

การศึกษาการจัดเก็บพลังงานของรถไฟฟ้า และพลังงานแสงอาทิตย์
A Study of Energy Storage for Electric Car and Solar Energy



โดย

นาย ทิวากร	พิ่งสุข	รหัส 41014162
นาย ศรีสกุล	งามบุญแกม	รหัส 41014411
นาย สหสเดช	สุคนธาภิรมย์ ณ พัทลุง	รหัส 41014449

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ. ศิริวัฒน์	โพธิเวชกุล
อ. สุวงษ์	โสมพงศ์

เลขหน้.....
เลขทะเบียน 45956
วัน, เดือน, ปี 26 ก.พ. 2546

.b.....
.i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2544

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีก้ารนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2544

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า


คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การศึกษาการจัดเก็บพลังงานของรถไฟฟ้า และพลังงานแสงอาทิตย์

A Study of Energy Storage for Electric Car and Solar Energy

ผู้จัดทำ

1. นาย ทิวากร พึ่งสุข
2. นาย ศรีสกุล งามบุญแกม
3. นาย สหัฐเดช สุกนธาภิรมย์ ณ พัทลุง


อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ศิริวัฒน์ โปธิเวชกุล)

อาจารย์ที่ปรึกษา
(อาจารย์สุวงษ์ โสมพงศ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาการจัดเก็บพลังงานรถไฟฟ้า และพลังงานแสงอาทิตย์

นายทิวากร พึ่งสุข

นายศรีสกุล งามบุญแกม

นายสหัสเดช สุคนธาภิรมย์ ณ พัทลุง

รศ.ศิริวัฒน์ โภธิเวชกุล อาจารย์ที่ปรึกษา

อ.สุวงษ์ โสมพงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2544

บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นการศึกษา ออกแบบ และวิเคราะห์ ระบบจัดเก็บและจ่ายพลังงานของรถไฟฟ้า ต้นแบบ โดยมีวัตถุประสงค์หลักคือประการแรกเป็นการออกแบบระบบพลังงานโดยใช้ แบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรดขนาดแรงดัน 12V 65Ah จำนวน 48 ลูก ต่ออนุกรมกันผ่านอินเวอร์เตอร์ ที่ใช้ในการควบคุมการขับเคลื่อนของมอเตอร์เหนี่ยวนำขนาด 30 แรงม้าและวิเคราะห์ผลของอัตราการจ่ายพลังงานในรูปแบบการใช้งานในโหมดและความถี่ต่างๆของอินเวอร์เตอร์ ประการที่สองเป็นการศึกษาและวิเคราะห์การอัดประจุให้แบตเตอรี่ในระบบพลังงานหลักของรถไฟฟ้าได้อย่างเหมาะสม และประการสุดท้ายเป็นการศึกษาและวิเคราะห์พลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์เพื่ออัดประจุให้กับแบตเตอรี่ซึ่งเป็นแหล่งพลังงานของระบบควบคุมของรถ และอุปกรณ์ไฟฟ้าภายในรถไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A Study of Energy Storage for Electric Car and Solar Energy

Tiwakorn Phungsuk

Srisakool Ngamboontam

Sahasdesh Sukondhaphirom na Phatthalung

Assoc.Prof. Siriwut Potivejkul Advisor

Mr.Suwong Sompong Advisor

2002

Abstract

This project presents study about the design and analysis storage system and energy supply source of Electric Car Prototype. The first objective of this project is designing power system by use lead acid batteries voltage 12 V 65 Ah 48 boxes series connect and pass the inverter which use for control to drive induction motor 30 hp and analysis data of power supply rate in another mode and frequency of inverter. The second objective is study and analysis charging batteries energy system of Electric Car efficiency. The last objective is study and analysis energy from solar cell will charging batteries, it is a energy source to control Electric Car and electric equipments in the Electric Car.

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
Abstract	II
สารบัญ	III
สารบัญภาพ	VI
สารบัญตาราง	VIII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 บทนำ	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตของโครงการ	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีพื้นฐาน	3
2.1 แบตเตอรี่	3
2.1.1 โครงสร้างและประเภทของแบตเตอรี่	3
2.1.2 การทำงานของแบตเตอรี่	3
2.2 การประจุไฟให้แบตเตอรี่	5
2.2.1 หลักการประจุไฟฟ้าของเครื่องประจุแบตเตอรี่	5
2.2.2 ประสิทธิภาพของแบตเตอรี่	7
2.2.3 ระดับแรงดันกระแทกกระทือนต่ออายุของแบตเตอรี่	7
2.2.4 สิ่งที่ต้องทราบอย่างยิ่งในการประจุแบตเตอรี่มีดังต่อไปนี้	8
2.2.5 วิธีการประจุแบตเตอรี่สามารถแบ่งได้เป็น 4 วิธี	9
2.3 การประยุกต์การใช้งาน	12
2.3.1 การใช้งานแบบเป็นรอบ (Cyclic operation)	12
2.3.2 การใช้งานแบบชั่วคราว (Standby or Backup charging)	12
2.4 เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cell)	13
2.4.1 โครงสร้างและคุณลักษณะของเซลล์แสงอาทิตย์	13
2.4.2 ปัจจัยที่มีผลต่อเซลล์แสงอาทิตย์	15
2.4.3 โครงสร้างแผงเซลล์แสงอาทิตย์	17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	หน้า
บทที่ 3 การออกแบบ	19
3.1 โครงสร้างของระบบ	19
3.1.1 ระบบพลังงานหลักที่ใช้ในการขับเคลื่อน (Power system)	19
3.1.2 ระบบไฟฟ้าแสงอาทิตย์ (Photovoltaic system : PV system)	19
3.2 การออกแบบแบตเตอรี่ระบบพลังงานหลัก	20
3.3 การออกแบบการประจุแบตเตอรี่	25
3.3.1 การต่อวงจรอัดประจุแบตเตอรี่	25
3.3.2 ระดับกระแสสูงสุดในการอัดประจุให้กับแบตเตอรี่	26
3.3.3 ระดับแรงดันสุดท้ายในการอัดประจุให้กับแบตเตอรี่	26
3.3.4 การเลือกเครื่องประจุแบตเตอรี่	26
3.4 การออกแบบระบบพลังงานแสงอาทิตย์	27
3.4.1 โครงสร้างและขั้นตอนการออกแบบระบบ	27
3.4.2 ความต้องการไฟฟ้าของระบบ	28
3.4.3 ข้อมูลของอุปกรณ์ที่ใช้ในการออกแบบ	29
3.4.4 อุปกรณ์ป้องกันแบตเตอรี่	29
3.4.5 การออกแบบระบบไฟฟ้าแสงอาทิตย์	29
3.4.6 การหาขนาดแบตเตอรี่	30
บทที่ 4 การทดสอบและวิเคราะห์ผล	31
การทดลองที่ 1 การทดสอบเพื่อวิเคราะห์ พลังงานของแบตเตอรี่ในแต่ละ โหมดการทำงาน ของอินเวอร์เตอร์ ณ ความถี่ต่างๆ	31
การทดลองที่ 2 การทดสอบเพื่อวิเคราะห์ผลของการอัดการประจุ แบตเตอรี่ขนาด 12 V 65 Ah จำนวน 48 ลูก	36
การทดลองที่ 3 การทดสอบเพื่อวิเคราะห์ผลของอัดการประจุ แบตเตอรี่ขนาด 12 V 65 Ah จำนวน 48 ลูก	39
การทดลองที่ 4 การทดสอบและบันทึกผลของการคายประจุของ แบตเตอรี่ 12V 65 Ah จำนวน 2 ลูกต่อขนาดกันที่ใช้ ในระบบควบคุมของรถไฟฟ้า และ อุปกรณ์ไฟฟ้าภายใน รถไฟฟ้า	42
การทดลองที่ 5 การทดสอบการอัดประจุของแบตเตอรี่ขนาด 12 V 65 Ah จำนวน 2 ลูก ด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 12 V 64 W (US – 64) จำนวน 2 แผง	45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	หน้า
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	50
5.1สรุปผลการทดลอง	50
5.1.1.การสรุปผลการทดลองของระบบพลังงานหลักที่ใช้ใน การขับเคลื่อนของรถไฟฟ้า	50
5.1.2.การสรุปผลการทดลองของระบบการอัดประจุของระบบพลังงาน หลักที่ใช้ในการขับเคลื่อนรถไฟฟ้า	50
5.1.3.การสรุปผลการทดลองของระบบพลังงานแสงอาทิตย์	51
5.2 ปัญหาในการดำเนินงานและแนวทางการแก้ไข	51
5.2.1.ปัญหาและแนวทางการแก้ไขในการดำเนินงานของระบบพลังงาน ในการขับเคลื่อนรถไฟฟ้า	51
5.2.2.ปัญหาและแนวทางการแก้ไขในการดำเนินงานของระบบการอัดประจุ ของระบบพลังงานหลักที่ใช้ในการขับเคลื่อนรถไฟฟ้า	51
5.2.3.ปัญหาและแนวทางการแก้ไขในการดำเนินงานของระบบ พลังงานแสงอาทิตย์	52
เอกสารอ้างอิง	53
ภาคผนวก	54
ภาคผนวก ก. ข้อมูลผลการทดลองการจัดเก็บพลังงานของรถไฟฟ้า	55
ภาคผนวก ข. ข้อมูลอุปกรณ์ที่ใช้ในการออกแบบโครงงานการศึกษาการจัดเก็บพลังงาน ของรถไฟฟ้า และพลังงานแสงอาทิตย์	66

สารบัญภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1 การทำงานของแบตเตอรี่	3
รูปที่ 2.2 ผลของอุณหภูมิในการใช้งานแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด	4
รูปที่ 2.3 ทิศทางการไหลของกระแสประจุแบตเตอรี่	5
รูปที่ 2.4 วงจรที่ต่อความต้านทานอนุกรมเพื่อจำกัดกระแส	6
รูปที่ 2.5 การเปลี่ยนแปลงระดับแรงดันในการอัดประจุแบบกระแสคงที่	10
รูปที่ 2.6 การประจุแบตเตอรี่แบบแรงดันคงที่	10
รูปที่ 2.7 วงจรสมมูลย์ของเซลล์แสงอาทิตย์	13
รูปที่ 2.8 แสดงคุณลักษณะ V-I curve ของเซลล์แสงอาทิตย์	14
รูปที่ 2.9 ผลของความเข้มแสง	15
รูปที่ 2.10 ผลของอุณหภูมิ	15
รูปที่ 2.11 ผลของจำนวนเซลล์	16
รูปที่ 2.12 ผลการเพิ่มพื้นที่	16
รูปที่ 2.13 ผลของชนิดสารที่ใช้	15
รูปที่ 2.14 การต่อเซลล์แสงอาทิตย์ให้มีขนาดแรงดัน และ กระแส ตามต้องการ	17
รูปที่ 2.15 บล็อกกึ่งไดโอด	17
รูปที่ 3.1 โครงสร้างโดยรวมของโครงการการศึกษาการจัดเก็บพลังงานของรถไฟฟ้าและพลังงานแสงอาทิตย์	19
รูปที่ 3.2 วงจรระบบพลังงานหลักของรถไฟฟ้า	20
รูปที่ 3.3 การประมาณการดึงกระแสของมอเตอร์อย่างคร่าวๆ จาก General Formular for Calculation of Capacity	21
รูปที่ 3.4 กราฟ การดึงกระแส เมื่อคิดที่เต็มพิกัดของมอเตอร์	22
รูปที่ 3.5 เวลาในการคายประจุ กับแรงดันต่อเซลล์ของแบตเตอรี่	24
รูปที่ 3.6 การต่อวงจรสำหรับอัดประจุแบตเตอรี่	25
รูปที่ 3.7 โครงสร้างของระบบไฟฟ้าแสงอาทิตย์	27
รูปที่ 4.1 การทดสอบเพื่อวิเคราะห์ พลังงานของแบตเตอรี่ในแต่ละโหมดการทำงานของอินเวอร์เตอร์	32
รูปที่ 4.2 ค่ากระแสของแบตเตอรี่ในแต่ละโหมดการทำงานของอินเวอร์เตอร์ ณ ความถี่ต่างๆ	34
รูปที่ 4.3 ค่าแรงดันของแบตเตอรี่ในแต่ละโหมดการทำงานของอินเวอร์เตอร์	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ณ ความถี่ต่างๆ	34
	หน้า
รูปที่ 4.4 ค่าแรงดันต่อระยะเวลาที่ใช้ในการขับเคลื่อนรถไฟฟ้า	37
รูปที่ 4.5 ค่ากระแสต่อระยะเวลาในการขับเคลื่อนรถไฟฟ้า	37
รูปที่ 4.6 พลังงานที่รถไฟฟ้าใช้ ต่อระยะเวลา	38
รูปที่ 4.7 วงจรที่ใช้ทดลองการอัดประจุแบตเตอรี่ระบบพลังงานหลัก	39
รูปที่ 4.8 ค่ากระแสในการประจุแบตเตอรี่	40
รูปที่ 4.9 แรงดันที่ใช้ในการประจุแบตเตอรี่	40
รูปที่ 4.10 พลังงานที่ใช้ในการประจุแบตเตอรี่	41
รูปที่ 4.11 การต่อวงจรสำหรับหาค่าพลังในแต่ละภาระ	42
รูปที่ 4.12 ค่าของกระแสในการคายประจุแบตเตอรี่ให้กับภาระ 240 W	44
รูปที่ 4.13 ค่าของแรงดันในการคายประจุแบตเตอรี่ให้กับภาระ 240 W	44
รูปที่ 4.14 ค่าของพลังงานที่อุปกรณ์ 240 W ใช้ จากแบตเตอรี่	45
รูปที่ 4.15 ไคอะแกรมการต่ออุปกรณ์เพื่อทดลองเก็บค่าพลังงานแสงอาทิตย์	46
รูปที่ 4.16 ค่าของกระแสในการอัดประจุแบตเตอรี่ จากเซลล์แสงอาทิตย์ US – 64 จำนวน 2 แผง	47
รูปที่ 4.17 ค่าของแรงดันในการอัดประจุแบตเตอรี่ จากเซลล์แสงอาทิตย์ US – 64 จำนวน 2 แผง	47
รูปที่ 4.18 พลังงานที่ได้ จากเซลล์แสงอาทิตย์ US – 64 จำนวน 2 แผง	48

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 3.1 เปรียบเทียบขนาดแบตเตอรี่ ชนิดตะกั่วกรด (rate 20 h)	23
ตารางที่ 3.2 เปรียบเทียบเวลาในการใช้งานแบตเตอรี่ ที่สภาวะการใช้งานต่างกัน	24
ตารางที่ 3.3 ค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าของแต่ละชนิดอุปกรณ์	28
ตารางที่ 4.1 แสดงผลการทดสอบเพื่อวิเคราะห์ พลังงานของแบตเตอรี่ในแต่ละโหมดการทำงานของ อินเวอร์เตอร์ ณ ความถี่ต่างๆ	33
ตารางที่ 4.2 แสดงการใช้พลังงานภาระต่างๆของรถไฟฟ้า	43



บทที่ 1

บทนำ

1.1 บทนำ

ในปัจจุบันนี้ปัญหาด้านสถานะแวดล้อมนี้เป็นปัญหาที่สำคัญ และน่าที่จะให้ความสำคัญเป็นอย่างยิ่ง ปัญหาด้านมลภาวะที่มาจากควันเสียของท่อไอเสียของรถยนต์ก็เป็นอีกปัญหาหนึ่งด้วยเช่นกัน นอกจากนั้นยังก่อให้เกิดการสิ้นเปลืองทรัพยากรธรรมชาติอีกด้วย ด้วยความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีด้านวิศวกรรมจึงเกิดการคิดค้นรถยนต์ที่ใช้พลังงานไฟฟ้าซึ่งไม่สิ้นเปลืองทรัพยากรธรรมชาติ และไม่สร้างมลภาวะ ในส่วนของโครงการนี้ได้ทำการศึกษา ประยุกต์สร้างรถไฟฟ้าขึ้นมาเพื่อใช้งานด้านการขนส่ง และรถไฟฟ้าที่ทำขึ้นมาจะมีหน้าที่ ใช้พลังงานทางด้านเซลล์แสงอาทิตย์เป็นแหล่งที่ทำการจ่ายพลังงานให้แก่การประจุแบบเคอรี (ในส่วนของถาวร) และยังคงศึกษาการจ่ายพลังงานให้กับรถไฟฟ้าของแบตเตอรี่ตะกั่วกรดเพื่อที่จะทำการบันทึกค่า รวบรวมข้อมูล และหาความสัมพันธ์เพื่อเป็นประโยชน์ต่อไปในอนาคต

เนื่องจากการที่รถไฟฟ้าจะวิ่งได้หรือไม่ขึ้นกับการจ่ายพลังงานนับว่าเป็นปัจจัยที่สำคัญมากเช่นกัน ยิ่งรถไฟฟ้าที่จะต้องทำเป็นรถที่จะต้องนำไปใช้งานในอนาคตเพื่อที่จะรับส่งคนเป็นจำนวนมาก ซึ่งตรงนี้เป็นข้อแตกต่างจากรถหลายๆคันที่เคยสร้างขึ้นมา จึงเป็นสิ่งที่น่าสนใจอย่างยิ่งในการศึกษาด้านการออกแบบขนาดของแหล่งจ่ายพลังงานให้กับรถไฟฟ้า ศึกษาพฤติกรรมของเซลล์แสงอาทิตย์ และการที่จะต้องทำให้รถไฟฟ้าใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงในสถานะที่ต้องรับน้ำหนักสูงและวิ่งด้วยความเร็วระดับหนึ่ง รวมทั้งการแสดงค่าต่างๆเกี่ยวกับปัจจัยของแบตเตอรี่ที่จะต้องใช้ในการจ่ายพลังงานให้กับรถไฟฟ้า ซึ่งทั้งหมดที่กล่าวมานี้ทำให้ เป็นจุดดึงดูดที่น่าสนใจอย่างยิ่งสำหรับโครงการนี้

โดยในขั้นตอนตอนการทำงานนั้นต้องอาศัยข้อมูลจากกลุ่มที่ทำและศึกษาด้านตัวรถ ซึ่งจะต้องใช้ภาระ โหลดที่มากซึ่งเป็นสิ่งที่แปลกใหม่ที่จะต้องใส่แบตเตอรี่ ไปจ่ายพลังงานให้กับสถานะโหลดหลายๆ ซึ่งจะต้องคำนึงถึงแรงดัน กระแส และกำลังไฟฟ้า เนื่องจากแบตเตอรี่ที่ใช้ในปัจจุบันนั้นมีหลายชนิด จึงจำเป็นที่จะต้องศึกษาข้อดีและข้อเสียของแบตเตอรี่ชนิดต่างๆ และนำไปเปรียบเทียบกันว่าจะนำแบบไหนมาใช้งานเพื่อให้คุ้มค่า จากนั้นก็ทำการเลือกรูปแบบของเครื่องอัดประจุให้กับแบตเตอรี่ แล้วทำการประกอบตัวรถกับอีกกลุ่มหนึ่งและทำการบันทึกค่าต่างๆของแบตเตอรี่และเซลล์แสงอาทิตย์ในสถานะต่างๆเพื่อเป็นข้อมูลเพื่อทำการศึกษาต่อไปในอนาคต

1.2 วัตถุประสงค์

- 1) สามารถออกแบบเกี่ยวกับการจัดเก็บพลังงานของรถไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ
- 2) สามารถเลือกใช้แบตเตอรี่อย่างเหมาะสมกับสภาพการใช้งานของรถไฟฟ้า
- 3) สามารถเลือกใช้เครื่องอัดประจุแบตเตอรี่ที่มีขนาดเหมาะสมกับแบตเตอรี่ได้
- 4) ศึกษาถึงการจัดเก็บพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ให้เกิดประโยชน์สูงสุด

1.3 ขอบเขตของโครงการ

- 1) ศึกษาและทำความเข้าใจเกี่ยวกับคุณลักษณะของแบตเตอรี่แต่ละชนิดและเลือกมาใช้งานกับรถไฟฟ้าได้อย่างถูกต้องและเหมาะสม
- 2) ศึกษาและทำความเข้าใจเกี่ยวกับคุณลักษณะของเครื่องอัดประจุแบตเตอรี่ลักษณะต่างๆ
- 3) ศึกษาการใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์และการจัดเก็บพลังงานของระบบ
- 4) สามารถรวบรวมผลและวิเคราะห์ค่าต่างๆในสถานะการใช้งานจริงของแบตเตอรี่ที่ใช้ในรถไฟฟ้าเพื่อเป็นข้อมูลต่อไปในอนาคตได้

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) ช่วยให้มีแนวคิดในการนำพลังงานแสงอาทิตย์มาเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้า และนำใช้งานให้เกิดประโยชน์ สามารถใช้ในงานจริงได้
- 2) ช่วยให้มีแนวคิดในการใช้พลังงานไฟฟ้านำมาแทนน้ำมัน
- 3) เป็นข้อมูลที่จะใช้พัฒนารถไฟฟ้าต่อไปในอนาคต

บทที่ 2

ทฤษฎีพื้นฐาน

2.1 แบตเตอรี่

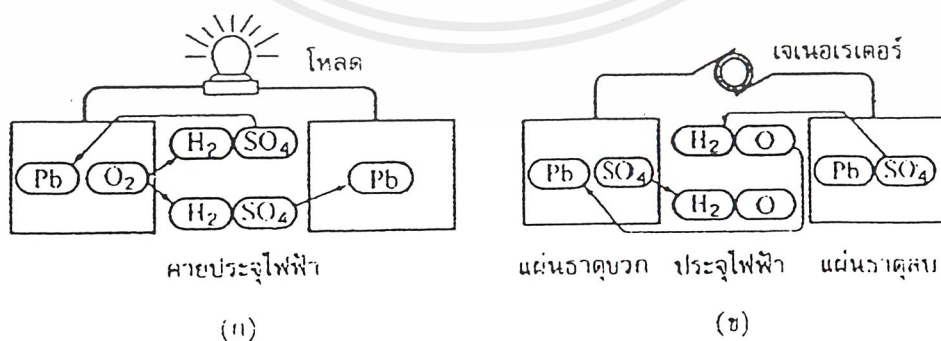
2.1.1 โครงสร้างและประเภทของแบตเตอรี่

เซลล์ของแบตเตอรี่ประกอบด้วยแผ่นธาตุบวกและแผ่นธาตุลบ และสารละลายที่เป็นของเหลวหรือวุ้น ซึ่งเรียกว่า “อิเล็กโทรไลต์” เซลล์อาจมีช่องปิดหรือมีช่องให้สารระเหยได้ แผ่นธาตุบวกและแผ่นธาตุลบวางอยู่คู่กัน ในเซลล์แบตเตอรี่ลูกหนึ่งๆ อาจมีแผ่นธาตุบวกและแผ่นธาตุลบวางอยู่หลายๆชุด วางขนานกันเป็นคู่ๆเพื่อให้ได้ขนาดกระแสไฟฟ้าที่จ่ายออกมาสูงขึ้น ปริมาณขนาดกระแสไฟฟ้าที่ จากแบตเตอรี่จะขึ้นอยู่กับพื้นที่ของแผ่นธาตุบวกและแผ่นธาตุลบ ระยะห่างระหว่างแผ่น ค่าความเข้มข้นของสารละลาย ความจุของแบตเตอรี่มักวัดเป็นแอมแปร์-ชั่วโมง (Amperehour ; Ah) การวัดความจุ โดยให้เวลาคงที่ แล้ววัดกระแสไฟฟ้าที่จ่ายออกมาในช่วงเวลาดังกล่าว

แบตเตอรี่สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ แบตเตอรี่ชนิดปฐมภูมิ ที่ทำจากสังกะสี-คาร์บอน พรอท และลิเทียม เป็นแบตเตอรี่ชนิดใช้งานได้ครั้งเดียว เมื่อจ่ายไฟหมดแล้วไม่สามารถอัดประจุกลับมาใช้ได้อีก และ แบตเตอรี่ชนิดทุติยภูมิ เช่นแบตเตอรี่ชนิด ตะกั่ว-กรด นิกเกิลแคดเมียม และอัลคาไลน์

แบตเตอรี่ที่ใช้ในโครงการนี้เป็นแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด ซึ่งเราจะกล่าวถึง แบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรดเท่านั้น

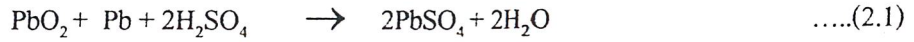
2.1.2 การทำงานของแบตเตอรี่



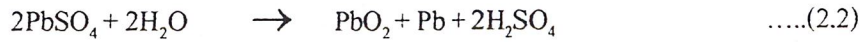
รูปที่ 2.1 การทำงานของแบตเตอรี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

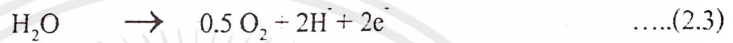
เมื่อแบตเตอรี่กำลังจ่ายไฟออก (Discharge) จะเกิดขบวนการปฏิกิริยาทางเคมีตามสมการนี้



เมื่อประจุไฟให้กับแบตเตอรี่ (Charge) จะเกิดขบวนการปฏิกิริยาทางเคมีตามสมการนี้

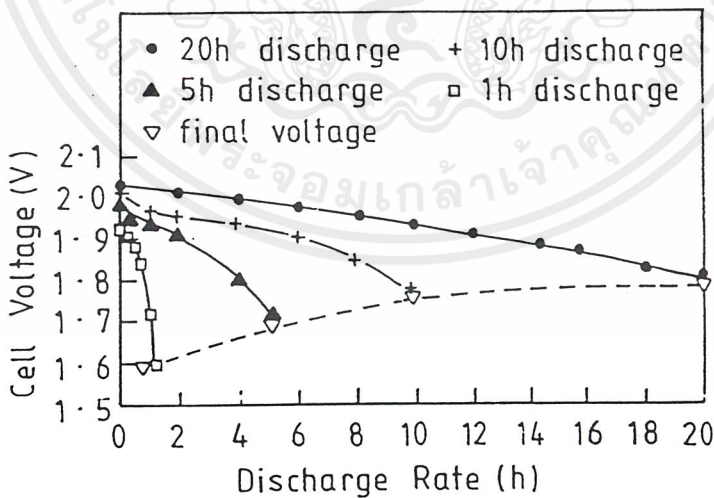


และที่ขั้วบวกจะเกิดก๊าซ O_2 ที่ขั้วลบจะเกิดก๊าซ H_2 ตามสมการนี้



ตัวแปรที่มีผลต่อค่าความจุแบตเตอรี่ คืออัตราการคายประจุของแบตเตอรี่ โดยแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด ถูกออกแบบให้ใช้งานในเวลา 20 ชั่วโมง หรือมีการคายประจุที่ 0.05 ของค่าความจุแบตเตอรี่ (C-rate) หากมีอัตราการคายประจุสูงจะทำให้ค่าความจุลดลง หรือไม่สามารถจ่ายพลังงานเท่ากับที่กำหนด

เวลาในการใช้งานของแบตเตอรี่ หาได้โดยเทียบอัตราการคายประจุ (C-rate) แล้วนำไปเทียบกับกราฟอัตราการคายประจุ (Discharge Rate) ในรูปที่ 2.2



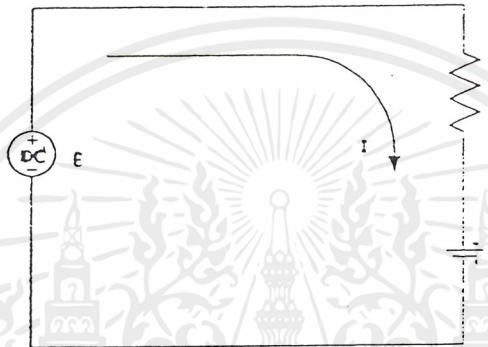
รูปที่ 2.2 อัตราการคายประจุ (Discharge Rate) แบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 การประจุไฟให้แบตเตอรี่

2.2.1 หลักการประจุไฟฟ้าของเครื่องประจุแบตเตอรี่

เครื่องประจุแบตเตอรี่เป็นแหล่งจ่ายไฟกระแสตรง ซึ่งจะทำให้ระดับแรงดันสูงกว่าระดับแรงดันของแบตเตอรี่ในขณะที่มีการเก็บประจุ ในการประจุแบตเตอรี่จะให้ขั้วบวกของประจุต่อเข้ากับขั้วบวกของแบตเตอรี่ โดยกระแสที่ทำการประจุจะมีทิศทางตรงกันข้ามกับทิศทางของกระแสที่แบตเตอรี่จ่ายออกมา ดังแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 ทิศทางการไหลของกระแสประจุแบตเตอรี่

โดยที่ E : แรงดันที่ทำการอัดประจุ
 E_c : แรงดันที่ขั้วแบตเตอรี่
 R_t : ความต้านทานภายในแบตเตอรี่
 I : กระแสที่ใช้ในการประจุแบตเตอรี่

จากรูปที่ 2.3 จะได้สมการ

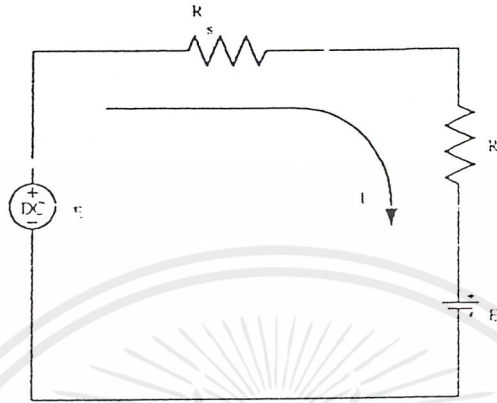
$$E = E_c + IR_t \quad \text{.....(2.5)}$$

$$\text{จะได้ } I = \frac{(E - E_c)}{R_t} \quad \text{.....(2.6)}$$

เมื่อแรงดันที่แบตเตอรี่ (E_c) มีค่าเท่าแรงดันประจุ จะไม่มีกระแสไหลในวงจร ถ้าแรงดันที่ แบตเตอรี่ต่ำกว่าแรงดันประจุจะทำให้มีกระแสไหล เพื่อเข้าไปอัดประจุให้กับแบตเตอรี่ แต่ถ้าแรงดันที่ แบตเตอรี่สูงกว่าแรงดันประจุจะทำให้กระแสถูกประจย้อนกลับจากแบตเตอรี่ ค่าความต้านทานภายในแบตเตอรี่ส่วนมากจะมีค่าน้อยซึ่งมีหน่วยเป็น โอห์ม โดยจะมีค่าเปลี่ยนแปลงไปในขณะที่มีการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประจุ แบตเตอรี่ โดยจะมีผลต่อปริมาณกระแสที่ประจุมากหรือน้อย ถ้ากระแสในการประจุมีค่ามากกว่าปริมาณที่แบตเตอรี่จะทนได้ อาจจะทำให้แบตเตอรี่ชำรุดได้ การจะลดปริมาณกระแสประจุ แบตเตอรี่ให้ลดต่ำลงทำได้โดยเอาความต้านทานต่ออนุกรมเข้าไป เพื่อจำกัดปริมาณของกระแสที่ไหลได้ตามต้องการ ซึ่งวงจรมีลักษณะดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 วงจรที่ต่อความต้านทานอนุกรมเพื่อจำกัดกระแส

จากรูปที่ 2.4 เราจะหาค่าความต้านทานจำกัดกระแสได้จากสมการ

$$I = \frac{(E - E_0)}{R_s + R_l} \quad \dots(2.7)$$

$$R_s = \frac{(E - E_0) - R_l I}{I} \quad \dots(2.8)$$

แบตเตอรี่แบบทุติยภูมิ อัตราการอัปเดตประจุหรือคายประจุ จะขึ้นอยู่กับความจุของแบตเตอรี่ พิกัดของกระแสอัปเดตประจุแบตเตอรี่บอกไว้เป็นชั่วโมง ฉะนั้นค่าของกระแสหาได้จากค่าความจุซึ่งมี หน่วยเป็นแอมแปร์-ชั่วโมง (Ah)หารด้วยจำนวนชั่วโมง ในทำนองเดียวกันถ้าเรารู้กระแสจำนวนชั่วโมงจะหาได้จากความจุ (Ah) หารด้วยกระแสจะได้จำนวนชั่วโมง แต่ทั้งนี้และทั้งนี้ค่าความสัมพัทธ์ของกระแสและชั่วโมงจะไม่แปรผันตามกันตลอด โดยถ้าจ่ายกระแสในปริมาณมาก ค่าพิกัดแอมแปร์-ชั่วโมงของแบตเตอรี่ อาจมีค่าน้อยลงซึ่งขึ้นอยู่กับคุณสมบัติการจ่ายประจุของแบตเตอรี่ (Rate of discharge)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อีกสิ่งสำคัญที่ต้องคำนึงถึงในการอัดประจุ นั่นคือ ค่ากำลังสูญเสียในแบตเตอรี่ ซึ่งอาจเขียนสมการได้ดังนี้

$$P = I^2 R_t \quad \dots(2.9)$$

เมื่อ P : กำลังสูญเสียในแบตเตอรี่

I : กระแสในการประจุแบตเตอรี่

R_t : ค่าความต้านทานภายในแบตเตอรี่

จากสมการข้างต้นจะเห็นว่าเมื่อค่ากระแสในการประจุมีค่าสูง จะทำให้มีค่าสูญเสียมาก ซึ่งจะมีผลทำให้เกิดความร้อนขึ้นในแบตเตอรี่ ถ้ามีค่าสูงมากจะทำให้แบตเตอรี่มีอายุการใช้งานน้อยลง

2.2.2 ประสิทธิภาพของแบตเตอรี่

ประสิทธิภาพของแบตเตอรี่มีอยู่ 2 ชนิดคือ

- ประสิทธิภาพจากแอมแปร์-ชั่วโมง (Ah Efficiency) ซึ่งค่านี้ทางบริษัทผู้ผลิตจะเป็นผู้กำหนดมาให้ โดยปกติมีค่าประมาณ 90% หาได้จาก

