflect maintenance practices. When a battery has degraded to 90% capacity, service testing should be performed on its normal frequency and performance testing should be performed on an annual basis.

5.4 Modified performance test

It is permissible to perform a modified performance test if the test's discharge rate envelopes the duty cycle of the service test. The system designer and the battery manufacturer should review the design load requirements to determine if the modified performance test is applicable and to determine the test procedure. Typically this test is a simulated duty cycle consisting of just two rates: the 1 min rate published for the battery or the largest current load of the duty cycle, followed by the test rate employed for the performance test. Since the ampere-hours removed by a rated 1 min discharge represent a very small portion of the battery's capacity, the test rate can be changed to that for the performance test without compromising the results of the performance test.

A modified performance test is a test of the battery capacity and the battery's ability to provide a high-rate, short-duration load (usually the highest rate of the duty cycle). This will often confirm the battery's ability to meet the critical period of the load duty cycle, in addition to determining its percentage of rated capacity. Initial conditions for the modified performance test should be identical to those specified for a service test. A modified performance test can be used in lieu of a service test at any time. If the battery has been sized in accordance with IEEE Std 485-1983, then the battery is acceptable if it delivers a tested capacity of 80% or greater. "Jumpering out" cells is not allowed during a modified performance test.

6. Procedure for battery tests

This procedure describes the recommended practice of capacity testing by discharging the battery. All testing should follow the safety requirements listed in 4.2.

6.1 Initial conditions

The following list gives the initial requirements for all battery capacity tests except as otherwise noted.

- a) Equalize the battery if recommended by the manufacturer and then return it to float for a minimum of 72 h, but less than 30 days, prior to the start of the test.
- b) Check all battery connections and ensure that all resistance readings are correct for the system [see 4.3.3 item c)].
- c) Record the specific gravity and float voltage of each cell just prior to the test.
- d) Record the electrolyte temperature of 10% or more of the cells to establish an average temperature (suggested every sixth cell).
- e) Record the battery terminal float voltage.
- f) Take adequate precautions (such as isolating the battery to be tested from other batteries and critical loads) to ensure that a failure will not jeopardize other systems or equipment.

6.2 Test length

The recommended procedure is to perform a capacity test for approximately the same length of time for which the battery was sized. When the battery is required to supply varying loads for specified time periods (a load duty cycle), the performance test may not substantiate the battery's capability to meet all design loads, particularly if very-high-rate, short-duration loads determine the battery size. See 6.6 for the service test.

6.3 Test discharge rate

The discharge rate depends upon the type of test selected. For the acceptance test or performance test, the discharge rate should be a constant current or constant power load equal to the manufacturer's rating of the battery for the selected test length. See 6.6 for the service test discharge rate.

NOTE—To determine the proper discharge parameters, the test discharge current or power rate is divided by the temperature correction factor as specified by table 1 for the initial electrolyte temperature. Table 1 can be used for all values of specific gravity for flood cells.

Table 1—Temperature correction factors

Initial temperature		Temperature correction factor	Initial temperature		Temperature correction factor
(°C)	(°F)		(°C)	(°F)	
-3.9	25	1.520	25.6	78	0.994
-1.1	30	1.430	26.1	79	0.987
1.7	35	1.350	26.7	80	0.980
4.4	40	1.300	27.2	81	0.976
7.2	45	1.250	27.8	82	0.972
10.0	50	1.190	28.3	83	0.968
12.8	55	1.150	28.9	84	0.964
15.6	60	1.110	29.4	85	0.960
18.3	65	1.080	30.0	86	0.956
18.9	66	1.072	30.6	87	0.952
19.4	67	1.064	31.1	88	0.948
20.0	68	1.056	31.6	89	0.944
20.6	69	1.048	32.2	90	0.940
21.1	70	1.040	35.0	95	0.930
21.7	71	1.034	37.8	100	0.910
22.2	72	1.029	40.6	105	0.890
22.8	73	1.023	43.3	110	0.880
23.4	74	1.017	46.1	115	0.870
23.9	75	1.011	48.9	120	0.860
24.5	76	1.006	51.7	125	0.850
25.0	77	1.000			

NOTE—This table is based on nominal 1.210 specific gravity cells. For cells with other specific gravities, refer to the manufacturer. The manufacturers recommend that battery testing be performed between 18.3 °C (65 °F) and 32.2 °C (90 °F).

