



วงจรรชาร์จแบตเตอรี่แบบแห้งขนาด 12 โวลต์สำหรับกักเก็บพลังงาน

TINY WIND TURBINE FOR 12 VOLT BATTERY CHARGER



นางสาววราภรณ์	ชมภูสมษา	รหัส 50380546
นายโชติวัชร	โนนคำ	รหัส 51361575
นางสาววัลยา	แซ่ฮ้อย	รหัส 51363029

วันที่รับ.....12/ก.ย. 2556..... เลขทะเบียน.....1623956X..... เลขเรียกหนังสือ..... มหาวิทยาลัยนครสวรรค์ 23212

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนครสวรรค์

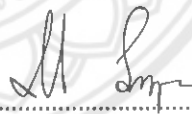
ปีการศึกษา 2554

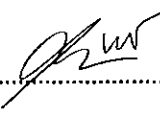


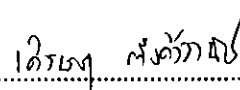
ใบรับรองปริญญาโท

ชื่อหัวข้อโครงการ วงจรชาร์จแบตเตอรี่แบบแห้งขนาด 12 โวลต์สำหรับกังหันลมขนาดเล็ก
ผู้ดำเนินโครงการ นางสาวราภรณ์ ชมภูสมษา รหัส 50380546
 นายโชติวัชร โนนคำ รหัส 51361575
 นางสาววัลยา แซ่อู่ รหัส 51363029
ที่ปรึกษาโครงการ ดร. มุขิตา สงฆ์จันทร์
สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
ปีการศึกษา 2554

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏบรือรัมย์ อนุมัติให้ปริญญาโทฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า


.....ที่ปรึกษาโครงการ
(ดร. มุขิตา สงฆ์จันทร์)


.....กรรมการ
(ผศ. ดร. ศุภวรรณ พลพิทักษ์ชัย)


.....กรรมการ
(อ. เศรษฐา ตั้งค้ำวานิช)

ชื่อหัวข้อโครงการ	วงจรชาร์จแบตเตอรี่แบบแห้งขนาด 12 โวลต์สำหรับกังหันลมขนาดจิ๋ว		
ผู้ดำเนินโครงการ	นางสาวราภรณ์ ชมภูสมษา	รหัส	50380546
	นายโชติวัชร โนนคำ	รหัส	51361575
	นางสาววัลยา แซ่อู่	รหัส	51363029
ที่ปรึกษาโครงการ	ดร. มุกิตา สงฆ์จันทร์		
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า		
ภาควิชา	วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์		
ปีการศึกษา	2554		

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอ โครงการเกี่ยวกับวงจรชาร์จแบตเตอรี่แบบแห้งขนาด 12 โวลต์ สำหรับกังหันลมขนาดจิ๋ว ซึ่งกังหันลมขนาดจิ๋วทำหน้าที่ผลิตพลังงานไฟฟ้า และนำพลังงานไฟฟ้าที่ได้จัดเก็บไว้ที่แบตเตอรี่แบบแห้ง โดยผ่านวงจรชาร์จแบตเตอรี่เพื่อจัดการจัดเก็บพลังงานได้อย่างเหมาะสม และมีไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวควบคุมการทำงานของวงจรชาร์จแบตเตอรี่

จากการทดลองพบว่า การชาร์จแบตเตอรี่โดยผ่านวงจรชาร์จแบตเตอรี่มีประสิทธิภาพว่าการชาร์จแบตเตอรี่โดยตรง เนื่องจากที่ระดับความเร็วลมที่มีค่าน้อยกังหันลมสามารถเริ่มหมุนได้ง่าย และการทำงานของวงจรชาร์จแบตเตอรี่สามารถตรวจสอบระดับแรงดันจากแหล่งจ่ายกังหันลมรวมทั้งควบคุมการชาร์จแบตเตอรี่ได้ตามแรงดันการชาร์จที่เหมาะสมตามคุณสมบัติของแบตเตอรี่เพื่อยืดอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ให้ยาวนานขึ้น

Project title Tiny Wind Turbine for 12 Volt Battery Charger
Name Miss Waraporn Chompusomsa ID. 50380546
Mr. Chotiwatch Nonkham ID. 51361575
Miss Wanlaya Sae-Uie ID. 51363029
Project advisor Miss. Mutita Songjun, Ph. D.
Major Electrical Engineering
Department Electrical and Computer Engineering
Academic year 2011

Abstract

This project about tiny wind turbine for 12 volt battery charger. Which small wind turbine do electric power and the power generated by to dry battery. Through the charging the battery circuit. For management purposes of Energy Storage properly and a microcontroller to control the battery charging circuit.

The outcome from the experiment shows. That charging the battery by bettery charging circuit better than normal charging. Because wind turbine easy to start to spin at low wind speed. And the bettery charging circuit can check the voltage level from supply wind turbines. Including control the bettery charging by voltage charging and qualification of bettery. For extend lifespan of bettery.

กิตติกรรมประกาศ

โครงการนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความกรุณาเป็นอย่างยิ่งจาก ดร. มุขिता สงฆ์จันทร์ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการและให้ความกรุณาในการให้คำปรึกษาทุกเรื่องที่เกี่ยวข้องกับการทำโครงการนี้ นอกจากนี้ยังมี ดร. ศุภวรรณ พลพิทักษ์ชัย และอาจารย์เศรษฐา ตั้งคำวานิช ซึ่งเป็นอาจารย์กรรมการโครงการและให้คำแนะนำในการปรับปรุงโครงการ คณะผู้ดำเนินโครงการขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงและขอระลึกถึงความกรุณาของท่านไว้ตลอดไป

ขอขอบคุณคุณคณาจารย์ทุกท่านที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ในทุกๆศาสตร์ที่เป็นประโยชน์ ทั้งที่เกี่ยวข้องในด้านของสายอาชีพและที่เกี่ยวข้องในด้านของการดำเนินชีวิตในสังคม ให้กับคณะผู้ดำเนินโครงการ

เหนือสิ่งอื่นใด คณะผู้ดำเนินโครงการขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ผู้มอบความรัก ความเมตตา สติปัญญา รวมทั้งเป็นผู้ให้ทุกสิ่งทุกอย่างตั้งแต่วัยเยาว์จนถึงปัจจุบัน คอยเป็นกำลังใจทำให้ได้รับความสำเร็จอย่างทุกวันนี้ และขอขอบคุณทุกๆคนในครอบครัวของคณะผู้ดำเนินโครงการที่ไม่ได้กล่าวไว้ ณ ที่นี้ด้วย

นางสาววารุภรณ์ ชมภูสมษา

นาย โชติวัชร โนนคำ

นางสาววัลยา แซ่จู้

สารบัญ

	หน้า
ใบรับรองปริญญาโท ก	
บทคัดย่อภาษาไทย ข	
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ค	
กิตติกรรมประกาศ..... ง	
สารบัญ จ	
สารบัญตาราง ข	
สารบัญรูป ข	
บทที่ 1 บทนำ 1	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของ โครงการงาน 1	
1.2 วัตถุประสงค์ของ โครงการงาน..... 1	
1.3 ขอบเขตการดำเนินงาน 1	
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 2	
1.5 ขั้นตอนของการดำเนินงาน 2	
1.6 แผนการดำเนินงานตลอด โครงการงาน 2	
1.7 งบประมาณ 3	
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง 4	
2.1 การผลิตไฟฟ้าจากกังหันลม 4	
2.2 วงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้า (Voltage Divider Circuit) 12	
2.3 วงจรออปโตคัปเปิลเลอร์ (Opto-Coupler Circuit) 15	
2.4 วงจรทรานซิสเตอร์สวิตช์ (Transistor Switching Circuit) 16	
2.5 วงจรเปรียบเทียบแรงดัน (Voltage Comparator) 17	
2.6 ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) 17	
2.7 แบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด 19	

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.8 การชาร์จและวิธีการชาร์จแบตเตอรี่เบื้องต้น	21
2.9 เครื่องจักรกลไฟฟ้ากระแสตรง.....	29
บทที่ 3 ขั้นตอนวิธีการดำเนินงาน.....	33
3.1 ศึกษาการทำงานของวงจรชาร์จแบตเตอรี่	34
3.2 สร้างวงจรชาร์จแบตเตอรี่.....	42
3.3 สร้างวงจรชาร์จแบตเตอรี่.....	51
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง.....	59
4.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	60
4.2 การทดสอบคุณสมบัติของกึ่งนำลบ	61
4.3 การชาร์จแบตเตอรี่โดยตรง	65
4.4 การชาร์จแบตเตอรี่โดยผ่านวงจรชาร์จแบตเตอรี่.....	71
4.5 สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง.....	78
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	86
5.1 สรุปผลการดำเนินโครงการ	86
5.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ	87
5.3 แนวทางในการพัฒนาโครงการ	87
เอกสารอ้างอิง.....	88
ภาคผนวก ก วิธีการติดตั้ง โปรแกรม.....	89
ภาคผนวก ข รายการอุปกรณ์และลยวงจรพิมพ์ของวงจรชาร์จแบตเตอรี่.....	100
ประวัติผู้ดำเนินโครงการ.....	104

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 แผนการดำเนินงานตลอด โครงการงาน	2
1.1 แผนการดำเนินโครงการงาน (ต่อ).....	3
2.1 ค่าความเร็วเฉลี่ยของลม ณ ระดับความสูงจากพื้นดิน 50 เมตร	5
2.2 แสดงขนาดของกังหันลมผลิตไฟฟ้า.....	11
2.3 สรุปวิธีการชาร์จในช่วงสุดท้ายกับแบตเตอรี่ที่นิยมใช้อยู่ทั่วไป	27
4.1 กังหันลมตัวที่ 1	63
4.2 กังหันลมตัวที่ 2	63
4.3 กังหันลมตัวที่ 3	63
4.4 กังหันลมต่ออนุกรมกัน 2 ตัว (เลือกตัวที่มีคุณสมบัติดีที่สุด).....	64
4.5 กังหันลมต่ออนุกรมกัน 3 ตัว	64
4.6 กังหันลม 1 ตัว (เลือกตัวที่มีคุณสมบัติดีที่สุด).....	67
4.7 กังหันลมต่ออนุกรมกัน 2 ตัว (ตัวที่มีคุณสมบัติดีที่สุด).....	68
4.8 กังหันลมต่ออนุกรมกัน 3 ตัว	69
4.9 กังหันลมต่ออนุกรมกัน 3 ตัว (เริ่มชาร์จขณะแบตเตอรี่อยู่ในสถานะพื้นตัว).....	70
4.10 การชาร์จแบตเตอรี่โดยผ่านวงจรชาร์จแบตเตอรี่จากกังหันลม 1 ตัว	73
4.11 การชาร์จแบตเตอรี่โดยผ่านวงจรชาร์จแบตเตอรี่จากกังหันลม 2 ตัว	74
4.12 การชาร์จแบตเตอรี่โดยผ่านวงจรชาร์จแบตเตอรี่จากกังหันลม 3 ตัว	75
4.13 กังหันลมต่ออนุกรมกัน 3 ตัว (เริ่มชาร์จแบตเตอรี่ขณะอยู่ในสถานะพื้นตัว).....	76
4.14 การทดลองกายประจุ (ใช้หลอดไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 12 โวลต์ 8 วัตต์ เป็นโหลด)	77

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แสดงกังหันลมแกนหมุนแนวตั้ง	6
2.2 แสดงกังหันลมแกนหมุนแนวนอน.....	6
2.3 แสดงองค์ประกอบของกังหันลมแกนหมุนแนวนอน.....	7
2.4 แสดงเครื่องวัดความเร็วและทิศทางลม.....	9
2.5 แสดงเสากลมกลวง (A) และเสาโครงถัก (B)	9
2.6 แสดงแกนคอหมุนและระบบควบคุมการหมุนเพื่อรับแรงลมตามทิศทางลม	10
2.7 วงจรแบ่งแรงดัน โดยใช้ตัวต้านทาน	12
2.8 วงจรแบ่งแรงดันที่ไม่มีโหลด	13
2.9 วงจรแบ่งแรงดันที่มีโหลด.....	14
2.10 แสดงสัญลักษณ์อุปกรณ์เชื่อมต่อทางแสงชนิดต่างๆ	15
2.11 วงจรสวิตช์.....	16
2.12 (a) แผนภาพแสดงลักษณะของวงจรเปรียบเทียบแรงดัน (b) สัญลักษณ์ของวงจรเปรียบเทียบแรงดัน.....	17
2.13 ไมโครคอนโทรลเลอร์ ATmega328.....	18
2.14 แสดงพฤติกรรมที่เกิดขึ้นในการชาร์จแบตเตอรี่.....	22
2.15 (a) แรงบิดแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีทิศตรงข้ามกับการหมุนในเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (b) แรงบิดแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีทิศทางเดียวกับการหมุนในมอเตอร์.....	30
3.1 แผนผังการดำเนินงาน.....	33
3.2 วงจรตรวจสอบแรงดันไฟฟ้าจากกังหันลม.....	35
3.3 วงจรชาร์จแบตเตอรี่.....	37
3.4 วงจรควบคุมและโปรแกรมการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์	38
3.5 วงจรไฟเลี้ยง	39
3.6 แผนผังการทำงานของชุดคำสั่งวงจรควบคุมการชาร์จแบตเตอรี่.....	41
3.7 ลายวงจรกับแผ่นทองแดง.....	42

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.8 วางลายปรีนท์ในน้ำยากัดแผ่นปรีนท์.....	42
3.9 ลายวงจรด้านบน.....	43
3.10 ลายวงจรด้านล่าง.....	43
3.11 ลักษณะการวางอุปกรณ์บนแผ่นวงจรพิมพ์.....	44
3.12 การเดินสายไฟภายในกล่องไปยังจุดขั้วต่อต่างๆภายในวงจร.....	45
3.13 วงจรชาร์จแบตเตอรี่ที่สมบูรณ์.....	45
3.14 แสดงสถานะไฟแอลอีดีของวงจรไฟเลี้ยง.....	46
3.15 แสดงสถานะไฟแอลอีดีของระดับแรงดันกึ่งหันลม.....	46
3.16 แสดงสถานะการทำงานของแหล่งจ่ายไฟ 5 โวลต์ ของไมโครคอนโทรลเลอร์.....	47
3.17 ตรวจสอบว่าวงจรมีการเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์แล้ว.....	48
3.18 แสดงการต่อแหล่งจ่าย.....	48
3.19 การแสดงผลของจอแอลซีดีกับสถานะของไฟแอลอีดีของแบตเตอรี่ลูกที่ 1.....	49
3.20 แสดงสถานะไฟแอลอีดีของแบตเตอรี่ลูกที่ 2.....	50
3.21 แสดงสถานะการทำงานของวงจรชาร์จโหลด (Dummy Load).....	50
3.22 เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง.....	51
3.23 แบบโครงขาตั้งกึ่งหันลม.....	52
3.24 โครงเสากับชุดกอบหมุน.....	52
3.25 แบบโครงยึดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า.....	53
3.26 แบบฐานแท่นวางเครื่องกำเนิดไฟฟ้า.....	53
3.27 โครงยึดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า.....	54
3.28 แบบใบกึ่งหันลม.....	54
3.29 แบบโครงยึดใบกึ่งหันลม.....	54
3.30 โครงยึดใบกึ่งหันลม.....	55
3.31 ชุดใบกึ่งหันลม.....	55

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.32 แบบโครงใบหางเสือ	56
3.33 แบบใบหางเสือ	56
3.34 ใบหางเสือ	56
3.35 การประกอบฐานเข้ากับชุดคอกหมุน	57
3.36 การนำโครงยึดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าติดตั้งบนเสา	57
3.37 การติดตั้งหางเสือกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง	58
3.38 กังหันลมที่ประกอบเสร็จสมบูรณ์	58
4.1 พัดลมขนาด 225 วัตต์	60
4.2 มัลติมิเตอร์	60
4.3 เครื่องวัดความเร็วรอบ	60
4.4 เครื่องวัดความเร็วลม	61
4.5 แสดงการวัดระยะห่างระหว่างพัดลมกับกังหันลม	61
4.6 การอนุกรมแหล่งจ่ายกังหันลม 2 ตัว	62
4.7 การอนุกรมแหล่งจ่ายกังหันลม 3 ตัว	62
4.8 การชาร์จแบตเตอรี่ โดยตรงจากกังหันลม 1 ตัว	65
4.9 การชาร์จแบตเตอรี่ โดยตรงจากกังหันลม 2 ตัว	65
4.10 การชาร์จแบตเตอรี่ โดยตรงจากกังหันลม 3 ตัว	66
4.11 การชาร์จแบตเตอรี่ โดยผ่านวงจรชาร์จแบตเตอรี่ด้วยกังหันลม 1 ตัว	71
4.12 การชาร์จแบตเตอรี่ โดยผ่านวงจรชาร์จแบตเตอรี่ด้วยกังหันลม 2 ตัว	71
4.13 การชาร์จแบตเตอรี่ โดยผ่านวงจรชาร์จแบตเตอรี่ด้วยกังหันลม 3 ตัว	72
4.14 การทำงานของสถานะไฟแอลอีดีและจอแอลซีดีขณะทำการชาร์จแบตเตอรี่	72
4.15 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับแรงดันของการชาร์จแบตเตอรี่จากกังหันลม 1 ตัว	80
4.16 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับแรงดันของการชาร์จแบตเตอรี่จากกังหันลม 2 ตัว	81
4.17 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับแรงดันของการชาร์จแบตเตอรี่จากกังหันลม 3 ตัว	82

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.18 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับแรงดันเพื่อเปรียบเทียบการชาร์จแบตเตอรี่โดยตรงจาก กังหันลม 3 ตัว	83
4.19 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับแรงดันเพื่อเปรียบเทียบการชาร์จแบตเตอรี่โดยผ่านวงจร ชาร์จแบตเตอรี่จากกังหันลม 3 ตัว	84



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ

พลังงานลม คือ พลังงานธรรมชาติที่ไม่มีวันหมด ครอบคลุมทั่วทั้งโลกของเรา ยังคงมีอากาศและมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของพื้นผิวโลก ซึ่งทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของมวลอากาศ มนุษย์รู้จักใช้ประโยชน์จากพลังงานลมมานานและมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในปัจจุบัน แหล่งพลังงานจากซากฟอสซิล (fossil) ที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้าเริ่มมีปริมาณที่น้อยลง อีกทั้งยังก่อให้เกิดมลพิษต่อโลก มนุษย์จึงหันมาให้ความสำคัญและสนใจในการพัฒนาแหล่งพลังงานทางเลือกกันมากขึ้น คือ การพัฒนากังหันลมผลิตไฟฟ้า

กังหันลมผลิตไฟฟ้า ทำงานโดยอาศัยการเคลื่อนที่ของลมทำให้ใบของกังหันลมหมุน ก่อให้เกิดเป็นพลังงานจลน์จากการเคลื่อนที่ของแกนหมุนของกังหันจะถูกเปลี่ยนรูปไปเป็นพลังงานไฟฟ้า โดยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ต่อกับแกนหมุนของกังหันลม จากนั้นพลังงานไฟฟ้าที่ได้จะถูกจ่ายเข้าสู่ระบบควบคุมไฟฟ้า และจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้าสู่ระบบไฟฟ้าต่อไป

ที่กล่าวมาทั้งหมดนั้นเป็นภาพรวมของระบบทั่วไปของกังหันลมผลิตไฟฟ้า เพื่อใช้งานเป็นพลังงานสำหรับบ้านเรือนหรือเพื่อจ่ายเข้าสู่ระบบของการไฟฟ้า แต่สำหรับโครงการนี้จะใช้ประโยชน์จากกังหันลมขนาดเล็ก (วัดตามปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ ซึ่งต่ำกว่า 1.5 กิโลวัตต์) เป็นแหล่งพลังงานสำหรับเก็บสะสมพลังงานไว้ในแบตเตอรี่เพื่อใช้ประโยชน์เล็กๆ ภายในบ้านเรือนเช่น เป็นแหล่งพลังงานสำหรับไฟตามรั้วหน้าบ้านหรือเป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้าสำรองในยามฉุกเฉิน

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

สร้างวงจรชาร์จแบตเตอรี่แบบแห้งขนาด 12 โวลต์ และกังหันลมขนาดเล็กเพื่อใช้ในการผลิตพลังงานไฟฟ้า โดยใช้วงจรชาร์จแบตเตอรี่เป็นตัวควบคุมการเก็บพลังงานไฟฟ้าก่อนที่จะชาร์จเก็บไว้ในแบตเตอรี่

1.3 ขอบเขตการดำเนินโครงการ

1. สร้างกังหันลมขนาดเล็กสูงประมาณ 1.2 เมตร จำนวน 3 ตัว
2. สร้างวงจรชาร์จแบตเตอรี่แบบแห้งขนาด 12 โวลต์

ตารางที่ 1.1 (ต่อ) แผนการดำเนินงานตลอดโครงการ

รายละเอียด	ปี 2554					ปี 2556					
	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	ม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.
4. สร้างกังหันลม ขนาดจ๊ว											
5. ประกอบวงจร ชาร์จแบตเตอรี่											
6. ทดสอบการ ทำงานของวงจร ชาร์จแบตเตอรี่											
7. ทดลองทำการ ชาร์จแบตเตอรี่											
8. บันทึกผลและ สรุปผลการ ทดลอง											

1.7 งบประมาณ

1. ค่าอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์	1,390 บาท
2. วัสดุอุปกรณ์ในการสร้างกังหันลมขนาดจ๊ว	1,110 บาท
3. ค่าเอกสารและเข้าเล่มโครงการ	500 บาท
รวมเป็นเงิน (สามพันบาทถ้วน)	<u>3,000</u> บาท
หมายเหตุ : ถัวเฉลี่ยทุกรายการ	

บทที่ 2

หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

เนื่องจากวงจรชาร์จแบตเตอรี่แบบหนึ่งขนาด 12 โวลต์ สำหรับกักเก็บพลังงานเป็นวงจรที่ใช้สำหรับควบคุมพลังงานที่ได้มาจากกังหันลมแล้วนำพลังงานที่ได้ไปจัดเก็บไว้ที่แบตเตอรี่ ดังนั้น จึงต้องมีความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับหัวข้อต่างๆ ดังนี้

2.1 การผลิตไฟฟ้าจากกังหันลม

กังหันลม (Wind Turbine) คือ ชุดเครื่องจักรกลอย่างหนึ่งที่สามารถเปลี่ยนพลังงานจลน์จากการเคลื่อนที่ของลมให้เป็นพลังงานกล และนำพลังงานกลมาใช้กับระบบผลิตไฟฟ้า โดยการออกแบบกังหันลมจะต้องอาศัยความรู้ทางพลศาสตร์ของลม และหลักวิศวกรรมในแขนงต่างๆ เพื่อให้ได้กำลังงาน พลังงาน และประสิทธิภาพสูงสุด

2.1.1 พลังงานลม

พลังงานลม เป็นพลังงานธรรมชาติที่มีความสะอาด และบริสุทธิ์ใช้แล้วไม่มีวันหมดสิ้นไปจากโลกจึงทำให้พลังงานลมได้รับความสนใจในการศึกษา และพัฒนาให้เกิดประโยชน์กันอย่างกว้างขวาง ในขณะที่เดียวกันกังหันลมก็เป็นอุปกรณ์ชนิดหนึ่งที่สามารถนำพลังงานลมมาใช้ให้เป็นประโยชน์ได้ โดยเฉพาะในการผลิตกระแสไฟฟ้าและการสูบน้ำ ซึ่งมีการใช้งานกันมาแล้วอย่างแพร่หลายในอดีตที่ผ่านมา

1. การกำหนดค่ามาตรฐานระดับพลังงานลม

ลมเป็นพลังงานรูปแบบหนึ่งที่เกิดจากพลังงานแสงอาทิตย์ อันเป็นผลมาจากความแตกต่างของอุณหภูมิของชั้นบรรยากาศ ที่ดูดซับพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ไม่เท่ากัน ตามสภาพ ภูมิประเทศ และจากการหมุนตัวของโลก ซึ่งมนุษย์ได้นำพลังงานจลน์จากลมมาใช้ประโยชน์ในหลายด้าน ทั้งในรูปของพลังงานกล และพลังงานไฟฟ้า

ในปี 2543 ได้เริ่มมีการวัดระดับพลังงานลมในพื้นที่ต่าง ๆ ในสหรัฐอเมริกาโดยกำหนดไว้ตามค่าความเร็วเฉลี่ยของลม ณ ระดับความสูงจากพื้นดิน 50 เมตร ซึ่งแบ่งเป็น 7 ระดับ ดังนี้คือ

ตารางที่ 2.1 ค่าความเร็วเฉลี่ยของลม ณ ระดับความสูงจากพื้นดิน 50 เมตร

ระดับ	ความเร็วเฉลี่ย
ระดับ 1	< 5.6 เมตร/วินาที
ระดับ 2	5.6 – 6.4 เมตร/วินาที
ระดับ 3	6.4 – 7.0 เมตร/วินาที
ระดับ 4	7.0 – 7.5 เมตร/วินาที
ระดับ 5	7.5 – 8.0 เมตร/วินาที
ระดับ 6	8.0 – 8.8 เมตร/วินาที
ระดับ 7	> 8.8 เมตร/วินาที

เพื่อนำมาจัดทำแผนที่พลังงานลม และใช้เป็นข้อมูลพิจารณาพื้นที่ ที่มีความเหมาะสมในการพัฒนาพลังงานลม มาใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้า โดยในพื้นที่ความเร็วลมตั้งแต่ระดับ 4 ขึ้นไปจะมีความเหมาะสม ในการใช้พลังงานลมในเทคโนโลยี ที่มีอยู่ในปัจจุบัน ระดับ 3 จะเป็นพื้นที่ที่คาดว่าจะสามารถพัฒนาเทคโนโลยีกังหันลม ให้สามารถใช้งานได้ในอนาคต ส่วนระดับ 1 – 2 เป็นพื้นที่ที่มีความเร็วลมต่ำไม่เหมาะในการใช้พลังงานลม เราจึงได้สร้างกังหันลมความเร็วต่ำขึ้นมาเพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งานในบ้านเรือนสำหรับคนไทย เนื่องจากภูมิประเทศของประเทศไทยไม่เอื้ออำนวยเหมือนประเทศทางยุโรป อย่างเช่น ประเทศเดนมาร์ก กังหันลมที่เราสร้างขึ้นมาเรียกว่า กังหันลมขนาดจิว ซึ่งมีกำลังผลิตน้อยกว่า 1.5 กิโลวัตต์

2. เทคโนโลยีและกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานลม

พลังงานลมสามารถแปลงเป็นพลังงานกล ซึ่งนิยมนำไปใช้ประโยชน์ได้หลายด้าน เช่น การชักหรือสูบน้ำขึ้นที่สูง เป็นต้น แต่ที่จะกล่าวถึงในที่นี้ คือ การนำพลังงานลมมาใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้า โดยอาศัยหลักการที่ตรงข้ามกับการทำงานของพัดลม คือแทนที่จะใช้พลังงานไฟฟ้าก่อให้เกิดแรงลม ก็ปรับเปลี่ยนเป็นให้แรงจลน์จากลมมาหมุนกังหัน เพื่อนำไปปั่นกระแสไฟฟ้า

2.1.2 ชนิดของกังหันลมผลิตไฟฟ้า

โดยทั่วไปกังหันลมสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด ตามแกนหมุนของกังหันลม ได้แก่ กังหันลมแกนหมุนแนวตั้ง และกังหันลมแกนหมุนแนวนอน ซึ่งทั้งสองชนิดจะประกอบด้วยอุปกรณ์ในการทำงานผลิตไฟฟ้าที่คล้ายกัน เช่น ชุดใบพัด ชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และชุดเสา โดยจะมีความแตกต่างกันตรงการวางชุดแกนหมุนใบพัด

1. กังหันลมชนิดแกนหมุนแนวตั้ง (Vertical Axis Wind Turbine) เป็นกังหันลมที่มีแกนหมุนตั้งฉากกับพื้นราบหรือตั้งฉากกับทิศทางเคลื่อนที่ของลม โดยมีใบพัดยึดติดขนานกับแกนหมุน ทำหน้าที่รับแรงลมที่เคลื่อนตัวมากระทบทำให้เกิดการหมุนของใบพัด โดยสามารถรับแรงลมในแนวนอนได้ทุกทิศทาง อย่างไรก็ตามกังหันลมชนิดนี้ไม่ค่อยได้รับความนิยมใช้ในเชิงพาณิชย์ โดยมีการใช้งานอยู่ประมาณร้อยละ 25 ของกังหันลมที่มีใช้งานอยู่ในปัจจุบัน



รูปที่ 2.1 แสดงกังหันลมแกนหมุนแนวตั้ง

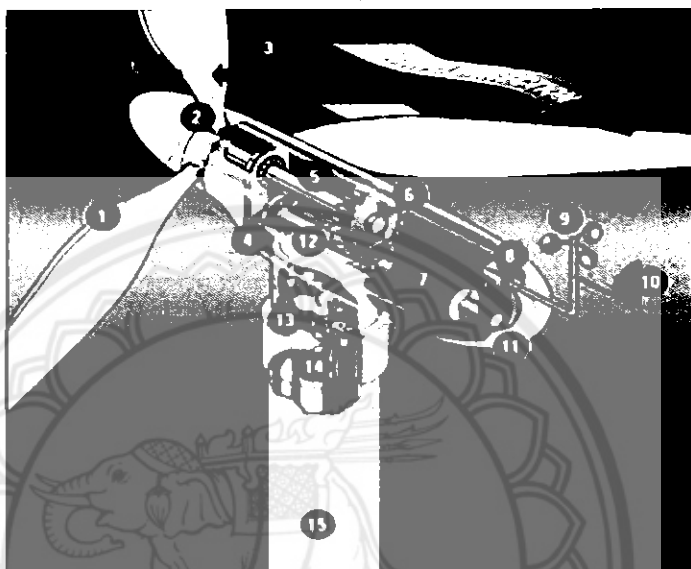
2. กังหันลมชนิดแกนหมุนแนวนอน (Horizontal Axis Wind Turbine) เป็นกังหันลมที่มีแกนหมุนขนานกับพื้นราบหรือขนานกับทิศทางเคลื่อนที่ของลม โดยมีใบพัดยึดติดตั้งฉากกับแกนหมุน ทำหน้าที่รับแรงลมที่เคลื่อนตัวมากระทบทำให้เกิดการหมุนของใบพัด โดยกังหันลมชนิดแกนหมุนแนวนอนแบบสามใบพัดซึ่งมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง เป็นกังหันลมที่ได้รับความนิยมใช้งานในเชิงพาณิชย์อย่างแพร่หลายที่สุดถึงร้อยละ 75 ของกังหันลมที่มีการใช้งานในปัจจุบัน



รูปที่ 2.2 แสดงกังหันลมแกนหมุนแนวนอน

2.1.3 ส่วนประกอบของกังหันลมผลิตไฟฟ้า (ชนิดแกนหมุนแนวนอน)

องค์ประกอบที่ประกอบขึ้นเป็นกังหันลมผลิตไฟฟ้าในหนึ่งชุด จะประกอบด้วย 4 องค์ประกอบหลักใหญ่ ๆ ได้แก่ ชุดแกนหมุนใบพัด (Rotor Blade), ชุดห้องเครื่อง (Nacelle), ชุดเสา (Tower) และฐานราก (Foundation) ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 แสดงองค์ประกอบของกังหันลมแกนหมุนแนวนอน

1. ชุดแกนหมุนใบพัด (Rotor Blade) [หมายเลข 2] เป็นส่วนแรกของกังหันลมผลิตไฟฟ้าที่ทำหน้าที่รับหรือปะทะกับแรงลม โดยประกอบด้วยชิ้นส่วนต่าง ๆ ดังนี้

1.1 คุมแกนหมุน (Nose Cone) เป็นตัวครอบแกนหมุนที่อยู่ส่วนหน้าสุด มีรูปร่างเป็นวงรีคล้ายไข่ เพื่อการลู่ลมและมองดูสวยงาม

1.2 ใบพัด (Blade) [หมายเลข 1] เป็นส่วนที่ยึดติดกับแกนหมุน (Rotor Hub) ทำหน้าที่รับพลังงานจลน์ (Kinetic Energy) จากการเคลื่อนที่ของลม และหมุนแกนหมุนเพื่อส่งถ่ายกำลังไปยังเพลาแกนหมุนหลัก ถูกออกแบบโดยใช้หลักการทางพลศาสตร์ของอากาศ เพื่อให้มีน้ำหนักเบาพอเหมาะและเหนียวทนทานรับกับแรงลมได้ดี ใบกังหันลมถือเป็นหัวใจของกังหันลมผลิตไฟฟ้าและมีความละเอียดสูงในการออกแบบ เพราะหากสามารถออกแบบให้เหมาะสมและมีประสิทธิภาพสูง ก็จะทำให้กังหันลมสามารถทำงานได้เป็นอย่างดีที่ความเร็วเปลี่ยนไป

1.3 จุดปรับหมุนใบพัด (Pitch Drive) [หมายเลข 3] อยู่ระหว่างช่วงรอยต่อระหว่างใบพัดกับแกนหมุนทำหน้าที่ในการปรับใบพัดให้มีความพร้อมและเหมาะสมเมื่อเริ่มรับแรงลมต่ำ ๆ เพื่อการเริ่มหมุนใบพัด (Cut In) และปรับใบพัดให้ลู่ลมโดยอัตโนมัติเพื่อช่วยในการหยุดหมุนของแกนหมุนเมื่อ ได้รับแรงลมเกินพิกัด (Cut Out) หรือกรณีซ่อมบำรุงรักษา

1.4 ชุดปรับยึดแกนหมุน (Rotor Lock) เป็นงานหมุนที่ยึดติดส่วนท้ายของแกนหมุน มีระบบยึดแน่นไม่ให้แกนหมุนมีการขับเคลื่อนหมุนเมื่อได้รับแรงลมเกินพิกัดหรือกรณีซ่อมบำรุงรักษา

2. ชุดห้องเครื่อง (Nacelle) [หมายเลข 11] เป็นส่วนที่สำคัญของกังหันลมเพราะมีองค์ประกอบย่อยมากที่สุด ถูกออกแบบมาให้มีความเหมาะสมเพื่อเป็นตัวป้องกันสภาพอากาศภายนอกให้กับอุปกรณ์ที่อยู่ภายใน และมีพื้นที่ภายในเพียงพอสำหรับการขึ้นไปติดตั้งและบำรุงรักษาอุปกรณ์ต่างๆ ได้ องค์ประกอบย่อยที่ติดตั้งอยู่ภายในชุดห้องเครื่องมีดังนี้

2.1 เพลาแกนหมุนหลัก (Main Shaft) [หมายเลข 5] ทำหน้าที่รับแรงจากแกนหมุนใบพัด และส่งผ่านเข้าสู่ห้องปรับเปลี่ยนทดรอบกำลัง (Gear Box)

2.2 ห้องทดรอบกำลัง (Gear Box) [หมายเลข 6] ทำหน้าที่เป็นตัวควบคุมปรับเปลี่ยนทดรอบการหมุน และถ่ายแรงของเพลาแกนหมุนหลักที่มีความเร็วรอบต่ำ ไปยังเพลาแกนหมุนเล็ก (Small Shaft) ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เพื่อให้มีความเร็วรอบที่สูงขึ้นและมีความเร็วสม่ำเสมอในการหมุนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

2.3 เบรก (Brake) [หมายเลข 4] เป็นระบบกลไกเพื่อใช้ควบคุมและยึดการหยุดหมุนอย่างสิ้นเชิงของใบพัดและเพลาแกนหมุนของกังหันลม

2.4 เพลาแกนหมุนเล็ก (Small Shaft) [หมายเลข 12] ทำหน้าที่รับแรงที่มีความเร็วรอบสูงจากห้องทดรอบกำลัง (Gear Box) เพื่อหมุนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

2.5 เครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator) [หมายเลข 7] ทำหน้าที่แปลงพลังงานกลที่ได้รับเป็นพลังงานไฟฟ้า มีใช้ 2 ประเภท คือ

- เครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่หมุนด้วยความเร็วคงที่ คือความเร็ว Synchronous Speed (50 Hz) พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จะมีความถี่และแรงดันไฟฟ้าเท่ากับความถี่และแรงดันไฟฟ้าของระบบสายส่ง

- เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มีโครงสร้างเหมือนมอเตอร์เหนี่ยวนำ โดยป้อนไฟฟ้ากระแสสลับเข้าที่ชุดสเตเตอร์ ทำให้เกิดฟลักซ์เป็นขั้วแม่เหล็กหมุนตามสภาวะกระแสสลับ ไปเหนี่ยวนำแกนโรเตอร์ให้หมุนตามในตอนที่เริ่มเดิน และเมื่อมีแรงมาขับ โรเตอร์ให้หมุนเกินกว่า Synchronous Speed จะเกิดการเหนี่ยวนำย้อนกลับ ทำให้เกิดกระแสไหลออกจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจ่ายย้อนกลับเข้าระบบสายส่ง

2.6 ระบบควบคุมไฟฟ้า (Controller System) [หมายเลข 8] เป็นระบบควบคุมการทำงานและการจ่ายกระแสไฟฟ้าออกสู่ระบบด้วยระบบคอมพิวเตอร์

2.7 ระบบระบายความร้อน (Cooling) เป็นระบบเพื่อใช้ระบายความร้อนจากการทำงานของกลไกภายในห้องทดรอบกำลังและเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มีการทำงานอย่างต่อเนื่องตลอดเวลา

2.8 เครื่องวัดความเร็วและทิศทางลม (Anemometer and Wind Vane) [หมายเลข 9, 10] เป็นส่วนที่ติดตั้งอยู่ภายนอกห้องเครื่อง โดยเชื่อมต่อสายสัญญาณเข้าสู่ระบบคอมพิวเตอร์ สำหรับเป็นตัวชี้วัดปริมาณความเร็วและทิศทางลม เพื่อที่คอมพิวเตอร์จะได้ควบคุมกลไกการทำงานอื่นๆ ของกังหันลมได้อย่างถูกต้อง



รูปที่ 2.4 แสดงเครื่องวัดความเร็วและทิศทางลม

3. ชูตเสา (Tower) [หมายเลข 15] เป็นตัวแบกรับส่วนที่เป็นชุดแกนหมุนใบพัดและตัวห้องเครื่องที่อยู่ข้างบน ปัจจุบันมีใช้งาน 2 แบบ คือ แบบเสากลมกลวง (Tubular) และเสาโครงถัก (Lattice) โดยปัจจุบันนิยมใช้เสาแบบกลมกลวงมากกว่า ทั้งนี้ชูตเสาดังกล่าวจะต้องมีการออกแบบในเชิงวิศวกรรมมาเป็นอย่างดีก่อนการติดตั้ง เพื่อให้สามารถรับน้ำหนักและแรงปะทะของลมต่อพื้นที่ที่กวาดใบพัด ขณะที่ความสูงของเสาจะมีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับระยะความสูงในการรับแรงลม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใบพัด และขนาดของกังหันลม องค์ประกอบย่อยของชูตเสามีดังนี้