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

- ประสิทธิภาพ Watt-hour ซึ่งผู้ใช้จะต้องคำนึงถึง หาได้โดย

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

โดย V_{charge} สำหรับเซลล์ตะกั่ว-กรดเท่ากับ 2.25 V/cell

2.2.3 ระดับแรงดันกระทบกระเทือนต่ออายุของแบตเตอรี่

การปรับระดับแรงดันในการอัดประจุแบตเตอรี่นับว่าเป็นสิ่งจำเป็นอย่างมาก ถ้าหากการปรับระดับแรงดันในการอัดประจุไม่ถูกต้อง ในขณะที่มีการอัดประจุปกติประจำวันทุกวัน แบตเตอรี่จะได้อรับแรงดันในการอัดประจุโดยตรงจากเครื่องอัดประจุตลอดเวลา จะทำให้แบตเตอรี่เกิดการเสียหายขึ้น 2 ลักษณะ

2.2.3.1 อันเดอร์ชาร์จ (Under charge)

เป็นการใช้แรงดันในการอัดประจุแบตเตอรี่ในระดับ Float charge ต่ำกว่า 2.15 V/cell ถ้าหากใช้แรงดันในการอัดประจุนี้นานๆ จะทำให้เกิดการซัลเฟตเกาะจับที่แผ่นธาตุทั้งบวกและลบ หากทิ้งไว้นานวันปริมาณซัลเฟตนี้จะเพิ่มมากขึ้น จนเป็นสาเหตุให้ทำปฏิกิริยาเคมี เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระหว่าง แผ่นธาตุทั้งบวกและลบกับน้ำยาอิเล็กโตรไลต์ ทั้งการอัดประจุและจ่ายประจุเป็นไปด้วยความยากลำบาก ซึ่งส่งผลทำให้ประจุ (Capacity) ของแบตเตอรี่ลดลงตามลำดับ ถ้าหากทิ้งไว้นานวันจะส่งผลกระทบต่ออายุการใช้งานของแบตเตอรี่ ดังนั้นหากพบว่าแบตเตอรี่เกิด Under charge ขึ้นจะต้องรีบแก้ไข

การเกิด Under charge ดังเกิดได้ดังนี้

- มีการปรับระดับน้ำยาอิเล็กโตรไลต์น้อยครั้งที่สุด ในระยะเวลาอันยาวนานหรือไม่มีการเติมน้ำกลั่นตลอดเวลาที่แบตเตอรี่ใช้งานอยู่
- มีฟองอากาศผุดภายในเซลล์น้อยที่สุดหรือน้อยกว่าปกติ
- สีของแผ่นธาตุลบมีสีเขียวเกาะจับ
- ค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำยาอิเล็กโตรไลต์ในเซลล์ต่ำกว่า 1.18
- วัดแรงดันตกคร่อมในแต่ละเซลล์ต่ำกว่า 2.15 V
- ความร้อนในเซลล์แบตเตอรี่ต่ำกว่าปกติ

2.2.3.2 การประจุเกิน (Over charge)

เป็นการใช้แรงดันในการประจุในระดับโวลต์อัดประจุสูงกว่า 2.25 V/cell ซึ่งเป็นระดับแรงดันที่สูงกว่าปกติ ทำให้เกิดกระแสไหลในวงจรแบตเตอรี่สูง ทำปฏิกิริยาเคมีระหว่างน้ำยาอิเล็กโตรไลต์กับแผ่นธาตุ เป็นไปอย่างรุนแรง และรวดเร็วกว่าปกติ ซึ่งทำให้แผ่นธาตุทั้งสองเกิดการสึกกร่อนอย่างรวดเร็ว

2.2.4 สิ่งที่ควรทราบอย่างยิ่งในการประจุแบตเตอรี่มีดังต่อไปนี้

2.2.4.1 ระดับแรงดันที่ใช้ประจุ

- **Float Charge** คือการประจุแบตเตอรี่ด้วยระดับแรงดันแบบธรรมดาที่มีค่าไม่สูงอยู่ที่ค่าประมาณ 2.13 – 2.3 V/Cell ในภาวะปกติของการประจุจะใช้ระดับแรงดันนี้
- **Equalizing Charge** ในบางครั้งแบตเตอรี่ที่ใช้อยู่ไม่ถูกใช้งานหรือใช้งานน้อย ทำให้ปฏิกิริยาทางเคมีเสื่อมลงจึงควรมีการกระตุ้นแบตเตอรี่บ้างประมาณ 72 ชั่วโมงต่อปี โดยระดับแรงดันที่ใช้ ประจุประมาณ 2.3 – 2.55 V/Cell

2.2.4.2 ระดับแรงดันที่แบตเตอรี่คายประจุหมด (End of cell)

คือจุดต่ำสุดของแรงดันในการพิจารณาว่าแบตเตอรี่คายประจุหมดแล้ว มีค่าไม่แน่นอน ประมาณ 1.5 – 1.8 V/Cell ถ้าหากปล่อยให้แบตเตอรี่คายประจุจนต่ำกว่า End of Cell แล้วจะทำให้แบตเตอรี่คายไม่สามารถอัดประจุด้วยวิธีธรรมดาได้ ต้องประจุแบบรุนแรงเป็นจังหวะเปรียบเหมือนการปั๊มหัวใจเพื่อให้แบตเตอรี่ฟื้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.4.3 ขนาดกระแสสูงสุดที่แบตเตอรี่ทนได้

ขนาดกระแสสูงสุดที่แบตเตอรี่ทนได้ปกติจะกำหนดมาให้ในคู่มือการใช้แบตเตอรี่นั้นๆ แต่สำหรับแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรดทั่วไปมีค่าประมาณ 0.15 C-rate

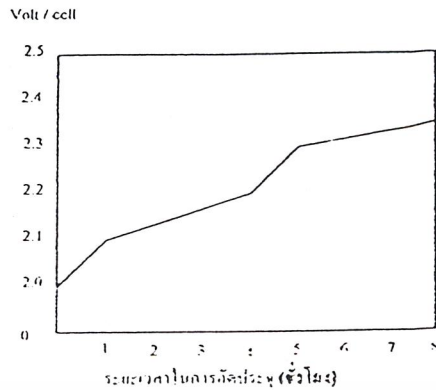
2.2.5 วิธีการประจุแบตเตอรี่สามารถแบ่งได้เป็น 4 วิธี

2.2.5.1 การประจุแบตเตอรี่แบบกระแสคงที่ (Constant current charging)

การประจุแบตเตอรี่แบบกระแสคงที่นับว่าเป็นการประจุที่มีประสิทธิภาพว่าการประจุแบบแรงดันคงที่ แต่การประจุแบตเตอรี่แบบกระแสคงที่นี้จะใช้ระยะเวลาในการประจุมากกว่าแบบแรงดันคงที่ ทั้งนี้เพราะการประจุแบบกระแสคงที่นี้ จะถูกจำกัดปริมาณการประจุของกระแสจากเครื่องประจุเข้าวงจรแบตเตอรี่เป็นจำนวนแอมแปร์ต่อชั่วโมง ดังนั้นแบตเตอรี่จะได้รับกระแสในการประจุเป็นไปตามที่กำหนด เมื่อเป็นเช่นนี้อาจเป็นที่สงสัยว่าทำไมไม่ตั้งให้กระแสในการประจุสูงขึ้น จะทำให้เวลาในการประจุน้อยลง แต่จะเกิดผลเสียเพิ่มขึ้นกับตัวแบตเตอรี่ คือ ความร้อนที่เกิดขึ้นภายในเซลล์แบตเตอรี่จะสูงขึ้นตามปริมาณของกระแสที่ทำการประจุ และในที่สุดแผ่นธาตุของแบตเตอรี่ที่เป็นวัสดุแอคทีฟ (Active material) ของเซลล์แบตเตอรี่จะเกิดการคอง แตะหรือเกิดรอยร้าวอันเนื่องมาจากความร้อนนี้ ถ้าเซลล์แบตเตอรี่เกิดความร้อนสูงกว่าปกติมากๆ หรือความร้อนในเซลล์สูงกว่ากำหนด จะทำให้เซลล์แบตเตอรี่เกิดการระเบิดได้ การประจุแบตเตอรี่แบบกระแสคงที่มีข้อดีเกิดขึ้นกับแบตเตอรี่คือ จะทำให้เซลล์แบตเตอรี่ได้รับการประจุกระแสในสัดส่วนเท่าๆกันในทุกเซลล์ตลอดชุดของแบตเตอรี่ ซึ่งในการประจุด้วยกระแสคงที่นี้ทำให้การคำนวณหาค่าความจุของแบตเตอรี่ ง่ายและสะดวก เช่น ถ้านำแบตเตอรี่ที่มีความจุขนาด 34 แอมแปร์ชั่วโมง หากเราใช้เวลาในการประจุ 5 ชั่วโมงเต็ม เราจะต้องใช้กระแสในการประจุเท่ากับ 6.8 แอมแปร์ต่อชั่วโมง ดังนั้นค่าความประจุของแบตเตอรี่จะเท่ากับ $5 \times 6.8 = 34 \text{ Ah}$ ดังนั้นเราพอจะสรุปได้ว่าเหตุผลที่ทำให้การประจุแบตเตอรี่แบบกระแสคงที่ใช้เวลาานหรือช้าด้วยเหตุผลดังนี้

- ขึ้นอยู่กับค่าความจุหรือขนาดของแบตเตอรี่ที่นำมาทำการประจุ
- ขึ้นอยู่กับปริมาณกระแสที่ทำการประจุ
- ขึ้นอยู่กับสภาพของแบตเตอรี่ก่อนที่จะนำมาประจุ

จากการประจุแบบกระแสคงที่ เราไม่ได้กล่าวถึงแรงดันที่อัดประจุแบตเตอรี่เลย อย่างไรก็ตามในขณะที่เราทำการอัดประจุแบตเตอรี่อยู่นั้น ระดับแรงดันที่เซลล์ของแบตเตอรี่จะเริ่มจาก 2.00 V/cell จนถึง 2.33 V/cell ดังแสดงในรูปที่ 2.5



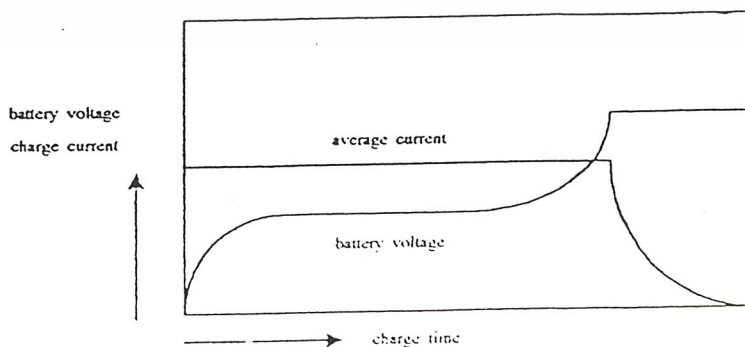
รูปที่ 2.5 การเปลี่ยนแปลงระดับแรงดันในการอัดประจุแบบกระแสคงที่

ดังนั้นการอัดประจุแบบกระแสคงที่ที่พอสรุปได้ดังนี้ คือ

การประจุจะทำอย่างรวดเร็วไม่ได้ เพราะจะต้องถูกจำกัดปริมาณของกระแสในการประจุที่คงตัวตามข้อมูลของแบตเตอรี่ชนิดนั้นกำหนดมา และอีกประการหนึ่งจะต้องคำนึงถึงความร้อนที่เกิดขึ้นภายในเซลล์ขิงแบตเตอรี่ ตลอดจนค่าความประจุของแบตเตอรี่ด้วย

2.2.5.2 การอัดประจุแบบแรงดันคงที่ (Constant voltage charging)

จากที่ได้ทราบมาแล้วว่าการประจุแบบคงที่ จะทำประจุอย่างรวดเร็วไม่ได้ต่อไปนี้เราจะศึกษาถึงการประจุแบบแรงดันคงที่ ในการประจุแบบนี้จะใช้ระยะเวลาในการประจุน้อยกว่าการประจุแบบแรก หรือทำการประจุได้อย่างรวดเร็วกว่านั่นเอง ระยะเวลาในการประจุจะรวดเร็วเท่าไรนั้น ขึ้นอยู่กับความสามารถของเครื่องอัดประจุว่าจ่ายกระแสออกมาถึงวงจรแบตเตอรี่ได้มากน้อยเพียงไร โดยทั่วไปเครื่องอัดประจุจะต้องจ่ายกระแสออกมาได้ 50% ของค่าความจุของแบตเตอรี่ที่จะนำมาทำการประจุ เช่น แบตเตอรี่ขนาด 100 แอมแปร์ต่อชั่วโมง จะใช้เวลาในการประจุเท่ากับ ๐ ชั่วโมง



รูปที่ 2.6 การประจุแบตเตอรี่แบบแรงดันคงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การประจุแบตเตอรี่โดยระบบแรงดันคงที่ทำได้โดยการใช้เครื่องประจุ หรือเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเป็นตัวกำเนิดแรงดันขึ้นมาแล้วป้อนเข้าแบตเตอรี่ แต่การกำเนิดแรงดันจากเครื่องประจุ หรือเครื่องกำเนิดไฟฟ้านั้น อาจจะมีแรงดันที่ไม่คงที่อยู่ตลอดเวลา ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องมีความควบคุมแรงดันที่จะนำเข้าประจุแบตเตอรี่ให้คงที่อยู่ตลอดเวลาในการประจุ ซึ่งตัวนี้เราเรียกกันทั่วไปว่า วงจรแรงดันเร็กกูเลเตอร์ (Voltage regulator) ดังนั้นวงจรเร็กกูเลเตอร์นี้จะทำหน้าที่ให้แบตเตอรี่ได้รับการประจุที่ คงที่ และนับว่าเป็นวงจรที่สำคัญยิ่งสำหรับการประจุแบบแรงดันคงที่ และในทำนองเดียวกัน ถ้าหากวงจรเร็กกูเลเตอร์นี้เสียจะทำให้แบตเตอรี่ได้รับระดับแรงดันในการประจุที่ไม่ถูกต้องซึ่งจะทำให้ แบตเตอรี่ได้รับความเสียหายได้ ในการประจุโดยทั่วไปนั้น การตั้งวงจรเร็กกูเลเตอร์จะมีค่าแรงดันเท่าไรนั้นให้คู่มือของแบตเตอรี่นั้นๆเป็นหลัก ในกรณีที่ไม่มีคู่มือ ให้ใช้จำนวนแรงดันในการประจุต่อเซลล์คูณด้วยจำนวนเซลล์ของแบตเตอรี่ที่ทำการประจุ

2.2.5.3 การประจุโดยวิธีการเปลี่ยนระดับกระแส (Tapped current charging)

เป็นวิธีการประจุแบตเตอรี่ที่ไม่ซับซ้อน วงจรการอัดประจุประกอบด้วยหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง วงจรเรียงกระแส และค่าความต้านทานที่เหมาะสมสำหรับจำกัดกระแส แต่วิธีนี้ไม่เหมาะสมในการอัดประจุแบตเตอรี่ตะกั่วกรดชนิดเปียก เนื่องจากกระแสที่ใช้อัดประจุจะกระเพื่อมตามแรงดันไลน์ ซึ่งจะทำให้แรงดันแบตเตอรี่เปลี่ยนไปด้วย แต่สามารถลดผลอันนี้โดยการใช้หม้อแปลงไฟฟ้ากำลังที่มีแรงดันไฟฟ้าด้านทุติยภูมิสูงกว่าแรงดันแบตเตอรี่และเลือกค่าความต้านทานที่เหมาะสมให้กับกระแส การประจุชนิดนี้สามารถใช้แทนการประจุแบบกระแสคงที่ได้ โดยเฉพาะอัดประจุแบตเตอรี่หลายๆลูกในคราวเดียวกันนั้น ยังสามารถใช้ในการประจุแบบทริกเกิล (Trickle charging) ได้ด้วย

2.2.5.4 การประจุแบตเตอรี่โดยวิธีร่วม (Combination Charging Two – Step)

วิธีนี้เราอาจเรียกว่า two – step หรือ two – rate เกิดจากการรวม 2 วิธี คือ การประจุแบบกระแสคงที่กับการประจุแบบแรงดันคงที่ เข้าด้วยกัน โดยขั้นแรกจะใช้วิธีการอัดประจุเร็ว และขั้นที่ 2 จะอัดประจุด้วยกระแสต่ำ ๆ การสวิตช์จากขั้นแรกไปยังขั้นที่ 2 อาจทำได้หลายวิธี เช่น ตรวจสอบแรงดันที่แบตเตอรี่ หรือควบคุมเวลาในการอัดประจุ หรือตรวจสอบกระแสในการอัดประจุ เป็นต้น

2.3 การประยุกต์การใช้งาน

การประยุกต์การใช้งานของแบตเตอรี่แบบตะกั่วกรด (Scaled lead-acid battery) แบ่งอย่างกว้าง ๆ ได้ 2 แบบ คือ

2.3.1 การใช้งานแบบเป็นรอบ (Cyclic operation)

การทำงานเป็นรอบ ๆ ต้องการเวลาในการอัดประจุสั้น และต้องป้องกันการอัดประจุและการคายประจุเกิน สิ่งสำคัญในการอัดประจุด้วยเทคนิคแรงดันคงที่ คือ การรักษาเอาที่พหุไว้ที่ระดับแรงดันสุดท้ายของการอัดประจุ (Final voltage) และจำกัดกระแสไฟฟ้าให้ต่ำกว่าค่าที่ออกแบบสูงสุดไว้ ถ้าแบตเตอรี่ถูกอัดประจุในช่วงอุณหภูมิสถานะแวดล้อมกว้าง ๆ จะต้องมีการชดเชยทางอุณหภูมิด้วย มิฉะนั้นการอัดประจุสูงเกินไปหรือต่ำเกินไปในอุณหภูมิสูงหรือต่ำเกินไป จะทำให้ประจุไม่ตรงตามต้องการ และระยะเวลาในการใช้งานแบตเตอรี่ในแต่ละรอบจะสั้นลง

2.3.2 การใช้งานแบบชั่วคราว (Standby or Backup charging)

ใช้ในงานประเภทสำรองเอาไว้ใช้ในยามฉุกเฉิน ปกติจะเก็บในสถานะแบตเตอรี่เต็มตลอดเวลา และจ่ายพลังงานไปให้โหลด เมื่อแหล่งจ่ายไฟหลัก (Line votage) ผิดปกติ ซึ่งการทำงานแบบนี้แบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ

2.3.2.1 การอัดประจุแบบทริกเกิล (Trickle charging)

ระบบนี้ในภาวะปกติแหล่งจ่ายไฟหลัก (AC line votage) จะจ่ายพลังงานให้โหลดหรืออุปกรณ์ในขณะที่แบตเตอรี่ไม่ได้ถูกต่อกับโหลด ถ้าเกิดความผิดปกติกับแหล่งจ่ายเกิดขึ้น วงจรแบตเตอรี่จะถูกต่อเชื่อมเข้ากับโหลดเพื่อจ่ายพลังงาน การจ่ายประจุแบบทริกเกิลจะต้องพิจารณาการชดเชยสำหรับการคายประจุขณะไร้ภาระ โดยการอัดประจุแบตเตอรี่ต่อเนื่องที่กระแสคงที่ต่าง ๆ เพื่อให้แบตเตอรี่ประจุอยู่ในสถานะเต็มที่ (Fully charge) ตลอดเวลา กรณีการคายประจุมากเกินไป (Deep discharge) จะต้องอัดประจุแบตเตอรี่เป็นเวลานาน ฉะนั้นวิธีการอัดประจุแบบสองอัตรา (Two-rate charging) กับการอัดประจุแบบแรงดันคงที่ที่เหมาะสมมากในการอัดประจุเนื่องจากมีโหลดการอัดประจุเริ่มต้นเร็ว แต่การประจุแบบสองอัตราจะเหมาะสมกว่า เพราะไม่จำเป็นต้องชดเชยทางอุณหภูมิ

2.3.2.2 การอัดประจุแบบฟลอต (Float charging)

ระบบนี้โหลดและแบตเตอรี่ต่อกันแบบขนานกับวงจรเรกติไฟเออร์ ระบบนี้ใช้ได้เฉพาะการอัดประจุแบบแรงดันคงที่เท่านั้น ซึ่งแรงดันที่อัดประจุต้องมีเสถียรภาพการกระเพื่อมอย่างมาก มีผลให้แบตเตอรี่มีการคายประจุเพียงเล็กน้อย การประจุแบบแรงดันคงที่ที่ต้องออกแบบให้จ่ายได้ที่โหลดมีค่าสูงสุด มิฉะนั้นจะทำให้อายุการใช้งานของแบตเตอรี่ต่ำลง ตามปกติอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ระบบการประจุแบบนี้จะมีอายุการใช้งานที่สั้นกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

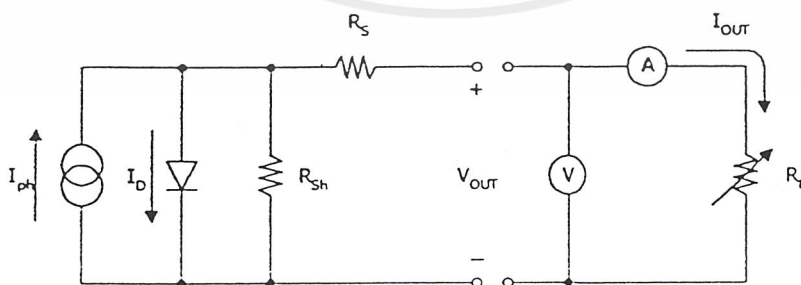
2.4 เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cell)

2.4.1 โครงสร้างและคุณลักษณะของเซลล์แสงอาทิตย์

เป็นสิ่งประดิษฐ์ที่ใช้แปลงพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้าโดยตรง โดยที่เซลล์แสงอาทิตย์นั้นจะไม่ต้องมีส่วนที่เคลื่อนไหวหรือทำให้ร้อน แสงอาทิตย์(โฟตอน)จะเข้าไปกระตุ้นให้อิเล็กตรอน ในสารที่มีศักย์สูงขึ้นไปโดยตรง สารที่ใช้ในการดูดกลืนโฟตอนนี้จะประกอบไปด้วยหัวต่อของสารที่มีคุณสมบัติ ทางอิเล็กทรอนิกส์ แตกต่างกันไป เพื่อใช้ในการนำเอา อิเล็กตรอน ที่มีพลังงานศักย์ที่สูงนี้ออกมาและเป็นผลให้เกิดแรงดันไฟฟ้าขึ้นระหว่างด้านบนและด้านล่างของสาร สารที่พบว่าสามารถเปลี่ยนพลังงานแสงมาเป็นพลังงานไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพได้แก่ ซิลิกอน และได้รับความนิยมสูงสุดเพราะมีมากที่สุดในโลก

โครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์ ประกอบด้วยสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นและชนิดพี ซึ่งตัวโครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์จะมีลักษณะโครงสร้างเหมือนไดโอดทุกประการ เพียงแต่ว่าเซลล์แสงอาทิตย์จะมีพื้นผิวรอยต่อที่มีความต้านมากกว่าไดโอดธรรมดาเป็นอย่างมาก และอีกทั้งยังมีพื้นที่ ที่เป็นรอยต่ออีกมากอีกด้วย ซึ่งจะให้พลังงานไฟฟ้าที่มีประสิทธิภาพยิ่ง

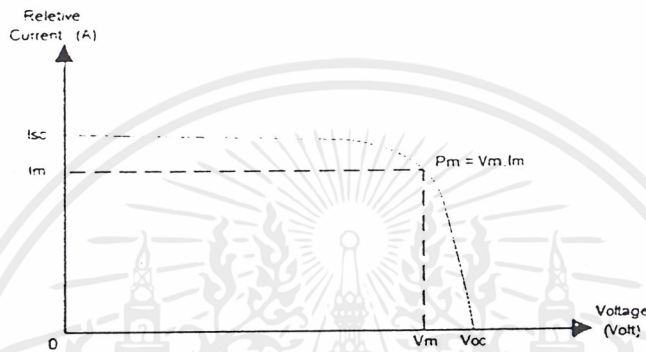
วงจรสมมูลย์ของเซลล์แสงอาทิตย์ในขณะที่ใช้งานสามารถเขียนแสดงได้ดังรูปที่ 2.7 โดยกระแสโฟโตแทนด้วยแหล่งจ่ายกระแส I_{ph} ซึ่งให้กระแสไฟฟ้าในทิศทางตรงข้ามกับกระแสไบอัสตามของของไดโอด ส่วนค่าความต้านทานที่ขนานเขียนแสดงด้วย R_{sh} ซึ่งเป็นค่าความต้านทานที่กำหนดค่าได้จากสภาพของหัวต่อที่ทำขึ้น เช่น การเกิดกระแสรั่วตามขอบเซลล์ ความไม่สม่ำเสมอของหัวต่อ เนื่องจากความบกพร่องทางผลิตต่างๆ ส่วนค่าความต้านทานอนุกรมเขียนแทนด้วย R_s กำหนดได้จากค่าความต้านทานของผิวสัมผัสทั้งทางด้านหน้าและด้านหลัง รวมกับค่าความต้านทานของผลิตภัณฑ์และชั้นแพร์ซิมของเซลล์ ที่ประดิษฐ์ขึ้น



รูปที่ 2.7 วงจรสมมูลย์ของเซลล์แสงอาทิตย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อพิจารณาวงจรสมมูลย์ดังรูปที่ 2.7 ซึ่งประกอบด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ โวลต์มิเตอร์ และแอมมิเตอร์ และค่าความต้านทานที่ปรับค่าได้ R_L เป็นการทดสอบสมรรถนะของเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งเราจะทำการทดลองโดยการเปลี่ยนค่าความต้านทานไปเรื่อยๆ โดยที่แต่ละครั้งของการเปลี่ยนแปลงความต้านทานเราจะทำการบันทึกค่าศักดาไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวของเซลล์แสงอาทิตย์และค่ากระแสที่ไหลในวงจร และเมื่อนำค่าศักดาไฟฟ้าที่เกิดขึ้นกับกระแสที่ได้นำมาเขียนกราฟจะได้ตามลักษณะดังรูปต่อไปนี้



รูปที่ 2.8 แสดงคุณลักษณะ V-I curve ของเซลล์แสงอาทิตย์

จากกราฟ V-I curve ที่ได้ เราสามารถพิจารณาหาค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญของเซลล์แสงอาทิตย์ โดยเราจะแยกพิจารณาแต่ละตัว ดังต่อไปนี้

1. ขนาดของศักดาไฟฟ้าในขณะเปิดวงจร (V_{oc})

คือขนาดของศักดาไฟฟ้าในขณะที่มีความต้านทานเป็นค่าอนันต์ ($R_L = \infty$) แยกพิจารณาดังต่อไปนี้

- สำหรับเซลล์แสงอาทิตย์เซลล์เดี่ยว จะมีค่า V_{oc} ไม่เกิน 0.6 โวลต์ ทั้งนี้เนื่องจากว่า ค่าศักดาไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวเซลล์ก็คือ ค่าความต่างศักย์ ของรอยต่อ พี-เอ็น นั้นเอง
- สำหรับเซลล์แสงอาทิตย์ที่เป็นแผง ขึ้นอยู่กับการนำเซลล์มาต่อร่วมกันทั้งแบบอนุกรมและแบบขนาน ทั้งนี้เพื่อให้เหมาะสมกับการประยุกต์นำไปใช้งานจริง

2. ขนาดของกระแสไฟฟ้าขณะลัดวงจร (I_{sc})

จะมีลักษณะทำนองเดียวกับค่า V_{oc} โดยทั่วไปแล้วสำหรับเซลล์เดี่ยว จะมีขนาดของกระแสไฟฟ้าลัดวงจรไม่เกิน 2.5 แอมป์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. กำลังไฟฟ้าสูงสุด (Pm)

จะทำการหาได้จากตำแหน่งของกราฟตรงที่อ่านได้ค่ากำลังสูงสุด และค่าของศักย์ค่าไฟฟ้า กับ กระแสไฟฟ้าที่จุดนี้ก็คือ จุด Vm และ Im ตามลำดับ เพราะฉะนั้น เราสามารถเขียนสมการกำลังไฟฟ้าสูงสุด ได้ดังนี้

$$P_m = V_m \times I_m \quad \dots(2.10)$$

4. ฟิลล์แฟคเตอร์ (Fill Factor) หาได้จากความสัมพันธ์ ดังนี้

$$\text{Fill Factor} = P_m / P_o \quad \dots(2.11)$$

โดยที่

$$P_m = V_m \times I_m$$

$$P_o = V_{oc} \times I_{sc}$$

5. ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ (Efficiency) หาได้จากสมการต่อไปนี้

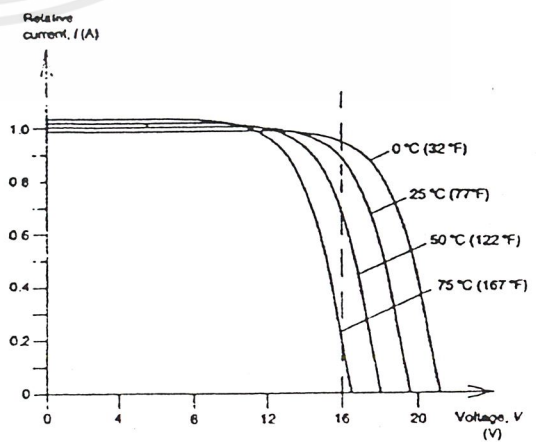
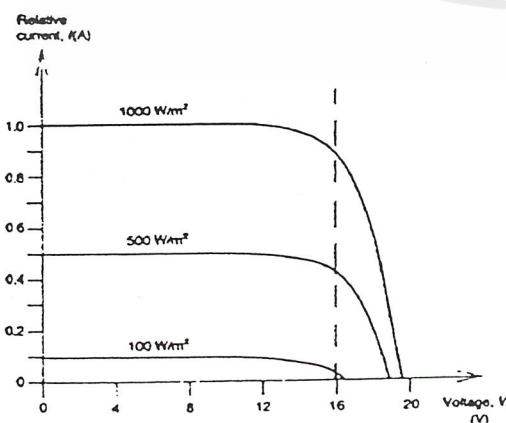
$$\text{Efficiency} = \frac{\text{พลังงานไฟฟ้าสูงสุดที่ได้จากเซลล์ (mW)} \times 100\%}{\text{พลังงานที่ได้จากแสง (mW / Cm}^2) \times \text{พื้นที่รับแสง (Cm}^2)} \quad \dots(2.12)$$

2.4.2 ปัจจัยที่มีผลต่อเซลล์แสงอาทิตย์

2.4.2.1 ระดับความเข้มส่องสว่างของแสงที่ตกกระทบในแต่ละเซลล์

โดยค่าของ Photocurrent จะแปรผันตรงกับค่าความส่องสว่างของแสง แต่ค่าของแสง

Id ของ P-N junction จะไม่ได้รับผลกระทบ

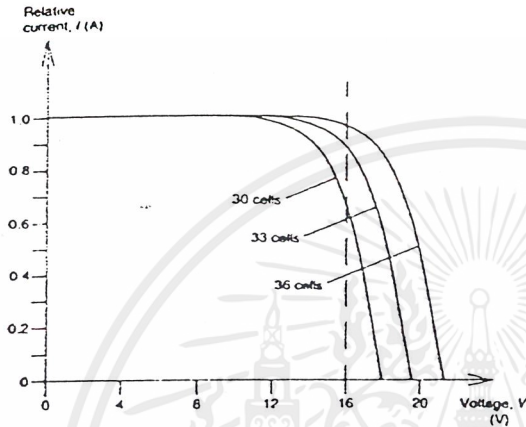


รูปที่ 2.9 ผลของความเข้มแสง

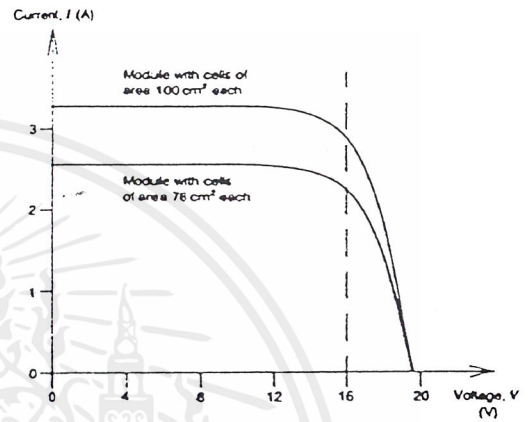
รูปที่ 2.10 ผลของอุณหภูมิ

2.4.2.2 อุณหภูมิของเซลล์

อุณหภูมิเป็นสิ่งที่มึผลอย่างมากต่อคุณลักษณะของเซลล์แสงอาทิตย์ โดยถ้าอุณหภูมิเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่า Photocurrent ลดลงเล็กน้อย แต่ค่า Open circuit Voltage จะลดลงอย่างเป็นเชิงเส้นต่อการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ



รูปที่ 2.11 ผลของจำนวนเซลล์



รูปที่ 2.12 ผลการเพิ่มพื้นที่

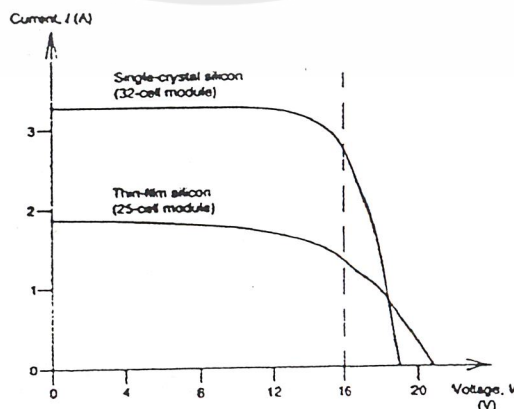
2.4.2.3 จำนวนเซลล์ในแต่ละ Module

โดยการเพิ่มจำนวนเซลล์มักจะเพิ่มในลักษณะที่ทำให้ศักย์ไฟฟ้าเพิ่มขึ้น โดยกระแสค่อนข้างคงที่

