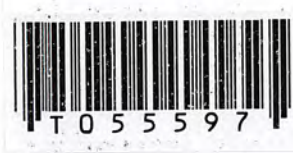
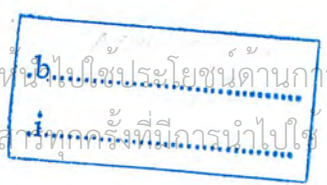


เครื่องทดสอบความจุแบตเตอรี่ประสิทธิภาพสูง  
HIGH PERFORMANCE BATTERY CAPACITY TESTER



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2546

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน..... 5559.....  
วัน,เดือน,ปี 20 พ.ค. 2548



เครื่องทดสอบความจุแบตเตอรี่ประสิทธิภาพสูง  
HIGH PERFORMANCE BATTERY CAPACITY TESTER

โดย

นาย กมล เตชะสกุลรัตน์

นาย มนตรี มุ่งดี

นาย สุวัฒน์ บรรเทาทุกข์

นาย อาทิตย์ โพนะทา

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ดร. วิจิตร กิณเรศ

อาจารย์ช่วยหัด มณีอินทร์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2546

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโทปีการศึกษา 2546

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เครื่องทดสอบความจุแบตเตอรี่ประสิทธิภาพสูง

HIGH PERFORMANCE BATTERY CAPACITY TESTER

ผู้จัดทำ

- |               |               |          |
|---------------|---------------|----------|
| 1. นายกมล     | เดชะสกุลรัตน์ | 44015094 |
| 2. นายมนตรี   | มั่งคั่ง      | 44015120 |
| 3. นายสุนัน   | บรรเทาทุกข์   | 44015135 |
| 4. นายอาทิตย์ | โพณะทา        | 44015180 |



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# เครื่องทดสอบความจุแบตเตอรี่ประสิทธิภาพสูง

นายกมล	เดชะสกุลรัตน์
นายมนตรี	มั่งคั่ง
นายสุนัน	บรรเทาทุกข์
นายอาทิตย์	โพณะทา
รศ.ดร.วิจิตร	กิมเรศ อาจารย์ที่ปรึกษา
อาจารย์ชัยทัต	มณีอินทร์ อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2546

## บทคัดย่อ

ในปฏิญญาฉบับนี้ได้นำเสนออุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบความจุแบตเตอรี่ ตามแนวทางและข้อกำหนดของมาตรฐาน IEEE 450-1995 โดยวิธีการคายประจุออกจากแบตเตอรี่ด้วยอัตราคงที่ โดยการประยุกต์ใช้วงฟูล-บริดจ์ ดีซี-ดีซี คอนเวอร์เตอร์ ซึ่งถูกออกแบบให้ทำงานเป็นชุดควบคุมการไหลของกระแสคงที่ (Current Control) โดยใช้การควบคุมแบบ PI-Control สังก่อนโทรลชุดไครฟ์ด้วย Control Unipolar และทำการตรวจจับแรงดันที่ขั้วของแบตเตอรี่ จนกว่าจะถึงค่าแรงดันสุดท้ายของการคายประจุ (End Voltage) แล้วนำผลที่ได้ไปพิจารณาสภาพของแบตเตอรี่ การทำงานของชุดทดสอบแบตเตอรี่นี้ถูกควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งจะแสดงผลการทดสอบว่าแบตเตอรี่ที่ทดสอบนั้นว่าดีหรือเสื่อมออกทางจอแสดงผลแบบ LCD โดยผลการทดสอบที่ได้จะมีความแม่นยำสูง และสามารถใช้งานได้อย่างสะดวก

# HIGH PERFORMANCE BATTERY CAPACITY TESTER

Mr. Kamol	Techasakunrat		
Mr. Montree	Mungdee		
Mr. Sunun	Buntaotuk		
Mr. Artit	Ponata		
Assoc. Prof. Dr. Vijit	Kinnares	Advisor	
Mr. chaitouch	Maneein	Advisor	
Year	2003		

## ABSTRACT

This thesis presents the high performance battery capacity tester based on the recommendation and standard of IEEE Std.450-1995. The batter under test is discharged at constant current by using a full bridge dc-dc converter which is designed for a feedback loop current control ( PI-Control , order control drive with Unipolar ). 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

การทำปริญญานิพนธ์เล่มนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ผู้จัดทำขอขอบคุณ รศ. ดร. วิจิตร กิมเรศ อาจารย์ชัยทัต มณีอินทร์ อาจารย์ที่ปรึกษาผู้คอยให้คำแนะนำและช่วยเหลือดูแลตลอดการทำงาน ขอขอบคุณ อาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าทุกท่าน ที่ได้ถ่ายทอดความรู้ และคำชี้แนะต่างๆในการเรียนหนังสือ

ขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า และห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่เป็นแหล่งสนับสนุนทางตำราและเอกสารอ้างอิง รวมถึงความเป็นอยู่ในสถาบันแห่งนี้ด้วย

ขอขอบคุณ พี่ลิจิต ที่ให้ความสนใจปัญหาทั้งหลายที่เกิดขึ้น และช่วยเหลือเรื่อยมา  
ขอขอบคุณ พี่ติง ที่ให้คำแนะนำและแนวคิดในการทำงานครั้งนี้ต่างจากมา  
ขอขอบคุณ พี่ติ ที่ให้ความรู้ด้านข้อมูล ทฤษฎีวงจรการสวิตซ์ซิ่ง และวงจรอื่นๆอีก  
ขอขอบคุณ พี่ๆ ป.โท ในห้อง ECC 405 ทุกคน ที่คอยดูแลระหว่างทำโครงการในห้องนี้ รวมถึงให้หยิบยืมอุปกรณ์ทั้งหลายที่สำคัญ  
ขอขอบคุณ คำลั้งใจทั้งหลายที่ทำให้พวกเรามีวันนี้  
คุณค่าและประโยชน์ที่ได้จากการทำปริญญานิพนธ์เล่มนี้ขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่านของพวกเรา

## สารบัญ

หน้าที่

บทคัดย่อ		I
ABSTRACT		II
กิตติกรรมประกาศ		III
สารบัญ		IV
สารบัญตาราง		VI
สารบัญรูป		VII
บทที่ 1 บทนำ		1
1.1	ความสำคัญและที่มา	1
1.2	วัตถุประสงค์ของการทำโครงการ	1
1.3	ข้อมูลจำเพาะของโครงการ	1
1.4	ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีพื้นฐานของแบตเตอรี่		3
2.1	โครงสร้างของแบตเตอรี่	3
2.2	ประเภทของแบตเตอรี่	3
2.3	ประเภทของแบตเตอรี่แบบตะกั่ว-กรด	4
2.4	แบตเตอรี่แบบผนึกไม่ต้องเติมน้ำกลั่น	4
บทที่ 3 มาตรฐานการทดสอบและหลักการทดสอบแบตเตอรี่		6
3.1	ระดับแรงดันกระแทกกระเทือนต่ออายุของแบตเตอรี่	6
3.2	ประสิทธิภาพของแบตเตอรี่	6
3.3	การประยุกต์ใช้งาน	7
3.4	คุณสมบัติของการคายประจุแบตเตอรี่	8
บทที่ 4 ทฤษฎีการสร้างสัญญาณพีดับบลิวเอ็มสำหรับควบคุมดีซีทูดีซีสวิตชิง โหมดคอนเวอร์เตอร์		18
4.1	บทนำ	18
4.2	เทคนิคการสร้างสัญญาณพีดับบลิวเอ็ม	18
4.3	สัญญาณพีดับบลิวเอ็มแบบไบโพลาร์	22
4.4	การสร้างสัญญาณพีดับบลิวเอ็มที่มีการสวิตช์แบบยูนิโพลาร์	24
4.5	การนำวงจรคอนเวอร์เตอร์ดีซีทูดีซีไปใช้ในการทดสอบการคายประจุแบตเตอรี่	26

สารบัญ (ต่อ)

	หน้าที่	
4.6	หลักการทํางานของแผนการสวิทช์	27
4.7	สรุป	30
บทที่ 5	การออกแบบและสร้างวงจร	31
5.1	หลักการทํางาน	31
5.2	บล็อกไดอะแกรมของชุดทดสอบเบตเตอร์	32
5.3	โพลซาร์จการทํางานของส่วนควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์	33
5.4	การออกแบบวงจรสวิทช์กำลัง	34
5.5	การออกแบบวงจรประวิงเวลา ( Dead - Time Circuit )	36
5.6	การออกแบบวงจรที่ดับขั้วเอ็มแบบขุณิโพลาร์	37
5.7	วงจรควบคุมแบบพีไอ	39
5.8	วงจรออน – ออฟเกตและวงจรขับแมกเนติกคอนแทคเตอร์	40
5.9	พอร์ตใช้งานของไมโครคอนโทรลเลอร์	41
5.10	วงจรแอลซีดีกราฟฟิก	42
บทที่ 6	การจำลองการทดลองและการทดลองชุดทดสอบเบตเตอร์	44
6.1	การจำลองวงจรโดยร่วมใช้การจำลองจากโปรแกรม MATLAB	44
6.2	การทดลองชุดทดสอบเบตเตอร์ประสิทธิภาพสูง	48
บทที่ 7	การทดสอบและสรุปผลการทดสอบ	53
7.1	การทดสอบเบตเตอร์ด้วยชุดทดสอบ	53
บทที่ 8	สรุปผลการทดสอบ	62
ภาคผนวก		
เอกสารอ้างอิง		

## สารบัญญัตราง

ตารางที่	หน้าที่
3.1	10
3.2	16
7.1	54
7.2	56
7.3	58
7.4	59
7.5	61



## สารบัญรูป

รูปที่	หน้าที่
3.1 คุณสมบัติแรงดันที่อัตราการคายประจุต่างๆกันที่ 21 °C ของแบตเตอรี่ตะกั่วกรดขนาด 1.5 โวลต์	10
3.2 แสดงคุณสมบัติการคายประจุด้วยกระแสคงที่ของแบตเตอรี่ตะกั่วกรด	10
3.3 แสดงคุณสมบัติการคายประจุที่ 20 °C ของแบตเตอรี่ตะกั่วกรดของยี่ห้อ	11
3.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับอุณหภูมิของแบตเตอรี่ที่อัตราสูงและอัตราต่ำของแบตเตอรี่เงิน-แคดเมียม	12
3.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความจุที่ได้กับอัตราการคายประจุที่ 20 °C ของแบตเตอรี่ตะกั่วกรดขนาด 6 โวลต์	12
3.6 แสดงการคายประจุที่อัตราต่างๆ (โหลดคงที่)	13
3.7 แสดงการคายประจุที่อุณหภูมิต่างๆกัน (โหลดกระแสคงที่)	14
3.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระหว่างอัตราการคายประจุ กับความจุที่ได้จากการคายประจุ (Discharge rate – capacity returned ( discharge capacity ) curves )	14
3.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสที่คายประจุกับเวลาในการคายประจุของแบตเตอรี่ตะกั่วกรด แบบบนอนสปีด ที่ต่อกับแบบบนกรมขนาด 6 โวลต์ 12 Ah	15
3.10 แสดงคุณสมบัติการคายประจุของแบตเตอรี่เงิน-แคดเมียมขนาด 12 Ah	16
3.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการคายประจุและแรงดันของ Rolled sintered Ni-Cd battery เมื่อคายประจุที่ 0 °C และ -20 °C หลังจากอัดประจุที่อุณหภูมิห้อง	17
3.12 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันและความจุกับกระแสที่จ่ายออกสำหรับ Ni-Cd battery ( 0.4 และ 5.6 Ah แบบปิดผนึก ) จะเห็นได้ว่าทั้งความจุและแรงดันลดลง ขณะที่กระแสจ่ายออกเพิ่มขึ้น	17
4.1 วงจรสวิตช์โหมคคอนเวอร์เตอร์	19
4.2 รูปแบบพื้นฐานในการสร้างสัญญาณพัลส์พีคดับลิวเอ็ม	19
4.3 วงจรแปลงผันดีซีทูดีซีแบบฟูลบริดจ์	21
4.4 การสร้างสัญญาณพีคดับลิวเอ็มแบบไบโพลาร์	24
4.5 การสร้างสัญญาณพีคดับลิวเอ็มแบบยูนิโพลาร์	26
4.6 รูปแบบการไหลของกระแสด้วยการสวิตช์แบบยูนิโพลาร์ที่มีการทำงานใน โหมด 0	28
4.7 รูปแบบการไหลของกระแสด้วยการสวิตช์แบบยูนิโพลาร์ที่มีการทำงานใน โหมด 1	28

## สารบัญญรูป ( ต่อ )

รูปที่		หน้าที่
4.8	รูปแบบการไหลของกระแสด้วยการสวิตช์แบบยูนิโพลาร์ที่มีการทำงานในโหมด 2	29
4.9	รูปแบบการไหลของกระแสด้วยการสวิตช์แบบยูนิโพลาร์ที่มีการทำงานในโหมด 3	29
5.1	บล็อกไดอะแกรมของชุดทดสอบแบตเตอรี่	32
5.2	โพลซาร์จการทำงานในส่วนควบคุมโดยไมโครคอนโทรลเลอร์	33
5.3	ไอจีบีทีแบบ โมดูล Intelligent Power Module(IPM)	35
5.4	วงจรขับเคลื่อน	35
5.5	รูปแบบการสวิตช์ของสัญญาณประวิงเวลาใน 1 กิ่ง	36
5.6	วงจรประวิงเวลาที่ใช้ในโครงการ	36
5.7	วงจรการสร้างสัญญาณแบบพีดีบีเอ็มแบบยูนิโพลาร์	37
5.8	รูปคลื่นสัญญาณแบบ ยูนิโพลาร์	38
5.9	วงจรการควบคุมแบบพีไอ	39
5.10	วงจรรอง - ออฟเฟกทและวงจรขับแมกเนติกคอนแทคเตอร์	40
5.11	วงจรไฟเลี้ยงและพอร์ตที่ใช้งานของไมโครคอนโทรลเลอร์	41
5.12	วงจรแอลซีดีกราฟฟิก	42
5.13	ชุดทดสอบแบตเตอรี่ประสิทธิภาพสูง	43
6.1	วงจรการทำงานจริง	44
6.2	วงจรจำลองของวงจรถูกอ้าง	45
6.3	วงจรจำลองของวงจรถูกอ้าง subsystem	45
6.4	Block Parameters : Constant	46
6.5	Block Parameters : Discrete PID Controller	46
6.6	Block Parameters : Saturation	47
6.7	Block Parameters : Repeating Sequence	47
6.8	เปรียบเทียบกระแสปรับตั้งที่ 0.8 แอมแปร์	48
6.9	การต่อชุดทดสอบแบตเตอรี่ประสิทธิภาพสูง	49
6.10	กระแสไหล	49
6.11	กระแส และ แรงดันที่ขั้วแบตเตอรี่	50
6.12	กระแสที่ไหล และ แบตเตอรี่	50

## สารบัญรูป ( ต่อ )

รูปที่		หน้าที่
6.13	กระแสที่แบตเตอรี่ และ กระแสแบตเตอรี่ที่ผ่านวงจรถูกเปิดเคอร์	51
6.14	กระแสที่โหลด และ กระแสแบตเตอรี่ที่ผ่าน วงจรถูกเปิดเคอร์	51
7.1	กราฟแรงดันจ่ายโหลด 3K แบตเตอรี่ 200Ah 12V กระแสคายประจุ 40A	56
7.2	กราฟแรงดันจ่ายโหลด GS แบตเตอรี่ 65Ah 12V กระแสคายประจุ 50A	57
7.3	กราฟแรงดันจ่าย โหลด GS แบตเตอรี่ 65Ah 12V กระแสคายประจุ 30A	58
7.4	กราฟแรงดันจ่าย โหลด 3K แบตเตอรี่ 200Ah 12V กระแสคายประจุ 50A	60



# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ที่มาของโครงการ

ในยุคปัจจุบันนี้ มีการนำแหล่งจ่ายไฟฟ้าสำรองไปใช้งาน ในชีวิตประจำวันต่างๆมากมาย ซึ่งจะสะดวกในงานแต่ละประเภทได้ สามารถพกพาไปใช้งานในที่ไฟฟ้าเข้าไม่ถึงได้นั่นก็คือ แบตเตอรี่ โดยจะต้องมีการเก็บพลังงานในรูปแบบของประจุไฟฟ้าก่อน แล้วถึงจะนำไปใช้งานได้ และเมื่อใช้งานไปเรื่อยๆ จะทำให้ประจุไฟฟ้าที่เก็บอยู่กับแบตเตอรี่ค่อยๆที่จะลดลงจนเหลืออยู่น้อยหรือหมดไป เราก็ถึงจะทำการเก็บสะสมพลังงาน ( Charge ) เข้าไปใหม่

ปัญหาที่เกิดกับแบตเตอรี่มีดังนี้ คือเมื่อเรานำไปใช้งานก็จะมีการเสื่อมสภาพไปตามอายุการใช้งาน ซึ่งเครื่องประจุแบตเตอรี่บางเครื่องไม่ค่อยมีคุณภาพในการตรวจสอบแบตเตอรี่ว่าประจุไฟฟ้าไปเต็มหรือยัง จึงทำให้แบตเตอรี่ได้รับการประจุเกินไปเป็นผลทำให้อายุการใช้งานของแบตเตอรี่สั้นลงไปด้วย อีกทั้งถ้าเราทำการเก็บพลังงานประจุไฟฟ้าให้แบตเตอรี่ได้ยังไม่เต็มที่แล้วนำไปใช้งานก็มีผลทำให้แบตเตอรี่จะเสื่อมสภาพลงได้ เครื่องประจุแบตเตอรี่โดยทั่วไปจะสามารถประจุแบตเตอรี่ได้เฉพาะขนาดแรงดันที่ระบุไว้เท่านั้น ถ้าเราจะเลือกใช้แบตเตอรี่ขนาดใด ก็จะต้องเลือกเครื่องประจุที่เหมาะสมกับขนาดนั้นๆ เท่านั้น ซึ่งถ้าผู้ใช้ที่ไม่มีความรู้ก็คิดว่าเครื่องประจุที่มีนั้นสามารถใช้กับแบตเตอรี่อะไรก็ได้ จึงได้นำเอาแบตเตอรี่ที่ผิดขนาดมาประจุกับเครื่องที่ออกแบบมาให้ใช้เฉพาะ ก็จะทำให้แบตเตอรี่เสียหายได้ จะเห็นได้ว่าสาเหตุที่กล่าวมามีผลกระทบต่อการใช้งานแบตเตอรี่

โดยถ้าแบตเตอรี่เสื่อมสภาพจะไม่เป็นผลดีกับงานที่ใช้ ก็คือ ถ้าเรานำเอาแบตเตอรี่ไปใช้กับงานอุตสาหกรรม เมื่อแบตเตอรี่ที่ใช้เกิดการเสื่อมสภาพขึ้นจะมีผลกับวงจรอิเล็กทรอนิกส์ในชิ้นงานนั้นก็เสียหายตามไปด้วย ดังนั้นเราจึงจำเป็นต้องทำการตรวจสอบประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ทุกๆตัวที่เรานำไปใช้งานว่ายังใช้งานได้ในระดับที่เราพอใจหรือไม่ ถ้าประสิทธิภาพไม่เป็นที่พอใจเราก็สามารถเปลี่ยนใหม่ได้ก่อนที่แบตเตอรี่ตัวนั้นจะสร้างปัญหาให้กับระบบของเรา

### 1.2 วัตถุประสงค์ของการทำโครงการ

- 1.2.1 เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องทดสอบแบตเตอรี่ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์
- 1.2.2 ใช้ทดสอบสภาพแบตเตอรี่ว่าดีหรือเสื่อมตามแนวทางและวิธีปฏิบัติของมาตรฐาน IEEE Std. 450-1995
- 1.2.3 เพื่อทำการทดสอบการคายประจุของแบตเตอรี่ด้วยอัตรากระแสคงที่

### 1.3 ข้อมูลจำเพาะของโครงการ

- 1.3.1 สามารถทดสอบแบตเตอรี่ที่มีพิกัดแรงดัน 12 และ 24 โวลต์
- 1.3.2 ควบคุมการทำงานด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ ( เบอร์ AT89C51AC2-IM )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 1.3.3 ควบคุมการคายประจุให้คงที่ด้วยวิธีควบคุมกระแสได้ระหว่าง 0 – 25 แอมแปร์
- 1.3.4 ป้อนข้อมูลผ่าน KEY PAD และแสดงผลเป็นรูปภาพผ่านทางจอ LCD

#### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1 สามารถออกแบบเครื่องทดสอบประจุแบตเตอรี่ได้
- 1.4.2 สามารถประยุกต์ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ให้ควบคุมอุปกรณ์ต่างๆ ได้ตามต้องการ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### ทฤษฎีพื้นฐานของแบตเตอรี่

แบตเตอรี่เป็นอุปกรณ์ที่สำคัญอย่างหนึ่งทางด้านไฟฟ้า ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานเคมีให้เป็นพลังงานไฟฟ้าจ่ายออกมาให้เครื่องใช้ไฟฟ้าต่างๆ แบตเตอรี่บางชนิดสามารถอัดไฟเข้าไปเพื่อเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานเคมีแล้วค่อยๆ ปล่อยพลังงานออกมาให้เครื่องใช้ไฟฟ้าต่างๆ

#### 2.1 โครงสร้างของแบตเตอรี่

เซลล์ของแบตเตอรี่ประกอบด้วยแผ่นธาตุบวกและแผ่นธาตุลบ และสารละลายที่เป็นของเหลวหรือวุ้น ซึ่งเรียกว่า “อิเล็กโทรไลต์” เซลล์อาจมีช่องปิดหรือมีช่องให้สารระเหยได้ แผ่นธาตุบวกและแผ่นธาตุลบจะวางอยู่คู่กัน ในเซลล์แบตเตอรี่ลูกหนึ่งๆ อาจมีแผ่นธาตุบวกและแผ่นธาตุลบหลายๆ ชุด วางขนานกันเป็นคู่ๆ เพื่อให้ได้ขนาดกระแสไฟฟ้าที่จ่ายออกมาสูงขึ้น ปริมาณขนาดกระแสไฟฟ้าที่ได้จากแบตเตอรี่จะขึ้นอยู่กับพื้นที่ของแผ่นธาตุบวกและแผ่นธาตุลบ ระยะห่างระหว่างแผ่นค่า ความเข้มข้นของสารละลาย ความจุของแบตเตอรี่มักวัดเป็นแอมแปร์-ชั่วโมง (Ampere-Hour ; Ah) การวัดความจุโดยให้เวลาคงที่ แล้ววัดกระแสไฟฟ้าที่จ่ายออกมาในช่วงเวลาดังกล่าว เช่น แบตเตอรี่ลูกหนึ่งจ่ายความต้านทานอย่างเดียวกันที่กระแสไฟฟ้า 20 แอมแปร์ ในเวลา 8 ชั่วโมง จะมีความจุ 160 Ah แต่ถ้าเป็นโหลดตัวต้านทานกับตัวเหนี่ยวนำความจุจะไม่ใช้ 160 Ah เป็นต้น

#### 2.2 ประเภทของแบตเตอรี่

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

แบตเตอรี่สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ

1. แบตเตอรี่แบบปฐมภูมิ เช่น แบตเตอรี่ที่ทำจากสังกะสี-คาร์บอน โปรท และ ลิเทียม เป็นแบตเตอรี่ใช้งานได้ครั้งเดียว เมื่อจ่ายไฟหมดแล้วต้องทิ้งไปไม่สามารถอัดประจุกลับเข้าไปเพื่อนำกลับมาใช้ได้อีกครั้ง

2. แบตเตอรี่แบบทุติยภูมิ เช่น แบตเตอรี่ที่ทำจากตะกั่ว-กรด นิกเกิลแคดเมียม และ อัลคาไลน์ บางชนิดแบตเตอรี่ประเภทนี้สามารถอัดประจุเข้าไปใหม่เมื่อไฟหมด ทำให้สามารถใช้งานได้นาน แบตเตอรี่ที่นิยมใช้งานกันมาก คือ ชนิดที่ทำจากตะกั่ว-กรด และแบบนิกเกิลแคดเมียมซึ่งมีราคาแพง แต่อายุการใช้งานนานกว่าแบตเตอรี่แบบตะกั่ว-กรด และอีกชนิดคือ แบบเงิน-สังกะสี ราคาแพงมากแต่จ่ายไฟได้มากที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบตเตอรี่ที่ใช้ในโรงงานนี้เป็นแบตเตอรี่แบบตะกั่ว-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)

แบตเตอรี่ชนิดนี้เมื่อไม่ได้ใช้งานจะมีการคายประจุขณะไร้ภาระ (Self discharge) ที่ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม ต้องมีการอัดประจุใหม่ทุกๆ 4-6 สัปดาห์เพื่อชดเชยค่าการคายประจุขณะไร้ภาระ แบตเตอรี่ประเภทนี้เหมาะสำหรับการใช้งานในช่วงสั้นๆ

### 2.3.1.2 แบตเตอรี่อายุการใช้งานสูง (Permanent battery)

แบตเตอรี่ชนิดนี้สามารถเก็บในที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียสได้หลายเดือน โดยไม่ต้องมีการดูแลรักษา และสามารถประจุแบตเตอรี่ทุกๆ 10 เดือน และมีการคายประจุขณะไร้ภาระต่ำ เนื่องจากใช้โลหะตะกั่ว (Lead-alloy) ชนิดพิเศษเหมาะสำหรับใช้งานพิเศษที่ต้องการอายุการใช้งานสูงกว่าแบบมาตรฐาน

## 2.4 แบตเตอรี่แบบผนึกไม่ต้องเติมน้ำกลั่น (Recombining sealed lead-acid battery)

ปกติแล้วเมื่อแบตเตอรี่อัดประจุจนถึงระดับแรงดันพิกัด (Over charge) กรดซัลฟูริกที่เป็นสารละลายอิเล็กโตรไลต์จะเกิดปฏิกิริยาเป็นก๊าซไฮโดรเจนกับก๊าซออกซิเจน ทำให้ความเข้มข้นของสารละลายอิเล็กโตรไลต์เพิ่มขึ้น เราต้องมีการเติมน้ำกลั่น มิฉะนั้นแบตเตอรี่จะเสื่อมคุณภาพได้ ดังนั้นเพื่อเป็นการประหยัดเวลาในการเติมน้ำกลั่น จะได้ไม่เสียเวลาในการบำรุงรักษาจึงได้พัฒนาแบตเตอรี่มีความสามารถในการใช้งานได้โดยไม่ต้องเติมน้ำกลั่น ซึ่งแบ่งได้เป็น 2 ชนิด คือ

2.4.1 แบตเตอรี่แบบ Non-recombining หรือ Partial recombining ใช้วิธีการอัดประจุที่ยุ่งยาก ซับซ้อนมาก ซึ่งจะช่วยลดปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นบนตัวแบตเตอรี่ได้

แบตเตอรี่แบบนี้ไม่ต้องบำรุงรักษาใดๆ และไม่ต้องอัดประจุให้ถึงระดับแรงดันเกินพิกัดเพื่อให้แบตเตอรี่เต็ม ในกรณีที่อุณหภูมิใช้งานสูงกว่าอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมมากๆ แบตเตอรี่จะเกิดก๊าซทำให้ความดันสูงขึ้น ซึ่งแบตเตอรี่จะมีวาล์วที่คอยเปิดให้ก๊าซออกไปในทันที และวาล์วจะปิดอัตโนมัติเมื่อความดันก๊าซลดต่ำลง ด้วยเหตุนี้จึงใช้ได้กับทุกสภาวะแวดล้อม แบตเตอรี่แบบนี้จะปิดผนึกไว้ภายใน แบตเตอรี่จะไม่เกิดก๊าซ อีกทั้งมีความต้านทานภายในต่ำ และจ่ายกระแสได้สูง ภายใต้การอัดประจุแบบรักษาระดับแรงดันคงที่จะอัดประจุด้วยกระแสสูงๆ ในตอนเริ่มต้นและในขั้นที่ 2 เมื่อแรงดันย้อนกลับของแบตเตอรี่เริ่มสูงขึ้น และต้องควบคุมกระแสในการอัดประจุ เมื่อแบตเตอรี่เต็มจะต้องรักษาระดับแรงดันแบตเตอรี่ โดยลดกระแสให้เหลือน้อยๆ เพื่อไม่ให้แรงดันอัดประจุเกินพิกัด และป้องกัน Electrolyte loss partially recombining แบตเตอรี่แบบตะกั่ว-กรดที่ขนาดความจุเดียวกัน สามารถต่อกันเป็นอนุกรมหรือขนานได้