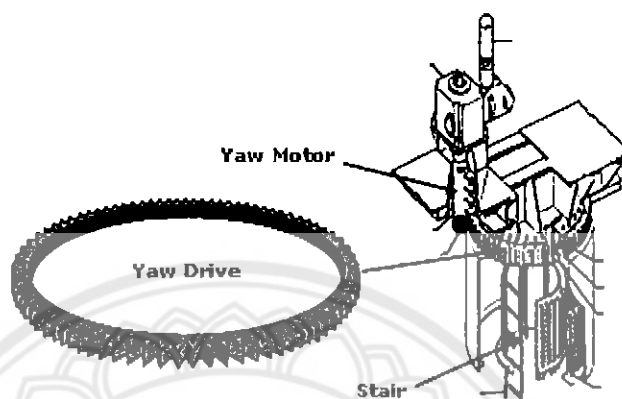
(A)

(B)

รูปที่ 2.5 แสดงเสากลมกลวง (A) และเสาโครงถัก (B)

3.1 แกนคอหมุนรับทิศทางลม (Yaw Drive) [หมายเลข 13] เป็นตัวขับเคลื่อนหมุนแกนหมุนใบพัด เพื่อให้ใบพัดรับแรงลมตามทิศทางการเคลื่อนที่ของลม

3.2 ระบบควบคุมการหมุน (Yaw Motor หรือ Hydraulic System) [หมายเลข 14] เป็นตัวบังคับและควบคุมกลไกการขับเคลื่อนหมุนเพื่อให้ใบพัดรับแรงลมตามทิศทางการเคลื่อนที่ของลม และชะลอการหมุนและหยุดหมุนของใบพัด



รูปที่ 2.6 แสดงแกนหมุนและระบบควบคุมการหมุนเพื่อรับแรงลมตามทิศทางลม

3.3 บันไดหรือลิฟต์ (Stair or Lift) ใช้ในการขึ้นลงสำหรับการตรวจหรือซ่อมบำรุงรักษาอุปกรณ์ที่อยู่ด้านบนเสา

3.4 ระบบอุปกรณ์ควบคุมและจอภาพ ติดตั้งอยู่ด้านล่างสุดของเสาเพื่อให้เจ้าหน้าที่ใช้ในการติดต่อ ตรวจสอบ และตรวจข้อมูลระบบการทำงานต่างๆ ของกังหันลมผลิตไฟฟ้า

4. ฐานราก (Foundation) เป็นส่วนที่รับน้ำหนักทั้งหมดของชุดกังหันลม ทำเป็นฐานคอนกรีตเสริมเหล็กตั้งอยู่บนเสาเข็มที่ได้รับการคำนวณออกแบบ และทำการก่อสร้างอย่างถูกต้องตามหลักวิศวกรรมโยธา

2.1.4 ขนาดของกังหันลมผลิตไฟฟ้า

ขนาดของกังหันลมผลิตไฟฟ้าถูกพัฒนาขึ้นเพื่อให้มีความสามารถในการผลิตไฟฟ้าได้ตามความต้องการใช้งาน ซึ่งจะขึ้นอยู่กับขนาดกำลังผลิตไฟฟ้า (Capacity) เส้นผ่านศูนย์กลางใบพัด (Rotor Diameter) และพื้นที่กวาดของใบพัด (Swept Area) ของกังหันลมผลิตไฟฟ้ารุ่นนั้นๆ ดังนี้

ตารางที่ 2.2 แสดงขนาดของกังหันลมผลิตไฟฟ้า

ขนาดของกังหันลม	ขนาดกำลังผลิต (kW)	เส้นผ่านศูนย์กลาง (m)	พื้นที่กวาด (m ²)
ขนาดจิ๋ว (Micro Wind Turbine)	< 1.5	< 3	< 7
ขนาดเล็ก (Small Wind Turbine)	1.5-2.0	3-10	7-80
ขนาดกลาง (Medium Wind Turbine)	20-200	10-25	80 - 500
ขนาดใหญ่ (Large Wind Turbine)	200-1,500	25-70	500-3,850
ขนาดใหญ่่มาก (Very Large Wind Turbine)	> 1,500	> 70	> 3,850

1. กังหันลมขนาดจิ๋ว (Micro Wind Turbine) มีขนาดกำลังผลิตไฟฟ้าน้อยกว่า 1.5 กิโลวัตต์ เหมาะสำหรับติดตั้งผลิตไฟฟ้าในพื้นที่ห่างไกลเพื่อจัดเก็บกระแสไฟฟ้าลงในแบตเตอรี่และมีภาระทางไฟฟ้าไม่มากนัก เช่น การใช้กับเครื่องมือสื่อสาร หรือแสงสว่างในบางเวลา

2. กังหันลมขนาดเล็ก (Small Wind Turbine) มีขนาดกำลังผลิตไฟฟ้าอยู่ระหว่าง 1.5 - 20 กิโลวัตต์ เหมาะสำหรับติดตั้งผลิตไฟฟ้าในพื้นที่ห่างไกลเพื่อจัดเก็บกระแสไฟฟ้าลงในแบตเตอรี่ และมีภาระทางไฟฟ้าไม่มากนัก เช่น ใช้ตามครัวเรือนหรือสำนักงานขนาดเล็กที่อยู่ห่างไกล

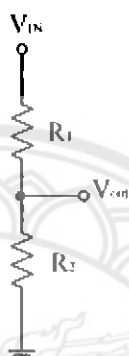
3. กังหันลมขนาดกลาง (Medium Wind Turbine) มีขนาดกำลังผลิตไฟฟ้าอยู่ระหว่าง 20 - 200 กิโลวัตต์ เหมาะสำหรับติดตั้งผลิตไฟฟ้าในระบบผสมผสานกับการผลิตไฟฟ้าชนิดอื่น เช่น ระบบผสมผสานเซลล์-เซลล์แสงอาทิตย์-กังหันลม เพื่อใช้ในระบบ Minigrid ตามชุมชนห่างไกล

4. กังหันลมขนาดใหญ่ (Large Wind Turbine) มีขนาดกำลังผลิตไฟฟ้าอยู่ระหว่าง 200 - 1,500 กิโลวัตต์ เหมาะสำหรับติดตั้งผลิตไฟฟ้าแบบทุ้งกังหันลมบนฝั่ง เพื่อเชื่อมต่อไฟฟ้าเข้ากับระบบสายส่ง (Grid Connection)

5. กังหันลมขนาดใหญ่มาก (Very Large Wind Turbine) มีขนาดกำลังผลิตมากกว่า 1,500 กิโลวัตต์ เหมาะสำหรับติดตั้งผลิตไฟฟ้าแบบทุ้งกังหันลมบนฝั่งและนอกชายฝั่ง เพื่อเชื่อมต่อไฟฟ้าเข้ากับระบบสายส่ง (Grid Connection)

2.2 วงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้า (Voltage Divider Circuit)

วงจรแบ่งแรงดันด้วยความต้านทานประกอบด้วยตัวต้านทานจำนวน 2 ตัวซึ่งต่ออนุกรมกันตามวงจรในรูปที่ 2.7 แรงดันอินพุตจะถูกต่อเข้าที่ด้านบนของวงจรแบ่งแรงดัน และเอาต์พุตของแรงดันจะอยู่ที่จุดต่อระหว่างตัวต้านทานทั้งสองนั้น และจุดอ้างอิงแรงดันซึ่งปกติมักจะต่อกับกราวด์ก็คือส่วนล่างของวงจรแบ่งแรงดันนั่นเอง



รูปที่ 2.7 วงจรแบ่งแรงดันโดยใช้ตัวต้านทาน

วงจรแบ่งแรงดันทำงานสอดคล้องกับกฎของโอห์มคือ $V = IR$ ถ้าแรงดันอินพุต V_{IN} ถูกป้อนเข้าที่วงจรแบ่งแรงดันกระแสจะไหลผ่านตัวต้านทานทั้งสองนั้น จากกฎของโอห์มจะกล่าวได้ว่าแรงดันตกคร่อมตัวต้านทานแต่ละตัวในวงจรก็จะเป็นสัดส่วนจากค่าความต้านทานกับแรงดันอินพุต โดย $V_1 = I(R_1)$, $V_{OUT} = I(R_2)$ และ $V_{IN} = V_1 + V_{OUT}$ แรงดันอินพุตจะถูกแบ่งเป็นแรงดันสองค่า

เมื่อแปลงสมการของวงจรแบ่งแรงดันเพื่อหาแรงดันเอาต์พุตจากแรงดันอินพุตได้จากสมการที่ 2.1

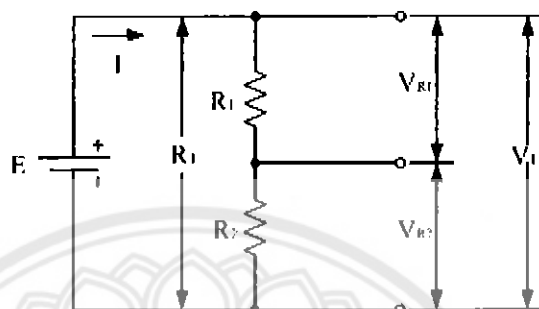
$$\frac{V_{OUT}}{V_{IN}} = \frac{IR_2}{I(R_1 + R_2)} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad (2.1)$$

เมื่อแปลงฟังก์ชันเหล่านี้จะแสดงให้เห็นว่าแรงดันเอาต์พุตนั้นขึ้นอยู่กับแรงดันอินพุตและค่าความต้านทานของ R_1 และ R_2 ในตัวอย่างในทางอุดมคตินี้ แรงดันเอาต์พุตและแรงดันอินพุตสามารถแสดงในอัตราส่วนของสมการที่ 2.2

$$\frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad (2.2)$$

2.2.1 วงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้าที่ไม่มีโหลด (Unloaded Voltage Divider)

วงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้าที่ไม่มีโหลดเป็นวงจรในสถานะที่ยังไม่ต่อโหลดเข้ากับแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้า โดยจะมีตัวต้านทานต่ออนุกรม อยู่กับวงจร ในสถานะนี้ยังไม่มีกระแสไฟฟ้าจ่ายสู่โหลด (Load) ที่ต่ออยู่ภายนอก ลักษณะดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 วงจรแบ่งแรงดันที่ไม่มีโหลด

จากรูปที่ 2.8 จะได้สมการแบ่งแรงดัน ดังนี้ $R_T = R_1 + R_2$ (2.3)

จากกฎของโอห์มจะได้สมการกระแส คือ $I = \frac{E}{R_T}$ (2.4)

และ $V_{R1} = IR_1$ (2.5)

แทนค่าสมการที่ (2.4) ลงในสมการที่ (2.5) จะได้

$$V_{R1} = E \frac{R_1}{R_T} \quad (2.6)$$

เมื่อ $R_T = R_1 + R_2$ (2.7)

ดังนั้น $V_{R1} = E \frac{R_1}{R_1 + R_2}$ (2.8)

และ $V_{R2} = IR_2$ (2.9)

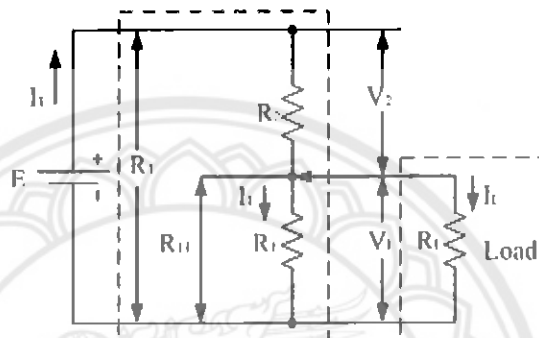
แทนค่าลงในสมการที่ (2.4) ลงในสมการที่ (2.9) จะได้

$$V_{R2} = E \frac{R_2}{R_T} \quad (2.10)$$

ดังนั้น $V_{R2} = E \frac{R_2}{R_1 + R_2}$ (2.11)

2.2.1 วงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้าที่มีโหลด (loaded Voltage Divider)

วงจรแบ่งแรงดันที่มีโหลดเป็นสภาวะของวงจรที่ต่อ โหลด (Load) เข้ากับแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าซึ่งจะทำให้มีกระแสไฟฟ้าไหลในวงจรเกิดขึ้น โดยกระแสที่ไหลผ่านความต้านทานแต่ละตัวที่ทำหน้าที่แบ่งแรงดันวงจร เรียกว่า กระแสบริดเคอร์ (Bleeder Current) ซึ่งในวงจรแบ่งแรงดันนี้ ค่ากระแสบริดเคอร์ควรมีค่าน้อยประมาณ 10 – 20 เปอร์เซ็นต์ของกระแสโหลด มีการต่อวงจร ดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 วงจรแบ่งแรงดันที่มีโหลด

เมื่อ	E	=	แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าของวงจร
	R_1, R_2	=	ความต้านทานที่ต่ออยู่ภายในวงจร
	R_L	=	ความต้านทานของโหลด
	R_T	=	ความต้านทานรวมทั้งหมดของวงจร
	I_T	=	กระแสที่ไหลในวงจรทั้งหมด
	I_1	=	กระแสที่ไหลผ่านความต้านทาน R_1
	I_L	=	กระแสที่ไหลผ่านโหลด
	V_L	=	แรงดันตกคร่อมโหลด
	V_2	=	แรงดันตกคร่อมความต้านทาน R_2

จากวงจรดังรูปที่ 2.9 จะได้ความสัมพันธ์ของสมการดังนี้

$$R_{T1} = \frac{R_1 \times R_L}{R_1 + R_L} \quad (2.12)$$

ดังนั้น
$$R_T = R_{T1} + R_2 \quad (2.13)$$

และสมการหาค่าแรงดันจะได้

$$V_L = E \frac{R_{T1}}{R_T} \quad (2.14)$$

$$V_2 = E \frac{R_2}{R_T} \quad (2.15)$$

หรือ $V_2 = E - V_L \quad (2.16)$

สมการหาค่ากระแสจะได้

$$I_L = \frac{V_L}{R_L} \quad (2.17)$$

$$I_1 = \frac{V_L}{R_L} \quad (2.18)$$

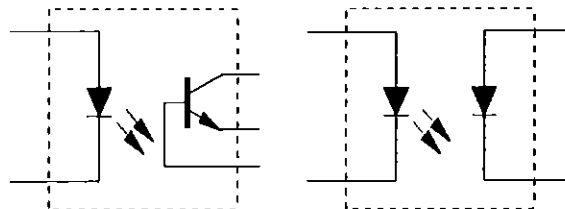
และ $I_T = I_1 + I_2 \quad (2.19)$

2.3 วงจรออปโตคัปเปิลเลอร์ (Opto-Coupler Circuit)

อุปกรณ์เชื่อมต่อทางแสง (Opto-Isolator) หรือที่เรียกว่าออปโตคัปเปิลเลอร์ (Opto-Coupler) เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ในการเชื่อมต่อทางแสง โดยใช้หลักการเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณแสง และเปลี่ยนกลับจากแสงเป็นไฟฟ้าตามเดิม ใช้สำหรับการเชื่อมต่อสัญญาณระหว่างสองวงจรที่ต้องการแยกทางไฟฟ้าอย่างเด็ดขาดเพื่อป้องกันการรบกวนกันทางไฟฟ้า แบ่งออกเป็นหลายชนิดแต่ละชนิดจะประกอบด้วยแอลอีดี ส่งแสงซึ่งปกติจะเป็นชนิดอินฟราเรดและตัวรับแสงที่เป็นโฟโตทรานซิสเตอร์หรือโฟโตไดโอด โดยจะถูกผลิตรวมอยู่ในตัวเดียวกัน

2.3.1 โครงสร้างสัญลักษณ์อุปกรณ์เชื่อมต่อทางแสง

โครงสร้างสัญลักษณ์อุปกรณ์เชื่อมต่อทางแสงจะเหมือนกับอุปกรณ์ประเภทโฟโต แต่จะเพิ่มอุปกรณ์ส่งแสงอินฟราเรดคือไดโอดเปล่งแสงอินฟราเรดเข้าไปอีกหนึ่งตัว เช่น โฟโตทรานซิสเตอร์จะเพิ่มไดโอดเปล่งแสงอินฟราเรดเข้าไปอีกหนึ่งตัวจะได้ ออปโตทรานซิสเตอร์ อุปกรณ์ออปโตคัปเปิลเลอร์อื่นก็เช่นเดียวกัน



ก. สัญลักษณ์ออปโตทรานซิสเตอร์ ข. สัญลักษณ์ออปโตไดโอด

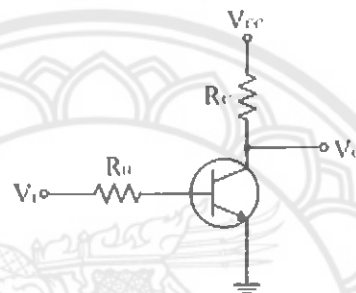
รูปที่ 2.10 แสดงสัญลักษณ์อุปกรณ์เชื่อมต่อทางแสงชนิดต่างๆ

ที่มา : http://www.sptc.ac.th/prapruet/devicesweb/books/book_16.htm

ปัจจุบันอุปกรณ์เชื่อมต่อทางแสงถูกสร้างขึ้นมาในรูปของไอซี 6 ขาปิดที่ภายใน ด้านอินพุตจะเป็นแอลอีดีอินฟราเรด (LED Infrared) ส่วนทางด้านเอาต์พุตนั้นจะเป็นอุปกรณ์ประเภทโฟโตรีซิสเตอร์ ซึ่งมียูมามากมายเช่น โฟโต้ไดโอด

2.4 วงจรทรานซิสเตอร์สวิตช์ (Transistor Switching Circuit)

วงจรสวิตช์โดยปกติจะไม่มีกระแสแรงดัน เนื่องจากทรานซิสเตอร์จะถูกให้ทำงานแค่สองโหมดเท่านั้นคือ โหมดอิ่มตัว (Saturation Mode) และ โหมดคัตออฟ (Cutoff Mode)



รูปที่ 2.11 วงจรสวิตช์

จากรูปที่ 2.11 เป็นวงจรทรานซิสเตอร์สวิตช์แบบพื้นฐาน ซึ่งการพิจารณาวงจรจะพิจารณาในกรณีที่ ทรานซิสเตอร์อิ่มตัว (“ON” หรือ นำกระแส) กับทรานซิสเตอร์คัตออฟ (“OFF” หรือ ไม่นำกระแส) ซึ่งในวงจรดังกล่าวเอาต์พุตที่ได้ (V_o) จะกลับเฟสกับอินพุต (V_i) นั่นคือ ถ้าอินพุตเป็น High (V_i) เอาต์พุตจะมีค่าเป็น Low (0 V) และ ถ้าอินพุตเป็น Low เอาต์พุตจะมีค่าเป็น High (มีค่าใกล้เคียง V_{CC}) เรียกวงจรแบบนี้ว่า วงจรอินเวอร์เตอร์ (Inverter)

เมื่อทรานซิสเตอร์ “ON” หรือ saturation

$$I_{C_{sat}} = \frac{V_{CC}}{R_C} \quad (2.20)$$

การออกแบบจะต้องให้ I_B มีค่ามากพอที่จะทำให้ ทรานซิสเตอร์ “ON” อย่างเต็มที่ดังนั้น

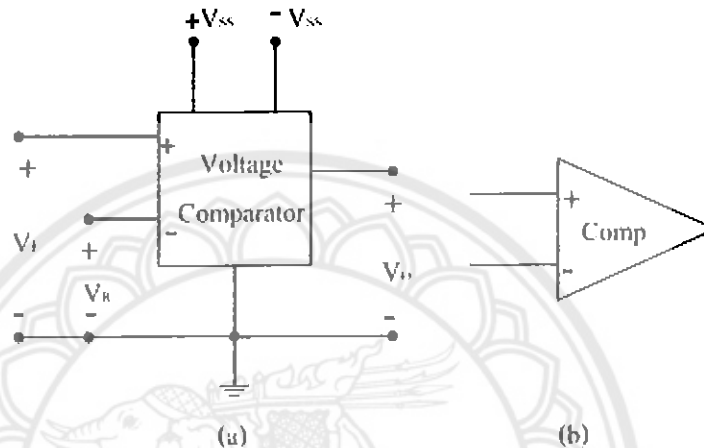
$$I_B > \frac{I_{C_{sat}}}{\beta_{DC}} \quad (2.21)$$

เมื่อแรงดันอินพุตเท่ากับ V_i และ R_B ดังนั้น

$$V_i = I_B R_B + V_{BE} \quad (2.22)$$

2.5 วงจรเปรียบเทียบแรงดัน (Voltage Comparator)

เป็นวงจรที่ใช้เปรียบเทียบสัญญาณอินพุตที่ป้อนให้ที่ขาอินพุตขาหนึ่ง กับระดับแรงดันเปรียบเทียบที่ขาอินพุตอีกขาหนึ่ง และระดับแรงดันของเอาต์พุตจะถูกจำกัดอยู่ที่แรงดันที่ป้อนให้กับออปแอมป์ ($+V_{ss}$ และ $-V_{ss}$)



รูปที่ 2.12 (a) แผนผังแสดงลักษณะของวงจรเปรียบเทียบแรงดัน

(b) สัญลักษณ์ของวงจรเปรียบเทียบแรงดัน

โดยมีเงื่อนไขว่า ถ้า $V_1 > V_R$ จะได้ว่า $V_O = +V_{ss}$ แต่ถ้า $V_1 < V_R$ จะได้ว่า $V_O = -V_{ss}$

2.6 ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller)

ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) คืออุปกรณ์ควบคุมขนาดเล็กซึ่งบรรจุความสามารถที่คล้ายคลึงกับระบบคอมพิวเตอร์ โดยในไมโครคอนโทรลเลอร์ได้รวมเอาซีพียู หน่วยความจำ และพอร์ต ซึ่งเป็นส่วนประกอบหลักสำคัญของระบบคอมพิวเตอร์เข้าไว้ด้วยกัน โดยทำการบรรจุเข้าไว้ในตัวถังเดียวกัน

2.6.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับไมโครคอนโทรลเลอร์ ตระกูล AVR ด้วย Arduino

Arduino เป็นภาษาอิตาลีแปลว่า เพื่อนแท้ มีสำเนียงการอ่านออกเสียงที่เป็นรูปแบบเฉพาะ และยังไม่มีการกำหนดเป็นคำภาษาไทยขึ้นมาอย่างเป็นทางการ บ้างก็อ่านว่า “อา-ดู-วี-โน” หรือ “อา-เดีย-โน” หรือ “เอ-อา-ดู-ไอ-โน” และอื่น ๆ อีกมากมาย เพื่อไม่ให้เกิดความสับสน จึงขอใช้คำอ่านว่า “อา-เดีย-โน” และเขียนทับศัพท์ว่า Arduino ไปเลย

Arduino (อา-เดีย-โน) เป็นชื่อโครงการพัฒนาไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR แบบ Open Source ที่ได้รับความนิยมจากผู้ใช้งานทั่วโลกเป็นอย่างมาก เพราะระบบวงจรมีขนาดเล็ก ใช้

อุปกรณ์น้อยชิ้น ทำให้ง่ายต่อการต่อวงจรและประหยัดต้นทุนในการสร้าง นอกจากนี้ยังมีจุดเด่นในเรื่องของความง่ายในการเรียนรู้และใช้งาน เนื่องจากมีการออกแบบคำสั่งต่างๆ ขึ้นมาสนับสนุนการใช้งาน ด้วยรูปแบบที่ง่ายไม่ซับซ้อน สามารถนำไปใช้งานได้จริง และยังสามารถสร้างคำสั่งและ Library ใหม่ๆ ขึ้นมาใช้เองได้เมื่อมีความชำนาญมากขึ้น รองรับการทำงานทั้ง Windows Linux และ Macintosh OSX

ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR เป็นไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ของบริษัท Atmel มีสถาปัตยกรรมภายในเป็นแบบ RISC (reduced instruction set computer) โดยใช้สัญญาณนาฬิกาเพียง 1 ลูกในการปฏิบัติงานใน 1 คำสั่ง โดยจะประกอบด้วยหน่วยความจำโปรแกรมภายในที่เป็นแบบแฟลช โปรแกรมข้อมูลได้แบบ In-System programmable และในบางเบอร์ยังสามารถมีการกำหนดตำแหน่งของหน่วยความจำที่สร้างเป็น Bootloader กล่าวคือสามารถเขียนโปรแกรมเพื่อติดต่อกับ PC หรือ ไอซีตัวอื่นๆ และยังสามารถ โปรแกรมให้กับตัวเองได้ มีขนาดของหน่วยความจำตามเบอร์ของไอซีแต่ละตัว

สำหรับโครงงานนี้เลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR เบอร์ ATMEGA328 ของ ATMEL เป็น MCU โดย MCU รุ่นนี้จะบรรจุอยู่ในตัวถังแบบ 28 Pin DIP มีหน่วยความจำ 32 KB / 1 KB EEPROM / 2 KB SRAM ทำงานที่แรงดัน 5 โวลต์ ค้างรูปที่ 2.13 โดย MCU ตัวนี้จะมีจุดเด่น คือ เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ขนาดเล็กแต่เพียงพร้อมไปด้วยทรัพยากรพื้นฐานต่างๆ อย่างครบถ้วน เหมาะแก่การใช้ในการศึกษาเรียนรู้สำหรับผู้เริ่มต้น และยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานเกี่ยวกับการควบคุมและประมวลผลต่างๆ ได้เป็นอย่างดี



รูปที่ 2.13 ไมโครคอนโทรลเลอร์ ATmega328

สำหรับการเขียนโปรแกรมของ Arduino นั้นใช้ภาษา C++ ซึ่งเป็นรูปแบบภาษาซีประยุกต์แบบหนึ่งที่มีโครงสร้างการทำงานของตัวภาษาโดยรวมคล้ายกับภาษาซีมาตรฐาน (ANSI-C) ทั่วไป เพียงแต่ได้มีการปรับปรุงเพื่อลดความยุ่งยากในการใช้งานลง เพื่อให้ผู้ใช้สามารถใช้งานและเขียนโปรแกรมได้ง่าย สะดวกมากกว่าเขียนภาษาซีแบบมาตรฐานโดยตรง ซึ่งในความเป็นจริงแล้วในการเขียนโปรแกรมของ Arduino สามารถใช้คำสั่งต่างๆ ที่เป็นคำสั่งตามมาตรฐานของ ANSI-C เข้ามาใช้ในการเขียนโปรแกรมได้ทันที โดยรูปแบบการเขียนโปรแกรมและ

การใช้งานคำสั่งต่างๆนั้น สามารถอ้างอิงจากหนังสือตำราของภาษาซี มาตรฐาน ANSI-C ได้โดยตรง

2.7 แบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด

แบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดเป็นแบตเตอรี่แบบชาร์จได้ที่เก่าแก่ที่สุดในบรรดาแบตเตอรี่ด้วยกัน ประดิษฐ์ขึ้นมาโดยแกสตัน ฟลองด์ (Gaston Plante) นักฟิสิกส์ชาวฝรั่งเศสตั้งแต่ปี ค.ศ. 1859 (พ.ศ.2402) เป็นแบตเตอรี่แบบชาร์จได้ชนิดแรกที่ทำออกมาเพื่อการค้า และในปัจจุบันยังมีการใช้งานกันอย่างแพร่หลาย โดยมักจะทำเป็นแบตเตอรี่ที่มีความจุสูงๆ ที่ให้กระแสได้มากเนื่องจากมีต้นทุนในการเก็บพลังงานถูกกว่าแบตเตอรี่ชาร์จได้ชนิดอื่นๆ นิยมใช้กันในรถยนต์และยานพาหนะต่างๆ เช่น รถยกไฟฟ้า, รถเข็น, สกู๊ตเตอร์, รถกอล์ฟ, ระบบสำรองไฟฟ้า

ในตอนแรกแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด ที่ผลิตออกมาจำหน่ายมีเฉพาะที่เป็นแบตเตอรี่แบบเปียก (Flooded Type หรือ Wet Type) ที่ต้องคอยเติมน้ำกลั่นเท่านั้น จนกระทั่งในช่วงกลางของทศวรรษที่ 70 (ระหว่างปี พ.ศ.2513-2523) ได้มีการพัฒนาแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดแบบแห้ง ให้ใช้งานได้หลังจากที่มีการจดสิทธิบัตรมาตั้งแต่ปี ค.ศ.1957 (พ.ศ.2500) โดยอ็อตโต โทจาเช่ (Otto Jache) ทำให้การใช้งานสะดวกขึ้นสามารถวางตำแหน่งของแบตเตอรี่ได้หลายรูปแบบมากขึ้น วางนอนหรือวางตะแคงได้ (แต่ห้ามวางกลับหัว) ไม่จำเป็นต้องวางในแนวตั้งเพียงอย่างเดียวเพราะอิเล็กโทรไลต์ที่เป็นน้ำกรดจะไม่ไหลหกลงมาเหมือนแบตเตอรี่แบบเปียก ซึ่งเทคนิคในการทำให้ น้ำกรดไม่ไหลออกมา คือการใช้วัสดุอุดซับน้ำกรดเอาไว้ จากนั้นจึงทำการฉีกซีล (Seal) ให้ปิดสนิทเพื่อป้องกันการระเหยของน้ำและแก๊ส ซึ่งเป็นส่วนประกอบของน้ำกรด แบตเตอรี่จึงไม่มีการสูญเสียอิเล็กโทรไลต์ออกไปจากแบตเตอรี่

2.7.1 การแบ่งประเภทของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด

แบตเตอรี่แบบแห้งจะแบ่งเป็น 2 ประเภท คือประเภทที่ใช้เจลเป็นวัสดุอุดซับกรด เรียกว่า แบตเตอรี่แบบเจล (Gel Battery or GelCell) และประเภทที่ใช้แผ่นซิลิกาไฟเบอร์เป็นตัวอุดซึมเรียกว่า แบตเตอรี่แบบ AGM (AGM Battery) ซึ่งลักษณะการแบ่งประเภทแบบนี้เป็นการแบ่งตามลักษณะ โครงสร้างทางกายภาพของแบตเตอรี่แต่การแบ่งประเภทของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดยังแบ่งได้อีกลักษณะหนึ่งคือ การแบ่งประเภทตามลักษณะการใช้งาน โดยจะแบ่งเป็นแบตเตอรี่แบบใช้งานทั่วไป หรือแบบที่ใช้สำหรับสตาร์ทเครื่องยนต์ แบบคายประจุลึกและแบบลูกผสม

ความแตกต่างระหว่างแบตเตอรี่แบบเจลและแบบ AGM คือ แบตเตอรี่แบบเจลจะเป็นแบตเตอรี่ที่แห้งกว่าแบบ AGM ถ้าเปลือกนอกของมันแตกจะไม่มีน้ำกรดไหลหรือซึมออกมา แต่สำหรับแบบ AGM จะซับน้ำกรดได้ประมาณ 95% ดังนั้นถ้าเปลือกของมันแตกแต่น้ำกรดจะไหลออกมา แต่ก็อาจจะมีการซึมออกมาได้บ้างเล็กน้อย ในปัจจุบันจะนิยมใช้แบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดแบบ

AGM มากกว่าแบบเจล ส่วนแบบเจลมีการใช้น้อยลงเนื่องจากมีข้อเสีย คือ เจลมักจะละลายเมื่ออยู่ในสภาพอากาศที่ร้อนและถ้าเกิดการโอเวอร์ชาร์จขึ้นเจลอาจจะเปลี่ยนรูปเป็นสารเหนียวๆ ที่เรียกว่า วอยด์ (Void) ไปเกาะติดแน่นอยู่ที่แผ่นธาตุซึ่งขวางการแลกเปลี่ยนประจุระหว่าง อิเล็กโทรไลต์และแผ่นธาตุ ทำให้ประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ลดลง

แบตเตอรี่ทั้งแบบ AGM และแบบเจล ยังแบ่งย่อยออกได้เป็น แบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดแบบ ปิดผนึกหรือ SLA (Sealed Lead Acid) และแบบปิดผนึกที่มีวาล์วระบายแรงดันหรือ VRLA (Valve Regulator Lead Acid) แบตเตอรี่แบบ VRLA นี้จะมีการติดตั้งเซฟตี้วาล์ว (Safety Valve) เพื่อใช้ระบายแก๊สในกรณีที่มีความดันภายในเซลล์สูงเกินไปเพื่อป้องกันแบตเตอรี่เสียหาย

2.7.2 การใช้และเก็บอย่างถูกวิธี

แบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดจะ ไม่มีการจำว่าก่อนชาร์จแบตเตอรี่มีประจุเหลืออยู่เท่าไร หรือ เมมมอรีเอฟเฟก (Memory Effect) ต่างจากแบตเตอรี่แบบนิเกิล-แคดเมียม ถ้าแบตเตอรี่มีประจุเต็มอยู่แล้วการนำไปชาร์จโดยการให้กระแสต่ำๆ ไปเรื่อยๆ แบตเตอรี่จะไม่เสีย แต่มันไม่ชอบการคายประจุที่ลึกมากๆ โดยเฉพาะการคายประจุจนหมด ทุกครั้งที่เราคิสชาร์จมันลึกมากๆ จะทำให้ความสามารถในการเก็บประจุของมันลดลง ส่งผลให้อายุการใช้งานสั้นลง ดังนั้นถ้าจำเป็นต้องใช้งานจนแบตเตอรี่ประจุหมดบ่อยๆ ควรป้องกันการคายประจุที่ลึกมากเกินไป โดยเลือกใช้แบตเตอรี่ที่มีขนาดใหญ่ขึ้นความจุสูงขึ้น (แอมป์ชั่วโมงมากขึ้น) เพื่อไม่ให้แบตเตอรี่คายประจุลึกมากนัก

การทิ้งแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดไว้เฉยๆ เป็นเวลานานแบตเตอรี่จะคายประจุออกไปเรื่อยๆ ด้วยตัวมันเอง (Self Discharge) ถ้าไม่ชาร์จเพื่อเติมประจุให้กับแบตเตอรี่ผลึกของตะกั่วซัลเฟตที่เกิดขึ้นที่แผ่นธาตุลบจะรวมตัวกันแล้วมีขนาดใหญ่ขึ้นผลึกที่มีขนาดใหญ่นี้จะไปขัดขวางการไหลของกระแสทำให้กระแสไหลได้น้อยลง ส่งผลให้แบตเตอรี่จ่ายกระแสให้กับโหลดได้น้อยลง นอกจากนี้ผลึกที่มีขนาดใหญ่จะมีเหลี่ยมหรือมุมที่คมและแหลม ในกรณีที่ร้ายแรงอาจจะทิ่มจนแผ่นธาตุทะลุได้ ทำให้แบตเตอรี่เกิดการลัดวงจรขึ้นภายในเราจะเรียกปรากฏการณ์ที่เกิดผลึกขนาดใหญ่ของตะกั่วซัลเฟตนี้ว่าการเกิดซัลเฟชัน (Sulphation)

ซัลเฟชัน (Sulphation) คือ การเกิดผลึกขนาดใหญ่ของตะกั่วซัลเฟตไปเกาะที่อิเล็กโทรดลบ (แผ่นธาตุลบ) ซึ่งผลึกจะไปขัดขวางการไหลของกระแสไฟฟ้ามีสาเหตุมาจากการเก็บแบตเตอรี่ไว้โดยมีประจุในแบตเตอรี่น้อยเกินไป การเกิดซัลเฟชันจะยิ่งง่ายขึ้นถ้าทิ้งแบตเตอรี่ไว้โดยที่มันมีประจุเหลืออยู่น้อยหรือ ไม่เหลืออยู่เลย ดังนั้นจึงควรเก็บแบตเตอรี่ไว้โดยการชาร์จให้ประจุเต็มอยู่เสมอ โดยอาจจะชาร์จเติมประจุโดยใช้กระแสต่ำๆ ไปเรื่อยๆ ซึ่งเรียกว่าทริกเกิลชาร์จ หรือ โฟลทชาร์จซึ่งการชาร์จแบบนี้มักจะพบในระบบสำรองไฟฟ้าหรือระบบไฟแสงสว่างฉุกเฉิน เพื่อให้แบตเตอรี่มีประจุอยู่เต็มตลอดเวลาเป็นการรักษาแบตเตอรี่ และทำให้แบตเตอรี่พร้อมที่จะ

จ่ายพลังงานเมื่อระบบไฟฟ้าหลักขัดข้องหรือจ่ายกระแสให้กับระบบไฟส่องสว่างเมื่อเกิดเหตุฉุกเฉินหรือไฟฟ้าดับ

การชาร์จแบตเตอรี่ตะกั่วกรดโดยทั่วไปใช้เวลาประมาณ 8-16 ชั่วโมง (ขึ้นอยู่กับขนาดความจุของแบตเตอรี่) โดยแบตเตอรี่แบบแห้งจะชาร์จได้ช้ากว่าแบบเปียก เพราะจะต้องลดอัตราการชาร์จลงเพื่อไม่ให้เกิดแก๊สขึ้นภายในเซลล์มากเกินไป การสะสมของแก๊สจะทำให้ความดันภายในเซลล์สูงขึ้น ทำให้สูญเสียอิเล็กโทรไลต์ไปจากการระเหยแก๊สหรือน้ำออกทางรูระบายหรือเซฟตี้วาล์ว หรืออาจทำให้แบตเตอรี่ถึงขั้นแตกเสียหายได้ถ้าชาร์จเร็วสูงทำให้ความดันสูงไปด้วยจนเซฟตี้วาล์วระบายความดันไม่ทัน

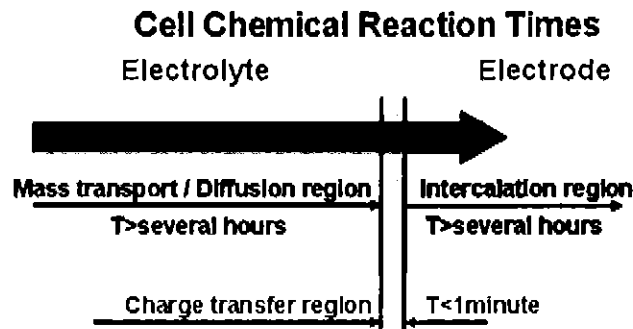
2.8 การชาร์จและวิธีการชาร์จแบตเตอรี่เบื้องต้น