2.4.2.4 พื้นที่ของแต่ละเซลล์

ซึ่งการเพิ่มขึ้นพื้นที่จะทำให้กระแสเพิ่มขึ้น

2.4.2.5 ชนิดของสารที่ใช้ทำ Solar Cell



รูปที่ 2.13 ผลของชนิดสารที่ใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

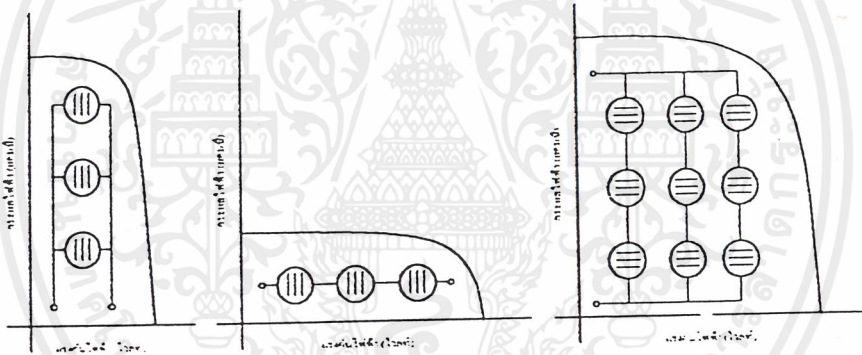
2.4.3 โครงสร้างแผงเซลล์แสงอาทิตย์

เป็นอุปกรณ์กำเนิดไฟฟ้า ซึ่งโครงสร้างประกอบด้วยส่วนต่างๆดังนี้

2.4.3.1 เซลล์แสงอาทิตย์

จะมีรูปร่างลักษณะต่างๆที่นิยมใช้กันมากมีอยู่ 2 แบบ คือแบบสี่เหลี่ยม (100 x 100 มม.) และแบบกลม (เส้นผ่านศูนย์กลาง 100 มม.) ซึ่งถูกตัดแบ่งเป็นชิ้นเล็กๆย่อยลงไปได้อีกเซลล์แสงอาทิตย์ไม่ว่าจะเป็นชิ้นเล็กหรือชิ้นใหญ่จะมีแรงดันคงที่ประมาณ 0.5 โวลท์ แต่จำนวนกระแสจะเปลี่ยนไปตามพื้นที่หน้าตัดของชิ้นเซลล์ ซึ่งโดยเฉลี่ยให้ค่ากระแสแสงจรประมาณ 3 แอมป์ต่อ 100 ตารางเซนติเมตร

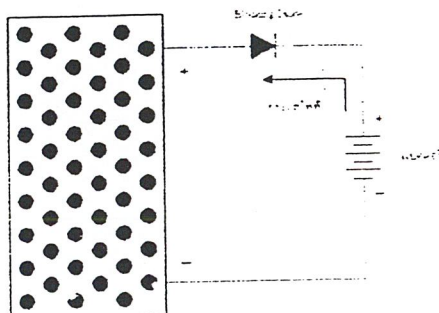
แผงเซลล์แสงอาทิตย์จะถูกออกแบบโดยอาศัยการนำชิ้นเซลล์แสงอาทิตย์มาต่อกันแบบอนุกรมหรือแบบขนานตามความต้องการดังรูป 2.4.2.6 โดยปกติ แผงเซลล์แสงอาทิตย์จะถูกออกแบบให้ใช้กับระบบไฟฟ้าขนาด 12 โวลท์ จึงต้องนำเอาชิ้นเซลล์แสงอาทิตย์มาต่อกับเป็นแบบอนุกรมจำนวน 32 – 36 ชิ้น ก็จะได้แรงดันที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ประมาณ 16 – 18 โวลท์ เพื่อที่จะประจุไฟฟ้าในแบตเตอรี่ขนาด 12 โวลท์



รูปที่ 2.14 การต่อเซลล์แสงอาทิตย์ให้มีขนาดแรงดัน และ กระแส ตามต้องการ

2.4.3.2 บล็อกกิ้งไดโอด (Blocking Diode)

เป็นไดโอดที่ต่อไว้ป้องกันไม่ให้กระแสไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ไหลกลับไปสู่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ในขณะที่ ไม่มีแสงแดด ดังรูปที่ 2.4.2.7



รูปที่ 2.15 บล็อกกิ้ง ไดโอด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.3.3 บายพาสไดโอด (By Pass Diode)

เป็นไดโอดที่ต่อคร่อมระหว่างเซลล์แสงอาทิตย์สองแถว เพื่อป้องกันไม่ให้กระแสขาดวงจรและทำให้เกิดจุดไหม้บนเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อมีเงามาบังบนเซลล์ ในขณะที่ ใช้งานปกติบายพาสไดโอดจะถูกต่อแบบพอร์เวิร์สไบอัส กระแสในเซลล์แต่ละแถวก็จะไหลตามปกติ แต่เมื่อเซลล์ตัวใดตัวหนึ่งถูกเงาบังหรือขาดวงจร บายพาสไดโอดก็จะถูกต่อแบบฟอร์เวิร์สไบอัส กระแสก็จะไหลผ่านไดโอดโดยไม่ผ่านเซลล์แถวอื่นๆ

2.4.3.4 กรอบ (Frame)

ใช้อลูมิเนียมชุบแข็ง (Anodised Aluminium) เพื่อทนต่อสภาพดินฟ้าอากาศ หรืออาจใช้วัสดุอื่นที่ออกแบบให้เหมาะสมกับการใช้งานในแต่ละสภาพแวดล้อม



บทที่ 3

การออกแบบ

3.1 โครงสร้างของระบบ

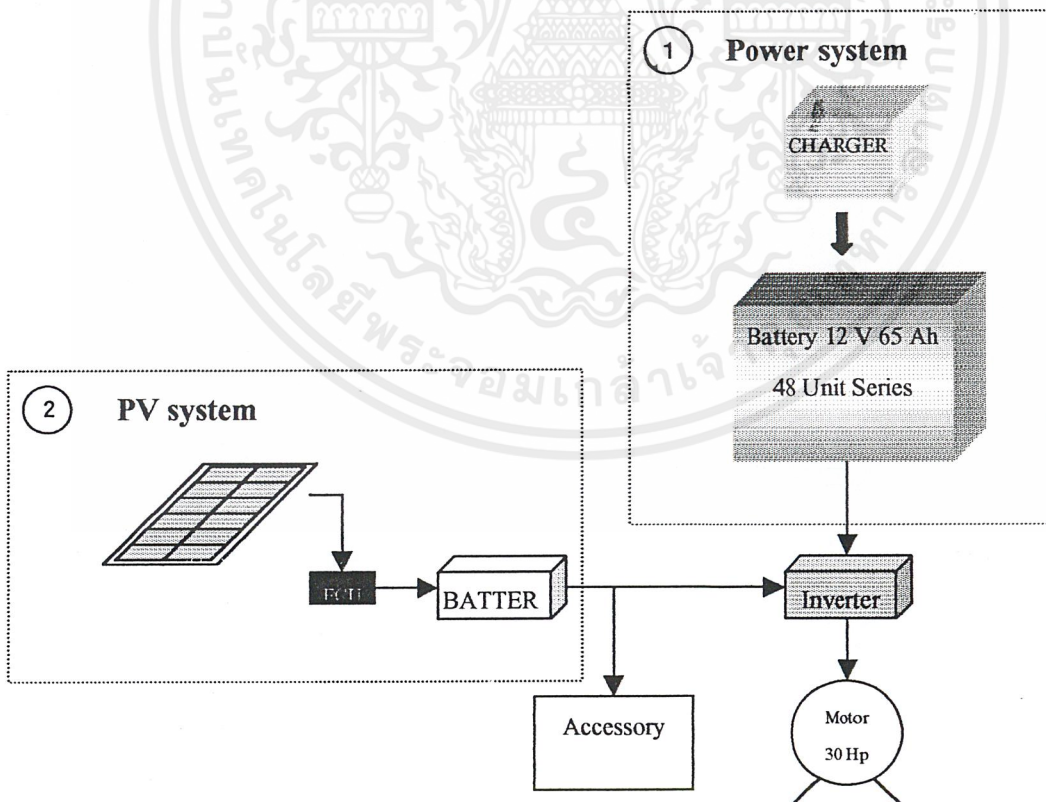
ในการศึกษาการจัดเก็บพลังงานของรถไฟฟ้า โครงสร้างของงานวิจัยแบ่งออกเป็น 2 ระบบได้ ดังแสดงในรูปที่ 3.1

3.1.1 ระบบพลังงานหลักที่ใช้ในการขับเคลื่อน (Power system)

ในการออกแบบระบบพลังงานหลักนี้ จะมี 2 ส่วน ใหญ่ๆคือ การออกแบบแบตเตอรี่ที่ใช้เป็นแหล่งพลังงานขับเคลื่อนของรถ และการหาเครื่องประจุแบตเตอรี่ที่เหมาะสม ขนาดของสาย และอุปกรณ์ป้องกัน

3.1.2 ระบบไฟฟ้าแสงอาทิตย์ (Photovoltaic system : PV system)

การออกแบบระบบไฟฟ้าแสงอาทิตย์ จะทำการหาชนิดและจำนวนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ แบตเตอรี่ และอุปกรณ์ป้องกันและควบคุมการประจุแบตเตอรี่



รูปที่ 3.1 โครงสร้างโดยรวมของโครงการการศึกษาการจัดเก็บพลังงานของรถไฟฟ้าและพลัง

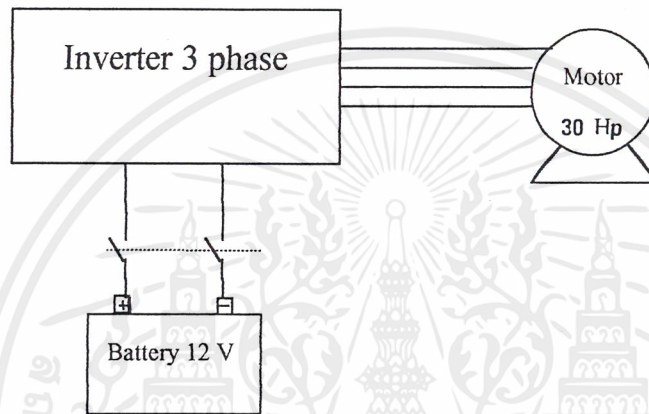
งานแสงอาทิตย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยในการออกแบบอยู่บนพื้นฐานดังต่อไปนี้

- 1) ใช้อุปกรณ์ที่มีอยู่ทั่วไป และใช้งานได้ง่าย เพื่อให้เป็นรถไฟฟ้าต้นแบบ
- 2) สามารถบรรทุกน้ำหนักได้ 700 kg
- 3) สามารถวิ่งได้ที่ความเร็ว 60 km/hr ได้ใน 2 ชั่วโมง

3.2 การออกแบบแบตเตอรี่ระบบพลังงานหลัก



รูปที่ 3.2 วงจรระบบพลังงานหลักของรถไฟฟ้า

พิกัดของ มอเตอร์ และ อินเวอร์เตอร์ เป็นดังนี้

- มอเตอร์เหนี่ยวนำกระแสสลับ 3 phase 22 kW 30 Hp 6 pole 50 Hz 975 rpm และกระแสที่พิกัด 41 A
- อินเวอร์เตอร์ 3 phase ขนาด 30 kW แรงดันกระแสตรงที่ป้อนเข้าอินเวอร์เตอร์ (DC link) 580 V
คลาดเคลื่อนได้ 10 % คือ 528 V – 645 V

โครงการนี้ใช้ แบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด แรงดัน 12 V ในการศึกษาโดยทำการต่ออนุกรมกันให้ได้แรงดันเท่ากับ 586 V นั่นคือใช้จำนวนแบตเตอรี่ทั้งหมด

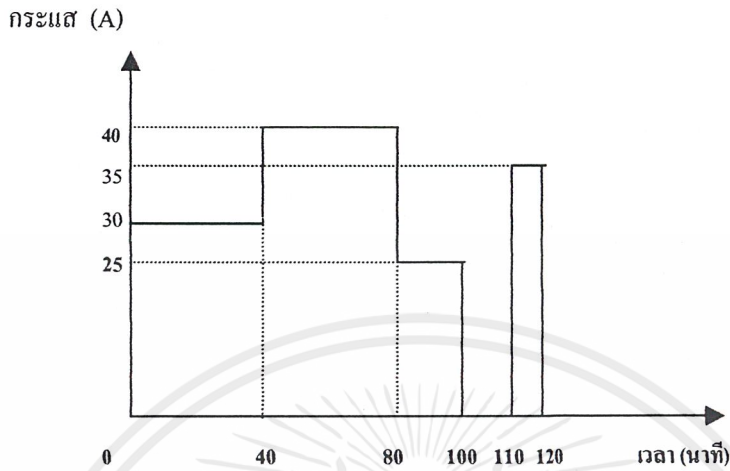
$$580 / 12 = 48.33 \text{ ลูก}$$

$$\text{ทำการเลือกใช้ ที่ } 48 \text{ ลูก}$$

เมื่อกำหนดให้แบตเตอรี่แต่ละลูก มีแรงดันเท่ากับ 12 V จะ ได้แรงดันรวมเท่ากับ 576 V ซึ่งอยู่ในพิสัยที่ยอมรับได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การที่รถไฟฟ้าต้องวิ่งและหยุดรับส่งผู้โดยสารตลอดเวลา สามารถหาขนาดของแบตเตอรี่ที่เหมาะสมจาก Load Pattern จำลองที่มีการเพิ่มขึ้นและลดลงของกระแสในเวลา 2 ชั่วโมงโดยประมาณได้ดังนี้



รูปที่ 3.3 การประมาณการคั้งกระแสของมอเตอร์อย่างคร่าวๆ

จาก General Formular for Calculation of Capacity

$$C = 1/L[K_1I_1 + K_2(I_2 - I_1) + K_3(I_3 - I_2) + \dots + K_n(I_n - I_{n-1})] \quad \dots(3.1)$$

เมื่อ C : ความจุของแบตเตอรี่ (A-H)

L : maintenance factor (L = 0.8)

K : ค่าคงที่ในการคายประจุ (จากกราฟคายประจุในภาคผนวก ข.)

I : กระแส (A)

T : เวลา (minite)

จากกราฟ Load Pattern จะแบ่งช่วงการคิดได้ 3 กรณีคือ

$$\text{กรณีที่ 1) } I_1 = 30 \quad T_1 = 80$$

$$I_2 = 41 \quad T_2 = 40$$

ค่า L ที่ใช้จะใช้ค่า 0.8

จากข้อมูล I และ T นำไปเปิดหาค่า K จากกราฟคายประจุในภาคผนวก ข. จะได้

$$K_1 = 2.6$$

$$K_2 = 1.8$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แทนค่า

$$C_1 = 1/0.8[(2.6 \times 30) + 1.8 (41 - 30)]$$

$$= 122.25 \text{ A-H} / 20 \text{ Hr}$$

กรณี 2

$I_1 = 30$	$T_1 = 100$	$K_1 = 3.0$
$I_2 = 41$	$T_2 = 60$	$K_2 = 2.2$
$I_3 = 25$	$T_3 = 20$	$K_3 = 1.3$

แทนค่าในสมการที่ 3.1 ได้

$$C_2 = 1/0.8[(3 \times 30) + 2.2 (41 - 30) + 1.3(25 - 41)]$$

$$= 116.75 \text{ A-H} / 20 \text{ hr}$$

กรณี 3

$I_1 = 30$	$T_1 = 120$	$K_1 = 3.4$
$I_2 = 41$	$T_2 = 80$	$K_2 = 2.6$
$I_3 = 25$	$T_3 = 40$	$K_3 = 1.8$
$I_4 = 0$	$T_4 = 20$	$K_4 = 1.3$
$I_5 = 35$	$T_5 = 10$	$K_5 = 1.1$

แทนค่าในสมการที่ 3.1 ได้

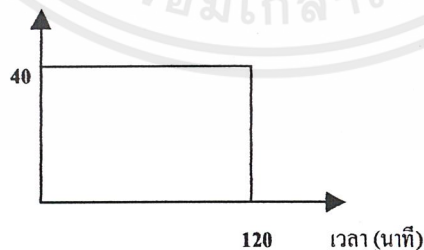
$$C_3 = 1/0.8[(3.4 \times 30) + 2.6(41-30) + 1.8(25-41) + 1.3(0-25) + 1.1(35-0)]$$

$$= 134.75 \text{ Ah} / 20 \text{ hr}$$

จากค่าทั้ง C_1, C_2, C_3 ได้แบตเตอรี่ขนาด 150 Ah/20 hr

ทำการคำนวณเมื่อใช้งานที่พิกัดของมอเตอร์เป็นเวลา 2 ชั่วโมงได้ Load pattern ดังรูปที่ 4.2

กระแส (A)



รูปที่ 3.4 กราฟ การดึงกระแส เมื่อคิดที่เต็มพิกัดของมอเตอร์

$$I = 41$$

$$T = 120$$

$$K = 3.5$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}
 \text{จาก สมการที่ 3.1 จะได้} \quad C &= (KI/L) \\
 \text{แทนค่า} &= (3.5 \times 41) / 0.8 \\
 &= 180 \text{ Ah} / 20 \text{ hr}
 \end{aligned}$$

จากค่า C ได้แบตเตอรี่ขนาด 180 Ah/20hr

การใช้วิธี General Formular for Calculation of Capacity เป็นการคิดหาขนาดความจุแบตเตอรี่ เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพของระบบมากที่สุด แต่ไม่เหมาะสมสำหรับนำมาติดตั้งบนรถไฟฟ้า เพราะระบบพลังงานหลักของรถไฟฟ้ามีอัตราการจ่ายกระแสไม่แน่นอน อีกทั้งข้อจำกัดทางด้านน้ำหนักบรรทุก

ดังนั้นจึงทำการวิเคราะห์หาขนาดความจุของแบตเตอรี่จากกราฟระยะเวลาที่แบตเตอรี่สามารถคายประจุ โดยเทียบอัตราการคายประจุเป็นค่า C-rate

จากค่าของภาระ ดังนี้

มอเตอร์เหนี่ยวนำ พิกัด 22 kW ประสิทธิภาพ 90 %

อินเวอร์เตอร์ พิกัด 33 kW ประสิทธิภาพ 90 %

ดังนั้น พลังงานที่ต้องจ่ายให้กับระบบ

$$22,000 / (0.9 \times 0.9)$$

$$= 27,160 \text{ W}$$

จะได้อัตราการคายประจุ $27,160 / (380 \times 1.414)$

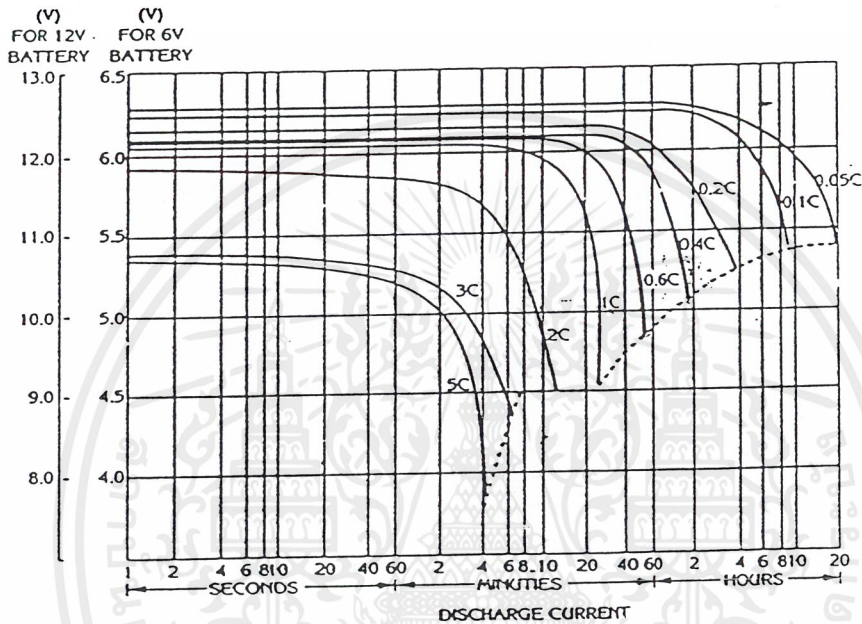
$$= 50.54 \text{ A}$$

ตารางที่ 3.1 เปรียบเทียบขนาดแบตเตอรี่ ชนิดตะกั่วกรด (rate 20 h)

ความจุ (Ah)	ยาว (mm)	กว้าง (mm)	สูง (mm)	สูงถึงขั้ว (mm)	น้ำหนัก (kg)	น้ำหนักรวม (kg)	Wh รวม 48 Unit (w)
60	260	173	202	225	19.2	921.6	34,560
65	260	173	202	225	20.75	996	37,440
70	305	173	202	225	22.5	1056	40,320
100	305	173	202	225	30.0	1440	57,600

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากแบตเตอรี่ขนาดต่างๆ กัน เมื่อพิจารณาถึงสถานะของรถยนต์ที่จะมีการหยุดนิ่ง ออกตัววิ่ง ด้วยความเร็ว และสถานะคงที่ อาจจะมีปริมาณการคายประจุที่แตกต่างกันสามารถหาระยะเวลาในการใช้งานแบตเตอรี่ ได้ดังที่กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 2.1 โดยทำการประมาณค่าปริมาณการดึงกระแสตั้งแต่ 50 - 100 เปอร์เซ็นต์ แล้วเทียบกับกราฟ อัตราการคายประจุ ของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรด จากรูปที่ 3.5 ได้เวลาที่สามารถวิ่งได้ เป็นดังตารางที่ 3.2



รูปที่ 3.5 เวลาในการคายประจุ กับแรงดันต่อเซลล์ของแบตเตอรี่

ตารางที่ 3.2เปรียบเทียบเวลาในการใช้งานแบตเตอรี่ ที่สถานะการใช้งานต่างๆกัน

พิกัดแบตเตอรี่ (Ah)	ปริมาณ Discharge	50 %	60 %	70 %	80 %	90%	100 %
	การDischarge (A)	25.2	30.3	35.4	40.43	45.48	50.54
60	ระยะเวลาใช้งาน(นาทื)	105	90	50	40	30	22
65	ระยะเวลาใช้งาน(นาทื)	120	100	75	50	40	35
70	ระยะเวลาใช้งาน(นาทื)	135	110	90	60	45	40
100	ระยะเวลาใช้งาน(นาทื)	180	160	140	105	90	60

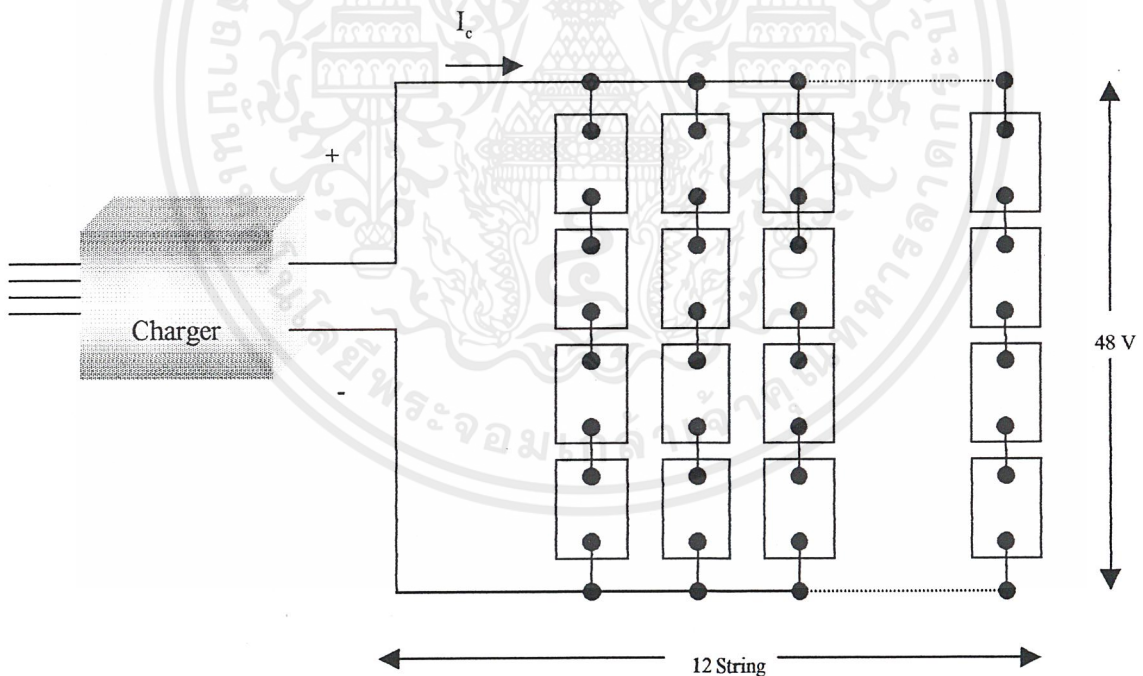
จากค่าในตารางที่ 3.2 ทำการเลือกแบตเตอรี่ขนาด 65 Ah มาเป็นตัวเลือกแรกในการทดลอง เพราะเมื่อพิจารณาถึงความเหมาะสมในด้านน้ำหนักรวมของแบตเตอรี่ ระยะเวลาที่รถสามารถวิ่งได้ อีกทั้งยังเป็นรถคันแรกสำหรับการพัฒนาต่อไปในอนาคต
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การออกแบบการประจุแบตเตอรี่

ลักษณะการใช้งานของรถไฟฟ้านั้นมีลักษณะการใช้งานแบบเป็นรอบต้องการเวลาในการอัดประจุสั้น และต้องป้องกันการอัดประจุและการคายประจุเกิน และสามารถอัดประจุได้คราวละหลายๆลูก ซึ่งวิธีที่เหมาะสมในการอัดประจุให้กับแบตเตอรี่ระบบพลังงานหลักของรถไฟฟ้า คือการอัดประจุแบบเปลี่ยนระดับกระแส (Trapper current) โดยต้องรักษาระดับแรงดันที่จ่ายให้กับแบตเตอรี่ (V_o) ไว้ที่ระดับแรงดันสุดท้ายของการอัดประจุ (Final voltage) และจำกัดกระแสไฟฟ้าให้ต่ำกว่าค่าที่ออกแบบสูงสุดไว้

3.3.1 การต่อวงจรอัดประจุแบตเตอรี่

จากการออกแบบระบบพลังงานในเบื้องต้นได้ทำการออกแบบแบตเตอรี่ระบบพลังงานหลักไว้ที่ 48 ลูก จะทำการอัดประจุโดยใช้เครื่องอัดประจุหนึ่งเครื่องทำการอัดประจุในคราวเดียว ระดับแรงดันที่เหมาะสมในการอัดประจุคือ 48 V นั่นคือเวลาทำการประจุ จะนำแบตเตอรี่มาต่ออนุกรมกัน 4 ลูก ขนานกัน 12 ชุด แล้วใช้เครื่องอัดประจุชนิดเปลี่ยนระดับกระแสในการประจุ



รูปที่ 3.6 การต่อวงจรสำหรับอัดประจุแบตเตอรี่

- การต่อแบบอนุกรม กระแสอัดประจุเท่ากันทั้งแถว แต่ แรงดันจะเพิ่มขึ้นตามจำนวนที่ต่ออนุกรม
- การต่อแบบขนานแรงดันจะเท่ากัน แต่กระแสในการอัดประจุจะเพิ่มขึ้นตามจำนวนชุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2 ระดับกระแสสูงสุดในการอัดประจุให้กับแบตเตอรี่

ค่าความจุของแบตเตอรี่ในโครงการนี้เท่ากับ 65 Ah ค่ากระแสสูงสุดในการประจุไม่ควรเกิน 0.15 CA ดังที่กล่าวไว้ในบทที่ 2 โดยให้ 1 CA เท่ากับค่าความจุของแบตเตอรี่ คือ 65

$$65 * 0.15 = 9.75 \text{ A}$$

นั่นคือกระแสประจุแบตเตอรี่ต่อชุดที่ต่ออนุกรมไม่เกิน 9.75 A

โดยกระแสแยกจ่ายให้กับแบตเตอรี่ทั้งหมด 12 ชุด เพราะฉะนั้นกระแสที่เครื่องประจุแบตเตอรี่ต้องจ่ายให้กับแบตเตอรี่ทั้งหมดไม่ควรเกิน

$$9.75 * 12 = 117 \text{ A}$$

3.3.3 ระดับแรงดันสุดท้ายในการอัดประจุให้กับแบตเตอรี่

ในการออกแบบการประจุนั้นระดับแรงดันสุดท้าย(Final Voltage) ของแบตเตอรี่ไม่ควรเกิน 2.33 V/cell ซึ่งในแบตเตอรี่ 1 ลูก มี 6 เซลล์ จะได้ระดับแรงดันสุดท้ายไม่เกิน

$$2.33 * 6 = 13.98 \text{ V}$$

เมื่อทำการต่อแบตเตอรี่อนุกรมในการประจุ จะทำให้ระดับแรงดันเพิ่มขึ้นตามจำนวนลูกได้ระดับแรงดันสุดท้ายในการประจุคือ

$$13.98 * 4 = 55.92 \text{ V}$$

3.3.4 การเลือกเครื่องประจุแบตเตอรี่

ในการเลือกเครื่องประจุแบตเตอรี่ที่ใช้ในการศึกษาโครงการนี้ จากวงจรการประจุ ค่ากระแสสูงสุด และระดับแรงดันสุดท้ายในการประจุ ที่ได้ทำการออกแบบไว้ จึงได้ทำการเลือกเครื่องประจุแบตเตอรี่ของ NUBOS ใช้ในการศึกษา

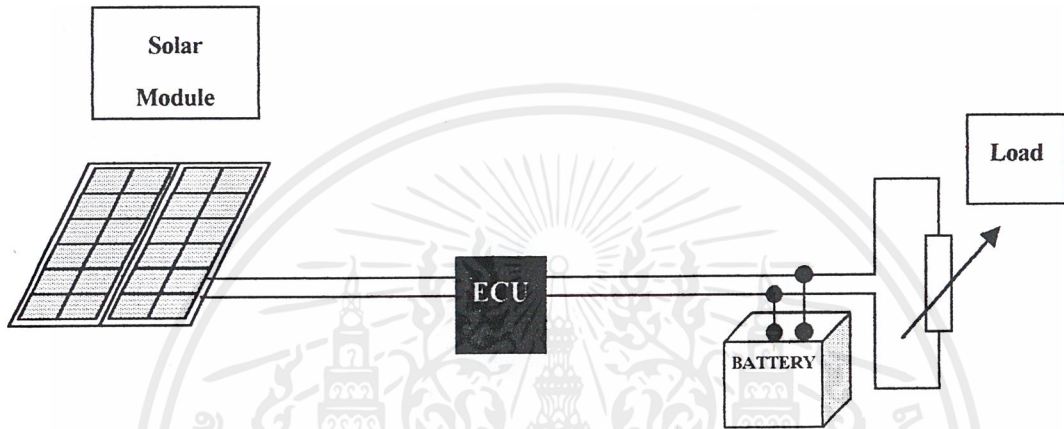
เครื่องประจุแบตเตอรี่ของ NUBOS ในการต่อใช้งาน ต่อเข้ากับระบบไฟ 3 เฟส มีการออกแบบไว้สำหรับรถกอล์ฟซึ่งมีลักษณะการใช้งานแบตเตอรี่แบบเป็นรอบเหมือนรถไฟฟ้าในโครงการนี้ การอัดประจุโดยวิธีการเปลี่ยนระดับกระแส (Tapped current charging) กระแสสูงสุดในการประจุที่ 110 A และระดับแรงดันสุดท้ายของการอัดประจุ (Final Voltage) ที่ 57 V ซึ่งค่าต่างๆใกล้เคียงกับที่ทำการออกแบบไว้ จึงเหมาะสมสำหรับโครงการนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 การออกแบบระบบพลังงานแสงอาทิตย์

3.4.1 โครงสร้างและขั้นตอนการออกแบบระบบ

ระบบแปลงรูปพลังงานจากดวงอาทิตย์มาใช้ประโยชน์ในรูปพลังงานไฟฟ้าคือ ระบบพลังงานแสงอาทิตย์ (Photovoltaic system : PV) ประกอบด้วยโครงสร้าง 3 ส่วนหลักๆ ดังแสดงในรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 โครงสร้างของระบบไฟฟ้าแสงอาทิตย์

โครงสร้างระบบไฟฟ้าแสงอาทิตย์

ส่วนประกอบที่สำคัญของระบบไฟฟ้าแสงอาทิตย์มี 3 ส่วน คือ

1. แผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Module)
2. แบตเตอรี่ (Battery)
3. หน่วยควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ (Electronics Control Unit : ECU)

ขั้นตอนการออกแบบ

- การหาความต้องการกำลังไฟฟ้าของระบบ
- การหาขนาดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้งาน
- การหาขนาดของแบตเตอรี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.2 ความต้องการไฟฟ้าของระบบ

การออกแบบระบบไฟฟ้าแสงอาทิตย์ของรถไฟฟ้าจำเป็นต้องรู้ความต้องการกำลังไฟฟ้าของภาระ เพื่อนำมาวิเคราะห์หาขนาดของ โครงสร้างแต่ละส่วน ทำได้ โดยการเก็บค่ากำลัง(W) ที่ ระบุ มาแต่ละชนิดอุปกรณ์ และการทดสอบ

ตารางที่ 3.3 ค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าของแต่ละชนิดอุปกรณ์