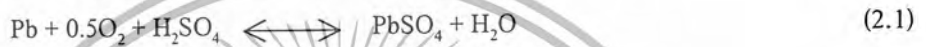
ถ้าอัดประจุแบตเตอรี่แบบอนุกรม จะใช้แรงดันสูงและกระแสต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าอัดประจุแบตเตอรี่แบบขนาน จะใช้แรงดันต่ำและกระแสสูงๆ  
 แบตเตอรี่แบบนี้สามารถอัดประจุและสามารถจ่ายประจุได้ที่อุณหภูมิ -20 ถึง 50 องศาเซลเซียส ซึ่งดีกว่าแบบนิกเกิล-แคดเมียม

2.4.2 แบตเตอรี่แบบ Fully recombining sealed โดยก๊าซที่เกิดขึ้นจากการคายประจุคือไฮโดรเจนกับออกซิเจนจะรวมตัวกันเป็นน้ำทำให้ปริมาตรของสารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่ไม่ลดลง

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) หรือการเปลี่ยนแท็ป (Tap changing) หรือการเปลี่ยนสัญญาณพัลส์ (Pulse changing) และอื่นๆ  
 ขบวนการปฏิกิริยาทางเคมี



ในขั้นตอนสุดท้ายของการประจุการเกิดออกซิเจนที่ขั้วบวก



ออกซิเจนจะถูกดูดซับที่ขั้วลบ ซึ่งจะเกิดปฏิกิริยาดังนี้



ปฏิกิริยาการเกิดก๊าซและการดูดซับก๊าซ อธิบายโดยสมการ



ออกซิเจนที่เกิดจากขั้วบวกจะถูกขั้วลบดูดซับแล้วเกิดปฏิกิริยาแต่ก๊าซออกซิเจนบางส่วนจะค่อยๆ  
 เพิ่มขึ้นความดันสูง แบตเตอรี่จะมีห่อระบายความดันก๊าซเรียกว่า วงล้ระบายก๊าซ (Safety value)

สำหรับก๊าซไฮโดรเจนก็เกิดขึ้นเช่นกัน เมื่อมีการอัดประจุเกินพิกัดที่ขั้วลบ



## บทที่ 3

### มาตรฐานการทดสอบและหลักการทดสอบแบตเตอรี่

#### 3.1 ระดับแรงดันกระทบกระเทือนต่ออายุของแบตเตอรี่

การปรับระดับแรงดันในการอัดประจุแบตเตอรี่นั้นว่าเป็นสิ่งจำเป็นอย่างมาก ถ้าหากการปรับระดับแรงดันในการอัดประจุไม่ถูกต้อง ในขณะที่มีการอัดประจุปกติประจำทุกๆ วัน แบตเตอรี่จะได้รับแรงดันในการอัดประจุโดยตรงจากเครื่องอัดประจุตลอดเวลา จะทำให้แบตเตอรี่เกิดการเสียหายขึ้น 2 ลักษณะ คือ

##### 3.1.1 อันเดอร์ชาร์จ (Under charge)

เป็นการใช้แรงดันในการอัดประจุแบตเตอรี่ในระดับ Float charge ต่ำกว่า 2.15 V/cell ถ้าหากใช้แรงดันในการอัดประจุระดับนี้ไปนานๆ จะทำให้เกิดซัลเฟตเกาะจับที่แผ่นธาตุทั้งบวกและลบ หากทิ้งไว้นานวันปริมาณซัลเฟตนี้จะเพิ่มมากขึ้น จนเป็นเหตุให้การทำปฏิกิริยาเคมีระหว่างแผ่นธาตุบวกและลบกับน้ำยาอิเล็กโตรไลต์ ทั้งการอัดประจุและจ่ายประจุเป็นไปด้วยความยากลำบาก ซึ่งส่งผลทำให้ความจุ (Capacity) ของแบตเตอรี่ลดลงตามลำดับ ถ้าหากทิ้งไว้นานวันจะส่งผลกระทบต่ออายุการใช้งานของแบตเตอรี่ ดังนั้นหากตรวจพบว่าแบตเตอรี่เกิด Under charge ขึ้นต้องรีบแก้ไข

การเกิด Under charge ดังเกิดได้ดังนี้

- มีการปรับระดับน้ำยาอิเล็กโตรไลต์น้อยครั้งที่สุด ในระยะเวลาอันยาวนาน หรือไม่มีการเติมน้ำกลั่นเลยตลอดเวลาที่แบตเตอรี่ใช้งานอยู่
- มีฟองอากาศผุดภายในเซลล์น้อยที่สุดหรือน้อยกว่าปกติ
- สีของแผ่นธาตุลบมีสีขาวเกาะจับ
- ค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำยาอิเล็กโตรไลต์ในเซลล์ต่ำกว่า 1.18
- วัดแรงดันตกคร่อมบนแต่ละเซลล์ต่ำกว่า 2.15 V
- ความร้อนในเซลล์แบตเตอรี่ต่ำกว่าปกติ

##### 3.1.2 โอเวอร์ชาร์จ (Over charge)

เป็นการใช้แรงดันในการประจุในระดับโพลท์อัดประจุสูงกว่า 2.25 V/cell ซึ่งเป็นระดับแรงดันที่สูงกว่าปกติ ทำให้เกิดกระแสไหลในวงจรแบตเตอรี่สูง ทำให้การทำปฏิกิริยาเคมีระหว่างน้ำยาอิเล็กโตรไลต์กับแผ่นธาตุเป็นไปอย่างรุนแรง และรวดเร็วกว่าปกติ ซึ่งทำให้แผ่นธาตุทั้งสองเกิดการสึกกร่อนอย่างรวดเร็วเช่นกัน

#### 3.2 ประสิทธิภาพของแบตเตอรี่

ประสิทธิภาพของแบตเตอรี่มีอยู่ 2 ชนิด คือ

3.2.1 ประสิทธิภาพจากแอมแปร์-ชั่วโมง (Ah efficiency) ซึ่งค่านี้ทางบริษัทผู้ผลิตจะเป็นผู้กำหนดมาให้ โดยปกติมีค่าประมาณ 90% หาได้จาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned} \% \text{ Ah Eff} &= \text{ประจุที่จ่ายออกมา} / \text{ประจุที่อัดเข้าไป} \\ &= 90\% \end{aligned} \quad (3.1)$$

3.2.2 ประสิทธิภาพ Watt-hour ซึ่งผู้ใช้จะต้องคำนึงถึง หาได้โดย

$$\% \text{ Watt-hour} = (\% \text{ Ah Eff}) * (V_{\text{discharge}} / V_{\text{charge}}) \quad (3.2)$$

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

$V_{\text{charge}}$  สำหรับนิกเกิลแคดเมียมเท่ากับ 1.35 – 1.45 V/cell

$V_{\text{charge}}$  จะอยู่ที่ผู้ใช้ว่าต้องการเท่าใด ถ้ามีค่าต่ำมากจะทำให้ %Watt-hour มีค่าต่ำดังนั้นเราจึงจำเป็นต้องให้ระดับ  $V_{\text{discharge}}$  มีค่าลงต่ำไม่มากนัก เพื่อให้ค่าประสิทธิภาพสูง

### 3.3 การประยุกต์ใช้งาน

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

#### 3.3.1 การใช้งานแบบเป็นรอบ (Cyclic operation)

การทำงานเป็นรอบๆ ต้องการเวลาในการอัดประจุขึ้น และต้องป้องกันการอัดประจุและคายประจุเกิน สิ่งสำคัญในการอัดประจุด้วยเทคนิคแรงดันคงที่ คือ การรักษาเอาต์พุตไว้ที่ระดับแรงดันสุดท้ายของการอัดประจุ (Final voltage) และจำกัดกระแสให้ต่ำกว่าค่าที่ออกแบบสูงสุดไว้ ถ้าแบตเตอรี่ถูกอัดประจุในช่วงอุณหภูมิสูงกว่าปกติแล้วจะจำเป็นต้องมีการชดเชยทางอุณหภูมิด้วย มิฉะนั้นการอัดประจุสูงไปหรือต่ำไปในช่วงอุณหภูมิสูงหรือต่ำเกินไป จะทำให้ได้ประจุไม่ตรงตามที่ต้องการ และระยะเวลาในการใช้งานแบตเตอรี่ในแต่ละรอบจะสั้นลง

#### 3.3.2 การใช้งานแบบชั่วคราวชั่วคราว (Standby or Backup charging)

ใช้งานประเภทสำรองเอาไว้ใช้ในยามฉุกเฉิน ปกติจะเก็บในสภาวะแบตเตอรี่เต็มตลอดเวลา และจ่ายพลังงานไปให้โหลด เมื่อแหล่งจ่ายไฟหลัก (Line voltage) ผิดปกติ ซึ่งการทำงานแบบนี้แบ่งเป็น 2 แบบ

##### ก. การอัดประจุแบบทริกเกิล (Trickle charging)

ระบบนี้ปกติแหล่งจ่ายไฟปกติ (AC line voltage) จะจ่ายพลังงานให้โหลดหรืออุปกรณ์ในขณะที่แบตเตอรี่ไม่ได้ถูกต่อกับโหลด ถ้าความผิดปกติกับแหล่งจ่ายขึ้น วงจรแบตเตอรี่จะถูกเชื่อมต่อเข้ากับโหลดเพื่อจ่ายพลังงาน การอัดประจุแบบทริกเกิลจะต้องพิจารณาการชดเชยสำหรับการคายประจุขณะไว้ภาระ โดยการอัดประจุแบตเตอรี่ต่อเนื่องที่กระแสที่ค่าต่างๆ เพื่อให้แบตเตอรี่ประจุอยู่ในสภาวะเต็มที่ (Fully charge) ตลอดเวลา กรณีการคายประจุมากเกินไป (Deep discharge) จะต้องอัดประจุแบตเตอรี่เป็นเวลานาน ฉะนั้นวิธีการอัดประจุแบบสองอัตรา (Two-rate charging) กับการอัดประจุแบบแรงดันคงที่ที่จะเหมาะสมมาก ในการอัดประจุเนื่องจากมี โหลดการอัดประจุเริ่มต้นเร็ว แต่การประจุแบบอัตราจางหะจะเหมาะสมกว่า เพราะไม่จำเป็นต้องชดเชยทางอุณหภูมิ

##### ข. การอัดประจุแบบโฟลต (Float charging)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบนี้โหลดและแบตเตอรี่ต่อกันแบบขนานกับวงจรเรกติไฟเออร์ ระบบนี้ใช้ได้เฉพาะการอัดประจุแบบแรงดันคงที่เท่านั้น ซึ่งแรงดันที่อัดประจุต้องมีเสถียรภาพการกระเพื่อมอย่างมาก มีผลให้แบตเตอรี่มีการคายประจุเพียงเล็กน้อยการประจุแบบแรงดันคงที่ที่ต้องออกแบบให้จ่ายได้ที่โหลดมีค่าสูงสุด มิฉะนั้นจะทำให้อายุการใช้งานของแบตเตอรี่ต่ำลง ตามปกติอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ระบบการประจุแบบนี้จะมีอายุการใช้งานที่สั้นกว่า

### 3.4 คุณสมบัติของการคายประจุแบตเตอรี่

#### 3.4.1 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  $2C_{20}$

$$\frac{\text{คายประจุ 20 ชั่วโมง}}{\text{คายประจุ 10 ชั่วโมง}} \times C_{20} = 2C_{20} \quad (3.3)$$

ในการทำงานเดียวกัน 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  $1 \times C_{20}$  (Nominal capacity) เช่น 2C (คายประจุ 10 ชั่วโมง)  $< 1C_{20}$  ในทางตรงกันข้าม ถ้าคายประจุแบตเตอรี่ด้วยระยะเวลาที่นานกว่า 20 ชั่วโมง จุดแรงดันสุดท้ายของเซลล์จะเพิ่มขึ้น และจะให้ความจุเต็มตามความจุปกติ ในความเป็นจริงแบตเตอรี่บางตัวมีความจุมากกว่าความจุปกติเล็กน้อยเช่น 0.05C (คายประจุ 400 ชั่วโมง  $\geq 1C_{20}$ )

โดยทั่วไปถ้าแบตเตอรี่ที่มี Nominal capacity 20 Ah ที่คายประจุด้วยอัตรา 20 ชั่วโมง ( $1 \times C_{20}$ ) นำมาคายประจุอย่างต่อเนื่องด้วยกระแสสูงในอัตรา 5 ชั่วโมง จะให้ความจุเท่ากับ  $4C = 80\%$  ของ  $1C_{20}$  นั่นคือ ความจุที่ได้จะเป็น 16 Ah  $4C = 16 \text{ Ah}$

จะเห็นได้ว่า การคายประจุด้วยกระแสที่สูงกว่าจะมีความสูญเสียมากกว่า ในทางตรงกันข้ามแรงดันที่ได้จากการคายประจุด้วยอัตรา 5 ชั่วโมงจะต่ำกว่าการคายประจุด้วยอัตรา 20 ชั่วโมง

ที่ 20 Ah อัตรา 20 ชั่วโมง ( $1C_{20}$ ):

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

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

จะได้กระแส I แอมป์ สำหรับอัตรา 20 ชั่วโมง ที่ V โวลต์

ที่อัตรา 5 ชั่วโมง (4C):

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

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

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

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

$$\begin{aligned} 10/1 \times C_{20} &= 50\% \text{ ของ } 1C_{20} \\ &= 50\% \text{ ของ } 20\text{Ah} \\ &= 10 \text{ Ah} \\ y \text{ A} \times 1 \text{ h} &= 10 \text{ Ah} \\ y &= 10 \text{ A} \end{aligned}$$

จะได้กระแส 10 แอมป์ สำหรับ 1 ชั่วโมงที่  $V_2$  โวลต์ ( $V_2 < V_1$ ) เพื่อให้ได้ความจุปกติที่ Nominal จริงๆ จำเป็นต้องทำการวัดที่อุณหภูมิ  $20^\circ\text{C}$  และ ใช้การคายประจุด้วยกระแสคงที่ จากนั้นนำค่าแรงดันกับเวลามาเขียนกราฟ

การเลือกจุดแรงดันสุดท้ายให้เลือกจุดที่แรงดันตกลงอย่างรวดเร็ว จุดแรงดันสุดท้ายของแต่ละค่ากระแสที่ทำการคายประจุจะไม่เท่ากัน จากกราฟที่เขียนขึ้นจะได้ว่าจุดแรงดันสุดท้ายกับเวลาในการคายประจุจะมีความสัมพันธ์กับกระแสที่ทำการคายประจุ

ผลคูณของกระแสที่ทำการคายประจุกับเวลาในการคายประจุจะให้ความจุ เมื่อเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความจุกับเวลาในการคายประจุและจะอ่านค่า Nominal capacity จากกราฟที่คายประจุด้วยอัตรา 20 ชั่วโมงคือ  $C_{20}$  การที่ทราบ Nominal capacity ( $C_{20}$ ) และ Nominal discharge time (20 h) ทำให้สามารถคำนวณ Nominal discharge current ( $I_{20}$ ) ได้ ซึ่งเป็นกระแสคายประจุที่จ่าย Nominal battery capacity ( $C_{20} \text{ Ah}$ ) ในการคายประจุอย่างต่อเนื่องในอัตรา 20 ชั่วโมงที่  $20^\circ\text{C}$  เมื่อเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างจุดแรงดันสุดท้ายกับเวลาในการคายประจุ (แต่ละจุดแรงดันสุดท้าย) และอ่านค่าแรงดันที่ได้ระหว่างการคายประจุ 20 ชั่วโมง และกล่าวได้ว่าการคายประจุที่  $20^\circ\text{C}$  ที่  $I_{20} \text{ A}$  ด้วยอัตรา 20 ชั่วโมง จนถึงสถานะจุดแรงดันสุดท้ายจะได้ Nominal capacity  $C_{20} \text{ Ah}$

จากกราฟเราจะทราบพารามิเตอร์สำหรับสภาวะการคายประจุด้วยกระแสที่ต่างๆ กันของแบตเตอรี่ ถ้าทำการคายประจุแบตเตอรี่อย่างต่อเนื่องจนถึงจุดแรงดันสุดท้ายที่  $20^\circ\text{C}$  (หรืออุณหภูมิอื่นๆ ที่กำหนดไว้) สำหรับการคายประจุด้วยกระแส  $I_{20} \text{ A}$  20 ชั่วโมง จะได้ Nominal capacity  $C_{20} \text{ Ah}$  ถ้ากระแสที่ทำการคายประจุอย่างต่อเนื่องเพิ่มขึ้น เช่น  $2I_{20}$  หรือ  $10I_{20}$  เวลาในการคายประจุและจุดแรงดันสุดท้ายจะลดลง ความจุที่ได้จะเป็นเพียงเปอร์เซ็นต์ของ Nominal capacity  $C_{20}$

### 3.4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันที่ขั้วกับเวลาในการคายประจุ(Terminal voltage-discharge time curve )

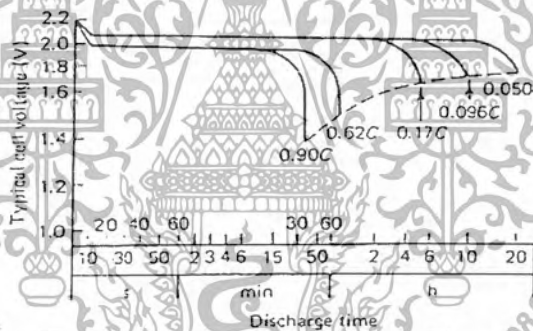
คุณสมบัติแรงดันของเซลล์สามารถอธิบายได้จากการเขียนกราฟสัมพันธ์ระหว่างแรงดันที่ขั้วกับเวลาในการคายประจุ เมื่อกำหนดให้อัตราการคายประจุและอุณหภูมิของแบตเตอรี่คงที่

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

โดยทั่วไปเมื่อคายประจุจนถึงแรงดันระดับต่างๆ กัน จะได้ความจุเป็นเปอร์เซ็นต์ของ Nominal capacity ดังตารางที่ 3.1

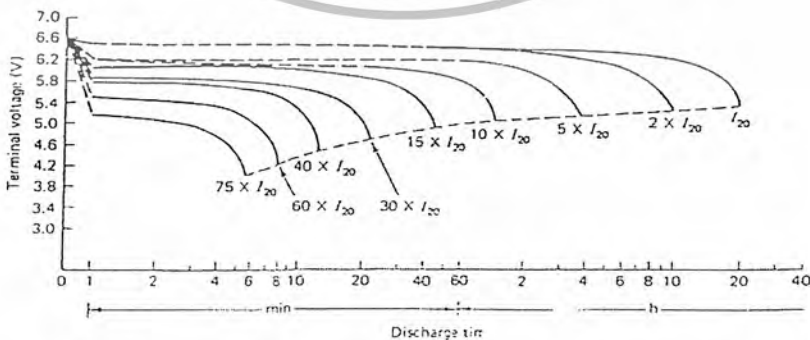
Discharge rate (h)	Approximate percentage of rated capacity	End-voltage (V/cell)
20	100	1.75
10	97	1.70
5	88	1.65
1	62	1.50
0.5	52	1.00

ตารางที่ 3.1 แสดงความจุเป็นเปอร์เซ็นต์การคายประจุจนถึงแรงดันระดับต่างๆกัน



รูปที่ 3.1 คุณสมบัติแรงดันที่อัตราการคายประจุต่างๆกันที่ 21 °C ของแบตเตอรี่ตะกั่วกรดขนาด 1.5 โวลต์

จากรูปที่ 3.1 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ของแรงดันทั่วไปของแบตเตอรี่ที่อัตราการคายประจุต่างกัน



รูปที่ 3.2 แสดงคุณสมบัติการคายประจุด้วยกระแสคงที่ ของแบตเตอรี่ตะกั่วกรด

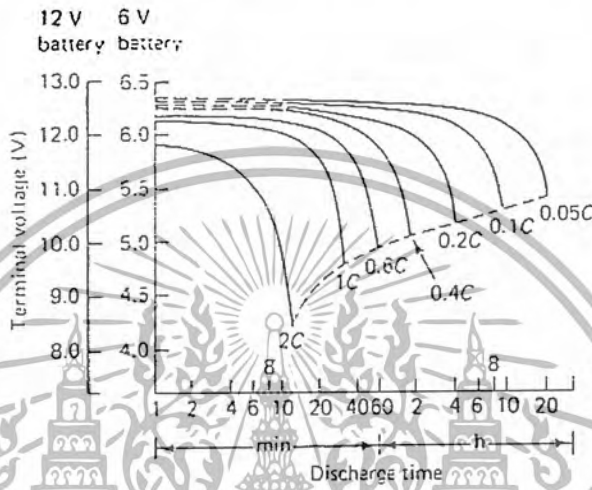
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.2 แสดงพฤติกรรมคายประจุของ Crompton-Parkinson range ของ partially recombining sealed batteries อย่างของการใช้กราฟเหล่านี้ พิจารณาแบตเตอรี่ SLA6-6.4 จ่ายกระแส 1.5 แอมป์ มี Nominal capacity  $C_{20} = 6.4 \text{ Ah}$  จะได้

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

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

กราฟ  $5 \times I_{20}$  ในรูปที่ 2.2 จะได้แรงดันสุดท้าย 5.1 โวลต์ เมื่อผ่านไป 3.5 ชั่วโมง



รูปที่ 3.3 แสดงคุณสมบัติการคายประจุที่ 20°C ของแบตเตอรี่ตะกั่วกรดของยี่ห้อ

รูปที่ 3.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันที่วัดกับเวลาในการคายประจุที่ผ่านไป เมื่อใช้อัตรา 20 ชั่วโมงของแบตเตอรี่ตะกั่วกรดแบบปิดผนึกกับแคลเซียมตะกั่วอัลลอยกริด ( Calcium-lead alloy grids ) ขนาด 6 และ 12 โวลต์ และรูปที่ 2.2 แสดงความสัมพันธ์เช่นเดียวกับรูปที่ 2.3 แต่เป็นแบตเตอรี่ขนาด 1.5 โวลต์ กราฟเหล่านี้แสดงค่า Nominal capacity ของแบตเตอรี่ที่ได้จากการคายประจุด้วยอัตรา 20 ชั่วโมง จนถึงแรงดันสุดท้าย 1.75 โวลต์/เซลล์ กราฟจะแสดงที่ตกลงเมื่อคายประจุด้วยอัตราความจุต่างๆ กัน ที่ 20°C หลังจากทำการอัดประจุ-คายประจุ 2-3 รอบ

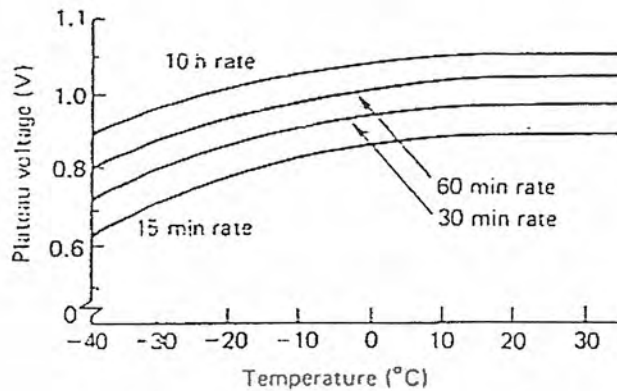
จากรูปที่ 2.3 เห็นได้ว่าความจุของแบตเตอรี่ที่อัตรา 20 ชั่วโมง เป็นค่ามาตรฐานในการอธิบาย ถ้าใช้อัตรามากกว่า 20 ชั่วโมงจะได้อายุที่น้อยกว่าที่อัตรา 20 ชั่วโมง

3.4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับอุณหภูมิของแบตเตอรี่ ( Plateau voltage-battery temperature curves )

วิธีที่ใช้ในการศึกษาผลของอุณหภูมิที่มีต่อพฤติกรรมของแบตเตอรี่ตะกั่วกรด และ เงินแคดเมียม คือการเขียนกราฟของแรงดันที่ได้จากการคายประจุด้วยอัตราต่างๆ กันกับอุณหภูมิของแบตเตอรี่ รูปที่ 3.4 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับอุณหภูมิของแบตเตอรี่ที่อัตราสูงและอัตราต่ำของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

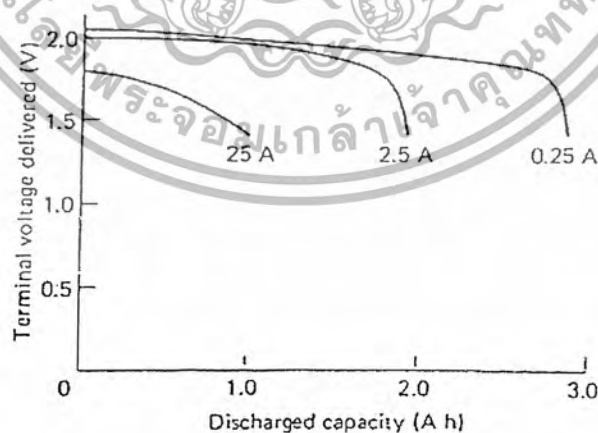
แบตเตอรี่เงินแคดเมียม เมื่ออุณหภูมิของแบตเตอรี่ลดลงจะทำให้แรงดันของแบตเตอรี่เปลี่ยนแปลงไปเล็กน้อย



รูปที่ 3.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับอุณหภูมิของแบตเตอรี่ที่อัตราสูงและอัตราต่ำของแบตเตอรี่เงิน-แคดเมียม

### 3.4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความจุที่ได้จากการคายประจุ กับอัตราการคายประจุ (Capacity returned (discharge capacity) – discharge rate curve)

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความจุที่ได้จากการคายประจุต่างๆ กันของแบตเตอรี่กับช่วงเวลาในการคายประจุในหน่วยชั่วโมง ที่อัตราการคายประจุและอุณหภูมิแบตเตอรี่ที่กำหนดไว้ใช้ในการประเมินพฤติกรรมต่างๆ ของแบตเตอรี่ การคายประจุที่ช้ากว่าจะให้ความจุที่มากกว่า  $20^{\circ}\text{C}$  รูปที่ 3.5 แสดงกราฟของแบตเตอรี่ตะกั่วกรดแบบนอนสปิลขนาด 6 โวลต์ (9 โวลต์ และ 28 Ah) คายประจุ  $20^{\circ}\text{C}$  ด้วยอัตรา 20 ชั่วโมง



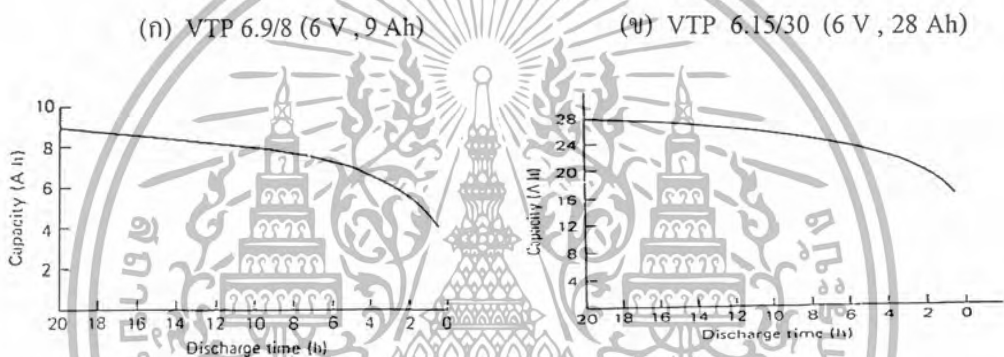
รูปที่ 3.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความจุที่ได้กับอัตราการคายประจุที่  $20^{\circ}\text{C}$  ของแบตเตอรี่ตะกั่วกรดขนาด 6 โวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความจุที่ได้จากการคายประจุกับแรงดันที่ขั้ว(Capacity returned (discharge capacity) – terminal voltage curves )