การจัดเก็บพลังงานไฟฟ้าส่วนใหญ่เป็นที่รู้จักกันคือ แบตเตอรี่ (Battery) โดยตัวแบตเตอรี่จะเก็บพลังงานไฟฟ้าได้ในรูปของไฟฟ้ากระแสตรง ดังนั้นพลังงานไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากพลังงานทดแทนต่างๆ จะต้องถูกเปลี่ยนและปรับให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรงด้วยเช่นกัน ด้วยวงจรต่างๆ เช่น วงจรเรกติไฟเออร์, วงจรคอนเวอร์เตอร์ เป็นต้น

พลังงานไฟฟ้ากระแสตรงที่ถูกเปลี่ยนรูปมาแล้วนี้จะถูกนำไปยังวงจรที่ใช้ควบคุมปริมาณการประจุไฟฟ้าที่ได้ให้ถูกต้องและเหมาะสมกับแบตเตอรี่ที่เราเลือกใช้งานในระบบที่เรียกว่า วงจรชาร์จเจอร์ (Charger) นั่นเอง และที่ตามมากับวงจรชาร์จก็คือ ชนิดของวงจรที่เราจะต้องเลือกใช้และวิธีการชาร์จที่เหมาะสมกับแบตเตอรี่นั้นๆ ทั้งนี้ก็เพราะการเสียหายของแบตเตอรี่ส่วนใหญ่เกิดขึ้นจากการชาร์จที่ไม่ถูกต้องหรือไม่เหมาะสมกับแบตเตอรี่เหล่านั้น

2.8.1 ช่วงเวลาขณะชาร์จแบตเตอรี่

ในช่วงเวลานี้จะหมายถึง การส่งผ่านพลังงานไฟฟ้าเข้าไปยังตัวแบตเตอรี่ และแบตเตอรี่จะรับพลังงานไฟฟ้าเหล่านั้นด้วยกระบวนการทางเคมี โดยปฏิกิริยาทางเคมีจะไม่เกิดขึ้นทันที แต่มันจะค่อยๆมีผลที่เกิดขึ้นกับอิเล็กโทรไลต์ โดยอิเล็กโทรดกับอิเล็กโทรไลต์จะอยู่ใกล้ๆกัน และอิเล็กโทรดจะคอยเปลี่ยนหรือรับพลังงานก่อนอิเล็กโทรไลต์ เราจะสังเกตได้ว่าแบตเตอรี่ขนาดใหญ่จะมีอิเล็กโทรไลต์มากด้วยดังรูปที่ 2.14



Charge transfer / chemical conversion at the electrode surface (Short time constant)

Mass transfer / diffusion of ions in the electrolyte bulk

(Long time constant. Continues until all materials have been transformed or transferred)

Intercalation of ions in the electrode bulk (Long time constant)

รูปที่ 2.14 แสดงพฤติกรรมที่เกิดขึ้นในการชาร์จแบตเตอรี่

1. กระบวนการประจุ คือ ช่วงเวลาของการกระตุ้นปฏิกิริยาเคมีให้กับรอยต่อระหว่างอิเล็กโทรดกับอิเล็กโทรไลต์ ซึ่งเป็นกระบวนการที่รวดเร็ว

2. กระบวนการส่งผ่านไปยังมวล คือ ในช่วงเวลานี้จะเป็นการแปรรูปหรือการแพร่กระจายของไอออนอันเกิดจากการประจุ ทำให้เกิดการเคลื่อนที่และส่งผ่านบริเวณผิวของแผ่นอิเล็กโทรดกระบวนการนี้จะค่อนข้างช้าและเป็นไปอย่างต่อเนื่องโดยทำให้วัสดุค่อยๆ เปลี่ยนรูปไป กระบวนการชาร์จแบตเตอรี่นั้น จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติที่สัมพันธ์กันสำหรับการชาร์จแบตเตอรี่ที่สมบูรณ์ การเกิดปฏิกิริยาทางเคมีจะขึ้นอยู่กับสารเคมีและโครงสร้างของเซลล์ ค่าเวลาทงที่สำหรับการประจุจะอยู่ที่ประมาณ 1 นาทีหรือน้อยกว่า แต่กระบวนการเปลี่ยนผ่านมวลจะใช้เวลามากกว่าหนึ่งชั่วโมงหรือมากกว่านั้นขึ้นอยู่กับความจุของแบตเตอรี่

2.8.2 ประสิทธิภาพในการชาร์จ

ประสิทธิภาพของการชาร์จแบตเตอรี่นั้น ถ้าเราไม่พิจารณาคุณสมบัติของตัวแบตเตอรี่แล้ว (หมายถึง ไม่พิจารณาเรื่องของความจุ หรือแรงดัน) คือ อัตราส่วนระหว่างพลังงานที่แบตเตอรี่ถูกนำออกไปใช้งาน เทียบกับพลังงานที่เกิดขึ้นจากการชาร์จเก็บไว้ในตัวแบตเตอรี่ (หน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์) โดยประสิทธิภาพการชาร์จอาจเรียกว่า Coulombic Efficiency หรือ Charge Acceptance

$$\text{Effic} = P_o/P_i \times 100 \quad (2.23)$$

เมื่อ Effic คือ ประสิทธิภาพในการชาร์จ

P_o คือ พลังงานที่ถูกใช้งานออกจากแบตเตอรี่

P_i คือ พลังงานที่ใช้ในการชาร์จแบตเตอรี่

การชาร์จที่ยอมรับได้ คือการพิจารณาเวลาที่ใช้ในการชาร์จและอุณหภูมิของแบตเตอรี่ ทั้งนี้ก็เพราะในสถานะที่อุณหภูมิต่ำจะทำให้ระยะเวลาการชาร์จนานขึ้นและประสิทธิภาพการชาร์จ

สูงขึ้นด้วย ในบางครั้งของการชาร์จแบตเตอรี่ที่อุณหภูมิแบตเตอรี่ต่ำ ก็ไม่ได้หมายความว่าจะทำให้แบตเตอรี่เต็มเสมอไปตามที่แรงดันแบตเตอรี่ปรากฏที่ขั้วต่อ ซึ่งเราอาจจะต้องพิจารณาในเรื่องปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการชาร์จเพิ่มเติม (Factors Influencing State of Charge)

2.8.3 พื้นฐานของวิธีการชาร์จแบตเตอรี่

1. การชาร์จแบบแรงดันคงที่ (Constant Voltage) การชาร์จแบบแรงดันคงที่นี้เป็นวิธีการที่ง่าย โดยกำหนดให้แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงสำหรับชาร์จมีค่าคงที่อย่างเช่น การใช้หม้อแปลงลดทอนแรงดันลง (Step down transformer) จากแรงดัน 220 โวลต์ จากนั้นก็เข้าไปยังวงจรเรกติไฟเออร์ เพื่อเปลี่ยนเป็นไฟฟ้ากระแสตรงและนำกระแสที่ได้ชาร์จเข้ากับแบตเตอรี่โดยตรง และลักษณะการชาร์จเดียวกันนี้ก็ใช้กับการชาร์จแบตเตอรี่รถยนต์ หรือระบบสำรองกำลังไฟฟ้าขนาดใหญ่ โดยแบตเตอรี่ที่ใช้เหล่านี้จะเป็นแบบตะกั่ว-กรด (lead-acid) และในบางครั้งแบตเตอรี่แบบลิเทียมไอออน (lithium-ion) ก็ใช้วิธีการชาร์จแบบแรงดันคงที่นี้ด้วย อย่างไรก็ตามควรมีวงจรป้องกันและให้ความระมัดระวังกับวิธีการชาร์จหรือการใช้งานกับแบตเตอรี่ด้วย

2. การชาร์จแบบกระแสคงที่ (Constant Current) การควบคุมปริมาณกระแสที่ใช้ในการชาร์จให้อยู่ในค่าที่กำหนด ซึ่งกระแสนี้จะเปลี่ยนแปลงตามแรงดันที่ชาร์จ หรือวงจรที่ออกแบบมาเพื่อจำกัดกระแส โดยการชาร์จแบบกระแสคงที่นี้ จะใช้การตรวจสอบแรงดันที่ตกคร่อมตัวแบตเตอรี่ตามที่กำหนด เพื่อเป็นการบ่งบอกว่าแบตเตอรี่อยู่ในภาวะประจุเต็ม เช่น แบตเตอรี่ 12 โวลต์ จะกำหนดแรงดันชาร์จเต็มไว้ที่ 14.4 โวลต์ - 15 โวลต์ (Cycle use) สำหรับการกลับมาชาร์จใหม่ การชาร์จแบบกระแสคงที่นี้จะถูกออกแบบใช้กับแบตเตอรี่แบบนิเกิล-แคดเมียม (Nickle-cadmium), นิเกิลเมทัลไฮไดรด์ (Nickle-metal hydride : NiMH) หรือจะเป็นเซลล์และแบตเตอรี่ก็ได้

3. การชาร์จแบบกำหนดกระแสเป็นเทเปอร์ (Taper Current) เป็นลักษณะการชาร์จแบบง่ายๆ ที่ไม่ต้องปรับปรุงมาก โดยใช้แหล่งจ่ายแรงดันแบบไม่คงที่ (unregulated constant voltage source) ไม่ต้องใช้ตัวควบคุมการชาร์จในการสร้างสัญญาณชาร์จในลักษณะตัววี (V) ขึ้น ในระหว่างที่ชาร์จนั้นช่วงกระแสที่ลดลงจะทำให้เกิดแรงดันย้อนกลับขึ้น (Back emf) การชาร์จแบบนี้จะต้องระวังอันตราย ที่จะก่อให้เกิดความเสียหายกับเซลล์ในแบตเตอรี่ในลักษณะการชาร์จเกิน ควรปรับปริมาณการชาร์จให้ถูกต้องและมีการควบคุมปริมาณการชาร์จให้เหมาะสม ส่วนใหญ่จะใช้กับแบตเตอรี่แห้งแบบตะกั่ว-กรด (SLA : Sealed Lead Acid) เท่านั้น

4. การชาร์จแบบใช้สัญญาณพัลส์ (Pulsed charge) การชาร์จแบบพัลส์ คือการป้อนกระแสให้กับแบตเตอรี่ในรูปของสัญญาณพัลส์ ปริมาณการชาร์จ (หมายถึงปริมาณกระแส) จะถูกควบคุมการจ่ายสัญญาณพัลส์ด้วยตัวควบคุม ในรูปของการเปลี่ยนแปลงความกว้างอย่างเช่น ในการ

ชาร์จ 1 วินาที จะมีช่วงเวลาหยุดที่ประมาณ 20-30 มิลลิวินาที ในระหว่างชาร์จ 1 รอบ ทั้งนี้เพื่อเป็นการหยุดพักการชาร์จในช่วงเวลาสั้นๆ

การชาร์จแบบใช้สัญญาณพัลส์ จะช่วยให้การทำปฏิกิริยาทางเคมีเพื่อการเก็บพลังงานไฟฟ้าดีขึ้น โดยการออกแบบวงจรชาร์จแบบนี้ง่ายคือ ในช่วงการชาร์จจะใช้สัญญาณพัลส์ที่เกิดขึ้นนี้จ่ายกระแสให้กับแบตเตอรี่ ส่วนในช่วงหยุดพัก จะไม่จ่ายสัญญาณพัลส์และทำให้เหมือนกับการปลดวงจรชาร์จออกจากแบตเตอรี่

5. การชาร์จแบบใช้สัญญาณพัลส์ลบช่วย (Burp Charging) หรือ Reflex หรือ Negative Pulse Charging เป็นการชาร์จใช้ร่วมกับพัลส์ชาร์จ แต่จะมีความแตกต่างตรงที่ในช่วงที่ไม่มีสัญญาณพัลส์ (ที่ตำแหน่ง 0 โวลต์) นั้นจะมีการจ่ายสัญญาณพัลส์ที่เป็นลักษณะการกลับขั้วให้กลับแบตเตอรี่ในช่วงเวลาสั้นๆ เพื่อเป็นการช่วยเร่งให้ฟองก๊าซที่เกิดขึ้นบนแผ่นอิเล็กโทรดภายในแบตเตอรี่ให้หลุดออกไปจากการชาร์จแบบเร็ว ซึ่งจะทำให้เสถียรภาพของการชาร์จดีขึ้น

6. การชาร์จแบบ IUI (IUI charging) เป็นวิธีการชาร์จที่ได้พัฒนามาไม่นาน เพื่อใช้ในการชาร์จแบบเร็วกับแบตเตอรี่แห้งตะกั่ว-กรด โดยเฉพาะสำหรับผู้ผลิตแบตเตอรี่ ไม่เหมาะสำหรับแบตเตอรี่แบบตะกั่ว-กรดทั่วไป

ขั้นตอนของวิธีการนี้คือ ชาร์จด้วยกระแสชาร์จ (I) คงที่จนกว่าแรงดันในแต่ละเซลล์ได้ตามที่กำหนด โดยจะมีก๊าซมาปรากฏให้เห็น จากนั้นในส่วนแรกจะชาร์จในปริมาณที่มากกว่าปกติในระยะแรก จากนั้นก็จะทำการกำหนดค่าแรงดันเพื่อทำการชาร์จแบบแรงดันคงที่ (U) จนกระแสชาร์จค่อยๆปรับลดลงจนกว่าจะถึงค่าที่กำหนดไว้ค่าหนึ่งต่อไปในส่วนที่สองจะทำการชาร์จแบบปกติจนแบตเตอรี่เต็มในปริมาณน้อย ต่อจากนั้นก็เปลี่ยนไปเป็นการชาร์จแบบกระแสคงที่อีกครั้ง (I) และให้แรงดันค่อยๆเพิ่มสูงขึ้นใหม่อีกครั้งจนได้ค่าที่กำหนดแล้วจึงหยุดการชาร์จ ต่อมาในระยะสุดท้ายจะชาร์จแบบแยกเซลล์เพื่อให้มีคุณสมบัติที่เหมือนกันและอายุการใช้งานยาวนาน

7. การชาร์จแบบทริกเกิล (Trickle Charge) การชาร์จแบบนี้เป็นการชาร์จเพื่อต้องการปรับสมดุล การคายประจุด้วยตัวเองของตัวแบตเตอรี่ ซึ่งการชาร์จแบบนี้อาจจะเป็นแบบต่อเนื่องหรือชาร์จแบบคงที่และควบคุมกระแสชาร์จก็ได้ โดยความถี่ในการชาร์จจะขึ้นอยู่กับปริมาณการคายประจุของตัวแบตเตอรี่เอง และในบางครั้งการชาร์จแบบนี้ก็จะถูกประยุกต์ใช้กับการชาร์จแบบอื่นด้วยเช่นกัน ในกรณีแบตเตอรี่เต็มแล้วการชาร์จแบบทริกเกิลชาร์จนี้อาจจะไม่เหมาะกับแบตเตอรี่บางอย่าง เช่น NiMH และ Lithium เพราะอาจจะเป็นอันตรายอันเนื่องมาจากการชาร์จเกินขนาดได้ (Overcharging)

8. การชาร์จแบบช่วงลอยตัว (Float charge) การชาร์จแบบนี้ส่วนใหญ่วงจรชาร์จจะต่อเข้ากับแบตเตอรี่และโหลดขนานกัน โดยวงจรชาร์จจะให้แรงดันของตัวแบตเตอรี่ค้างไว้ค่าหนึ่งเพื่อต้องการให้แบตเตอรี่พร้อมที่จะทำงานและมีประจุเต็มอยู่เสมอ แรงดันสำหรับชาร์จแบบช่วงลอยตัวนี้จะระบุอยู่กับแบตเตอรี่ให้ทราบ (Standby use) ตัวอย่าง เช่น แบตเตอรี่ขนาด 12 โวลต์ แรงดัน

ชาร์จช่วงลดยู่ที่ประมาณ 13.5 โวลต์ - 13.8 โวลต์ ลักษณะการชาร์จแบบนี้จะใช้กับระบบสำรองไฟฟ้า (Emergency power back up system) เพื่อรักษาความปลอดภัย และส่วนใหญ่จะใช้กับแบตเตอรี่แบบตะกั่วกรด การชาร์จแบบในช่วงลดยู่อาจจะต้องให้ความระมัดระวังในช่วงที่แบตเตอรี่จะต้องจ่ายกระแสให้กับ โหลด ทั้งนี้ก็เนื่องจากตัววงจรชาร์จค่อนข้างนานกันกับแบตเตอรี่ อาจจะทำให้เกิดการดึงกระแสจากตัววงจรชาร์จจนอาจเกิดความเสียหายได้ ดังนั้นวงจรชาร์จจะต้องหยุดการทำงานทันทีที่แบตเตอรี่จ่ายพลังงานออกไปหรืออาจจะมีวงจรจำกัดการจ่ายกระแสของวงจรชาร์จภายในด้วย

9. การชาร์จแบบสุ่ม (Random Charging) เป็นการชาร์จที่ไม่สามารถระบุเฉพาะเจาะจงถึงพลังงานที่จะได้มา ว่าได้มาเมื่อไหร่ มากน้อยเท่าใด ซึ่งจะต่างจากวิธีการชาร์จที่กล่าวมา การชาร์จแบบสุ่มนี้จะเกิดขึ้นในกลุ่มของพลังงานทดแทน ที่บางครั้งมีอาจคาดหวังได้ร้อยเปอร์เซ็นต์ แต่เป็นการหวังผลประ โยชน์ที่เกิดขึ้นจากพลังงานทดแทนเหล่านั้น กลุ่มพลังงานเหล่านี้ได้แก่ การได้พลังงานไฟฟ้าจากเครื่องยนต์, กังหันลม, โซลาร์เซลล์

ดังนั้นการออกแบบวงจรชาร์จสำหรับการชาร์จแบบนี้จะต้องให้ความสำคัญต่อการจำกัดแรงดันและกระแสให้อยู่ในช่วงที่วงจรสามารถควบคุมและทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2.8.4 ปริมาณการชาร์จของแบตเตอรี่

ปริมาณการชาร์จแบตเตอรี่ขึ้นอยู่กับความต้องการของผู้ใช้งานและคุณสมบัติของตัวแบตเตอรี่ที่ตอบสนองต่อการชาร์จในปริมาณต่างๆได้ โดยทั่วไปจะแบ่งปริมาณการชาร์จออกเป็น 3 ระดับคือ

- การชาร์จแบบช้า (Slow charge) หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าการชาร์จแบบข้ามคืน ปริมาณการชาร์จแบบนี้ใช้เวลาชาร์จประมาณ 14-16 ชั่วโมง โดยใช้กระแสสำหรับชาร์จอยู่ที่ 0.1C

- การชาร์จเร็ว (Quick Charge) การชาร์จแบบนี้จะใช้เวลาประมาณ 3-6 ชั่วโมง กระแสสำหรับชาร์จอยู่ที่ 0.3C

- การชาร์จแบบเร็วมาก (Fast Charge) การชาร์จแบบนี้จะใช้เวลาประมาณน้อยกว่าหรือเท่ากับ 1 ชั่วโมง กระแสชาร์จอยู่ที่ 1.0C

2.8.4.1 การชาร์จแบบช้า (Slow charge)

การชาร์จแบบนี้เป็นแนวทางของการชาร์จที่ง่าย และไม่เสี่ยงต่อการเกิดความร้อนของตัวแบตเตอรี่ (Overheating) และเมื่อเราชาร์จแบตเตอรี่จนเต็มแล้วควรจะนำแบตเตอรี่ออกจากระบบชาร์จนั้น ลักษณะของการชาร์จสำหรับแบตเตอรี่ต่างๆคือ

- นิแคด (Nicads) โดยปกติแบตเตอรี่ชนิดนี้จะชาร์จที่กระแสสูง (มากกว่า 0.1C) เพื่อให้ง่ายต่อการตรวจจับในช่วงที่แบตเตอรี่เต็ม และต่อไปอาจจะชาร์จด้วยวิธีการชาร์จแบบ

ทรุกเกิดในช่วงเวลาถัดไป และจะต้องคอยตรวจจับช่วงแรงดันตกเมื่อแบตเตอรี่เต็ม ควรตรวจสอบความดันและและการรั่วไหลของตัวแบตเตอรี่ รวมทั้งอุณหภูมิภายนอกที่จะทำให้อายุการใช้งานสั้นลง

- ตะกั่ว-กรด (Lead acid) การชาร์จแบบช้าจะทำให้ปริมาณเพิ่มขึ้นทีละน้อย หรือบางครั้งอาจจะใช้วิธีการทรุกเกิดชาร์จ และจะต้องคอยตรวจสอบน้ำกลั่นหรือการกัดกร่อนต่างๆที่จะเกิดขึ้นเสมอ โดยปกติการชาร์จแบบนี้จะใช้ช่วงหลังจากชาร์จแบตเตอรี่เต็มแล้ว เพื่อคงระดับแรงดันค้างไว้ ที่เรียกว่าการชาร์จช่วงแรงดันลอยตัว (Float charge)

- นิกเกิลเมทัลไฮดรายด์ (NiMH) การชาร์จช้ากับแบตเตอรี่แบบนี้จะต้องใช้การทรุกเกิดชาร์จที่ต้องกำหนดเวลา และคอยตรวจสอบแรงดันของแบตเตอรี่ให้อยู่ในค่าที่กำหนด เพื่อป้องกันอันตราย

- ลิเทียมไอออน (Lithium ion) จะต้องระมัดระวังต่อการชาร์จเกินหรือแรงดันเกิน และการชาร์จแบบทันทีในช่วงท้ายของการชาร์จ (ช่วงแบตเตอรี่ใกล้เต็ม) โดยเฉพาะในช่วงที่เข้าใกล้ค่าแรงดันที่กำหนด

2.8.4.2 การชาร์จเร็ว (Fast/Quick charging)

การชาร์จแบบเร็วและเร็วมากนี้ หมายถึง การเพิ่มปริมาณการชาร์จให้สูงขึ้น ซึ่งการเพิ่มปริมาณการชาร์จนี้จะทำให้เสี่ยงต่อความร้อนที่เกิดขึ้นกับแบตเตอรี่และการชาร์จเกิน การป้องกันความร้อนเกินและช่วงที่แบตเตอรี่ใกล้เต็มเป็นสิ่งที่เราควรพิจารณา ทั้งนี้ชนิดของแบตเตอรี่แต่ละอย่างจะมีคุณสมบัติที่แตกต่างกัน ดังนั้นการออกแบบการชาร์จควรตรวจสอบและพิจารณาสถานะของแบตเตอรี่หลังจากชาร์จเสร็จและบางครั้งอาจจะเพิ่มการตรวจจับอุณหภูมิเกิน (Temperature Cut Off: TCO) เพื่อเป็นการป้องกันในระหว่างชาร์จ

การชาร์จแบบเร็วและเร็วมากนี้ จะต้องอาศัยการชาร์จที่ซับซ้อนและวงจรจะต้องออกแบบวงจรให้เหมาะกับชนิดของแบตเตอรี่นั้นๆ และจะไม่นำไปใช้กับแบตเตอรี่ชนิดอื่น เพราะอาจทำให้เกิดอันตรายเนื่องจากความไม่เหมาะสมของชนิดแบตเตอรี่ ส่วนวงจรชาร์จแบบเอนกประสงค์นั้น จะต้องมีอุปกรณ์ตรวจจับสำหรับชนิดของแบตเตอรี่นั้นๆ เพื่อให้เหมาะกับแบตเตอรี่ที่นำมาชาร์จ

2.8.5 วิธีการชาร์จในช่วงสุดท้าย

ตารางที่ 2.3 สรุปวิธีการชาร์จในช่วงสุดท้ายกับแบตเตอรี่ที่นิยมใช้ทั่วไป

	Charge Termination Methods			
	SLA	Nicad	NiMH	Li-Ion
Slow Charge	Trickle OK	Tolerates Trickle	Timer	Voltage Limit
Fast Charge 1	Imin	NDV	dT/dt	Imin at Voltage Limit
Fast Charge 2	DeltaTCO	dT/dt	dT/dt = 0	
Back up Termination 1	Timer	TCO	TCO	TCO
Back up Termination 2	DeltaTCO	Timer	Timer	Timer

TCO = Temperature Cut Off

Delta TCO = Temperature rise above ambient

Imin = Minimum current

2.8.6 วิธีการควบคุมการชาร์จแบตเตอรี่

วิธีการควบคุมการชาร์จมีด้วยกันหลายแบบแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับการพัฒนาชนิดของแบตเตอรี่และการนำไปใช้ประโยชน์ โดยส่วนใหญ่พอสรุปวิธีการควบคุมการชาร์จได้ดังนี้

2.8.6.1 การชาร์จแบบคงที่ (ชาร์จช้า)

- กึ่งกระแสคงที่ (Semi constant current) วิธีการนี้เป็นวิธีการที่ง่าย, ประหยัด และนิยมมาก ทั้งนี้เพราะใช้กระแสในการชาร์จต่ำและไม่ทำให้เกิดความร้อน แต่จะใช้เวลานานประมาณ 5-15 ชั่วโมง โดยปริมาณการชาร์จอยู่ที่ 0.1C เป็นวิธีการที่เหมาะสมกับแบตเตอรี่ชนิดนิแคด (Nicads)

- ควบคุมเวลาชาร์จ (Timer controlled) ระบบชาร์จนี้เป็นวิธีการที่ง่ายและประหยัดเช่นกัน นอกจากนี้ยังมีความน่าเชื่อถือกว่าแบบกึ่งกระแสคงที่ โดยใช้ไอซีควบคุมเวลาสำหรับชาร์จ ปริมาณกระแสชาร์จจะอยู่ที่ 0.2C ก่อนในช่วงเวลาแรกและจากนั้นตามด้วยการชาร์จที่ 0.05C แบบทริกเกิลชาร์จอีกครั้ง ซึ่งวิธีการควบคุมแบบนี้ได้รับการยอมรับว่ามีประสิทธิภาพดีเหมาะสมกับแบตเตอรี่ชนิดนิแคด (Nicads) และนิเกิลเมทัลไฮดรอกไซด์ (NiMH)

2.8.6.2 การชาร์จแบบเร็ว (1-2 ชั่วโมง)

- ระบบการชาร์จคัตออฟแบบ Negative delta V (NDV) วิธีการนี้เป็นที่นิยมในการชาร์จแบตเตอรี่แบบนิแคด โดยปริมาณการชาร์จอยู่ในช่วงกระแส 0.5C และ 1.0C โดยให้

แรงดันแบตเตอรี่จะค่อยๆเพิ่มขึ้นจนถึงค่าสูงสุดจนแบตเตอรี่เต็มและทำให้แรงดันลดต่ำลง แรงดันที่ลดลงเรียกว่า $-\Delta V$ ในช่วงนี้เป็นที่ที่เหมาะสม (แบตเตอรี่เต็ม) หรือจะสังเกตได้จากออกซิเจนจะเริ่มเกิดขึ้นภายในเซลล์

ในช่วงที่แรงดันลดต่ำลงเราจะต้องระวังในเรื่องอุณหภูมิที่จะเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งจะเป็นตัวชี้ให้ทราบว่าแบตเตอรี่จะเข้าสู่สถานะแบตเตอรี่เต็ม ดังนั้นเราควรตรวจจับค่าอุณหภูมินี้เพื่อตัดออฟหรือเปลี่ยนไปสู่ทริกเกิลชาร์จ

การชาร์จแบบนี้จะไม่เหมาะในกรณีที่กระแสชาร์จน้อยกว่า 0.5C เพราะจะทำให้ยากต่อการตรวจจับในลักษณะของแรงดันช่วงลดต่ำลง ($-\Delta V$) และการชาร์จแบบนี้จะไม่เหมาะกับแบตเตอรี่แห้งตะกั่วกรด เนื่องจากแบตเตอรี่จะไม่ปรากฏแรงดันช่วงต่ำลงในกรณีที่แบตเตอรี่ถูกชาร์จเต็ม

- ระบบการชาร์จแบบ dT/dt เนื่องจากการเกิดแรงดันช่วงลดต่ำลง (NDV) จะปรากฏได้ไม่บ่อยชัดเจนกับแบตเตอรี่แบบนิเกิลเมทัลไฮดรไรด์ (NiMH) เมื่อแบตเตอรี่ใกล้เต็ม ดังนั้นจะใช้การตรวจจับการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิต่อช่วงเวลาแทน ด้วยการกำหนดปริมาณที่ต้องการชาร์จต่ออุณหภูมิแล้วนำไปทำการตัดออฟ หรือเข้าสู่การทริกเกิลชาร์จ วงจรการชาร์จแบบนี้อาจจะมีราคาสูง แต่ก็ไม่ช่วยให้เกิดการชาร์จเกินและอายุการใช้งานของแบตเตอรี่นานขึ้น การชาร์จแบบทริกเกิลชาร์จสำหรับแบตเตอรี่แบบนิเกิลเมทัลไฮดรไรด์นั้น อาจจะทำให้เกิดอันตราย ดังนั้นจึงต้องใช้เวลาระยะเวลาในการชาร์จออกไปหลังจากแบตเตอรี่เต็ม และจะต้องพิจารณาระยะเวลาสำหรับชาร์จให้คงที่และเหมาะสม

- ระบบการควบคุมกระแสและแรงดันคงที่ (Constant-current Constant-voltage controlled) เป็นการชาร์จที่เหมาะสมกับแบตเตอรี่แบบลิเทียม (Lithium) ทั้งนี้เพื่อลดอันตรายที่เกิดขึ้นจากแรงดันชาร์จเกินที่กำหนด ควรให้ความระมัดระวังเป็นพิเศษในกรณีที่แบตเตอรี่เต็ม เพราะจะทำให้เกิดการชาร์จเกินและเป็นเหตุผลหนึ่งก่อนทำการชาร์จควรตรวจสอบแรงดันของตัวแบตเตอรี่ว่าอยู่ในช่วงที่กำหนดหรือไม่

แรงดันที่ใช้ในการชาร์จด้วยวิธีนี้จะถูกจำกัดให้เป็นลำดับ และสอดคล้องกับปริมาณของกระแสที่กำหนดในลักษณะทริกเกิลชาร์จ โดยการตัดออฟจะถูกกำหนดด้วยกระแสชาร์จ เพื่อให้ทราบว่าแบตเตอรี่เต็ม การชาร์จแบบนี้เหมาะกับแบตเตอรี่แบบลิเทียมและแบตเตอรี่แห้งตะกั่ว-กรด

- ระบบการควบคุมแรงดัน (Voltage controlled) ระบบการชาร์จแบบนี้จะใช้กระแสอยู่ระหว่าง 0.5C และ 1.0C ระบบการชาร์จจะหยุดการทำงานหรือเข้าสู่การชาร์จแบบทริกเกิลเมื่อแรงดันอยู่ในช่วงแรงดันที่กำหนด วิธีการนี้ควรจะมีการตรวจจับอุณหภูมิในตัวแบตเตอรี่เพื่อป้องกันอุณหภูมิสูงหรือการชาร์จเกิน

- ระบบการควบคุมแบบวี-เทเปอร์ (V-Taper controlled) เป็นลักษณะการควบคุมการชาร์จที่คล้ายกับแบบ Voltage controlled system แรงดันที่ใช้ในการชาร์จจะถูกกำหนดให้ค่อยๆปรับเพิ่มขึ้นและลดลงอย่างต่อเนื่อง จนเข้าสู่การชาร์จแบบทริกเกิลในช่วงแบตเตอรี่เต็ม การควบคุมแบบนี้จะเหมาะกับแบตเตอรี่แบบที่ต้องการปริมาณการชาร์จสูง เช่น แบตเตอรี่แห้งตะกั่ว-กรด

- ระบบควบคุมการชาร์จแบบชาญฉลาด (Intelligent charging system) การชาร์จแบบนี้จะเป็นการรวมเอาวิธีการควบคุมการชาร์จเข้าด้วยกัน โดยอาจจะใช้วงจรที่มีตัวประมวลผลในการควบคุมการทำงานเหล่านั้น ซึ่งนับว่าเป็นการควบคุมที่ดีเมื่อเทียบกับการควบคุมในแบบต่างๆ จึงทำให้การชาร์จรวดเร็ว ปลอดภัยและยืดอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ให้ยาวนาน

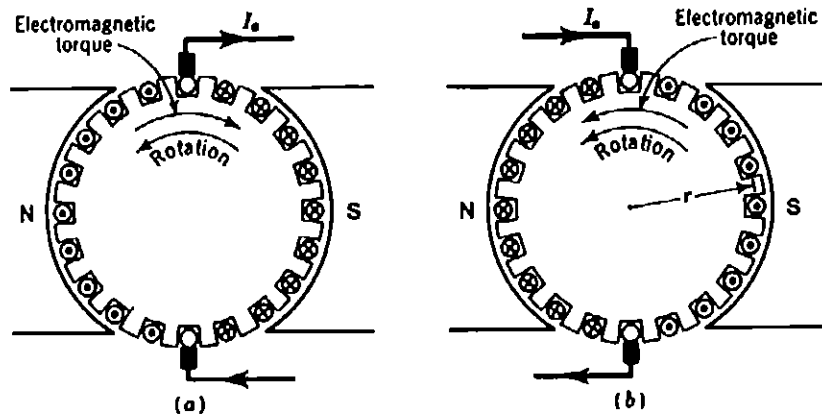
2.9 เครื่องจักรกลไฟฟ้ากระแสตรง

เครื่องจักรกลไฟฟ้ากระแสตรงจะทำงานกลับไปมาระหว่างมอเตอร์กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (DC motor) จะต้องมีแหล่งจ่ายแรงดันให้มอเตอร์ มอเตอร์กระแสตรงจะมีโครงสร้างเช่นเดียวกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง มีชนิดและการป้อนกระแสสนามเหมือนกัน ถ้าหากเครื่องจักรกลถูกนำมาใช้ในการเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานกลจะเรียกว่า “มอเตอร์” แต่ถ้าหากเครื่องจักรกลตัวเดียวกันนี้ถูกใช้ในการเปลี่ยนพลังงานกลไปเป็นพลังงานไฟฟ้า ก็จะถูกเรียกว่า “เครื่องกำเนิดไฟฟ้า”

2.9.1 แรงบิดแม่เหล็กไฟฟ้าในเครื่องจักรกลไฟฟ้ากระแสตรง

ถ้ามีกระแสไหลในขดลวดอาร์เมเจอร์ของเครื่องกลไฟฟ้ากระแสตรงคังรูปที่ 2.15 (b) และวางอยู่ท่ามกลางสนามแม่เหล็ก จะเกิดแรง (Force) บนตัวนำนั้นซึ่งจะพยายามหมุนเครื่องจักรไปในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา แรงออกมามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความเข้มของสนามแม่เหล็ก (B) ความยาวของตัวนำ (L) และกระแส (I) ที่ไหลในตัวนำนั้น เราได้สมการพื้นฐาน คือ

$$F = Bli \quad (N) \quad (2.24)$$



รูปที่ 2.15 (a) แรงบิดแม่เหล็กไฟฟ้า ที่มีทิศทางตรงข้ามกับการหมุนในเครื่องกำเนิดไฟฟ้า
 (b) แรงบิดแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีทิศทางเดียวกับการหมุนในมอเตอร์

ในกรณีของเครื่องจักรกลไฟฟ้ากระแสตรง Z คือ จำนวนตัวนำของอาร์เมเจอร์ทั้งหมด I คือ ความยาวของตัวนำที่วางอยู่ในสนามแม่เหล็ก มีค่าเท่ากับความกว้างของขั้วแม่เหล็ก และถ้า B เป็นค่าเฉลี่ยของ Flux density ที่ค่าเฉลี่ยของรัศมีการหมุน r (radius) เราจะได้แรงบิด

$$T = \text{แรง} \times \text{ระยะทาง}$$

$$T = F \times r \times Z$$

$$T = BlirZ \quad \text{N-m}$$

ในการคำนวณเกี่ยวกับเครื่องจักรกลไฟฟ้ากระแสตรง เราจะใช้ค่า I_a ซึ่งเป็นกระแสของอาร์เมเจอร์มากกว่าค่ากระแสต่อ 1 ตัวนำ (i) และใช้คำว่าฟลักซ์ทั้งหมดต่อขั้วแม่เหล็ก ϕ มากกว่าค่าเฉลี่ยของ Flux density, B ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว เราจะได้กระแสในตัวนำ

$$i = \frac{I_a}{\text{path}} \quad \text{และ} \quad B = \frac{\phi}{A}$$

โดย $A =$ พื้นที่ของ flux path ที่รัศมี r

$$A = \frac{2\pi r l}{\text{poles}}$$

แทนค่า I_a และ B ในสมการ Torque จะได้แรงบิด

$$T = \frac{Z\phi I_a r}{2\pi r l} \times \frac{\text{poles}}{\text{paths}}$$

$$T = \frac{Z\phi I_a r}{2\pi r} \times \frac{\text{poles}}{\text{paths}} \quad \text{N-m}$$

ดังนั้น

$$T = K_t \phi I_a \quad \text{N-m} \quad (2.25)$$

โดยที่

$$K_t = \frac{Z \times \text{poles}}{2\pi \text{paths}} \quad (2.26)$$

สมการดังกล่าวข้างต้นสามารถใช้ได้กับเครื่องจักรกลกระแสตรงทั้งที่เป็นมอเตอร์และเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

รูปที่ 2.15 แสดงถึงเครื่องจักรกลสองตัวที่เหมือนกัน หมุนในทิศทางเดียวกันแต่ตัวหนึ่งทำงานเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่อีกตัวหนึ่งทำงานเป็นมอเตอร์ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าในรูปที่ 2.15 (a) ถูกขับด้วยเครื่องยนต์ในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา มันกำเนิด emf และสามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าจากขดลวดอาร์เมเจอร์ให้กับวงจรภายนอกได้ และเนื่องจากขดลวดอาร์เมเจอร์ซึ่งมีกระแสไหลและอยู่ในสนามแม่เหล็ก มันจึงถูกกระทำด้วยแรงซึ่งพยายามทำให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าหมุนในทิศทางตามเข็มนาฬิกาซึ่งสวนทางกับการหมุนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ปริมาณของแรงบิดที่หน่วงการหมุนของเครื่องจะเป็นไปตามสมการที่ 2.25 ในการที่จะให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้ายังคงหมุนอยู่ได้ เครื่องยนต์จะต้องใหญ่พอที่จะเอาชนะแรงบิดสวนทางที่เกิดขึ้น รวมทั้งแรงเสียดทานที่ถูกบีบ แรงต้านลม (Windage forces) แรงต้านแม่เหล็ก (Magnetic drag) ที่เกิดจาก hysteresis และ eddycurrent ในแกนเหล็กของอาร์เมเจอร์ ซึ่งทั้งหมดนี้ต้านการหมุนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