ลำดับ	ชนิดอุปกรณ์	กำลัง(W)	จำนวน	กำลังรวม(W)
1.	ดวงไฟหน้า	40	2 EA	80
2.	ดวงไฟสูง	80	2 EA	160
3.	ไฟเลี้ยว	12	2 EA	24
4.	ไฟเบรก	10	2 EA	20
5.	ไฟท้าย	10	2 EA	20
6.	ไฟฉุกเฉิน	10	2 EA	20
7.	ไฟภายใน	10	1 EA	10
8.	แตร	6	1 EA	6
9.	ไฟเลี้ยวอินเวอร์เตอร์	0.5	1 EA	0.5
	รวม	178		340.5

แต่สภาวะการใช้งานของแต่ละภาระจะไม่พร้อมกัน โดยในเวลากลางวันจะมีเพียงไฟเลี้ยวอินเวอร์เตอร์ ที่ทำงานตลอดเวลา และมีการเปิดไฟสัญญาณบ้างในบางครั้ง ส่วนเวลากลางคืนจะมีการเปิดดวงไฟหน้า , ไฟท้าย และไฟเลี้ยวอินเวอร์เตอร์ตลอดเวลา แต่จะมีการใช้รถในเวลากลางวันมากกว่ากลางคืน

ดังนั้นในการออกแบบจึงกำหนดให้เวลากลางคืนมีการประจุแบตเตอรี่เต็มตลอดเวลา ต้องออกแบบสำหรับจ่ายภาระในเวลากลางคืนเท่านั้น โดยกำหนดให้ภาระของระบบต้องการไฟฟ้าทั้งหมด 150 W ออกแบบให้สามารถใช้งานได้เป็นเวลา 3 ชั่วโมง

3.4.3 ข้อมูลของอุปกรณ์ที่ใช้ในการออกแบบ

3.3.3.1 แผงเซลล์แสงอาทิตย์

ในโครงการนี้ใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์สำหรับการออกแบบคือ แผง US – 64 ของ Uni Solar ซึ่งมีคุณสมบัติดังนี้

US – 64 กำลัง (W)

- Nominal peak power point : 64 W

แรงดัน (V)

- Operating voltage : 16.5 V

กระแส (A)

- Operating current amp : 3.88 A

3.4.4 อุปกรณ์ป้องกันแบตเตอรี่

หน่วยควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ (ECU) มีให้เลือกหลายรุ่นตามความเหมาะสม ระบบการทำงานของอุปกรณ์คลอบคลุมถึง

- 1) การตัดแหล่งประจุไฟออก (HI-CUT OFF) เมื่อแบตเตอรี่ได้รับการประจุไฟเข้าจนเต็มเพื่อป้องกันแบตเตอรี่เสียหายจากการประจุไฟเกิน ไฟตำแหน่ง HI VOLTAGE จะตัด อุปกรณ์นี้จะตัดการประจุไฟจากแหล่งประจุไฟออกจนกว่าแรงดันแบตเตอรี่จะลดต่ำลงในระดับที่ต้องการ อุปกรณ์นี้จะปล่อยให้การประจุไฟเข้าแบตเตอรี่ทำต่ออัตโนมัติ
- 2) การตัดโหลดออก (LO-CUT OFF) เมื่อแบตเตอรี่จ่ายแรงดันออกมามากถึงจุดที่อาจเกิดความเสียหายกับแบตเตอรี่ได้ ไฟสัญญาณ LOW VOLTAGE จะตัด อุปกรณ์นี้จะตัดโหลดออก เพื่อไม่ให้โหลดดึงกระแสจากแบตเตอรี่มากเกินไปจนทำให้แบตเตอรี่เสียหายได้ และเมื่อแรงดันแบตเตอรี่เข้าสู่ภาวะปกติอีกครั้ง อุปกรณ์นี้จะต่อโหลดเข้ากับระบบโดยอัตโนมัติ
- 3) เป็นขุมสายของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และ แบตเตอรี่

3.4.5 การออกแบบระบบไฟฟ้าแสงอาทิตย์

การใช้งานนั้นกำหนดให้เวลากลางวันแบตเตอรี่มีสภาพเต็มตลอดเวลา ส่วนเวลากลางคืนมีภาระของระบบ 150 W กำหนดให้สามารถใช้งานได้ 4 ชั่วโมงดังนั้นต้องการพลังงาน

$$150 \times 4 = 600 \quad \text{W-h}$$

กำหนดให้ประสิทธิภาพการประจุแบตเตอรี่ (Charging efficiency) ประมาณ 0.9

ดังนั้นพลังงานที่ต้องการคือ $600/0.9 = 666.67 \quad \text{W-h}$

สำหรับประเทศไทย ค่าพลังงานแสงอาทิตย์ต่อวัน(Daily Insulation) เท่ากับ 5 ชั่วโมง (5 peak-hr / day) ดังนั้นใน 1 วัน ประมาณค่าพลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์ US – 64 จำนวน 1 แผง เป็น

$$\text{Daily Charging} : 64 \times 5 = 320 \quad \text{Wh}$$

ดังนั้นในการออกแบบเลือกใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ US – 64 จำนวน 2 แผง

$$\text{Daily Charging} : 64 \times 5 \times 2 = 640 \quad \text{Wh}$$

3.4.6 การหาขนาดแบตเตอรี่

ค่าพลังงานโดยประมาณของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ใน 1 วันคือ 640 Wh หรือเท่ากับ

$$640 / 24 = 26.67 \quad \text{Ah}$$

กำหนดให้การประจุและจ่ายไฟ วันละ 26.67 Ah เป็น 20 % ของความจุแบตเตอรี่ เพื่อให้แบตเตอรี่มีอายุการใช้งานที่ยาวนาน นั่นคือในแต่ละวันแบตเตอรี่จะมีการประจุและคายประจุวันละประมาณ 20 % ความจุของแบตเตอรี่คือ

$$\text{Capacity of Battery} : 26.67 / 0.2 = 133.33 \quad \text{Ah}$$

สำหรับระบบที่ออกแบบนี้เลือกใช้แบตเตอรี่ 12 V 65 Ah 2 ลูก คือ 130 Ah

บทที่ 4

การทดสอบและวิเคราะห์ผล

การทดลองที่ 1 การทดสอบเพื่อวิเคราะห์ พลังงานของแบตเตอรี่ในแต่ละโหมดการทำงานของ อินเวอร์เตอร์ ณ ความถี่ต่างๆ

จุดประสงค์

อินเวอร์เตอร์ ที่ใช้ในการขับเคลื่อนมอเตอร์ขนาด 30 แรงม้าในรถไฟฟ้ายานยนต์ มี ขนาด 30 kW และปรับความเร็วรอบของมอเตอร์โดยการปรับความถี่ และมีสถานะการทำงานอยู่ 4 โหมดด้วยกันดังนี้

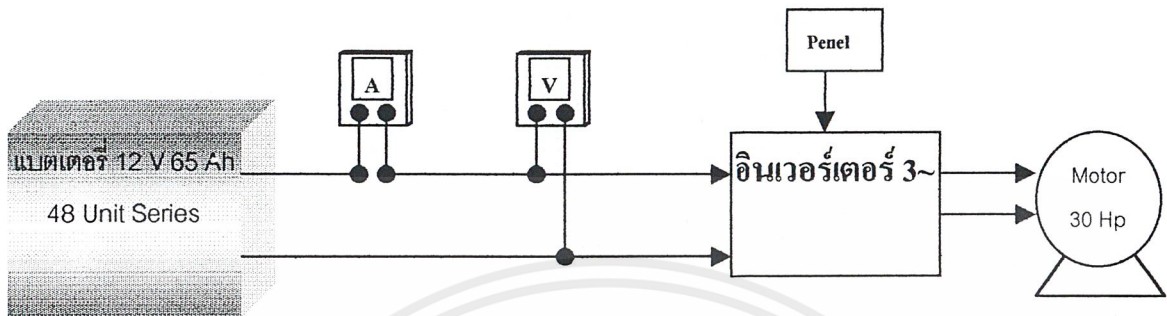
1. RAMP
2. FLYING
3. TORQUE BOOST
4. FLYING + TORQUE BOOST

การทดลองนี้จึงเป็นการวิเคราะห์ผลของค่าแรงดัน (Vdc) และกระแส (Idc) ของแบตเตอรี่ ที่จ่ายพลังงานให้กับอินเวอร์เตอร์ เพื่อทำการวิเคราะห์ค่าว่า โหมดการทำงานไหนจะทำให้แบตเตอรี่ สูญเสียพลังงานน้อยที่สุด

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. รถไฟฟ้าซึ่งภายในประกอบไปด้วย
 - อินเวอร์เตอร์ ขนาด 30 kW (ABB ACS 400)
 - มอเตอร์ ขนาด 30 แรงม้า (SIEMENS)
 - แบตเตอรี่ขนาด 12V 65Ah (GS แบตเตอรี่) ต่ออนุกรมกัน 48 ลูก
2. โวลต์มิเตอร์ (FLUKE 41-B)
3. แอมมิเตอร์ (FLUKE 87 III)
5. current probe (FLUKE 80I -110s)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 การทดสอบเพื่อวิเคราะห์ พลังงานของแบตเตอรี่ในแต่ละโหมดการทำงานของอินเวอร์เตอร์

ขั้นตอนการทดลอง

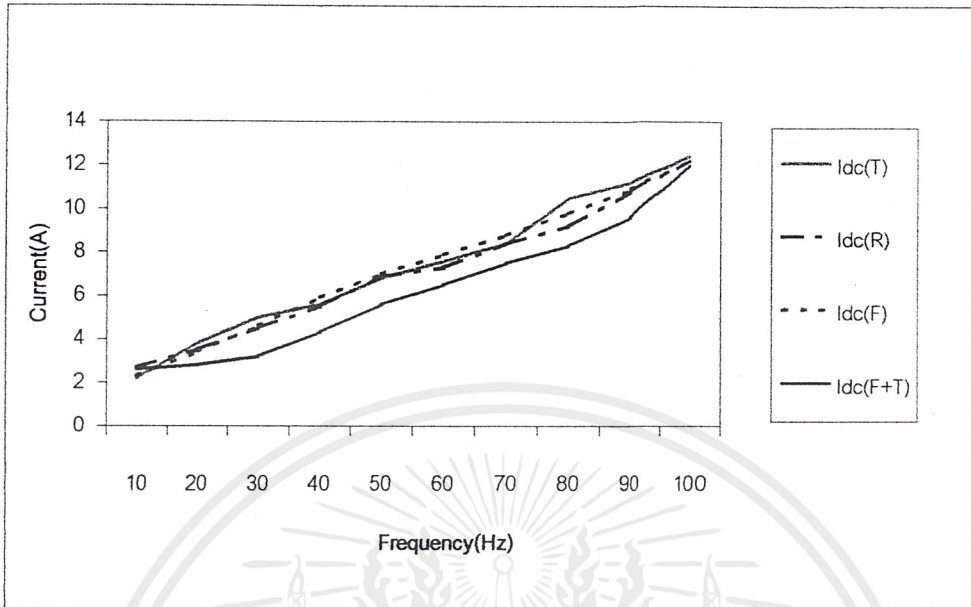
1. ตั้งรูปแบบการทำงานของอินเวอร์เตอร์ในการขับเคลื่อนรถไฟฟ้าเป็นแบบ Torque Boost
2. ตั้งความถี่ใช้งานที่ 10 Hz
3. บันทึกค่าแรงดัน (V_{dc}) และกระแส (I_{dc}) ที่แบตเตอรี่จ่ายให้กับ อินเวอร์เตอร์
4. ตั้งค่าความถี่ที่ 20,30,40,50,60,70,80,90 และ 100 แล้วดำเนินการดั่งข้อ 3
5. ตั้งรูปแบบการทำงานของอินเวอร์เตอร์ ในการเริ่มเดินมอเตอร์เป็นแบบ Ramp, Flying, Flying+Torque Boost แล้วดำเนินการดั่งข้อ 3 และ 4
6. วิเคราะห์การทดลอง

ผลการทดลอง

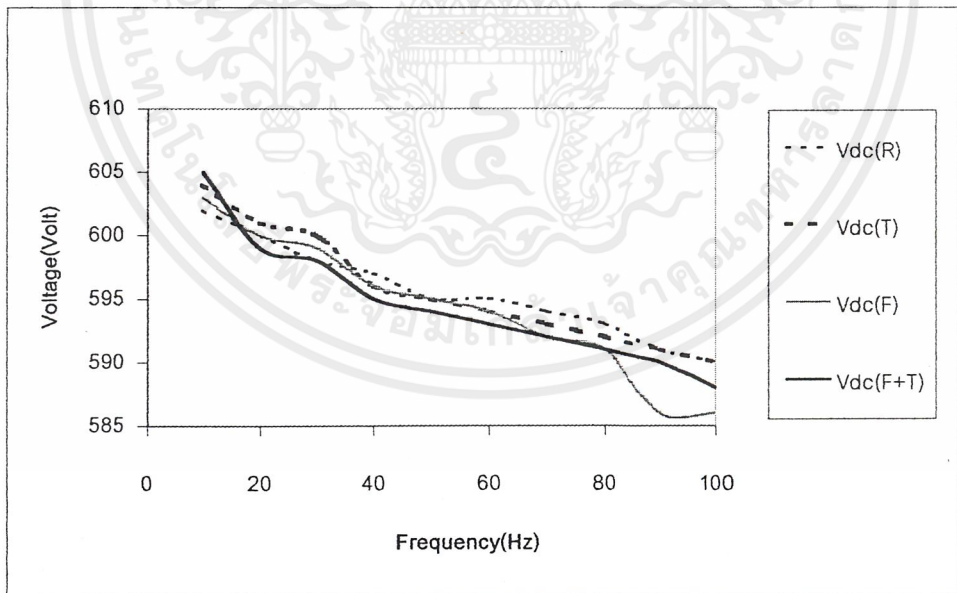
ตารางที่ 4.1 แสดงผลการทดสอบเพื่อวิเคราะห์ พลังงานของเบคเตอร์ในแต่ละ โหมดการทำงานของ อินเวอร์เตอร์ ณ ความถี่ต่างๆ

Torque Boost										
f	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Idc(T)	2.2	3.8	5	5.6	6.8	7.6	8.4	10.5	11.2	12.4
Vdc(T)	604	601	600	596	595	594	593	592	591	590
Ramp										
f	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Idc(R)	2.7	3.5	4.5	5.5	6.9	7.3	8.4	9.2	10.8	12.2
Vdc(R)	602	600	598	597	595	595	594	593	591	590
Flying										
f	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Idc(F)	2.3	3.4	4.6	5.9	7	7.9	8.8	9.8	10.9	12.2
Vdc(F)	603	600	599	596	595	594	592	591	586	586
Flying+Torque Boost										
f	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Idc(F+T)	2.6	2.8	3.2	4.3	5.6	6.5	7.5	8.3	9.6	12
Vdc(F+T)	605	599	598	595	594	593	592	591	590	588

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 ค่ากระแสของแบตเตอรี่ในแต่ละ โหมดการทำงานของอินเวอร์เตอร์ ณ ความถี่ต่างๆ



รูปที่ 4.3 ค่าแรงดันของแบตเตอรี่ในแต่ละ โหมดการทำงานของอินเวอร์เตอร์ ณ ความถี่ต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากการทดลองจะเห็นได้ว่าเราควรที่จะวิเคราะห์ผลของกระแสที่เบตเตอร์ต้องจ่ายให้ระบบในสถานะต่างๆ เพราะกระแสมีผลอย่างมากในการลดลงของความจุของเบตเตอร์ ส่วนผลของแรงดันที่ได้มานั้นมีแนวโน้มที่ใกล้เคียงกัน และอาจจะสรุปได้ว่าผลจากแรงดันไม่ค่อยที่จะมีความเสถียรเท่าไรนัก เนื่องจากเวลาทำการทดลองและทำการวัดผลมีหลายๆปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อระบบแรงดัน จากผลการทดลองจึงสรุปได้ว่าโหมดการทำงานของ อินเวอร์เตอร์ แบบ flying + torque boost จะเป็นโหมดการทำงานที่ทำให้เบตเตอร์ รับประทานในการจ่ายกำลังงานน้อยที่สุดและความถี่ที่เหมาะสมในการทำงานของ อินเวอร์เตอร์ คือ 50 Hz เนื่องจากเป็นค่าที่มอเตอร์สามารถทำงานได้ในค่าความถี่นี้ และจากผลการที่ ทำและวิเคราะห์ผลทางด้านขับเคลื่อน ก็พบว่า โหมดการทำงานแบบ flying + torque boost เป็นโหมดที่เหมาะสมสำหรับการใช้งานได้ดีอีกด้วย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่ 2 การทดสอบเพื่อวิเคราะห์ผลของการจัดการประจุ แบตเตอรี่ขนาด 12 V 65 Ah จำนวน 48 ลูก

จุดประสงค์การทดลอง

เพื่อทำการจัดเก็บผลและวิเคราะห์ผลของแบตเตอรี่ที่ใช้ในระบบกำลังสามารถใช้เป็นแหล่งจ่ายพลังงานให้รถไฟฟ้าสามารถวิ่งได้ในสถานะโหลดน้ำหนักสูงสุดตามที่ออกแบบไว้ข้างต้นหรือไม่

อุปกรณ์การทดลอง

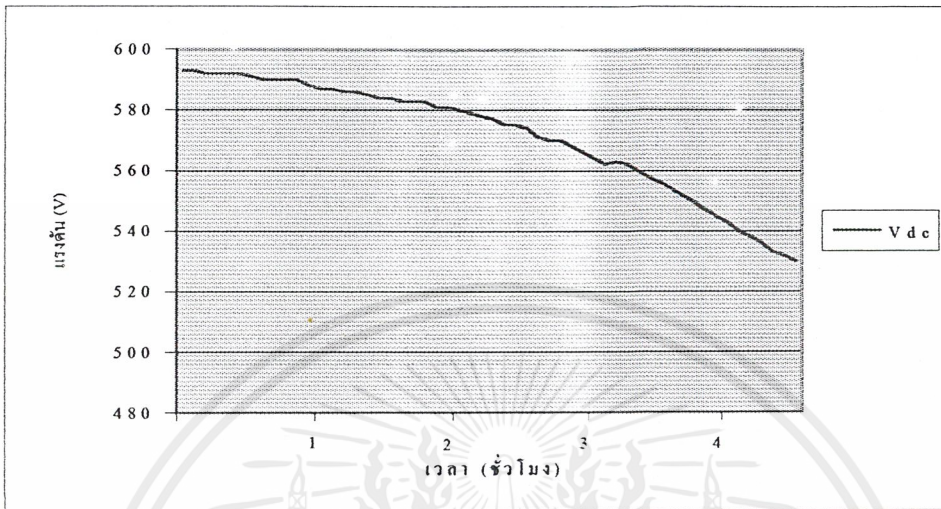
1. รถไฟฟ้าซึ่งภายในประกอบไปด้วย
 - อินเวอร์เตอร์ ขนาด 30 kW (ABB ACS 400)
 - มอเตอร์ ขนาด 30 แรงม้า (SIEMENS)
 - แบตเตอรี่ขนาด 12V 65Ah (GS BATTERY) ต่ออนุกรมกัน 48 ลูก
2. โวลต์มิเตอร์(FLUKE 41-B)
3. แอมมิเตอร์(FLUKE 87 III)
4. current clamp (FLUKE i410)
6. โหลดน้ำหนัก 700 kg.

วิธีการทดลอง

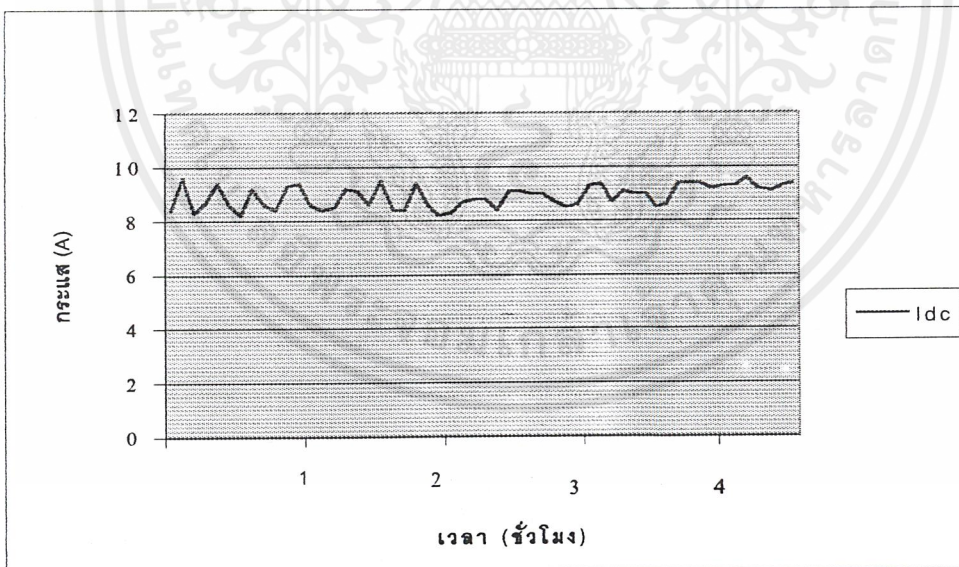
1. วัดระดับแรงดันเริ่มต้นที่ชุดแบตเตอรี่จ่ายพลังงานให้กับอินเวอร์เตอร์
2. นำภาระน้ำหนักคงที่ ที่ 700 kg บรรทุกบนตัวรถ
3. ทำการปรับโหมดอินเวอร์เตอร์ให้ทำงานแบบ flying + torque boost ที่ความถี่ 50 Hz
4. บันทึกค่าแรงดัน (V_{dc}) และกระแส (I_{dc}) ที่แบตเตอรี่จ่ายให้กับ อินเวอร์เตอร์ทุกๆ 5 นาที จนแบตเตอรี่มีค่าระดับแรงดันสุดท้ายที่ระบุไว้ของอินเวอร์เตอร์ (530 V)
5. นำค่าที่ได้มาวาดกราฟ กระแส , แรงดัน และ กำลัง แล้ววิเคราะห์ผล

ผลการทดลอง

วัดค่าระดับแรงดันของแบตเตอรี่ที่ต่ออนุกรมกันก่อนทำการทดลอง 602 V

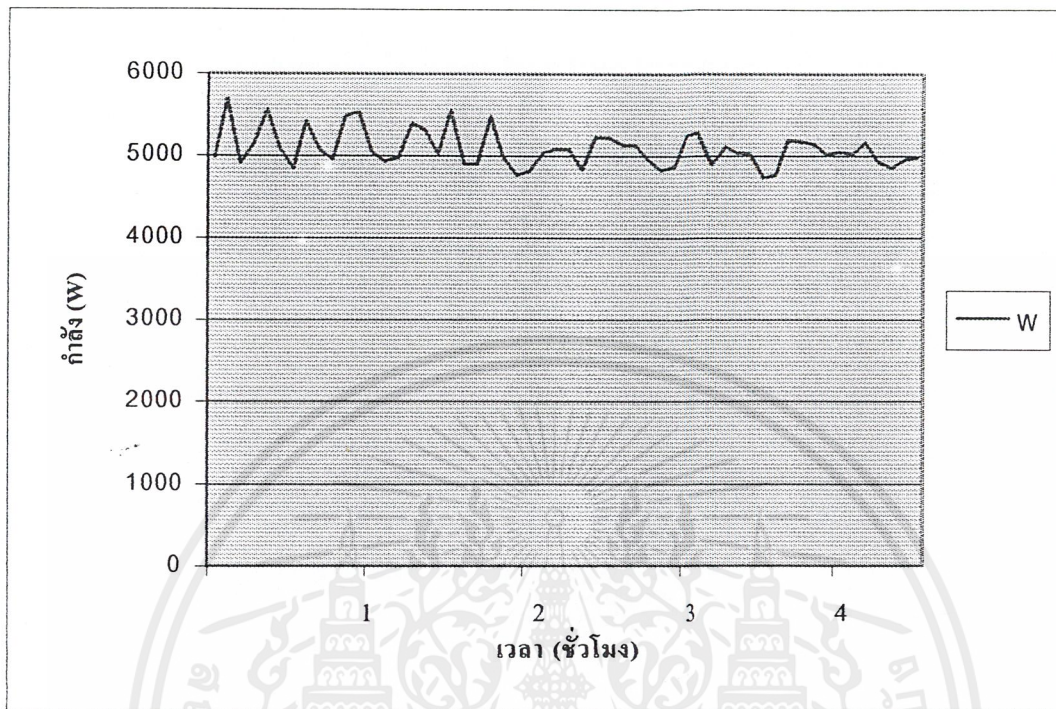


รูปที่ 4.4 ค่าแรงดันต่อระยะเวลาที่ใช้ในการขับเคลื่อนรถไฟฟ้า



รูปที่ 4.5 ค่ากระแสต่อระยะเวลาในการขับเคลื่อนรถไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 พลังงานที่รถไฟฟ้าใช้ ต่อระยะเวลา

วิเคราะห์ผลการทดลอง

ลักษณะของกราฟตามรูปที่ 4.4 จะคงที่และค่อยๆลดลงอย่างรวดเร็ว จะเห็นได้ว่าแบตเตอรี่สามารถจ่ายพลังงานให้กับระบบกำลังเป็นเวลาประมาณ 4 ชั่วโมงครึ่ง ที่ระดับแรงดันสุดท้าย 530 V ได้ ซึ่งเป็นระดับแรงดันที่กำหนดไว้ของอินเวอร์เตอร์ ดังนั้นในการใช้งานจริงควรตั้งค่าแรงดันขั้นต่ำไว้ที่ 540 V แล้วหยุดการใช้งานเพราะจะทำให้ทราบว่าแบตเตอรี่เริ่มที่จะคายประจุได้น้อยลง และยังมีเวลาประมาณ ครึ่งชั่วโมงสำหรับการนำรถไฟฟ้าไปไว้ในที่ทำการอัดประจุ ส่วนการจ่ายกระแสให้กับอินเวอร์เตอร์จะไม่คงที่เพราะแรงบิดของมอเตอร์ไม่คงที่ โดยขึ้นอยู่กับความเร่งของรถไฟฟ้า โดยมีค่าเฉลี่ยประมาณ 8.9 A คิดเป็นอัตราการคายประจุ 0.14 C-rate และค่ากำลังงานเฉลี่ยที่จ่ายให้กับอินเวอร์เตอร์ประมาณ 5086.77 W คิดเป็น 23.12% ของพิกัดมอเตอร์ขนาด 22 kW

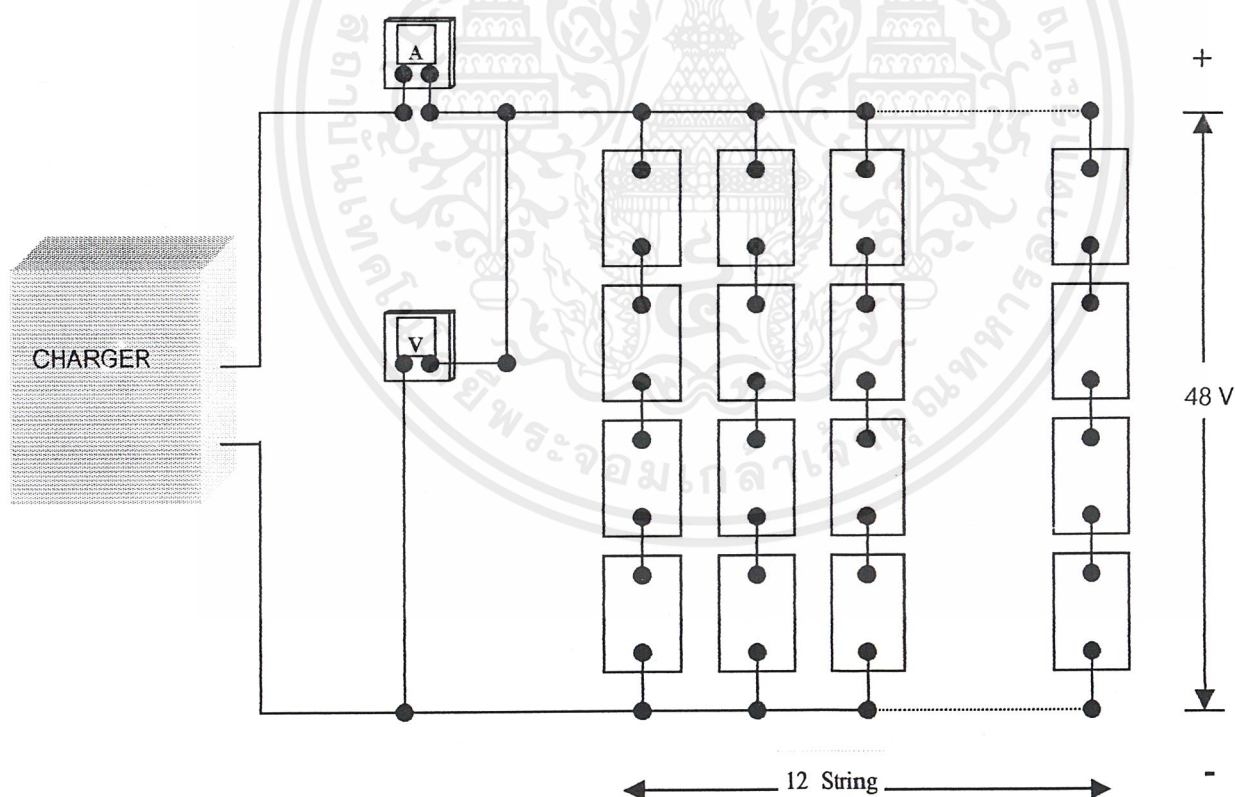
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่ 3 การทดสอบเพื่อวิเคราะห์ผลของอัตราการประจุแบตเตอรี่ขนาด 12 V 65 Ah จำนวน 48 ลูก

จุดประสงค์ ทำการทดสอบผลของการประจุแบตเตอรี่ในชุดจ่ายพลังงานหลัก และวิเคราะห์พฤติกรรมการของกระแส (I_{dc}) และแรงดัน (V_{dc}) ในโหมดของการประจุ

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

1. แบตเตอรี่ ต่ออนุกรม ชุดละ 4 ลูก ขนาด 12 V 65 Ah (GS แบตเตอรี่ 12 V 65 Ah)
2. เครื่องอัดประจุขนาด 48 V 120 A (NUBOS)
3. โวลต์มิเตอร์ (FLUKE 41-B)
4. แอมมิเตอร์ (FLUKE 87 III)
5. current clamp (FLUKE i410)
6. พัดลมระบายอากาศ



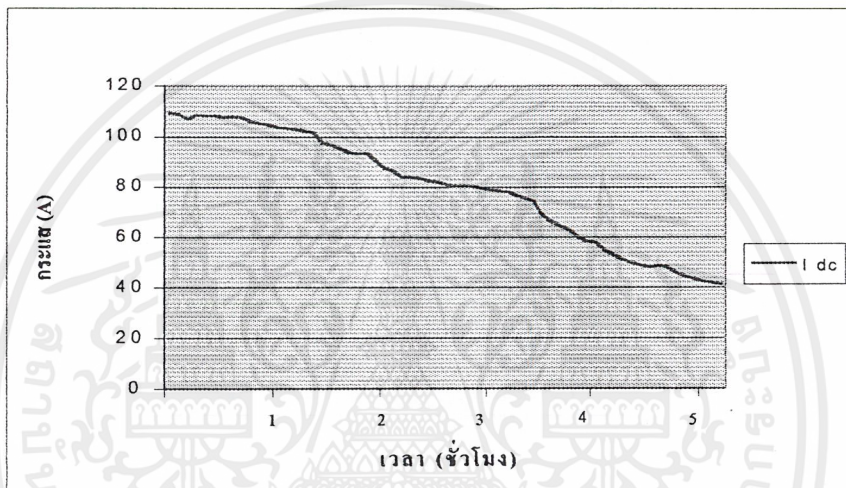
รูปที่ 4.7 วงจรที่ใช้ทดสอบการอัดประจุแบตเตอรี่ระบบพลังงานหลัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

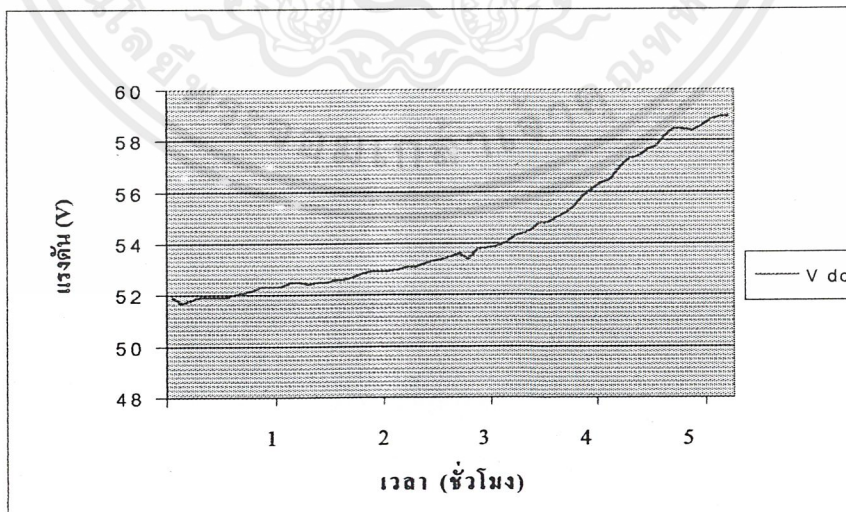
ขั้นตอนการทดลอง

1. บันทึกค่าแรงดันเริ่มต้นก่อนทำการอัดประจุแบตเตอรี่
2. ทำการต่อแบตเตอรี่อนุกรม 4 ลูก จำนวน 12 ชุค สำหรับทำการอัดประจุแบตเตอรี่
3. เปิดเครื่องประจุแบตเตอรี่เพื่อทำการประจุไฟ
4. บันทึกผลแรงดัน และกระแสทุกๆ 5 นาที จนกระทั่ง เครื่องประจุแบตเตอรี่หยุดการทำงาน
5. ค่าที่ได้มาวาดกราฟ กระแส , แรงดัน และ กำลัง แล้ววิเคราะห์ผล