6.4 Acceptance, modified performance, and performance tests

Set up a load and the necessary instrumentation to maintain the test discharge rate determined in 6.3.

- a) Disconnect the charging source, connect the load bank to the battery, start the timing, and continue to maintain the selected discharge rate. If the charging source cannot be disconnected, the current being drawn by the load must be increased to compensate for the current being supplied by the charging source to the battery.
- b) Maintain the discharge rate until the battery terminal voltage decreases to a value equal to the minimum average voltage per cell as specified by the design of the installation (e.g., 1.75 Vdc) times the number of cells.

- c) Read and record the individual cell voltages and the battery terminal voltage. The readings should be taken while the load is applied at the beginning of the test, at specified intervals, and at the completion of the test. There should be a minimum of three sets of readings.

NOTES

1—Individual cell voltage readings should be taken between respective posts of like polarity of adjacent cells, so as to include the voltage drop of the intercell connectors.

2—The possibility of a weak cell(s) should be anticipated and preparations should be made for bypassing the weak cell with minimum hazard to personnel for performance testing only.

- d) If one or more cells is approaching reversal of its polarity (+1 V or less) and the test nears the 90–95% expected completion time, continue the test until the specified terminal voltage is reached.
- e) If earlier in the test an individual cell is approaching reversal of its polarity (+1 V or less) but the terminal voltage has not yet reached its test limit, the test should be stopped, and the weak cell should be disconnected from the battery string and bypassed with a jumper of adequate conductor ampacity. The new minimum terminal voltage should be determined based on the remaining cells [see 6.4 item b)]. The test should then be continued in order to determine the capacity of the remaining cells. The time required to disconnect the cell, install the jumper, and restart the test shall not exceed 10% of the total test duration or 6 min, whichever is shorter. This “downtime” shall not be included in the test discharge period (i.e., the capacity determination shall be based on the actual test time).

NOTE—No more than one “downtime” period should be allowed when a battery is being tested. The battery may supply higher than its normal capacity (especially during short-duration testing) if the battery is subjected to more than one “downtime period.”

- f) Observe the battery for intercell connector heating.
- g) At the conclusion of the test, determine the battery capacity according to the procedure outlined in 6.5.

NOTE—If after the test one or more of the reversed cells are replaced, the benchmark capacity of the battery can be reestablished by either retesting the battery or by analysis. If the problem that caused the cell to reverse is identified and corrected, the cell can be reinstalled into the battery and the battery can be retested to establish the benchmark capacity, or the cell can be discharged independently, recharged, reinstalled into the bank, and the benchmark capacity reestablished by analysis.

6.5 Determining battery capacity

For an acceptance or performance test, the following equation should be used to determine the battery capacity:

$$\% \text{ capacity at } 25 \text{ }^\circ\text{C (77 }^\circ\text{F)} = [T_a/T_s] \cdot 100$$

where

- T_a is actual time of test to specified terminal voltage [see 6.4 item b)]
- T_s is rated time to specified terminal voltage

6.6 Service test

A service test is a special battery capacity test that may be required to determine if the battery will meet the battery duty cycle of the dc system (see 5.3). The system designer should establish the test procedure and

acceptance criteria prior to the test. The battery should be tested in its “as found” condition and the test should not be corrected for temperature or age. If the battery was sized in accordance with IEEE Std 485-1983, the margins added for temperature ranges, load growth, and aging will provide adequate battery capacity to meet the battery duty cycle throughout its service life. Trending battery voltage during the critical periods of the load duty cycle will provide the user with a means of predicting when the battery will no longer meet design requirements. If the system design changes, sizing (IEEE Std 485-1983) will have to be reviewed, and the service test will have to be modified accordingly. Successful test results can be used to evaluate battery performance and degradation. The recommended procedure for the test is:

- a) The initial conditions shall be as identified in 6.1 [omit requirement a), perform requirement b) but take no corrective action unless there is a possibility of permanent damage to the battery, and perform requirements c) through f)].
- b) The discharge rate and test length should correspond as closely as is practical to the battery duty cycle.