ตามที่ได้กล่าวในหัวข้อกราฟแสดงการคายประจุ ถ้ากระแสที่ได้จากแบตเตอรี่ขึ้นกับการคายประจุเพิ่มขึ้น ช่วงเวลาการคายประจุจนถึงจุดแรงดันสุดท้ายจะลดลง และแรงดันก็ลดลงด้วย กล่าวคือ ช่วงที่คายประจุอย่างรวดเร็ว แรงดันที่ได้จะลดลง เมื่อพิจารณาแบตเตอรี่ที่ใช้ในงานเฉพาะจะต้องการแรงดันเฉพาะระหว่างการคายประจุ จึงต้องมีกำหนดอัตราการคายประจุและความจุที่ต้องการไว้ล่วงหน้า

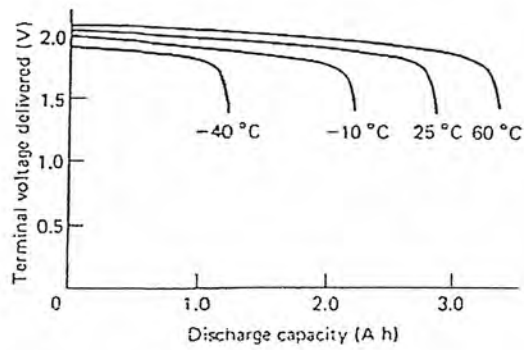
แบตเตอรี่ที่มีขนาดใหญ่หรือเล็กกว่าที่ต้องการ กระแส, แรงดัน, ช่วงเวลาในการคายประจุและอุณหภูมิมีความสัมพันธ์กันมาก การเขียนกราฟแสดงความจุที่ได้จากการคายประจุและแรงดันที่ขั้ว (หรือร้อยละของความจุ เพื่อให้ได้ความจุรวมและแรงดันที่อุณหภูมิเฉพาะ บางครั้งต้องมีการตัดสินใจที่จะเลือกใช้ที่ได้จากการคายประจุกับแรงดันที่ขั้ว) ก็มีความสำคัญในการตัดสินใจเลือกใช้แบตเตอรี่



รูปที่ 3.6 แสดงการคายประจุที่อัตราต่างๆ (โหลดคงที่) สำหรับแบตเตอรี่ตะกั่วกรด

รูปที่ 3.6 แสดงแรงดันที่ขั้วในการอัดประจุซึ่งเป็นฟังก์ชัน ของความจุที่ได้จากการคายประจุของแบตเตอรี่ชนิด General Electric fully recombining D cell กราฟทั่วไปจะแสดงการคายประจุด้วยกระแสคงที่ที่สภาวะมาตรฐาน

ทั้งความจุและแรงดันที่ได้จากการคายประจุที่เปลี่ยนแปลงไปจะเป็นส่วนกลับของฟังก์ชันของอัตราการคายประจุ ที่อัตราการคายประจุต่ำสุด แรงดันและความจุสูงสุด ชีดจำกัดของแรงดันที่ใช้งานอยู่ที่ 1.4 โวลต์ แรงดันคัทออฟที่จุดนั้นจะเร็ว และพลังงานที่ใช้เพิ่มขึ้นเล็กน้อยนั้นจะได้รับจากเซลล์โดยการพยายามใช้ให้มีระดับต่ำกว่า 1.4 โวลต์ กราฟในรูปที่ 3.6 แสดงให้เห็นถึงอัตราการคายประจุที่สูงและรุนแรงมาก สภาวะของ Concentration polarizaTion (ความเข้มข้นของสารอิเล็ก-โทรไลต์ลดลงจนเกือบกลายเป็น Active material ที่แผ่นพลต เนื่องจากการแพร่ของไอออนไม่เพียงพอ) เป็นผลให้เกิดการลดลงของแรงดันและความจุ



รูปที่ 3.7 แสดงการคายประจุที่อุณหภูมิต่างๆกัน (โหลดกระแสคงที่)

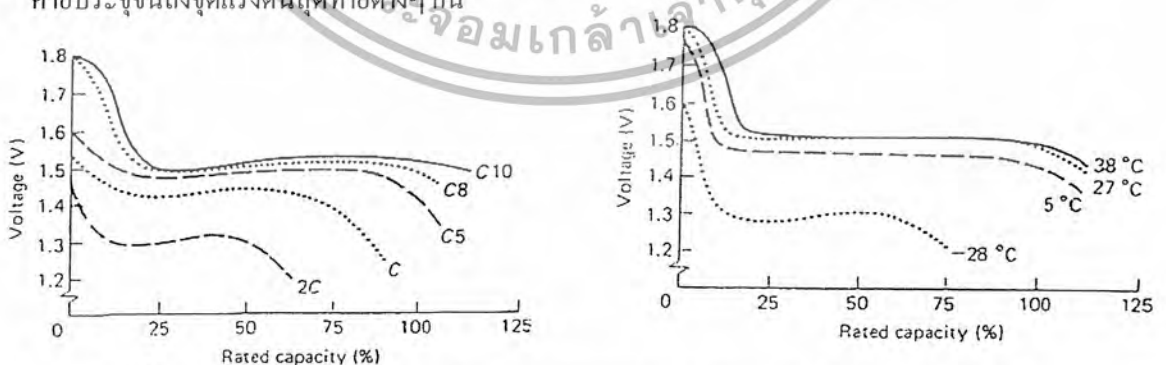
ผลของอุณหภูมิที่มีต่อกราฟแสดงการคายประจุของ D cell แสดงได้ดังรูปที่ 3.7 กราฟทั้งหมดได้จากการคายประจุด้วยกระแส 250 มิลลิแอมป์ ขณะที่อุณหภูมิต่ำลง อัตราการแพร่ของไอออนในสารอิเล็กโทรไลต์จะลดลง ด้วยเหตุนี้แรงดันที่จ่ายออกและความจุที่ได้ก็จะลดลงเมื่ออุณหภูมิของเซลล์ลดลง

#### 3.4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความจุที่สามารถนำมาใช้ได้กับแรงดัน (Withdrawable capacity – terminal voltage curves)

วิธีที่จะแสดงแรงดันที่ขึ้นอยู่กับความจุที่ได้จากการคายประจุคือการเขียนกราฟร้อยละของความจุที่สามารถนำมาใช้ได้ (คือความจุที่นำมาใช้ได้เป็นร้อยละของ Nominal capacity) เป็นฟังก์ชันของแรงดันของแบตเตอรี่ กราฟแบบนี้มีประโยชน์มากในการประเมินความสามารถในการอัดประจุเกิน (Overcharge) ของแบตเตอรี่

#### 3.4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความจุที่ได้จากการคายประจุกับกระแสที่ใช้คายประจุ (Capacity returned (discharge capacity) – discharge current curve)

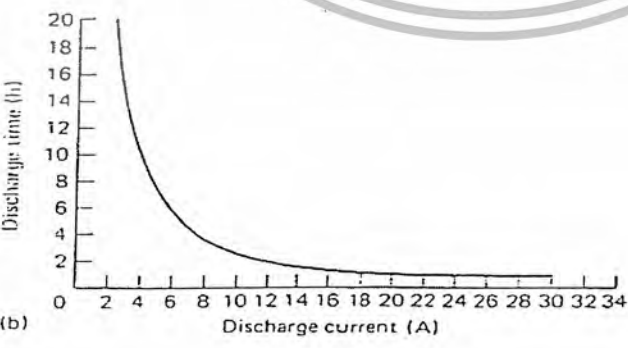
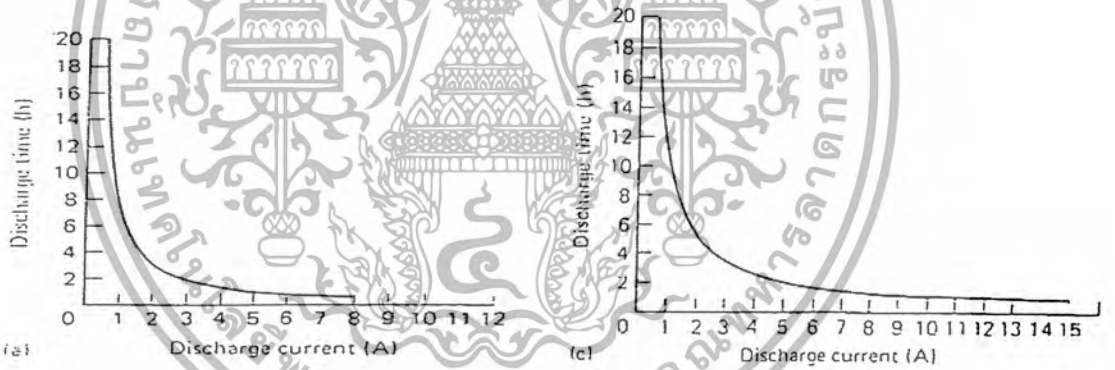
กราฟนี้แสดงได้ดังรูปที่ 3.8 เป็นการแสดงกราฟกระแสที่ใช้คายประจุกับความจุที่ได้จากการคายประจุจนถึงจุดแรงดันสุดท้ายต่างๆกัน



รูปที่ 3.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการคายประจุกับความจุที่ได้จากการคายประจุ

(Discharge rate – capacity returned ( discharge capacity ) curves )

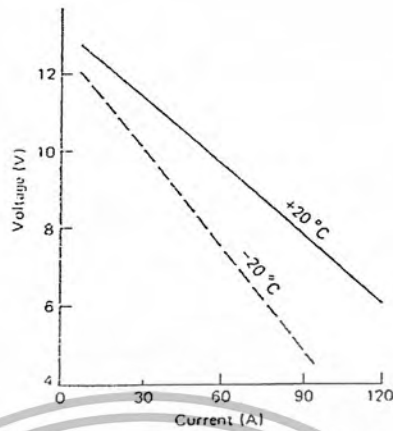
แบตเตอรี่ที่ผลิตจากโรงงานมีความจุ 20 Ah เมื่อคายประจุอย่างต่อเนื่องด้วยอัตรา 20 ชั่วโมง จนถึงจุดแรงดันสุดท้ายที่กำหนดไว้ ภายใต้สภาวะเหล่านี้ ความจุสูงสุดจริง 20 Ah จะได้จากการจ่ายกระแส 1 แอมป์ ด้วยอัตรา 20 ชั่วโมง ( $1C_{20}$ ) หรือผลคูณต่างๆของ 20 Ah เช่น 0.5แอมป์ สำหรับ 40 ชั่วโมง ( $0.5 \times C_{20}$ ) หรือ 2A ( $2 \times C_{20}$ ) สำหรับ 10 ชั่วโมง ความจุเต็ม 20 Ah จะถูกจ่ายออกมา (และบางครั้งก็มากกว่าเล็กน้อย) เมื่อระยะเวลาในการคายประจุเพิ่มมากกว่า 20 ชั่วโมง แต่ถ้าระยะเวลาในการคายประจุอย่างสมบูรณ์ลดลง เช่น 2 ชั่วโมง หรือ 10 นาที กระแสที่จ่ายออกมามีค่าสูงกว่า แต่ระยะเวลาที่ได้จะต่ำกว่าที่คำนวณจากความสัมพันธ์ข้างต้นซึ่งปรากฏการณ์เหล่านี้เกิดจากกระบวนการทางเคมีที่เกิดขึ้นกับแบตเตอรี่ซึ่งจำกัดไว้ที่ความจุเต็มที่ 20 Ah ด้วยเหตุนี้ถ้าการคายประจุอย่างรวดเร็วถูกแบ่งออกเป็นการคายประจุด้วยอัตราต่างๆ กันซึ่งมีช่วงเวลาในการพัก ความจุรวมที่ได้รับจะเกือบเท่ากับค่าทางทฤษฎี 20 Ah เนื่องจากช่วงเวลาที่เกิดขึ้นอยู่กับกระบวนการภายในแบตเตอรี่ เพื่อแสดงผลของอัตราการคายประจุที่มีต่อความจุได้จากการคายประจุรูปที่ 3.9 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



รูปที่ 3.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสที่คายประจุกับเวลาในการคายประจุของแบตเตอรี่ตะกั่วกรด แบบนอนสปิล ที่ต่อกันแบบอนุกรมขนาด 6 โวลต์ 12 Ah

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การที่แรงดันของเซลล์ลดลงเกี่ยวกับการเพิ่มขึ้นของกระแสที่จ่ายออก การลดลงของแรงดันนี้จะลดลงอย่างรวดเร็วขึ้น เมื่ออุณหภูมิต่ำกว่า ซึ่งแสดงได้ดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 แสดงคุณสมบัติการคายประจุของแบตเตอรี่เงิน-แคดเมียมขนาด 12 Ah

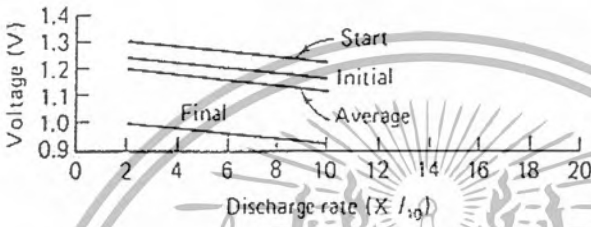
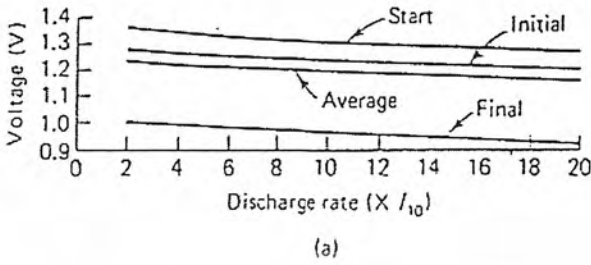
สำหรับแบตเตอรี่ตะกั่วกรด ตารางที่ 3.2 แสดงผลของอัตราการคายประจุระหว่างอัตรา 20 ชั่วโมง กับอัตรา 1 ชั่วโมง ที่มีผลต่อความจุที่ได้จากการคายประจุ ความจุที่ได้รับต่ำกว่าจะใช้เวลาในการคายประจุอย่างสมบูรณ์ลดลงมากกว่าช่วงทั้งหมดของแบตเตอรี่ (กล่าวคืออัตราการคายประจุเพิ่มขึ้น)

ตารางที่ 3.2 แสดงความจุที่ได้จากการคายประจุของแบตเตอรี่ตะกั่วกรดของยี่ห้อ ที่อัตราการคายประจุต่างๆกัน

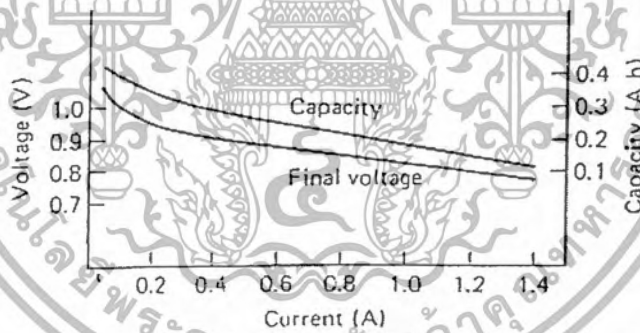
Type	Discharge capacity (A. h)				
	20 h rate	10 h rate	5 h rate	3 h rate	1 h rate
NP1.2-6	1.2	1.1	1.0	0.9	0.7
NP2.6-6	2.6	2.4	2.2	2.0	1.6
NP4-6	4.0	3.7	3.4	3.1	2.4
NP4.5-6	4.5	4.2	3.8	3.5	2.7
NP6-6	6.0	5.6	5.1	4.6	3.6
NPS-6	8.0	7.4	6.8	6.2	4.3
NP10-6	10.0	9.3	8.5	7.7	6.0
NP1.9-12	1.9	1.8	1.6	1.5	1.1
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

3.4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการคายประจุ กับแรงดันที่ขั้วแบตเตอรี่

(Discharge rate – terminal voltage curves )



รูปที่ 3.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการคายประจุและแรงดันของ Rolled sintered Ni-Cd battery เมื่อคายประจุที่  $0^{\circ}\text{C}$  และ  $-20^{\circ}\text{C}$  หลังจากอัดประจุที่อุณหภูมิห้อง



รูปที่ 3.12 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันและความจุกับกระแสที่จ่ายออกสำหรับ Ni-Cd battery ( 0.4 และ 5.6 Ah แบบปิดผนึก ) จะเห็นได้ว่าทั้งความจุและแรงดันลดลงขณะที่กระแสจ่ายออกเพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

# ทฤษฎีการสร้างสัญญาณพีดับบลิวเอ็มสำหรับควบคุมดิซีสวิตช์ซิงโครมค คอนเวอร์เตอร์

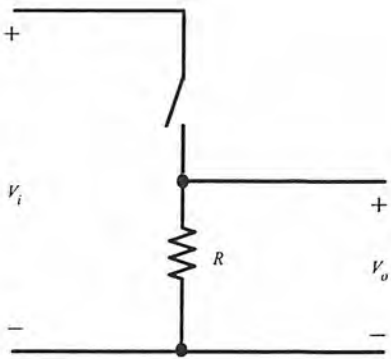
### 4.1 บทนำ

ในบทนี้จะนำเสนอในส่วนของหลักการและวิธีสร้างสัญญาณพีดับบลิวเอ็มที่ใช้สำหรับ ควบคุม วงจรพูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ ในขั้นต้นจะกล่าวถึงเทคนิคและการสร้างสัญญาณพีดับบลิวเอ็มแบบต่างๆ ที่ใช้ในการควบคุมการทำงานของวงจรคอนเวอร์เตอร์ พร้อมการประยุกต์ใช้ในงานด้านการคาย ประจุแบตเตอรี่ ส่วนตอนท้ายจะเป็นการพิจารณาถึงส่วนของการสวิตช์ของสัญญาณพีดับบลิวเอ็มแบบ ยูนิโพลาร์ โดยนำไปใช้ในการควบคุมวงจรพูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์แบบดิซีสวิตช์พร้อมอธิบายถึงทิศทาง ของกระแสและแรงดันทางด้านเอาต์พุทของโหมคการทำงานในสถานะการสวิตช์

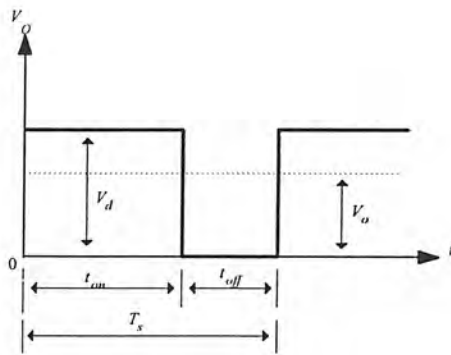
### 4.2 เทคนิคการสร้างสัญญาณพีดับบลิวเอ็ม

ในการเลือกใช้แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงโดยทั่วไปแล้วจะมีลักษณะการควบคุมแรงดันอยู่สอง ประเภท โดยประเภทแรกจะเป็นการควบคุมแรงดันทางด้านกระแสกลับเป็นไฟกระแสตรง ส่วนมากจะ ใช้การ โดยควบคุมมุมจุดขนานของเอสซีอาร์ (Phase Control) ในแต่ละเฟสของสัญญาณกระแสกลับ ส่วนการควบคุมประเภทสองคือการแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง หรือที่ เรียกว่า ดิซีสวิตช์ คอนเวอร์เตอร์ เป็นการแปลงไฟฟ้ากระแสตรงที่ระดับแรงดันหนึ่ง ไปเป็นแรงดัน กระแสตรงที่ระดับแรงดันต่างๆ โดยการใช้อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำมาเป็น สวิตช์ควบคุมการถ่ายโอนพลังงานจากอินพุทไปเอาต์พุท โดยอาศัยการควบคุมความกว้างของพัลส์พีดับบลิวเอ็มในการเปิด-ปิดสวิตช์ หรือการตัดต่อของสวิตช์ ในการออกแบบการควบคุมแรงดันเอาต์พุทของวงจรดิซีสวิตช์คอนเวอร์เตอร์ ข้อสำคัญประการหนึ่งที่จะต้องคำนึงถึงสามารถลดการแกว่งของกระแสและแรงดันทางด้านเอาต์พุท ขณะมีโหลด

ในการพิจารณาออกแบบพื้นฐานของการสวิตช์วงจรกำลังสามารถพิจารณาในรูปที่ 4.2 (ก) โดย กำหนดให้  $V_f$  คือแรงดันอินพุทของไฟฟ้กระแสตรงและ  $V_o$  คือแรงดันเอาต์พุทของไฟฟ้กระแสตรง จากรูปที่ 4.2 (ข) เป็นรูปคลื่นแรงดันเอาต์พุทที่ถูกควบคุมด้วยการสวิตช์  $t_{on}$  และ ความถี่ในการสวิตช์มี ค่าคงที่ จึงมีคาบเวลาทั้งหมด  $T_s = t_{on} + t_{off}$  ทำให้สามารถควบคุมแรงดันเอาต์พุทด้วยการปรับ ความกว้างของพัลส์ ซึ่งวิธีนี้เรียกว่า การควบคุมสัญญาณแบบพีดับบลิวเอ็มโดยดัชนีการมอดูเลต  $D$  คือ คาบเวลาในการ  $t_{on}$  ของหนึ่งคาบเวลาของ  $T_s$  ซึ่งในการเปลี่ยนแปลง ดัชนีการมอดูเลตจะทำให้แรงดัน เอาต์พุทเปลี่ยนไป



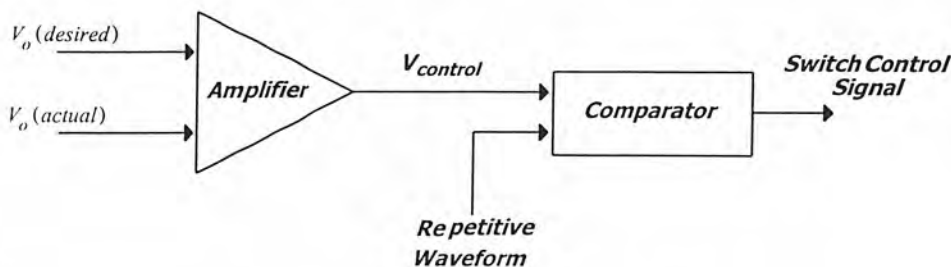
(ก) วงจรสวิตช์กำลัง



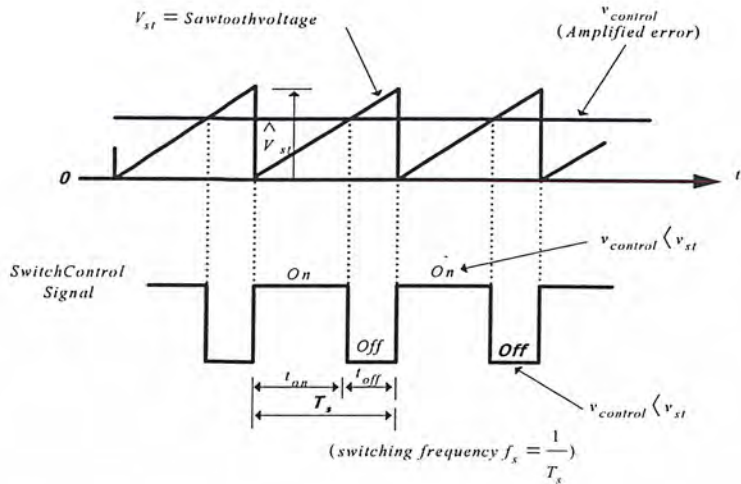
(ข) แรงดันที่ได้จากการควบคุม

รูปที่ 4.1 วงจรสวิตช์โหมคคอนเวอร์เตอร์

ในการออกแบบ วงจรควบคุมแรงดันเอาต์พุตที่ชดเชยคอนเวอร์เตอร์ จะมีด้วยกันหลายวิธี ซึ่งพื้นฐานในการออกแบบโดยทั่วไปก็คืออาศัยการเปรียบเทียบของสัญญาณระหว่างสัญญาณควบคุมที่เป็นไฟกระแสตรง  $V_{control}$  กับสัญญาณคลื่นพาหะ  $V_{tri}$  ที่เป็นสัญญาณฟันเลื่อย โดยกำหนดให้ช่วงเวลาการทำงาน  $D$  มีค่าไม่เกิน 90% ของการสวิตช์ และการกำหนดค่าความถี่ของสัญญาณคลื่นพาหะให้สูง ซึ่งจะสามารถช่วยลดริปลีของกระแสและแรงดันได้ แต่จะเกิดการสูญเสียในการสวิตช์พร้อมจะทำให้เกิดความร้อนสูงขึ้น การออกแบบที่แสดงในรูปที่ 4.2 แสดงถึงการควบคุมสัญญาณการสวิตช์ ซึ่งกำหนดจากคาบเวลาการ ON และ OFF ของความถี่ของสัญญาณพาหะจากรูปที่ 4.2 (ก) จะแสดงการสร้างสัญญาณที่ดับลิแอมในการสวิตช์ โดยในส่วนตัวทางด้านสัญญาณอินพุตจะมีการเปรียบเทียบสัญญาณที่ได้จากการตรวจวัดจริงของแรงดันเอาต์พุต  $V_o(actual)$  กับสัญญาณอ้างอิง  $V_o(desired)$  โดยวงจรเปรียบเทียบสัญญาณความแตกต่าง (Amplifier) ที่มีหน้าที่ในการตรวจวัดความคลาดเคลื่อน ซึ่งจะได้สัญญาณเอาต์พุตเป็นสัญญาณความแตกต่าง (Error signal) หรือสัญญาณแรงดันควบคุม ดังนั้นสัญญาณที่ได้จะถูกนำไปเปรียบเทียบกับสัญญาณคลื่นพาหะ ที่ใช้กำหนดความถี่ในการสวิตช์ โดยจะพบว่าเอาต์พุตที่ได้จะเป็นสัญญาณที่ดับลิแอมที่มีการควบคุมความกว้างของพัลส์จากการเปลี่ยนแปลงระดับสัญญาณแรงดันควบคุมที่มีผลมาจากสัญญาณอินพุตทั้งสองของวงจรเปรียบเทียบความแตกต่างสัญญาณ



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.2 รูปแบบพื้นฐานในการสร้างสัญญาณพัลส์พีดับบลิวเอ็ม

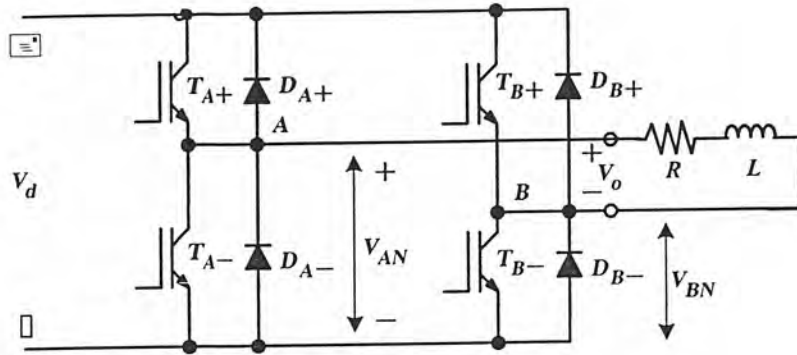
- (ก) บล็อกไดอะแกรมของการสร้างสัญญาณพีดับบลิวเอ็ม
- (ข) Comparator signal ในการสร้างสัญญาณพีดับบลิวเอ็มกำหนดให้ความถี่สวิทช์มีค่า คงที่