ผลการทดลอง แรงดันเริ่มต้นของแบตเตอรี่ ก่อนทำการอัดประจุ คือ 570 V

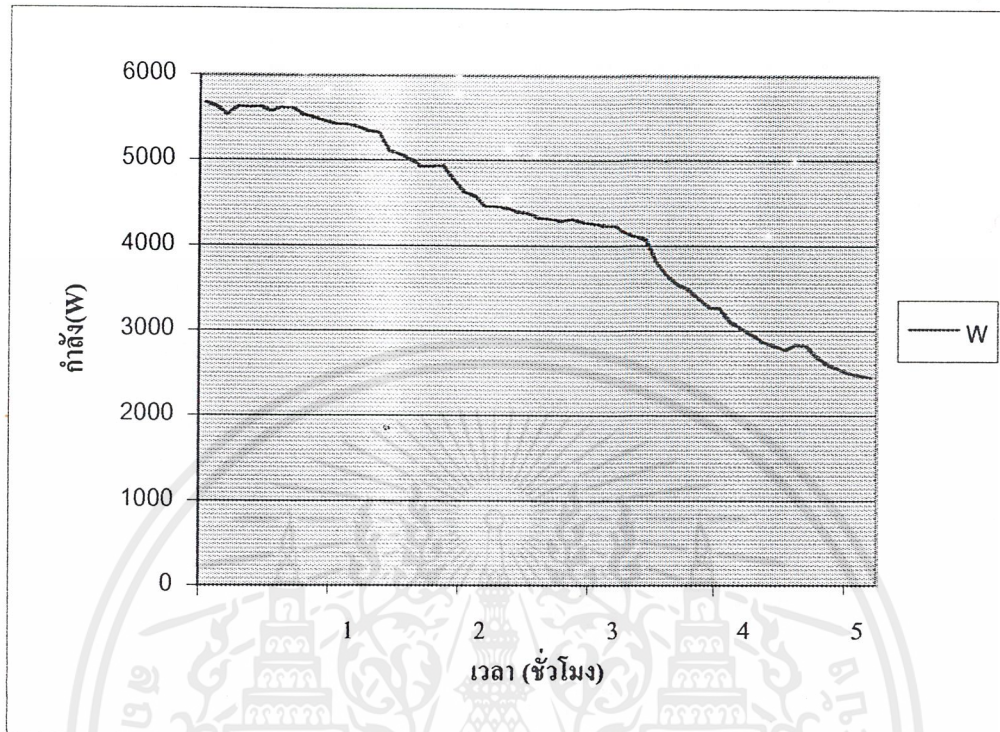


รูปที่ 4.8 ค่ากระแสในการประจุแบตเตอรี่



รูปที่ 4.9 แรงดันที่ใช้ในการประจุแบตเตอรี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10 พลังงานที่ใช้ในการประจุแบตเตอรี่

วิเคราะห์ผลการทดลอง

ในการทดลองการอัดประจุแบตเตอรี่ด้วยเครื่องอัดประจุ NUBOS ซึ่งเป็นการอัดประจุแบบเปลี่ยนระดับกระแส เมื่อวิเคราะห์กราฟจากรูปที่ 4.8 พบว่ากระแสอัดประจุในช่วงแรกจะสูง และค่อยๆ ลดลง หลังจากเวลาผ่านไป โดยเฉพาะเมื่อใกล้อัดประจุให้กับแบตเตอรี่จนเต็มกระแสอัดประจุจะลดลงอย่างรวดเร็วซึ่งมีผลกับค่าพลังงานที่อัดประจุให้กับแบตเตอรี่มากตามรูปที่ 4.10 แต่แรงดันอัดประจุจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นเมื่อแบตเตอรี่อัดประจุมากขึ้น ดังรูปที่ 4.9 แต่มีผลกับกำลังงานที่อัดประจุให้แบตเตอรี่ไม่มากนัก โดยระดับแรงดันสุดท้าย และกระแสสูงสุดในการประจุ ไม่เกินจากที่ออกแบบไว้ตามหัวข้อที่ 3.2 และจากการทดลองเมื่อต่อแบตเตอรี่อนุกรมดั้งเดิมแรงดันหลังการอัดประจุเท่ากับ 613 V

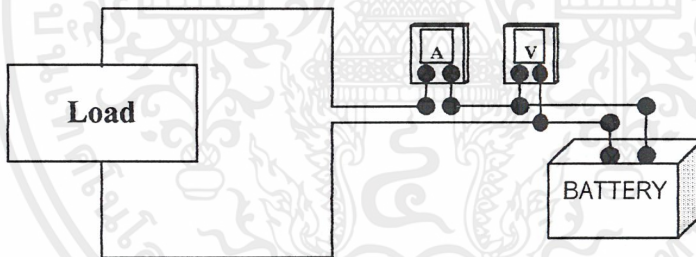
การทดลองที่ 4 การทดสอบและบันทึกผลของการคายประจุของแบตเตอรี่ 12V 65 Ah จำนวน 2 ลูก ต่อขนานกันที่ใช้ ในระบบควบคุมของรถไฟฟ้า และ อุปกรณ์ไฟฟ้าภายในรถไฟฟ้า

ตอนที่ 1

จุดประสงค์ เก็บค่าพลังงานไฟฟ้าที่ต้องจ่ายให้กับภาระต่างๆ เพื่อเป็นข้อมูลในการวิเคราะห์การใช้พลังงานของแต่ละภาระ

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. แบตเตอรี่ขนาด 12 V 65Ah 2 ลูก ต่อขนาน
2. ภาระโหลดต่างๆภายในรถไฟฟ้า ขนาด 12 V 240 W
3. โวลต์มิเตอร์ (FLUKE 87III)
4. แอมมิเตอร์ (FLUKE 41B)
5. current probe (FLUKE 80I – 110S)



รูปที่ 4.11 การต่อวงจรสำหรับหาค่าพลังในแต่ละภาระ

ขั้นตอนการทดลอง

1. วัดค่าแรงดันของแบตเตอรี่ขณะไม่ต่อกับภาระใดๆ
2. เปิดไฟหน้ารถไฟฟ้า เป็นเวลา 5 นาที
3. บันทึกค่ากระแส, แรงดัน และกำลังที่จ่ายให้กับภาระ
4. ทำการเปิดไฟเลี้ยงอินเวอร์เตอร์, ไฟเบรก, ไฟสูง, แตร และ ไฟเลี้ยว แล้วดำเนินการดั่งข้อ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลอง

ตารางที่ 4.2 แสดงการใช้พลังงานภาระต่างๆของรถไฟฟ้า

ลำดับ	ชนิดอุปกรณ์	แรงดัน (Vdc)	กระแส (Idc)	กำลัง (W)
1.	ไฟเลี้ยงอินเวอร์เตอร์	12.457	0.038664	0.4
2.	ไฟเบรก	11.90436	1.617148	19.2
3.	ไฟหน้า	12.01059	8.224498	98.705
4.	ไฟสูง	11.98203	19.68641	235.811
5.	แดร	11.95984	0.434019	5.1
6.	ไฟเลี้ยว	12.14285	0.971877	11.7

ตอนที่ 2

จุดประสงค์ เพื่อทดสอบว่าแบตเตอรี่ที่ทำการออกแบบไว้ใช้ในระบบนี้สามารถทำงานได้จริงตามที่ออกแบบไว้หรือไม่ รวมทั้งศึกษาข้อมูลของการคายประจุแบตเตอรี่ ว่าเป็นไปตามข้อมูลของการคายประจุหรือไม่

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. แบตเตอรี่ขนาด 12 V 65Ah 2 ลูก ต่อขนาน
2. ภาระโหลดต่างๆภายในรถไฟฟ้า ขนาด 12 V 240 W
3. โวลต์มิเตอร์ (FLUKE 87III)
4. แอมมิเตอร์ (FLUKE 41B)
5. current probe (FLUKE 80I – 110S)

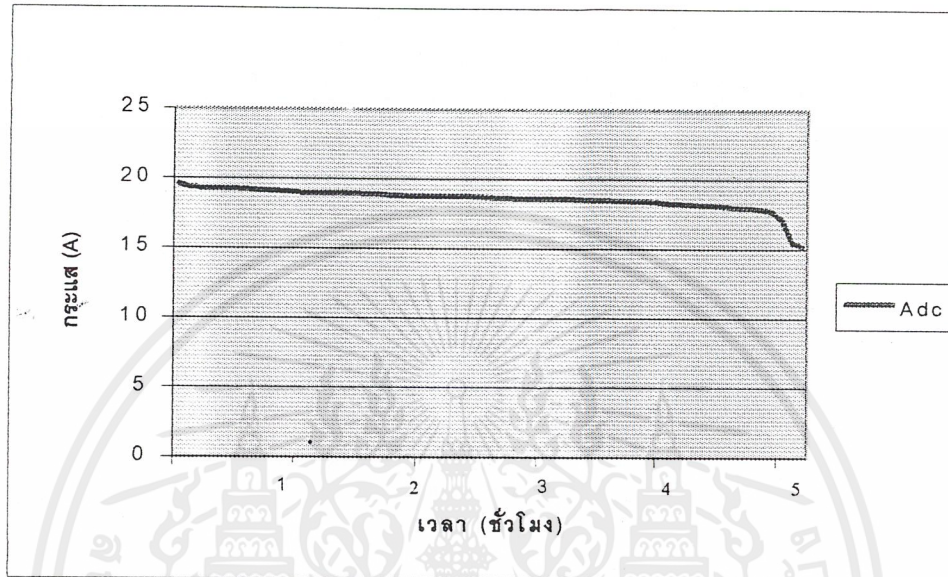
วิธีการทดลอง

1. วัดค่าแรงดันเริ่มต้นของแบตเตอรี่ระบบพลังงานแสงอาทิตย์ ที่จ่ายให้กับภาระต่างๆ
2. ทำการเปิดไฟหน้าและไฟสูงของรถไฟฟ้า ขนาด 240 W
3. บันทึกค่าแรงดัน (V_{dc}) และกระแส (I_{dc}) ที่แบตเตอรี่จ่ายให้กับภาระทุกๆ 5 นาที จนแบตเตอรี่ มีค่าระดับแรงดันสุดท้ายที่ระบุไว้ (End of cell)
4. ค่าที่ได้มาวาดกราฟ กระแส , แรงดัน และ กำลัง แล้ววิเคราะห์ผล

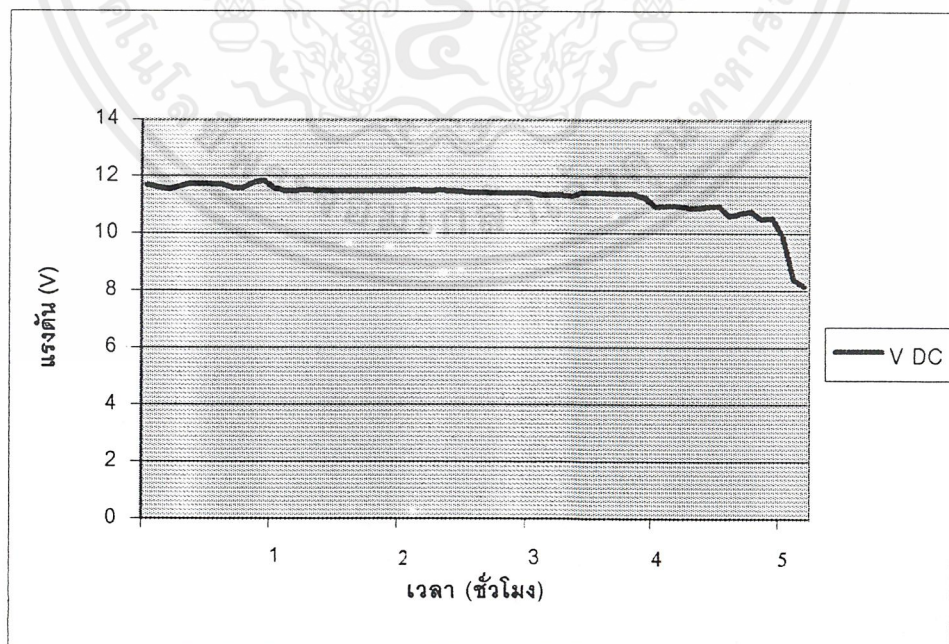
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลอง

- แรงดันเริ่มต้นของแบตเตอรี่ มีค่าเท่ากับ 12.54 V
- แรงดันของแบตเตอรี่หลังจากคายประจุมีค่าเท่ากับ 11.42 V

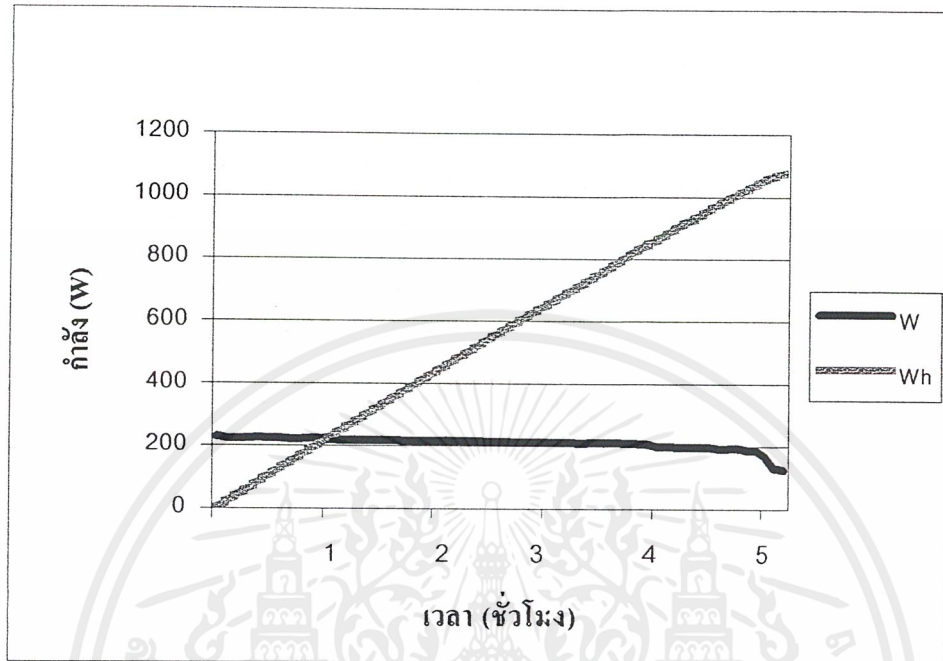


รูปที่ 4.12 ค่าของกระแสในการคายประจุแบตเตอรี่ให้กับภาระ 240 W



รูปที่ 4.13 ค่าของแรงดันในการคายประจุแบตเตอรี่ให้กับภาระ 240 W

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.14 ค่าของพลังงานที่อุปกรณ์ 240 W ใช้ จากแบตเตอรี่

วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากผลการทดลองจะเห็นว่าแบตเตอรี่สามารถจ่ายพลังงานให้กับระบบควบคุมและอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆภายในรถไฟฟ้าได้มากกว่า 5 ชั่วโมง แรงดันของแบตเตอรี่จึงถึงค่าระดับแรงดันสุดท้ายที่สามารถใช้งานได้ (End of cell) ประมาณ 10.8 V ซึ่งในสภาวะการใช้งานจริงๆของรถไฟฟ้าคันนี้ จะใช้เวลาการขับเคลื่อนส่วนใหญ่ในตอนกลางวัน ซึ่งภาวะหลักคือไฟเลี้ยงอินเวอร์เตอร์ ที่ใช้พลังงานไม่มาก จึงสามารถสรุปได้ว่า ปัญหาจากแหล่งจ่ายพลังงานที่จ่ายให้กับระบบไฟฟ้าระบบนี้จะไม่ส่งผลกระทบต่อไฟฟ้า และจากกราฟการคายประจุของแบตเตอรี่ก็มีแนวโน้มที่เป็นไปตามข้อมูลของแบตเตอรี่ในเบื้องต้นด้วย

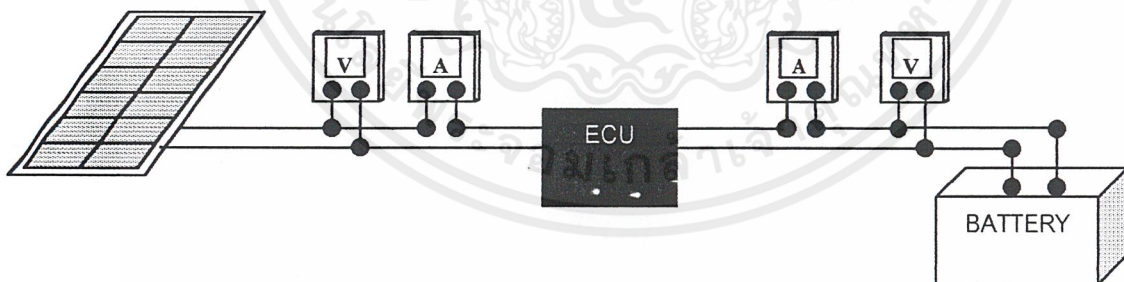
การทดลองที่ 5 การทดสอบการอัดประจุของแบตเตอรี่ขนาด 12 V 65 Ah จำนวน 2 ลูก ด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 12 V 64 W (US – 64) จำนวน 2 แผง

จุดประสงค์การทดลอง

เพื่อทำการเก็บข้อมูล และ วิเคราะห์ผลการอัดประจุด้วยพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อเป็นแหล่งพลังงานระบบไฟฟ้าแสงอาทิตย์ของรถไฟฟ้า

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. แบตเตอรี่ขนาด 12 V 65Ah 2 ลูก ที่ทำการคายประจุจนหมด
2. แผงพลังงานแสงอาทิตย์ ขนาด 12 V 64 W (UNI-SOLAR) จำนวน 2 แผง
3. หน่วยควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ :ECU(BP SOLAR 1230I)
4. โวลต์มิเตอร์ (FLUKE 87III)
5. แอมมิเตอร์ (FLUKE 41B)
6. current probe (FLUKE 80I – 110S)
7. current clamp (FLUKE i410)
8. ไดโอด 15 V 8A 2 ตัว

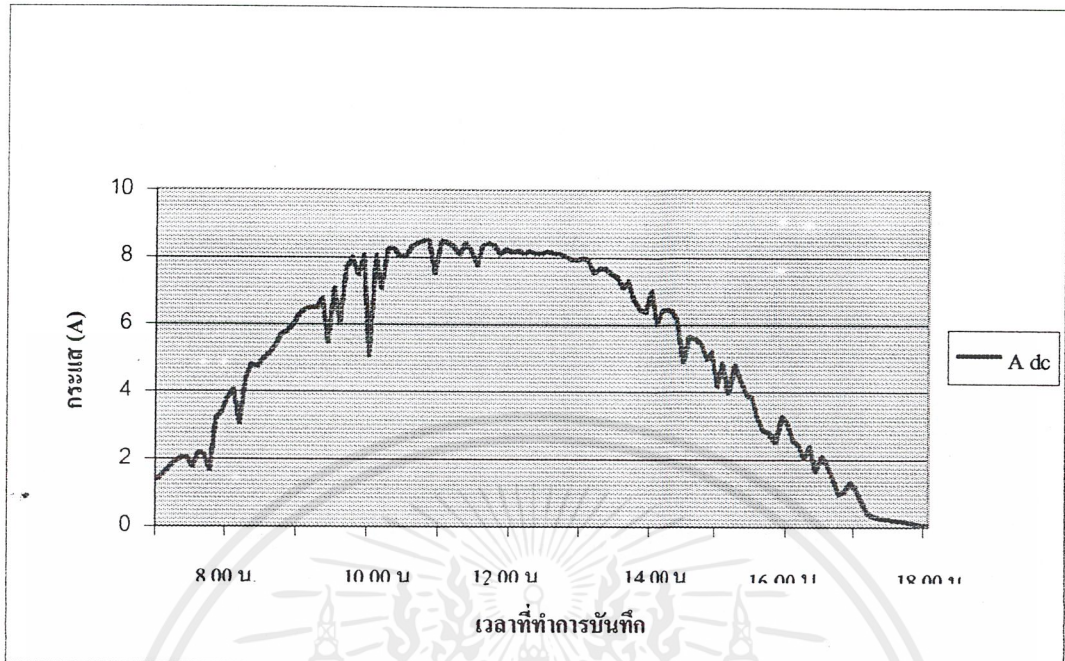


รูปที่ 4.15 ไดอะแกรมการต่ออุปกรณ์เพื่อทดลองเก็บค่าพลังงานแสงอาทิตย์

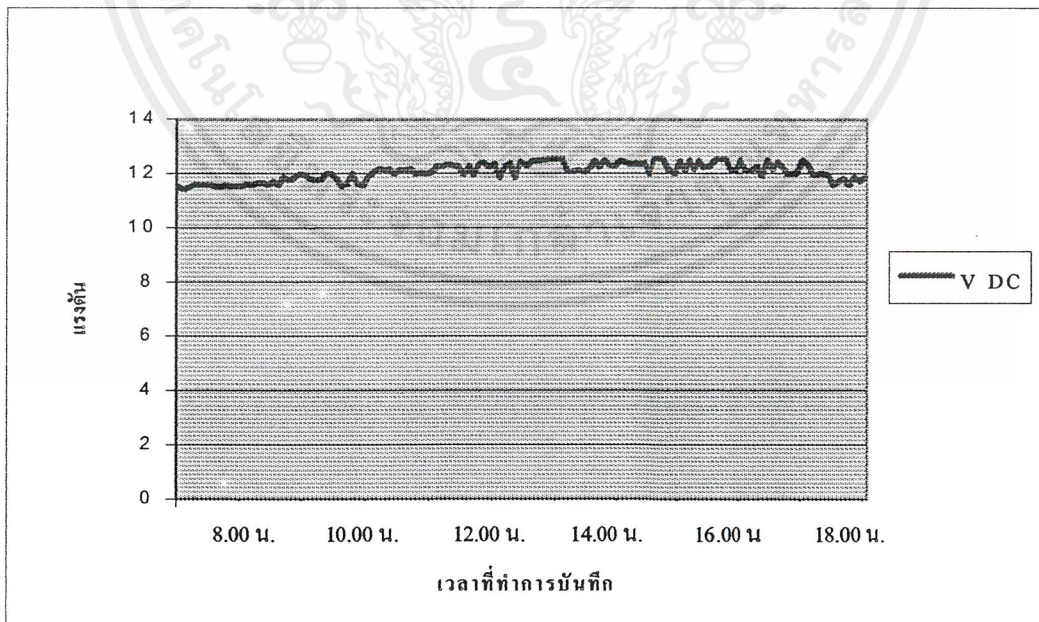
วิธีการทดลอง

1. ต่อดังตามรูปที่ 4.15
2. ทำการบันทึกผล ค่าแรงดัน และกระแส ที่เซลล์แสงอาทิตย์จ่ายให้กับ ECU และ ECU จ่ายให้กับแบตเตอรี่ ทุกๆ 5 นาที
3. ค่าที่ได้มาวาดกราฟ กระแส , แรงดัน และ กำลัง แล้ววิเคราะห์ผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

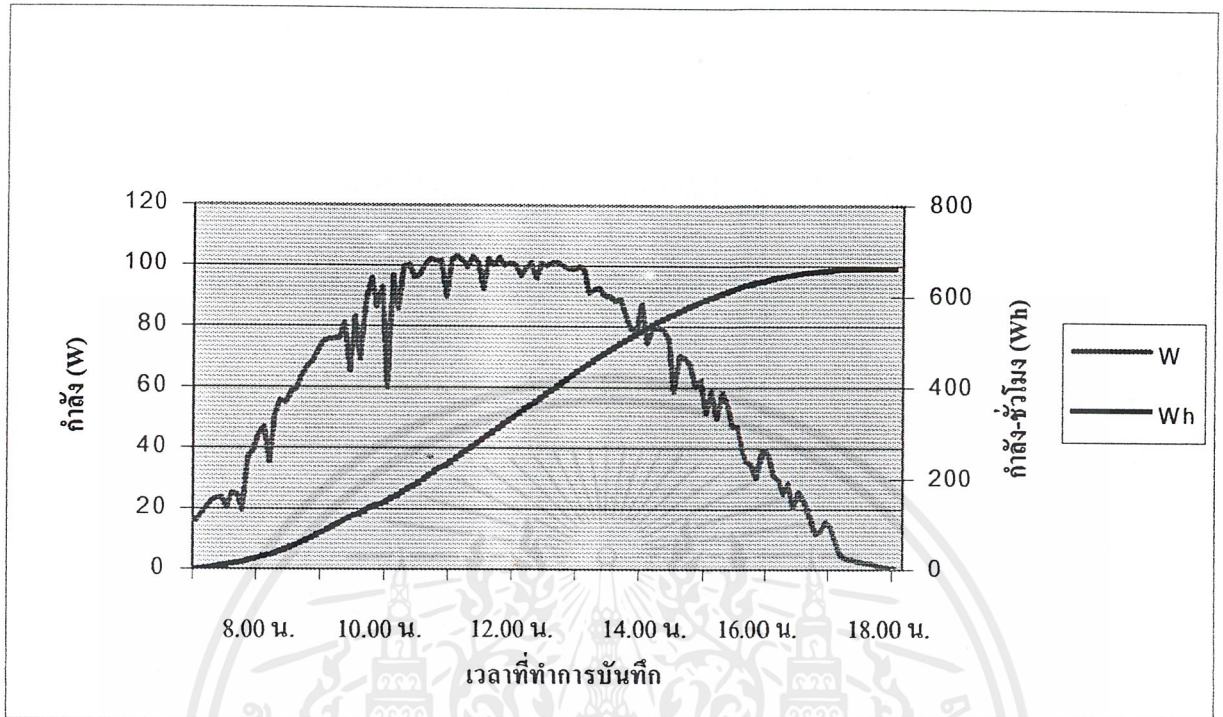


รูปที่ 4.16 ค่าของกระแสในการอัดประจุแบตเตอรี่ จากเซลล์แสงอาทิตย์ US – 64 จำนวน 2 แผง



รูปที่ 4.17 ค่าของแรงดันในการอัดประจุแบตเตอรี่ จากเซลล์แสงอาทิตย์ US – 64 จำนวน 2 แผง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.18 พลังงานที่ได้ จากเซลล์แสงอาทิตย์ US – 64 จำนวน 2 แผง

- โดยมีค่าแรงดันของแบตเตอรี่ก่อนทำการอัดประจุ เท่ากับ 11.24 V
- แรงดันของแบตเตอรี่หลังทำการอัดประจุ เท่ากับ 12.41 V

วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากผลการทดลองดังที่แสดงไว้ในข้างต้นหลังจากที่ได้ทดลองการอัดประจุแบตเตอรี่ทั้งวันพบว่าแผงพลังงานแสงอาทิตย์อัดประจุด้วยอัตรา C-rate <math>< 0.1</math> ดังนั้นจะเป็นการอัดประจุแบบ flote charge คือเป็นการอัดประจุแบบอ่อน ซึ่งมีข้อดีสำหรับแบตเตอรี่ที่ใช้อยู่ในระบบ standby use แต่ในทุกๆ 3 เดือนจะต้องทำการอัดประจุอย่างแรงสักครั้งหนึ่งเพื่อเป็นการกระตุ้นแบตเตอรี่ และเมื่อเทียบแรงดันของแบตเตอรี่ก่อนทำการอัดประจุและหลังทำการอัดประจุพบว่า สามารถอัดประจุให้แบตเตอรี่ได้ และในการใช้รถไฟฟ้านั้นเนื่องจากใช้งานตอนกลางคืนน้อย จึงทำให้การคายประจุของแบตเตอรี่มีไม่มาก ดังนั้นในเวลากลางวันจึงสามารถทำการอัดประจุด้วยแผงพลังงานแสงอาทิตย์ได้เรื่อยๆ จึงไม่มีอุปสรรคในการใช้แบตเตอรี่ในระบบควบคุมและอุปกรณ์ไฟฟ้าภายในรถไฟฟ้าคันนี้ สำหรับผลของพลังงานแสงเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อาทิตย์นั้น จะแปรผันโดยตรงกับความเข้มของแสงอาทิตย์ ดังผลการทดลองจะเห็นได้ว่า ในระหว่าง 11.00 – 14.00 แสงพลังงานแสงอาทิตย์จะให้พลังงานมาก แต่เนื่องจากบางเวลาอาจมีการบดบังของก้อนเมฆ ทำให้ความเข้มของแสงอาทิตย์ลดลง สำหรับลักษณะ การติดตั้ง แผงพลังงานแสงอาทิตย์ จะให้พลังงานมากที่สุดในที่โล่งแจ้ง และสำหรับในประเทศไทยซึ่งอยู่เหนือเส้นศูนย์สูตรจะวางไว้ทำมุม 15 องศากับแนวระดับและหันไปทางทิศใต้ แต่ในการใช้แผงพลังงานแสงอาทิตย์ในโครงการนี้นั้น เนื่องจากรถไฟต้องเคลื่อนที่ตลอดเวลาในการขับเคลื่อน และนำไปคิดบนหลังการรถ ซึ่งเป็นแนวราบ ดังนั้นจึงทดลองโดยวางไว้ในแนวราบ ซึ่งให้ผลการอัดประจุได้ดีเช่นกัน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

5.1 สรุปผลการทดลอง

การทดลองในโครงการนี้เป็นการทดลองเพื่อจัดเก็บพลังงานของรถไฟฟ้า แล้วทำการวิเคราะห์ผลของการทดสอบว่าเป็นไปตามวัตถุประสงค์หรือไม่ ชิ้นงานที่ใช้การออกแบบของโครงการนี้คือรถไฟฟ้าต้นแบบสำหรับการขนส่งภายในสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง โดยได้สรุปผลการทดลองเป็นข้อๆตามที่ได้ออกแบบไว้ในแต่ละระบบดังนี้

5.1.1. การสรุปผลการทดลองของระบบพลังงานหลักที่ใช้ในการขับเคลื่อนของรถไฟฟ้า

จากผลการทดสอบว่ารถไฟฟ้าที่มีระบบการขับเคลื่อนโดยใช้มอเตอร์เหนี่ยวนำขนาด 30 แรงม้า ต้องการแรงดันกระแสตรง 540 โวลต์ โดยใช้แบตเตอรี่ขนาด 12 V 65 Ah ต่ออนุกรมกัน 48 ลูก ใช้อินเวอร์เตอร์ในการควบคุมการขับเคลื่อนและเป็นรถไฟฟ้าที่ใช้ทดลองเป็นต้นแบบสำหรับรับส่งผู้โดยสาร โดยรถไฟฟ้าคันนี้ต้องทำการขับเคลื่อนได้เป็นเวลา 1.5 ชั่วโมง ซึ่งจากการทดสอบนั้นพบว่ามอเตอร์สามารถทนกระแสได้ 41 A แต่จากปัญหาในเรื่องโครงรถ ทำให้จำกัดน้ำหนักบรรทุกของผู้โดยสารไว้ที่ 700 กิโลกรัมซึ่งมีการกินกระแสของมอเตอร์ประมาณ 10 A โดยแบตเตอรี่สามารถจ่ายพลังงานได้มากกว่า 1.5 ชั่วโมง คือประมาณ 5 ชั่วโมง ดังนั้นจึงสรุปผลการทดลองได้ว่าระบบพลังงานหลักที่ใช้ในการขับเคลื่อนรถไฟฟ้าคันนี้สามารถทำงานบรรลุจุดประสงค์ของโครงการนี้ ดังที่แสดงไว้ในหัวข้อที่ 4.2

5.1.2. การสรุปผลการทดลองของระบบการอัดประจุของระบบพลังงานหลักที่ใช้ในการขับเคลื่อนรถไฟฟ้า

จากผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลองเกี่ยวกับการอัดประจุแบตเตอรี่ในระบบพลังงานหลักนั้นทำให้ทราบว่า เป็นการอัดประจุแบบเปลี่ยนระดับกระแส ซึ่งสามารถทำการอัดประจุแบตเตอรี่ในระบบขับเคลื่อนรถไฟฟ้าได้แม้ว่าจะมีการใช้แบตเตอรี่เป็นจำนวนมากก็ตาม จึงสรุปได้ว่าระบบการอัดประจุของระบบพลังงานหลักที่ใช้ในการขับเคลื่อนรถไฟฟ้าสามารถวิเคราะห์พฤติกรรมของประเภทการอัดประจุได้ตามวัตถุประสงค์ของโครงการนี้ดังผลที่แสดงไว้ในหัวข้อที่ 4.3

5.1.3. การสรุปผลการทดลองของระบบพลังงานแสงอาทิตย์

ในระบบพลังงานแสงอาทิตย์นี้ เป็นการนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ในการอัดประจุของแบตเตอรี่ที่ใช้ในระบบควบคุมและอุปกรณ์ไฟฟ้าภายในรถ ซึ่งภาระโหลดส่วนใหญ่คือไฟหน้ารถ แต่เนื่องจากว่ารถไฟฟ้าคันนี้ใช้งานในตอนกลางวันจึงมีภาระโหลดไม่มาก ทั้งยังมีระบบพลังงานแสงอาทิตย์มาเป็นแหล่งพลังงานด้วย ดังนั้นจึงไม่มีอุปสรรคในการที่จะจ่ายพลังงานให้กับรถไฟฟ้าคันนี้ ซึ่งสามารถสรุปผลการทดลองในด้านพลังงานของระบบควบคุมและอุปกรณ์ไฟฟ้าภายในรถไฟฟ้าได้ว่าเป็นไปตามวัตถุประสงค์ของการทดลองนี้ตามผลที่แสดงไว้ในหัวข้อที่ 4.4 และ 4.5