เครื่องจักรกลตัวเดียวกันนี้ ถ้าทำงานเป็นมอเตอร์ดังรูปที่ 2.15 (b) จะต้องมีแรงดันจากแหล่งจ่ายภายนอกเช่นแบตเตอรี่หรือเครื่องกำเนิดไฟฟ้า จ่ายไฟให้กับขั้วของมอเตอร์ทำให้เกิดกระแสไหลในทิศทางตามรูป และเนื่องจากขดลวดมีกระแสไหลและวางอยู่ในสนามแม่เหล็กมันจึงถูกแรงกระทำซึ่งทำให้อาร์เมเจอร์หมุนในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา ปริมาณของแรงบิดที่เกิดขึ้นจะเป็นไปตามสมการที่ 2.25 ในขณะที่อาร์เมเจอร์หมุน ขดลวดจะตัดเส้นฟลักซ์ทำให้เกิด emf ขึ้น ในขดลวดอาร์เมเจอร์เช่นเดียวกับที่เกิดขึ้นในรูปที่ 2.15 (a) เนื่องจากเครื่องจักรกลทั้งสองมีขั้วเหมือนกันและหมุนในทิศทางเดียวกัน emf ที่เกิดขึ้นนี้ต่อต้านกระแสในขดลวดในรูปที่ 2.15 (b) และต่อต้าน emf ที่จ่ายให้มันด้วย ด้วยเหตุนี้ emf ที่เกิดขึ้นในมอเตอร์จึงเรียกว่า back emf หรือ counter emf

2.9.2 การทำงานกลับไปมาระหว่างเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและมอเตอร์

Electromagnetic Torque จะกลับทางกับ generator เนื่องจากกระแสไหลกลับ ดังรูปที่ 2.15 (b) ซึ่งเครื่องกลไฟฟ้านี้ทำงานเป็นมอเตอร์และขับเครื่องยนต์ดีเซล ดังนั้นเมื่อดับเครื่องยนต์ดีเซล เครื่องจักรกลไฟฟ้านี้จะเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกล เราจะสรุปสมการของแรงดันได้ดังนี้

$$E_g = E_1 - I_a R_a$$

หรือ

$$I_a = \frac{E_1 - E_g}{R_a} \quad (2.27)$$

E_g ของมอเตอร์ในต่อไปนี้จะเรียกว่า Counter emf หรือ back emf

ขณะที่มอเตอร์หมุน ขดลวดของมอเตอร์จะตัดผ่านสนามแม่เหล็กและจะเกิด induced emf (E_b) หรือ back emf (E_b) ในทิศทางตรงกันข้ามกับ E_t

$$E_b = K\phi N \quad (2.28)$$

จากสมการที่ 2.27 แทน E_g ด้วย E_b ในกรณีที่ เป็นมอเตอร์ เราจะได้

$$E_t = E_b + I_a R_a$$

$$E_t = K\phi N + I_a R_a$$

เราจึงได้สมการความเร็วรอบของมอเตอร์เป็น

$$K\phi N = E_t - I_a R_a$$

ดังนั้น

$$N = \frac{E_t - I_a R_a}{K\phi} \text{ rpm} \quad (2.29)$$

โดย $K = \frac{Z_a \times \text{poles}}{\text{path} \times 60}$; $\phi = \frac{\text{flux}}{\text{pole}}$ weber

N = ความเร็วรอบ มีหน่วย rpm (revolution/minute)

และแรงบิด

$$T = K_t \phi I_a \text{ N-m} \quad (2.30)$$

โดย

$$K_t = \frac{Z \times \text{poles}}{\text{path} \times 2\pi}$$

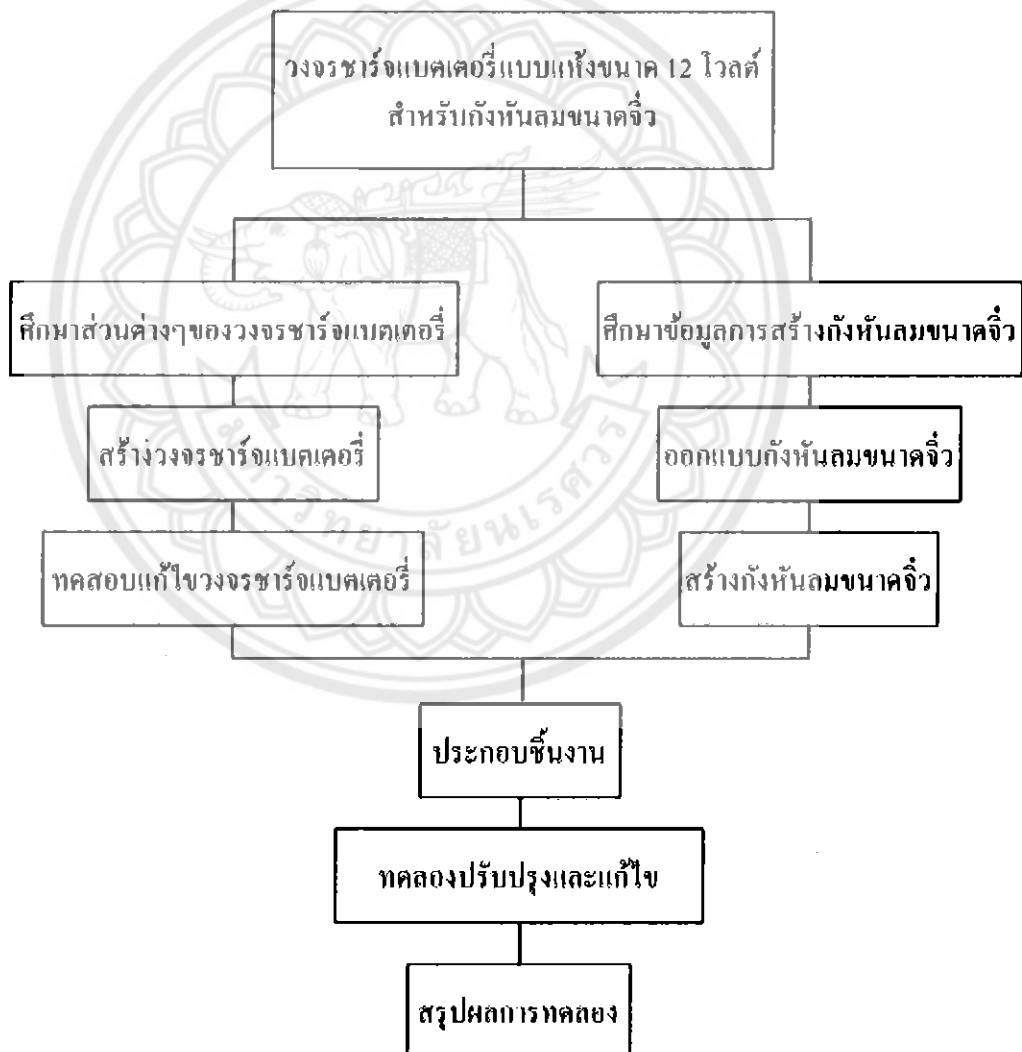
สมการที่ 2.29 และ 2.30 เป็นสมการที่สำคัญมากของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงจากสมการข้างต้น จะ
ได้ความสัมพันธ์ระหว่าง K กับ K_t ได้ดังนี้

$$\frac{K}{K_t} = \frac{2\pi}{60} \quad (2.31)$$

บทที่ 3

ขั้นตอนวิธีการดำเนินงาน

เนื้อหาในบทนี้กล่าวถึง การศึกษาและการสร้างวงจรชาร์จแบตเตอรี่รวมถึงการสร้างกังหันลมขนาดจิ๋ว สำหรับการศึกษาการทำงานของวงจรชาร์จแบตเตอรี่แบ่งเป็น 4 ส่วน ได้แก่ ภาควงจรตรวจสอบแรงดันไฟฟ้าจากกังหันลม ภาควงจรชาร์จแบตเตอรี่ ภาควงจรควบคุมและโปรแกรมการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ ภาควงจรไฟเลี้ยงภายในวงจร ชุดคำสั่งโปรแกรมการทำงานของตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แผนผังการดำเนินงาน

3.1 ศึกษาการทำงานของวงจรชาร์จแบตเตอรี่

3.1.1 ภาควงจรตรวจสอบแรงดันไฟฟ้าจากกังหันลม

ภาควงจรตรวจสอบแรงดันไฟฟ้าจากกังหันลม โดยแสดงเป็นวงจรสมบูรณในรูปที่ 3.2 พลังงานที่ได้จากกังหันลมจะถูกตรวจสอบค่าแรงดันด้วยวงจรแบ่งแรงดันทางด้านอินพุตด้วยตัวต้านทาน เพื่อลดขนาดแรงดันอินพุต ก่อนถูกส่งไปยังวงจรเปรียบเทียบแรงดันในระดับต่างๆ ด้วยออปแอมป์ (LM339) โดยค่าระดับแรงดันอ้างอิงที่ขาบวก ประกอบไปด้วยช่วงแรงดัน 4 ระดับ ได้แก่

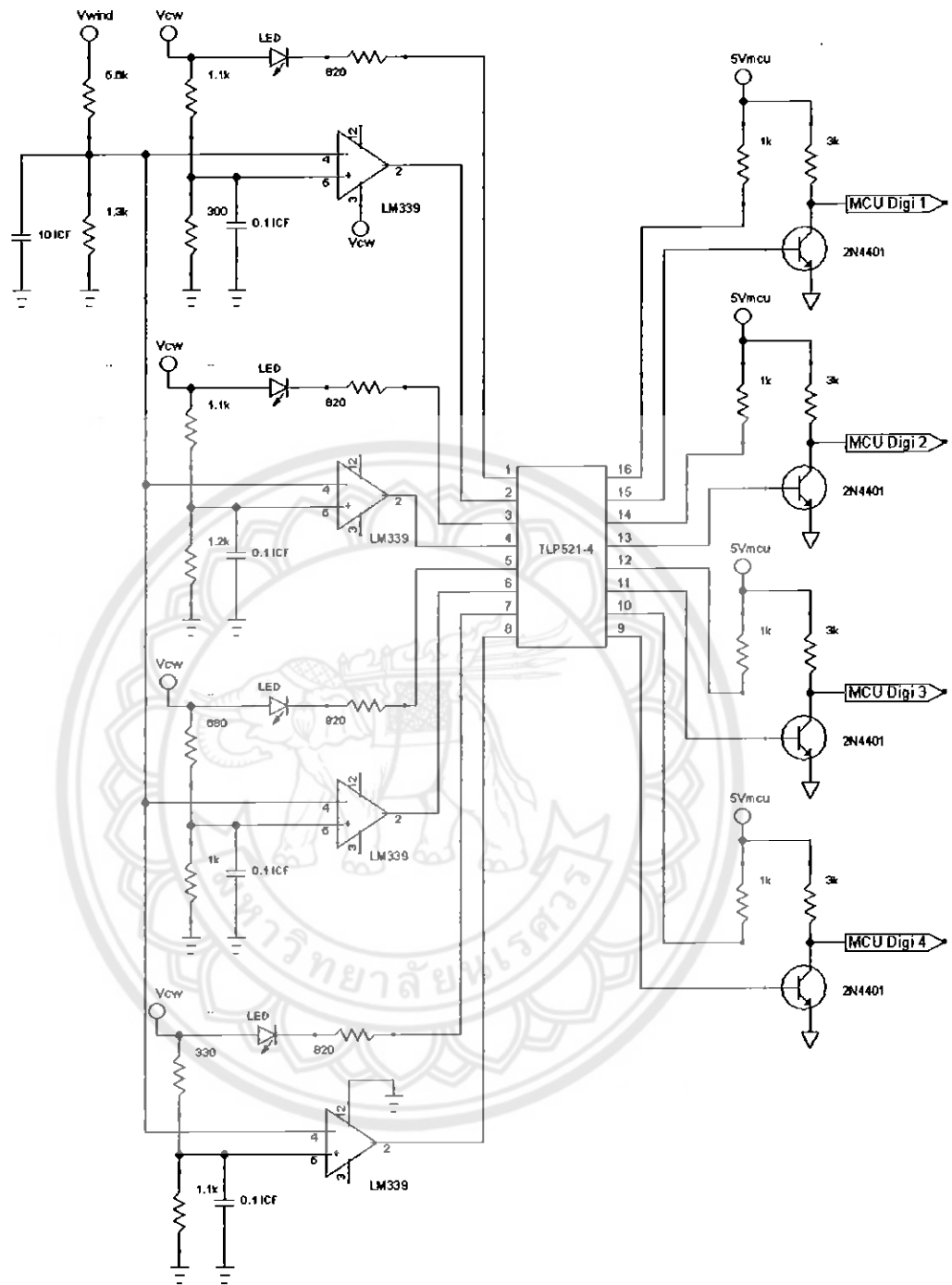
1. ช่วงแรงดันเริ่มต้น หรือ ช่วงที่กังหันลมเริ่มทำงานเป็นช่วงแรงดันต่ำ ตั้งแต่ 6-13.8 โวลต์ การทำงานของวงจรต้องการให้เริ่มทำงานตั้งแต่ช่วงที่แรงดันมีค่ามากกว่า 5 โวลต์ เพื่อให้ไอซีเรกูเลเตอร์ สามารถทำงานได้ โดยจำเป็นต้องใช้แรงดัน 5 โวลต์ เพื่อเป็นแรงดันอ้างอิงสำหรับวงจรเปรียบเทียบแรงดัน

2. ช่วงแรงดันชาร์จแบตเตอรี่อยู่ในช่วงแรงดันระดับ 13.8 - 16 โวลต์ เป็นช่วงแรงดันระดับที่เหมาะสมสำหรับที่จะนำมาใช้ชาร์จแบตเตอรี่ เพราะมีค่าความต่างศักย์ที่สูงกว่าที่ขั้วแบตเตอรี่ และยังใช้เป็นตัวเปรียบเทียบค่าแรงดันของแบตเตอรี่ลูกที่สองด้วย

3. ช่วงแรงดันสูงที่อยู่ในช่วง 16 - 20 โวลต์ ค่าแรงดันช่วงนี้ถือได้ว่าเป็นช่วงที่กังหันลมหมุนด้วยความเร็วทำให้สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ปริมาณมาก ดังนั้นหากมีการนำแบตเตอรี่ไปต่อชาร์จจะเป็นช่วงที่กระแสชาร์จมีค่าสูง

4. ช่วงแรงดันที่มากกว่า 20 โวลต์ วงจรควบคุมจะทำการสั่งให้ทำการชาร์จไฟฟ้าเข้าที่โหลดแบบอัตโนมัติเพื่อเป็นการช่วยเบรกกังหันลม ให้หมุนอยู่ในช่วงความเร็วที่เหมาะสม

ซึ่งหากค่าแรงดันอินพุตที่ขาลบ ของออปแอมป์มีค่ามากกว่าระดับแรงดันอ้างอิงที่ขาบวก เอาท์พุทของออปแอมป์จะเปลี่ยนสถานะจาก 5 โวลต์ ไปเป็น 0 โวลต์ ทำให้วงจรออปได้คัปเปิลอร์ที่เป็นตัวแยกสัญญาณทางไฟฟ้าระหว่างภาคกำลังที่มาจากกังหันลมกับ ไมโครคอนโทรลเลอร์ทำงานส่งผลให้ขาเบสของทรานซิสเตอร์ ที่ต่ออยู่ทางเอาท์พุทของออปได้คัปเปิลอร์ถูกไบอัสตรงทำให้ทรานซิสเตอร์อยู่ในสถานะนำกระแส กระแสจากขาคอลเล็กเตอร์ของทรานซิสเตอร์จึงไหลลงกราวด์ ส่งผลให้แรงดันอินพุตที่ตำแหน่ง MCU_Digi (1-4) มีค่าเป็น 0 โวลต์ ทำให้อินพุทของไมโครคอนโทรลเลอร์เปลี่ยนสถานะเป็น 0 โวลต์ ไมโครคอนโทรลเลอร์ทำการประมวลผลจากระดับสัญญาณที่ได้รับ แล้วนำไปคำนวณค่าตามเงื่อนไขที่โปรแกรมตั้งไว้ ในขณะที่เดียวกันแอลอีดีที่ต่ออยู่ขาเอา โนคของ (TLP521-4) จะเป็นตัวแสดงสถานะการทำงาน เพื่อบ่งบอกถึงค่าแรงดันของกังหันลมในขณะนั้น



รูปที่ 3.2 วงจรตรวจสอบแรงดันไฟฟ้าจากกังหันลม

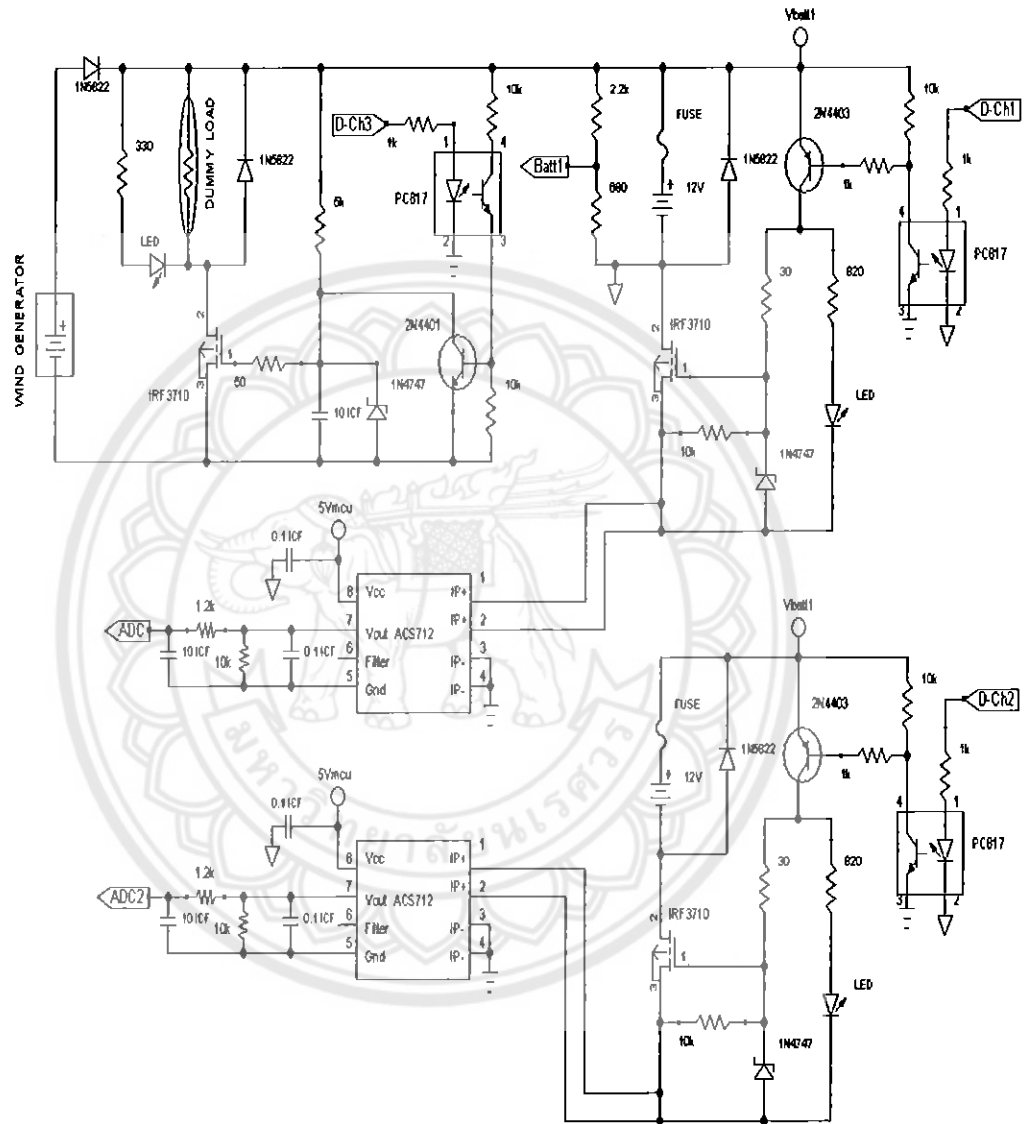
3.1.2 ภาคของวงจรชาร์จแบตเตอรี่

การทำงานของวงจรหลักเป็นวงจรสวิตช์อิเล็กทรอนิกส์โดยเลือกใช้เป็นเพาเวอร์มอสเฟต แบบเอ็นแชนเนลเป็นสวิตช์ควบคุมการชาร์จแบตเตอรี่ โดยวงจรสมบรูณ์ของภาควงจรชาร์จแบตเตอรี่แสดงดังรูปที่ 3.3 แรงดันที่ได้รับจากกังหันลมจะต้องผ่านไดโอด เพื่อเป็นการกำหนดทิศทางการไหลของกระแสและเป็นการแยกแหล่งจ่ายทั้งสองแหล่ง คือ แบตเตอรี่และกังหันลม ทำให้เราสามารถตรวจสอบค่าแรงดันของแบตเตอรี่ได้ การทำงานของวงจรชาร์จแบตเตอรี่ในสถานะที่ไม่ได้รับสัญญาณจากไมโครคอนโทรลเลอร์และมีแรงดันอินพุตจากกังหันลมเข้ามาที่วงจรชาร์จแบตเตอรี่ โดยวงจรจะเริ่มทำงานตั้งแต่ว่าระดับแรงดันที่มากกว่า 6 โวลต์ ที่ขาเกตของเพาเวอร์มอสเฟต จะได้รับแรงดันมาขั้บเกิดโดยตรงทำให้เพาเวอร์มอสเฟตทำงาน หากมีโหลดต่ออยู่ที่จุดต่อของ Dummy Load แรงดันที่มาจากกังหันลมจะถูกใช้งานโดยโหลดทันที โดยมีแอลอีดีเป็นตัวบอกสถานะการทำงาน ซึ่งหากต้องการให้เพาเวอร์มอสเฟตหยุดการทำงานจะต้องมีสัญญาณลจิกระดับ 5 โวลต์ จากไมโครคอนโทรลเลอร์มาควบคุมที่ตำแหน่ง D-ch3

ส่วนของการชาร์จแบตเตอรี่ วงจรนี้ได้ถูกออกแบบไว้เพื่อให้ชาร์จแบตเตอรี่ได้ 2 ลูก โดยแบตเตอรี่ลูกที่หนึ่งนั้น เราใช้งานเป็นแบตเตอรี่หลักสำหรับใช้เป็นแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงสำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์ การออกแบบจะให้ความสำคัญกับแบตเตอรี่ลูกที่หนึ่งเป็นหลัก คือ จะต้องตรวจสอบสถานะแรงดันของแบตเตอรี่ลูกที่หนึ่งอยู่เสมอ เพื่อให้แบตเตอรี่ลูกที่หนึ่ง อยู่ในสถานะที่เหมาะสมสำหรับการใช้งานเป็นแหล่งจ่าย โดยมีตัวต้านทานแบ่งแรงดัน 2.2 กิโลโอห์ม และ 680 โอห์ม ต่อขนานอยู่ก่อนที่จะส่งค่าแรงดันดังกล่าวไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ และมีไดโอด (1N5822) อนุกรมกับฟิวส์ และนำไปต่อขนานไว้กับขั้วของแบตเตอรี่เพื่อทำหน้าที่ป้องกันการต่อแบตเตอรี่ผิดขั้ว การทำงานของเพาเวอร์มอสเฟต ที่ทำหน้าที่ควบคุมการไหลของกระแสจากแบตเตอรี่ลูกที่หนึ่ง ควบคุมการทำงานโดยรอสัญญาณลจิกระดับ 5 โวลต์ จากไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ตำแหน่ง D-ch 1 เพื่อขับให้ออปโตคัปเปลอร์ (PC817) ทำงาน ทำให้อทรานซิสเตอร์ (2N4403) ทำงานด้วย เนื่องจากค่าความต่างศักย์ที่ขาเบสมีค่า 0 โวลต์ ทำให้มีกระแสไหลผ่านทรานซิสเตอร์ เพื่อเป็นสัญญาณไปขับขาเกตของเพาเวอร์มอสเฟต ในขณะที่เพาเวอร์มอสเฟตทำงานจะมีแอลอีดีเป็นตัวแสดงสถานะการทำงาน นอกจากนี้ที่ขาซอร์สของเพาเวอร์มอสเฟต ถูกต่อกับเซนเซอร์ตรวจจับกระแส (ACS712) ทำหน้าที่อ่านค่ากระแสที่ไหลผ่านก่อนลงกราวด์แล้วแปลงค่าเป็นแรงดันอนาล็อก ก่อนส่งไปยังอินพุตของไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ตำแหน่ง ADC1 เพื่อคอยตรวจสอบค่ากระแสในการชาร์จแบตเตอรี่ลูกที่หนึ่ง

การทำงานของวงจรชาร์จแบตเตอรี่สำรองในลูกที่สอง จะมีลักษณะการทำงานคล้ายๆกันกับแบตเตอรี่ลูกที่หนึ่ง แตกต่างกันที่แบตเตอรี่ลูกที่สอง เป็นแบตเตอรี่ที่สามารถถอดเปลี่ยนนำลูกอื่นมาชาร์จแทนได้เมื่อแบตเตอรี่เต็ม วงจรชาร์จแบตเตอรี่ลูกที่สองจะไม่มีวงจรแบ่งแรงดันที่ทำหน้าที่เช็คระดับแรงดันของแบตเตอรี่ แต่อาศัยการตรวจจับแรงดันจากกังหันลมเป็นตัวบอกสถานะ

แรงดันของแบตเตอรี่และการตรวจับกระแสที่ใช้ในการชาร์จด้วยเซนเซอร์ตรวจับกระแส (ACS712) แล้วแปลงค่ากระแสเป็นแรงดันอนาล็อกทางด้านเอาต์พุตที่ตำแหน่ง ADC2 เพื่อบ่งบอกสถานะของแบตเตอรี่ลูกที่สอง

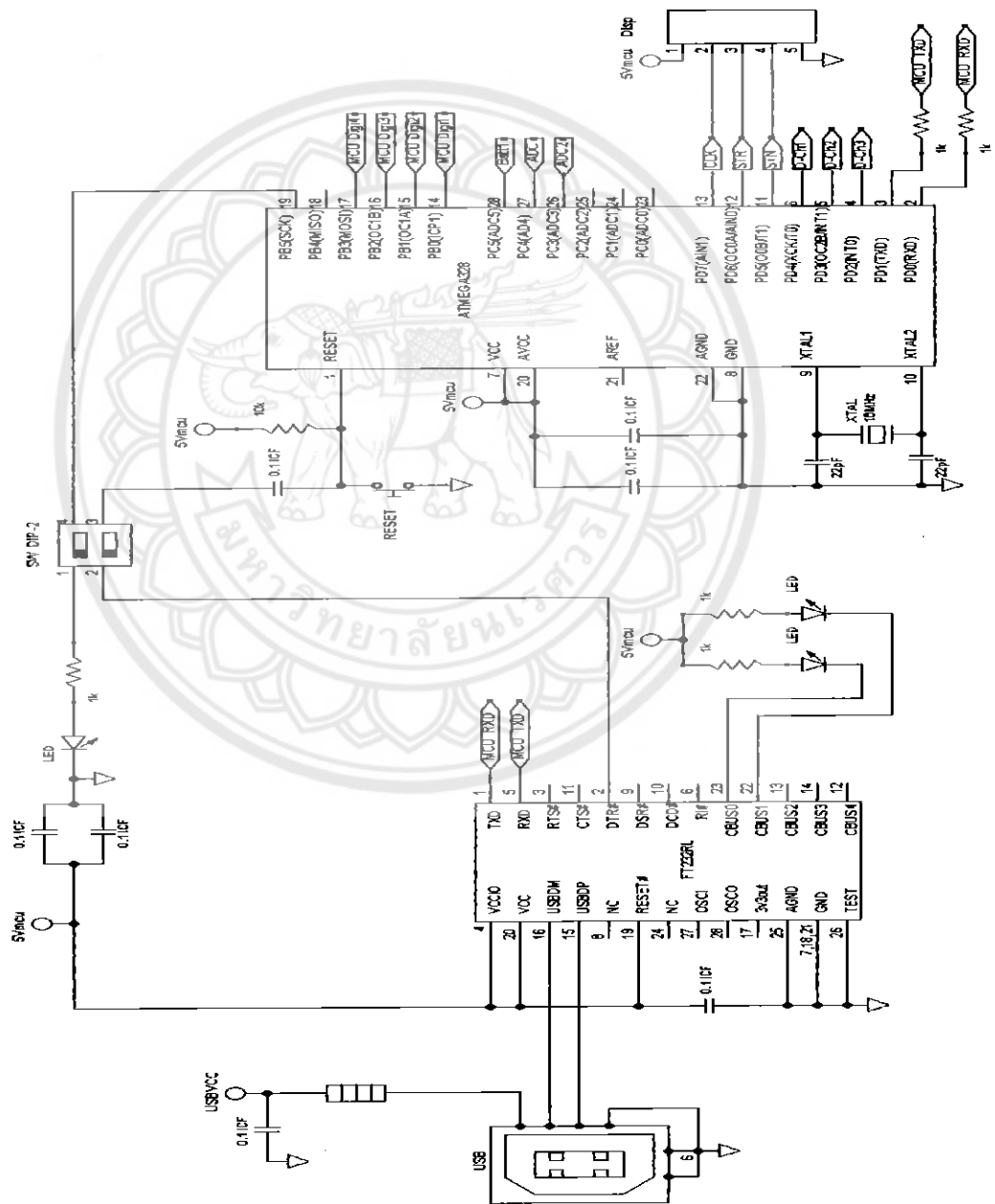


รูปที่ 3.3 วงจรชาร์จแบตเตอรี่

3.1.3 ภาคของวงจรควบคุมและโปรแกรมการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์

ในส่วนนี้จะมีไอซี หลักๆ อยู่ 2 ตัว คือ FT232RL ไอซีที่ถูกออกแบบมาเพื่อทำหน้าที่เป็นตัวติดต่อสื่อสารระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์กับคอมพิวเตอร์ผ่านทางพอร์ตยูเอสบี ซึ่งบอร์ดนี้ได้ออกมาเพื่อรองรับการเขียนโปรแกรมผ่านซอฟต์แวร์ Arduino โดยเฉพาะเพื่อทำให้เกิดความง่ายต่อการนำไปพัฒนาต่อยอด และไอซีหลักของวงจร ที่ใช้ในการประมวลผลการทำงานทั้งหมดคือ

ไมโครคอนโทรลเลอร์ Atmega328 ในส่วนของการประมวลผลการทำงาน ไมโครคอนโทรลเลอร์ จะรับสัญญาณอินพุตแบบดิจิทัลจากวงจรตรวจสอบแรงดันกึ่งหันลมหที่ขา PB0, PB1, PB2 และ PB3 อ่านค่าอินพุตสัญญาณนอกจากวงจรชาร์จแบตเตอรี่ที่ขา PC3, PC4 และ PC5 พร้อมทั้งทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของสวิตช์เพาเวอร์มอสเฟต โดยการส่งสัญญาณทางด้านเอาต์พุตที่ขา PD2, PD3 และ PD4 เป็นระดับแรงดัน 5 โวลต์ เพื่อไปเป็นสัญญาณขับให้อุปกรณ์ได้แก่บอร์ดทำงานตามเงื่อนไขโปรแกรมที่กำหนดไว้ดังรูปที่ 3.4

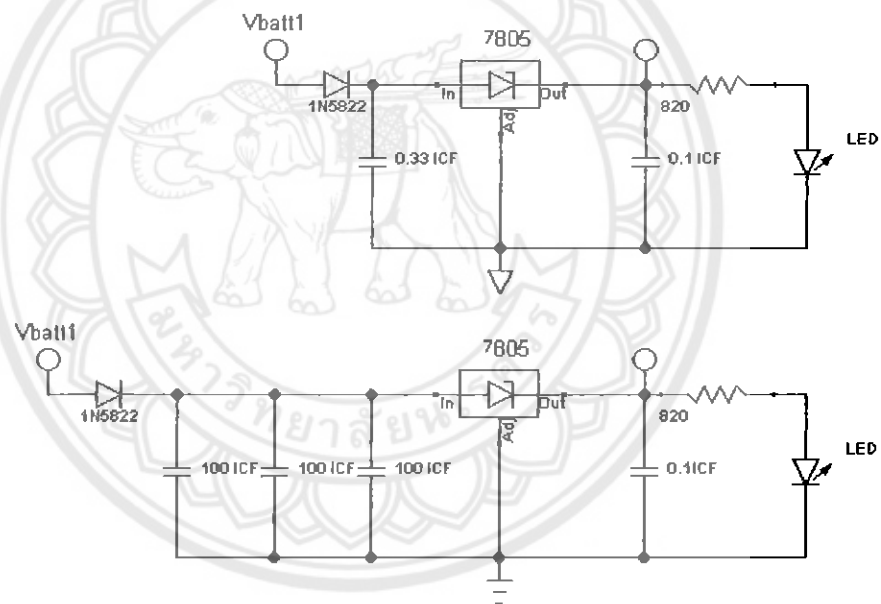


รูปที่ 3.4 วงจรควบคุมและโปรแกรมการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์

3.1.4 ภาคไฟเลี้ยงภายในวงจร

วงจรนี้ใช้ไอซีเรกูเลเตอร์ 7805 ทำหน้าที่ในการเรกูเลตแรงดันจากกึ่งहनลุมและ แบตเตอรี่ วงจรเรกูเลเตอร์ของกึ่งहनลุมทางด้านอินพุตจะต่อตัวเก็บประจุค่า 100 ไมโครฟารัด/ 35 โวลต์ ขนานกันจำนวน 3 ตัว เพื่อทำหน้าที่กรองกระแส โดยที่ทางด้านเอาท์พุตต่อตัวเก็บประจุ ค่า 0.1 ไมโครฟารัด เพื่อคักสัญญาณรบกวนที่อาจเกิดขึ้น โดยมีแอลอีดีเป็นตัวแสดงผลการทำงานของ วงจรนี้

ส่วนของภาคเรกูเลตที่ใช้อินพุตจากแบตเตอรี่ ต่อในลักษณะเดียวกันแต่ลดจำนวนของ ตัวเก็บประจุทางด้านอินพุตของไอซีเรกูเลต เนื่องจากแหล่งจ่ายไฟเป็นแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงที่ ก่อนข้างจะมีแรงดันคงที่ โดยทางด้านเอาท์พุตของวงจรมีแอลอีดี เป็นตัวแสดงผลการทำงาน ดังรูป ที่ 3.5



รูปที่ 3.5 วงจรไฟเลี้ยง

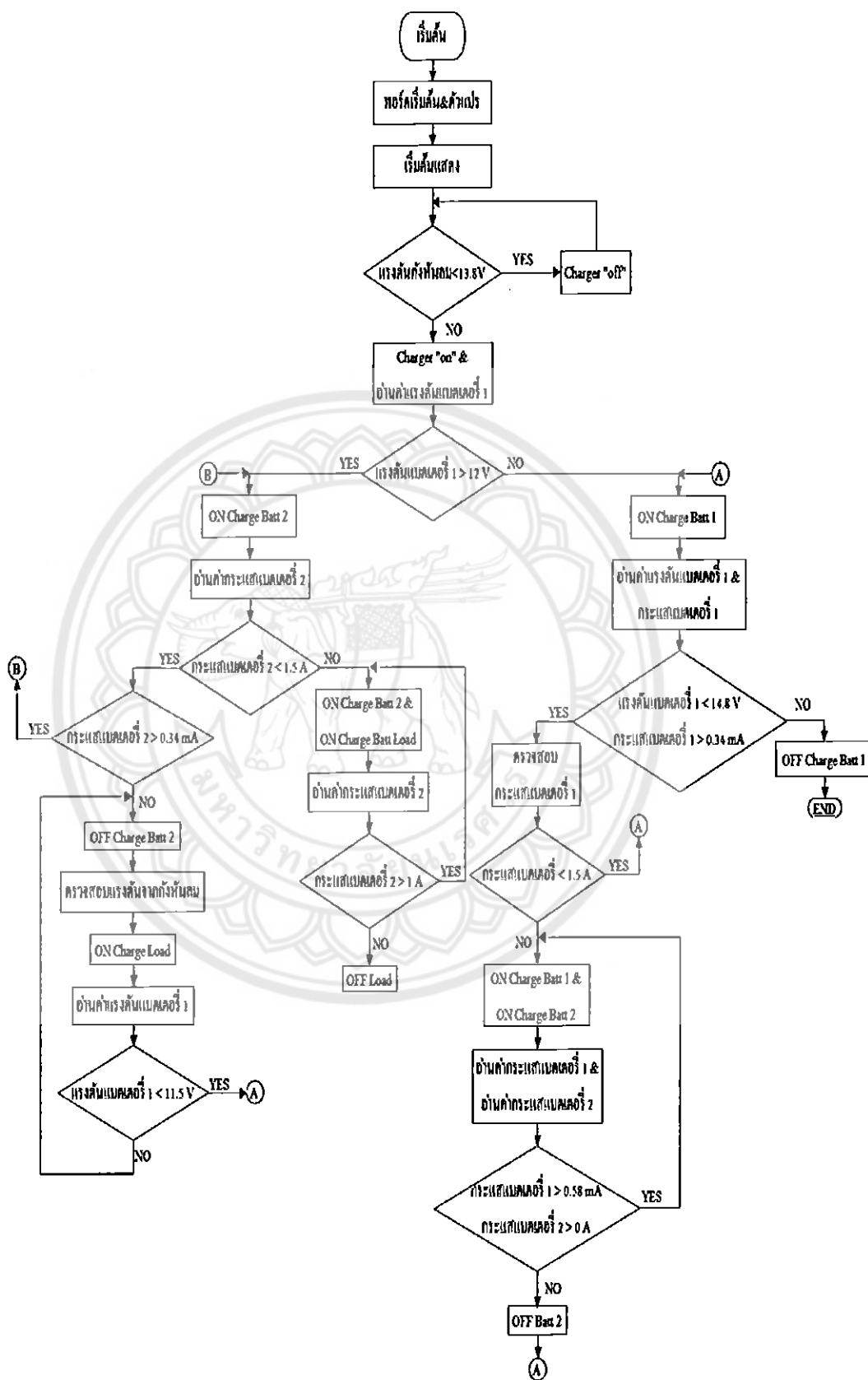
3.1.5 ส่วนชุดคำสั่งการทำงาน

โปรแกรมการทำงานเริ่มจากกำหนดพอร์ตควบคุมต่างๆ ของไมโครคอนโทรลเลอร์ จากนั้นอ่านค่าแรงดันของกึ่งहनลุม ถ้ากึ่งहनลุมสามารถผลิตแรงดันไฟฟ้าได้ตามที่โปรแกรม กำหนดไว้ วงจรชาร์จแบตเตอรี่จะทำงาน แต่ถ้าแรงดันในช่วงนั้นยังไม่เหมาะสมที่จะนำมาชาร์จ แบตเตอรี่ วงจรชาร์จแบตเตอรี่จะไม่ทำงาน และจะวนกลับมาเช็คค่าแรงดันของกึ่งहनลุมอีกครั้ง จนกว่าจะอยู่ในช่วงแรงดันที่เหมาะสม