ในการเปรียบเทียบสัญญาณควบคุมกับสัญญาณคลื่นพาหะดังรูปที่ 4.2(ข) จากการมอดูเลตสัญญาณจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความกว้างของพัลส์ โดยพิจารณาได้จากระดับแอมป์จูดของแรงดันควบคุม จากการควบคุมจะพบว่าเมื่อระดับแรงดันควบคุมมีสัถย์ที่มากกว่าสัถย์ของสัญญาณคลื่นพาหะ แบบฟันเลื่อย จะทำให้สัญญาณพัลส์ที่เกิดขึ้นจะมีค่าเป็นบวก สวิทช์จะทำงานอยู่ในสภาวะ ON แต่ขณะเดียวกันเมื่อสัถย์ของแรงดันควบคุมมีค่าต่ำกว่าสัถย์ของสัญญาณคลื่นพาหะ จะทำให้สัญญาณพัลส์มีค่าเป็นศูนย์ สวิทช์จะทำงานอยู่ในสภาวะ OFF ซึ่งคาบเวลาของการสวิทช์ทั้งหมดจะขึ้นอยู่กับความถี่ของสัญญาณคลื่นพาหะ ซึ่งในที่นี้คือความถี่ของสัญญาณฟันเลื่อยที่กำหนดขึ้น

$$D = \frac{t_{on}}{T_s} = \frac{v_{control}}{v_{st}} \tag{4.1}$$

4.2.1 หลักการออกแบบวงจรกำลังแบบฟูลบริดจ์

วงจรฟูลบริดจ์ที่ได้ทำการออกแบบโดยมีการควบคุมสัญญาณแบบพีดับบลิวเอ็ม โดยนำไปใช้ในการทดสอบการคายประจุแบตเตอรี่ สามารถแสดงได้จากรูปที่ 4.3 โดยที่แรงดันเชื่อมโยงกระแสตรงทางด้านอินพุทคือ  $V_d$  โดยแรงดันเชื่อมโยงกระแสตรงจะมีค่าคงที่ ขณะที่แรงดันเอาต์พุทกระแสตรง  $V_o$  ที่ได้สามารถควบคุมได้ทั้งขนาด (Magnitude) และทิศทางขั้ว (Polarity)



รูปที่ 4.3 วงจรแปลงผันดิซิทรีซีแบบฟูลบริดจ์

ในการออกแบบวงจรการทดสอบประจุแบตเตอรี่ ได้เลือกใช้วงจรกำลังแบบฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ โดยลักษณะของวงจรจะใช้อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำมาเป็นสวิตช์กำลังเปิดปิดที่ความถี่สูงได้ ได้แก่ ไอจีบีที สามารถแสดงได้จากรูปที่ 4.3 จากวงจรกำลังที่ได้แสดงจะมีไดโอดมาต่อขนานกับตัวสวิตช์กำลัง ในลักษณะการต่อจะมีการกำหนดทิศทางกระแสให้มีทิศทางตรงข้ามกับสวิตช์กำลัง เนื่องจากไดโอดจะช่วยให้มีการไหลของกระแสที่ต่อเนื่องเมื่อสวิตช์กำลังทำงานอยู่ในสถานะ OFF และไดโอดดังกล่าวจะช่วยให้การส่งผ่านกำลังงาน เมื่อนำเอาวงจรฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ไปใช้ในการคายประจุแบตเตอรี่ ในวงจรฟูลบริดจ์จะประกอบด้วยการต่อสวิตช์อนุกรมกัน 2 กิ่งโดยแต่ละกิ่งจะประกอบด้วยสวิตช์กับไดโอดที่ต่อขนานกัน แต่จะสลับทิศทางกระแส ลักษณะการทำงานจะเริ่มตอนที่สวิตช์คู่ใดคู่หนึ่งต้องจerk่อนและเวลาเดียวกันอีกคู่ที่เหลือจะต้องเปิดวงจรหมายความว่าในสวิตช์ 2 ตัวที่อยู่ในกิ่งเดียวกัน โดยสวิตช์ทั้งคู่จะสลับกันเปลี่ยนสถานะซึ่งจะไม่มีกรปิดพร้อมกัน เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 4.3 เมื่อสวิตช์กำลังในแต่ละกิ่งได้ถูกควบคุมให้ทำงาน จะพบว่ากระแสเอาต์พุตของวงจรจะมีทิศทางของกระแสไหลต่อเนื่องและจะเกิดแรงดันเอาต์พุต โดยจะขึ้นอยู่กับสถานะการทำงานของสวิตช์ เมื่อพิจารณาจุด A จะเห็นว่าแรงดันเอาต์พุตเมื่อเทียบกับแรงดันดิซิทรีซีค่าลบของแบตเตอรี่หรือแรงดัน  $V_{AN}$  จะปรากฏค่าขึ้น เมื่อสวิตช์  $T_{A+}$  ต้องจerk โดยค่ากระแส  $i_o$  มีค่าเป็นบวกกระแสนี้จะไหลผ่านสวิตช์  $T_{A+}$  แต่ถ้า  $i_o$  มีค่าเป็นลบกระแสนี้จะไหลผ่าน  $D_{A+}$  และการนำกระแสแต่ละครั้งของ  $T_{A+}$  ค่าความต่างศักย์ที่จุด A จะเป็นค่าเดียวกับสัญญาณอินพุตด้วย หรือ ทำนองเดียวกันเมื่อ  $T_{A-}$  ต้องจerk ถ้า  $i_o$  มีค่าเป็นลบกระแสนี้จะไหลผ่าน  $T_{A-}$  (เนื่องจาก  $D_{A+}$  ไบแอสกลับ) แต่ถ้าหาก  $i_o$  มีค่าเป็นบวกกระแสจะไหลผ่าน  $T_{B-}$

$$\text{ถ้า } T_{A+} \text{ ต้องจerk และ } T_{A-} \text{ เปิดวงจร } V_{AN} = V_d$$

$$\text{ถ้า } T_{A-} \text{ ต้องจerk และ } T_{A+} \text{ เปิดวงจร } V_{AN} = 0$$

จากการสวิตช์จะเห็นว่า  $V_{AN}$  มีค่าขึ้นอยู่กับสถานะการสวิตช์เท่านั้น ไม่ได้ขึ้นอยู่กับทิศทางการไหลของกระแส  $i_o$  เพราะฉะนั้นแรงดันเอาต์พุตเฉลี่ยตลอดคาบการสวิตช์  $T_s$  ของวงจรที่จุด  $A$  จะมีค่าขึ้นอยู่กับแรงดันอินพุต  $V_d$  กับอัตราส่วนของการสวิตช์  $T_A +$  ดังนั้น

$$V_{AN} = V_d D_1 \quad (4.2)$$

$D_1$  คือ อัตราส่วนของการสวิตช์  $T_A +$

ในทำนองเดียวกับที่จุด  $B$  ของวงจรฟูลบริดจ์ได้  $V_{BN}$  ขึ้นอยู่กับการทำงานของสวิตช์  $T_B +$

$$V_{BN} = V_d D_2 \quad (4.3)$$

$D_2$  คือ อัตราส่วนของการสวิตช์  $T_B +$

ในคอนเวอร์เตอร์ชนิด 1 เฟสก่อนการพิจารณาจะพบว่าขาของแรงดันทางด้านเอาต์พุตจะอยู่ในทิศทางเดียวกัน เมื่อสวิตช์ในชุดคอนเวอร์เตอร์ถูกควบคุมด้วยสัญญาณพีดับบลิวเอ็มที่มีการเปรียบเทียบสัญญาณความถี่สามเหลี่ยมกับระดับแรงดันคิซี สำหรับแรงดันเอาต์พุตของฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์เมื่อต้องการกลับขั้วของแรงดัน โดยการควบคุมจะใช้สัญญาณความถี่รูปคลื่นสามเหลี่ยมในการเปรียบเทียบสำหรับการสวิตช์ ซึ่งสามารถแยกการพิจารณากำหนดการสวิตช์ได้ดังนี้คือ

- สัญญาณพีดับบลิวเอ็มแบบไบโพลาร์ ซึ่งจะมีการสวิตช์  $(T_{A+}, T_{B-})$  และ  $(T_{A-}, T_{B+})$

โดยการควบคุมสวิตช์ทั้งคู่จะทำงานพร้อมกันโดยในแต่ละคู่จะทำงานพร้อมกัน แต่สัญญาณแต่ละคู่จะทำงานตรงกันข้าม

- สัญญาณพีดับบลิวเอ็มแบบยูนิโพลาร์ ซึ่งสัญญาณความถี่ในการสวิตช์จะเป็นสองเท่าของสัญญาณพีดับบลิวเอ็ม โดยสัญญาณการสวิตช์แต่ละตัวของอุปกรณ์จะถูกควบคุมที่เป็นอิสระต่อกันทุกๆขาของอุปกรณ์

#### 4.3 สัญญาณพีดับบลิวเอ็มแบบไบโพลาร์

ในรูปแบบของสัญญาณการสวิตช์  $(T_{A+}, T_{B-})$  และ  $(T_{A-}, T_{B+})$  ในการทำงานจะเป็นคู่ทุกคู่จะสลับการทำงานในสภาวะ ON และ OFF เสมอ ในการสร้างสัญญาณการสวิตช์โดยอาศัยการเปรียบเทียบสัญญาณความถี่พหุกับสัญญาณแรงดันควบคุมโดยกำหนดให้  $v_{control} > v_{tri}$  จะพบว่า  $T_{A+}$  และ

$T_{B-}$  จะทำการ ON และลักษณะตรงกันข้ามคือ  $T_{A+}$  และ  $T_{B-}$  จะทำการ ON ดัชนีการมอดูเลตสามารถพิจารณาได้จากสัญญาณในภาพที่ 4.4 โดยสามารถกำหนดคาบเวลาในการควบคุมของสัญญาณการสวิตช์

$$v_{tri} = \hat{V}_{tri} \frac{t}{T_s/4} \quad 0 < t < \frac{1}{4}T_s \quad (4.4)$$

ที่  $t=t_1$  ในรูปที่ 4.4  $v_{control} = v_{tri}$  จากสมการ (4.4) จะได้สมการดังนี้

$$t_1 = \frac{v_{control} T_s}{\hat{V}_{tri} 4} \quad (4.5)$$

น.ย.

จากรูปที่ 4.4 จะพิจารณาช่วงเวลา  $t_{on}$  ของการทำงานสวิตช์คู่คือ  $(T_{A+}, T_{B-})$  จะได้สมการดัง

$$t_{on} = \frac{2t_1 + T_s}{2} \quad (4.6)$$

เมื่อดัชนีพิจารณาการมอดูเลตของสมการ (4.6) จะได้สมการดังนี้

$$D_1 = \frac{t_{on}}{T_s} = \frac{1}{2} \left( 1 + \frac{v_{control}}{\hat{V}_{tri}} \right) \quad (T_{A+}, T_{B-}) \quad (4.7)$$

เมื่อพิจารณาดัชนีการมอดูเลตสวิตช์ตัวคู่ที่สอง จาก  $(T_{A-}, T_{B+})$  จะได้สมการดังนี้

$$D_2 = 1 - D_1 \quad (T_{A-}, T_{B+}) \quad (4.8)$$

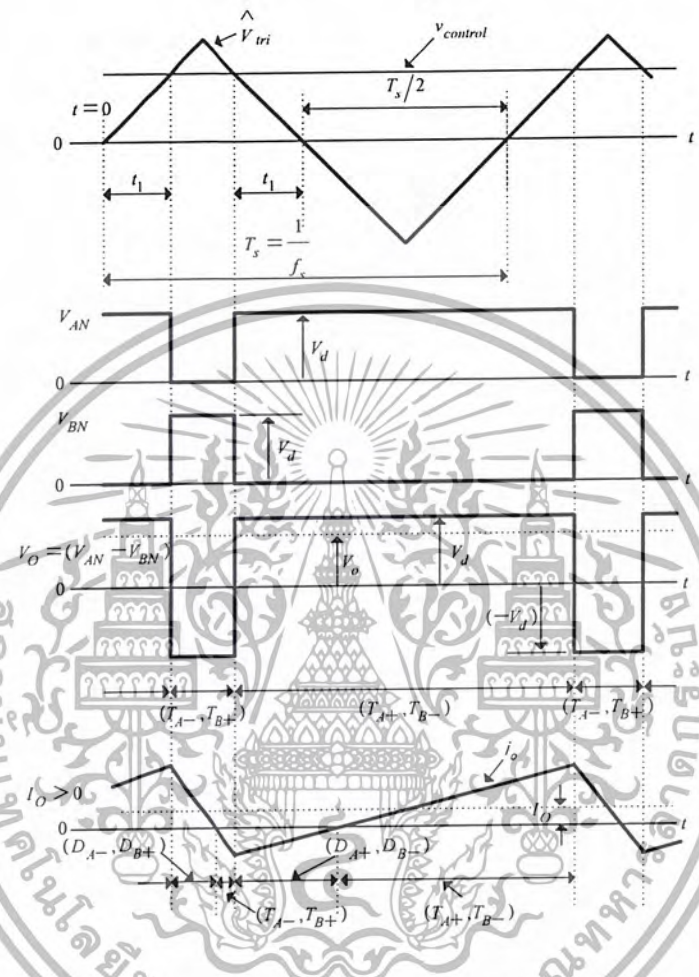
จากการหาดัชนีการมอดูเลตที่ผ่านมา สามารถหาสัญญาณแรงดันในการสวิตช์  $V_{AN}$  และ  $V_{BN}$  จากรูปที่ 4.4 จะได้ตามสมการ

$$V_o = V_{AN} - V_{BN} = D_1 V_d - D_2 V_d = (2D_1 - 1)V_d \quad (4.9)$$

นำสมการ (4.7) มาแทนในสมการ (4.9) และจัดรูปแบบสมการใหม่จะได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$V_o = \frac{V_d}{\hat{V}_{tri}} v_{control} = kv_{control} \tag{4.10}$$



รูปที่ 4.4 การสร้างสัญญาณพีดับบลิวเอ็มแบบไบโพลาร์

#### 4.4 การสร้างสัญญาณพีดับบลิวเอ็มที่มีการสวิตช์แบบยูนิโพลาร์

ในรูปที่ 4.5 เป็นการแสดงทิศทางการไหลของกระแส  $i_o$  จะพบว่าเมื่อสวิตช์  $T_{A+}$  และ  $T_{B+}$  นำกระแสทั้งคู่จะได้แรงดัน  $V_o = 0$  ในทำนองเดียวกันถ้าสวิตช์  $T_{A-}$  และ  $T_{B-}$  นำกระแสทั้งคู่ ก็จะได้แรงดัน  $V_o = 0$  เช่นกัน ด้วยคุณลักษณะดังกล่าวนี้ จึงนำไปพัฒนารูปคลื่นแรงดันด้านเอาต์พุต ที่มีการควบคุมการทำงานของสวิตช์แบบพีดับบลิวเอ็มยูนิโพลาร์ ดังแสดงในรูปที่ 4.5 สัญญาณสามเหลี่ยม  $v_{tri}$  ได้ถูกนำมาเปรียบเทียบกับสัญญาณควบคุม ที่เป็นบวก  $v_{control}$  และสัญญาณควบคุมที่เป็นลบ

$-v_{control}$  เพื่อใช้ในการกำหนดสัญญาณการ สวิตช์ของขา A และ B ตามลำดับ โดยสถานะการสวิตช์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของขา  $A$  ได้ถูกมอดูเลตโดยการเปรียบเทียบสัญญาณควบคุมที่เป็นบวกกับสัญญาณสามเหลี่ยม และในทำนองเดียวกันสถานะการสวิตช์ของขา  $B$  ได้ถูกการมอดูเลตโดยการเปรียบเทียบกับสัญญาณควบคุมที่เป็นลบกับสัญญาณสามเหลี่ยม ดังนั้นการทำงานต่อไปนี้

$$\text{ถ้า } v_{control} > v_{tri} \quad \text{สวิตช์ } T_{A+} \text{ นำกระแส} \quad (4.11)$$

$$\text{และถ้า } -v_{control} > v_{tri} \quad \text{สวิตช์ } T_{B+} \text{ นำกระแส} \quad (4.12)$$

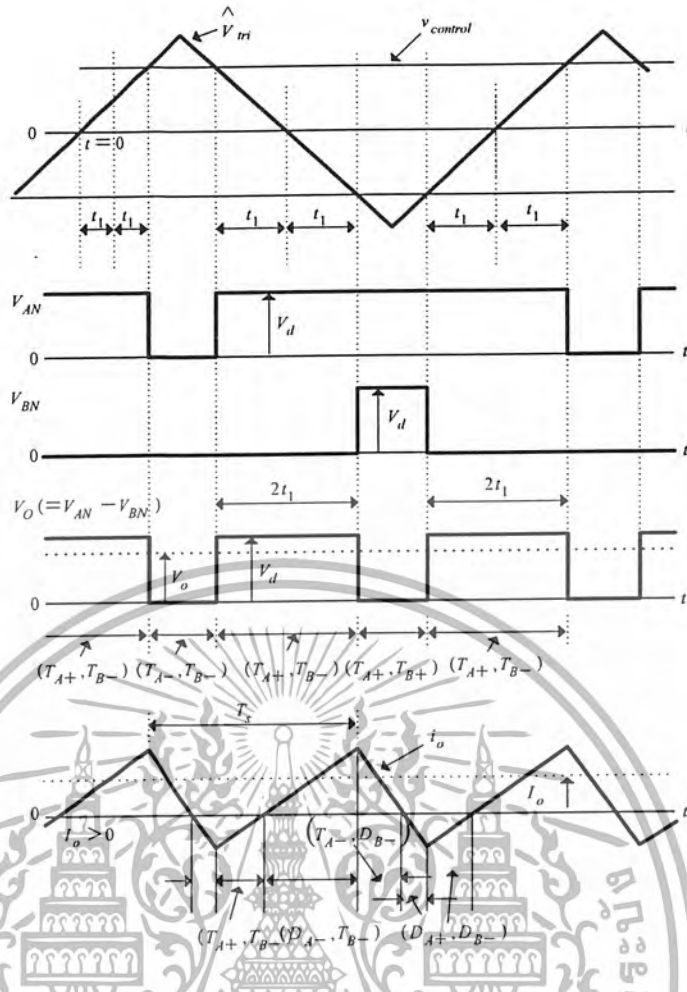
จะพบว่าแรงดันเอาต์พุตของแต่ละกิ่งในวงจร จะได้ตามรูปที่ 4.5 และจากการเปรียบเทียบระหว่างขาทั้งสอง จะเห็นว่าอัตราส่วนการทำงานของ  $D_1$  ของการสวิตช์  $T_{A+}$  สามารถคำนวณได้จากสมการ (4.7) ด้วยรูปแบบการสวิตช์ดังได้กล่าวมาแล้วและในทำนองเดียวกัน อัตราส่วนการทำงานของ  $D_2$  ของการสวิตช์  $T_{B+}$  สามารถคำนวณได้จากสมการ (4.8) นั่นคือ

$$D_1 = \frac{1 + \frac{v_{control}}{V_{tri}}}{2} \quad (\text{สำหรับ } T_{A+}) \quad (4.13)$$

$$D_2 = 1 - D_1 \quad (\text{สำหรับ } T_{B+}) \quad (4.14)$$

เมื่อแทนค่า  $V_{AN}$  และ  $V_{BN}$  ดังเช่นสมการที่ (4.9) ซึ่งจะให้ค่า  $V_o$  ดังสมการต่อไปนี้

$$V_o = V_d(2D_1 - 1) = \frac{V_d}{V_{tri}} v_{control} \quad (4.15)$$



รูปที่ 4.5 การสร้างสัญญาณที่ดับบลิวเอ็มแบบยูนิโพลาร์

ซึ่งเทคนิคการสวิตช์แบบยูนิโพลาร์จะพบว่าแรงดันเอาต์พุต  $V_o$  มีค่าเป็นลักษณะเชิงเส้น กับ  $v_{control}$  จากรูปที่ 4.5 ได้แสดงการนำกระแสของอุปกรณ์และได้รูปกระแสทั้ง  $I_o > 0$  และ  $I_o < 0$  ตามลำดับ โดยที่แรงดัน  $V_o$  มีค่าเป็นบวกทั้ง 2 ครึ่ง และถ้าความถี่สวิตช์ของแผนการ สวิตช์แบบที่ดับบลิวเอ็มทั้งสองเท่ากัน จะเห็นว่าผลการสวิตช์แรงดันแบบยูนิโพลาร์จะให้รูปคลื่นแรงดันเอาต์พุตกับผลการตอบสนองความถี่ดีกว่า เนื่องจากประสิทธิผลของการสวิตช์ทำให้ความถี่ของรูปคลื่นเอาต์พุตมีค่าเป็นสองเท่า จึงเป็นผลทำให้รบกวนทางด้านเอาต์พุตลดลง

#### 4.5 การนำวงจรคอนเวอร์เตอร์ดีซีทูดีซีไปใช้ในการทดสอบการคายประจุแบตเตอรี่

การพิจารณาการนำวงจรแบบฟูลบริดจ์ดีซีทูดีซีไปใช้ในการควบคุมชุดทดสอบความจุแบตเตอรี่ เมื่ออุปกรณ์สวิตช์กำลังทำงานจะปรากฏว่าจะมีแรงดันตกคร่อมภายในตัวน้อยมาก เมื่อขณะที่มีการหยุดนำกระแสจะทำให้แรงดันที่ตกคร่อมเท่ากับแรงดันที่ดีซีบัต และจะมีกระแสไหลผ่านน้อยมากถือว่าเป็น

ศูนย์ ด้วยเหตุนี้จึงทำให้การสูญเสียทางด้านเอาท์พุทมีค่าเป็นศูนย์ดังนั้นการควบคุมแบบฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์จึงได้มีการนำมาใช้งาน โดยในงานวิจัยนี้ได้เลือกการใช้วงจรฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ที่มีการควบคุมสัญญาณแบบพีดีบลิเอ็มแบบยูนิโพลาร์สามารถดริบเป็ลกระแสทางด้านเอาท์พุทเมื่อทำการเพิ่มความถี่ในการสวิตช์ที่สูงขึ้น และความถี่นี้สามารถควบคุมรักษาระดับกระแสสูงๆได้ ดังนั้นในการพิจารณาเลือกใช้วงจรคอนเวอร์เตอร์ในการควบคุมการจ่ายประจุ สามารถแบ่งข้อสำคัญในการเลือกใช้งานได้ดังนี้

4.5.1 ชุดคอนเวอร์เตอร์สามารถควบคุมโหมดกระแสต่อเนื่องที่พิกัดกระแสสูงสุดได้

4.5.2 เหมาะสำหรับงานที่ต้องการการป้อนกลับอย่างแม่นยำ ในด้านแรงดันเอาท์พุท โดยมีผลตอบสนองของระบบที่มีเสถียรภาพ โดยแยกอิสระจากโหลด

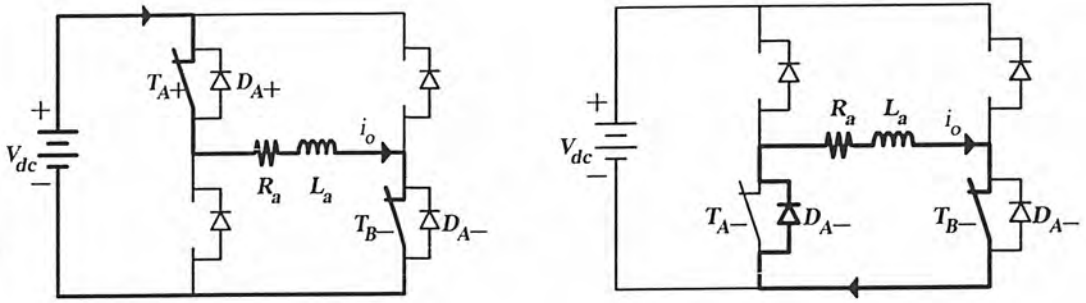
#### 4.6 หลักการทำงานของแผนการสวิตช์

การทำงานของวงจรฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ที่มีการสวิตช์แบบเทคนิคพีดีบลิเอ็มยูนิโพลาร์ เมื่ออุปกรณ์สวิตช์ทำงานจะเกิดการนำกระแสผ่านโหลด โดยในวงจรได้มีไดโอดต่อคร่อมอุปกรณ์สวิตช์ ซึ่งจะถูกใช้เป็นส่วนควบคุมให้มีการถ่ายเทพลังงานที่สะสมในตัวเหนี่ยวนำ ดังนั้นลำดับการทำงานของสวิตช์และไดโอด จะทำให้เกิดกระแสไหลต่อเนื่อง โดยขึ้นอยู่กับโหลดและช่วงเวลาการสวิตช์ โดยโหมดการสวิตช์สามารถจัดแบ่งได้เป็นโหมดการทำงานใหญ่ๆได้ 8 โหมด ในแต่ละโหมดจะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการทำงานของสวิตช์และไดโอดแต่ละตัวกับผลของทิศทางการไหลของกระแสและสัญญาณแรงดันเอาท์พุท

ในการวิเคราะห์ จะเข้าไปตามทฤษฎีวงจรไฟฟ้าเพื่อหาลักษณะการทำงานในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ในรูปของคาบเวลาการทำงานของแรงดันและกระแสที่เปลี่ยนไปตามแต่ละโหมดการทำงาน

##### 4.6.1 โหมดการทำงาน 1,2

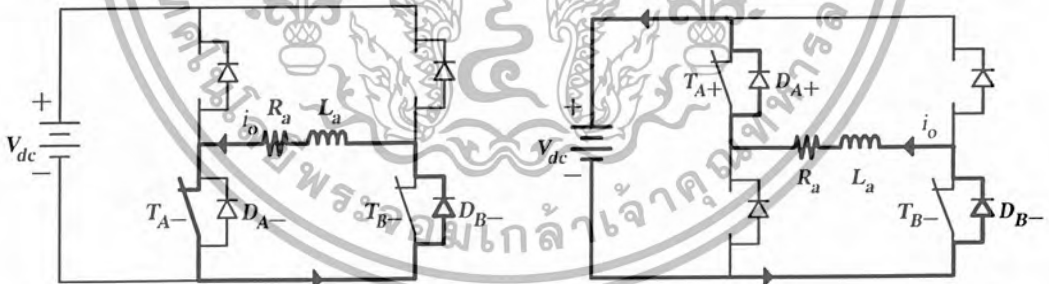
ตามรูปที่ 4.6 โหมดนี้จะเป็นสภาวะทำงานปกติ โดยจะมีช่วงการสวิตช์อยู่สองช่วง โดยช่วงแรกจะให้สวิตช์  $T_{A+}, T_{B-}$  นำกระแส ส่วนสวิตช์  $T_{A-}, T_{B+}$  จะไม่มีการนำกระแส ช่วงนี้จะมีแรงดันดีซีบัสตดคร่อมโหลดตัวเหนี่ยวนำ ซึ่งลักษณะการทำงานจะเหมือนกับวิธีการควบคุมแบบยูนิโพลาร์ ส่วนช่วงที่ 2 จะให้สวิตช์  $T_{A-}, T_{B-}$  นำกระแส ส่วนสวิตช์  $T_{A+}, T_{B+}$  จะไม่มีการทำงาน ช่วงนี้จะทำให้แรงดันทางด้านเอาท์พุทมีค่าเท่ากับศูนย์โวลท์  $V_O = 0$  แต่จะมีการนำกระแสอย่างต่อเนื่องในทิศทางเดิม โดยจะมีการนำกระแสผ่าน  $D_{A-}, T_{B-}$  สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 รูปแบบการไหลของกระแสด้วยการสวิตช์แบบยูนิโพลาร์ที่มีการทำงานในโหมด 0