จากการสรุปผลการทดลองในข้อต่างๆที่ผ่านมาจะเห็นได้ว่าการทดลองในข้อต่างๆเป็นไปตามวัตถุประสงค์ของโครงการนี้ แต่ในการดำเนินงานย่อมมีปัญหาต่างๆเกิดขึ้น ซึ่งจะทำให้การอธิบายได้ดังนี้

5.2 ปัญหาในการดำเนินงานและแนวทางการแก้ไข

สามารถแยกเป็นปัญหาและอุปสรรคของระบบต่างๆได้ ดังนี้

5.2.1. ปัญหาและแนวทางการแก้ไขในการดำเนินงานของระบบพลังงานในการขับเคลื่อนรถไฟฟ้า

เนื่องจากรถไฟฟ้าคันนี้เป็นรถไฟฟ้าที่ใช้ในการทดลองคันแบบ จึงมีการใช้แบตเตอรี่เป็นจำนวนมาก ทำให้มีน้ำหนักที่รถไฟฟ้าถูกบรรทุกมีค่ามากด้วยทำให้มีการบรรทุกผู้โดยสารลดลง ซึ่งมีแนวทางการแก้ไขได้โดยใช้ dc – dc converter มาใช้ในการแปลงค่าแรงดันของแบตเตอรี่ให้สูงขึ้น ทำให้ลดจำนวนแบตเตอรี่ได้ แต่จะต้องออกแบบเพื่อสำหรับค่าการสูญเสียของอุปกรณ์ชนิดนี้ ด้วย นอกจากนี้ เนื่องจากรถไฟฟ้าคันนี้ใช้แบตเตอรี่เป็นจำนวนมาก และมีค่าแรงดันสูงจึงต้องระมัดระวังในการขับเคลื่อนไม่ให้เกิดการกระแทกอย่างแรง ซึ่งอาจทำให้ขั้วแบตเตอรี่หลุดได้และอาจเกิดการลัดวงจรระหว่างขั้วแบตเตอรี่ ดังนั้นรถไฟฟ้าคันนี้สมควรที่จะใช้งานในพื้นที่ถนนที่เรียบ และอาจจะใช้อุปกรณ์ dc – dc converter มาช่วยลดปัญหาได้เช่นกัน

5.2.2. ปัญหาและแนวทางการแก้ไขในการดำเนินงานของระบบการอัดประจุของระบบพลังงานหลักที่ใช้ในการขับเคลื่อนรถไฟฟ้า

ในการอัดประจุแบตเตอรี่ของรถไฟฟ้าคันนี้ ต้องเปลี่ยนจากการต่ออนุกรมแบตเตอรี่ 48 ลูก มาเป็นการต่ออนุกรม 4 ลูก แล้วขนานกัน 12 ชุด ซึ่งทำให้เสียเวลาในการทำการเปลี่ยนวงจรมากรวมทั้งยังต้องใช้ความระมัดระวังในการต่อวงจรซึ่งปัญหาที่เกิดขึ้นนี้อาจแก้ไขได้โดยออกแบบระบบการอัดประจุแบตเตอรี่ใหม่ โดยให้มีการตัดต่อจากการอนุกรมกัน 48 ลูกให้น้อยที่สุดเพื่อความสะดวกในการอัดประจุแบตเตอรี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.3. ปัญหาและแนวทางการแก้ไขในการดำเนินงานของระบบพลังงานแสงอาทิตย์

ในระบบพลังงานแสงอาทิตย์นี้ มีปัญหาในการที่จะใช้รถไฟฟ้าคันนี้ในเวลากลางคืน คือถ้าใช้เป็นเวลามากกว่า 5 ชั่วโมงทำให้แบตเตอรี่ที่ใช้ในการเปิดไฟหน้ารถถึงระดับ end of cell ซึ่งอาจทำให้แบตเตอรี่มีปัญหาได้และการที่จะได้พลังงานสูงสุดของแผงพลังงานแสงอาทิตย์ในการใช้งานที่ประเทศไทยต้องทำการวางแผงเซลล์แสงอาทิตย์ให้ตามทิศทาง การโคจรของดวงอาทิตย์ และทำมุม 15 องศา กับพื้นโลกหันไปทางทิศใต้ แต่ในการติดตั้งบนรถไฟฟ้าไม่สามารถบังคับทิศทางติดตั้งได้ แต่จากผลการทดลองจะเห็นว่าไม่ส่งผลกระทบต่อมากนักต่อการใช้งาน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] พิระพัฒน์ มงคลดิษฐ์ และคณะ. “รศรางไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ : ระบบรักษากำลังไฟฟ้าสูงสุด.” ปรินุญยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2543.
- [2] อนุชา วิมลจิตต์ และคณะ. “ระบบประจุไฟฟ้าแบตเตอรี่แบบสวิตซ์โหมด.” ปรินุญยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้ากำลัง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร. 2541
- [3] พิรุพท์ ช่วยเต็ม และคณะ. “เครื่องประจุแบตเตอรี่”. ปรินุญยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2543.
- [4] พรพิมล รัตนวิเชียร. “เครื่องผลิตก๊าซไฮโดรเจนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์.” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2543.
- [5] สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว. เทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์. สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2526.
- [6] CLIVE D. S. TUCK. **MODERN BATTERY TECHNOLOGY**. Alcan International Ltd. 1991.
- [7] ศูนย์วิจัยอิเล็กทรอนิกส์. “เทคโนโลยีการสร้างและการใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์.”



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ.4.2 การทดสอบเพื่อวิเคราะห์ผลของการจ่ายพลังงานจากแบตเตอรี่ที่ต่ออนุกรมกัน 48 ลูก ให้กับระบบพลังงานหลักของรถไฟฟ้า โดยวัดค่าแรงดัน (Vdc) และกระแส (Idc) ที่จ่ายให้กับอินเวอร์เตอร์ ทำการบันทึกค่าทุกๆ 5 นาที

ครั้งที่	แรงดัน(V)	กระแส(A)	กำลัง(W)
1	593	8.4	4981.2
2	593	9.6	5692.8
3	592	8.3	4913.6
4	592	8.7	5150.4
5	592	9.4	5564.8
6	592	8.6	5091.2
7	591	8.2	4846.2
8	590	9.2	5428
9	590	8.6	5074
10	590	8.4	4956
11	590	9.3	5487
12	588	9.4	5527.2
13	587	8.6	5048.2
14	587	8.4	4930.8
15	586	8.5	4981
16	586	9.2	5391.2
17	585	9.1	5323.5
18	584	8.6	5022.4
19	584	9.5	5548
20	583	8.4	4897.2
21	583	8.4	4897.2
22	583	9.4	5480.2
23	581	8.6	4996.6
24	581	8.2	4764.2
25	580	8.3	4814

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ครั้งที่	แรงดัน(V)	กระแส(A)	กำลัง(W)
26	579	8.7	5037.3
27	578	8.8	5086.4
28	577	8.8	5077.6
29	575	8.4	4830
30	575	9.1	5232.5
31	574	9.1	5223.4
32	571	9	5139
33	570	9	5130
34	570	8.7	4959
35	568	8.5	4828
36	566	8.6	4867.6
37	564	9.3	5245.2
38	562	9.4	5282.8
39	563	8.7	4898.1
40	562	9.1	5114.2
41	560	9	5040
42	558	9	5022
43	556	8.5	4726
44	554	8.6	4764.4
45	552	9.4	5188.8
46	550	9.4	5170
47	547	9.4	5141.8
48	545	9.2	5014
49	543	9.3	5049.9
50	540	9.3	5022
51	538	9.6	5164.8
52	536	9.2	4931.2
53	533	9.1	4850.3
54	532	9.3	4947.6
55	530	9.4	4982

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ.4.3 การทดสอบเพื่อวิเคราะห์ผลของอัตราการประจุ แบตเตอรี่ขนาด 12 V 65Ah จำนวน 48 ลูก ด้วยเครื่องอัดประจุ NUBOS โดยวัดค่าแรงดัน (Vdc) และกระแส (Idc) ที่เครื่องประจุ แบตเตอรี่จ่ายให้กับแบตเตอรี่ ทำการบันทึกค่าทุกๆ 5 นาที

ครั้งที่	กระแส (A)	แรงดัน (V)	แรงดัน / ลูก (V)	C-rate	กำลัง (W)
1	109.3	51.9	12.975	0.140128	5672.67
2	108.9	51.7	12.925	0.139615	5630.13
3	106.9	51.8	12.95	0.137051	5537.42
4	108.5	51.9	12.975	0.139103	5631.15
5	108.2	51.9	12.975	0.138718	5615.58
6	108.4	51.9	12.975	0.138974	5625.96
7	107.4	51.9	12.975	0.137692	5574.06
8	108	52	13	0.138462	5616
9	107.6	52.1	13.025	0.137949	5605.96
10	106.1	52.2	13.05	0.136026	5538.42
11	105.2	52.3	13.075	0.134872	5501.96
12	104.4	52.3	13.075	0.133846	5460.12
13	103.7	52.3	13.075	0.132949	5423.51
14	103.2	52.5	13.125	0.132308	5418
15	102.8	52.5	13.125	0.131795	5397
16	102.1	52.4	13.1	0.130897	5350.04
17	101.5	52.5	13.125	0.130128	5328.75
18	97.4	52.5	13.125	0.124872	5113.5
19	96.5	52.6	13.15	0.123718	5075.9
20	95.2	52.6	13.15	0.122051	5007.52
21	93.6	52.7	13.175	0.12	4932.72
22	93.4	52.8	13.2	0.119744	4931.52
23	93.5	52.9	13.225	0.119872	4946.15
24	90.5	52.9	13.225	0.116026	4787.45
25	87.5	52.9	13.225	0.112179	4628.75
26	86.5	53	13.25	0.110897	4584.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ครั้งที่	กระแส (A)	แรงดัน (V)	แรงดัน / ลูก (V)	C-rate	กำลัง (W)
27	84	53.1	13.275	0.107692	4460.4
28	84	53.1	13.275	0.107692	4460.4
29	83.5	53.2	13.3	0.107051	4442.2
30	82.5	53.3	13.325	0.105769	4397.25
31	82	53.4	13.35	0.105128	4378.8
32	81	53.5	13.375	0.103846	4333.5
33	80.5	53.6	13.4	0.103205	4314.8
34	80.4	53.4	13.35	0.103077	4293.36
35	80.3	53.8	13.45	0.102949	4320.14
36	79.5	53.85	13.4625	0.101923	4281.075
37	79	53.9	13.475	0.101282	4258.1
38	78.5	54	13.5	0.100641	4239
39	78	54.3	13.575	0.1	4235.4
40	76.5	54.4	13.6	0.098077	4161.6
41	75.5	54.5	13.625	0.096795	4114.75
42	74.5	54.8	13.7	0.095513	4082.6
43	69.5	54.8	13.7	0.089103	3808.6
44	66.5	55	13.75	0.085256	3657.5
45	64.5	55.2	13.8	0.082692	3560.4
46	63	55.5	13.875	0.080769	3496.5
47	60.5	55.8	13.95	0.077564	3375.9
48	58.5	56.1	14.025	0.075	3281.85
49	58	56.4	14.1	0.074359	3271.2
50	55	56.5	14.125	0.070513	3107.5
51	53	57	14.25	0.067949	3021
52	51.5	57.3	14.325	0.066026	2950.95
53	50	57.4	14.35	0.064103	2870
54	49	57.7	14.425	0.062821	2827.3
55	48	57.8	14.45	0.061538	2774.4
56	48.8	58.2	14.55	0.062564	2840.16
57	48.3	58.5	14.625	0.061923	2825.55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ.4.4 การทดสอบและบันทึกผลของการคายประจุของแบตเตอรี่ 12V 65 Ah จำนวน 2 ลูก ต่อขนาดกัน ให้กับภาระพิกัด 240 W โดยวัดค่าแรงดัน (Vdc) และกระแส (Idc) ที่ แบตเตอรี่จ่ายให้กับภาระ ทำการบันทึกค่าทุกๆ 5 นาที

ครั้งที่	แรงดัน (V)	กระแส (A)	กำลัง (W)	กำลัง-ชั่วโมง (Wh)
1	11.70245	19.53628	228.61	0.254
2	11.61017	19.32269	224.31	19.123
3	11.53534	19.27214	222.31	37.7
4	11.63101	19.24598	223.81	56.377
5	11.7319	19.22985	225.61	75.227
6	11.72693	19.21862	225.31	93.997
7	11.72742	19.19593	225.11	112.755
8	11.71344	19.19057	224.71	131.421
9	11.58575	19.10903	221.309	149.897
10	11.57571	19.10754	221.109	168.414
11	11.7662	19.07804	224.409	187.113
12	11.82379	19.03493	225.009	205.797
13	11.58224	18.968	219.609	224.127
14	11.49268	18.91429	217.31	242.337
15	11.47607	18.92868	217.209	260.41
16	11.52588	18.89465	217.709	278.642
17	11.47372	18.93182	217.209	296.708
18	11.47229	18.93066	217.11	314.825
19	11.50778	18.88377	217.31	332.954
20	11.49835	18.87268	217.009	351.059
21	11.49869	18.8642	216.91	369.153
22	11.47733	18.78393	215.509	387.195
23	11.47693	18.78093	215.509	405.174
24	11.47897	18.75675	215.309	423.136
25	11.47543	18.75972	215.21	441.088
26	11.52112	18.72363	215.709	459.079

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ครั้งที่	แรงดัน (V)	กระแส (A)	กำลัง (W)	กำลัง-ชั่วโมง (Wh)
27	11.49634	18.73328	215.309	476.975
28	11.50552	18.71228	215.21	494.984
29	11.50009	18.70403	215.109	512.924
30	11.48566	18.6959	214.709	530.83
31	11.43863	18.66503	213.509	548.638
32	11.42477	18.65946	213.109	566.353
33	11.42432	18.61805	212.61	584.147
34	11.41116	18.61349	212.408	601.803
35	11.39655	18.59968	211.909	619.539
36	11.39752	18.57742	211.71	637.137
37	11.40115	18.54177	211.31	654.822
38	11.34244	18.57619	210.609	672.389
39	11.33719	18.56717	210.509	689.947
40	11.32861	18.54078	210.01	707.404
41	11.29037	18.53612	209.209	724.855
42	11.42313	18.49016	211.209	742.468
43	11.40436	18.47571	210.709	760.1
44	11.40085	18.45405	210.309	777.578
45	11.37375	18.43662	209.608	795.059
46	11.36411	18.41443	209.209	812.506
47	11.36484	18.37748	208.809	829.981
48	11.24149	18.36352	206.409	847.199
49	10.90155	18.29596	199.408	863.844
50	10.95532	18.23641	199.709	880.513
51	10.95282	18.2171	199.509	897.165
52	10.89673	18.17934	198.009	913.693
53	10.8779	18.13222	197.209	930.095
54	10.92361	18.1149	197.809	946.664
55	10.93671	18.08242	197.708	963.105
56	10.5975	18.00404	190.707	979.032
57	10.70737	17.94102	192.108	995.131

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ.4.5 การทดสอบการอัดประจุของแบตเตอรี่ขนาด 12 V 65 Ah จำนวน 2 ลูก ด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 12 V 64 W (US – 64) จำนวน 2 แผง โดยทำการคายประจุแบตเตอรี่จนหมดก่อนทำการทดลอง แล้ววัดค่าแรงดัน (Vdc) และกระแส (Idc) ที่เซลล์แสงอาทิตย์ทำการอัดประจุให้กับแบตเตอรี่ ทุกๆ 5 นาที

ครั้งที่	เวลา	แรงดัน (V)	กระแส (A)	กำลัง (W)	กำลัง-ชั่วโมง (Wh)
1	7:02:21	11.47995	1.390271	15.96024	0.022
2	7:07:20	11.37854	1.586852	18.05606	1.441
3	7:12:21	11.4617	1.743466	19.98308	3.019
4	7:17:21	11.55682	1.933101	22.3405	4.788
5	7:22:21	11.55161	2.026105	23.40477	6.667
6	7:27:20	11.5473	2.048074	23.64972	8.583
7	7:32:20	11.5228	1.761659	20.29924	10.27
8	7:37:21	11.48828	2.188408	25.14104	12.308
9	7:42:21	11.48209	2.12388	24.38658	14.31
10	7:47:21	11.547	1.685234	19.4594	15.943
11	7:52:21	11.49896	3.203296	36.83457	18.894
12	7:57:21	11.49634	3.414999	39.25999	22.041
13	8:02:21	11.49002	3.860878	44.36157	25.605
14	8:07:20	11.56393	4.068517	47.04805	29.404
15	8:12:21	11.53683	3.068215	35.39747	31.054
16	8:17:21	11.61826	4.359256	50.64697	35.141
17	8:22:21	11.62375	4.805147	55.85383	39.657
18	8:27:20	11.53464	4.74969	54.78596	44.11
19	8:32:20	11.69305	4.981767	58.25205	48.835
20	8:37:21	11.54709	5.141425	59.3685	53.677
21	8:42:21	11.84329	5.382585	63.74752	58.859
22	8:47:20	11.71411	5.702733	66.80244	64.319
23	8:52:20	11.83328	5.795979	68.58544	69.915
24	8:57:21	11.95868	5.997287	71.71964	75.765
25	9:02:20	11.91647	6.277823	74.80949	81.894

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ครั้งที่	เวลา	แรงดัน (V)	กระแส (A)	กำลัง (W)	กำลัง-ชั่วโมง (Wh)
26	9:07:21	11.7641	6.438231	75.73999	88.081
27	9:12:20	11.711	6.484746	75.94286	94.317
28	9:17:21	11.73843	6.479739	76.06196	100.543
29	9:22:20	11.95242	6.790768	81.16611	107.199
30	9:27:20	11.98294	5.456197	65.38128	112.601
31	9:32:21	11.77005	7.07184	83.23591	119.424
32	9:37:20	11.49344	6.025841	69.25764	121.668
33	9:42:21	11.60144	7.675362	89.04525	128.968
34	9:47:20	11.98734	7.99489	95.83746	136.837
35	9:52:20	11.58694	7.465872	86.50661	140.474
36	9:57:21	11.51309	8.056841	92.75914	143.337
37	10:02:20	11.85443	5.065824	60.05246	148.238
38	10:07:21	12.02286	8.04671	96.74447	156.181
39	10:12:20	12.14819	7.065814	85.83685	161.51
40	10:17:20	12.0885	8.247411	99.69883	169.725
41	10:22:21	12.13467	8.256351	100.1881	177.957
42	10:27:20	11.96155	8.025694	95.99974	182.634
43	10:32:21	12.11301	8.012199	97.05185	190.619
44	10:37:20	12.08783	8.319984	100.5706	198.924
45	10:42:20	12.15543	8.409047	102.2156	207.356
46	10:47:21	11.95251	8.489488	101.4707	215.711
47	10:52:20	11.9935	8.479416	101.6979	224.117
48	10:57:21	11.95129	7.525689	89.94169	227.605
49	11:02:20	12.0235	8.492064	102.1043	236.056
50	11:07:21	12.23383	8.438074	103.23	244.584
51	11:12:21	12.21994	8.331143	101.8061	252.984
52	11:17:20	12.30515	8.083784	99.47217	261.224
53	11:22:21	12.27768	8.402788	103.1667	269.734
54	11:27:20	12.26508	8.22016	100.8209	278.094
55	11:32:21	11.92673	7.74399	92.36048	285.724
56	11:37:21	12.26495	8.344482	102.3447	294.193
57	11:42:20	11.90887	8.400928	100.0456	302.493

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานี้เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ครั้งที่	เวลา	แรงดัน (V)	กระแส (A)	กำลัง (W)	กำลัง-ชั่วโมง (Wh)
58	11:47:21	12.31094	8.345795	102.7446	310.98
59	11:52:20	12.35916	8.099376	100.1015	319.292
60	11:57:21	12.21326	8.246028	100.7109	327.637
61	12:02:20	12.31989	8.147859	100.3807	335.932
62	12:07:20	11.81235	8.185625	96.69147	343.962
63	12:12:21	12.24435	8.108459	99.28281	352.169
64	12:17:20	12.35074	8.182132	101.0554	360.563
65	12:22:21	11.823	8.110141	95.8862	368.513
66	12:27:21	12.41879	8.113503	100.7599	376.846
67	12:32:20	12.2366	8.161615	99.87042	385.146
68	12:37:21	12.43509	8.124446	101.0282	393.506
69	12:42:20	12.45599	8.1092	101.0081	401.906
70	12:47:21	12.4603	8.036661	100.1392	410.194
71	12:52:21	12.4881	7.94686	99.24118	418.429
72	12:57:20	12.49268	7.909929	98.81621	426.652
73	13:02:21	12.47955	7.989156	99.70107	434.91
74	13:07:20	12.50021	7.932733	99.16083	443.159
75	13:12:21	12.04391	7.562303	91.0797	450.703
76	13:17:20	12.03043	7.674384	92.32614	458.374
77	13:22:20	12.08078	7.659709	92.53526	466.082
78	13:27:21	12.01721	7.507133	90.21479	473.561
79	13:32:20	12.14969	7.420753	90.15985	481.074
80	13:37:21	12.44843	7.100569	88.39094	488.397
81	13:42:20	12.1832	7.303368	88.97839	495.791
82	13:47:20	12.45905	6.731581	83.8691	502.786
83	13:52:21	12.27496	6.461584	79.31569	509.369
84	13:57:20	12.25754	6.391035	78.33837	515.911
85	14:02:21	12.4585	7.012534	87.36565	523.153
86	14:07:20	12.3548	6.02957	74.49413	529.354
87	14:12:20	12.31042	6.42402	79.08238	535.954
88	14:17:21	12.33258	6.456851	79.62963	542.563

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ครั้งที่	เวลา	แรงดัน (V)	กระแส (A)	กำลัง (W)	กำลัง-ชั่วโมง (Wh)
89	14:22:20	12.31134	6.404483	78.84777	549.147
90	14:27:21	12.3558	6.14649	75.9448	555.45
91	14:32:20	11.9422	4.909026	58.62457	560.348
92	14:37:20	12.50626	5.635988	70.48513	566.24
93	14:42:21	12.49982	5.573689	69.67011	572.024
94	14:47:20	12.50235	5.412494	67.66889	577.684
95	14:52:21	12.12317	4.979466	60.36691	582.701
96	14:57:20	11.98517	5.196832	62.28491	587.915
97	15:02:20	12.43701	4.163812	51.78537	592.243
98	15:07:21	12.08347	4.857361	58.69378	597.118
99	15:12:20	12.4729	3.99171	49.7882	601.301
100	15:17:21	12.14108	4.80616	58.35197	606.151
101	15:22:20	12.45789	4.32124	53.83353	610.651
102	15:27:21	12.18655	3.886711	47.3656	614.633
103	15:32:21	12.2186	3.8571	47.12836	618.559
104	15:37:20	12.48123	3.204237	39.99282	621.93
105	15:42:21	12.47791	2.878224	35.91422	624.95
106	15:47:20	12.48648	2.792668	34.87059	627.859
107	15:52:20	12.10098	2.517438	30.46347	630.444
108	15:57:21	12.09042	3.269875	39.53416	633.74
109	16:02:20	12.49075	3.035474	37.91535	636.942
110	16:07:21	12.06641	2.572989	31.04674	639.536
111	16:12:21	12.09842	2.429759	29.39624	642.027
112	16:17:20	12.2016	2.038609	24.87429	644.127
113	16:22:21	11.88248	2.387344	28.36757	646.515
114	16:27:20	12.47549	1.651839	20.6075	648.267
115	16:32:21	12.13794	2.097308	25.457	650.414
116	16:37:20	12.3819	1.799734	22.28413	652.297
117	16:42:21	12.25623	1.42332	17.44454	653.782
118	16:47:21	11.97705	0.967781	11.59116	654.779
119	16:52:21	11.96942	1.060149	12.68937	655.867

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Battery Capacity

1 Determining the Discharge Current

When a battery is kept discharge at 5 A until it reaches the cutoff voltage (1.75V/cell) in 20 hours, the process is called 20-hour discharge, and 5A is called the 20-hour discharge current.

2 Size of Discharge Current and Capacity

The larger the discharge current of the battery (the smaller the discharge rate), the smaller its capacity. This is because the larger the discharge current, the more the penetration and dispersion of electrolyte through the plate pores is delayed. (Fig. 5)

The battery capacity is the amount of charge which the battery can provide under constant-current discharge.

Fig. 5 Discharge Rate and Capacity

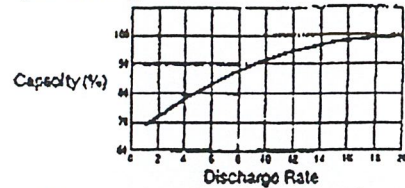
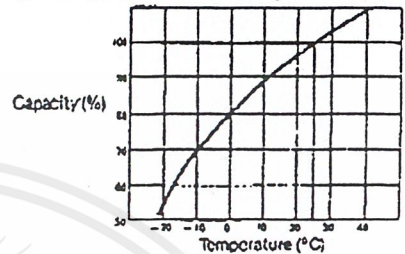


Fig. 6 Temperature of Electrolyte and Capacity (Over 20 Hrs)



3 Electrolyte Temperature and Capacity

Battery capacity varies greatly with electrolyte temperature. (Fig. 6)

4 Discharge Performance

Although previously, Capacity at 20-hour rate was stressed for battery performance, cold cranking average (C.C.A.), reserve capacity (R.A.), and Capacity at 5-hour rate are currently given greater regard. This is because the ability of a battery to crank an engine under severe conditions is now thought of as an important part of basic battery performance.

• Cold Cranking Ampere (C.C.A.)

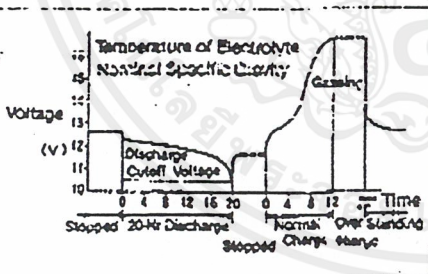
A battery's C.C.A. is the discharge current, expressed in amperes, that is necessary to produce a voltage of 7.2V at the 30th second of discharge at -17.8°C .

• Reserve Capacity (R.C.)

A battery's reserve capacity is the continuous discharge time, in minutes, when the battery is discharged at 25A and 25°C .

Battery Voltage

Fig. 7 Variations in Battery Voltage (Model)



When a discharged battery is charged at a constant current, the voltage first rises gradually, and then rises sharply to the maximum when gases are given off at the cells, and stabilizes at the fully charged voltage. After reaching maximum, the voltage will not rise even with further charging (overcharging).

The voltage at the end of charge depends on the current, the temperature of the electrolyte, and the age of the battery.

When a battery is discharged under a constant current, the voltage will first drop gradually as discharge progresses, and then abruptly fall off.

The ability of a battery to crank an engine is determined by the size of the battery and the battery's discharge time when it is discharged by a high current.

JASO and JIS standards stipulate that a fully charged battery cooled to -15°C must discharge at the currents given in the following table. These currents approximate the currents when an engine is cranked.

1 Voltage Variations during Discharge

2 Voltage Variations during Charge

Fig. 8 Characteristics of Discharge Voltage at -15°C , 150 A

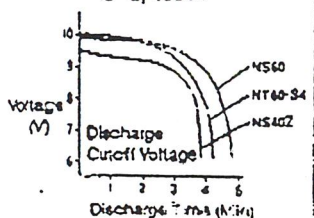


Fig. 9 Fifth-Second Voltage Characteristics for 150A Discharge

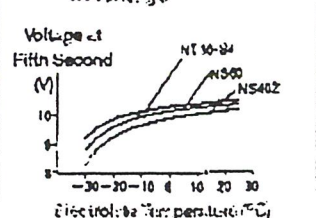


Table 6

Battery Type	Discharge Current (A)
NS0 or Lower, or Equivalent	150
Above NS6 Through N100 or Equivalent	300
N120 or Higher, or Equivalent	500

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

BATTERY TYPE	NOMINAL VOLTAGE (V)	RATED CAPACITY(AH)					MAXIMUM CHARGING CURRENT (A)	CHARGING VOLTAGE		INTERNAL RESISTANCE APPROX. (mΩ)	DIMENSION(mm/inch)				WEIGHT APPROX (kg/lbs)	ENERGY DENSITY (wh/l)	ENERGY DENSITY (wh/kg)	TERMINAL TYPE
		20HR 1.75V/ CELL	10HR 1.75V/ CELL	5HR 1.70V/ CELL	3HR 1.60V/ CELL	1HR 1.60V/ CELL		STANDBY USE (V)	CYCLE USE (V)		LENGTH	WIDTH	HEIGHT	TOTAL HEIGHT				
ES 1.2-6	6	1.2	1.1	1.0	0.9	0.7	0.3	6.75 to 6.9V at 20°C (68°F)	7.2 to 7.5V at 20°C (68°F)	60	97/3.82	25/0.98	50.5/1.99	55/2.13	0.3/0.66	59	24	FASTON 187 SERIES
ES 4-6	6	4	3.7	3.4	3.1	2.4	1.0		20	70/2.76	47/1.85	98/3.86	101/3.98	0.87/1.92	74	28		
ES 6-6	6	6	5.6	5.1	4.6	3.6	1.5		15	151/5.94	34/1.34	94/3.7	97.5/3.84	1.3/2.87	75	28		
ES 10-6	6	10	9.3	8.5	7.7	6.0	2.5		7	151/5.94	50/1.97	94/3.7	97.5/3.84	2.0/4.41	85	30		
ES 12-12	12	1.2	1.1	1.0	0.9	0.7	0.3		120	97/3.82	47.5/1.87	50.5/1.99	55/2.13	0.57/1.26	62	25		
ES 19-12	12	1.9	1.8	1.6	1.5	1.1	0.47		60	178/7.01	34/1.34	60/2.36	64/2.52	0.83/1.83	63	27		
ES 29-12	12	2.9	2.7	2.5	2.2	1.7	0.72		50	79/3.11	55.5/2.19	98.5/3.88	102/4.02	1.1/2.43	81	29		
ES 32-12	12	3.2	3.0	2.7	2.4	1.9	0.8		31	134/5.28	67/2.64	60/2.36	63.5/2.5	1.4/3.08	73	27.6		
ES 41-12	12	4	3.7	3.4	3.1	2.4	1.0		40	90/3.54	70/2.76	102/4.02	105.5/4.15	1.7/3.75	75	28		
ES 42-12	12	4	3.7	3.4	3.1	2.4	1.0		40	195/7.68	47/1.85	70/2.75	74/2.91	1.6/3.53	75	30		
ES 65-12	12	6.5	6.0	5.5	5.0	3.9	1.62		30	151/5.94	65/2.56	94/3.70	97.5/3.84	2.40/5.29	85	31		
ES 7-12	12	7	6.5	6.0	5.4	4.2	1.7	13.5 to 14.4 to 13.8V at 20°C (68°F)	15	151/5.94	65/2.56	94/3.70	97.5/3.84	2.5/5.51	91	32	FASTON 200 SERIES	
ES 12-12	12	12	11.2	10.2	9.2	7.8	3.0		13	181/7.13	76/2.29	167/6.57	167/6.57	6.0/13.23	78	30		
ES 15-12	12	15	14	12.8	11.6	9.0	3.7		11	181/7.13	76/2.99	167/6.57	167/6.57	6.2/13.67	94	35		
ES 18-12	12	18	16.7	15.3	13.4	10.8	4.5		10	166/6.54	175/6.89	125/4.92	125/4.92	8.7/19.2	79	33		
ES 24-12	12	24	22.3	20.4	18.5	14.4	6.0		9	192/7.56	132/5.20	170/6.69	170/6.69	11.5/25.4	84	31		
ES 30-12	12	30	27.9	25.5	23.1	18.0	7.5		8	197/7.76	165/6.50	170/6.69	170/6.69	14.0/30.9	87	34		
ES 40-12	12	40	37.2	34	30.8	24.0	10		5	350/13.78	166/6.54	174/6.85	174/6.85	22.5/49.5	77	35		
ES 65-12	12	65	60.5	55.3	50.1	39.0	16		3.5	443/17.44	167/6.57	204/8.03	228/8.98	40/88.2	80	30		BOLT-NUT
ES 100-12	12	108	100	92	83	65	25		2.7	520/20.47	269/10.59	203/7.99	230/9.06	58/127.9	63	31		
ES 150-12	12	161	150	137	124	97	37		2.4	520/20.47	269/10.59	203/7.99	230/9.06	73.5/162.0	85	33		
ES 200-12	12	215	200	183	166	129	50											

* The specifications in this catalog are subject to change with or without notice.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Table 1. DISCHARGE CAPACITY AT VARIOUS DISCHARGE RATES

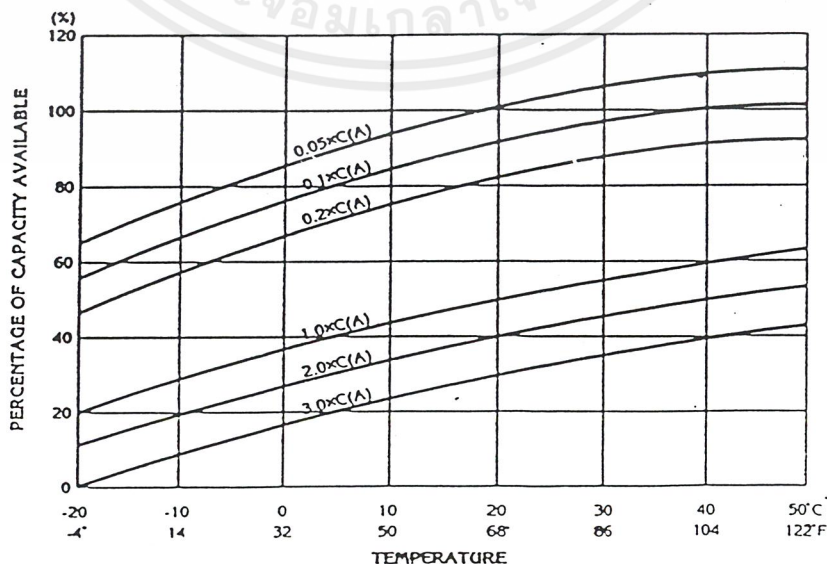
20-Hour Rate Nominal Capacity (AH)	20 HOURS	10 HOURS	5 HOURS	3 HOURS	1 HOURS
	0.05CA to 1.75V/Cell	0.093CA to 1.75V/Cell	0.17CA to 1.70V/Cell	0.25CA to 1.67V/Cell	0.60CA to 1.60V/Cell
1.2	1.2	1.1	1.0	0.9	0.7
1.9	1.9	1.8	1.6	1.5	1.1
2.9	2.9	2.7	2.5	2.2	1.7
3.2	3.2	3.0	2.7	2.4	1.9
4.0	4.0	3.7	3.4	3.1	2.4
6.0	6.0	5.6	5.1	4.6	3.6
6.5	6.5	6.0	5.5	5.0	3.9
7.0	7.0	6.5	6.0	5.4	4.2
10.0	10.0	9.3	8.5	7.7	6.0
12.0	12.0	11.2	10.2	9.2	7.2
15.0	15.0	14.0	12.8	11.6	9.0
18.0	18.0	16.7	15.3	13.4	10.8
24.0	24.0	22.3	20.4	18.5	14.4
30.0	30.0	27.9	25.5	23.1	18.0
40.0	40.0	37.2	34.0	30.8	24.0
65.0	65.0	60.5	55.3	50.1	39.0
100.0	108.0	100.0	92.0	83.0	65.0
150.0	161.0	150.0	137.0	124.0	97.0
200.0	215.0	200.0	183.0	166.0	129.0

In general, lead acid batteries are damaged in terms of capacity and service life if discharged below the recommended cut off voltages. For example, if a lead acid battery were discharged to zero volts, and left standing in either "on" or "off" load conditions for a long period of time, severe sulphation would occur, raising the internal resistance of the battery abnormally high. In such an extreme case, the battery may not accept charge. ES batteries have been designed to withstand some levels of over-discharge. However, whilst this is not the recommended way of operation, ES batteries can recover their capacity when recharged correctly. Final discharge voltage is shown in table 1.