เมื่อวงจรชาร์จแบตเตอรี่ทำงานแล้ว ในขั้นต้นจะเริ่มจากการอ่านค่าแรงดันของแบตเตอรี่หลัก ถ้าแบตเตอรี่หลักมีค่าแรงดันต่ำกว่า 12 โวลต์ วงจรจะทำการชาร์จแบตเตอรี่หลักจนเต็มเสียก่อนเพื่อให้แบตเตอรี่หลักสามารถจ่ายไฟเลี้ยงวงจรได้อย่างสม่ำเสมอ ขณะที่ทำการชาร์จแบตเตอรี่หลักหากแรงดันไฟฟ้าจากกังหันลมมีค่าสูงขึ้นจนทำให้กระแสชาร์จแบตเตอรี่หลักสูงเกินกว่า 1 แอมแปร์ โปรแกรมจะส่งคำสั่งให้ชุดชาร์จแบตเตอรี่สำรองทำงาน เพื่อให้ทำการชาร์จแบตเตอรี่สองลูกพร้อมกัน และ โปรแกรมจะทำหน้าที่ตรวจสอบระดับกระแสที่แบตเตอรี่หลัก หากมีค่าลดลงเกินกว่าที่กำหนดไว้ก็จะตัดการชาร์จแบตเตอรี่สำรองกลับมาเข้าสู่การชาร์จแบตเตอรี่หลักจนเต็ม

จากนั้นวงจรจะตัดการทำงานไปชาร์จแบตเตอรี่สำรอง โดยวงจรจะอ่านค่ากระแสของแบตเตอรี่สำรองอยู่ตลอดเวลา เหมือนกับการชาร์จของแบตเตอรี่หลัก แต่ในกรณีที่สภาวะมีค่ากระแสชาร์จสูงเกิน โปรแกรมการทำงานจะไปสั่งให้ชุดควบคุมการชาร์จโหลดทำงาน เพื่อเป็นการป้องกันไม่ให้กระแสชาร์จในแบตเตอรี่สำรองมีค่าสูงเกินไป ซึ่งอาจทำให้เกิดความร้อนในการชาร์จแบตเตอรี่มากเกินเป็นผลให้อายุการใช้งานของแบตเตอรี่สั้นลงด้วย

เมื่อแบตเตอรี่สำรองเต็มแล้วหากยังไม่มีกระแสเปลี่ยนแปลงที่ลูกอื่นเข้ามาแทน การทำงานของวงจรจะไปกำหนดให้พลังงานทั้งหมดไหลเข้าสู่โหลด และทำการตรวจสอบค่าแรงดันของแบตเตอรี่หลักอยู่เสมอ ถ้าเกิดค่าของแบตเตอรี่หลักมีแรงดันน้อยกว่า 12 โวลต์ วงจรก็จะกลับไปชาร์จแบตเตอรี่หลักอีกครั้ง ในกรณีที่ขณะที่ทำการชาร์จแบตเตอรี่อยู่ หากกังหันลมไม่สามารถผลิตไฟฟ้าได้ถึงค่าที่เหมาะสมแก่การชาร์จ ชุดควบคุมการชาร์จจะหยุดทำงานทั้งหมดเพื่อรอให้กังหันลมสามารถผลิตพลังงานได้ถึงค่าแรงดันที่เหมาะสมเสียก่อน แล้วจึงกลับเข้ามาตรวจสอบเงื่อนไขต่างๆอีกครั้ง สามารถแสดงเป็นแผนผังได้ดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 แผนผังการทำงานของชุดคำสั่งวงจรควบคุมการชาร์จแบตเตอรี่

3.2 สร้างวงจรรูปร่างแบตเตอรี่

1. เตรียมลายวงจรและแผ่นทองแดงขนาด 13.5×11.5 เซนติเมตร ที่จะทำการกัดลายปริ๊นท์



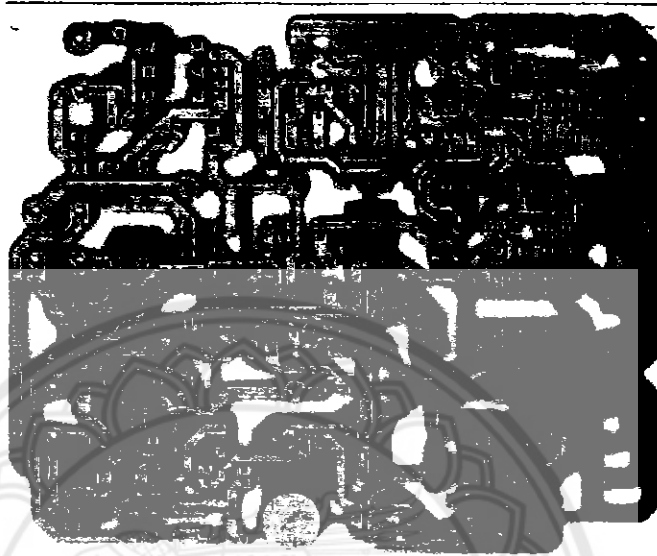
รูปที่ 3.7 ลายวงจรกับแผ่นทองแดง

2. ทำการกัดลายปริ๊นท์วงจรทั้งด้านบนและด้านล่าง

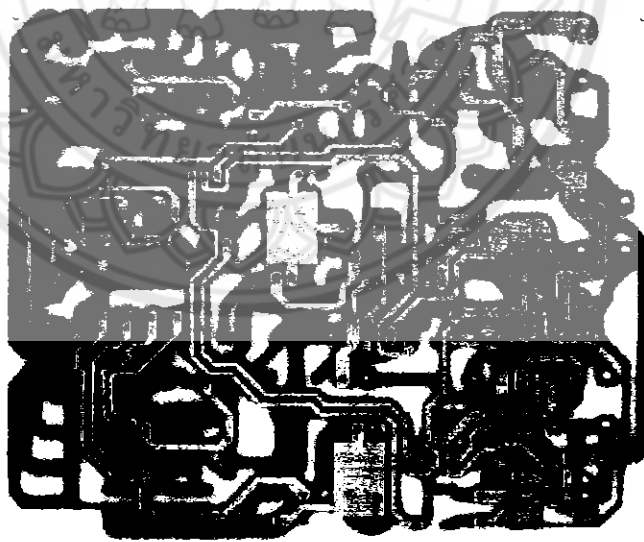


รูปที่ 3.8 วางลายปริ๊นท์ในน้ำยากัดแผ่นปริ๊นท์

3. เมื่อทำการกัดลายปริ้นท์ทั้งด้านบนและด้านล่างแล้ว จะได้วงจรทั้งสองด้านดังรูปที่ 3.9 และรูปที่ 3.10

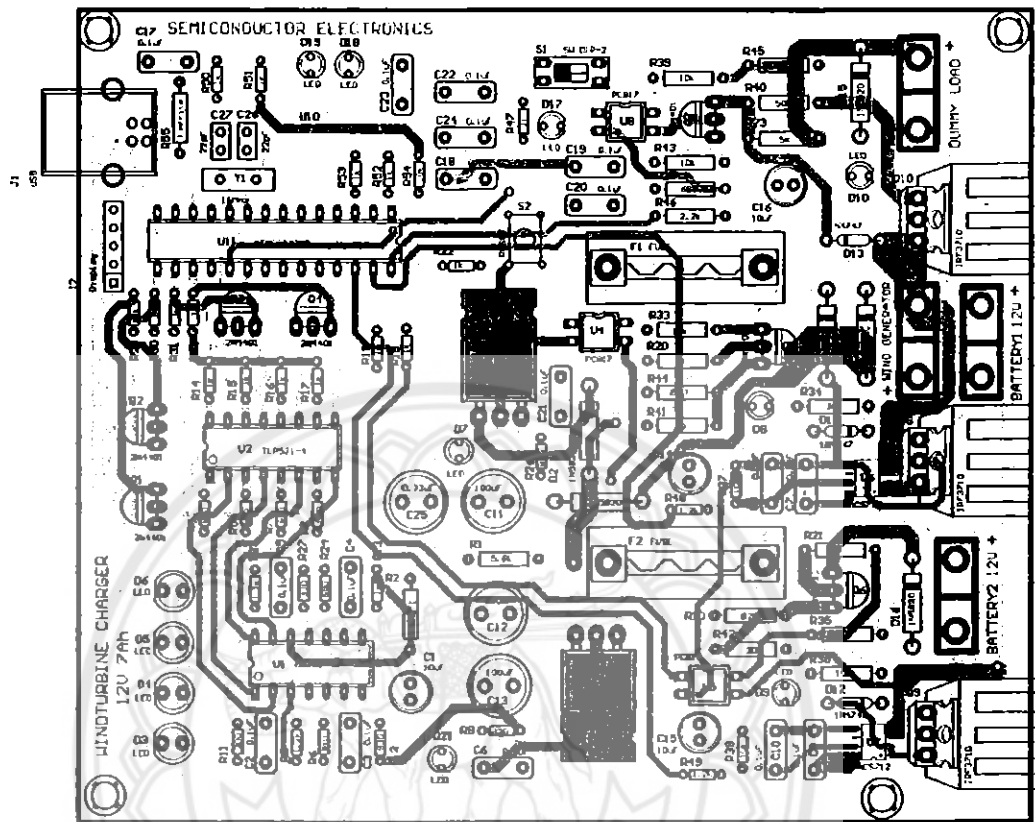


รูปที่ 3.9 ลายวงจรด้านบน



รูปที่ 3.10 ลายวงจรด้านล่าง

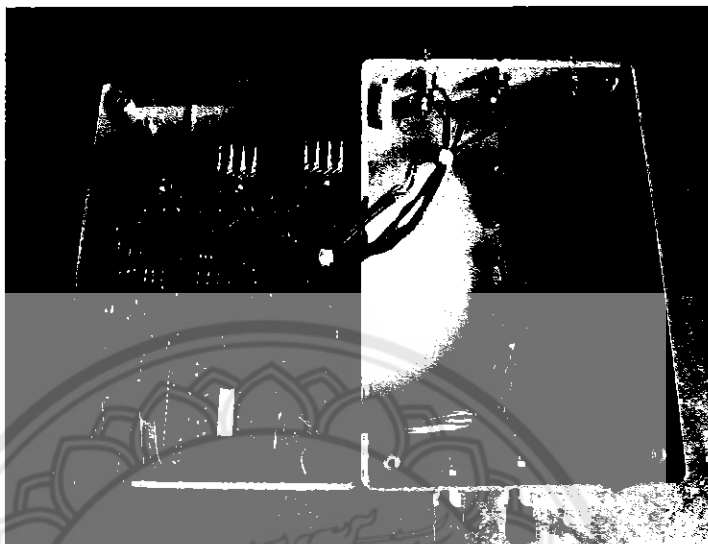
4. เมื่อกัดลายปริ้นท์เสร็จแล้ว ทำการบัดกรีอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆดังรูปที่ 3.11



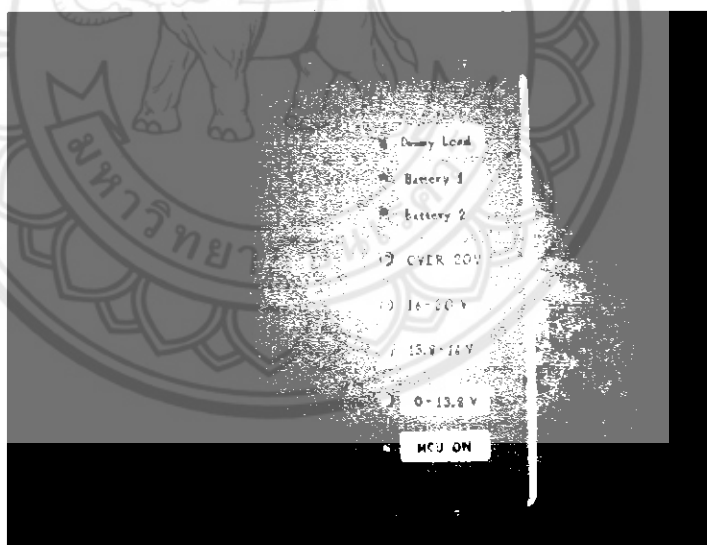
รูปที่ 3.11 ลักษณะการวางอุปกรณ์บนแผ่นวงจรพิมพ์

โดยเริ่มจากอุปกรณ์เซมิคอนดักเตอร์ที่มีขนาดเล็กที่สุดก่อน ได้แก่ ACS712, PC817 และ FT232RL โดยเฉพาะ FT232RL ต้องระวังเป็นพิเศษเพราะมีขนาดเล็กมาก จากนั้นก็ไล่ลงอุปกรณ์ไปตามลำดับความสูงต่างๆ ตามความเหมาะสม

5. วงจรชาร์จแบตเตอรี่ที่ลงอุปกรณ์สมบูรณ์แล้ว ควรหากล่องมาใส่เพื่อความสะดวกในการนำมาใช้งาน



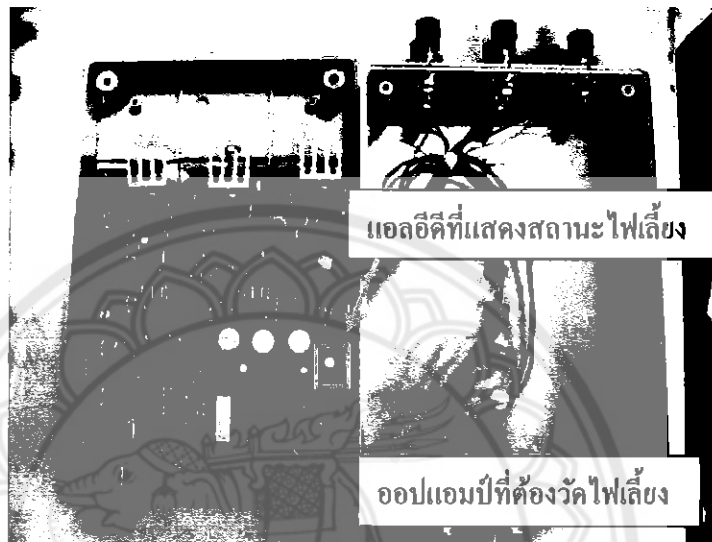
รูปที่ 3.12 การเดินสายไฟภายในกล่องไปยังจุดเชื่อมต่อต่างๆภายในวงจร



รูปที่ 3.13 วงจรชาร์จแบตเตอรี่ที่สมบูรณ์

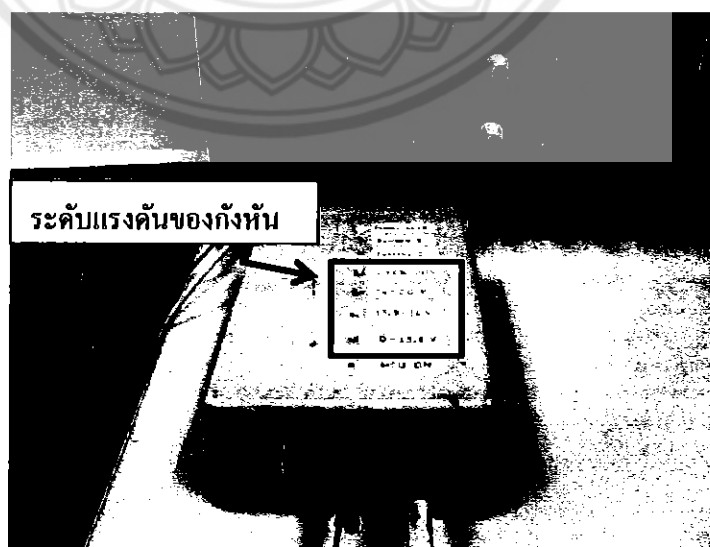
3.2.1 การทดสอบการทำงานของวงจร

1. เริ่มจากการต่อแหล่งจ่ายกระแสตรงแบบปรับค่าได้ขนาด 0 - 20 โวลต์ / 2 แอมแปร์ เข้าไปยังขั้วต่อแหล่งจ่ายไฟฟ้าจากกึ่งहनลุม แอลอีดีแสดงสถานะไฟเลี้ยงวงจะติดสว่าง วัดไฟเลี้ยง ระดับ 5 โวลต์ ที่ขา 3 ของออปแอมป์ ดังรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 แสดงสถานะไฟแอลอีดีของวงจรไฟเลี้ยง

2. จากนั้นลองปรับค่าแรงดันจากแหล่งจ่ายตั้งแต่ 6 โวลต์ ไปจนถึง 20 โวลต์ แอลอีดีแสดงสถานะของกึ่งहनลุมจะต้องติดสว่างตามตำแหน่งค่าแรงดันที่กำหนดเอาไว้ดังรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.15 แสดงสถานะไฟแอลอีดีของระดับแรงดันกึ่งहनลุม

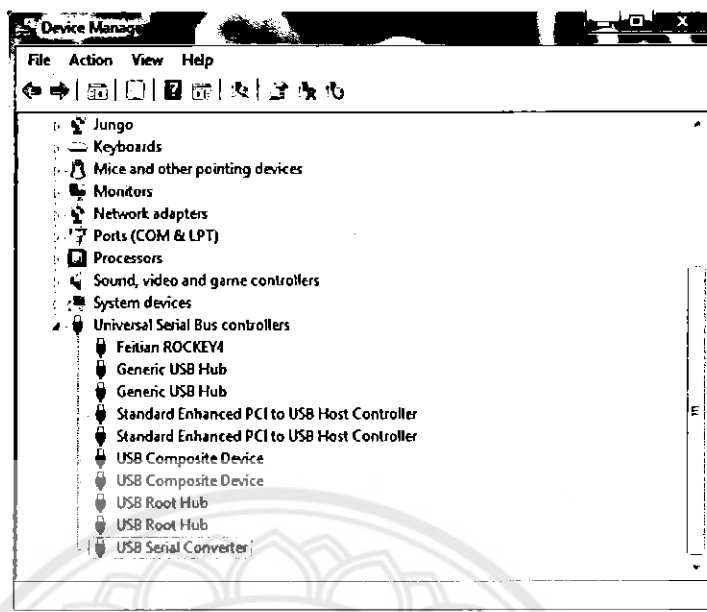
3. ปลดแหล่งจ่ายจากไฟกึ่งหันลมออก ทำการต่อแบตเตอรี่เข้าขั้วต่อแบตเตอรี่หลัก แอลอีดีจะติดเพื่อแสดงสถานะการทำงานของแหล่งจ่ายไฟ 5 โวลต์ ของไมโครคอนโทรลเลอร์ จากนั้นทดสอบวัดไฟฟ้าที่ขา V_{cc} ของไมโครคอนโทรลเลอร์ และตามขาไฟเลี้ยงของ ACS712



รูปที่ 3.16 แสดงสถานะการทำงานของแหล่งจ่ายไฟ 5 โวลต์ ของไมโครคอนโทรลเลอร์

4. เมื่อตรวจสอบไฟเลี้ยงวงจรครบแล้ว ตรวจสอบสัญญาณอินพุต/เอาต์พุตของไมโครคอนโทรลเลอร์เริ่มจาก วัดสัญญาณอินพุต 5 โวลต์ ที่ขา PB0, PB1, PB2 และ PB3 ในสภาวะปกติหากไม่มีการต่อแหล่งจ่ายไฟจากกึ่งหันลมจะต้องมีสถานะเป็น 5 โวลต์ จากนั้นทำการวัดอินพุตนาฬิกาที่ขา PC3, PC4 และ PC5 ระดับแรงดันที่ขา PC3 และ PC4 จะอยู่ที่ประมาณ 2.5 โวลต์ เป็นค่าแรงดันปกติที่ยังไม่มีช่วงการชาร์จแบตเตอรี่ ส่วนที่ขา PC5 ระดับแรงดันจะขึ้นอยู่กับค่าจากวงจรแบ่งแรงดันที่ขาตัวต้านทาน 680 โอห์ม

5. เมื่อตรวจสอบสัญญาณอินพุตหมดแล้ว ขั้นตอนต่อไปจะเป็นการทดสอบการเชื่อมต่อระหว่างคอมพิวเตอร์ โดยทำการเชื่อมต่อสายยูเอสบี เพื่อทำการเชื่อมต่อวงจรเข้ากับคอมพิวเตอร์แอลอีดีที่แสดงสถานะการทำงานของไอซี FT232RL จะกระพริบแล้วดับไปดังรูปที่ 3.16 จากนั้นแอลอีดีจะกระพริบตามสัญญาณนาฬิกาของไมโครคอนโทรลเลอร์แล้วดับลง ตรวจสอบการเชื่อมต่อระหว่างวงจรถับคอมพิวเตอร์ได้โดยการคลิกขวาที่ My Computer → Properties → Hardware → Device Manager → ดูที่การเชื่อมต่อ Universal Serial Bus Controllers จะพบว่ามีอุปกรณ์ของเราต่อเพิ่มเข้าไปนั่นก็คือ USB Serial Converter ดังรูปที่ 3.17 ดังนั้นสามารถทำการ โปรแกรมการทำงานของ วงจรชาร์จแบตเตอรี่ได้แล้ว



รูปที่ 3.17 ตรวจสอบว่าวงจรมีการเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์แล้ว

3.2.2 การทดสอบชาร์จแบตเตอรี่

การทดลองนี้เราได้ทำการต่อวงจรสำหรับแสดงผลด้วยจอแอลซีดีเข้าไปด้วย เพื่อให้เราสามารถทราบการเปลี่ยนแปลงการทำงานได้

การทดลองแรกคือการแสดงผลการทำงานของโปรแกรม เริ่มต้นจากการทดสอบวงจรชาร์จแบตเตอรี่กับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 0 - 20 โวลต์ / 2 แอมแปร์ โดยต่อแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงที่ขั้วต่อแหล่งจ่ายกึ่งหนันลม และต่อแบตเตอรี่ทั้ง 2 ลูก เข้ากับขั้วต่อแบตเตอรี่ของวงจรชาร์จดังรูปที่ 3.18



รูปที่ 3.18 แสดงการต่อแหล่งจ่าย

จากนั้นปรับค่าแรงดันของแหล่งจ่ายไปที่ 16 โวลต์ และจำกัดกระแสไว้ที่ 1 แอมแปร์ เมื่อเริ่มต่อแบตเตอรี่ลูกที่ 1 เข้าสู่วงจรชาร์จแบตเตอรี่จะทำให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ทำงาน โปรแกรมเริ่มต้นทำงานด้วยการตรวจสอบสถานะแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วต่อก้านหลุม ซึ่งถ้ายังไม่มีการต่อแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงเข้าที่จุดต่อก้านหลุม หรือแรงดันไฟฟ้าจากก้านหลุมมีค่าไม่ถึง 6 โวลต์ วงจรจะฟ้องว่าไม่มีการเชื่อมต่อ จากนั้นจะสั่งให้วงจรชาร์จทั้งหมดหยุดการทำงานและกลับไปตรวจสอบแรงดันจากก้านหลุมอีกครั้ง

เมื่อทำการจ่ายแรงดัน ไฟฟ้ากระแสตรงที่ได้ปรับตั้งไว้แล้วเข้าที่ขั้วต่อก้านหลุม ทำให้วงจรจะตรวจสอบแรงดันที่เข้ามาและจากนั้นจะไปตรวจสอบค่าแรงดันของแบตเตอรี่ลูกที่ 1 ว่ามีค่าต่ำกว่า 12 โวลต์ หรือไม่ ถ้าใช่ก็จะทำการชาร์จแบตเตอรี่ลูกที่ 1 โดยไฟแสดงสถานะแอลอีดีจะติด แสดงการทำงานของวงจรชาร์จแบตเตอรี่ลูกที่ 1 และแสดงผลเป็นค่ากระแส, แรงดันของแบตเตอรี่ลูกที่ 1 ดังรูปที่ 3.19

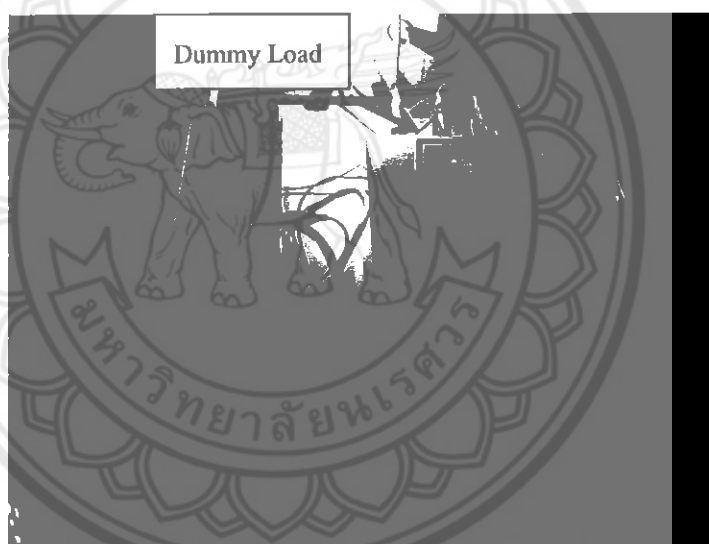


รูปที่ 3.19 การแสดงผลของจอแอลซีดีกับสถานะไฟแอลอีดีของแบตเตอรี่ลูกที่ 1

ซึ่งถ้าทำการชาร์จแบตเตอรี่ลูกที่ 1 เต็มหรือมีค่าแรงดันที่มากกว่าที่กำหนดแล้ววงจรจะตัดการทำงานไปชาร์จแบตเตอรี่ลูกที่ 2 แทนที่ดังรูปที่ 3.20 การทดสอบของการชาร์จแบตเตอรี่ลูกที่ 2 ก็เช่นกัน หากปรับค่ากระแสไปมากกว่าที่กำหนดไว้คือ 1.5 แอมแปร์ วงจรชาร์จแบตเตอรี่จะเพิ่มการทำงานของชุดโหลดเพิ่มเข้ามา วงจรจะสั่งให้วงจรชาร์จโหลดทำงานไฟแสดงสถานะไฟแอลอีดีจะติดสว่างดังรูปที่ 3.21 ซึ่งโหลดที่ใช้ในการทดลองต่อเพิ่มเข้าไบนั้น เป็นโหลดไฟขนาด 12 โวลต์ 8 วัตต์



รูปที่ 3.20 แสดงสถานะไฟแอลอีดีของแบตเตอรี่ลูกที่ 2



รูปที่ 3.21 แสดงสถานะการทำงานของวงจรรชาร์จ โหลด (Dummy Load)

การทดสอบฟังก์ชันการตรวจจับแรงดันกึ่งหันลม ในกรณีที่ทำการชาร์จแบตเตอรี่ลูกที่ 2 หรือแบตเตอรี่ลูกที่ 1 อยู่ นั่น หากความเร็วลมในขณะนั้นต่ำลงจะเป็นผลให้กึ่งหันลมไม่สามารถผลิตไฟฟ้าได้ถึงระดับแรงดันที่เหมาะสมแก่การชาร์จ วงจรรชาร์จจึงจำเป็นต้องหยุดการทำงาน เพื่อลดความหนืดให้กับกึ่งหันลม โดยไม่ทำให้แบตเตอรี่เป็นภาระที่มากเกินไป การทดสอบนี้เราได้ลองลดค่าแรงดันต่ำกว่าแรงดันกว่าช่วง 13.8 โวลต์ ผลปรากฏว่า วงจรรชาร์จสามารถตรวจจับได้ว่าในขณะนั้นแรงดันไฟฟ้าจากกึ่งหันลมไม่เหมาะสมแก่การชาร์จ วงจรจึงหยุดทำการชาร์จทั้งหมด จากนั้นเราได้เพิ่มแรงดันขึ้นอีกครั้งเมื่อถึงระดับแรงดันที่ 13.8 โวลต์ วงจรจึงเริ่มกลับมาทำการชาร์จอีกครั้งด้วยการตรวจสอบค่าแรงดันที่แบตเตอรี่ลูกที่ 1 และไล่มาจนชาร์จแบตเตอรี่ลูกที่ 2 อีกครั้ง

3.3 สร้างกัณฑ์ขนาดจิ๋ว

3.3.1. อุปกรณ์

1. แผ่นอะลูมิเนียมแบบแข็ง (jackson) ความหนา 2 มิลลิเมตร ขนาด 35×10 เซนติเมตร จำนวน 18 แผ่น

2. เหล็กเส้นแบน (ก้านใบกัณฑ์) ขนาดกว้าง 2.5 เซนติเมตร ยาว 3 เมตร

3. เหล็กแผ่น (โครงยึดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า) ขนาด 16×18 เซนติเมตร จำนวน 3 แผ่น, เหล็กแผ่น (โครงยึดก้านใบกัณฑ์) ขนาด 10×10 เซนติเมตร จำนวน 3 แผ่น

4. เหล็กเส้นแบน (โครงใบหางเสือ) ขนาดกว้าง 1.5 เซนติเมตร ยาว 1.5 เมตร

5. เหล็กแผ่น (ฐานแท่นวางเครื่องกำเนิดไฟฟ้า) ขนาด 12×20 จำนวน 3 แผ่น

6. ชุดคอกหมูน (คัดแปลงจากโครงล้อรถเข็น) จำนวน 3 ชุด

7. เหล็กแผ่นบาง (ใบหางเสือ) ขนาด 20×60 เซนติเมตร จำนวน 3 แผ่น

8. เหล็กกล่อง ขนาด 2×2 นิ้ว จำนวน 2 ท่อน ยาวท่อนละ 3 เมตร

9. สีสำหรับทาจำนวน 1 กระป๋อง, ทินเนอร์จำนวน 1 ขวด, สีสำหรับพ่นจำนวน 1 กระป๋อง

10. แท่นสว่าน

11. เครื่องตัดเหล็ก

12. ครีมน็อก, กระจกทรายเบอร์ 150 (ใช้ขัดกับน้ำ)

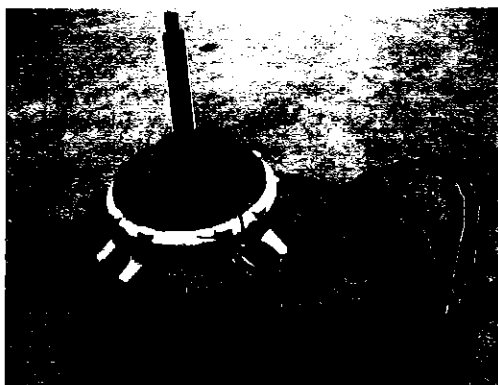
13. แท่นเครื่องเจียเหล็ก

14. คู่มือ, ลวดเชื่อม

15. ปากกาจับยึด, ริเวท, ลูกริเวท

16. ชุดน็อตยึด ขนาด 3/16 นิ้ว จำนวน 3 ชุด, ขนาด 1/4 นิ้ว จำนวน 12 ชุด, ขนาด 5/16 นิ้วจำนวน 9 ชุด

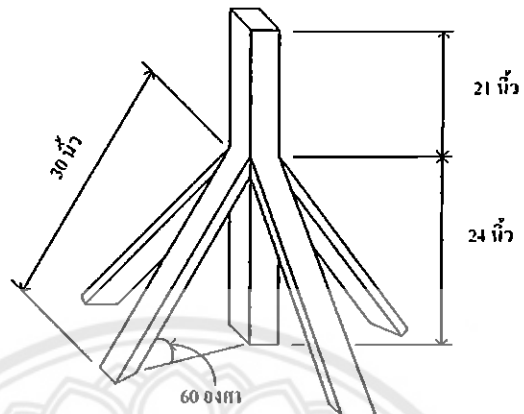
17. เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง



รูปที่ 3.22 เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง

3.3.2 การทำโครงขาตั้งกึ่งหันลม

- นำเหล็กกล่องมาตัดเป็นท่อนตามแบบ



รูปที่ 3.23 แบบ โครงขาตั้งกึ่งหันลม

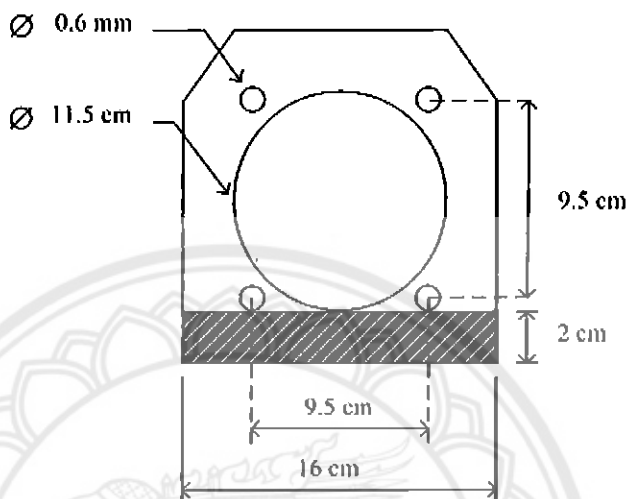
- นำเหล็กที่ทำการตัดแล้ว นำมาประกอบโดยการเชื่อมเริ่มจากฐานก่อน และทำการเชื่อมชุดคอกหมุนเข้ากับปลายเสา จากนั้นทาสีเพื่อความสวยงามดังรูปที่ 3.24



รูปที่ 3.24 โครงเสากับชุดคอกหมุน

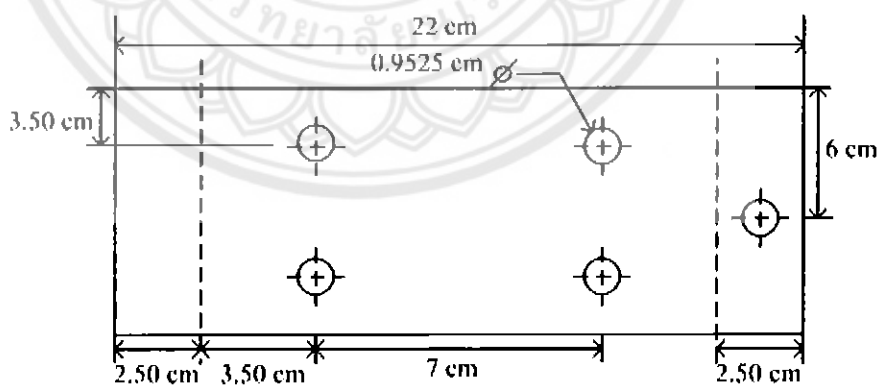
3.3.3 การทำโครงยึดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

- นำเหล็กแผ่น (โครงยึดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า) ขนาด 16×18 เซนติเมตร มาทำการกลึงแล้วทำการตัดพร้อมทั้งเจาะรูตามแบบ



รูปที่ 3.25 แบบ โครงยึดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

- นำเหล็กแผ่นที่ถูกตัดปลายไว้แล้ว (ฐานแท่นวางเครื่องกำเนิดไฟฟ้า) มาทำการเจาะรูตามแบบ



รูปที่ 3.26 แบบฐานแท่นวางเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

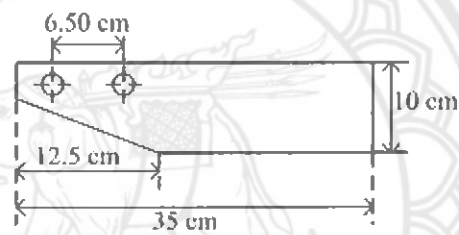
- นำเหล็กแผ่นที่ทำไว้แล้ว นำมาประกอบเข้าด้วยกัน โดยการเชื่อมตามแบบในรูปที่ 3.27



รูปที่ 3.27 โคร่งขิดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

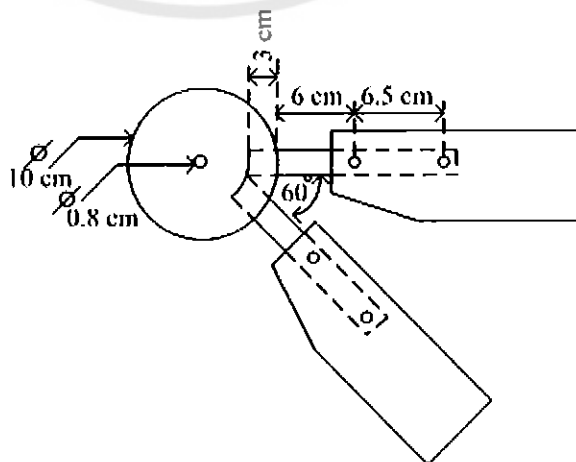
3.3.4 การทำชุดใบกังหัน

- นำแผ่นอะลูมิเนียมแบบแข็ง (jackson) มาทำการตัด และเจาะรูตามแบบ



รูปที่ 3.28 แบบใบกังหันลม

- นำเหล็กเส้นแบน (ก้านใบกังหันลม) มาทำการตัดและเจาะรู จากนั้นนำเหล็กแผ่น (โคร่งขิดก้านใบกังหันลม) มาทำการกรัดให้ได้เส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 10 เซนติเมตร แล้วเจาะรูตามแบบ



รูปที่ 3.29 แบบโคร่งขิดใบกังหันลม

- นำเหล็กเส้นแบน และเหล็กแผ่นที่ทำไว้แล้ว นำมาประกอบเข้าด้วยกัน โดยการเชื่อม
ตามผังรูปที่ 3.30



รูปที่ 3.30 โครงขี้ดใบกั้งหันลม

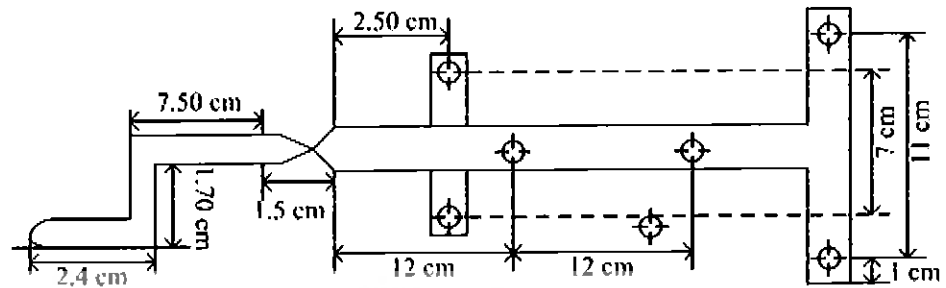
- นำแผ่นอะลูมิเนียมที่ทำไว้แล้ว นำมาประกอบเข้ากับโครงใบกั้งหันลม โดยการยึดด้วย
ตุกรีเวทดังรูปที่ 3.31