#### 4.6.2 โหมดการทำงาน 3,4

ตามรูปที่ 4.7 โหมดนี้จะมีกระแสอยู่ด้านลบ โดยช่วงแรกการทำงานของสวิตช์จะเหมือนช่วงที่สองของโหมดการทำงานศูนย์ แต่จะพบว่ากระแสที่ไหลจะมีทิศทางตรงกันข้ามโดยระยะเวลาในการหยุดนำกระแส จะเกิดจากเวลาสะสมพลังงานในตัวเหนี่ยวนำ ซึ่งการทำงานของสวิตช์โหมดนี้ ได้แก่  $T_{A-}, T_{B-}$  โดยช่วงนี้จะมีการนำกระแสเกิดขึ้นที่  $T_{A-}, D_{B-}$  ส่วนช่วงที่สองสวิตช์  $T_{A+}, T_{B-}$  จะทำงานซึ่งช่วงนี้กระแสจะมีทิศทางเดิมเหมือนช่วงแรก เนื่องจากพลังงานสะสมในตัวเหนี่ยวนำยังมีอยู่ โดยช่วงนี้จะเกิดการนำกระแสขึ้นที่  $D_{A+}, D_{B-}$  จนกว่ากระแสจะลดลงและกลับไปอยู่ในทิศทางเหมือนโหมดศูนย์

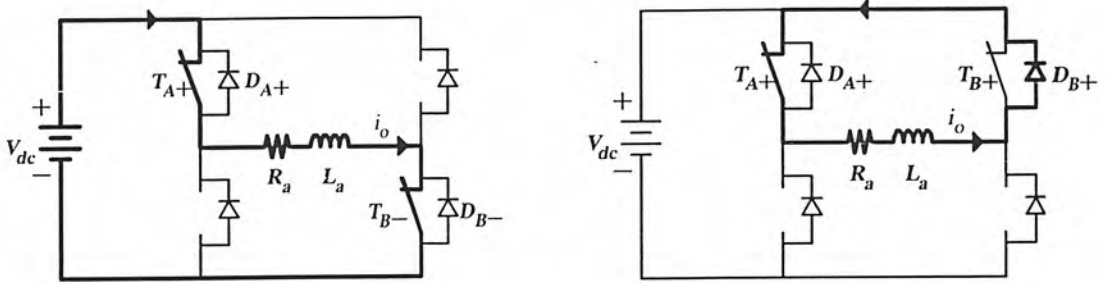


รูปที่ 4.7 รูปแบบการไหลของกระแสด้วยการสวิตช์แบบยูนิโพลาร์ที่มีการทำงานในโหมด 1

#### 4.6.3 โหมดการทำงาน 5,6

ตามรูปที่ 4.8 โหมดนี้จะมีการทำงานของสวิตช์ช่วงแรกคือ  $T_{A+}, T_{B-}$  โดยการสวิตช์จะเหมือนในช่วงที่สองของโหมดที่ 1 ซึ่งจะเห็นว่าช่วงนี้จะมีแรงดันดีซีบัสตกคร่อมที่โหลดตัวเหนี่ยวนำและทิศทางของกระแสจะมีทิศทางบวก ดังนั้นการนำกระแสคือ  $T_{A+}, T_{B-}$  ส่วนช่วงที่สองจะมีการทำงาน

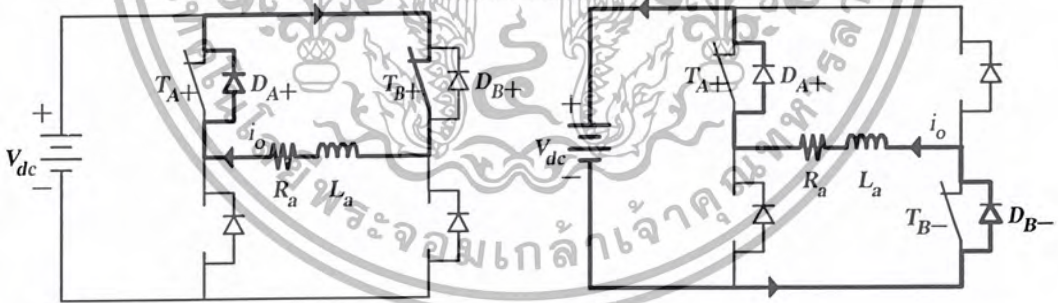
ของสวิตช์  $T_{A+}, T_{B+}$  ช่วงนี้จะพบว่าแรงดันตกคร่อมโหลดมีค่าศูนย์ แต่การนำกระแสในทิศทางเดิมยังมีอยู่โดยจะไหลผ่าน  $T_{A+}, D_{B+}$



รูปที่ 4.8 รูปแบบการไหลของกระแสด้วยการสวิตช์แบบยูนิโพลาร์ที่มีการทำงานในโหมด 2

4.6.4 โหมดการทำงาน 7,8

จากรูปที่ 4.9 โหมดนี้ช่วงแรกจะเป็นการทำงานของสวิตช์  $T_{A+}, T_{B+}$  โดยทิศทางของกระแสจะมีทิศทางลบ ซึ่งแรงดันตกคร่อมโหลดตัวเหนี่ยวนำมีค่าศูนย์ โดยจะมีการนำกระแสไหลผ่าน  $D_{A+}, T_{B-}$  ส่วนช่วงที่สอง จะมีการทำงานของสวิตช์  $T_{A+}, T_{B-}$  โดยจะมีแรงดันตกคร่อมที่โหลดตัวเหนี่ยวนำ และจะมีการนำกระแสในทิศทางลบซึ่งจะไหลผ่าน  $D_{A+}, D_{B-}$



รูปที่ 4.9 รูปแบบการไหลของกระแสด้วยการสวิตช์แบบยูนิโพลาร์ที่มีการทำงานในโหมด 3

#### 4.7 สรุป

บทนี้จะเป็นการกล่าวถึงการสร้างสัญญาณพีคบบลิเอ็มที่ใช้ในการควบคุมวงจรฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ในการคายประจุแบตเตอรี่ โดยได้อธิบายถึงการสร้างสัญญาณพีคบบลิเอ็มแบบยูนิโพลาร์ และจะพูดถึงคุณสมบัติของวงจรฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ในการคายประจุแบตเตอรี่ พร้อมทั้งอธิบายโหมดการนำกระแสของการควบคุมสัญญาณพีคบบลิเอ็มแบบยูนิโพลาร์ซึ่งจะมีทั้งหมด 8 โหมด คือ โหมด 1,2,5,6 เป็นช่วงแรงดันที่อยู่ทางด้านซิกบวก และ โหมด 3,4,7,8 เป็นช่วงแรงดันที่อยู่ทางด้านซิกลบ เนื่องจากช่วงแรงดันที่อยู่ทางด้านซิกลบทำให้มีพลังงานย้อนกลับเข้าสู่แบตเตอรี่

ดังนั้นในโครงการนี้จึงเลือกใช้แค่ 4 โหมดที่เป็นช่วงแรงดันที่อยู่ทางด้านซิกบวกคือโหมด 1,2,5,6เท่านั้น



## บทที่ 5

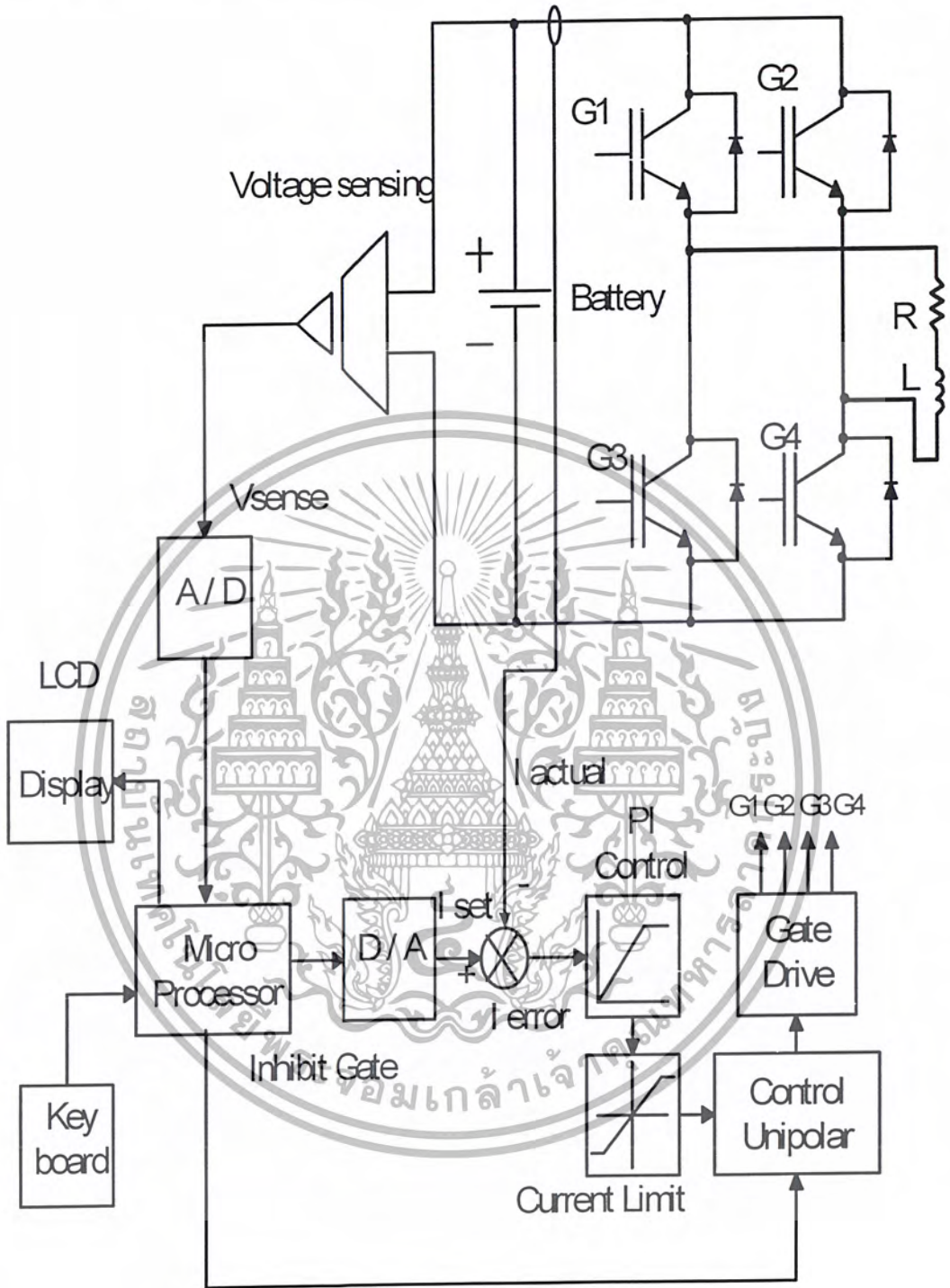
### การออกแบบและสร้างวงจร

#### 5.1 หลักการทำงาน

เริ่มจากการทำงานในส่วนไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งในส่วนนี้จะเป็นส่วนควบคุมการทำงานของชุดทดสอบทั้งหมด ในช่วงแรกนี้ไมโครคอนโทรลเลอร์จะควบคุมการรับข้อมูลการทดสอบจาก คีย์แพด (Keypad) และแสดงผลการทำงาน (Monitor) ไปยังชุดแสดงผล (Display) ซึ่งหลังจากการป้อนข้อมูลการทดสอบครบถ้วนแล้วข้อมูลกระแสในการทดสอบจากไมโครคอนโทรลเลอร์จะถูกส่งไปยังชุดแปลงดิจิทัลเป็นอนาล็อก (D/A) เพื่อให้เป็นค่ากระแสอ้างอิงในการทดสอบ ( $I_{set}$ ) ป้อนเข้าสู่ชุดควบคุมการไหลของกระแส และเมื่อมีคำสั่งให้เริ่มทำการทดสอบ ไมโครคอนโทรลเลอร์ก็จะสั่งให้ชุดควบคุมเกต (Control Gate) ทำงานทันที เป็นผลให้ชุดกำลัง (Power) ทำงานซึ่งชุดกำลังนี้คือ Full Bridge dc - dc converter ทำการสวิตซ์ซึ่งแรงดันจากแบตเตอรี่ที่ทดสอบแบบยูนิโพลาร์ (unipolar) ผลการสวิตซ์ซึ่งของชุด Converter ทำให้เกิดกระแสไหลผ่านชุดโหลด ค่ากระแสที่ไหลผ่านโหลดนี้ จะมีลักษณะเป็นฟังก์ชันของการอินทิเกรตสัญญาณแรงดัน ซึ่งมีลักษณะเป็นพัลส์ที่ตกรวมโหลด ทำการป้อนกลับสัญญาณนี้ไปลบกับสัญญาณที่ตั้งไว้ ( $I_{set}$ ) ก็จะได้สัญญาณผลต่างระหว่างกระแสอ้างอิงและกระแสจริง ( $I_{error}$ ) ป้อนเข้าสู่ชุดควบคุมกระแสแบบพีไอคอนโทรล (PI Control) และเคอร์เรนต์ลิมิต (Current limit)

ซึ่งการเปรียบเทียบแบบนี้ สามารถปรับค่าโพรพอร์ชันแนล (Proportional gain:  $K_p$ ) ได้ ซึ่งจะทำให้เอาต์พุตกระแสของชุดกำลังคงที่ตลอดเป็นผลมาจากการป้อนกลับหรือวิธีการควบคุมกระแส (Current Control) ข้างต้น ซึ่งผลจากการจ่ายกระแสไปยังโหลดอย่างต่อเนื่องและคงที่ของแบตเตอรี่ ทำให้แรงดันที่ขั้วของแบตเตอรี่นั้นตกลงไปเรื่อยๆ ซึ่งแรงดันที่ขั้วจะเป็นตัวบ่งบอกว่าแบตเตอรี่นั้นได้คายประจุออกมาตามพิกัดที่เก็บไว้หรือยังค่าแรงดันที่แสดงว่าแบตเตอรี่นั้นได้คายประจุออกมาตามที่เซตค่าไว้จากไมโครคอนโทรลเลอร์แล้วนั้น เรียกว่าแรงดันค่าสุดท้ายของการคายประจุ (End Voltage) ซึ่งในขณะที่กำลังทำการคายประจุนั้น ไมโครคอนโทรลเลอร์ ก็จะทำการตรวจสอบแรงดันที่ขั้วของแบตเตอรี่และเปรียบเทียบ กับค่าแรงดันสุดท้ายของการคายประจุอยู่ตลอดเวลาทราบใดที่แรงดันที่ขั้วของแบตเตอรี่ยังมากกว่าแรงดันสุดท้ายของการคายประจุการคายประจุก็ยังลงดำเนินต่อไปและไมโครคอนโทรลเลอร์ก็จะนับเวลานี้ไว้ไปเรื่อยๆจนกระทั่งแรงดันที่ขั้วแบตเตอรี่มีค่าเท่ากับแรงดันค่าสุดท้ายของการคายประจุ ไมโครคอนโทรลเลอร์ก็จะสั่งให้หยุดการคายประจุ โดยสั่งงานให้หยุดการทำงานหลังจากนั้น ไมโครคอนโทรลเลอร์จะนำข้อมูลที่ได้ออกจากการทดสอบได้แก่เวลาและค่ากระแสคายประจุไปทำการประมวลผลเปรียบเทียบตามมาตรฐานการทดสอบและแสดงผลสภาพของแบตเตอรี่ที่ทดสอบนั้นออกมาทางจอ LCD

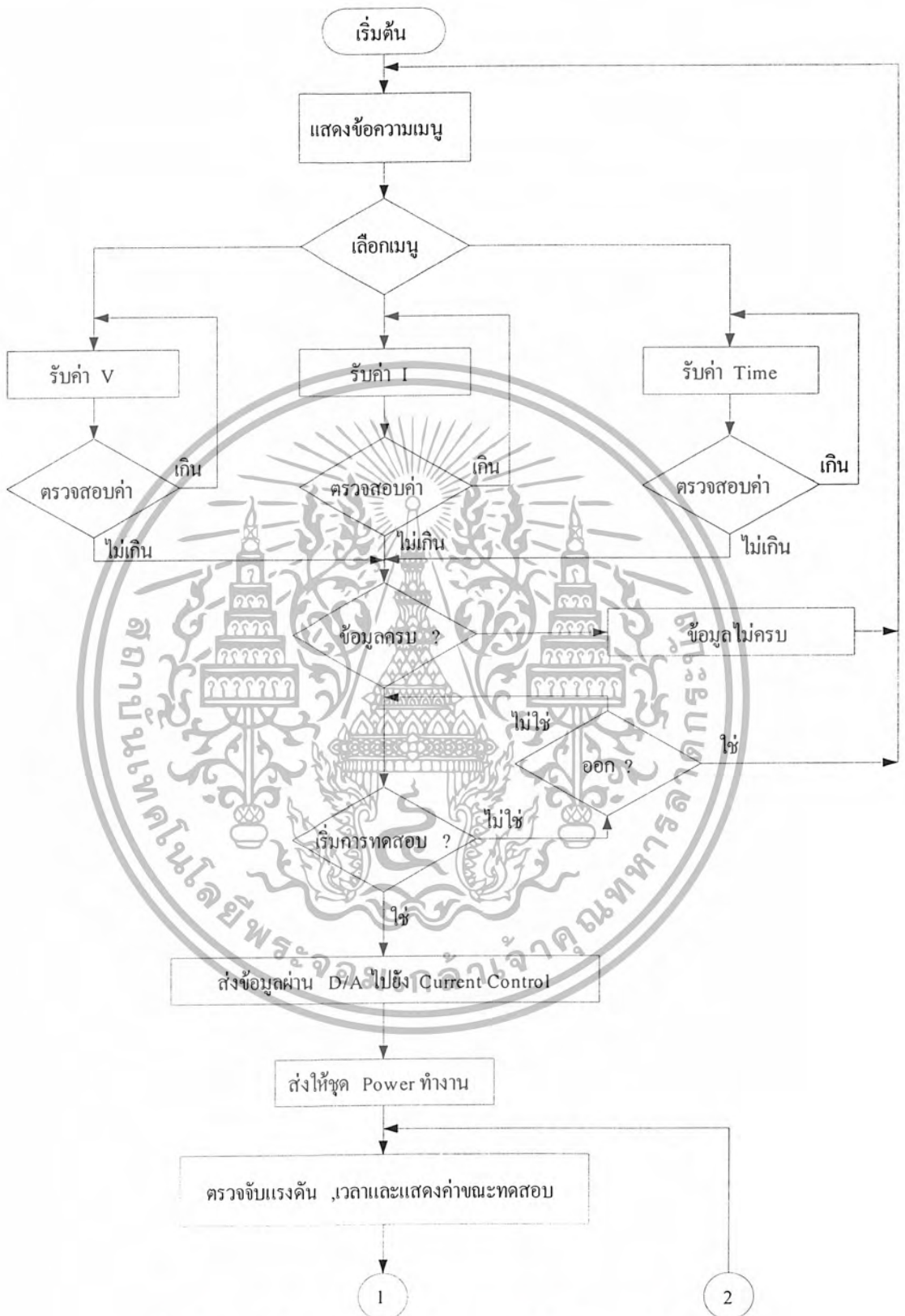
## 5.2 บล็อกไดอะแกรมของชุดทดสอบแบตเตอรี่



รูปที่ 5.1 บล็อกไดอะแกรมของชุดทดสอบแบตเตอรี่

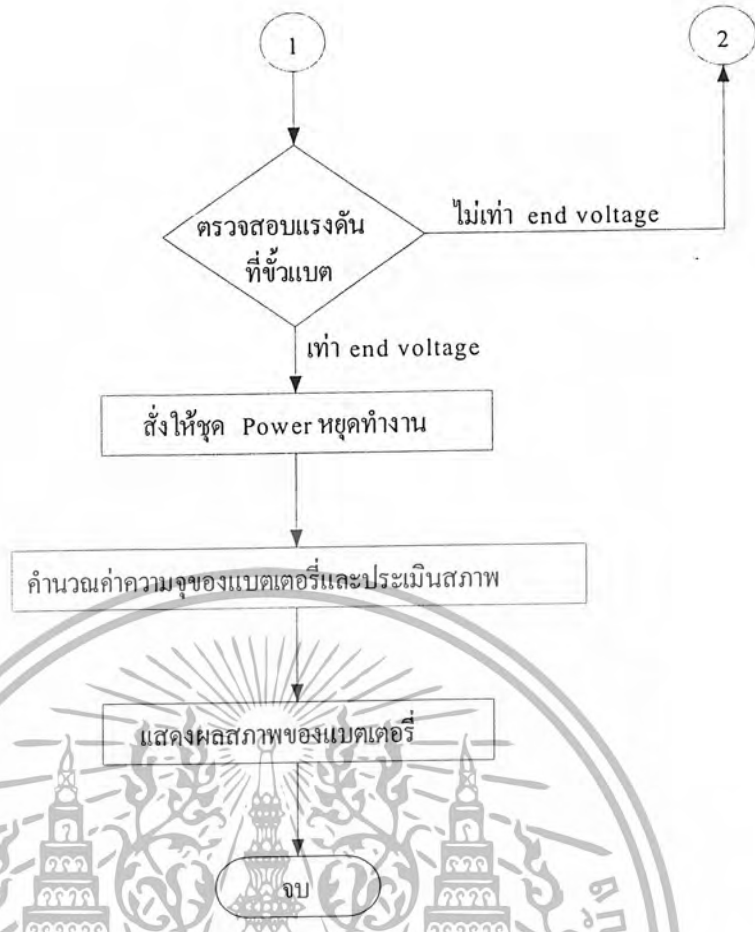
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 5.3 โฟลชาร์การทำงานของส่วนควบคุมโดยไมโครคอนโทรลเลอร์



รูปที่ 5.2 โฟลชาร์การทำงานของส่วนควบคุมโดยไมโครคอนโทรลเลอร์

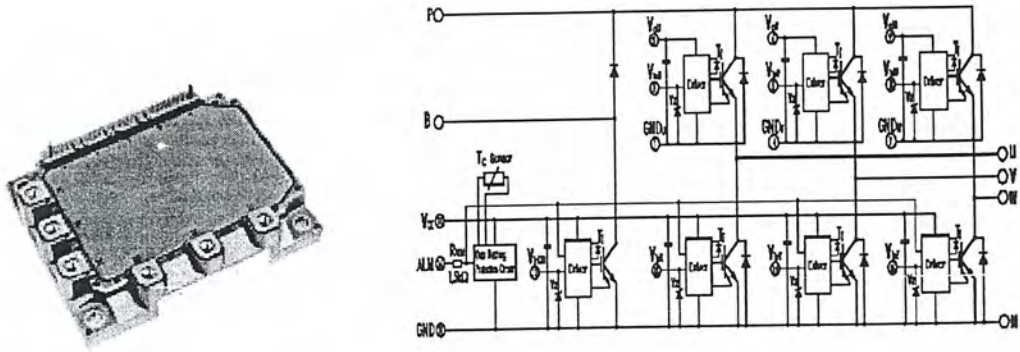
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.2 ไฟลชาร์จการทำงานของส่วนควบคุม โดยไมโครคอนโทรลเลอร์ (ต่อ)

#### 5.4 การออกแบบวงจรสวิตช์กำลัง

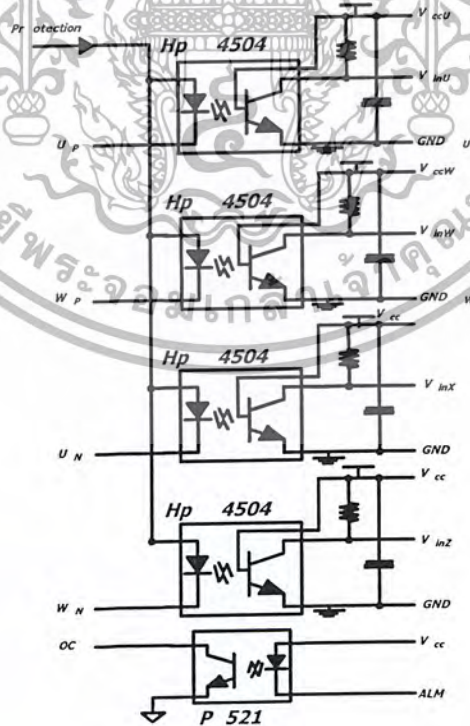
ในการทำงานของภาคกำลังจะอาศัยอุปกรณ์สวิตช์ประเภทสารกึ่งตัวนำในการเปิดปิดวงจรความถี่สูง โดยลักษณะวงจรที่ใช้งานจะมีการต่อแบบ ฟูลบริดจ์ ดีซี-ดีซีและเอาต์พุตที่ได้จะนำไปจ่ายโหลดความต้านทานกับอินดักเตอร์และคุณสมบัติของวงจรฟูลบริดจ์จะเหมาะสมในการไม่สิ้นพลังงานจากโหลดกลับสู่แบตเตอรี่ โดยจะอาศัยไดโอดที่ต่อคร่อมกับอุปกรณ์สวิตช์ในการส่งผ่านพลังงาน ซึ่งคุณสมบัติดังกล่าวนี้จะรวมอยู่ในไอจีบีทีแบบ Intelligent Power Module (IPM) โดยในงานวิจัยได้เลือกใช้ฟิ๊คัด 50 แอมป์ 1200 โวลท์ (ที่นำตัวนี้มาใช้ ก็เพราะเราได้มีตัวนี้อยู่แล้ว ไม่ต้องซื้อตัวใหม่โดยเราเลือกใช้ที่ฟิ๊คัด 50 แอมป์ และ 12 โวลท์ กับ 24 โวลท์) ซึ่งให้เหมาะสมกับฟิ๊คัดของแบตเตอรี่ที่ใช้ในการควบคุม และคุณสมบัติพิเศษของ ไอจีบีทีแบบ โมดูลจะสามารถตรวจจับสัญญาณกระแสเกิน, ชี้อัดผ่านกึ่งของระบบได้ และอุณหภูมิเกินฟิ๊คัด โดยมีย่านความถี่ใช้งานไม่เกิน 20 kHz ซึ่งในโครงการานได้ใช้ความถี่ในการสวิตช์แต่ละตัวอยู่ที่ความถี่ 10 kHz จะอยู่ในย่านการทำงานของ ไอจีบีทีแบบ โมดูล



ก) โครงสร้างภายนอกของไอจีบีทีแบบโมดูล (ข) โครงสร้างภายในของไอจีบีทีแบบโมดูล

รูปที่ 5.3 ไอจีบีทีแบบโมดูล Intelligent Power Module(IPM)

ในการควบคุมการทำงานของสวิตช์กำลังจะต้องนำสัญญาณควบคุมมาผ่านวงจรขับเกต ก่อนที่จะทำการควบคุมสวิตช์กำลัง เนื่องจากอุปกรณ์สวิตช์กำลัง ในวงจรพูลบริดจ์แต่ละตัวจะทำงานที่ศักย์ไฟฟ้าแตกต่างกัน ซึ่งจะต้องมีการแยกกราวด์ของอุปกรณ์สวิตช์แต่ละตัวออกจากกัน และนอกจากนี้ยังต้องการแยกส่วนของวงจรควบคุมออกจากส่วนวงจรกำลัง ในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้ Opto ที่มีการทำงานความถี่สูงทำหน้าที่แยกกราวด์และจะต้องมีแหล่งจ่ายขนาด +15 โวลท์ ที่เป็นอิสระต่อกันเพื่อช่วยให้กับส่วนของวงจรขับเกต

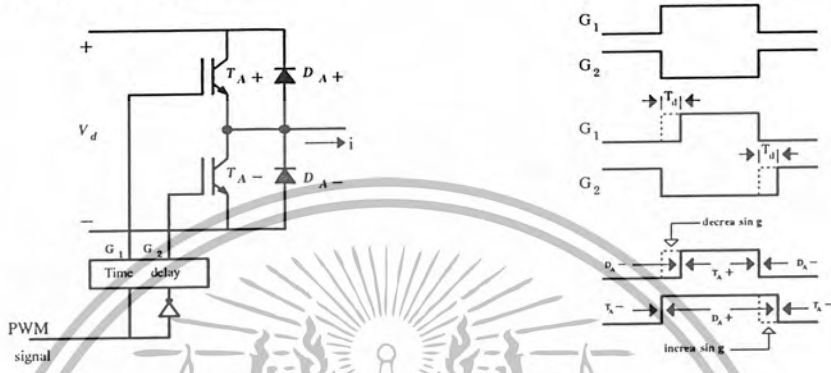


รูปที่ 5.4 วงจรขับเกต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.5 การออกแบบวงจรประวิงเวลา (Dead – time circuit)