Temperature Characteristics

As the ambient temperature rises, available capacity of a battery increases and as the ambient temperature lowers the capacity decreases. Figure 3 shows the temperature effects in relation to the battery capacity.

Figure 3. TEMPERATURE EFFECTS IN RELATION TO BATTERY CAPACITY

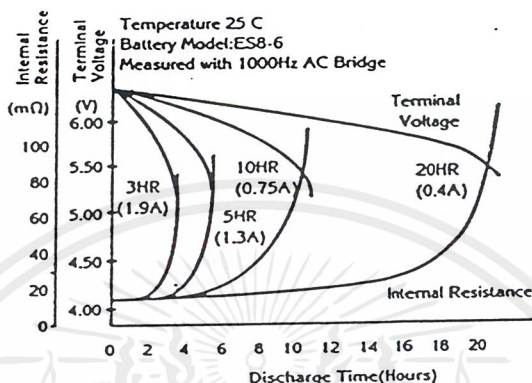


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Internal Resistance Change During Discharge

An ES battery has its internal resistance smallest when it is charged completely. The internal resistance increases slowly as discharge progress, and increases rapidly at the final stage of discharge. It will be observed that the internal resistance decreases slowly when the discharge is terminated as it has reached the final stage. Fig 4 shows the internal resistance of an ES battery measured through a 1000Hz AC bridge.

Figure 4. INTERNAL RESISTANCE

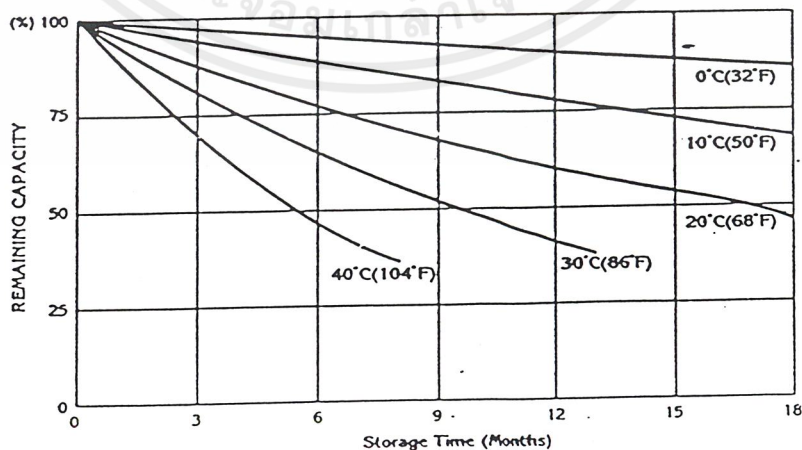


SELF-DISCHARGE, SHELF LIFE AND STORAGE

Self-discharge

The self-discharge rate of ES batteries is approximately 3% per month when batteries are stored at an ambient temperature of 20°C (68°F). The self-discharge rate varies with ambient temperature. Figure 5 shows the relation between the storage time at various temperatures and the remaining capacity.

Figure 5. SELF DISCHARGE CHARACTERISTICS



□ Shelf Life

It is a general phenomenon that, when lead acid batteries of any type are stored in a discharged condition for an extended period of time, lead sulphate is formed on the negative plates, which is referred to as "sulphation". Since the lead sulphate acts as an insulator, it has a direct detrimental effect on charge acceptance. The more advanced the sulphation, the lower the charge acceptance. Table 2 below shows the normal storage time or shelf life at various ambient temperatures.

Table 2. SHELF LIFE AT VARIOUS TEMPERATURES

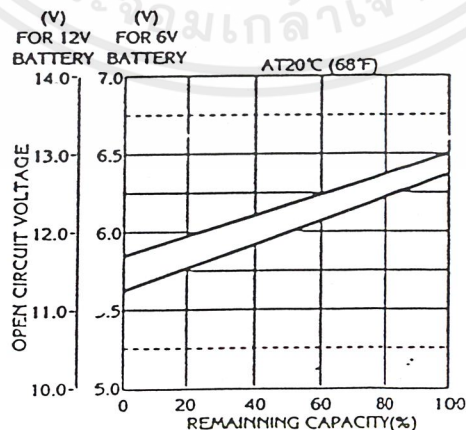
Temperature	Shelf life
0°C (32°F) to 20°C (68°F)	12 months
21°C (70°F) to 30°C (86°F)	9 months
31°C (88°F) to 40°C (104°F)	5 months
41°C (108°F) to 50°C (122°F)	2.5 months

Limited use (a few days) at temperatures higher than the ranges recommended above will adversely affect the service life. Prolonged use of batteries at elevated temperatures will reduce the shelf life expectancy of batteries. The storage time must be determined according to the new ambient temperature. Batteries should be kept in a dry, cool place.

CAPACITY MEASUREMENT BY OPEN CIRCUIT VOLTAGE

The approximate depth of discharge or remaining capacity of an ES battery can be empirically determined from Figure 6.

Figure 6. OPEN CIRCUIT VOLTAGE VS REMAINING CAPACITY

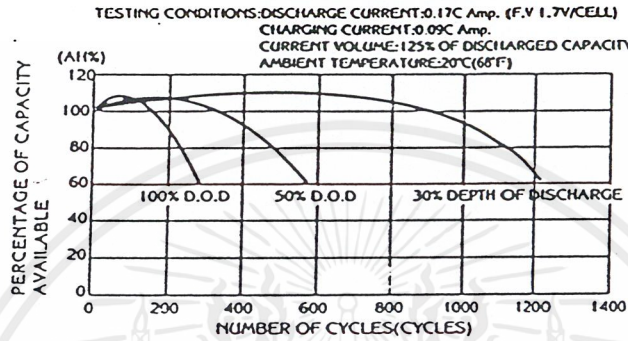


SERVICE LIFE

Cyclic Life

There are number of factors that affect the length of cycle life of an ES battery. Major factors are the ambient operating temperature, the discharge rate, the depth of discharge, and the manner in which the battery is recharged, of which the most important is the depth of discharge. Figure 7 shows the effects of depth of discharge on cyclic life. The discharge capacity has the trend to increase in the initial stage of the cycle, and reach the maximum capacity at about 50 cycles.

Figure 7. CYCLE SERVICE LIFE IN RELATION TO DEPTH OF DISCHARGE



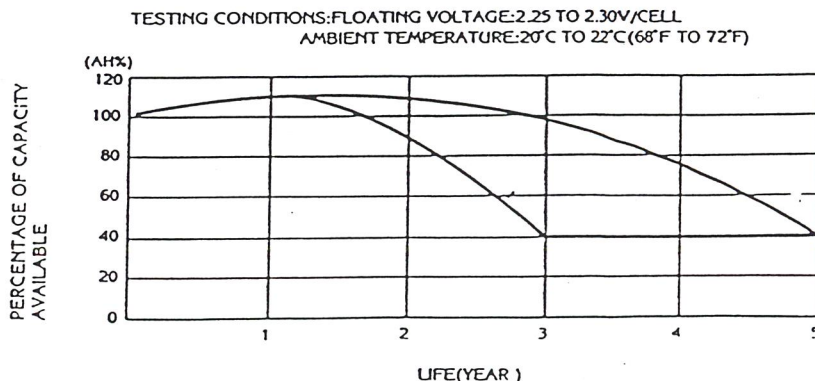
The relation between the expected number of cycles and the depth of discharge is apparent. In case, at a given discharge rate, a longer cyclic life (than that obtained through selection of a capacity following the common practice) is required, it is advisable that you select a battery with larger capacity. At a given discharge rate and time, the shallower the depth of discharge, the longer is the cyclic life.

Float Life

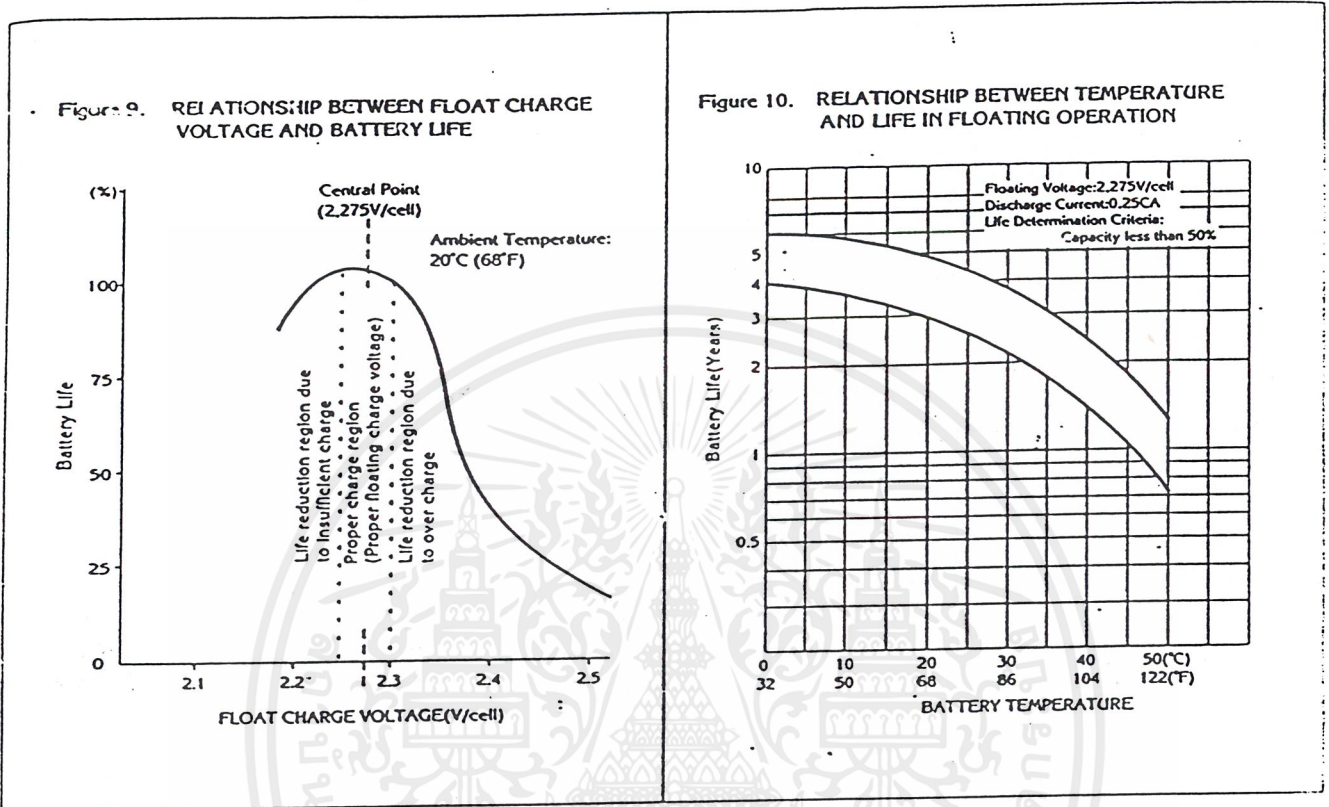
ES batteries are designed to operate in standby (float) use up to 5 years on a normal service condition in which float charge voltage is maintained between 2.25 and 2.30 volts per cell in an ambient temperature of approximately 20°C (68°F). Figure 8 shows the float life characteristics of ES batteries when discharged once every three (3) months up to 100% depth of discharge.

normal float use (2.275v/cell), where charging voltage is maintained 2.25 to 2.30 volts per cell, gas generated inside an ES battery is

Figure 8. FLOAT SERVICE LIFE



recombined into the negative plates, and return to water content of the electrolyte. Electrical capacity therefore is not lost due to "drying-up" of the electrolyte. Through gradual corrosion of the electrodes, the battery will eventually lose capacity and come to an end of life. It should be noted that the process will be accelerated by higher ambient operating temperatures and/or higher charging voltages. When designing a float system, one must bear in mind that length of life will be directly affected by the number of discharge cycles, the depth of discharge, the ambient temperature, and the charging voltage.



□ Failure Mode at End of Battery Life

The failure mode when the battery ends its life (life ending mode) includes :

- Capacity decrease ... Electrolyte decrease, and reduced adhesion of active material.
 - Internal short circuit
 - Damage to container or lid
 - Terminal corrosion
 - Reduced open circuit voltage
- } Corrosion and growth of plate grids.

A key point to use an ES battery more skillfully is to provide temperature compensation to the set voltage. The associated effect is an extended battery life. Use the temperature gradient started in temperature compensation.

Such temperature compensation enables proper charging at various temperatures. The advantage is that final charge current will not get excessive even if a temperature rise occurs. Therefore, the final charge current is suppressed sufficiently low to avoid the phenomenon of thermal runaway when the temperature in a grouped battery shoots excessively high, even if the temperature exceeds 35°C in cycle use, or 40°C in floating use. (To avoid a thermal runaway, it is best to reduce the floating voltage when temperature rise is detected in a grouped battery. Alternatively, discontinue charging till temperature has returned to normal.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CHARGING

Proper charging is one of the most important factors when using ES batteries. Battery performance and service life are directly affected by the way and the method of charging used. There are four different charging methods:

- Constant Voltage Charging
- Constant Current Charging
- Taper-Current Charging
- Two-Step Constant Voltage Charging

□ Constant Voltage Charging

Charging at constant voltage is the most suitable and commonly used method for charging ES batteries. Figures 11-16 show the charging features of ES batteries when charged with constant voltage chargers at 2.30 volts/cell, 2.40 volts/cell and 2.50 volts/cell, with the initial charging current controlled at 0.1 CA, and 0.25 CA.

Figure 11. CHARGING CHARACTERISTICS

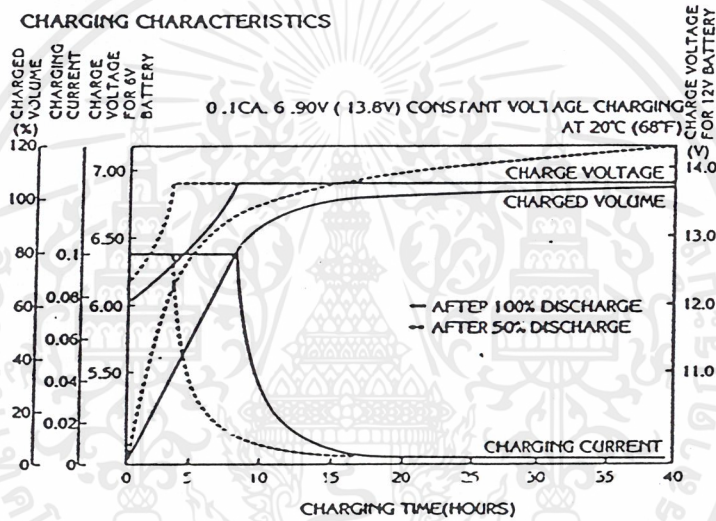


Figure 12. CHARGING CHARACTERISTICS

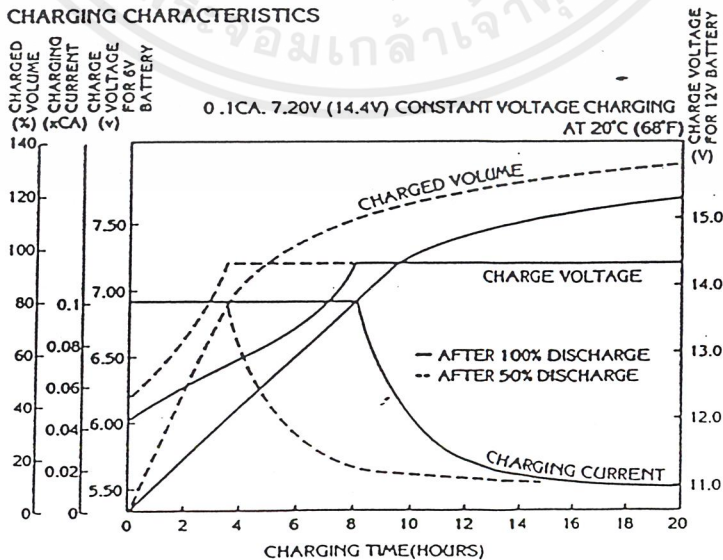


Figure 13. CHARGING CHARACTERISTICS

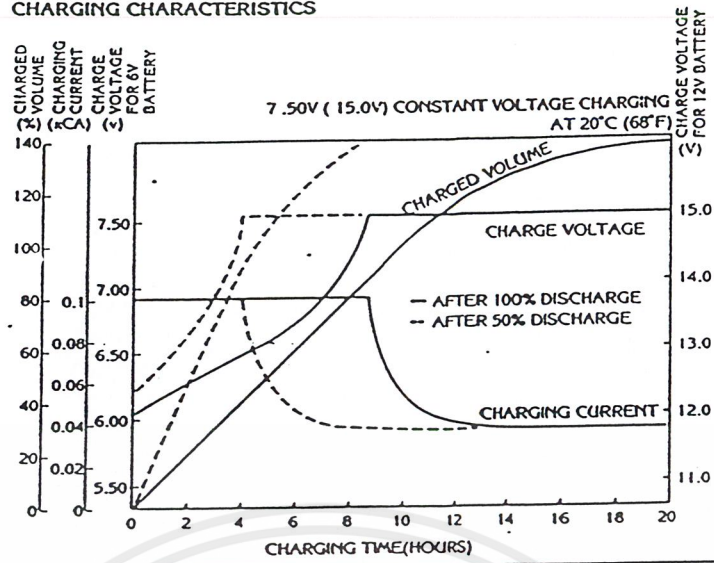


Figure 14. CHARGING CHARACTERISTICS

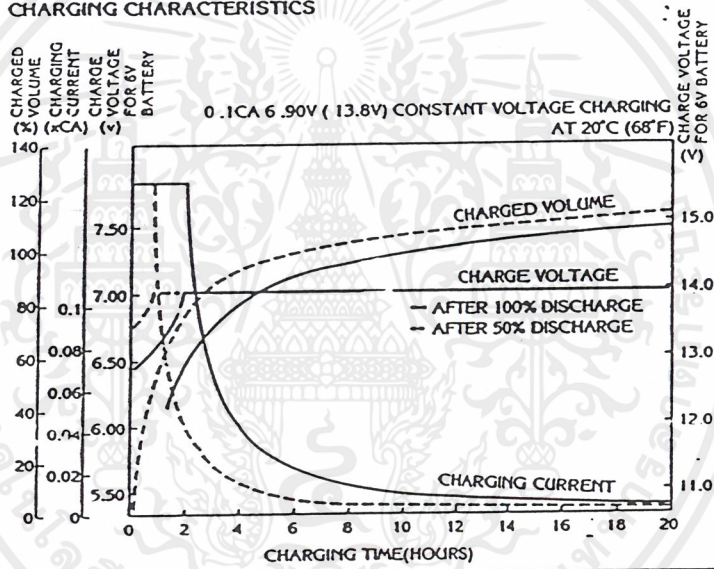


Figure 15. CHARGING CHARACTERISTICS

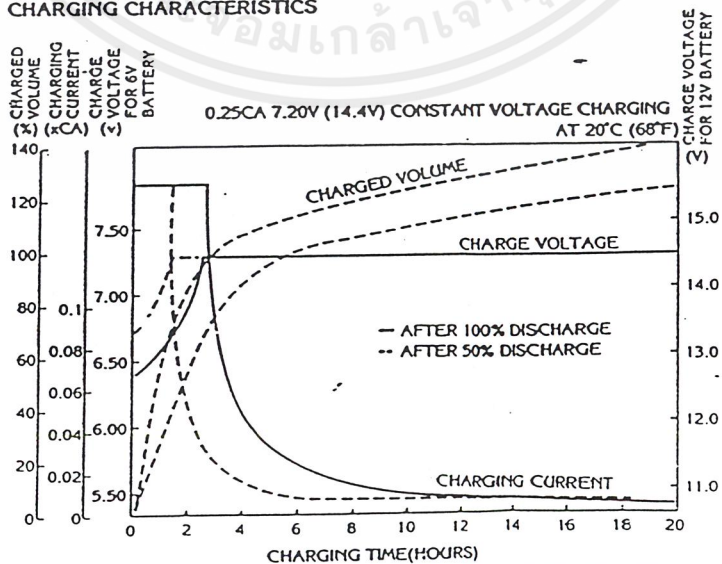
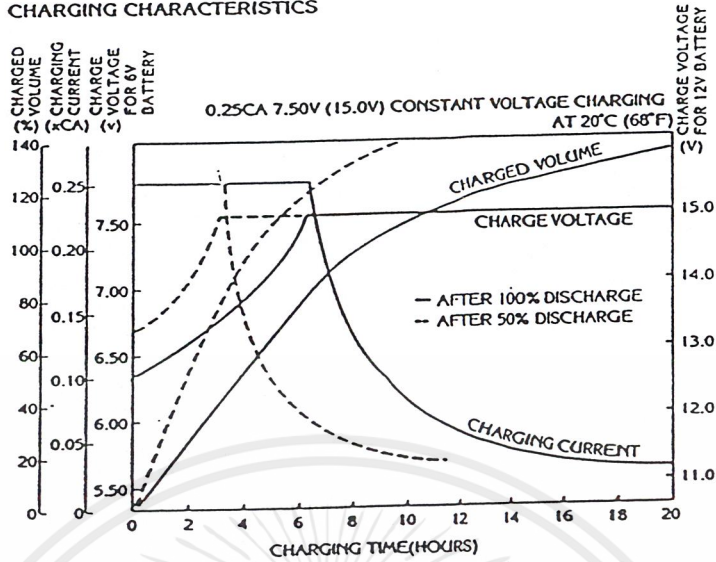


Figure 16. CHARGING CHARACTERISTICS



□ Constant Current Charging

This charging method is not often adopted for ES batteries, but is an effective method for charging a multiple number of batteries at one time and/or as an equalizing charge to correct the variance of capacities among batteries in a group. When charging with constant current, one must be careful, because if the charging is continued at the same rate for an extended period of time after the battery reached a fully charged state, a severe overcharge may occur, resulting a heavy damage to the battery.

Figure 17. CONSTANT CURRENT CHARGING (ONE EXAMPLE)

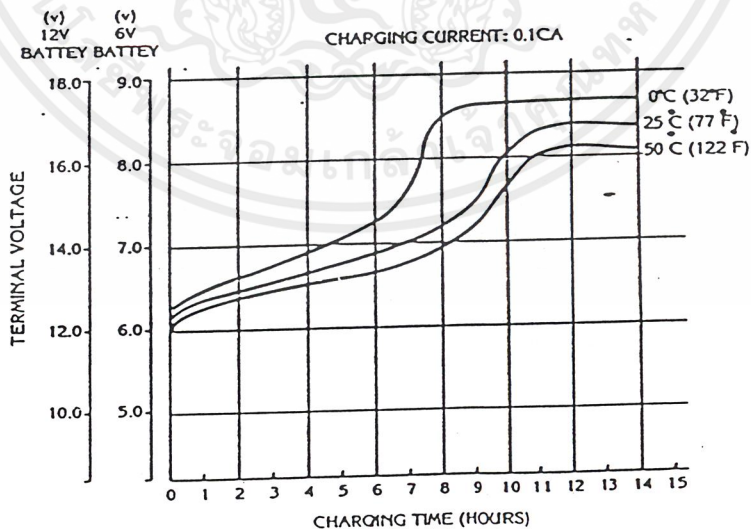
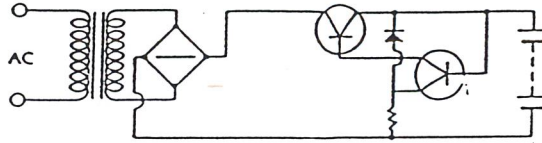


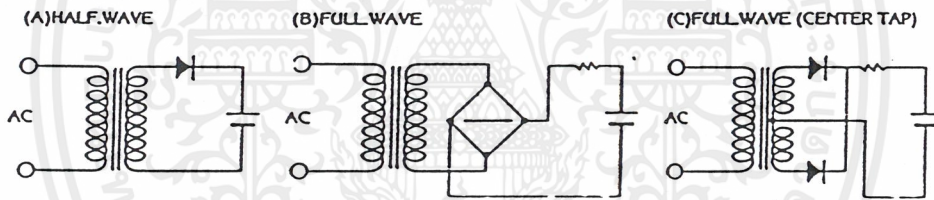
Figure 18. CONSTANT CURRENT CHARGING CIRCUIT



□ Taper-Current Charging

The taper-current charging with constant current is not recommended as it often reduces service life. This charging however is widely used to charge multiple numbers of batteries and/or for cyclic charging because of its simplicity and lower cost. When using a taper charger, it is advisable that charging time be limited, or that a charging cut-off circuit be incorporated in the charger to prevent overcharge. Please consult the manufacturer for further information on this.

Figure 19. TAPER CURRENT CHARGING CIRCUITS



□ Two-step Constant Voltage Charging

Two-step constant voltage charging is a recommended method for charging ES batteries in a short period of time, and maintaining them in a fully charged standby or float condition. Figure 20 shows the features of a two-step constant voltage charger. The features shown in the Figure are those of a constant voltage, constant current charger. In the initial charging stage, the battery is charged with constant current. The charging voltage rises as the charge continues until it reaches 2.4 volts per cell, at which point the charging mode automatically changes to constant voltage charging. During the constant current charging stage (A-B), the charging current which has decreased to point B is sensed, and the charging voltage switched to the float level of 2.3 volts per cell from the recovery level (B-C) of 2.45 volts per cell. The switch over to constant voltage trickle charging occurs after the battery has recovered approximately 80% of the rated capacity over a given period time. This method is one of the most efficient. The recharge time is minimized during the initial charging stage whilst the battery is protected from overcharge by switching over to float charge at the switching point B.

When this charging method is used, the output values will be as follow

Initial Charging Current.....0.25C Amps(max)

Charging Voltage: -

1st Stage2.45 V/cell(2.40 to 2.50 V/cell, max)

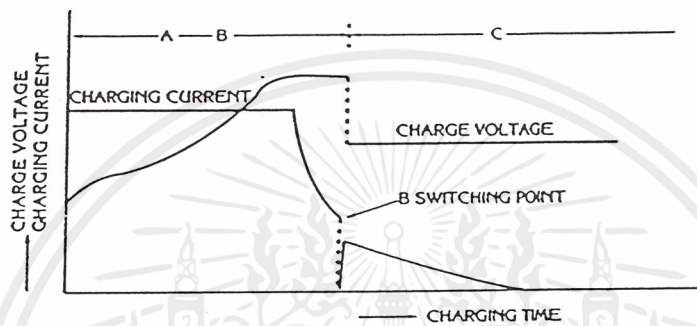
2nd Stage2.28 V/cell(2.25 to 2.30 V/cell, max)

Switching Current from

1st Stage to 2nd Stage0.05C Amps(0.04C to 0.08C Amps)

Note : This charging method cannot be used in applications where the load and the battery are connected in parallel.

Figure 20. CHARGING CHARACTERISTICS OF A TWO STEP CONSTANT-VOLTAGE CHARGER



□ Solar Powered Chargers

A battery is an indispensable component of any solar powered system designed for demand energy use. ES batteries can be charged by the solar array using diode regulated circuitry as shown in Fig 21.

In designing a solar powered system, consideration should be given to the fact that in addition to normal periods of darkness, weather conditions may be such that solar energy is limited, or virtually unavailable for long periods of time. In extreme cases, a system may have to operate for 10 to 20 days with little or no power available for charging. Therefore, when selecting the correct battery for a solar application, the capacity should be determined based upon maximum load conditions for the maximum period of time the system may be expected to be without adequate solar input.

In many instances the battery capacity will be 10 to 50 times greater than the maximum output of the solar panels. Under these circumstances, the maximum output of the solar array should be dedicated to charging the battery with no load sharing or intervening control devices of any kind.

Naturally, in cases where the output of the solar array exceeds the capacity of the battery, and weather conditions are such that the potential for overcharging the battery exists, appropriate regulated charging circuitry between the solar panels and the battery is recommended

Remote sites and other outdoor application is where most solar powered systems are to be normally found. When designing a solar powered system for this class of application, a great deal of consideration must be given to environmental conditions. For example, enclosures which may be used to house batteries and other equipment may be subject to extremely high internal temperatures when exposed to direct sunlight. Under such conditions, insulating the enclosure and/or treating the surface of the enclosure with a highly reflective, heat resistive material is highly recommended.

In general, when designing a solar powered system, consultation with the manufacturers of both the solar panel and the battery is strongly advised.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Figure 21. BLOCK DIAGRAM OF A SOLAR POWERED CHARGING SYSTEM

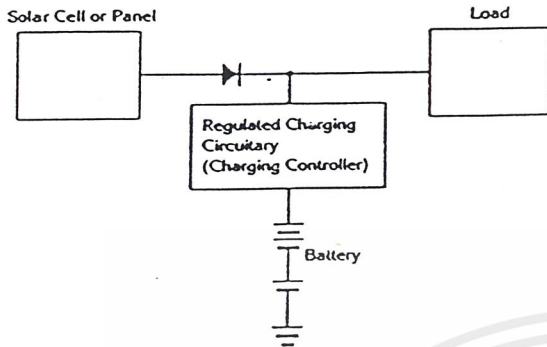
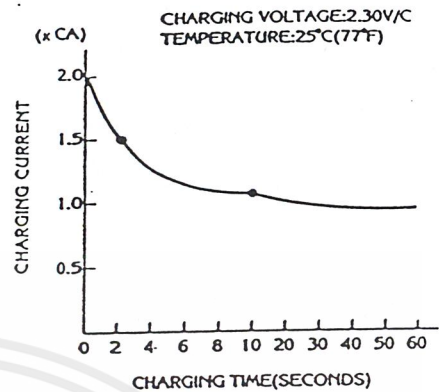


Figure 22. CONSTANT VOLTAGE CHARGING CHARACTERISTICS WITH NO CURRENT LIMIT



□ Initial Charge Current Limit

A discharged battery will accept a high charging current at the initial stage of charging. High charging current can cause abnormal internal heating which may damage the battery. Therefore, when applying a suitable voltage to recharge a battery that is being used in a recycling application it is necessary to limit the charging current to a value of 0.25C Amps. However, in float/standby use, ES batteries are designed so that even if the available charging current is higher than the recommended limit, they will not accept more than 2C Amps and the charging current will fall to a relatively small value in a very brief period of time. Normally, therefore, in the majority of float/standby applications no current limit is required. Fig. 22 shows current acceptance in ES batteries charged at a constant voltage of 2.30V/cell without current limit.

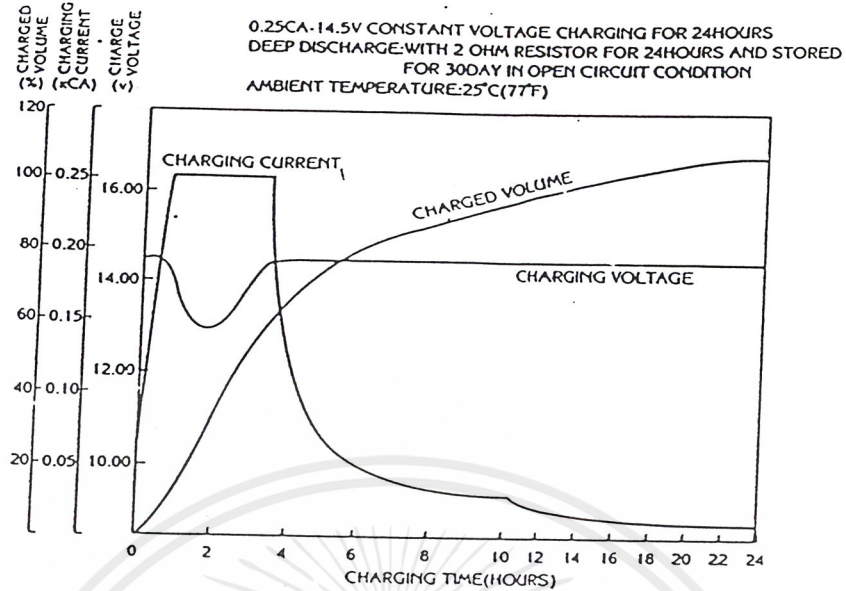
When designing a charger, it is recommended that suitable circuitry is employed to prevent damage to the charger caused by short circuiting the charger output or connecting it in reverse polarity to the battery. The use of current limiting and heat sensing circuits fitted within the charger are normally sufficient for the purpose.