NOTE—At times the battery duty cycle may be reevaluated per IEEE Std 485-1983 in order to remove conservatism used in sizing the battery.

- c) If the battery does not meet the duty cycle, review its rating to see if it is properly sized; equalize the battery, and, if necessary, inspect the battery as discussed in 4.3; take necessary corrective actions; and repeat the service test. A battery performance test (see 5.2) may also be required to determine whether the problem is the battery or the application.

6.7 Restoration

Disconnect all test apparatus, Recharge the battery and return it to normal service.

7. Battery replacement criteria

The recommended practice is to replace the battery if its capacity as determined in 6.5 is below 80% of the manufacturer’s rating if the battery was sized using a 1.25 aging factor. If a lesser aging factor was used, battery replacement will be required before 80% capacity is reached to ensure that the load can be served (consult the battery manufacturer). The timing of the replacement is a function of the sizing criteria utilized and the capacity margin, compared to the load requirements available. Whenever replacement is required, the recommended maximum time for replacement is one year. A capacity of 80% shows that the battery rate of deterioration is increasing even if there is ample capacity to meet the load requirements. Other factors, such as unsatisfactory battery service test results (see 6.6), require battery replacement unless a satisfactory service test can be obtained following corrective actions.

Physical characteristics, such as plate condition together with age, are often determinants for complete battery or individual cell replacements. Reversal of a cell as described in 6.4 step d) is also a good indicator for further investigation into the need for individual cell replacement. Replacement cells, if used, should be compatible with existing cells and should be tested prior to installation. The capacity of replacement cell(s) should not degrade the battery’s existing ability to meet its duty cycle. Replacement cells are not usually recommended as the battery nears its end of life.

Failure to hold a charge, as shown by cell voltage and specific gravity readings, is a good indicator for further investigation into the need for battery replacement.

When disposing of a battery, refer to applicable regulations and laws.

8. Records

Data obtained from inspections and corrective actions are important to the operation and life of the batteries. Data such as indicated in 4.3 should be recorded at the time of installation and as specified during each inspection. Data records should also contain reports on corrective actions (see 4.4) and on capacity and other tests indicating the discharge rates, their duration, and results.

It is recommended that forms be prepared to record all data in an orderly fashion and in such a way that comparison with past data is convenient. For a suggested format, see IEEE Std 323-1983, clause 8. A meaningful comparison will require that all data be converted to a standard base in accordance with the manufacturer's recommendations.

9. Recycling and disposal

All batteries have a useful life and eventually must be either repaired or scrapped. When a lead-acid battery must be scrapped, it shall be disposed of in a proper fashion.