รูปที่ 3.31 ชุดใบกั้งหันลม

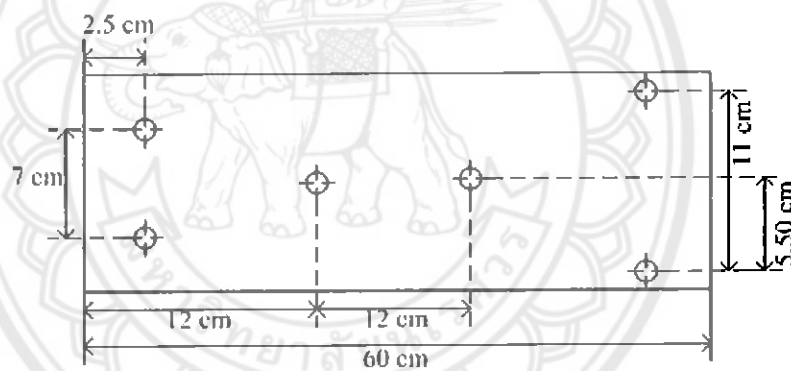
3.3.5 การทำชุดทางเสือ

- นำเหล็กเส้นแบน (โครงใบทางเสือ) มาทำการตัดแล้วทำการตัด และเจาะรูตามแบบ



รูปที่ 3.32 แบบโครงใบทางเสือ

- นำเหล็กแผ่นบาง (ใบทางเสือ) มาทำการเจาะรูตามแบบ



รูปที่ 3.33 แบบใบทางเสือ

- นำเหล็กแผ่นบาง (ใบทางเสือ) ทำไว้แล้ว นำมาประกอบเข้ากับโครงใบทางเสือโดยการยึดด้วยลูกรีเวทดังรูปที่ 3.34



รูปที่ 3.34 ใบทางเสือ

3.3.6 วิธีประกอบกังหันลมขนาดจิ๋ว

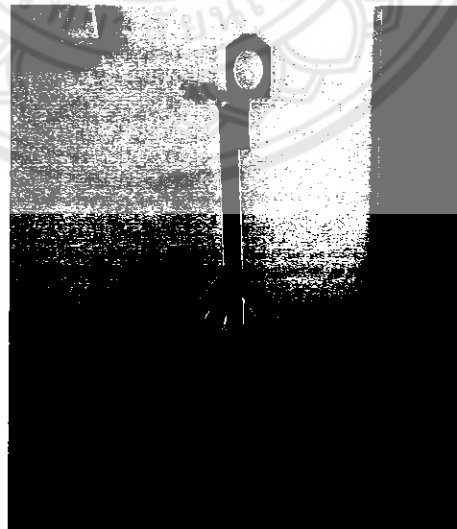
นำชิ้นส่วนอุปกรณ์แต่ละชุด นำมาประกอบเข้าด้วยกัน โดยการใช้หนีตขีด โดยเริ่มขั้นตอนดังนี้

1. ประกอบฐานเข้ากับชุดคอกหมุนดังรูปที่ 3.35



รูปที่ 3.35 การประกอบฐานเข้ากับชุดคอกหมุน

2. นำโครงขีดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าติดตั้งบนเสา ดังรูปที่ 3.36



รูปที่ 3.36 การนำ โครงขีดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าติดตั้งบนเสา

3. ติดตั้งหางเสือกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงดังรูปที่ 3.37



รูปที่ 3.37 การติดตั้งหางเสือกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง

4. ติดตั้งชุดใบกังหันลมไปที่เพลลาของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง เมื่อติดตั้งอุปกรณ์ทั้งหมดเสร็จแล้วจะได้กังหันลมขนาดจิ๋วดังรูปที่ 3.38



รูปที่ 3.38 กังหันลมที่ประกอบเสร็จสมบูรณ์

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

จากการศึกษาและสร้างวงจรชาร์จแบตเตอรี่แบบแห้งขนาด 12 โวลต์ สำหรับกังหันลม ขนาดจิวในบทนี้จะกล่าวถึงผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง รวมถึงสรุปผลการทดลอง ซึ่งมีวิธีการทดลองที่ได้ออกแบบไว้แล้วดังนี้

1. การทดสอบคุณสมบัติของกังหันลม

1.1 การทดสอบคุณสมบัติของกังหันลมตัวที่ 1

1.2 การทดสอบคุณสมบัติของกังหันลมตัวที่ 2

1.3 การทดสอบคุณสมบัติของกังหันลมตัวที่ 3

1.4 การทดสอบคุณสมบัติของกังหันลม โดยใช้กังหันลมที่มีคุณสมบัติดีที่สุด 2 ตัวมา

ต่ออนุกรมกัน

1.5 การทดสอบคุณสมบัติของกังหันลม โดยใช้กังหันลมทั้ง 3 ตัวมาต่ออนุกรมกัน

2. การชาร์จแบตเตอรี่โดยตรง

สังเกตพฤติกรรมกังหันลมที่ระดับความเร็วลมน้อยที่สุด ไปจนถึงระดับความเร็วลมที่กังหันลมสามารถเริ่มทำการชาร์จแบตเตอรี่

2.1 ชาร์จแบตเตอรี่ โดยใช้กังหันลม 1 ตัว (เลือกตัวที่มีคุณสมบัติดีที่สุด)

2.2 ชาร์จแบตเตอรี่ โดยใช้กังหันลม 2 ตัว มาต่ออนุกรมกัน (เลือกตัวที่มีคุณสมบัติดีที่สุด)

2.3 ชาร์จแบตเตอรี่ โดยใช้กังหันลมทั้ง 3 ตัว มาต่ออนุกรมกัน

3. การชาร์จแบตเตอรี่โดยผ่านวงจรชาร์จแบตเตอรี่

สังเกตพฤติกรรมกังหันลมและแบตเตอรี่ในขณะที่ทำการชาร์จแบตเตอรี่ และสังเกตสถานะการทำงานของไฟแอลอีดี ในตำแหน่งต่างๆ ของวงจรชาร์จแบตเตอรี่ รวมไปถึงการแสดงสถานะการทำงานของวงจรชาร์จแบตเตอรี่จากจอแอลซีดี ขนาด 16 ตัวอักษร 2 บรรทัด

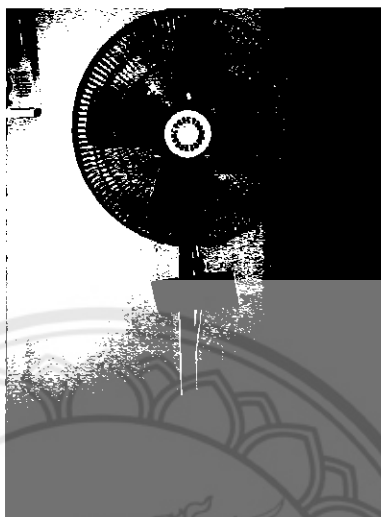
3.1 ชาร์จแบตเตอรี่ โดยใช้กังหันลม 1 ตัว (เลือกตัวที่มีคุณสมบัติดีที่สุด)

3.2 ชาร์จแบตเตอรี่ โดยใช้กังหันลม 2 ตัว มาต่ออนุกรมกัน (เลือกตัวที่มีคุณสมบัติดีที่สุด)

3.3 ชาร์จแบตเตอรี่ โดยใช้กังหันลมทั้ง 3 ตัว มาต่ออนุกรมกัน

4.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. พัดลมขนาด 225 วัตต์



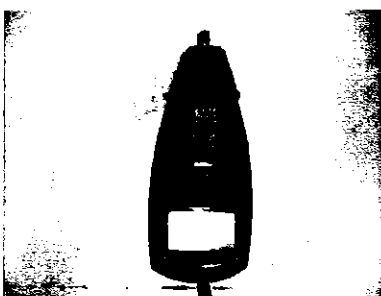
รูปที่ 4.1 พัดลมขนาด 225 วัตต์

2. มัลติมิเตอร์



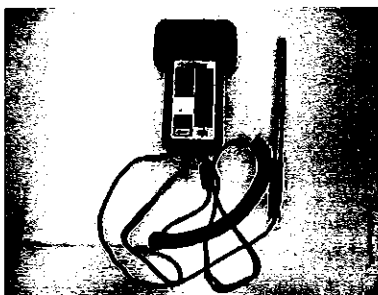
รูปที่ 4.2 มัลติมิเตอร์

3. เครื่องวัดความเร็วรอบ



รูปที่ 4.3 เครื่องวัดความเร็วรอบ

4. เครื่องวัดความเร็วลม



รูปที่ 4.4 เครื่องวัดความเร็วลม

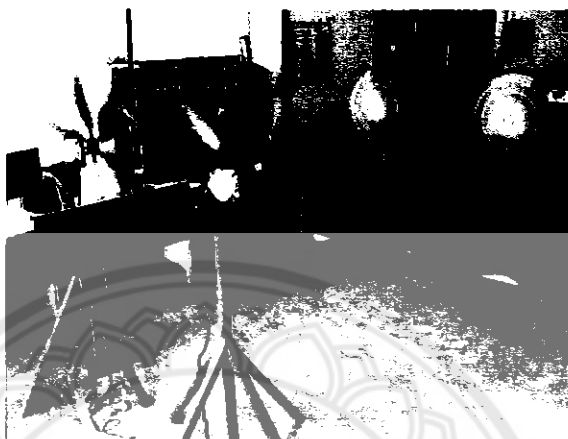
4.2 การทดสอบคุณสมบัติของกังหันลม

1. ติดตั้งกังหันลมและพัดลมให้ตรงกัน โดยมีระยะห่างระหว่างกัน 7.0 เมตร จากนั้นเปิดพัดลมเบอร์ 1 บันทึกค่าความเร็วลม แรงดัน ความเร็วรอบ ลงในตารางที่ 4.1
2. ติดตั้งกังหันลมและพัดลมให้ตรงกัน โดยมีระยะห่างระหว่างกัน 5.0 เมตร จากนั้นเปิดพัดลมเบอร์ 2 บันทึกค่าความเร็วลม แรงดัน ความเร็วรอบ ลงในตารางที่ 4.1
3. ติดตั้งกังหันลมและพัดลมให้ตรงกัน โดยมีระยะห่างระหว่างกัน 3.0 เมตร จากนั้นเปิดพัดลมเบอร์ 2 บันทึกค่าความเร็วลม แรงดัน ความเร็วรอบ ลงในตารางที่ 4.1
4. ติดตั้งกังหันลมและพัดลมให้ตรงกัน โดยมีระยะห่างระหว่างกัน 2.0 เมตร จากนั้นเปิดพัดลมเบอร์ 2 บันทึกค่าความเร็วลม แรงดัน ความเร็วรอบ ลงในตารางที่ 4.1
5. ติดตั้งกังหันลมและพัดลมให้ตรงกัน โดยมีระยะห่างระหว่างกัน 1.5 เมตร จากนั้นเปิดพัดลมเบอร์ 3 บันทึกค่าความเร็วลม แรงดัน ความเร็วรอบ ลงในตารางที่ 4.1
6. ทดลองซ้ำข้อที่ 1 - 5 โดยเปลี่ยนเป็นกังหันลมตัวที่ 2 และ 3 บันทึกค่าลงในตารางที่ 4.2 และ 4.3 ตามลำดับดังรูปที่ 4.5



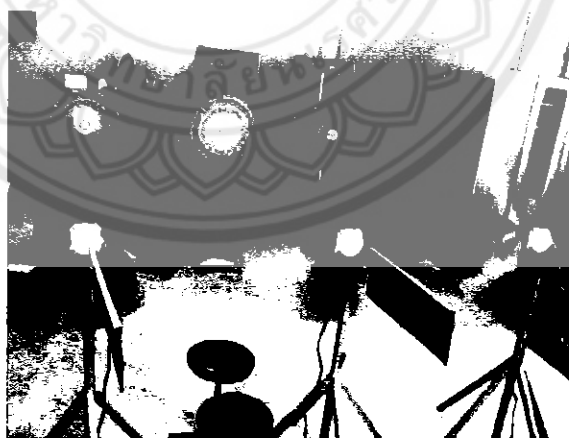
รูปที่ 4.5 แสดงการวัดระยะห่างระหว่างพัดลมกับกังหันลม

7. นำกังหันลมมาทำการต่ออนุกรมกัน 2 ตัวดังรูปที่ 4.6 โดยเลือกกังหันลมที่มีคุณสมบัติที่สุด พิจารณาจากการทดลองตารางที่ 4.1- 4.3 จากนั้นวางพัดลม 1 ตัว ต่อกังหันลม 1 ตัว และเปิดพัดลมโดยใช้เบอร์ตามข้อ 1 - 5 บันทึกค่าแรงดันรวมของกังหันลม 2 ตัว ลงในตารางที่ 4.4



รูปที่ 4.6 การอนุกรมแหล่งจ่ายกังหันลม 2 ตัว

8. นำกังหันลมมาทำการต่ออนุกรมกัน 3 ตัวดังรูปที่ 4.7 จากนั้นวางพัดลม 1 ตัว ต่อกังหันลม 1 ตัว และเปิดพัดลมโดยใช้เบอร์ตามข้อ 1 - 5 บันทึกค่าแรงดันรวมของกังหันลม 3 ตัวลงในตารางที่ 4.5



รูปที่ 4.7 การอนุกรมแหล่งจ่ายกังหันลม 3 ตัว

ตารางที่ 4.1 กังหันลมตัวที่ 1

ระยะทาง (m)	เบอร์พัดลม	ความเร็วลมเฉลี่ย (m/s)	แรงดันเฉลี่ย (V)	ความเร็วรอบ เฉลี่ย (rpm)
7.0	1	1.88	7.4	62.17
5.0	2	2.57	10.2	90.60
3.0	2	3.57	15.6	128.70
2.0	2	5.40	19.5	165.80
1.5	3	6.64	21.0	173.00

ตารางที่ 4.2 กังหันลมตัวที่ 2

ระยะทาง (m)	เบอร์พัดลม	ความเร็วลมเฉลี่ย (m/s)	แรงดันเฉลี่ย (V)	ความเร็วรอบ เฉลี่ย (rpm)
7.0	1	1.91	7.8	62.80
5.0	2	2.57	10.8	91.50
3.0	2	3.55	16.0	129.72
2.0	2	5.41	20.0	167.13
1.5	3	6.64	21.5	175.57

ตารางที่ 4.3 กังหันลมตัวที่ 3

ระยะทาง (m)	เบอร์พัดลม	ความเร็วลมเฉลี่ย (m/s)	แรงดันเฉลี่ย (V)	ความเร็วรอบ เฉลี่ย (rpm)
7.0	1	1.88	6.8	61.74
5.0	2	2.61	9.7	86.60
3.0	2	3.58	15.2	127.80
2.0	2	5.37	18.4	150.90
1.5	3	6.62	19.5	165.00

หมายเหตุ : จากตารางที่ 4.1 - 4.3

- ระยะทาง คือ ระยะห่างระหว่างกังหันลมกับพัดลม
- ความเร็วลมเฉลี่ย คือ ความเร็วลมที่ปะทะใบกังหันลมที่ทำการทดลองจำนวน 3 ครั้ง
- แรงดันเฉลี่ย คือ ค่าที่ทำการทดลองจำนวน 3 ครั้ง
- ความเร็วรอบเฉลี่ย คือ ค่าที่ทำการทดลองจำนวน 3 ครั้ง

ตารางที่ 4.4 กังหันลมต่ออนุกรมกัน 2 ตัว (เลือกตัวที่มีคุณสมบัติดีที่สุด)

ระยะทาง (m)	เบอร์พัดลมตัว ที่ 1	เบอร์พัดลม ตัวที่ 2	ความเร็วลมเฉลี่ย (m/s)	แรงดันเฉลี่ย (V)
7.0	1	1	1.88	13.58
5.0	2	2	2.59	20.67
3.0	2	2	3.61	32.60
2.0	2	2	5.43	35.31
1.5	3	3	6.65	40.75

หมายเหตุ : กังหันลมที่มีคุณสมบัติดีที่สุด พิจารณาจากการทดลองตารางที่ 4.1 - 4.3 โดยเปรียบเทียบแรงดันเฉลี่ยและความเร็วรอบเฉลี่ยของกังหันลมที่ระดับความเร็วลมเฉลี่ยเท่ากัน ว่ามีค่ามากหรือน้อยตามลำดับ

ตารางที่ 4.5 กังหันลมต่ออนุกรมกัน 3 ตัว

ระยะทาง (m)	เบอร์พัดลม ตัวที่ 1	เบอร์พัดลม ตัวที่ 2	เบอร์พัดลม ตัวที่ 3	ความเร็วลมเฉลี่ย (m/s)	แรงดันเฉลี่ย (V)
7.0	1	1	1	1.88	10.75
5.0	2	2	2	2.59	24.67
3.0	2	2	2	3.61	39.69
2.0	2	2	2	5.43	53.01
1.5	3	3	3	6.65	58.01

หมายเหตุ : จากตารางที่ 4.4 - 4.5

- ระยะทาง คือ ระยะห่างระหว่างกังหันลมกับพัดลม
- ความเร็วลมเฉลี่ย คือ ความเร็วลมที่ปะทะใบกังหันลมที่ทำการทดลองจำนวน 3 ครั้ง
- แรงดันเฉลี่ย คือ ค่าที่ทำการทดลองจำนวน 3 ครั้ง

4.3 การชาร์จแบตเตอรี่โดยตรง

1. นำสายไฟขั้วบวก (สายสีแดง) ขั้วลบ (สายสีน้ำเงิน) จากกั๊กันลมต่อให้ตรงขั้วแบตเตอรี่ดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 การชาร์จแบตเตอรี่โดยตรงจากกั๊กันลม 1 ตัว

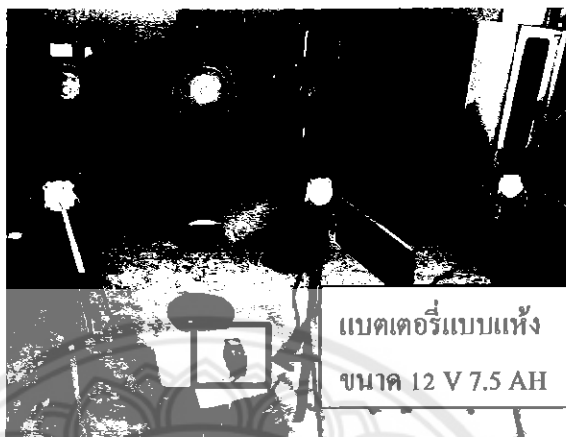
2. ทำการทดลองเช่นเดียวกับการทดลองที่ 4.2 ข้อที่ 1-3 โดยเริ่มนับเวลาการชาร์จแบตเตอรี่ ตั้งแต่ระดับความเร็วลมเฉลี่ย 3.55 เมตรต่อวินาที ที่ระยะทาง 3.0 เมตร บันทึกค่าแรงดันตกคร่อมแบตเตอรี่ ลงในตารางที่ 4.6
3. นำกั๊กันลมต่ออนุกรมกัน 2 ตัว ดังรูปที่ 4.9 โดยนำสายไฟขั้วบวก (สายสีแดง) ขั้วลบ (สายสีน้ำเงิน) ที่เหลือต่อให้ตรงขั้วแบตเตอรี่



รูปที่ 4.9 การชาร์จแบตเตอรี่โดยตรงจากกั๊กันลม 2 ตัว

4. ทดลองซ้ำข้อที่ 2 บันทึกค่าแรงดันตกคร่อมแบตเตอรี่ ลงในตารางที่ 4.7

5. นำก้านลมนต่ออนุกรมกัน 3 ตัว ดังรูปที่ 4.10 โดยนำสายไฟขั้วบวก (สายสีแดง) ขั้วลบ (สายสีน้ำเงิน) ที่เหลือต่อให้ตรงขั้วแบตเตอรี่



รูปที่ 4.10 การชาร์จแบตเตอรี่ โดยตรงจากก้านลม 3 ตัว

6. ทดลองซ้ำข้อที่ 2 บันทึกค่าแรงดันตกคร่อมแบตเตอรี่ ลงในตารางที่ 4.8
7. การทดลองที่ 4.3 จากตารางการทดลองที่ 4.6 - 4.8 ในขณะที่ทำการชาร์จแบตเตอรี่ให้สังเกตพฤติกรรมการหมุนของก้านลมและแบตเตอรี่ และทำการบันทึกลงใต้ตารางที่ 4.6 - 4.8 ตามลำดับ
8. ทดลองซ้ำข้อที่ 5 จากนั้นทำการชาร์จขณะที่แบตเตอรี่อยู่ในสภาวะหั่นตัว (ภายในแบตเตอรี่มีการเกิดปฏิกิริยาเคมี (แรงดันแบตเตอรี่ไม่คงที่)) ในระดับความเร็วลมเฉลี่ย 3.61 เมตรต่อวินาที และบันทึกค่าแรงดันตกคร่อมแบตเตอรี่ลงในตารางที่ 4.9
9. การทดลองทำการชาร์จแบตเตอรี่ในแต่ละขั้นตอนการทดลอง หลังทำการชาร์จแบตเตอรี่ให้ทำการคายประจุ บันทึกเวลาการคายประจุและคำนวณหาค่าปริมาณประจุจากการคาย (ปริมาณประจุ = กระแสไหลต (แอมแปร์) × เวลาการคาย (ชั่วโมง)) ลงในตารางที่ 4.14

ตารางที่ 4.6 กังหันลม 1 ตัว (เลือกตัวที่มีคุณสมบัติที่ดีที่สุด)

ระยะทาง (m)	ความเร็วลมเฉลี่ย (m/s)	เวลา (นาที)	แรงดันตกคร่อมแบตเตอรี่ (V)
7.0	1.91	-	-
5.0	2.57	-	-
3.0	3.55	0	11.72
3.0	3.55	30	11.86
3.0	3.55	60	11.89
3.0	3.55	90	11.90
3.0	3.55	120	11.90
3.0	3.55	150	11.92
3.0	3.55	180	11.91

แรงดันแบตเตอรี่ก่อนทำการชาร์จ 11.72 โวลต์ (รอ 4 ชั่วโมง หลังจากการคายประจุหมด)

แรงดันแบตเตอรี่หลังทำการชาร์จ 11.80 โวลต์ (รอ 1 ชั่วโมง หลังทำการชาร์จ)

จากการสังเกตพฤติกรรมกังหันลมและแบตเตอรี่ขณะทำการชาร์จ พบว่า ที่ระดับความเร็วลมเฉลี่ยของระยะทาง 7.0 เมตร กับ 5.0 เมตรกังหันลมเริ่มต้นหมุนยากและหมุนช้า แต่ที่ระดับความเร็วลมเฉลี่ยของระยะทาง 3.0 เมตร กังหันลมสามารถหมุนได้และสามารถผลิตแรงดันได้ค่าที่เหมาะสมสำหรับการชาร์จแบตเตอรี่ (จากตารางที่ 4.1 - 4.3) และจากการสัมผัสแบตเตอรี่ในระหว่างทำการชาร์จ แบตเตอรี่อยู่ในสภาวะที่ปกติ

หมายเหตุ : กังหันลมที่มีคุณสมบัติที่ดีที่สุด พิจารณาจากการทดลองตารางที่ 4.1 - 4.3 โดยการเปรียบเทียบแรงดันเฉลี่ยและความเร็วรอบเฉลี่ยของกังหันลมที่ระดับความเร็วลมเฉลี่ยเท่ากัน ว่ามีค่ามากหรือน้อยตามลำดับ

- ระยะทาง คือ ระยะห่างระหว่างกังหันลมกับพัดลม
- ความเร็วลมเฉลี่ย คือ ความเร็วลมที่ปะทะ ใบกังหันลม โดยอ้างอิงจากตารางการทดสอบคุณสมบัติของกังหันลม

ตารางที่ 4.7 กังหันลมต่ออนุกรมกัน 2 ตัว (ตัวที่คุณสมบัติที่สุด)

ระยะทาง (m)	ความเร็วลมเฉลี่ย (m/s)	เวลา (นาที)	แรงดันตกคร่อมแบตเตอรี่ (V)
7.0	1.88	-	-
5.0	2.59	0	-
3.0	3.61	0	11.65
3.0	3.61	30	11.96
3.0	3.61	60	11.98
3.0	3.61	90	12.00
3.0	3.61	120	12.02
3.0	3.61	150	12.04
3.0	3.61	180	12.05

แรงดันแบตเตอรี่ก่อนทำการชาร์จ 11.65 โวลต์ (รอ 4 ชั่วโมง หลังจากการคายประจุหมด)

แรงดันแบตเตอรี่หลังทำการชาร์จ 11.90 โวลต์ (รอ 1 ชั่วโมง หลังทำการชาร์จ)

จากการสังเกตพฤติกรรมกังหันลมและแบตเตอรี่ขณะทำการชาร์จ พบว่า ที่ระดับความเร็วลมเฉลี่ยของระยะทาง 7.0 เมตร และ 5.0 เมตร กังหันลมสามารถเริ่มต้นหมุนได้ง่ายขึ้น และที่ระดับความเร็วลมเฉลี่ยของระยะทาง 3.0 เมตร พบว่ามีกังหันลมตัวหนึ่งหมุนเร็วส่วนอีกตัวหนึ่งหมุนช้าจากการสัมผัสแบตเตอรี่ขณะทำการชาร์จเมื่อเวลาผ่านไปได้ 20 นาที แบตเตอรี่มีอุณหภูมิสูงขึ้นจากสภาวะปกติ

หมายเหตุ : - ระยะทาง คือ ระยะห่างระหว่างกังหันลมกับพัดลม

- ความเร็วลมเฉลี่ย คือ ความเร็วลมที่ปะทะใบกังหันลมโดยอ้างอิงจากตารางการทดสอบคุณสมบัติของกังหันลม

ตารางที่ 4.8 กังหันลมต่ออนุกรมกัน 3 ตัว

ระยะทาง (m)	ความเร็วลมเฉลี่ย (m/s)	เวลา (นาที)	แรงดันตกคร่อมแบตเตอรี่ (V)
7.0	1.88	-	-
5.0	2.59	0	-
3.0	3.61	0	11.52
3.0	3.61	30	11.96
3.0	3.61	60	11.98
3.0	3.61	90	11.99
3.0	3.61	120	12.01
3.0	3.61	150	11.98
3.0	3.61	180	12.00

แรงดันแบตเตอรี่ก่อนทำการชาร์จ 11.52 โวลต์ (รอ 4 ชั่วโมง หลังจากการคายประจุหมด)

แรงดันแบตเตอรี่หลังทำการชาร์จ 11.86 โวลต์ (รอ 1 ชั่วโมง หลังทำการชาร์จ)

จากการสังเกตพฤติกรรมกังหันลมและแบตเตอรี่ขณะทำการชาร์จ พบว่า ที่ระดับความเร็วลมเฉลี่ยของระยะทาง 7.0 เมตร และ 5.0 เมตร กังหันลมสามารถเริ่มต้นหมุนได้ง่ายขึ้น และที่ระดับความเร็วลมเฉลี่ยของระยะทาง 3.0 เมตร พบว่ามีกังหันลมตัวหนึ่งหมุนเร็วส่วนอีกสองตัวหมุนช้าจากการสัมผัสแบตเตอรี่ขณะทำการชาร์จ แบตเตอรี่มีอุณหภูมิสูงขึ้นจากสภาวะปกติ

หมายเหตุ : - ระยะทาง คือ ระยะห่างระหว่างกังหันลมกับพัดลม

- ความเร็วลมเฉลี่ย คือ ความเร็วลมที่ปะทะ ใบกังหันลม โดยอ้างอิงจากรายการทดสอบคุณสมบัติของกังหันลม

ตารางที่ 4.9 กังหันลมต่ออนุกรมกัน 3 ตัว (เริ่มชาร์จขณะแบตเตอรี่อยู่ในสถานะพื้นตัว)

ระยะทาง (m)	ความเร็วลมเฉลี่ย (m/s)	เวลา (นาที)	แรงดันตกคร่อมแบตเตอรี่ (V)
7.0	1.88	-	-
5.0	2.59	0	-
3.0	3.61	0	9.15
3.0	3.61	10	9.90
3.0	3.61	20	9.95
3.0	3.61	30	12.00
3.0	3.61	40	11.93
3.0	3.61	50	11.93
3.0	3.61	60	11.92
3.0	3.61	70	11.96
3.0	3.61	80	11.97
3.0	3.61	90	11.98
3.0	3.61	100	11.96
3.0	3.61	110	11.93
3.0	3.61	120	11.96
3.0	3.61	130	11.97
3.0	3.61	140	11.98
3.0	3.61	150	11.97
3.0	3.61	160	11.99
3.0	3.61	170	11.99
3.0	3.61	180	11.99

แรงดันแบตเตอรี่ก่อนทำการชาร์จ 9.15 โวลต์ (สถานะพื้นตัว หลังจากการคายประจุหมด)

แรงดันแบตเตอรี่หลังทำการชาร์จ 11.84 โวลต์ (รอ 1 ชั่วโมง หลังทำการชาร์จ)

4.4 การชาร์จแบตเตอรี่โดยผ่านวงจรชาร์จแบตเตอรี่

1. คิคตั้งวงจรชาร์จแบตเตอรี่ โดยนำสายไฟขั้วบวก (สายสีแดง) ขั้วลบ (สายสีน้ำเงิน) จากกั๊กันลมห่มต่อเข้ากับขั้วแหล่งจ่ายกั๊กันลมห่มของวงจรชาร์จแบตเตอรี่ และทำการต่อแบตเตอรี่เข้ากับขั้วแบตเตอรี่ทั้งสองขั้วของวงจรชาร์จ ดังรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 การชาร์จแบตเตอรี่โดยผ่านวงจรชาร์จแบตเตอรี่ด้วยกั๊กันลมห่ม 1 ตัว

2. ทำการทดลองเช่นเดียวกับการทดลองที่ 4.2 ข้อที่ 1 - 3 โดยเริ่มนับเวลาการชาร์จแบตเตอรี่ ตั้งแต่ระดับความเร็วลมเฉลี่ย 3.55 เมตรต่อวินาที ที่ระยะทาง 3.0 เมตร บันทึกค่าแรงดันคั๊กันลมห่มแบตเตอรี่ ลงในตารางที่ 4.10

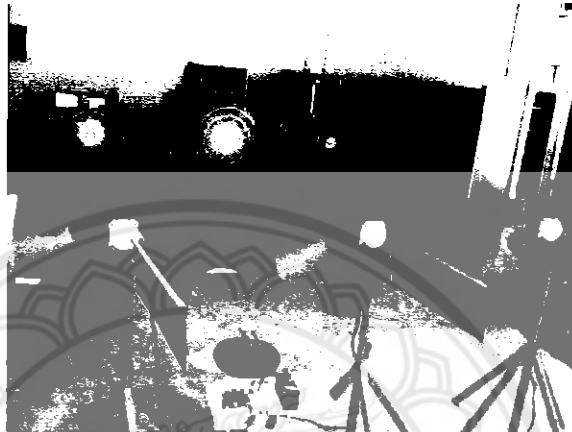
3. นำกั๊กันลมห่มต่ออนุกรมกัน 2 ตัว ดังรูปที่ 4.12 โดยนำสายไฟขั้วบวก (สายสีแดง) ขั้วลบ (สายสีน้ำเงิน) ที่เหลือต่อให้ตรงขั้วแหล่งจ่ายกั๊กันลมห่มของวงจรชาร์จแบตเตอรี่ และทำการต่อแบตเตอรี่เข้ากับขั้วแบตเตอรี่ทั้งสองขั้วของวงจรชาร์จ



รูปที่ 4.12 การชาร์จแบตเตอรี่โดยผ่านวงจรชาร์จแบตเตอรี่ด้วยกั๊กันลมห่ม 2 ตัว

4. ทดลองซ้ำข้อที่ 2 บันทึกค่าแรงดันตกคร่อมแบตเตอรี่ ลงในตารางที่ 4.11

5. นำก้านหลมต่ออนุกรมกัน 3 ตัว ดังรูปที่ 4.13 โดยนำสายไฟขั้วบวก (สายสีแดง) ขั้วลบ (สายสีน้ำเงิน) ที่เหลือต่อให้ตรงขั้วแหล่งจ่ายก้านหลมของวงจรชาร์จแบตเตอรี่ และทำการต่อแบตเตอรี่เข้ากับขั้วแบตเตอรี่ทั้งสองลูกของวงจรชาร์จ



รูปที่ 4.13 การชาร์จแบตเตอรี่ โดยผ่านวงจรชาร์จแบตเตอรี่ด้วยก้านหลม 3 ตัว



รูปที่ 4.14 การทำงานของสถานะไฟแอลอีดีและจอแอลซีดีขณะทำการชาร์จแบตเตอรี่

6. ทดลองซ้ำข้อที่ 2 บันทึกค่าแรงดันตกคร่อมแบตเตอรี่ ลงในตารางที่ 4.12

7. การทดลองที่ 4.4 จากตารางการทดลองที่ 4.10 - 4.12 ในขณะที่ทำการชาร์จแบตเตอรี่ให้สังเกตพฤติกรรมกรรมการหมุนของก้านหลม แบตเตอรี่ และไฟแอลอีดีแสดงสถานะการทำงานของวงจรชาร์จแบตเตอรี่ในขณะที่ทำการชาร์จ และทำการบันทึกลงใต้ตารางที่ 4.10 - 4.12 ตามลำดับ

8. ทดลองซ้ำข้อที่ 5 จากนั้นทำการชาร์จขณะที่แบตเตอรี่อยู่ในสถานะพื้นตัว (ภายในแบตเตอรี่มีการเกิดปฏิกิริยาเคมี (แรงดันแบตเตอรี่ไม่คงที่)) ในระดับความเร็วลม 3.61 เมตรต่อวินาที ที่ระยะทาง 3 เมตร และบันทึกแรงดันตกคร่อมแบตเตอรี่ ลงในตารางที่ 4.13

9. การทดลองทำการชาร์จแบตเตอรี่ในแต่ละขั้นตอนการทดลอง หลังทำการชาร์จแบตเตอรี่ให้ทำการคายประจุ บันทึกเวลาการคายประจุและคำนวณหาค่าปริมาณประจุจากการคาย (ปริมาณประจุ = กระแสไหลค (แอมแปร์) × เวลาการคาย (ชั่วโมง)) ลงในตารางที่ 4.14

ตารางที่ 4.10 การชาร์จแบตเตอรี่โดยผ่านวงจรชาร์จแบตเตอรี่จากกังหันลม 1 ตัว

ระยะทาง (m)	ความเร็วลมเฉลี่ย (m/s)	เวลา (นาที)	แรงดันตกคร่อมแบตเตอรี่ (V)
7.0	1.91	-	-
5.0	2.57	-	-
3.0	3.55	0	11.72
3.0	3.55	30	11.74
3.0	3.55	60	11.77
3.0	3.55	90	11.78
3.0	3.55	120	11.80
3.0	3.55	150	11.80
3.0	3.55	180	11.79

แรงดันแบตเตอรี่ก่อนทำการชาร์จ 11.72 โวลต์ (รอ 4 ชั่วโมง หลังจากการคายประจุหมด)

แรงดันแบตเตอรี่หลังทำการชาร์จ 11.75 โวลต์ (รอ 1 ชั่วโมง หลังทำการชาร์จ)

จากการสังเกตพฤติกรรมกังหันลม แบตเตอรี่และไฟแอลอีดีแสดงสถานะการทำงานของวงจรชาร์จแบตเตอรี่ขณะทำการชาร์จ พบว่า ที่ระดับความเร็วลมเฉลี่ยของระยะทาง 7.0 เมตร และ 5.0 เมตร กังหันลมสามารถเริ่มต้นหมุนได้ง่าย และที่ระดับความเร็วลมเฉลี่ยของระยะทาง 3.0 เมตร กังหันลมสามารถหมุนได้ง่ายเช่นกัน ส่วนของไฟแอลอีดีแสดงสถานะการทำงานของวงจรชาร์จแบตเตอรี่ ในขณะที่ทำการต่อแบตเตอรี่ลูกที่ 1 ไฟแอลอีดีแสดงสถานะของไฟเลี้ยงไมโครคอนโทรลเลอร์จะติดและในขณะที่ทำการชาร์จไฟแอลอีดีแสดงสถานะของระดับแรงดันคิกที่ช่วง 6 - 13.8 โวลต์

หมายเหตุ : - วัดแรงดันขั้วแบตเตอรี่ลูกที่ 2 เนื่องจากทำการชาร์จแบตเตอรี่ในขณะที่แบตเตอรี่ลูกที่ 1 มีแรงดันเกิน 12 โวลต์ตามเงื่อนไขของการทำงานไมโครคอนโทรลเลอร์

- ระยะทาง คือ ระยะห่างระหว่างกังหันลมกับพัดลม

- ความเร็วลมเฉลี่ย คือ ความเร็วลมที่ปะทะใบกังหันลมโดยอ้างอิงจากตารางการ

ทดสอบคุณสมบัติของกังหันลม

ตารางที่ 4.11 การชาร์จแบตเตอรี่โดยผ่านวงจรชาร์จแบตเตอรี่จากกังหันลม 2 ตัว

ระยะทาง (m)	ความเร็วลมเฉลี่ย (m/s)	เวลา (นาที)	แรงดันตกคร่อมแบตเตอรี่ (V)
7.0	1.88	-	-
5.0	2.59	0	-
3.0	3.61	0	11.68
3.0	3.61	30	11.87
3.0	3.61	60	11.88
3.0	3.61	90	11.88
3.0	3.61	120	11.90
3.0	3.61	150	11.90
3.0	3.61	180	11.90

แรงดันแบตเตอรี่ก่อนทำการชาร์จ 11.68 โวลต์ (รอ 4 ชั่วโมง หลังจากการคายประจุหมด)

แรงดันแบตเตอรี่หลังทำการชาร์จ 11.80 โวลต์ (รอ 1 ชั่วโมง หลังทำการชาร์จ)

จากการสังเกตพฤติกรรมกังหันลม แบตเตอรี่และไฟแอลอีดีแสดงสถานะการทำงานของวงจรชาร์จแบตเตอรี่ขณะทำการชาร์จ พบว่า ที่ระดับความเร็วลมเฉลี่ยของระยะทาง 7.0 เมตร และ 5.0 เมตร กังหันลมสามารถเริ่มต้นหมุนได้ง่าย และที่ระดับความเร็วลมเฉลี่ยของระยะทาง 3.0 เมตร กังหันลมสามารถหมุนได้ง่ายเช่นกัน โดยจะหมุนอย่างต่อเนื่องทั้งสองตัว จากการสัมผัสแบตเตอรี่ ในขณะที่ทำการชาร์จ แบตเตอรี่อยู่ในสถานะที่ปกติ ในส่วนของวงจรชาร์จแบตเตอรี่ไฟแอลอีดีแสดงสถานะของระดับแรงดันส่วนใหญ่อยู่ในช่วง 13.8 - 16 โวลต์ บางช่วงสูงถึงระดับ 16 - 20 โวลต์ พอไฟแอลอีดีแสดงสถานะของแบตเตอรี่ลูกที่ 2 ติด ไฟแอลอีดีของระดับแรงดันจะตกลงไปอยู่ในช่วง 6 - 13.8 โวลต์ พร้อมกับไฟแอลอีดีของแบตเตอรี่จะดับ และพอไฟแอลอีดีแสดงสถานะระดับแรงดันขึ้นสูงถึงระดับ 13.8 - 16 โวลต์ ขึ้นไป ไฟแอลอีดีแสดงสถานะของแบตเตอรี่ลูกที่ 2 ก็จะติด และไฟแอลอีดีของระดับแรงดันจะตกลงไปอยู่ในช่วง 6 - 13.8 โวลต์ สลับกันไป