□ Recovery Charge After Deep Discharge

When a battery has been subjected to deep discharge (commonly referred to as over discharge), the amount of electrical energy which has been discharged can be 1.5 to 2.0 times greater than the rated capacity of the battery. Consequently, a battery which has been over discharged requires a longer charging period than normal. Please note from Fig. 23 that as a result of increased internal resistance, the charging current accepted by an over discharged ES battery during the initial stage of charging will be quite small, but will increase rapidly over approximately the first 30 minutes until the internal resistance has been overcome, then normal, full recovery charging characteristics resume.

Because of this initial small charge current, in an over discharged battery, as described above, unless due consideration is given to this fact then if the charging regime uses current monitoring for determining either the state of charge and/or for signalling that the switching point has been reached for reducing the voltage to a float/standby value (as is the normal case in a multi-stage charger), the charger could be 'tricked' into entering further stages before completing earlier ones. In other words the charger may give a false "full charge" indication, or may initiate charge at the float voltage figure, instead of at higher voltage level.

Figure 23. CHARGING CHARACTERISTICS OF ES7-2-12 AFTER DEEP DISCHARGE

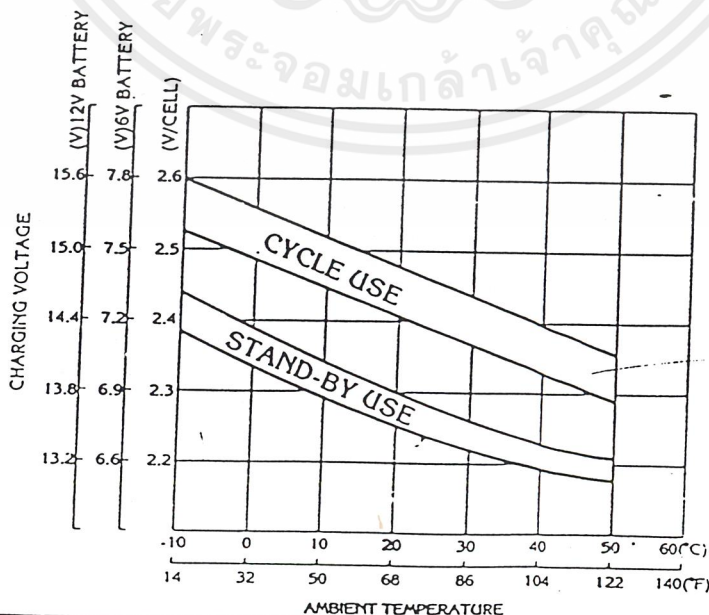


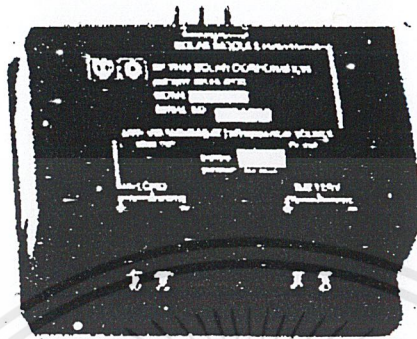
□ Temperature Compensation

As temperature rises, electrochemical activity in a battery increases and conversely decreases as temperature falls. Therefore, as the temperature rises, the charging voltage should be reduced to prevent overcharge and increased, as the temperature falls, to avoid undercharge. In general, in order to attain optimum service life, the use of a temperature compensated charger is recommended. The recommended compensation factor for ES batteries is $-3\text{mV}/^\circ\text{C}/\text{Cell}$ (for floated/standby) and $-4\text{mV}/^\circ\text{C}/\text{Cell}$ (cyclic use). The standard centre point for temperature compensation is 20°C . Fig. 24 shows the relationship between temperatures and charging voltages in both cyclic and float/standby applications.

In practice where there are short term temperature fluctuations between 5°C and 40°C , temperature compensation is not absolutely essential. However, it is desirable to set the voltage at a value shown in Fig. 24 which, as closely as possible, corresponds to the average ambient temperature of the battery during its service life. When designing a charger equipped with temperature compensation, the temperature sensor must sense only the temperature of the battery. Therefore, consideration should be given to thermally isolating the battery and temperature sensor from other heat generating components in the system.

Figure 24. RELATIONSHIP BETWEEN CHARGING VOLTAGE AND TEMPERATURE



ELECTRONIC CONTROL UNIT (ECU)

Model BPTS 12B01

Description

The ELECTRONIC CONTROL UNIT provides optimum performance and long operating life for batteries used in photovoltaic system. It provides two main functions.

- a) The ECU is a charge controller. It has a control circuit which allows maximum charging just to the point of gassing and then switches off the solar panel. This prevents battery overcharging.
- b) The ECU terminal block provides a central location to interconnect the wiring between the solar panel, the battery and the various customer appliances (loads).

12V Operation

In normal condition when the voltage of the battery is 12.5VDC, the system will function. The load terminal may be used. However, when the battery voltage reaches 15.1VDC, the solar module becomes disconnected and the RED high battery light will be lit. When the battery voltage drops to 13.5VDC, the solar module will be reconnected and the RED high battery light will turn off. If the battery becomes discharged until the voltage drops to 10.8VDC, the GREEN low battery light will be lit, the LOAD will be cut off automatically and disconnected. When the battery becomes charged again until the voltage reaches 12.5VDC, the GREEN low battery light will turn off, the LOAD will then be reconnected again.

Installation

Location : The ECU must be mounted on a flat, vertical surface within ten feet (3.09m) from the battery, with at least three inches (76mm) of clearance at the top and bottom for proper A/R flow.

Step by Step Wiring

1. Connect the ECU to the battery, make sure the positive terminal of the battery is connected to the positive terminal of the battery protector and negative to the negative.
2. Similarly, the polarity of solar module and load connected to the correct polarity of the ECU.
3. Never short circuit the system.
4. Charged current and load current must not be greater than 30 amps.
5. Opening on top and bottom of the ECU must never be obstructed. Precautions should be taken to prevent foreign material from getting into the unit.
6. Never install the unit above a source of heat or in a small, enclosed space.

Electrical Characteristics

	<u>System Voltage</u>
	<u>12V</u>
High Voltage (Solar Panel cut off)	15.1V
Low Voltage	10.8V
Charge & Load Current (Maximum)	30 amps.

The high and low voltage cut-off can be adjusted by +/- 10% from the above figures.

September 23, 1997

TECHNICAL BRIEF UNITED SOLAR PV MODULE PERFORMANCE ADVANTAGES

UNI-POWER™ Solar Electric Modules

UNI-POWER™ solar electric (photovoltaic) modules utilize United Solar's proprietary Triple Junction amorphous silicon alloy solar cells. These cells are made in a roll-to-roll deposition process on a continuous roll of stainless steel. The result is a unique, flexible, lightweight solar cell.

All UNI-POWER™ photovoltaic modules are encapsulated in UV stabilized polymers and framed with anodized aluminum. The polymer encapsulation consists of fluoropolymer Tefzel® (by DuPont) and PHOTOCAP™ EVA. The encapsulated solar cell is adhered to a Galvalume steel backing plate to provide stiffness resulting in an exceptionally durable photovoltaic module.

UNI-POWER™ photovoltaic modules are shadow tolerant. Each module incorporates internal bypass diodes connected across each solar cell, allowing the modules to produce power even when partially shaded.

Triple Junction Amorphous Silicon Alloy Technology

The heart of all UNI-POWER™ photovoltaic modules is the Triple Junction amorphous silicon alloy solar cell. Each solar cell is composed of three semiconductor junctions stacked on top of each other. The bottom cell absorbs the red light; the middle cell absorbs the green light and the top cell absorbs the blue light. This spectrum splitting capability results in the highest active area efficiency (13.0% stable) for any commercially available thin-film technology.

UNI-POWER™ Solar Electric Modules are all UL Listed

The US-64, US-42, US-32, US-22, US-21, US-11, US-5 and US-3 are all UL listed. All UNI-SOLAR® flexible marine photovoltaic modules are also UL listed. The UL listing ensures that each and every UNI-SOLAR® photovoltaic module delivered performs consistently, is safe and is durable.

DuPont Tefzel® Features and Durability

Tefzel® is a field proven, flexible, lightweight, shatterproof, solar transparent, easy to clean encapsulant. DuPont conducted a long-term durability test of Tefzel®. A sheet of Tefzel® was exposed outdoors for 15 years in a semitropical climate. After this exposure, the sheet of Tefzel® was found to retain 98% of its original light transmission, 93% of its original tensile strength and 85% of its original elongation.

This exposure test underscored the superior UV stability of Tefzel®.

Springborn Laboratories PHOTOCAP™ EVA Solar Cell Encapsulant

PHOTOCAP™ EVA offers a 20-year service life, high light transmission, low temperature flexibility with excellent adhesion to silicon and aluminum. Accelerated tests conducted by Springborn Laboratories demonstrated that after 32 weeks of exposure under a Xenon-Arc lamp at 100°C, 95% relative humidity PHOTOCAP™ EVA encapsulated with Tefzel® displayed a low yellowing index (<5). Note; yellowing is visible at an index of about 10. PHOTOCAP™ EVA encapsulated with a glass superstrate under the same conditions displayed a large yellowing index (72.0). Additional exposure tests were conducted at Phoenix, AZ under 5 suns. These tests showed that PHOTOCAP™ EVA encapsulated with Tefzel® displayed no yellowing index (0.0) and that encapsulated with a glass superstrate (under the same conditions) displayed a large yellowing index (28.0).

The combination of PHOTOCAP™ EVA with Tefzel® results in a superior encapsulant that is light weight, flexible, shatterproof, easy to clean, solar transparent and offers a long service life (>20 years).

UNI-POWER™ Solar Electric Module Performance Evaluations

Independent performance evaluations of UNI-SOLAR®, UNI-POWER™ PV modules have been conducted in Scottsdale, AZ by Photocom, at the National Renewable Energy Laboratory (NREL) in Golden, CO. and in Puspiptek-Serpong, Tangerang by Laboratorium Sumberdaya Dan Energi.

Photocomm Test Results

- United Solar PV modules delivered 15% more power than their rated power right out of the box. After 40 days of exposure to the sun they were found to stabilize at or above their rated power with no further reduction in power observed.
- United Solar PV modules have superior shadow tolerance to that of crystalline modules. Photocomm attributes this result to the fact that each UNI-POWER™ PV module has internal bypass diodes across each solar cell.
- In a side by side test with a standard polycrystalline PV module of the same power rating, the UNI-POWER™ US-64 delivered 30% more Amp Hours to a flooded lead acid battery.
- The UNI-POWER™ US-64 operates 3-7°C cooler and has a current coefficient ten times better than a standard polycrystalline module.

Photocomm concluded: "in addition to the obvious benefits of unbreakable construction, UNI-SOLAR® triple junction solar electric modules offer enhanced performance over standard crystalline modules in the areas of operation in shade, operation in high heat, and in every day battery charging (amps in the battery)."

UNITED SOLAR SYSTEMS CORP.

SALES OFFICE:
5278 Eastgate Mall
San Diego, CA 92121-2814

Telephone: 619/625-2080
Fax: 619/625-2083
1-800-397-2083

NREL Test Results

The National Renewable Energy Laboratory has been evaluating an United Solar roofing module PV array at its Outdoor Test Facility in Golden, CO since July 1993. The array employs 64 United Solar direct mount PV roofing modules (each rated at 22W at standard test conditions) driving a utility interactive inverter. These modules are identical to the UPM-880 dual-junction PV module in structure and composition. NREL Test Report STR97USR.002 shows that the roofing array conversion efficiency has remained stable and has exhibited no degradation in power output since installation. In another paper published by NREL (B. Kroposki and R. Hansen, IEEE PVSC 1997) the authors comment that the "long term data exhibits degradation trends equal to or better than crystalline".

The NREL Test Report STR97USR.002 also shows that the PV array output an average of 1240Wdc under prevailing conditions when normalized to 1000W/m² over the four-year test period. Considering the power output of 22W per module, 64 modules would deliver 1408W if there were no losses due to module mismatch, soiling, temperature, spectral conditions and wire interconnects. The above results show that the losses due to all these factors are less than 12% over the four-year test period. It is also important to note that the losses were less than 7% during the hotter summer months.

NREL has also been monitoring US-64 and US-32 PV modules since February 1997. These modules are deployed outdoors and have had current versus voltage traces taken via a SPIRE 240A solar simulator upon initial deployment (February, 1997) and most recently during August 1997. These modules have received 1010 kWh/m² of exposure from February through August. The US-64 initially output, at STC, 82.29W (in February) and 70.72W in August of 1997. This shows that the US-64 is currently operating 10% above its rated output of 64W even after 6 months of exposure. The US-32 initially output 41.32W (in February) and 35.12W in August of 1997. This shows that the US-32 is also currently operating 10% above its rated output of 32W. These results show that United Solar triple junction PV modules (after experiencing the typical initial light-induced-degradation of approximately 15%) are stable and are out performing their ratings.

Laboratorium Sumberdaya Dan Energi (LSDE) Test Results

LSDE conducted side-by-side tests of two home lighting kits. One kit employed a 44W (rated by Canon) triple junction amorphous silicon PV module and the remaining kit employed a 50W (rated at STC by the manufacturer) polycrystalline PV module. Note: The Canon triple junction PV module is manufactured using an identical process to that of the United Solar UNI-SOLAR® PV modules. Data was collected from May to September of 1996. After normalizing each PV module's performance to its manufacturer's rated peak power at standard test conditions the

44W triple junction amorphous silicon PV module was shown to deliver at least 30% more energy to the battery bank than that of the polycrystalline PV module.

Conclusion

United Solar PV modules are UL listed, field proven, unbreakable and have proven performance advantages over standard crystalline modules in the areas of operation in shade, operation in high heat, delivered energy per rated watt, and in every day battery charging.



T² Films Photovoltaic Applications

DuPont
Electronics

High Performance Films



Features & Benefits:

- Solar Transparent
 - Higher Efficiency
 - Outstanding weathering ability
 - Runs Cool
- Low Surface Energy
 - Easy to clean
- Thin & Flexible
 - Conforms easily to a variety of surfaces
 - More design potential
- Shatterproof
 - Safer than glass
- Light Weight
 - Easy to handle

T² Films Typical Properties:

T² Films are essentially transparent to the entire solar spectrum:

- More energy available for conversion means higher efficiency.
- No UV absorption means excellent UV stability. Fluoropolymers are unmatched by any other plastic in this property.
- Transparency in the IR range allows the solar cell to run cooler, maintaining its efficiency over long time periods.

T² Films are uniaxially oriented fluoropolymer films that offer strength, excellent solar transparency and high temperature capability. For you, that means more cost effective solar applications.

T² Films can be used as:

- Substrate/encapsulant combinations to simplify the manufacturing process.
- Pressure sensitive tapes over glass for safety, efficiency and cleaning ease.

Compared to glass, T² Films:

- Are more transparent (higher efficiency).
- Have a lower index of refraction (higher efficiency).
- Are lighter in weight.
- Are shatterproof.
- Are easier to clean.
- Are flexible.





SOLAR CELL ENCAPSULANTS

SPRINGBORN LABORATORIES, INC.
Enfield, Connecticut 06082-4899

EVA encapsulants were originally invented by Springborn under an 11 year subcontract with the Jet Propulsion Laboratories, entitled "Development of Processes and Materials for Encapsulation of Photovoltaic Modules". Since inception, Springborn has continuously manufactured EVA products for the PV community. Presently under an NREL PVMat Phase 3A subcontract, Springborn is further pursuing the "Advanced Development of PV Encapsulants". Drawing from its years of technical expertise, Springborn offers free on and off-site technical assistance to its PHOTOCAP™ customers at their request.

- **DESCRIPTION:** UV stabilized ethylene vinyl acetate copolymer sheet with crosslinking agent and optional built-in primer for adhesion to glass, aluminum and silicon.
- **APPLICATION:** Encapsulation of photovoltaic cells for solar module construction.
- **GRADES:**
 - A9918 Standard free radical cure
 - A9918P Self priming, standard free radical cure
 - 15295 Accelerated (fast) free radical cure
 - 15295P Self priming, accelerated (fast) free radical cure
 - These products contain no CFC's, nor are they capable of CFC generation.*
- **COLORS:** Optically clear, black, white, other custom pigmentation available upon request
- **TEXTURES:** We have a variety of textures available for one or both sides, please inquire for further details.
- **LAMINATES:**
 - Scrim: EVA laminated to 0.005 inch (0.127 mm) Craneglas 230 nonwoven glass scrim
 - TPT: EVA laminated by Tedlar 1.5/Polyester 3.0/Tedlar 1.5
- **SERVICE LIFE:** Over 20 years based on accelerated weathering tests. Commercial modules constructed with PHOTOCAP™ EVA have passed the rigorous JPL Block V, IQT and ISRA 503 qualification tests. For optimum stability, a superstrate which screens UV <360 nm is recommended.
- **PROPERTIES:** High light transmission, low haze, low-temperature flexibility, excellent adhesion to glass, aluminum and silicon, easy to process.
- **SHELF LIFE:** For best results, use within six months of receipt, protect from humidity and storage temperatures exceeding 90°F (32°C).
- **GAUGE:** Standard: 0.018 inch (0.46 mm); also available from 0.010 - 0.035 in (0.25 - 0.89 mm)
- **WIDTHS:** Custom to 48 inches (to 1220 mm)
- **PACKAGING:** Supplied in 500 square foot (46.5 square meter) rolls, on 3 inch (7.5 cm) diameter cores. All products are interleaved with release paper and overwrapped with opaque polyethylene bags to ensure storage life. All overseas shipments or grades containing primer are additionally wrapped with aluminum foil. Oversized rolls up to 30 inches (76.2 cm) diameter are available upon request.

Founded in 1944, Springborn Laboratories, Inc. has over 50 years of experience in the polymer science field, focusing on research and development of advanced materials, and specialty manufacturing. Our professional RD&E staff, including senior scientists, chemists and engineers, stands ready to assist our customers with issues related to the use of our products.

Springborn Materials Science Corp.

A subsidiary of
Springborn Laboratories, Inc.

Phone (203) 749-8371
Fax No. (203) 749-8234

October 1994

The above information is believed to be correct but does not purport to be all inclusive and shall be used only as a guide. Springborn shall not be held liable for any damage resulting from use or misuse of our product.

FOO/007

STR USA

0860 749 8234

08/24/97 12:20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
06/16/97 TUR 12:46 [TX/RX NO 8384] 010
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

UNI-SOLAR

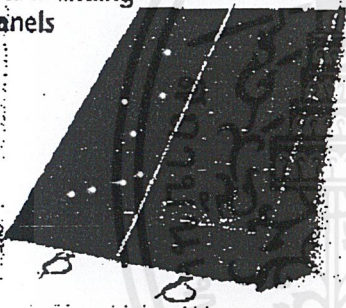
United Solar Systems Corp.

The solar cell, consisting of amorphous-silicon on a 5-mil thick stainless steel substrate, is encapsulated in TEFZEL® elastomer and other weather-resistant polymers.

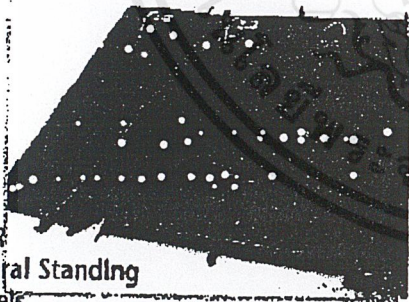
Roofing Products

The resulting solar electric laminate is bonded to conventional roofing panels or fabricated into roofing shingles. Three solar electric roofing products are available:

UNI-SOLAR
Structural Standing
Seam Panels



UNI-SOLAR
Architectural Standing
Seam Panels



UNI-SOLAR
Shingles

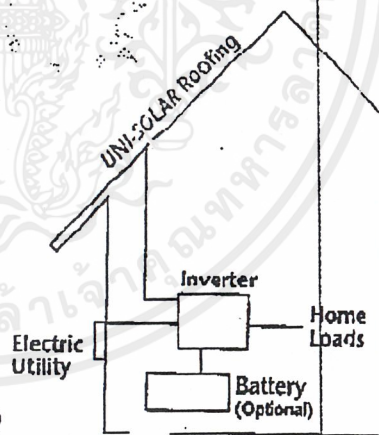


Systems

UNI-SOLAR roofing products are the key components of a total solar electric system. The system integrates the solar electric roofing panel or shingle with the necessary combiner boxes, inverter, and wiring to convert sunlight into electric energy and distribute it directly to the building.

The solar electric roofing products are configured in series or parallel on the roof deck to form an array. The array is used in combination with conventional roofing products.

Solar Electric System



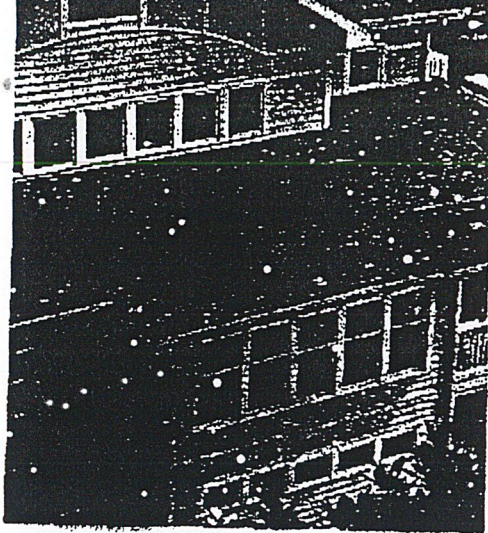
UNI-SOLAR design services provide assistance in configuring these solar electric roofing products to meet the specific user needs. For more information, please call: 888-UNI-SOLAR.

UNI-SOLAR is a Registered Trademark of United Solar Systems Corp.

TEFZEL is a Registered Trademark of DuPont Co.

UNI-SOLAR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

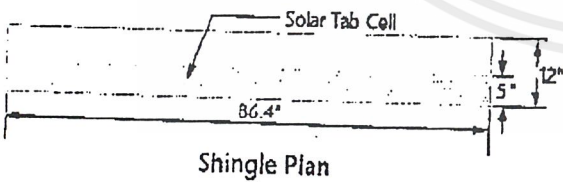
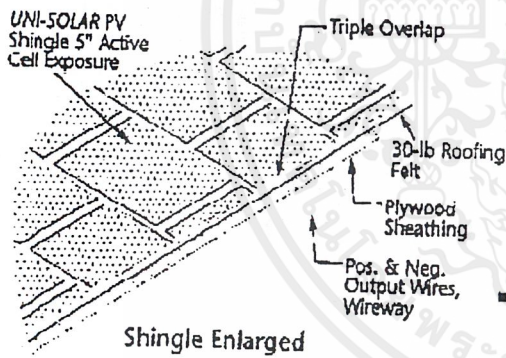
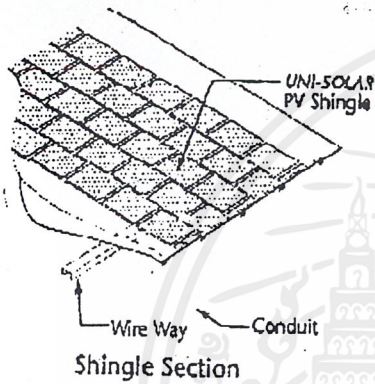


UNI-SOLAR[®] PV Shingles

Indistinguishable at a Distance from Traditional Shingles for Residential and Commercial Buildings

UNI-SOLAR shingles are unique and have been honored with the prestigious *Popular Science* Grand Award, "Best of What's New (Environmental Technology)," and *Discover* magazine's "Technological Innovation Award" for best innovation (Environment). The new PV shingle permits roofs of commercial and residential buildings to evolve from mere protection from the weather to a source of electric power. The flexible, thin-film solar cell shingle blends into a roofing pattern of traditional asphalt shingles.

A 2.0 kilowatt DC grid-connected system operating at the Southface Energy & Environmental Resource Center in Atlanta, Georgia. The grid-connected system is configured at 48 volts DC using a 4,000 watt inverter.



- Appearance: The surface is textured to blend and complement the granular surface of the surrounding conventional shingles.
- Shingle Size: 86.4" x 12"
- Exposure: 5" (12 - 7" tabs per shingle).
- Electrical connections: Two, 12" long, 18-gauge lead wires exiting from underside of each shingle.
- Installation: Nailed in place using common roofing nails on conventional roof decking over 30-lb felt underlayment. Applied in consecutive overlapping layers. Lead wires on back side of the head-lap pass through the roof deck to allow wiring connections to be made in the roof space.
- Seal: Sun warms the solar electric shingle providing a bond that forms a weather-resistant roof covering.
- Wind Load: Independently tested up to 60 mph.
- Weight: 140 lbs/sq.
- Array: Size dependent on power demands. See table below.
- System: Typical systems range from 1 kW to 4 kW.

Specification & Performance

Product	Rated Power (W)	Voltage (V _{op})	Current (I _{op})	Voltage (V _{oc})	Current (I _{sc})	Width (in.)	Height (in.)	Weight (lbs/ft ²)	Exposed Area (ft ²)	Energy Per Day (Wh/ft ²)
SHR-17	17	8.6	2.0	12	2.5	86.4"	12"	1.4	3	23-32

UNI-SOLAR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

UNI-SOLAR[®]

Architectural Standing Seam

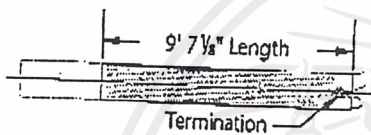
For Residential and Commercial Solar Power Systems

UNI-SOLAR Architectural Metal Panels are building-integrated photovoltaic panels. They are reliable, attractive, and cost-effective design options for creating sustainable and energy self-sufficient buildings. Aesthetically-pleasing, solar architectural roofing panels are integrated into the roof following the specifications of conventional architectural standing seam panels. Solar electric power is collected through terminations located on top of the panel under the ridge cap. No deck penetrations are required.

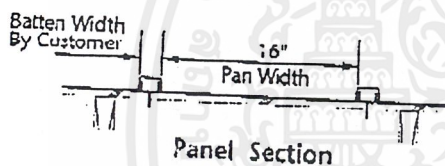
A 1.5 kW DC system was installed on a National Association of Home Builders (NAHB) 21st Century Townhouse in Maryland. The 18-panel system is grid connected. It has a 16-kWh battery backup.



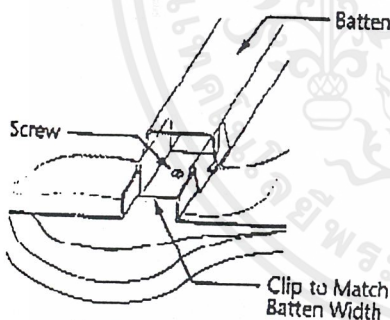
Panel Plan View: 18' 3"



Panel Plan View: 9' 7 1/8"



Panel Section



Batten Seam Detail

- Standard Laminate Length: 112.15" or 216", active solar length bonded to conventional flat metal roof panel.
- Laminate Width: 15.5".
- Metal Panel: GALVALUME[®] steel, painted or unpainted.
- Pan Width: 16" (In situ width per batten size).
- Customer Specified Panels: From 9' 7 1/8" to 24'.
- Electrical Connections: Standard-potted top termination, hidden and protected by ridge cap (see previous page).
- Roof Slope: Minimum 3:12 slope.
- Installation: Per panel supplier's specification.
- Ideal Roof Orientation: Open southern exposure.
- Wind Load: Per panel supplier's specification.
- Array: Size dependent on power demands. See table below.
- System: Typical systems range from 1 kW to 10 kW.

Specification & Performance

Product	Rated Power (W)	Voltage (V _{op})	Current (I _{op})	Voltage (V _{oc})	Current (I _{sc})	Length (ft:in.)	Width (in.)	Weight (lbs/ft ²)	Area (ft ²)	Energy Per Day (Wh/ft ²)
ASR-60	60	16.5	3.6	23.8	4.5	9' 7 1/8"	16"	2	12	20-30
ASR-64	64	16.5	3.9	23.8	4.8	9' 7 1/8"	16"	2	12	20-30
ASR-120	120	33	3.6	47.6	4.5	18' 3"	16"	2	23	20-30
ASR-128	128	33	3.9	47.6	4.8	18' 3"	16"	2	23	20-30

GALVALUME is a Registered Trademark of Bethlehem Steel.

B E T H L E H E M S T E E L - U N I - S O L A R

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

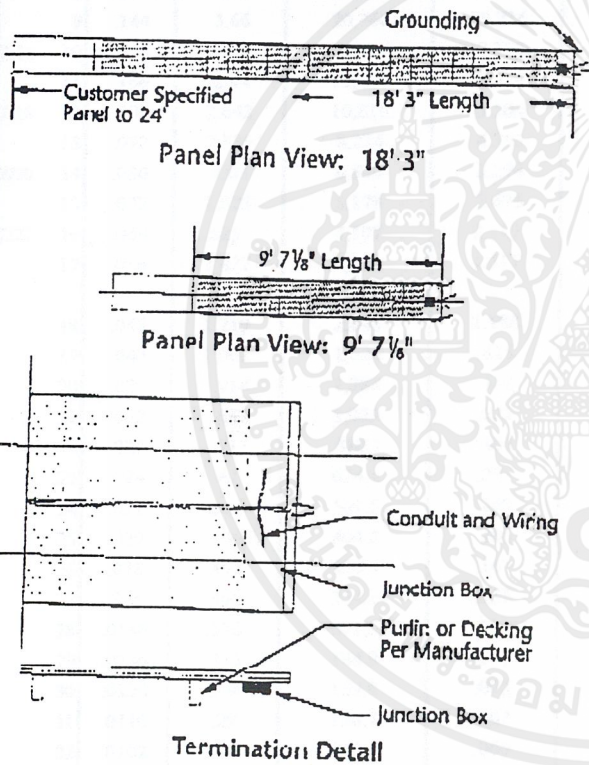
UNI-SOLAR[®]

Structural Standing Seam

*Unlimited Applications for Commercial Buildings;
Dependable, Environmentally Safe*

UNI-SOLAR Structural Metal Panels combine the appeal of a structural roofing product with the solar electric capabilities of PV. Designed for ease of installation, this solar panel is integrated into the roof following the specifications of conventional structural standing seam panels. System design and installation are made based on user needs.

UNI-SOLAR Structural Standing Seam Metal Panels are designed with the electrical terminations at the bottom of the panel.



- Standard Laminate Length: 112.15" or 216", active solar laminate bonded to conventional flat metal roof panel.
- Laminate Width: 15.5".
- Metal Panel: GALVALUME[®] steel, painted or unpainted.
- Pan Width: 16" (In situ width 16").
- Customer Specified Panels: From 9' 7 1/8" to 24'.
- Span and Allowable Loads: Per panel supplier's specifications.
- Electrical Connections: Standard-junction box termination; optional-potted bottom or top termination.
- Roof Slope: Minimum 1:12 slope.
- Installation: Per panel supplier's specification.
- Ideal Roof Orientation: Open southern exposure.
- Wind Load: Per panel supplier's specification.
- Array: Size dependent on power demands. See table below.
- System: Typical systems range from 4 kW to 20 kW.

Specification & Performance

Product	Rated Power (W)	Voltage (V _{op})	Current (I _{op})	Voltage (V _{oc})	Current (I _{sc})	Length (ft./in.)	Width (in.)	Weight (lbs./ft ²)	Area (ft ²)	Energy Per Day (Wh/ft ²)
SSR-60	60	16.5	3.6	23.8	4.5	9' 7 1/8"	16"	2	12	20-30
SSR-64	64	16.5	3.9	23.8	4.8	9' 7 1/8"	16"	2	12	20-30
SSR-120	120	33	3.6	47.6	4.5	18' 3"	16"	2	23	20-30
SSR-128	128	33	3.9	47.6	4.8	18' 3"	16"	2	23	20-30

GALVALUME is a Registered Trademark of Bethlehem Steel.

UNI-SOLAR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปทำประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการนี้ได้รับการสนับสนุนให้ดำเนินการทดลอง ด้วยความอุปการคุณจากสมาคมศิษย์เก่าสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง และจากความอนุเคราะห์ ของอาจารย์ศิริวัฒน์ โภชวิเชกุล ที่ได้เป็นผู้ที่ให้คำปรึกษาและประสานงานกับทางสมาคมศิษย์เก่า อาจารย์สุวงษ์ โสมพงษ์ ที่ให้คำชี้แนะและสนับสนุนอุปกรณ์การใช้งาน บริษัท สยาม อี เอส แบตเตอรี่ จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์เป็นผู้สนับสนุนหลักด้านแบตเตอรี่ บริษัท ลีโอนิกส์ ที่ให้เครื่องอัดประจุมาใช้ในการทดลอง ขอขอบคุณความกรุณา เมตตา และเอ็นดูคณะผู้จัดทำโครงการจากครอบครัว อู๋ วี ออโต้เทค และอาจารย์ที่ได้อบรมสั่งสอน ขอขอบคุณน้ำใจของเพื่อนๆภาคไฟฟ้า น้องๆชุมชนมิลิติก หนุ่ย แอม ที่ให้กำลังใจ กำลังกายมาตลอด และคำขอบคุณที่ไม่อาจจะแทนคำด้วยการพิมพ์เป็นลายลักษณ์อักษร ต่อ พี่วัชร พื้แสบ พี่เล็ก

คณะผู้จัดทำ

นายทิวากร พึ่งสุข

นายศรีสกุล งามบุญแถม

นายสหัสเดช สุคนธาภิรมย์ ณ พัทลุง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้