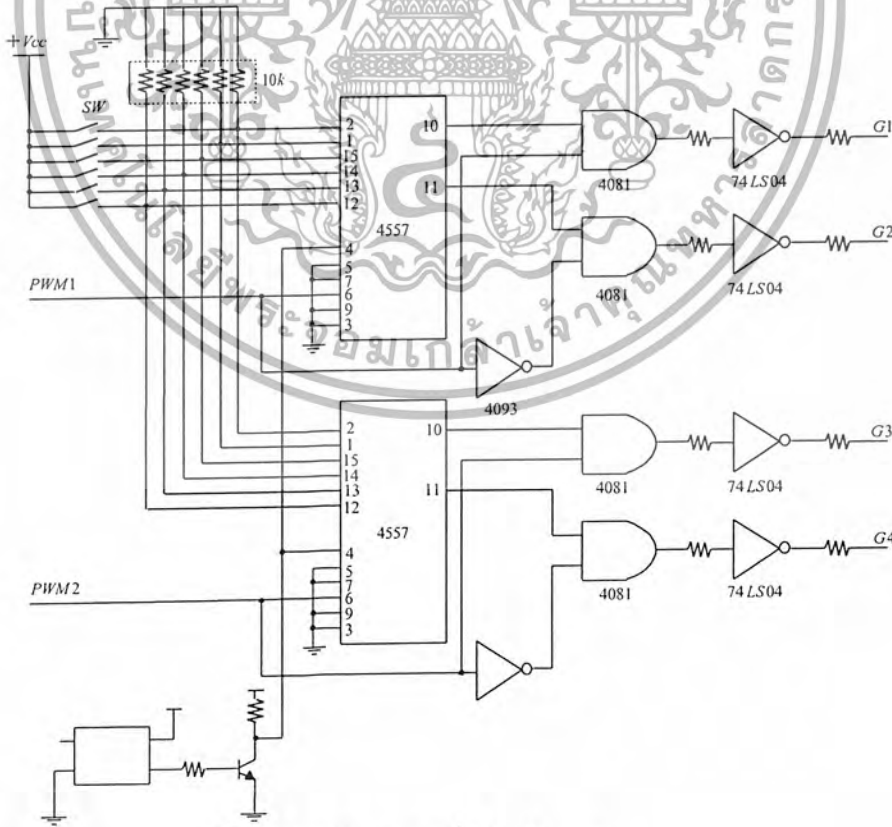
เป็นวงจรแยกสัญญาณที่จะนำไปควบคุมการทำงานของ IPM ในชุดบนและชุดล่างในกึ่งเดียวกัน ในวงจรอินเวอร์เตอร์ตามภาพที่ 5.6 โดยวงจรจะทำหน้าที่สร้างสัญญาณประวิงเวลา เพื่อป้องกันไม่ให้กึ่งทั้งสองของ IPM ทำงานพร้อมกันในขณะที่การเปลี่ยนสถานะทำงานพร้อมกันในขณะที่มีการเปลี่ยนสถานะทำงาน อันเนื่องมาจากผลของสโตเรจ ไทม์ของ IPM เองซึ่งจะทำให้เกิดการลัดวงจรภายในกึ่งชั่วขณะผลก็คืออาจทำให้ IPM เสียหายได้ โดยหลักการประวิงเวลาแสดงได้ดังภาพที่ 5.6 ทำได้โดยสร้างเวลาหน่วงในการทำงานของ IPM ทั้งสองออกไป



(ก) แสดงวงจรสวิตซ์กำลังที่ 1 กึ่ง

(ข) รูปแบบแพทเทิร์นสวิตซ์

รูปที่ 5.5 รูปแบบการสวิตซ์ของสัญญาณประวิงเวลาใน 1 กึ่ง

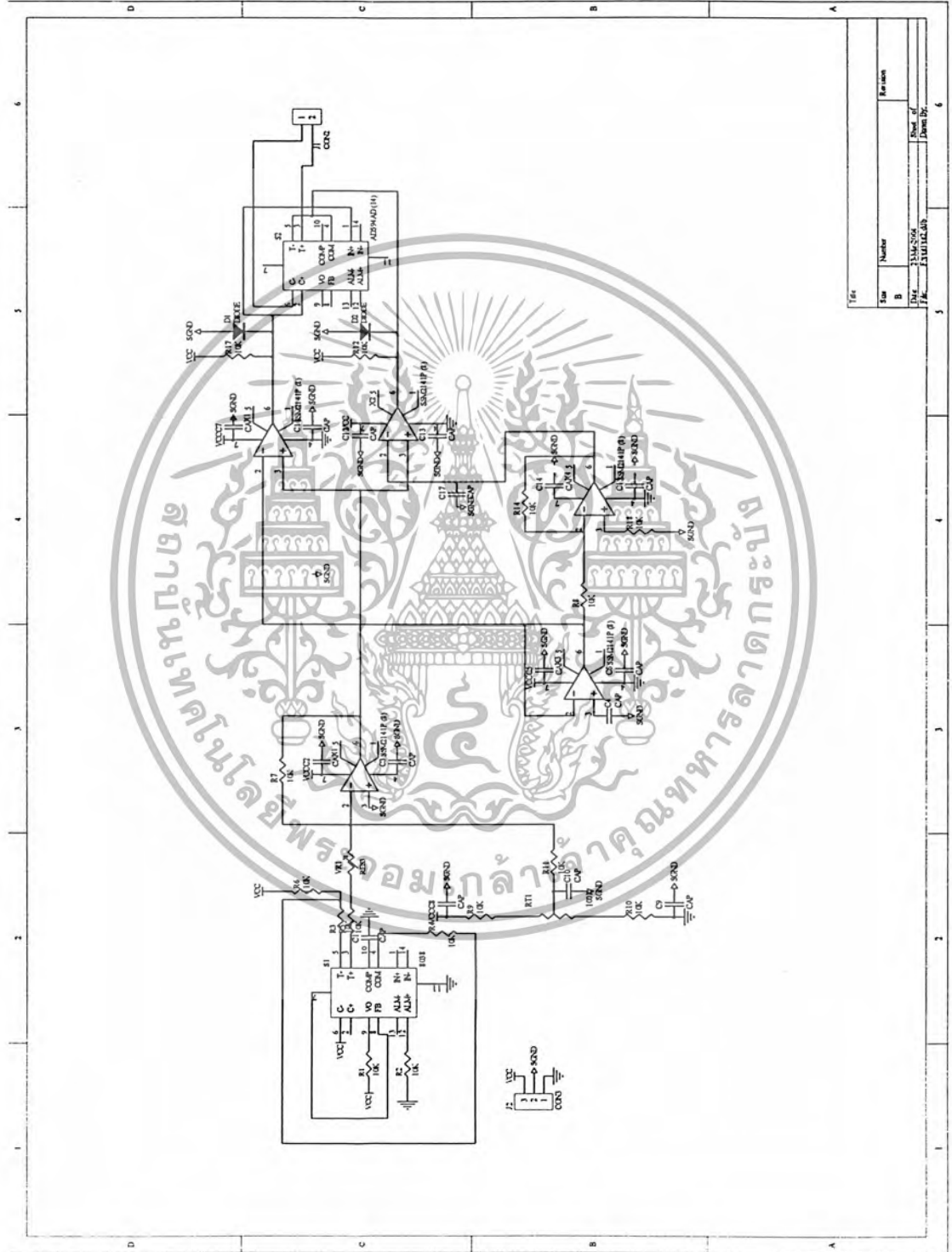


รูปที่ 5.6 วงจรประวิงเวลาที่ใช้ในโครงการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 5.6 การออกแบบวงจรพีคดับลิแอมแบบยูนิโพลาร์

ในโครงการนี้ได้เลือกใช้การควบคุมสัญญาณพีคดับลิแอมแบบยูนิโพลาร์ ในการสร้างสัญญาณ สวิตซ์ ซึ่งการควบคุมชนิดนี้จะให้คุณสมบัติที่เกิดขึ้นคือ ความถี่ของแรงดันทางด้านเอาต์พุตที่เกิดขึ้นจะเป็นสองเท่า , กระแสทางด้านเอาท์ที่เกิดขึ้นจะมีริเปิ้ลน้อย และแรงดันเชื่อมโยงกระแสตรงทางด้านอินพุตที่ใช้ งานจะมีค่าไม่สูงมาก เมื่อเทียบกับการควบคุมพีคดับลิแอมแบบไบโพลาร์



File	Number	Revision
Size	B	
Date	13/04/2016	Sheet of
File	13/04/2016.dwg	Drawn By

รูปที่ 5.7 วงจรการสร้างสัญญาณพีคดับลิแอมแบบยูนิโพลาร์

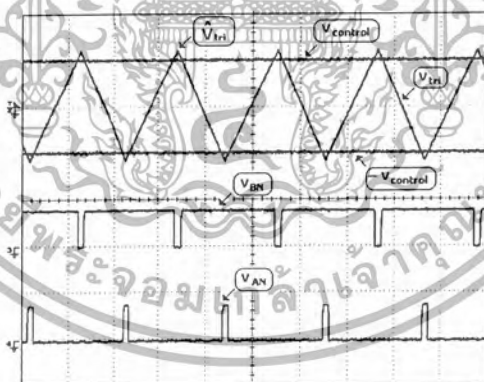
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในโครงการนี้ได้เน้นถึงการไม่ป้อนกลับกระแสของไหลความต้านทานและอินดักเตอร์เป็นสำคัญ ซึ่งในการออกแบบได้เลือกใช้ความถี่ในการสวิตซ์ที่ 10 kHz ซึ่งจะทำให้ความถี่ของแรงดันเอาต์พุตที่เกิดขึ้นมีค่าเป็น 20 kHz [11] ดังนั้นในการสร้างสัญญาณจะสามารถอธิบายแบ่งเป็นส่วนย่อยๆ ได้ 3 ส่วน ซึ่งจะง่ายต่อการสร้างวงจรและอธิบาย ได้แก่ วงจรสร้างสามเหลี่ยม , วงจรสร้างแรงดันไฟตรง และวงจรเปรียบเทียบ โดยการออกแบบวงจรสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 5.7

1. วงจรสร้างสัญญาณสามเหลี่ยมได้ออกแบบใช้ไอซีเบอร์ ICL 8038 เป็นตัวสร้างสัญญาณ โดยได้ออกแบบความถี่ไว้ที่ 10 kHz

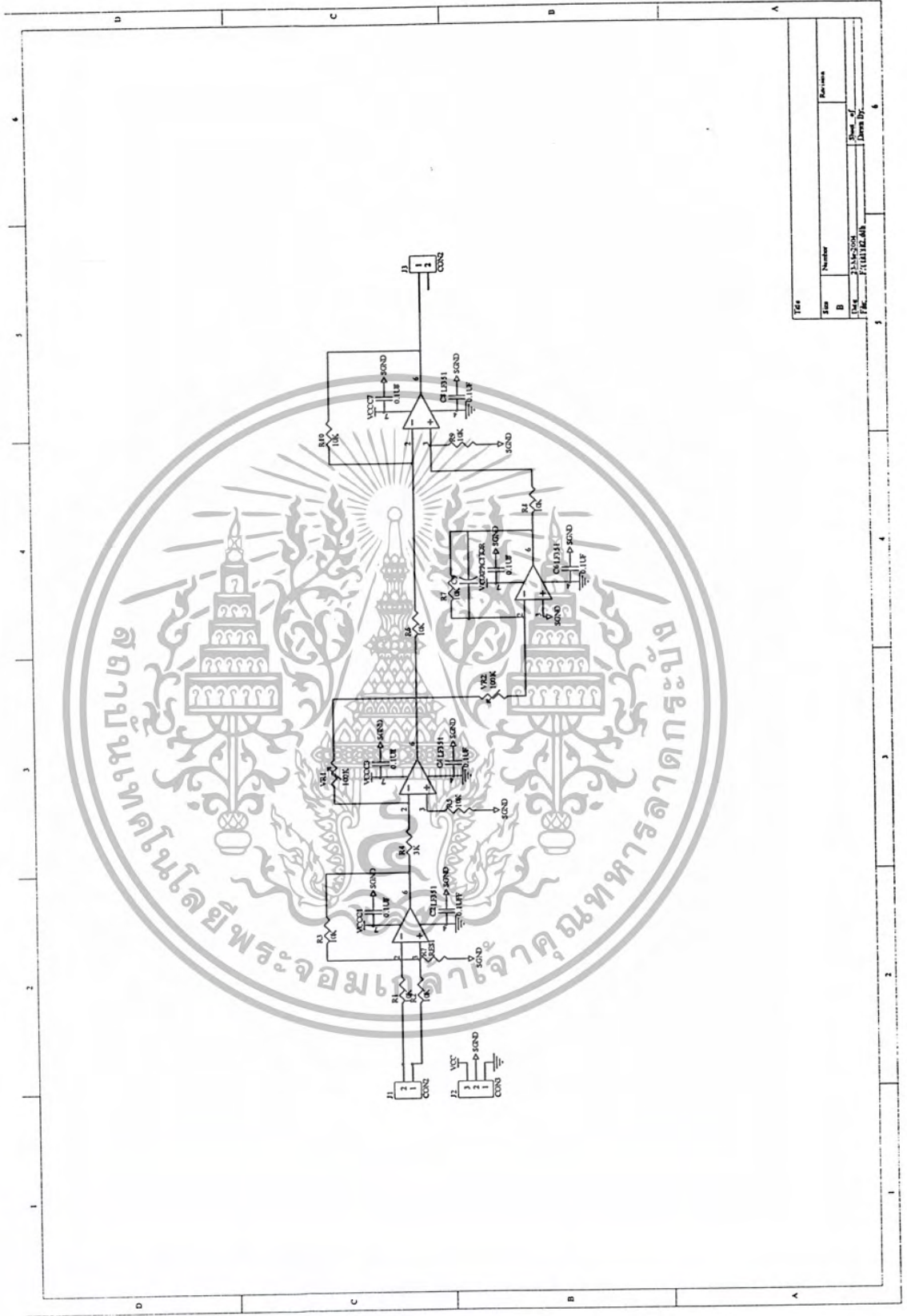
2. วงจรสร้างสัญญาณไฟตรง โดยแรงดันที่ได้จะมาจากวงจรพีไอคอนโทรลซึ่งสัญญาณที่ได้นี้จะนำมาเข้าวงจรบัฟเฟอร์และวงจรอินเวอร์ตซึ่งจะได้แรงดันเอาต์พุตทั้งด้านบวกและด้านลบที่มีอัตราส่วนขยาย 1 : 1

3. วงจรเปรียบเทียบ โดยมีหน้าที่เปรียบเทียบสัญญาณสามเหลี่ยมกับสัญญาณไฟกระแสดตรง ซึ่งในวงจรจะใช้ op-amp(LF351) เป็นตัวเปรียบเทียบ โดยสัญญาณเอาต์พุตที่ได้จะเป็นสัญญาณพัลส์ที่ดับบลิวเอ็มชนิดยูนิโพลาร์ ซึ่งลักษณะการเกิดสัญญาณเมื่อแรงดันไฟ DC ( $V_{control}$ ) มีศักย์มากกว่าสัญญาณสามเหลี่ยม ( $V_{tri}$ ) สถานะของพัลส์ที่เกิดขึ้นจะศักย์เป็นไฟบวก และทำนองเดียวเมื่อแรงดันไฟตรงมีศักย์ต่ำกว่าสัญญาณสามเหลี่ยมสถานะของพัลส์ที่เกิดขึ้นจะมีศักย์เป็นศูนย์โวลต์ ดังนั้นเทคนิคการสร้างสัญญาณยูนิโพลาร์จะมีแรงดันไฟกระแสดตรง ทั้งทางด้านซิกบวกและซิกลบคือ  $+V_{control}$  ,  $-V_{control}$  ซึ่งจะได้สัญญาณพัลส์ 2 สัญญาณแบบตรงกันข้ามดังภาพที่ 5.8



รูปที่ 5.8 รูปคลื่นสัญญาณแบบยูนิโพลาร์

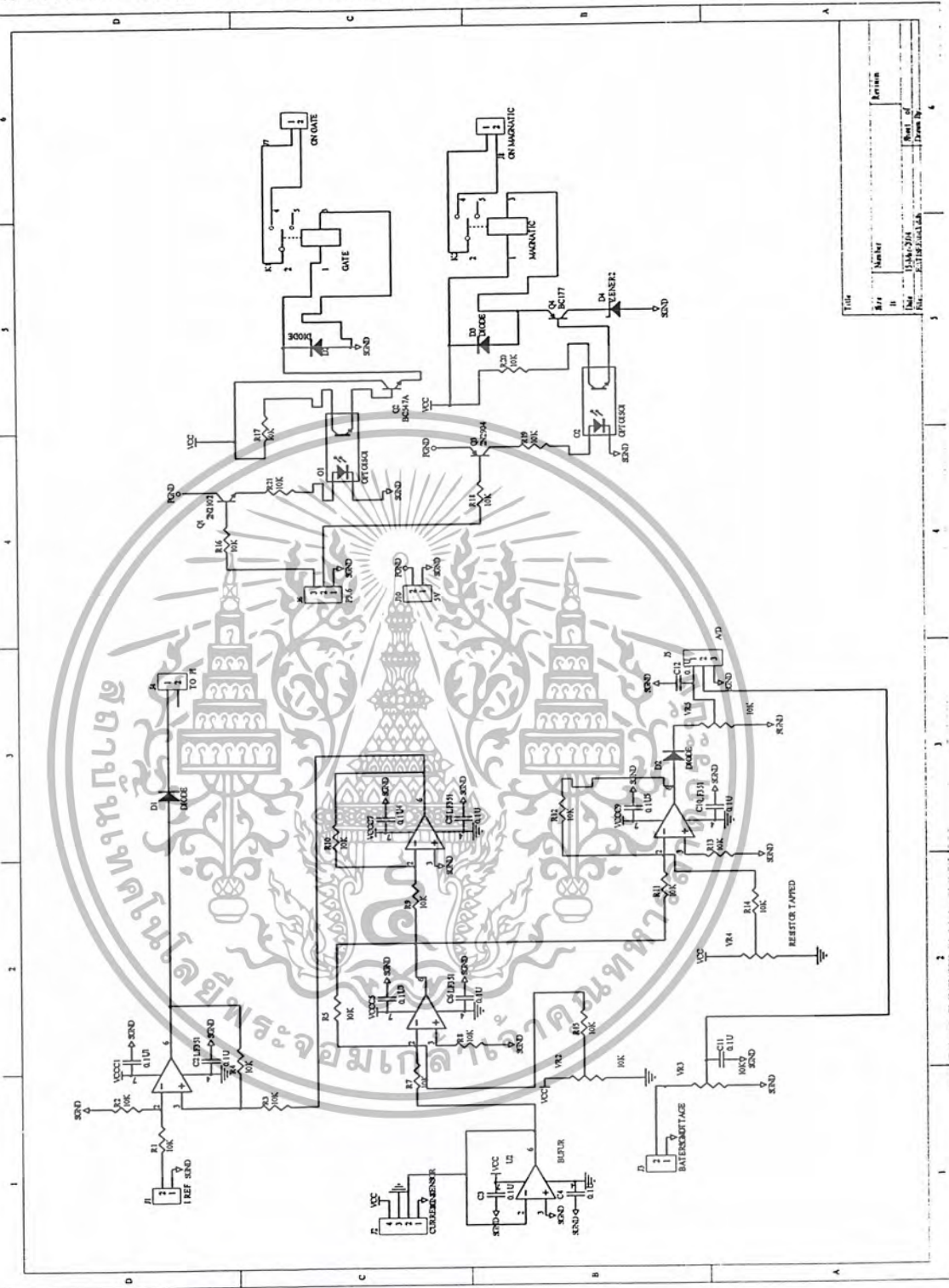
### 5.7 วงจรควบคุมแบบฟีด



รูปที่ 5.9 วงจรการควบคุมแบบฟีด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.8 วงจรอน - ออฟเกตและวงจรขับแมกเนติกคอนแทคเตอร์



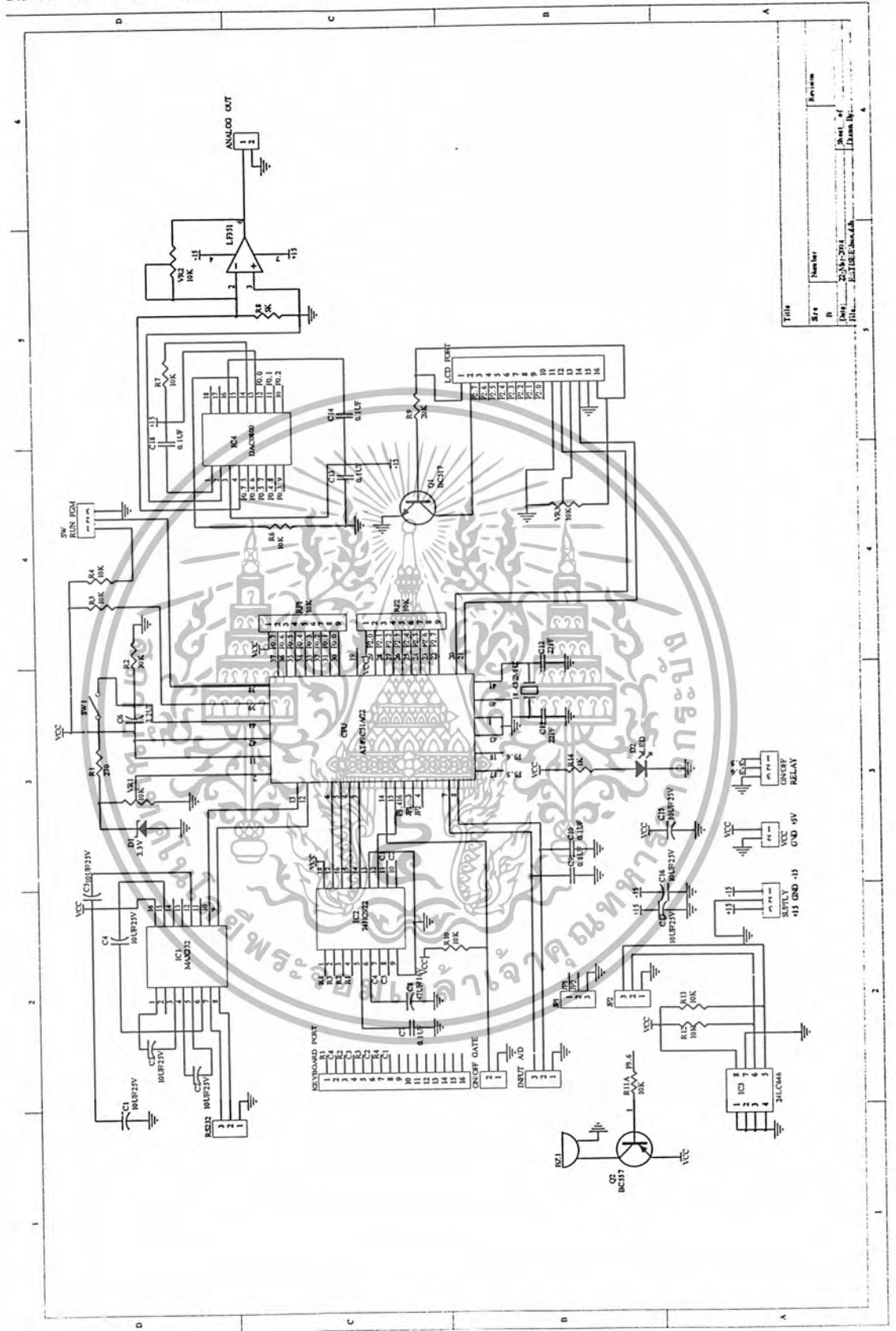
Title	Number	Revision
	II	1/14/2011
	Rev. of	1/14/2011
	Drawn by	1/14/2011

รูปที่ 5.10 วงจรอน - ออฟเกตและวงจรขับแมกเนติกคอนแทคเตอร์

เมื่อเริ่มทดสอบเบตเตอร์ไมโครคอนโทรลเลอร์จะส่งสัญญาณมาที่พอร์ต P3.6 เป็นการเริ่มทำงาน และในขณะที่แรงดันที่ขาของเบตเตอร์ลดลงต่ำกว่าแรงดันสุดท้ายซึ่งทำการตั้งไว้ไมโครคอนโทรลเลอร์ จะสั่งให้วงจรนี้ทำงานตัดวงจรเป็นการสิ้นสุดการทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 5.9 พอร์ตใช้งานของไมโครคอนโทรลเลอร์

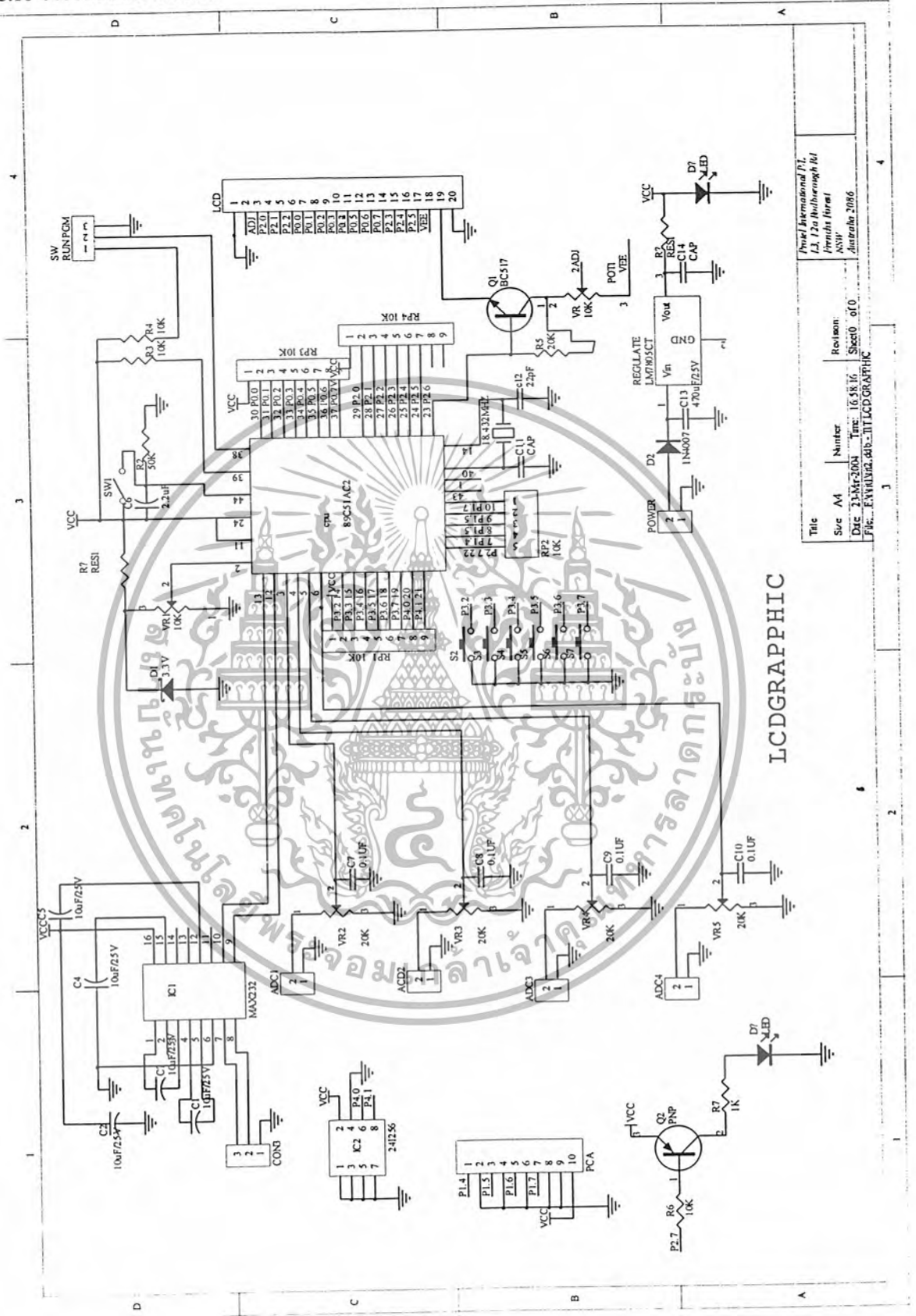


Title	Number	Revision
D	22/38/2514	1
Doc.	22/38/2514	1
File	22/38/2514	1

รูปที่ 5.11 วงจรไฟเลี้ยงและพอร์ตที่ใช้งานของไมโครคอนโทรลเลอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.10 วงจรแอลซีดีกราฟฟิก