หมายเหตุ : - วัดแรงดันขั้วแบตเตอรี่ลูกที่ 2 เนื่องจากทำการชาร์จแบตเตอรี่ในขณะที่แบตเตอรี่ลูกที่ 1 มีแรงดันเกิน 12 โวลต์ตามเงื่อนไขของการทำงานไมโครคอนโทรลเลอร์

- ระยะทาง คือ ระยะห่างระหว่างกังหันลมกับพัดลม

- ความเร็วลมเฉลี่ย คือ ความเร็วลมที่ปะทะใบกังหันลมโดยอ้างอิงจากตารางการทดสอบคุณสมบัติของกังหันลม

ตารางที่ 4.12 การชาร์จแบตเตอรี่โดยผ่านวงจรชาร์จแบตเตอรี่จากกังหันลม 3 ตัว

ระยะทาง (m)	ความเร็วลมเฉลี่ย (m/s)	เวลา (นาที)	แรงดันตกคร่อมแบตเตอรี่ (V)
7.0	1.88	-	-
5.0	2.59	0	-
3.0	3.61	0	11.54
3.0	3.61	30	11.91
3.0	3.61	60	11.93
3.0	3.61	90	11.93
3.0	3.61	120	11.93
3.0	3.61	150	11.94
3.0	3.61	180	11.95

แรงดันแบตเตอรี่ก่อนทำการชาร์จ 11.54 โวลต์ (รอ 4 ชั่วโมง หลังจากการคายประจุหมด)

แรงดันแบตเตอรี่หลังทำการชาร์จ 11.81 โวลต์ (รอ 1 ชั่วโมง หลังทำการชาร์จ)

จากการสังเกตพฤติกรรมกังหันลม แบตเตอรี่และไฟแอลอีดีแสดงสถานะการทำงานของวงจรชาร์จแบตเตอรี่ขณะทำการชาร์จ พบว่า ที่ระดับความเร็วลมเฉลี่ยของระยะทาง 7.0 เมตร และ 5.0 เมตร กังหันลมสามารถเริ่มต้นหมุนได้ง่าย และที่ระดับความเร็วลมเฉลี่ยของระยะทาง 3.0 เมตร กังหันลมสามารถหมุนได้ง่ายเช่นกัน โดยจะมีสองตัวที่หมุนเร็วและอีกหนึ่งตัวหมุนช้า จากการสัมผัสแบตเตอรี่ในขณะที่ทำการชาร์จ แบตเตอรี่อยู่ในสถานะที่ปกติ ในส่วนของวงจรชาร์จแบตเตอรี่ไฟแอลอีดีแสดงสถานะของระดับแรงดันส่วนใหญ่อยู่ในช่วง 13.8 - 16 โวลต์ บางช่วงสูงถึงระดับ 16 - 20 โวลต์ พอไฟแอลอีดีแสดงสถานะของแบตเตอรี่ลูกที่ 2 ติด ไฟแอลอีดีของระดับแรงดันจะตกลงไปอยู่ในช่วง 6 - 13.8 โวลต์ พร้อมกับไฟแอลอีดีของแบตเตอรี่จะดับ และพอไฟแอลอีดีแสดงสถานะระดับแรงดันขึ้นสูงถึงระดับ 13.8 - 16 โวลต์ ขึ้นไป ไฟแอลอีดีแสดงสถานะของแบตเตอรี่ลูกที่ 2 ก็จะติด และไฟแอลอีดีของระดับแรงดันจะตกลงไปอยู่ในช่วง 6 - 13.8 โวลต์ สลับกันไป

หมายเหตุ : - วัดแรงดันขั้วแบตเตอรี่ลูกที่ 2 เนื่องจากทำการชาร์จแบตเตอรี่ในขณะที่แบตเตอรี่ลูกที่ 1 มีแรงดันเกิน 12 โวลต์ตามเงื่อนไขของการทำงานไมโครคอนโทรลเลอร์

- ระยะทาง คือ ระยะห่างระหว่างกังหันลมกับพัดลม

- ความเร็วลมเฉลี่ย คือ ความเร็วลมที่ปะทะใบกังหันลมโดยอ้างอิงจากตารางการทดสอบคุณสมบัติของกังหันลม

ตารางที่ 4.13 กังหันลมต่ออนุกรมกัน 3 ตัว (เริ่มชาร์จแบตเตอรี่ขณะอยู่ในสถานะพื้นตัว)

ระยะทาง (m)	ความเร็วลมเฉลี่ย (m/s)	เวลา (นาที)	แรงดันตกคร่อมแบตเตอรี่ (V)
7.0	1.88	-	-
5.0	2.59	0	-
3.0	3.61	0	9.25
3.0	3.61	10	11.86
3.0	3.61	20	11.89
3.0	3.61	30	11.80
3.0	3.61	40	11.88
3.0	3.61	50	11.87
3.0	3.61	60	11.90
3.0	3.61	70	11.90
3.0	3.61	80	11.91
3.0	3.61	90	11.91
3.0	3.61	100	11.92
3.0	3.61	110	11.91
3.0	3.61	120	11.92
3.0	3.61	130	11.92
3.0	3.61	140	11.92
3.0	3.61	150	11.93
3.0	3.61	160	11.93
3.0	3.61	170	11.92
3.0	3.61	180	11.93

แรงดันแบตเตอรี่ก่อนทำการชาร์จ 9.25 โวลต์ (สถานะพื้นตัว หลังจากการคายประจุหมด)

แรงดันแบตเตอรี่หลังทำการชาร์จ 11.72 โวลต์ (รอ 1 ชั่วโมง หลังทำการชาร์จ)

จากการสังเกตพฤติกรรมกังหันลม แบตเตอรี่และ ไฟแอลอีดีแสดงสถานะการทำงานของ วงจรชาร์จแบตเตอรี่ขณะทำการชาร์จ พบว่า ที่ระดับความเร็วลมเฉลี่ยของระยะทาง 7.0 เมตร และ 5.0 เมตร กังหันลมสามารถเริ่มต้นหมุนได้ง่าย และที่ระดับความเร็วลมเฉลี่ยของระยะทาง 3.0 เมตร กังหันลมสามารถหมุนได้ง่ายเช่นกัน โดยจะมีสองตัวที่หมุนเร็วและอีกหนึ่งตัวหมุนช้า จากการ สัมผัสแบตเตอรี่ในขณะที่ทำการชาร์จ แบตเตอรี่อยู่ในสถานะที่ปกติ ในส่วนของวงจรชาร์จแบตเตอรี่

ไฟแอลอีดีแสดงสถานะของระดับแรงดันส่วนใหญ่อยู่ในช่วง 13.8 - 16 โวลต์ บางช่วงสูงถึงระดับ 16 - 20 โวลต์ พอไฟแอลอีดีแสดงสถานะของแบตเตอรี่ลูกที่ 2 ดับ ไฟแอลอีดีของระดับแรงดันจะตกลงไปอยู่ในช่วง 6 - 13.8 โวลต์ พร้อมกับไฟแอลอีดีของแบตเตอรี่จะดับ และพอไฟแอลอีดีแสดงสถานะระดับแรงดันขึ้นสูงถึงระดับ 13.8 - 16 โวลต์ ขึ้นไป ไฟแอลอีดีแสดงสถานะของแบตเตอรี่ลูกที่ 2 ก็จะติด และไฟแอลอีดีของระดับแรงดันจะตกลงไปอยู่ในช่วง 6 - 13.8 โวลต์ สลับกันไป

หมายเหตุ : - วัดแรงดันขั้วแบตเตอรี่ลูกที่ 2 เนื่องจากทำการชาร์จแบตเตอรี่ในขณะที่แบตเตอรี่ลูกที่ 1 มีแรงดันเกิน 12 โวลต์ตามเงื่อนไขของการทำงานไมโครคอนโทรลเลอร์

- ระยะทาง คือ ระยะห่างระหว่างกึ่งहनลกับหัดลม

- ความเร็วลมเฉลี่ย คือ ความเร็วลมที่ปะทะ ใบกั้นहनลโดยอ้างอิงจากตารางการ

ทดสอบคุณสมบัติของกั้นहनล

ตารางที่ 4.14 การทดลองคายประจุ (ใช้หลอดไฟฟ้ากระแสดรงขนาด 12 โวลต์ 8 วัตต์ เป็น โหลด)

การทดลอง ผลการทดลอง	การชาร์จโดยตรง				การชาร์จโดยผ่านวงจรชาร์จ			
	1 ตัว	2 ตัว	3 ตัว (ปกติ)	3 ตัว (พื้นตัว)	1 ตัว	2 ตัว	3 ตัว (ปกติ)	3 ตัว (พื้นตัว)
แรงดันก่อนชาร์จ (V)	11.72	11.65	11.52	9.15	11.72	11.68	11.54	9.25
แรงดันหลังชาร์จ (V)	11.80	11.90	11.86	11.84	11.75	11.80	11.81	11.72
เวลาคายประจุ (hr)	0.42	0.67	0.5	0.47	0.083	0.5	0.33	0.37
ปริมาณประจุที่ได้ (Ah)	0.25	0.4	0.3	0.28	0.05	0.3	0.2	0.22

หมายเหตุ : - ปกติ หมายถึง ภายในแบตเตอรี่ไม่มีการเกิดปฏิกิริยาเคมี (แรงดันแบตเตอรี่คงที่)

- พื้นตัว หมายถึง ภายในแบตเตอรี่มีการเกิดปฏิกิริยาเคมี (แรงดันแบตเตอรี่ไม่คงที่)

- 1 ตัว หมายถึง กั้นहनล 1 ตัว

- 2 ตัว หมายถึง กั้นहनลอนุกรมกัน 2 ตัว

- 3 ตัว หมายถึง กั้นहनลอนุกรมกัน 3 ตัว

4.5 สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง

จากตารางที่ 4.1 - 4.3 เป็นการทดสอบหาคุณสมบัติของกังหันลมตัวที่ดีที่สุด โดยการเปรียบเทียบค่าความเร็วรอบและแรงดันที่กังหันลมผลิตได้ พบว่าที่ระดับความเร็วลมเฉลี่ยเท่ากับกังหันลมที่มีคุณสมบัติที่ดีที่สุดคือ ตัวที่ 2 ตัวที่ 1 และตัวที่ 3 ตามลำดับ

จากตารางที่ 4.4 - 4.5 พบว่าที่ระดับความเร็วลมเฉลี่ยเท่ากัน เมื่อมีการต่ออนุกรมแหล่งจ่ายกังหันลมส่งผลให้แหล่งจ่ายกังหันลมสามารถผลิตได้ค่าพลังงานเพิ่มมากขึ้น

จากตารางที่ 4.6 เป็นการทดลองชาร์จแบตเตอรี่โดยตรงโดยใช้กังหันลม 1 ตัว พบว่าที่ระดับความเร็วลมที่มีค่าน้อยส่งผลให้พฤติกรรมกังหันลมขณะเริ่มหมุนเป็นไปได้ยากหรือไม่สามารถเริ่มหมุนได้ เนื่องจากในกรณีที่เราไม่มีวงจรควบคุมการชาร์จ แบตเตอรี่ที่ต่ออยู่ทางด้านเอาต์พุตจะถูกมองเสมือนเป็น โหลดที่มีความต้านทานต่ำมาก แบตเตอรี่จะดึงกระแสสูง จนอาจจะมีมองดูเป็นว่ากลายเป็นการเบรกการทำงานของกังหันลมไปจนไม่สามารถที่จะเริ่มหมุนได้ แต่ที่ความเร็วลมเฉลี่ยของระยะทาง 3.0 เมตร กังหันลมสามารถหมุนได้และเริ่มทำการชาร์จแบตเตอรี่ได้ เนื่องจากความเร็วลมที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้กังหันลมสามารถผลิตแรงดัน ได้สูงกว่าแรงดันแบตเตอรี่ และจากตารางที่ 4.2 แรงดันเฉลี่ยของกังหันลมที่ความเร็วลมเฉลี่ยของระยะทาง 3.0 เมตร ถือว่าเป็นแรงดันที่เหมาะสมสำหรับชาร์จแบตเตอรี่ เมื่อจับเวลาในการชาร์จเป็นเวลา 3 ชั่วโมง โดยวัดค่าแรงดันตกคร่อมแบตเตอรี่ทุกๆ 30 นาที จะได้ค่าดังตารางที่ 4.6 และจากการสัมผัสแบตเตอรี่ในระหว่างทำการชาร์จพบว่าแบตเตอรี่อยู่ในสภาวะปกติ เนื่องจากแรงดันในการชาร์จอยู่ในช่วงที่เหมาะสม

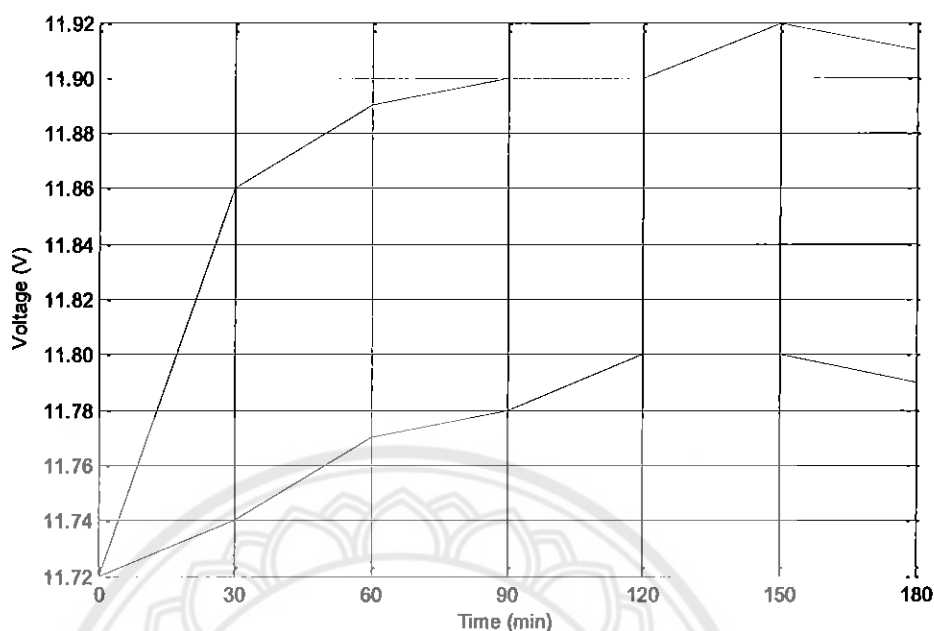
จากตารางที่ 4.7 - 4.8 เป็นการทดลองชาร์จแบตเตอรี่โดยตรงโดยใช้กังหันลมต่ออนุกรมกัน 2 ตัว 3 ตัว ตามลำดับ พบว่าที่ระดับความเร็วลมน้อย เมื่อเปรียบเทียบกับตารางที่ 4.6 แหล่งจ่ายกังหันลมสามารถเริ่มหมุนและเริ่มทำการชาร์จแบตเตอรี่ได้ เนื่องจากการอนุกรมแหล่งจ่ายเป็นการเพิ่มแรงดันทำให้ เมื่อมีระดับความเร็วลมน้อยแหล่งจ่ายกังหันลมก็ยังสามารถผลิตแรงดันที่ใช้ในการชาร์จแบตเตอรี่ได้ เมื่อจับเวลาในการชาร์จเป็นเวลา 3 ชั่วโมง โดยวัดค่าแรงดันตกคร่อมแบตเตอรี่ทุกๆ 30 นาที จะได้ค่าดังตารางที่ 4.7 - 4.8 และจากผลการทดลองที่ระดับความเร็วลมเฉลี่ยของระยะทาง 3.0 เมตร การชาร์จแบตเตอรี่ที่ระดับความเร็วลมนี้ เป็นการชาร์จที่มีการอัดแรงดันเข้าแบตเตอรี่ในระดับสูง แบตเตอรี่จึงมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น อาจทำให้แบตเตอรี่เกิดความเสียหาย และส่งผลให้อายุการใช้งานแบตเตอรี่สั้นลง

จากตารางที่ 4.10 เป็นการทดลองกังหันลม 1 ตัวชาร์จแบตเตอรี่โดยใช้ร่วมกับวงจรควบคุมการชาร์จแบตเตอรี่ พบว่าที่ระดับความเร็วลมที่มีค่าน้อยส่งผลให้กังหันลมขณะเริ่มหมุนเป็นไปได้ง่าย เนื่องจากการทำงานของวงจรชาร์จแบตเตอรี่ที่จะตรวจสอบแรงดันของแหล่งจ่ายซึ่งในกรณีที่ระดับแรงดันไม่ถึงระดับแรงดันชาร์จ วงจรชาร์จแบตเตอรี่ก็จะไม่สั่งให้วงจรชาร์จทำงาน(เสมือนแหล่งจ่ายกังหันลม ไม่มีภาระ โหลด) ส่งผลให้กังหันลมสามารถเริ่มทำการหมุนได้ง่ายขึ้น และจาก

การทดลองยังพบว่าที่ระดับความเร็วลมเฉลี่ยของระยะทาง 3.0 เมตร ซึ่งเป็นระดับความเร็วลมที่กึ่งหันลม 1 ตัว (ไม่มีวงจรวัดมุมการชาร์จ) สามารถเริ่มทำการชาร์จได้ แต่เมื่อใช้กึ่งหันลม 1 ตัว ร่วมกับวงจรวัดมุมการชาร์จ พบว่าที่ระดับความเร็วลมเดียวกัน แหล่งจ่ายกึ่งหันลมไม่สามารถเริ่มทำการชาร์จแบตเตอรี่ได้เนื่องจากผลของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ภายในวงจรวัดมุมการชาร์จทำให้ระดับแรงดันของแหล่งจ่ายลดลงประมาณ 2 - 3 โวลต์ จึงส่งผลให้แหล่งจ่ายกึ่งหันลม 1 ตัวที่ใช้ร่วมกับวงจรวัดมุมการชาร์จไม่สามารถเริ่มทำการชาร์จได้ แต่จากตารางที่ 4.10 จะเห็นว่าเมื่อเวลาผ่านไปแรงดันที่ตกคร่อมแบตเตอรี่จะเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ซึ่งมาจากการไหลของกระแสแบตเตอรี่ลูกที่ 1 ซึ่งมีความต่างศักย์สูงกว่าแบตเตอรี่ลูกที่ 2

จากตารางที่ 4.11 - 4.12 เป็นการทดลองชาร์จแบตเตอรี่โดยใช้ร่วมกับวงจรวัดมุมการชาร์จ โดยใช้กึ่งหันลมต่ออนุกรมกัน 2 ตัว และ 3 ตัว ตามลำดับ พบว่าที่ระดับความเร็วลมน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับตารางที่ 4.10 แหล่งจ่ายกึ่งหันลมสามารถเริ่มหมุนและเริ่มทำการชาร์จแบตเตอรี่ได้ เนื่องจากการอนุกรมแหล่งจ่ายเป็นการเพิ่มแรงดันทำให้ เมื่อมีระดับความเร็วลมน้อยแหล่งจ่ายกึ่งหันลมก็ยังสามารถผลิตแรงดันที่ใช้ในการชาร์จแบตเตอรี่ได้ และจากผลการทดลองที่ระดับความเร็วลมเฉลี่ยของระยะทาง 3.0 เมตร การทำงานของวงจรวัดมุมการชาร์จสามารถตรวจสอบระดับแรงดัน รวมทั้งควบคุมการชาร์จแบตเตอรี่ได้ตามระดับแรงดันการชาร์จที่เหมาะสม โดยมีแบตเตอรี่เป็นส่วนช่วยในการรักษาระดับแรงดันและป้องกันแรงดันเกินในขณะที่ชาร์จ ซึ่งเสมือนเป็นการช่วยควบคุมพฤติกรรมหมุนของกึ่งหันลมอีกทางหนึ่งคือ เมื่อกึ่งหันลมสามารถผลิตแรงดันได้ในช่วง 13.8 - 16 โวลต์ หรือช่วง 16 - 20 โวลต์ วงจรวัดมุมการชาร์จก็จะสั่งให้วงจรถูกชาร์จแบตเตอรี่ทำงาน (เชื่อมต่อแหล่งจ่ายกึ่งหันลมเข้ากับขั้วแบตเตอรี่) ทำให้แรงดันของแหล่งจ่ายกึ่งหันลมตกคร่อมขั้วแบตเตอรี่ลูกที่ 2 พร้อมกับพฤติกรรมของกึ่งหันลมในขณะนี้ จะหมุนหนีคขึ้น (แรงดันลดลง) เนื่องจากถูกแบตเตอรี่ลดระดับแรงดันของแหล่งจ่ายกึ่งหันลมให้อยู่ประมาณระดับแรงดันที่ขั้วแบตเตอรี่ เมื่อจับเวลาในการชาร์จเป็นเวลา 3 ชั่วโมง โดยวัดค่าแรงดันตกคร่อมแบตเตอรี่ลูกที่ 2 ทุกๆ 30 นาที จะได้ค่าดังตารางที่ 4.11 - 4.12 ซึ่งจะสังเกตได้ว่าค่าแรงดันที่ได้จะใกล้เคียงกับตารางที่ 4.6 ซึ่งเป็นการชาร์จแบตเตอรี่ในระดับแรงดันที่เหมาะสม

จากการทดลองชาร์จแบตเตอรี่โดยเริ่มต้นชาร์จจากแรงดันแบตเตอรี่คงที่ (หลังจากการพินตัวจากการคายประจุ 4 ชั่วโมง) สามารถแสดงความสัมพันธ์การชาร์จแบตเตอรี่ได้ดังรูปที่ 4.15 - 4.17

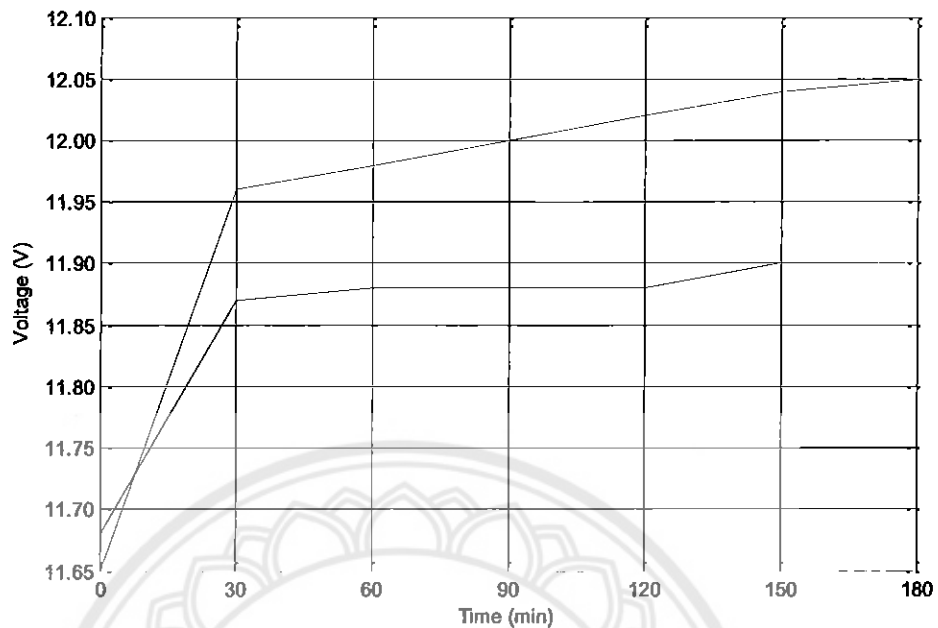


หมายเหตุ : - เส้นกราฟสีแดง คือ การชาร์จแบตเตอรี่ โดยผ่านวงจรชาร์จแบตเตอรี่

- เส้นกราฟสีน้ำเงิน คือ การชาร์จแบตเตอรี่ โดยตรง

รูปที่ 4.15 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลา กับแรงดันของการชาร์จแบตเตอรี่จากกังหันลม 1 ตัว

จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลา กับแรงดันของการชาร์จแบตเตอรี่จากกังหันลม 1 ตัว ดังรูปที่ 4.15 เป็นการทดลองทำการชาร์จแบตเตอรี่โดยตรง และการชาร์จแบตเตอรี่โดยผ่านวงจรชาร์จ ที่ความเร็วลมเฉลี่ยของระยะทาง 3.0 เมตร โดยใช้กังหันลม 1 ตัว พบว่า จากเส้นกราฟของการชาร์จแบตเตอรี่ โดยตรงจะได้ค่าระดับแรงดันตกคร่อมแบตเตอรี่มีค่าสูงกว่าการชาร์จแบตเตอรี่โดยผ่านวงจรชาร์จ เนื่องจากแรงดันเฉลี่ยของกังหันลม 1 ตัว ที่ความเร็วลมเฉลี่ยของระยะทาง 3.0 เมตร (จากตารางที่ 4.2) ถือว่าเป็นแรงดันที่เหมาะสมสำหรับการชาร์จ ซึ่งสูงกว่าแรงดันของแบตเตอรี่ แต่เมื่อใช้กังหันลม 1 ตัว ชาร์จแบตเตอรี่โดยผ่านวงจรชาร์จ จากเส้นกราฟพบว่า ระดับแรงดันมีการเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย ซึ่งน้อยกว่าการชาร์จแบตเตอรี่โดยตรง เนื่องจากผลของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ภายในวงจร ทำให้ระดับแรงดันของแหล่งจ่ายลดลงประมาณ 2 - 3 โวลต์ ส่งผลให้แหล่งจ่ายกังหันลม 1 ตัว ที่ชาร์จแบตเตอรี่โดยผ่านวงจรชาร์จ ไม่สามารถเริ่มทำการชาร์จได้ แต่เมื่อเวลาผ่านไปแรงดันตกคร่อมแบตเตอรี่ของเส้นกราฟการชาร์จแบตเตอรี่โดยผ่านวงจรชาร์จมีการเพิ่มขึ้นเล็กน้อยซึ่งมาจากการไหลของกระแสแบตเตอรี่ลูกที่ 1 ซึ่งมีความต่างศักย์สูงกว่าแบตเตอรี่ลูกที่ 2

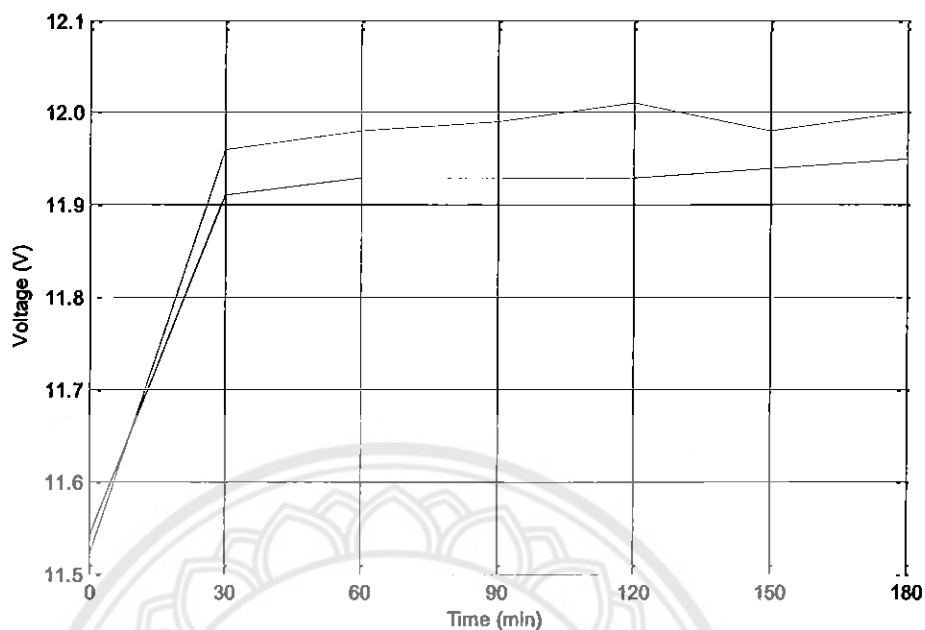


หมายเหตุ : - เส้นกราฟสีแดง คือ การชาร์จแบตเตอรี่ โดยผ่านวงจรชาร์จแบตเตอรี่

- เส้นกราฟสีน้ำเงิน คือ การชาร์จแบตเตอรี่ โดยตรง

รูปที่ 4.16 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลา กับแรงดันของการชาร์จแบตเตอรี่จากกังหันลม 2 ตัว

จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลา กับแรงดันของการชาร์จแบตเตอรี่จากกังหันลม 2 ตัว ดังรูปที่ 4.16 เป็นการทดลองชาร์จแบตเตอรี่ โดยตรง และการชาร์จแบตเตอรี่ โดยผ่านวงจรชาร์จ ที่ความเร็วลมเฉลี่ยของระยะทาง 3.0 เมตร โดยใช้กังหันลมอนุกรมกัน 2 ตัว พบว่าจากเส้นกราฟของการชาร์จแบตเตอรี่ โดยตรงจะให้ค่าแรงดันตกคร่อมแบตเตอรี่มีค่าสูงกว่าการชาร์จแบตเตอรี่ โดยผ่านวงจรชาร์จ เนื่องจากแรงดันเฉลี่ยของกังหันลมอนุกรมกัน 2 ตัว ที่ความเร็วลมเฉลี่ยของระยะทาง 3.0 เมตร (จากตารางที่ 4.4) ถือว่าเป็นแรงดันสูงเมื่อเทียบกับตารางที่ 4.2 ซึ่งการชาร์จแบตเตอรี่ที่ระดับความเร็วลมนี้เป็นการชาร์จที่มีการอัดแรงดันเข้าแบตเตอรี่ในระดับสูง แต่เมื่อทำการชาร์จแบตเตอรี่ โดยผ่านวงจรชาร์จ จากเส้นกราฟพบว่าค่าระดับแรงดันตกคร่อมแบตเตอรี่มีค่าเพิ่มขึ้นแต่น้อยกว่าการชาร์จแบตเตอรี่ โดยตรง เนื่องจากการทำงานของวงจรชาร์จสามารถตรวจสอบระดับแรงดันรวมทั้งควบคุมการชาร์จแบตเตอรี่ ได้ตามระดับแรงดันการชาร์จที่เหมาะสม ซึ่งจากกราฟของการชาร์จแบตเตอรี่ โดยผ่านวงจรชาร์จของรูปที่ 4.16 จะมีค่าแรงดันตกคร่อมแบตเตอรี่ใกล้เคียงกับเส้นกราฟการชาร์จแบตเตอรี่ โดยตรงของรูปที่ 4.15



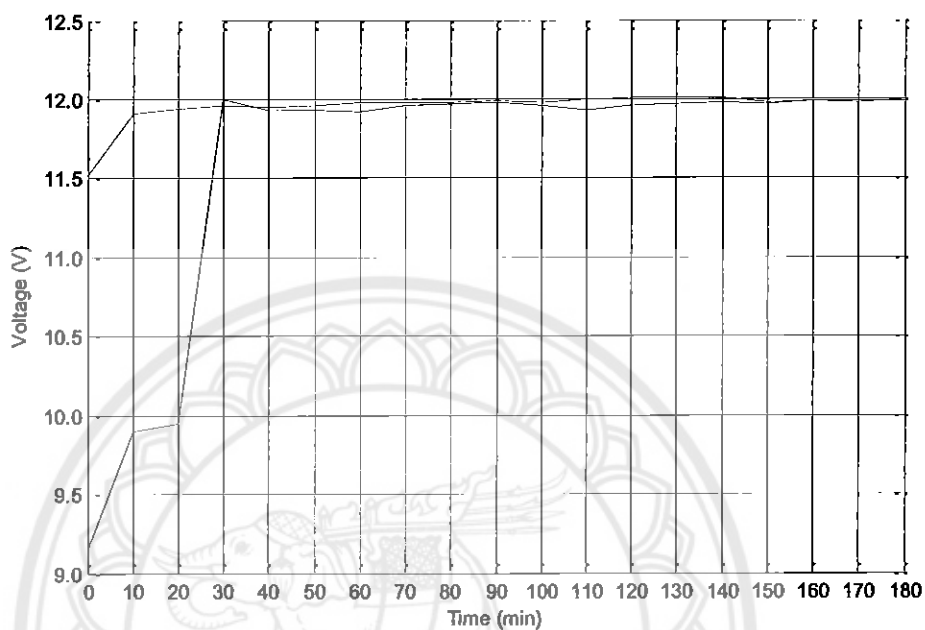
หมายเหตุ : - เส้นกราฟสีแดง คือ การชาร์จแบตเตอรี่ โดยผ่านวงจรชาร์จแบตเตอรี่

- เส้นกราฟสีน้ำเงิน คือ การชาร์จแบตเตอรี่ โดยตรง

รูปที่ 4.17 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลา กับแรงดันของการชาร์จแบตเตอรี่จากกังหันลม 3 ตัว

จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลา กับแรงดันของการชาร์จแบตเตอรี่จากกังหันลม 2 ตัว ดังรูปที่ 4.17 เป็นการทดลองชาร์จแบตเตอรี่ โดยตรง และการชาร์จแบตเตอรี่ โดยผ่านวงจรชาร์จ ที่ความเร็วลมเฉลี่ยของระยะทาง 3.0 เมตร โดยใช้กังหันลมอนุกรมกัน 3 ตัว พบว่าจากเส้นกราฟของการชาร์จแบตเตอรี่ โดยตรงจะให้ค่าแรงดันตกคร่อมแบตเตอรี่มีค่าสูงกว่าการชาร์จแบตเตอรี่ โดยผ่านวงจรชาร์จ เนื่องจากแรงดันเฉลี่ยของกังหันลมอนุกรมกัน 3 ตัว ที่ความเร็วลมเฉลี่ยของระยะทาง 3.0 เมตร (จากตารางที่ 4.5) ถือว่าเป็นแรงดันที่สูงเมื่อเทียบกับตารางที่ 4.2 ซึ่งการชาร์จแบตเตอรี่ที่ระดับความเร็วลมนี้เป็นการชาร์จที่มีการอัดแรงดันเข้าแบตเตอรี่ในระดับสูง แต่เมื่อทำการชาร์จแบตเตอรี่ โดยผ่านวงจรชาร์จ จากเส้นกราฟพบว่าค่าระดับแรงดันตกคร่อมแบตเตอรี่มีค่าเพิ่มขึ้นแต่น้อยกว่าการชาร์จแบตเตอรี่ โดยตรง เนื่องจากการทำงานของวงจรชาร์จสามารถตรวจสอบระดับแรงดันรวมทั้งควบคุมการชาร์จแบตเตอรี่ ได้ตามระดับแรงดันการชาร์จที่เหมาะสม ซึ่งจากเส้นกราฟของการชาร์จแบตเตอรี่ โดยผ่านวงจรชาร์จของรูปที่ 4.17 จะมีค่าแรงดันตกคร่อมแบตเตอรี่ใกล้เคียงกับเส้นกราฟของการชาร์จแบตเตอรี่ โดยตรงของรูปที่ 4.15 และจะมีค่าแรงดันตกคร่อมแบตเตอรี่สูงกว่าการชาร์จแบตเตอรี่ โดยผ่านวงจรชาร์จของรูปที่ 4.16 อยู่เล็กน้อย เนื่องจากการต่ออนุกรมแหล่งจ่ายเป็นการเพิ่มระดับแรงดันของแหล่งจ่ายให้มีค่าสูงขึ้น

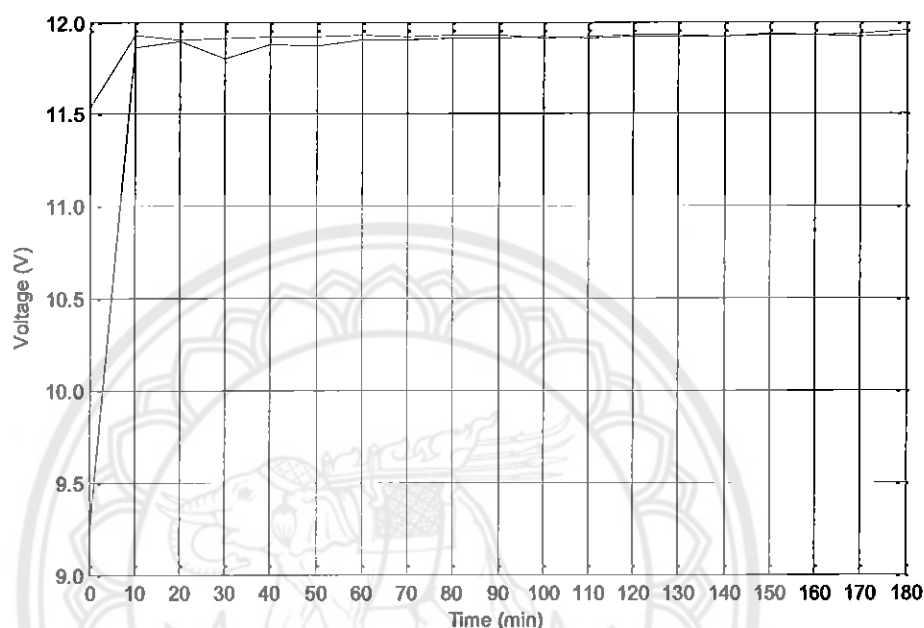
จากตารางที่ 4.8 และ 4.9 เป็นการชาร์จแบตเตอรี่โดยตรงจากกังหันลม 3 ตัว โดยเริ่มต้นชาร์จในขณะที่แบตเตอรี่อยู่ในสถานะที่ต่างกัน ซึ่งแสดงการเปรียบเทียบได้ดังรูปที่ 4.18



หมายเหตุ : - เส้นกราฟสีแดง คือ การชาร์จแบตเตอรี่ในสถานะฟื้นตัว (แรงดันแบตเตอรี่ไม่คงที่)
- เส้นกราฟสีน้ำเงิน คือ การชาร์จแบตเตอรี่ในสถานะปกติ (แรงดันแบตเตอรี่คงที่)

รูปที่ 4.18 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับแรงดันเพื่อเปรียบเทียบการชาร์จแบตเตอรี่โดยตรงจากกังหันลม 3 ตัว