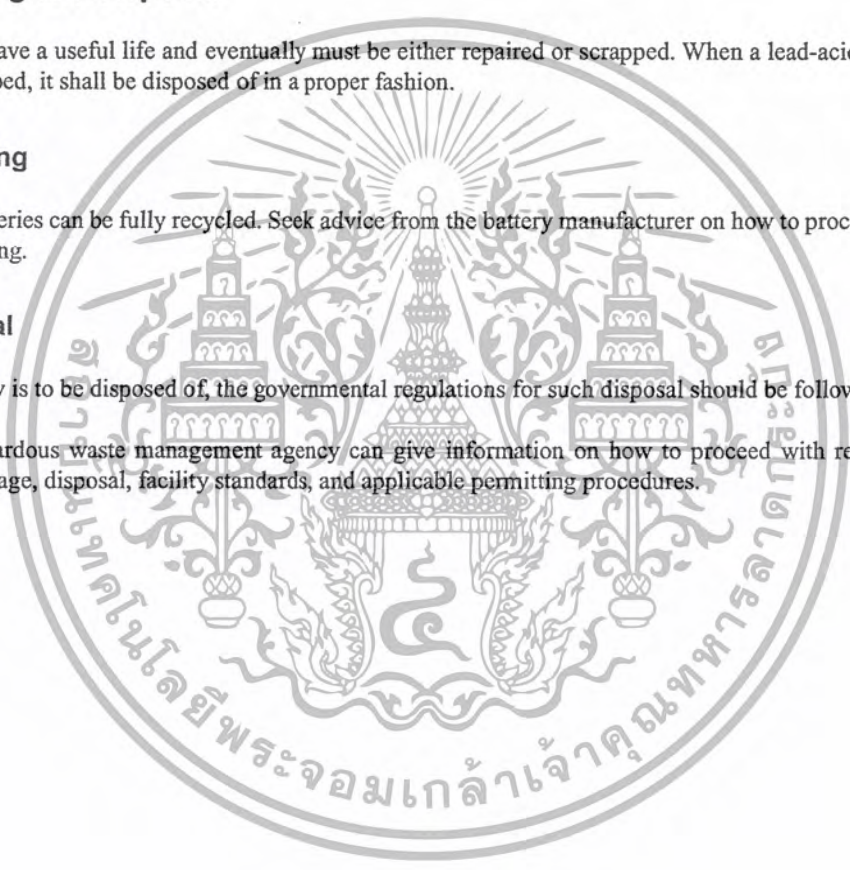
9.1 Recycling

Lead-acid batteries can be fully recycled. Seek advice from the battery manufacturer on how to proceed with battery recycling.

9.2 Disposal

When a battery is to be disposed of, the governmental regulations for such disposal should be followed.

The local hazardous waste management agency can give information on how to proceed with respect to treatment, storage, disposal, facility standards, and applicable permitting procedures.



Annex A Specific gravity

(informative)

A.1 Effect of charging

During the recharge of a battery, high-specific-gravity sulfuric acid is generated. This acid will sink toward the bottom of the cell, resulting in a specific gravity gradient that produces a low reading at the top of the cell that is not representative of the average specific gravity. Therefore, it is normal for the state of charge as indicated by the specific gravity of electrolyte at the top of the cell to lag behind the state of charge that is indicated by the ampere-hours returned to the battery indicated by reduced current to the battery on recharge. Charging voltage limits do not ordinarily allow enough recharge current to provide mixing action. Therefore, this gradient may persist until corrected by diffusion.

A.2 Effect of temperature

Specific gravity readings are based on a temperature of 77 °F (25 °C). The readings should be corrected for the actual electrolyte temperature and level (see A.3). For each 3 °F (1.67 °C) above 77 °F, add 1 point (0.001) to the reading. Subtract 1 point for each 3 °F below 77 °F.

A.3 Effect of electrolyte level

The specific gravity of the electrolyte in a cell will increase with a loss of water due to electrolysis or evaporation. When specific gravity readings are being taken, the electrolyte levels should also be measured and recorded. The battery manufacturer will provide a gravity correction factor for the particular cells involved. However, if the electrolyte level is between the high and low level marks and the temperature corrected specific gravity of the electrolyte is within the manufacturer's nominal specific gravity range, it is not necessary to correct the specific gravity of the battery for electrolyte level.

The apparent electrolyte level depends on the charging rate because gas generated during charging causes an apparent expansion of the electrolyte. If the electrolyte is at or near the high-level mark at float voltage, it may rise above that mark on charge. This condition is not objectionable. It does dictate, however, that electrolyte level readings should be made only after the battery has been at float voltage for at least 72 h.

A.4 Effect of water additions

When water is added to a cell, it tends to float on top of the electrolyte because its specific gravity is 1.000 in comparison to 1.215 nominal for the electrolyte in most batteries. If the cells are in a normal float charge condition, there is very little mixing of the electrolyte due to gassing. In certain cell types it may take 6–8 weeks or longer for complete mixing to occur. The specific gravity should be read before adding water, or the battery should be given an equalizing charge after the water has been added. The battery should be back on normal float voltage for 72 h before the specific gravity is measured after an equalizing charge.