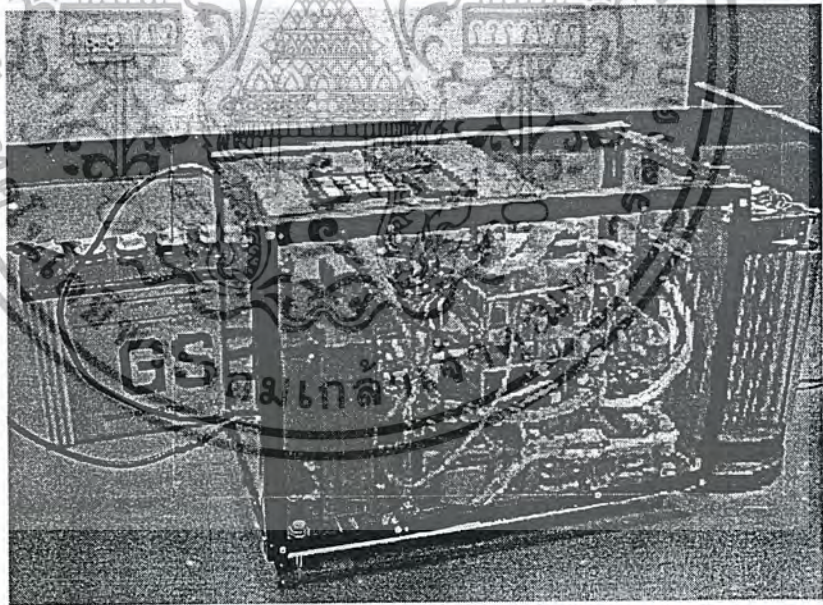
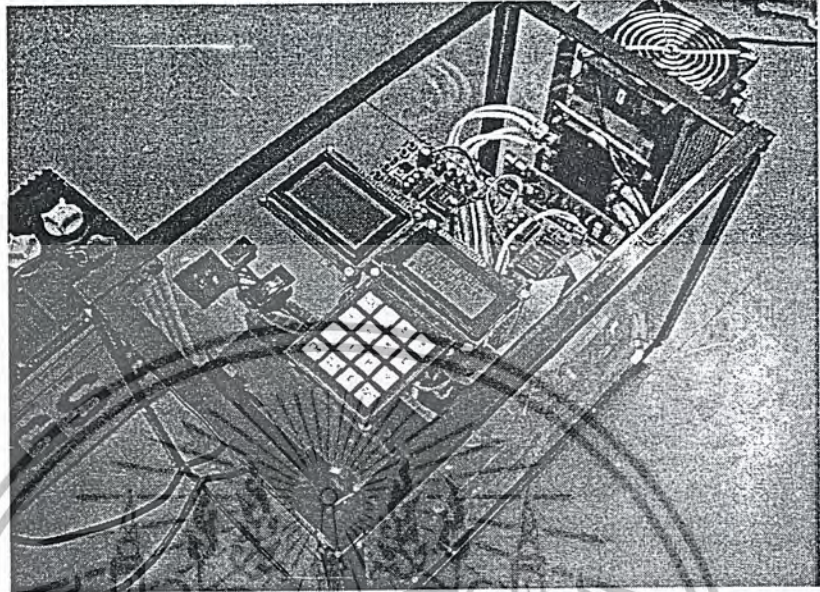
Title	Project International P1
Src	LI 12a Huthorngh BU
Am	Prachin firat
Number	ASW
Revision	Australia 2006
Date	23-Mar-2004
Time	16:38:16
Sheet	010
File	EXHWINDA01-LCDGRAPHIC

LCDGRAPHIC

รูปที่ 5.12 วงจรแอลซีดีกราฟฟิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เครื่องทดสอบความจุแบตเตอรี่ประสิทธิภาพสูง



รูปที่ 5.13 เครื่องทดสอบความจุแบตเตอรี่ประสิทธิภาพสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

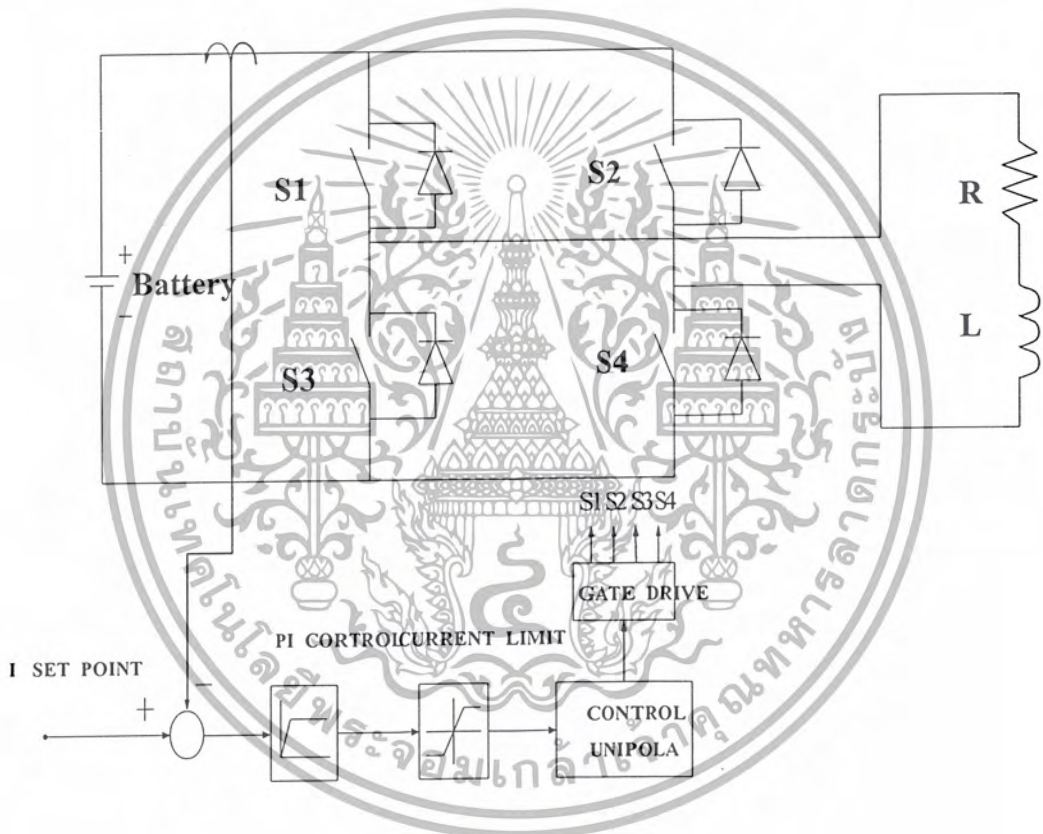
## บทที่ 6

### การจำลองการทดลองและการทดลองชุดทดสอบแบตเตอรี่

#### 6.1 การจำลองโดยรวมใช้การจำลองจากโปรแกรมแมทแลป(MATLAB)

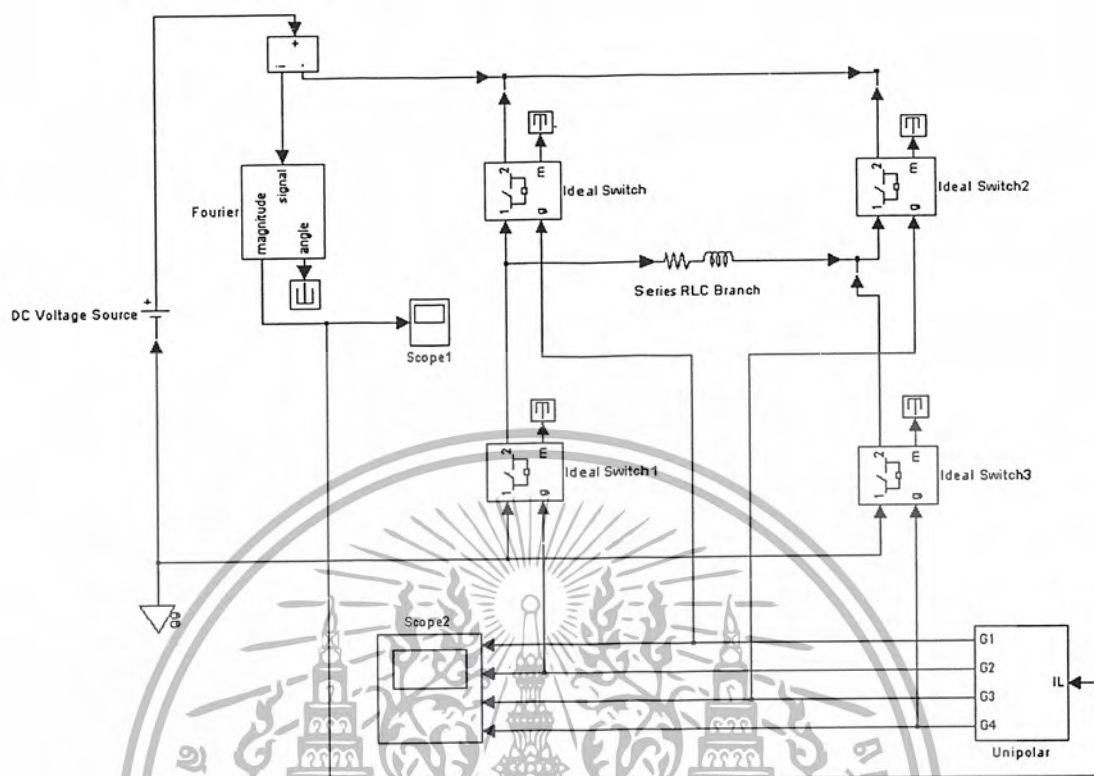
วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาหลักการทำงานของวงจร
2. เพื่อจำลองหาค่าอินดิคเตอร์และค่าความต้านทาน ที่เหมาะสมกับวงจร

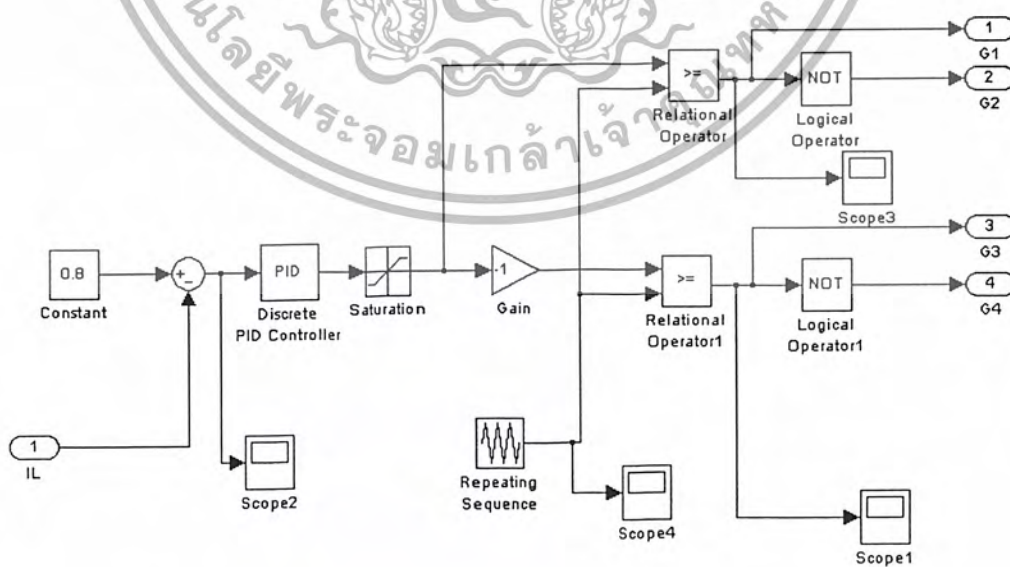


รูปที่ 6.1 วงจรการทำงานจริง

6.1.1 การจำลองจากโปรแกรมเมทแลป(MATLAB)



รูปที่ 6.2 วงจรจำลองของวงจรกำลัง



รูปที่ 6.3 วงจรจำลองของวงจรคอนโทรลที่ subsystem

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 6.1.2 การปรับตั้งค่าทดสอบในโปรแกรมเมทแลป

**Block Parameters: Constant** [X]

Constant

Output the constant specified by the 'Constant value' parameter. If 'Constant value' is a vector and 'Interpret vector parameters as 1-D' is on, treat the constant value as a 1-D array. Otherwise, output a matrix with the same dimensions as the constant value.

Parameters

Constant value:

0.8

Interpret vector parameters as 1-D

Show additional parameters

OK Cancel Help Apply

รูปที่ 6.4 Block Parameters : Constant

**Block Parameters: Discrete PID Controller** [X]

Discrete PID Controller (mask) (link)

This block implements a discrete PID controller.

Parameters

Proportional gain (Kp):

3

Integral gain (Ki):

0.001

Derivative gain (Kd):

0

Time constant for derivative (s):

0.5e-3

Output limits: [Upper Lower]

[1 -1]

Output initial value:

0

Sample time:

50e-6

OK Cancel Help Apply

รูปที่ 6.5 Block Parameters : Discrete PID Controller

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Block Parameters: Saturation** [X]

Saturation  
Limit input signal to the upper and lower saturation values.

Parameters  
Upper limit  
0.5  
Lower limit  
-0.5  
 Treat as gain when linearizing  
 Enable zero crossing detection

OK Cancel Help Apply

รูปที่ 6.6 Block Parameters : Saturation

**Block Parameters: Repeating Sequence** [X]

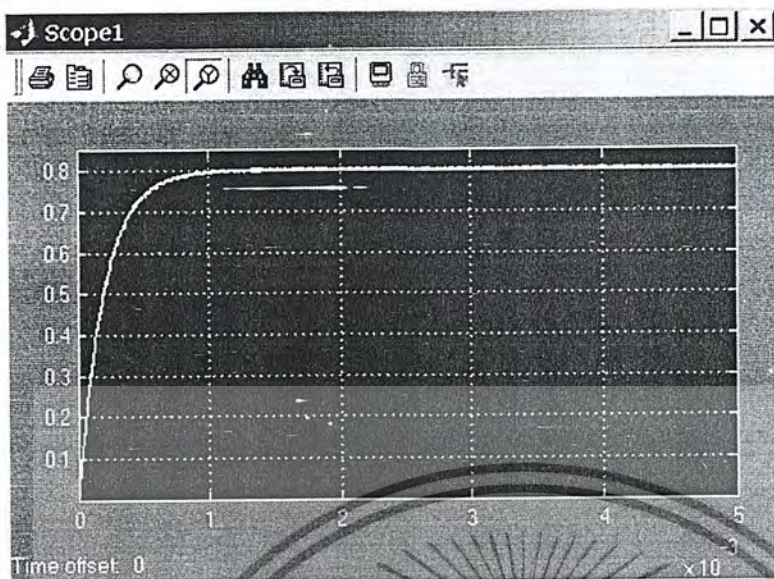
Repeating table (mask) (link)  
Output a repeating sequence of numbers specified in a table of time-value pairs. Values of time should be monotonically increasing.

Parameters  
Time values:  
[0 0.000005 0.000015 0.00002]  
Output values:  
[0 1 -1 0]

OK Cancel Help Apply

รูปที่ 6.7 Block Parameters : Repeating Sequence

### 6.1.3 ผลการจำลองจากโปรแกรมแมทแล็บ



รูปที่ 6.8 เปรียบเทียบกระแสปรับตั้งที่ 0.8 แอมแปร์

#### สรุป

จะเห็นได้ว่าจากรูปที่ 6.8 ซึ่งเป็นผลการจำลองทาง โปรแกรมแมทแล็บ เมื่อใช้ PI-Control กระแสจะสามารถคอนโทรลกระแสให้คงที่ได้ แม้ว่าจะมีการปรับตั้งกระแสไปเท่าไรก็ตาม

### 6.2 การทดลองชุดทดสอบเบตเตอร์ประสิทธิภาพสูง

#### วัตถุประสงค์

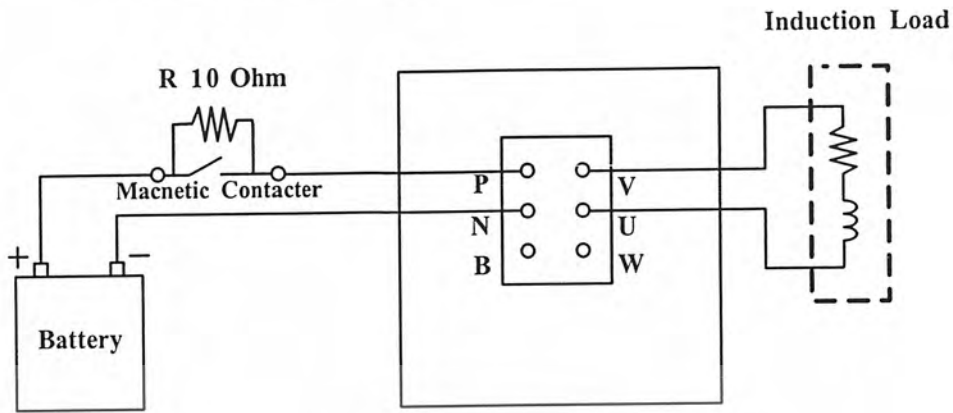
1. เพื่อปรับแต่งชุดทดสอบเบตเตอร์ประสิทธิภาพสูงให้สามารถจ่ายกระแสที่โหลดตามกระแสที่ปรับตั้งได้
2. เพื่อหาค่าความผิดพลาดของกระแสจริงในการจ่ายโหลด

#### เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

- |                                   |           |
|-----------------------------------|-----------|
| 1. ชุดทดสอบเบตเตอร์ประสิทธิภาพสูง | 1 เครื่อง |
| 2. สโคป                           | 1 เครื่อง |
| 3. โพรบวัดกระแส                   | 1 สาย     |
| 4. เบตเตอร์ 12 หรือ 24 โวลต์      | 1 ตัว     |
| 5. มัลติมิเตอร์                   | 1 เครื่อง |

## ขั้นตอนการทดสอบชุดทดสอบ

### 1. ทำการต่อวงจรชุดทดสอบดังรูป

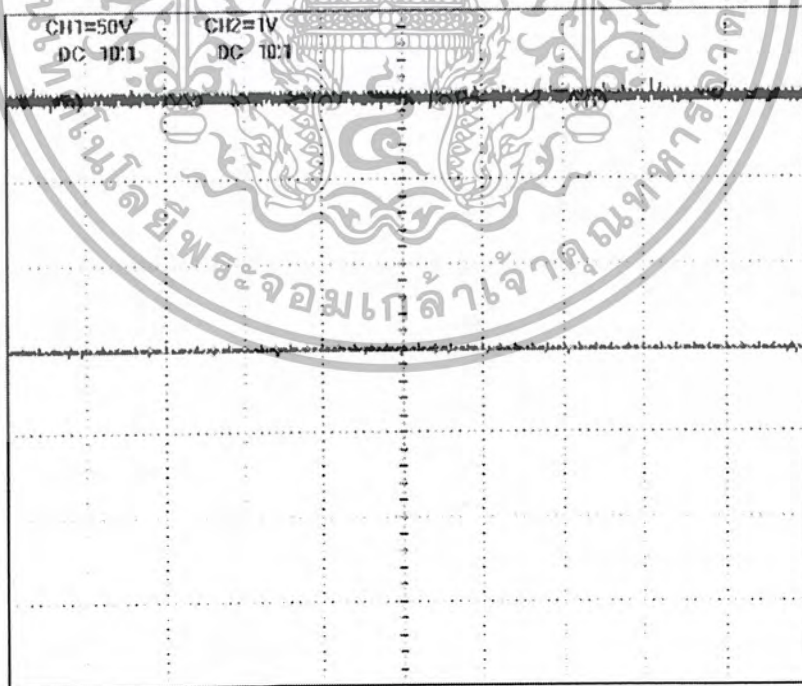


รูปที่ 6.9 การต่อชุดทดสอบเบตเตอร์ประสิทธิภาพสูง

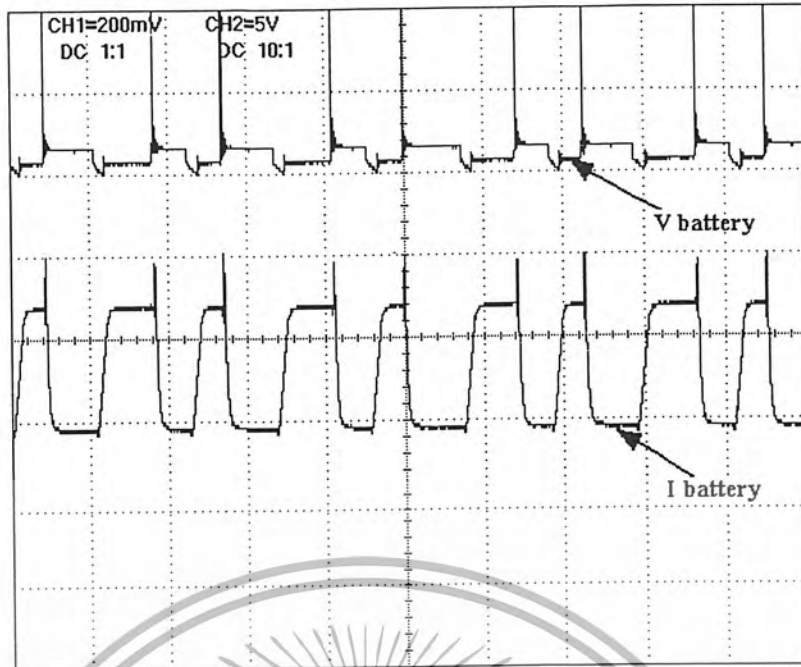
2. ป้อนค่าต่างๆ ที่ใช้ในการทดสอบ ได้แก่ ค่าความจุเบตเตอร์, แรงดันที่ขั้ว, แรงดันสุดท้ายของเบตเตอร์, กระแสในการคลายประจุ
3. ชุดทดสอบเริ่มทำงาน
4. นำสโปกมาวัดกระแส, แรงดัน ที่ขั้วเบตเตอร์และที่โหลด
5. บันทึกผลการทดสอบ

ผลการทดลอง

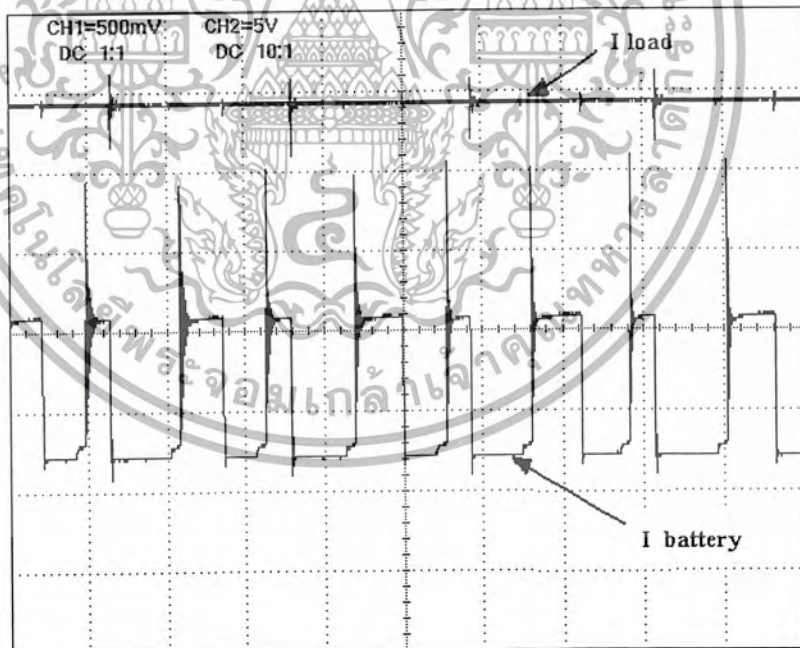
รูปคลื่นจาก GS เบตเตอร์ มีขนาดความจุ 65 Ah แรงดัน 12 V ข่ายกระแส 30 A



รูปที่ 6.10 กระแสโหลด

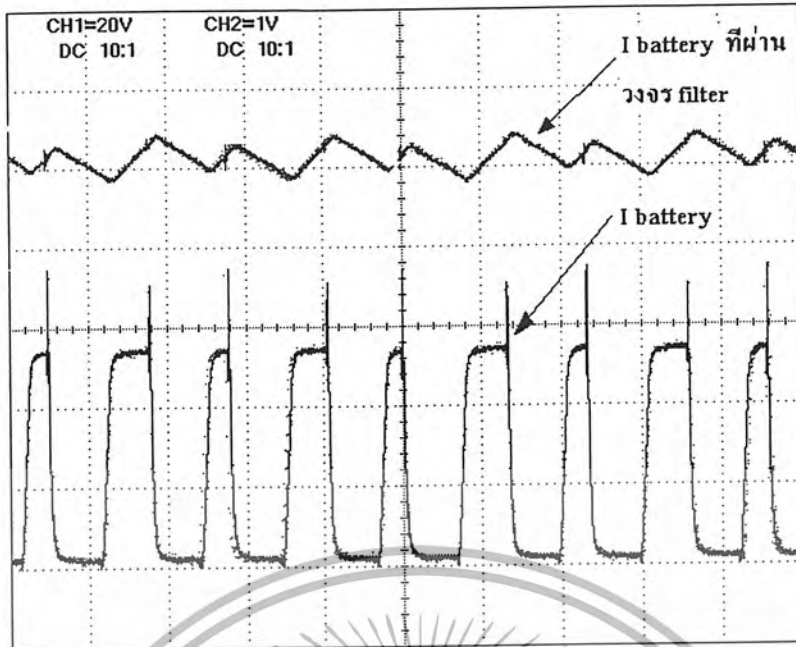


รูปที่ 6.11 กระแส และ แรงดันที่ขั้วแบตเตอรี่

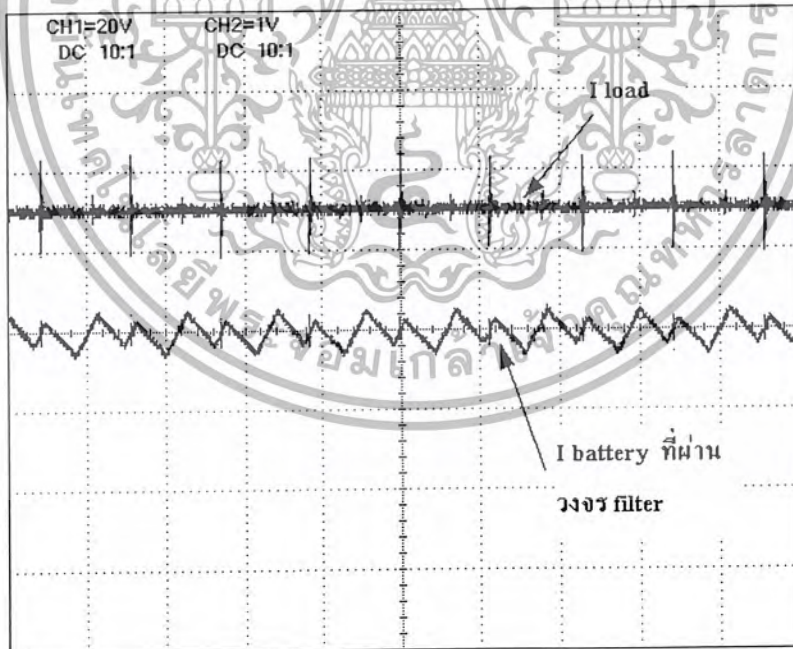


รูปที่ 6.12 กระแสที่โหลด และ แบตเตอรี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.13 กระแสที่แบตเตอรี่ และ กระแสแบตเตอรี่ที่ผ่านวงจรฟิลเตอร์



รูปที่ 6.14 กระแสที่โหลด และ กระแสแบตเตอรี่ที่ผ่านวงจรฟิลเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### สรุปผลจากรูป

จากรูปที่ 6.10 จะเห็นว่ากระแสไหลลดก่อนข้างเรียบ เพราะที่ใช้การควบคุมกระแสแบบพีไอ ซึ่งในเวลาเริ่มต้นสัญญาณกระแสจะมีการแกว่งและค่อย ๆ ลดลงจนคงที่เมื่อเข้าสู่เวลาสมดุล

จากรูปที่ 6.11 สัญญาณแรงดันจะมีการสวิตซ์ซึ่งทางด้านซีกบวกเพียงอย่างเดียว เพราะในโครงการนี้เลือกโหมดการทำงาน 4 โหมด ทางด้านบวก ซึ่งแรงที่ขั้วแบตเตอรี่จะไม่มีช่วงคลายพลังงานของขดลวดทำให้กระแสที่ได้เป็นกระแสของแบตเตอรี่จริงๆ

จากรูปที่ 6.12 เป็นการเปรียบเทียบระหว่างสัญญาณกระแสไหลลดกับสัญญาณกระแสแบตเตอรี่

จากรูปที่ 6.13 จะเห็นว่ากระแสที่แบตเตอรี่จะเป็นรูปพัลส์ซึ่งไม่สามารถควบคุมกระแสให้คงที่ได้ ดังนั้นจึงกรองกระแสที่แบตเตอรี่ให้เรียบก่อนที่จะเข้าฟิวส์คอนโทรล



## บทที่ 7

### การทดสอบและสรุปผลทดสอบ

#### 7.1 การทดสอบแบตเตอรี่ชุดทดสอบแบตเตอรี่

##### วัตถุประสงค์

1. เพื่อให้ได้กราฟคุณสมบัติของแบตเตอรี่ที่นำมาทดสอบ
2. เพื่อประเมินคุณภาพของแบตเตอรี่ที่นำมาทดสอบ

##### เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

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

##### ขั้นตอนการทดลอง

1. ต่อแบตเตอรี่เข้ากับชุดทดสอบ
2. ป้อนค่าที่ใช้ในการทดสอบตามที่ไมโครคอนโทรลเลอร์ต้องการอื่น ได้แก่ ค่าแรงดันขั้วแบตเตอรี่, ค่าความจุแบตเตอรี่, ค่าความถี่ในการตรวจจับแรงดัน, ค่ากระแสจ่ายโหลด, ค่าแรงดันสุดท้าย
3. ทำการรันชุดทดสอบ
4. รอบันทึกผลเมื่อชุดทดสอบตัดการทำงาน
5. นำผลที่ได้ไปพล็อตกราฟ แรงดัน ต่อ เวลา ซึ่งจะเป็นกราฟในการจ่ายโหลดของแบตเตอรี่ตัวนั้นๆ
6. ประเมินคุณสมบัติของแบตเตอรี่จากกราฟในข้อ 5.

##### ผลการทดสอบ

##### ผลการทดสอบที่ 1

แบตเตอรี่รุ่น 3K แบตเตอรี่ ความจุ 200 Ah , แรงดันที่ขั้วแบตเตอรี่ 12V , ทดสอบที่กระแส 20 A , ความถี่ในการบันทึกค่า 2 นาที/ครั้ง

ตารางที่ 8.1 ผลการบันทึกค่า 3K แบตเตอรี่ , 200 Ah , 12V , 20 A , ความถี่ในการบันทึกค่า 2 นาที/ครั้ง

ตารางที่ 7.1 ผลการบันทึกค่า 3Kแบตเตอรี่ , 200 Ah ,12V,20 A , ความถี่ในการบันทึกค่า 2 นาที/ครั้ง

นาทีที่	แรงดันแบตเตอรี่ (V)	นาทีที่	แรงดันแบตเตอรี่ (V)	นาทีที่	แรงดันแบตเตอรี่ (V)	นาทีที่	แรงดันแบตเตอรี่ (V)
0	12	48	12.02	96	11.91	144	11.81
2	12.10	50	12.02	98	11.90	146	11.81
4	12.10	52	12.02	100	11.89	148	11.79
6	12.10	54	12.01	102	11.90	150	11.79
8	12.09	56	12	104	11.89	152	11.78
10	12.09	58	12.01	106	11.87	154	11.75
12	12.10	60	12	108	11.88	156	11.74
14	12.10	62	12	110	11.89	158	11.74
16	12.08	64	12	112	11.88	160	11.75
18	12.10	66	12	114	11.85	162	11.77
20	12.10	68	12	116	11.86	164	11.75
22	12.09	70	12	118	11.84	166	11.75
24	12.10	72	11.99	120	11.84	168	11.74
26	12.09	74	11.98	122	11.84	170	11.73
28	12.09	76	11.99	124	11.85	172	11.72
30	12.07	78	12	126	11.85	174	11.70
32	12.07	80	11.98	128	11.84	176	11.71
34	12.07	82	11.97	130	11.83	178	11.71
36	12.06	84	11.95	132	11.80	180	11.71
38	12.07	86	11.94	134	11.81	182	11.70
40	12.05	88	11.95	136	11.79	184	11.72
42	12.05	90	11.92	138	11.80	186	11.69
44	12.02	92	11.94	140	11.80	188	11.68
46	12.03	94	11.91	142	11.79	190	11.68

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

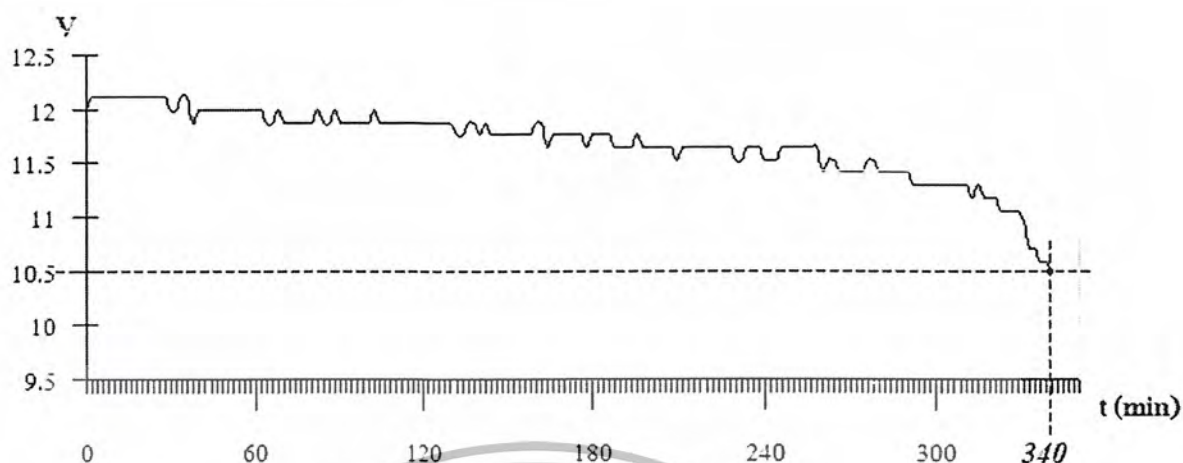
ตารางที่ 7.1 ผลการบันทึกค่า 3Kแบตเตอรี่ , 200 Ah ,12V , 20 A , ความถี่ในการบันทึกค่า 2 นาที/ครั้ง (ต่อ)

นาทีที่	แรงดันแบตเตอรี่ (V)	นาทีที่	แรงดันแบตเตอรี่ (V)	นาทีที่	แรงดันแบตเตอรี่ (V)	นาทีที่	แรงดันแบตเตอรี่ (V)
192	11.68	240	11.57	288	11.43	336	10.67
194	11.67	242	11.55	290	11.42	338	10.56
196	11.65	244	11.55	292	11.40	340	10.5
198	11.65	246	11.55	294	11.39		
200	11.63	248	11.55	296	11.38		
202	11.64	250	11.55	298	11.36		
204	11.64	252	11.54	300	11.36		
206	11.64	254	11.54	302	11.34		
208	11.65	256	11.54	304	11.33		
210	11.64	258	11.53	306	11.30		
212	11.64	260	11.54	308	11.29		
214	11.63	262	11.53	310	11.27		
216	11.66	264	11.52	312	11.26		
218	11.64	266	11.51	314	11.24		
220	11.63	268	11.50	316	11.22		
222	11.62	270	11.48	318	11.20		
224	11.61	272	11.47	320	11.17		
226	11.61	274	11.48	322	11.14		
228	11.61	276	11.48	324	11.09		
230	11.60	278	11.47	326	11.04		
232	11.60	280	11.45	328	10.99		
234	11.59	282	11.45	330	10.94		
236	11.57	284	11.45	332	10.88		
238	11.58	286	11.44	334	10.75		

เวลาในการทดสอบ : 10 ชม. 41 นาที ความจุแบตเตอรี่ 114.2 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการบันทึกค่าได้กราฟดังนี้



รูปที่ 7.1 กราฟแรงดันจ่ายโหลด 3K แบตเตอรี่ 200Ah 12V กระแสคายประจุ 20A

### ผลการทดสอบที่ 2

แบตเตอรี่ยี่ห้อ GS แบตเตอรี่ ความจุ 65 Ah , แรงดันที่ขั้วแบตเตอรี่ 12V , ทดสอบที่กระแส 25 A , ความถี่ในการบันทึกค่า 1 นาที/ครั้ง

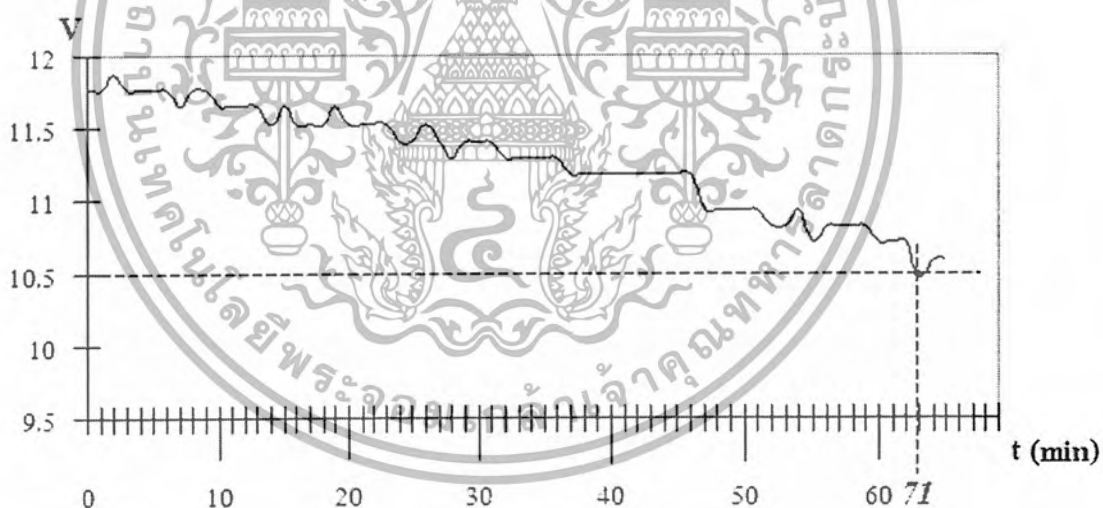
ตารางที่ 7.2 ผลการบันทึกค่า GS แบตเตอรี่ , 65 Ah , 12V , 25 A , ความถี่ในการบันทึกค่า 1 นาที/ครั้ง

นาทีที่	แรงดันแบตเตอรี่ (V)	นาทีที่	แรงดันแบตเตอรี่ (V)	นาทีที่	แรงดันแบตเตอรี่ (V)	นาทีที่	แรงดันแบตเตอรี่ (V)
0	11.85	9	11.77	18	11.58	27	11.40
1	11.83	10	11.76	19	11.59	28	11.37
2	11.83	11	11.77	20	11.58	29	11.39
3	11.82	12	11.74	21	11.55	30	11.35
4	11.81	13	11.73	22	11.54	31	11.35
5	11.80	14	11.71	23	11.52	32	11.33
6	11.78	15	11.67	24	11.47	33	11.31
7	11.79	16	11.65	25	11.49	34	11.33
8	11.76	17	11.62	26	11.46	35	11.30

ตารางที่ 7.2 ผลการบันทึกค่า GS แบตเตอรี่ , 65 Ah ,12V , 25 A , ความถี่ในการบันทึกค่า 1 นาที/ครั้ง  
( ต่อ )

นาทีที่	แรงดันแบตเตอรี่ (V)	นาทีที่	แรงดันแบตเตอรี่ (V)	นาทีที่	แรงดันแบตเตอรี่ (V)	นาทีที่	แรงดันแบตเตอรี่ (V)
36	11.28	44	11.20	52	10.94	60	10.70
37	11.27	45	11.16	53	10.92	61	10.67
38	11.27	46	11.14	54	10.84	62	10.60
39	11.25	47	11.08	55	10.86	63	10.57
40	11.23	48	11.10	56	10.81	64	10.54
41	11.24	49	11.05	57	10.77	65	10.49
42	11.21	50	11.01	58	10.78		
43	11.22	51	10.98	59	10.75		

จากผลการบันทึกค่า ได้กราฟดังนี้



รูปที่ 7.2 กราฟแรงดันจ่ายโหลด GS แบตเตอรี่ 65Ah 12V กระแสคายประจุ 25A

### ผลการทดสอบที่ 3

แบตเตอรี่ยี่ห้อ GS แบตเตอรี่ ความจุ 65 Ah , แรงดันที่ขั้วแบตเตอรี่ 12V , ทดสอบที่กระแส 15 A , ความถี่ในการบันทึกค่า 2 นาที/ครั้ง

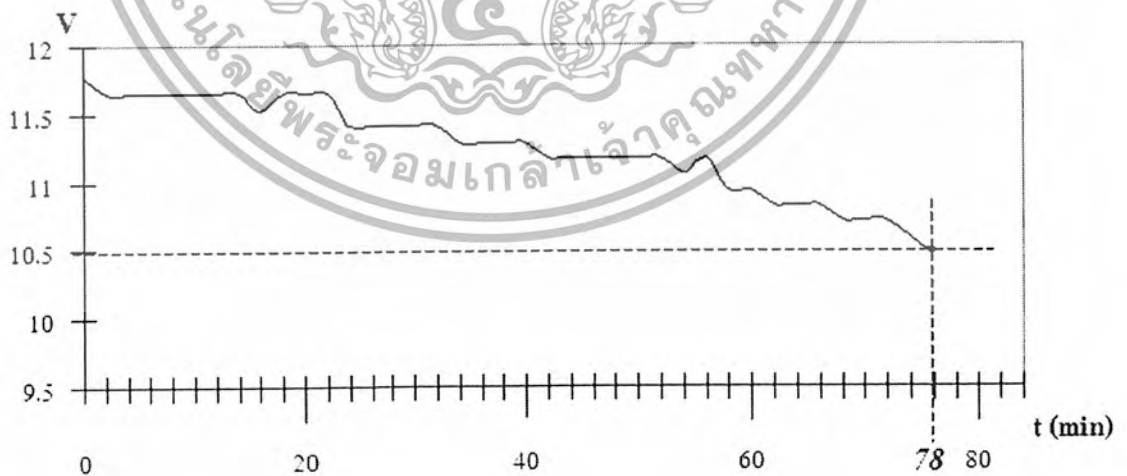
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 7.3 ผลการบันทึกค่า GS แบตเตอรี่ , 65 Ah , 12V , 15 A , ความถี่ในการบันทึกค่า 2 นาที/ครั้ง

นาทีที่	แรงดันแบตเตอรี่ (V)	นาทีที่	แรงดันแบตเตอรี่ (V)	นาทีที่	แรงดันแบตเตอรี่ (V)	นาทีที่	แรงดันแบตเตอรี่ (V)
0	11.78	20	11.58	40	11.36	60	10.92
2	11.75	22	11.57	42	11.33	62	10.93
4	11.74	24	11.58	44	11.34	64	10.86
6	11.73	26	11.54	46	11.31	66	10.75
8	11.70	28	11.52	48	11.28	68	10.67
10	11.68	30	1.47	50	11.24	70	10.65
12	11.65	32	11.50	52	11.15	72	10.60
14	11.67	34	11.45	54	11.13	74	10.54
16	11.67	36	11.44	56	11.06	76	10.52
18	11.63	38	11.41	58	11.01	78	10.48

เวลาในการทดสอบ : 1 ชม. 18 นาที ความจุแบตเตอรี่ 57.4 %

จากผลการบันทึกค่า ได้กราฟดังนี้



รูปที่ 7.3 กราฟแรงดันจ่ายโหลด GS แบตเตอรี่ 65Ah 12V กระแสคายประจุ 15A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### ผลการทดสอบที่ 4

แบตเตอรี่ยี่ห้อ 3Kแบตเตอรี่ ความจุ 200 Ah , แรงดันที่ขั้วแบตเตอรี่ 12V , ทดสอบที่ กระแส 25 A , ความถี่ในการบันทึกค่า 2 นาที/ครั้ง

ตารางที่ 7.4 ผลการบันทึกค่า GSแบตเตอรี่ , 200 Ah ,12V , 25 A , ความถี่ในการบันทึกค่า 2 นาที/ครั้ง

นาฬิกาที่	แรงดันแบตเตอรี่ (V)	นาฬิกาที่	แรงดันแบตเตอรี่ (V)	นาฬิกาที่	แรงดันแบตเตอรี่ (V)	นาฬิกาที่	แรงดันแบตเตอรี่ (V)
0	12	36	12	72	11.87	108	11.65
2	12.11	38	12	74	11.85	110	11.66
4	12.10	40	12.01	76	11.84	112	11.64
6	12.11	42	12.01	78	11.83	114	11.65
8	12.10	44	12	80	11.82	116	11.62
10	12.09	46	11.99	82	11.85	118	11.59
12	12.07	48	11.97	84	11.80	120	11.59
14	12.08	50	11.96	86	11.78	122	11.59
16	12.10	52	11.96	88	11.77	124	11.58
18	12.07	54	11.97	90	11.76	126	11.57
20	12.07	56	11.96	92	11.79	128	11.56
22	12.07	58	11.94	94	11.75	130	11.54
24	12.07	60	11.91	96	11.74	132	11.54
26	12.07	62	11.90	98	11.74	134	11.51
28	12.05	64	11.92	100	11.72	136	11.52
30	12.04	66	11.90	102	11.71	138	11.52
32	12.03	68	11.88	104	11.70	140	11.50
34	12	70	11.87	106	11.68	142	11.51

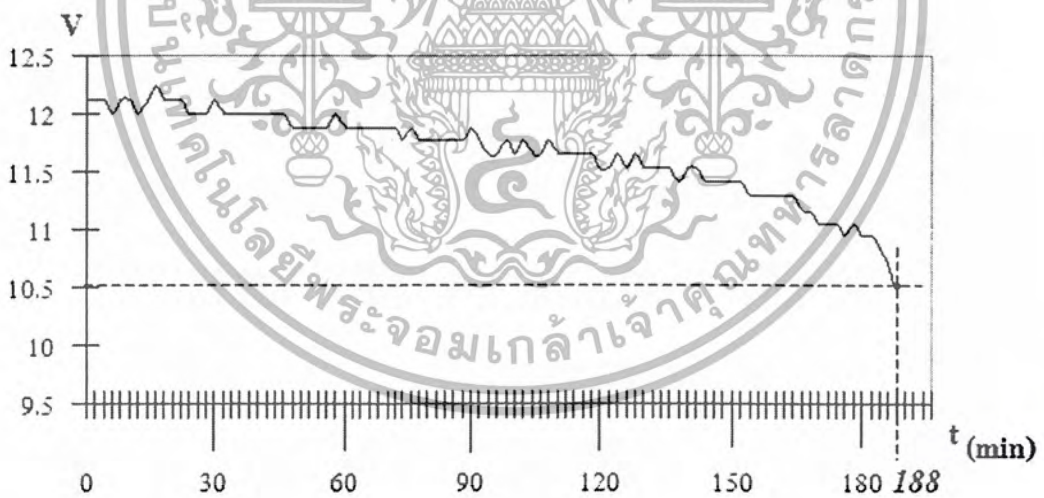
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 7.4 ผลการบันทึกค่า GS แบตเตอรี่ 200 Ah, 12V, 25 A, ความถี่ในการบันทึกค่า 2 นาที/ครั้ง (ต่อ)

นาทีที่	แรงดันแบตเตอรี่ (V)	นาทีที่	แรงดันแบตเตอรี่ (V)	นาทีที่	แรงดันแบตเตอรี่ (V)	นาทีที่	แรงดันแบตเตอรี่ (V)
144	11.50	156	11.31	168	11.12	180	10.72
146	11.48	158	11.28	170	11.03	182	10.64
148	11.47	160	11.25	172	11	184	10.59
150	11.44	162	11.20	174	10.95	186	10.53
152	11.40	164	11.20	176	10.84	188	10.46
154	11.36	166	11.15	178	10.76		

เวลาในการทดสอบ : 6 ชม. 2 นาที - ความจุแบตเตอรี่ 75.2%

จากผลการบันทึกค่าได้กราฟดังนี้



รูปที่ 7.4 กราฟแรงดันจ่ายโหลด 3K แบตเตอรี่ 200Ah 12V กระแสคายประจุ 25A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 7.5 แสดงการทดสอบเป็นค่าเปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพ

$I_{set}$ (A)	$I_{batt}$ (A)	$V_{batt}$ (V)	$I_{Load}$ (A)	$V_{Load}$ (A)	ประสิทธิภาพ(%)
25	25.6	10.4	35	3.5	46.37
22	23.1	10.2	34.8	3.6	53.17
20	21	9.5	34.2	3.7	63.42
18	19	8.9	33.4	3.7	73.08
15	15.2	10.2	30	3.9	76
12	12.2	9.72	26.2	3.94	87.05
10	10.7	11	24	4.3	87.5
8	8.5	10.36	20	4.01	91.07
5	5.8	11.03	15	4.1	96.1
2	2.6	11.5	7.4	3.9	96.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 8

### สรุปผลการทดสอบ

#### สรุปผลการทดสอบ

จากผลการทดสอบในครั้งแรก ได้ใช้แบตเตอรี่ 200 Ah \* ได้ผลตามตารางที่ 7.1 ทำการคายประจุด้วยอัตราคงที่ 20 A พบว่าแบตเตอรี่ยังคงรักษาระดับแรงดันไว้ได้ก่อนถึงแรงดันสุดท้ายของการทดสอบ 10 ชั่วโมง 41 นาที คิดเป็น 114.2 % ของพิกัดความจุของแบตเตอรี่ ผลการทดสอบครั้งนี้แสดงให้เห็นว่า แบตเตอรี่ลูกนี้ยังอยู่ในสภาพที่ดีมากอยู่

ผลการทดสอบในครั้งที่ 2 แบตเตอรี่ 65 Ah \* ได้ผลการทดสอบตามตารางที่ 7.2 ได้ผลการทดสอบที่กระแสคายประจุคงที่ 20 A พบว่าใช้เวลาในการทดสอบ 2 ชั่วโมง 35 นาที คิดเป็น 81.6 % ของพิกัดความจุแบตเตอรี่ เมื่อพิจารณาผลจะเห็นว่า แบตเตอรี่อยู่ในสภาพพอใช้งานได้

ผลการทดสอบในครั้งที่ 3 แบตเตอรี่ 65 Ah \* ได้ผลการทดสอบตามตารางที่ 7.3 ได้ผลการทดสอบที่กระแสคายประจุคงที่ 15 A พบว่าใช้เวลาในการทดสอบ 2 ชั่วโมง 26 นาที คิดเป็น 57.4 % ของพิกัดความจุแบตเตอรี่ เมื่อพิจารณาผลจะเห็นว่า แบตเตอรี่อยู่ในสภาพไม่ดี ไม่เหมาะแก่การนำไปใช้งานต่อ

ผลการทดสอบในครั้งที่ 4 แบตเตอรี่ 200 Ah \* ได้ผลการทดสอบตามตารางที่ 7.4 ได้ผลการทดสอบที่กระแสคายประจุคงที่ 25 A พบว่าใช้เวลาในการทดสอบ 6 ชั่วโมง 2 นาที คิดเป็น 75.2 % ของพิกัดความจุแบตเตอรี่ เมื่อพิจารณาผลจะเห็นว่า แบตเตอรี่อยู่ในสภาพพอใช้งาน แต่ไม่คึก

\* **หมายเหตุ** จากการทดสอบแบตเตอรี่แต่ละลูกจะเห็นได้ว่า การหา แอมป์ฮาว์ (Ah) คือการเอา อัตรากระแสการคายประจุของแบตเตอรี่ คูณกับเวลาที่ใช้ในการคายประจุ ซึ่งค่าแอมป์ฮาว์ที่จะถูกต้อง จากตารางที่ กระแสในการคายประจุของแบตเตอรี่จะเท่ากับกระแสที่ทำการทดสอบแบตเตอรี่จะทำให้การคำนวณหาค่าความจุของแบตเตอรี่ ได้อย่างถูกต้องแม่นยำ แสดงให้เห็นว่า เครื่องทดสอบนี้มีประสิทธิภาพสูง

อย่างไรก็ตามผลจากการทดสอบด้วยเครื่องทดสอบประจุแบตเตอรี่ประสิทธิภาพสูงในโครงการนี้ อาจจะไม่ใช่เป็นผลการทดสอบที่ถูกต้อง 100 % เนื่องจากผลของการชาร์จประจุแบตเตอรี่ และผลของอุณหภูมิแวดล้อม รวมไปถึงความแม่นยำของชุดทดสอบเอง ซึ่งถ้าได้มีการควบคุมเงื่อนไขต่างๆ ตามที่ผู้ผลิตแบตเตอรี่ระบุให้เหมาะสมแล้ว ก็จะทำให้ผลการทดสอบถูกต้องแม่นยำยิ่งขึ้น แต่อย่างไรก็ตามผลที่ได้นี้ก็พอชี้ให้เห็นพฤติกรรมการจ่ายโหลดของแบตเตอรี่ ทำให้พอที่จะทราบสภาพของแบตเตอรี่คร่าวๆ ได้ เป็นแนวทางในการศึกษาและพัฒนาเครื่องทดสอบที่ถูกต้องแม่นยำต่อไป หรืออาจนำไปทดสอบแบตเตอรี่ที่มีความจุเท่ากัน หลายยี่ห้อ เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพแบตเตอรี่แต่ละยี่ห้อเพื่อเป็นข้อมูลในการพิจารณาเลือกใช้แบตเตอรี่ครั้งต่อไปได้อย่างเหมาะสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



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.

Design, 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).<sup>1</sup>

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

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

<sup>1</sup>IEEE 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  $\pm 0.04$  V for lead-calcium cells and  $\pm 0.02$  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. "Jumping 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 I for the initial electrolyte temperature. Table I 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.

- 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.
- 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:

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

where

- $T_d$  is actual time of test to specified terminal voltage [see 6.4 item b)]  
 $T_r$  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.

## เอกสารอ้างอิง

- [1] Muhammad H.Rashid , “ Power Electronics Handbook ” , Academic Press, 2001
- [2] Mohan , Underland and Robbins , “ Power Electronics ”, Second Edition John Wiley & Sons , 1995
- [3] TR Crompton , “ Battery Reference Book ” Courier International Ltd. , Butterworth International Editions



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้