จากตารางที่ 4.12 และ 4.13 เป็นการชาร์จแบตเตอรี่โดยผ่านวงจรชาร์จแบตเตอรี่จากกังหันลม 3 ตัว โดยเริ่มต้นชาร์จในขณะที่แบตเตอรี่อยู่ในสถานะที่ต่างกัน ซึ่งแสดงการเปรียบเทียบได้ดังรูปที่ 4.19



หมายเหตุ : - เส้นกราฟสีแดง คือ การชาร์จแบตเตอรี่ในสถานะพื้นตัว (แรงดันแบตเตอรี่ไม่คงที่)

- เส้นกราฟสีน้ำเงิน คือ การชาร์จแบตเตอรี่ในสถานะปกติ (แรงดันแบตเตอรี่คงที่)

รูปที่ 4.19 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลา กับแรงดัน เพื่อเปรียบเทียบการชาร์จแบตเตอรี่โดยผ่านวงจรชาร์จแบตเตอรี่จากกังหันลม 3 ตัว

จากกราฟรูปที่ 4.18 และ 4.19 พบว่าการทำการชาร์จแบตเตอรี่ในขณะที่แบตเตอรี่อยู่ในสถานะพื้นตัว (หลังจากการคายประจุ) จะทำให้แรงดันตกคร่อมแบตเตอรี่ขณะทำการชาร์จเกิดการแกว่งในช่วงแรก เนื่องจากภายในแบตเตอรี่มีการเกิดปฏิกิริยาเคมี (จากการพื้นตัว) แต่เมื่อเวลาผ่านไปแรงดันตกคร่อมแบตเตอรี่ขณะทำการชาร์จจะเริ่มเพิ่มขึ้นอย่างคงที่ เนื่องจากปฏิกิริยาเคมี (จากการพื้นตัว) เสร็จสมบูรณ์

จากตารางที่ 4.14 พบว่าแรงดันก่อนชาร์จมีการเริ่มต้นไม่เท่ากัน เนื่องจากผลของการคายประจุในแต่ละรอบของการทำการทดลอง เป็นการคายประจุลึก และจากการคายประจุในแต่ละรอบของการทำการทดลอง พบว่าปริมาณประจุของการชาร์จแบตเตอรี่โดยผ่านวงจรชาร์จ มีปริมาณประจุน้อยกว่าการชาร์จแบตเตอรี่โดยตรง เนื่องจากการทำงานของวงจรชาร์จเมื่อความเร็วลมเฉลี่ยคงที่ วงจรจะทำการชาร์จและหยุดชาร์จสลับกันไป เหมือนกับการชาร์จแบบใช้สัญญาณพัลส์ เช่น

ในการชาร์จ 1 วินาที จะมีช่วงเวลาหยุดชาร์จที่ประมาณ 20 - 30 มิลลิวินาที ในระหว่างชาร์จ 1 รอบ ทั้งนี้เพื่อเป็นการหยุดให้แบตเตอรี่มีช่วงเวลาพักการชาร์จในช่วงเวลาสั้นๆ โดยอ้างอิงมาจากหัวข้อ 2.8.3 ข้อที่ 4



บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

ในบทนี้ได้กล่าวถึงสรุปผลของการดำเนินงานที่ได้ทำมาตลอดปีการศึกษาว่าได้เจอปัญหาหรือข้อผิดพลาดใดบ้างที่เกิดขึ้นในระหว่างการดำเนินโครงการ เพื่อเสนอแนะแนวทางในการแก้ไขและพัฒนาวงจรชาร์จแบตเตอรี่แบบแห้งขนาด 12 โวลต์สำหรับกังหันลมขนาดจ๋ว ดังนี้

5.1 สรุปผลการดำเนินโครงการ

โครงการนี้เป็นการศึกษาการทำงานและสร้างวงจรชาร์จแบตเตอรี่เพื่อให้สามารถนำมาใช้งานร่วมกับกังหันลมขนาดจ๋ว ซึ่งการทำการทดลองของโครงการนี้เพื่อแสดงให้เห็นถึงคุณสมบัติการทำงานของวงจรชาร์จแบตเตอรี่ โดยการเปรียบเทียบจากการทดลองทำการชาร์จแบตเตอรี่โดยตรงกับการทดลองทำการชาร์จแบตเตอรี่โดยผ่านวงจรชาร์จ ซึ่งสรุปผลได้ดังนี้

5.1.1 การชาร์จแบตเตอรี่โดยตรง

1. การชาร์จแบตเตอรี่โดยใช้กังหันลม 1 ตัว ที่ระดับความเร็วลมเฉลี่ย 1.91 - 2.57 เมตรต่อวินาที ของระยะทาง 7.0 เมตร และ 5.0 เมตร ตามลำดับ ส่งผลกังหันลมขณะเริ่มหมุนเป็นไปได้ยาก
2. การชาร์จแบตเตอรี่โดยใช้กังหันลม 2 ตัว และ 3 ตัว ที่ระดับความเร็วลมเฉลี่ย 3.61 เมตรต่อวินาที ของระยะทาง 3.0 เมตร การชาร์จแบตเตอรี่ที่ระดับความเร็วลมนี้ เป็นการชาร์จที่มีการอัดแรงดันเข้าแบตเตอรี่ในระดับสูง แบตเตอรี่จึงมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น อาจทำให้แบตเตอรี่เกิดความเสียหาย และส่งผลให้อายุการใช้งานแบตเตอรี่สั้นลง

5.1.2 การชาร์จแบตเตอรี่โดยผ่านวงจรชาร์จแบตเตอรี่

1. การชาร์จแบตเตอรี่โดยใช้กังหันลม 1 ตัว พบว่าที่ระดับความเร็วลมเฉลี่ย 1.91 เมตรต่อวินาที ของระยะทาง 7.0 เมตร กังหันลมก็สามารถเริ่มทำการหมุนได้ง่าย
2. การชาร์จแบตเตอรี่โดยใช้กังหันลม 2 ตัว และ 3 ตัว ที่ระดับความเร็วลมเฉลี่ย 3.61 เมตรต่อวินาที ของระยะทาง 3.0 เมตร การทำงานของวงจรชาร์จแบตเตอรี่ สามารถตรวจสอบระดับแรงดัน รวมทั้งควบคุมการชาร์จแบตเตอรี่ได้ตามระดับแรงดันการชาร์จที่เหมาะสมตามคุณสมบัติของแบตเตอรี่เพื่อยืดอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ให้ยาวนานขึ้น
3. วงจรชาร์จแบตเตอรี่มีหลอดไฟแอลอีดีและจอแอลซีดีขนาด 16×2 บอกสถานะการทำงานของวงจร รวมทั้งสถานะแรงดันที่กังหันลมสามารถผลิตได้

5.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ

1. การสร้างวงจรชาร์จแบตเตอรี่ในขั้นตอนของการลงอุปกรณ์จะเป็นลายวงจรพิมพ์แบบ 2 หน้า และอุปกรณ์แต่ละตัวมีขนาดแตกต่างกัน ทำให้บัดกรียากและเกิดความผิดพลาดได้ง่าย

แนวทางในการแก้ไขคือควรเริ่มต้นจากการบัดกรีอุปกรณ์ที่มีขนาดเล็กๆก่อนจากนั้นจึงได้ลงอุปกรณ์ไปตามลำดับความสูงตามความเหมาะสมและควรตรวจสอบการบัดกรีให้ครบทุกจุด เพื่อให้วงจรต่อถึงกันได้อย่างสมบูรณ์ อาจมีบางจุดที่ต้องใช้ความระมัดระวังอย่างมากเนื่องจากการใช้ปลายหัวแร้งที่มีขนาดใหญ่ก่อนข้างจะเข้าถึงได้ยากและไม่ควรกดอุปกรณ์ให้ติดกับแผ่น PCB มากเกินไป สำหรับเส้นทางเดินของกระแสชาร์จควรพอกตะกั่วให้มีความหนาเพื่อเป็นการระบายความร้อนที่ดี

2. ในการทดลองชาร์จแบตเตอรี่จากกังหันลม เนื่องจากสภาพแวดล้อมไม่สามารถจัดหาแหล่งพลังงานลมที่เพียงพอสำหรับการทดลองได้

แนวทางในการแก้ไขคือการนำพัดลมขนาด 225 วัตต์ เพื่อใช้เป็นแหล่งพลังงานลมสำหรับการทดลอง

5.3 แนวทางในการพัฒนาโครงการ

เนื่องจากวงจรชาร์จแบตเตอรี่แบบแห้งขนาด 12 โวลต์ สำหรับกังหันลมขนาดจ๋ว ยังคงมีข้อบกพร่องในด้านของการหมุนของชุดใบพัดกังหันลมขนาดจ๋ว สังเกตได้จากเมื่อกังหันลมหมุนชุดใบพัดของกังหันลมจะแกว่ง, ไม่นิ่ง ทำให้ประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าลดลง

ในส่วนของโปรแกรมการทำงานของวงจรชาร์จแบตเตอรี่ สามารถเขียนคำสั่งการทำงานเพิ่มเติมได้ถ้าผู้มีความเชี่ยวชาญ เนื่องจากวงจรชาร์จแบตเตอรี่ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ATmega328 เป็นตัวควบคุมและใช้การเขียนโปรแกรมของ Arduino เป็นภาษาซี ที่ผู้ใช้สามารถใช้งานและเขียนโปรแกรมได้ง่าย เพราะ Arduino มีการออกแบบคำสั่งต่างๆ ขึ้นมาสนับสนุนการใช้งานหลากหลาย

เอกสารอ้างอิง

- [1] ชาคริศ วงเหะ. (11 มกราคม 2554). ARDUINO คืออะไร ?. สืบค้นเมื่อ 18 กรกฎาคม 2556, จาก http://gm9.blogspot.com/2011/12/arduino_4763.html
- [2] วัชรพนธ์ จงฤกษ์มมงคล. (2552). การชาร์จและวิธีการชาร์จแบตเตอรี่เบื้องต้น. เซมิคอนดักเตอร์อิเล็กทรอนิกส์. ฉบับที่ 328, 166 – 176
- [3] สิทธิพงษ์ ทองอินทร์. (2554). วงจรชาร์จแบตเตอรี่แบบแห้งขนาด 12 V สำหรับกังหันลมขนาดเล็ก. เซมิคอนดักเตอร์อิเล็กทรอนิกส์. ฉบับที่ 358, 84 – 101
- [4] สุรเดช. (6 มิถุนายน 2554). ออปโตคัปเปิลเลอร์. สืบค้นเมื่อ 22 กรกฎาคม 2556, จาก <http://electhai.blogspot.com/2011/06/Opto-Coupler.html>
- [5] เสาวลักษณ์ รัตนพยอม. (2552). บอร์ดทดลองไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino. เซมิคอนดักเตอร์อิเล็กทรอนิกส์. ฉบับที่ 333, 100 - 107
- [6] โอภาส ศิริกรรชิตถาวรและคณะ. เรียนรู้ไมโครคอนโทรลเลอร์ด้วยโปรแกรมภาษา C/C++ กับ ARDUINO และ โมดูล POP-MCU. กรุงเทพฯ: บริษัท อิน โนเวตีฟ เอ็กเพอริเมนต์ จำกัด.
- [7] http://202.28.32.233/pics_upload/. สืบค้นเมื่อ 24 ตุลาคม 2555
- [8] Mr. Bat Man. (17 สิงหาคม 2550). Battery ยอคนิยม แบตเตอรี่ตะกั่วกรด. สืบค้นเมื่อ 14 กรกฎาคม 2556, จาก <http://www.stunitedsupply.com>
- [9] Mrs.Patimakom Jantaraprim. Basic Electronics. สืบค้นเมื่อ 20 กรกฎาคม 2556, จาก fivedots.coe.Rsu.ac.th/~kpatimakom/240-206
- [10] Prapai Technology Co.,Ltd. (12 มิถุนายน 2551). Wind Turbine Technology. สืบค้นเมื่อ 18 กรกฎาคม 2556, จาก <http://www.prapai.co.th/knowledgeview.php?nids29>



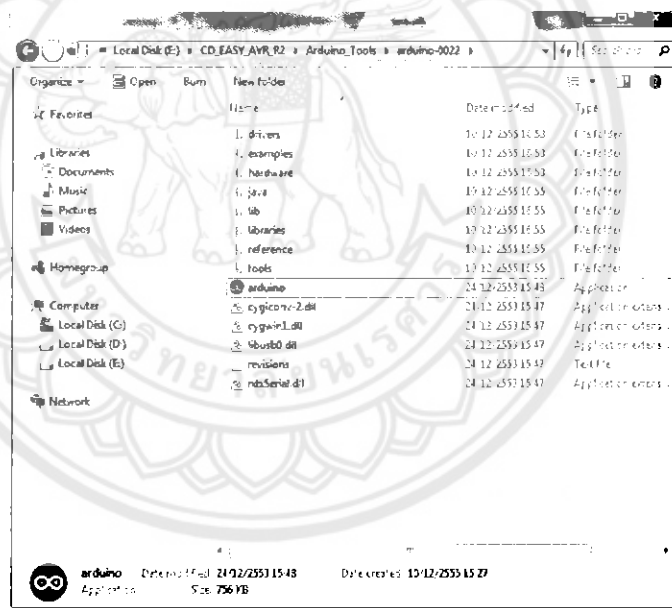
วิธีการติดตั้งโปรแกรม

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงวิธีการติดตั้งโปรแกรมที่ต้องใช้ในการทดลองโครงการงานวงจรบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์แบบแผงขนาด 12 โวลต์ สำหรับกังหันลม ได้แก่ การโปรแกรม Arduino, การโปรแกรม Bootloader และการอัปโหลดโปรแกรมใส่ไมโครคอนโทรลเลอร์ในวงจร

1. ติดตั้งโปรแกรม Arduino

1.1 นำซีดีรอมใส่ในซีดีรอมไดรฟ์ของคอมพิวเตอร์และ copy ไฟล์ CD_EASY_AVR_R2 ไว้ในคอมพิวเตอร์

1.2. เข้าไปในโฟลเดอร์ CD_EASY_AVR_R2 → Arduino Tools → Arduino 0022 จากนั้นดับเบิลคลิกที่ Arduino ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 วิธีเปิดโปรแกรม Arduino

1.3 เมื่อกดปุ่มคลิกแล้วจะได้โปรแกรมดังรูปที่ 2

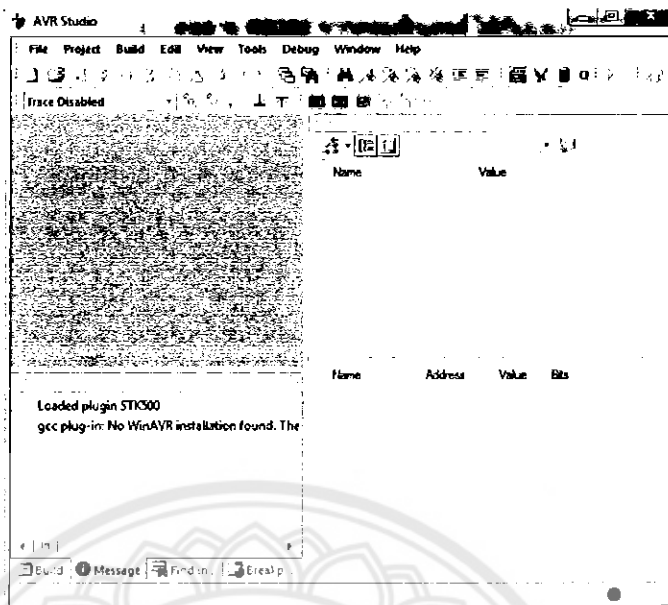


รูปที่ 2 แสดงหน้าต่าง โปรแกรม Arduino

2. การโปรแกรม Bootloader

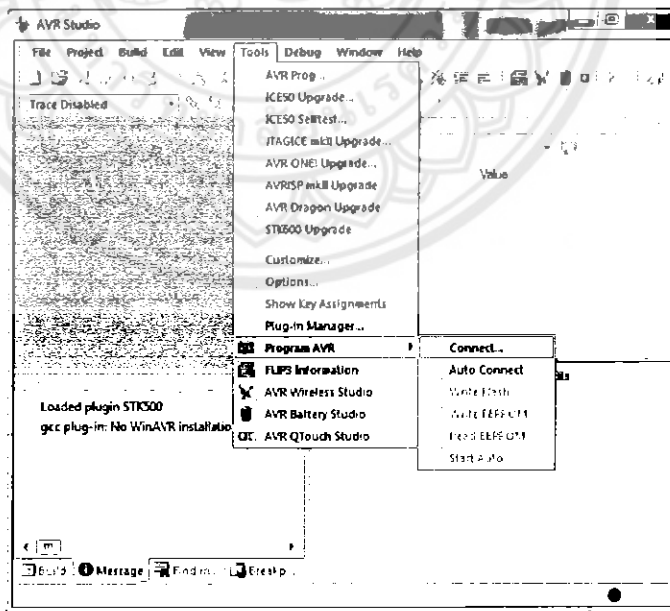
ก่อนที่จะใช้งาน Arduino จำเป็นต้องโปรแกรม Bootloader ให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ ATmega328 ก่อน โดยในที่นี้จะแสดงวิธีการโปรแกรม Bootloader โดยใช้เครื่องโปรแกรมของ ETT รุ่น "ET-AVR ISP USB V1.0" โดยใช้โปรแกรม "AVRStudio 4" ของ ATMEL เป็นตัวจัดการ ซึ่งมีลำดับขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. ต่อสาย RS232 จากคอมพิวเตอร์ ให้กับบอร์ด ET-BASE AVR EASY328 และจ่ายไฟให้บอร์ด
2. ต่อสาย USB ให้กับเครื่องโปรแกรม ET-AVR ISP USB V1 พร้อมทั้งต่อสายแพร์ 10 Pin ระหว่างขั้วต่อของ AVRISP ของทั้ง 2 บอร์ดเข้าด้วยกัน
3. สั่ง Run โปรแกรม AVR Studio 4 ดังรูปที่ 3

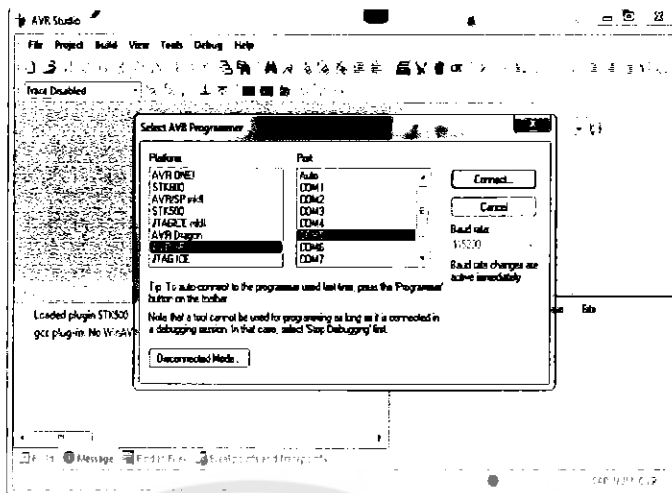


รูปที่ 3 แสดงหน้าต่าง โปรแกรม AVR Studio 4

4. เลือกคลิกเมาส์ที่ Tools → Program AVR → Connect.. → STK500 or AVRISP จากนั้นก็ให้เลือกหมายเลขของ Comport ที่เป็นของเครื่องโปรแกรม ET-AVR ISP USB V1.0 ตามที่ลง Driver ไว้พร้อมกับเลือก Connect (จากตัวอย่างเป็น Com 5) ดังรูปที่ 4 และรูปที่ 5

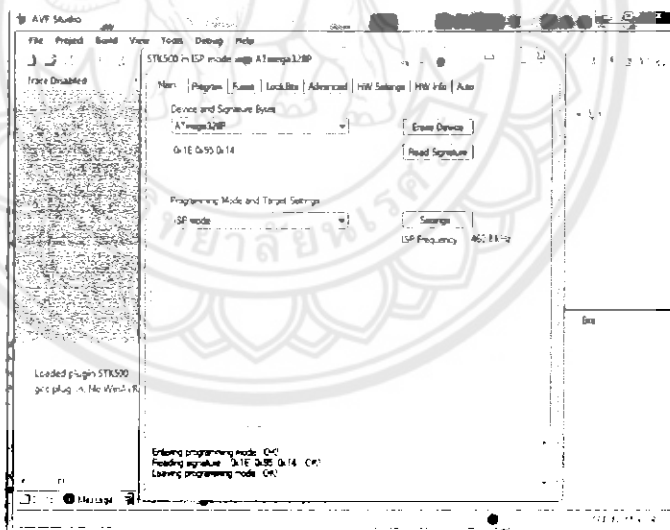


รูปที่ 4 แสดงหน้าต่าง โปรแกรม AVR Studio 4



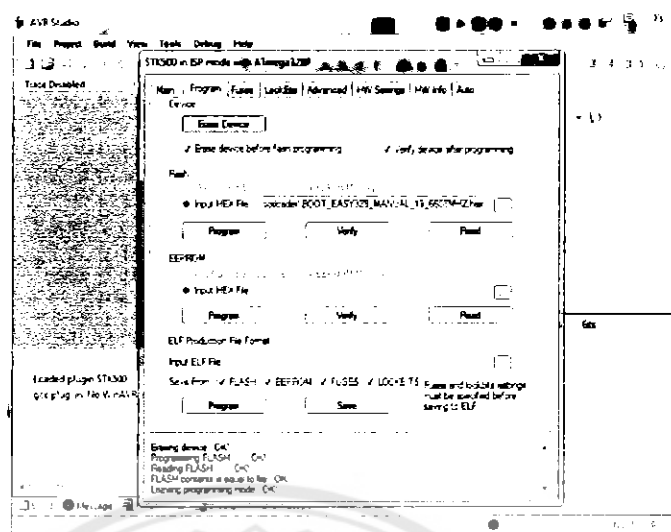
รูปที่ 5 แสดงหน้าต่างการเลือก Port ของ com

5. หลังจากที่ทำกร Connect เรียบร้อยแล้วให้ทดสอบการเชื่อมต่อโดยเลือกที่ tab ของ Main พร้อมกับเลือกเบอร์ของ MCU เป็น ATmega328 และเลือก Programming Mode and target Settings เป็น ISP mode แล้วทดสอบเลือก Read Signature ดู ซึ่งถ้าทุกอย่างถูกต้องควร ได้ผลดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 แสดงหน้าต่างของ Read Signature

- 6. ให้เลือกไปที่ tab ของ Program พร้อมทั้งเลือก ตัวเลือกต่างๆดังนี้
 - 6.1 Device ให้เลือก Erase device before flash programming และ Verify device after programming
 - 6.2 Flash ให้เลือก Input HEX File เป็น BOOT_EASY328_MANUAL_19_6608MHZ .HEX จากนั้นให้เลือกที่ Program เพื่อสั่ง Program Bootloader ให้กับ MCU ซึ่งจะได้ผลดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 แสดงหน้าต่างการตั้งค่า Program

7. หลังจากทำการโปรแกรม Code ให้กับ MCU เรียบร้อยแล้ว ให้เลือกมาที่ Tab ของ Fuses เพื่อทำการตั้งโปรแกรม Fuse Bit ให้กับ MCU โดยให้เลือกกำหนดค่าตัวเลือกดังนี้

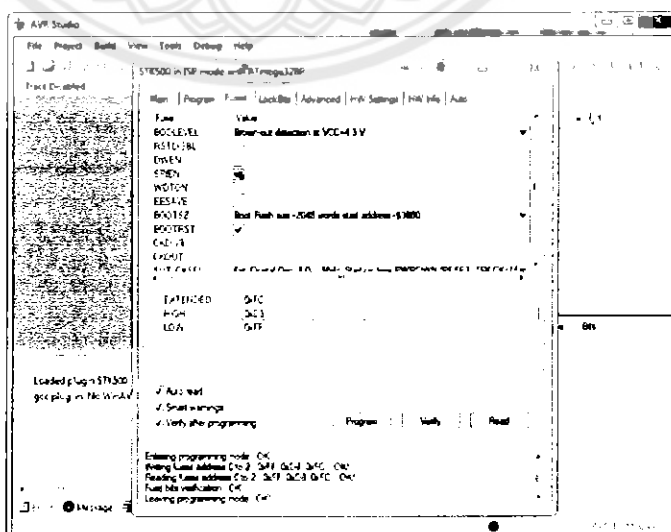
7.1 BOOTSZ ให้เลือกเป็น Boot Flash size = 2048 word start address = \$3800

7.2 BOOTRST ให้เลือก Enable

7.3 SPIEN ให้เลือก Enable

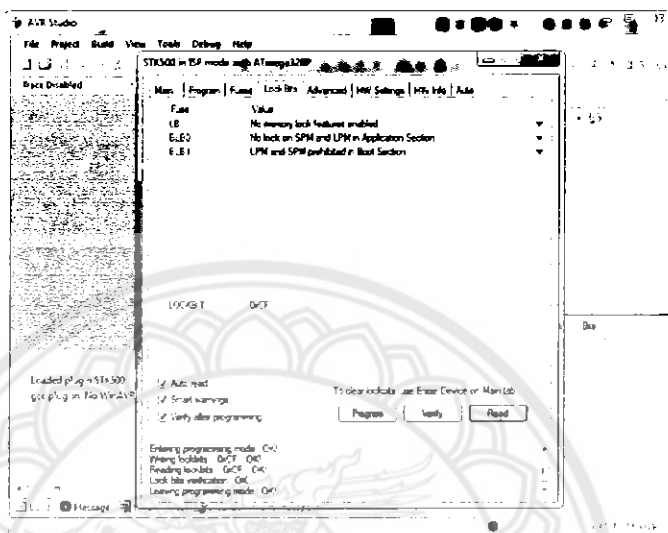
7.4 SUT_CKSEL ให้เลือกเป็น Ext.Crystal Osc 8.0MHz ; Start-up time PWRDN/RESET :

16K CK/14 ซึ่งเป็นตัวเลือกด้านล่างสุด เมื่อเลือกตัวเลือกต่างๆครบแล้วจึงสั่ง Program ซึ่งควรได้ผลดังรูปที่ 8



รูปที่ 8 แสดงการตั้งค่า Fuses

8. หลังจากทำการตั้ง program Fuse Bit เรียบร้อยแล้ว ให้เลือก Tab มาที่ LockBits แล้วเลือกการ Protect เฉพาะ Bootloader โดยเลือก BLB1 เป็น LPM and SPM prohibited in Boot Section ซึ่งจะ ได้ค่า Lock Bit เป็น 0xCF แล้วตั้ง program เป็นอันเสร็จสิ้นกระบวนการ Program Bootloader



รูปที่ 9 แสดงการตั้งค่า LockBits

3. การอัปโหลดโปรแกรมใส่ไมโครคอนโทรลเลอร์ในวงจรชาร์จแบตเตอรี่

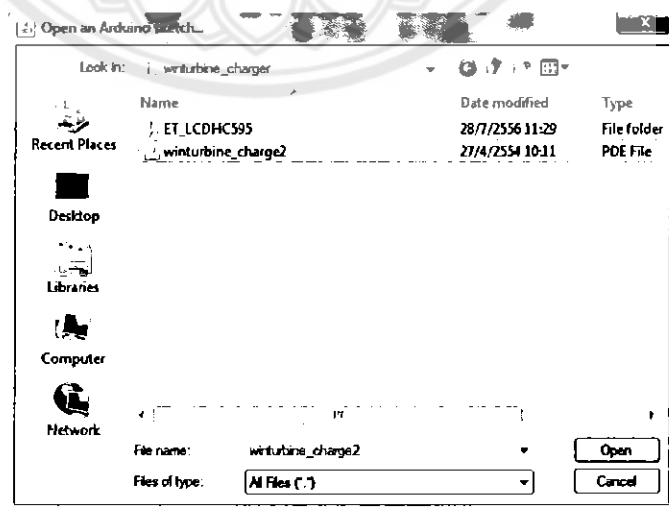
หลังจากได้ทำการติดตั้งโปรแกรม Arduino เรียบร้อยแล้วขั้นตอนต่อไปเป็นการอัปโหลดโปรแกรมเข้าสู่ไอซี ATmega328 โดยมีขั้นตอนต่างๆดังนี้

1. ทำการเชื่อมต่อวงจรชาร์จเข้ากับคอมพิวเตอร์โดยผ่านทางสาย FT232RL ซึ่งจะเห็นแอลอีดีติดสว่าง และเลือก DIP Switch ตำแหน่งที่ 1 และ 2 เป็น ON ดังรูปที่ 9



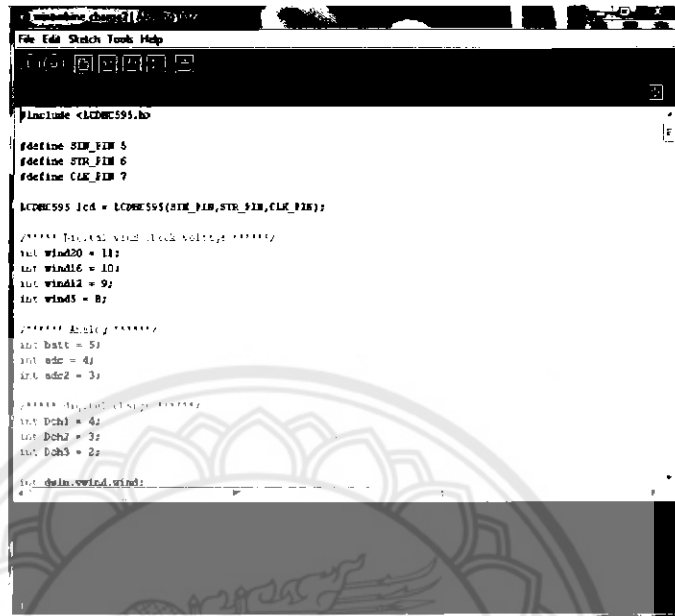
รูปที่ 9 แสดงการเชื่อมต่อวงจรชาร์จกับคอมพิวเตอร์

2. ทำการเรียก โปรแกรม Arduino ขึ้นมาใช้งาน จากนั้นเปิด โปรแกรมวงจรชาร์จ โดยเลือกที่เมนู File → Open → เลือก Folder ที่เก็บ โปรแกรมวงจรชาร์จ ซึ่งจะปรากฏหน้าต่างดังรูปที่ 10



รูปที่ 10 แสดงหน้าต่างการเรียกโปรแกรมวงจรชาร์จ

3. จากรูปที่ 10 คลิก Open จะได้รูปที่ 11



```

#include <LDC595.h>

#define SIM_FIM 5
#define STR_FIM 6
#define CLK_FIM 7

LDC595 lcd = LDC595(SIM_FIM,STR_FIM,CLK_FIM);

//***** Digital board mode *****
int wind20 = 11;
int wind16 = 10;
int wind12 = 9;
int wind5 = 8;

//***** Analog *****
int batt = 5;
int adc = 4;
int adc2 = 3;

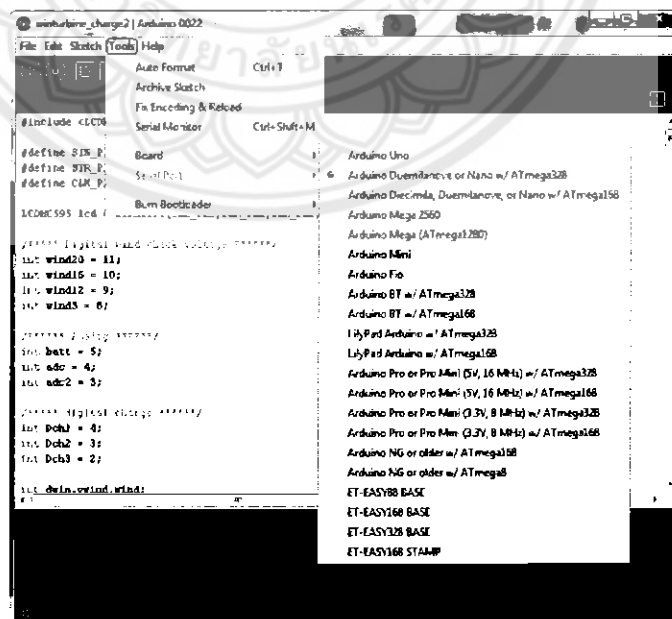
//***** Digital output *****
int Dch1 = 4;
int Dch2 = 3;
int Dch3 = 2;

int delay_wind_wind;

```

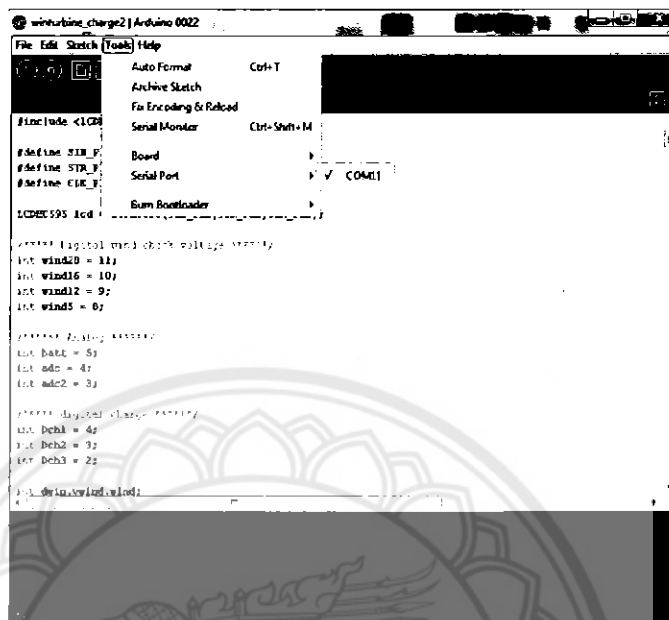
รูปที่ 11 แสดงโปรแกรมวงจรชาร์จ

4. จากนั้นให้เลือกที่เมนู Tools → Board → Arduino Duemilanove or Nano w/ATmega328
 ค้างรูปที่ 12



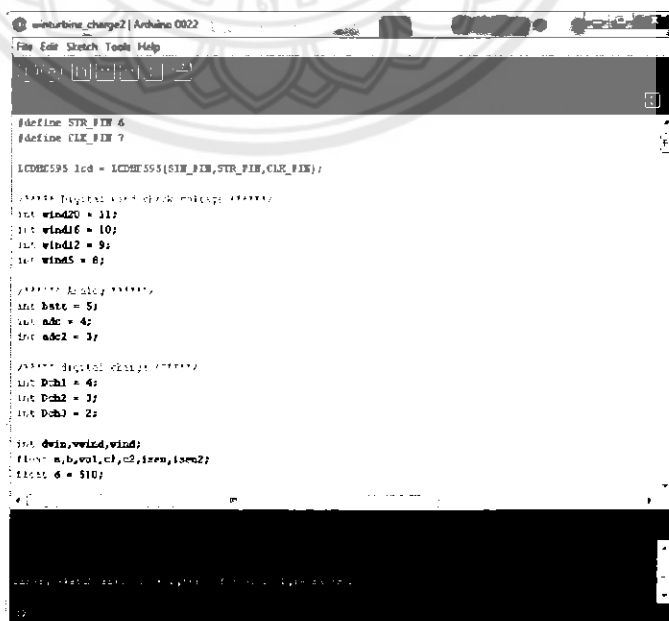
รูปที่ 12 แสดงการเลือกบอร์ดที่ใช้งานเป็น Arduino Duemilanove or Nano w/ATmega328

5. จากนั้นทำการเลือก Serial Port ตามที่ได้เชื่อมต่อไว้ซึ่งในที่นี้คือ COM 11 ดังรูปที่ 13



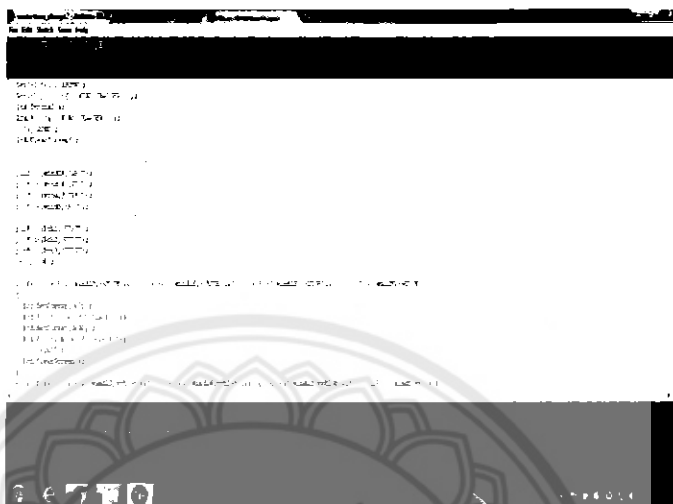
รูปที่ 13 แสดงการเลือก Serial Port ตามที่ได้เชื่อมต่อไว้

6. จากนั้นให้ทำการเลือกเมนู Sketch → Verify → Compile เพื่อตรวจสอบไค้ภาษาซี ถ้าไค้ถูกต้องและไม่พบข้อผิดพลาดใดๆ จะปรากฏข้อความ Done compiling และแสดงขนาดของหน่วยความจำที่ใช้ไป ดังรูปที่ 14



รูปที่ 14 การเลือกเมนู Sketch → Verify → Compile เพื่อตรวจสอบและคอมไพล์ไค้ภาษาซี

7. จากนั้นเลือกที่เมนู File → Upload to I/O Board เพื่ออัปโหลดโปรแกรมเข้าสู่ไอซี ATmega328 ถ้าการอัปโหลดโปรแกรมเรียบร้อยแล้วจะปรากฏดังรูปที่ 15



รูปที่ 15 การอัปโหลด โปรแกรมเรียบร้อยแล้ว





1. รายการอุปกรณ์ของวงจรชาร์จแบตเตอรี่

1.1 ตัวต้านทาน ขนาด 1/4 วัตต์ $\pm 1\%$

1k	2	ตัว
5.6k	1	ตัว
5k	1	ตัว
1.3k	1	ตัว
2.2k	1	ตัว
10k	6	ตัว
30	2	ตัว
50	1	ตัว
330	1	ตัว
680	1	ตัว
820	2	ตัว

1.2 ตัวต้านทาน ขนาด 1/8 วัตต์ $\pm 1\%$

1.1k	3	ตัว
1.2k	3	ตัว
1k	13	ตัว
3k	4	ตัว
10k	3	ตัว
300	1	ตัว
330	1	ตัว
680	1	ตัว
820	6	ตัว

1.3 ตัวเก็บประจุ

63 V	0.1 μ F	โพลีเอสเตอร์	17	ตัว
50 V	0.33 μ F	อิเล็กโทรไลต์	1	ตัว
50 V	10 μ F	อิเล็กโทรไลต์	4	ตัว
100 V	100 μ F	อิเล็กโทรไลต์	3	ตัว
22 pF		เซรามิก	2	ตัว

1.4 อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ

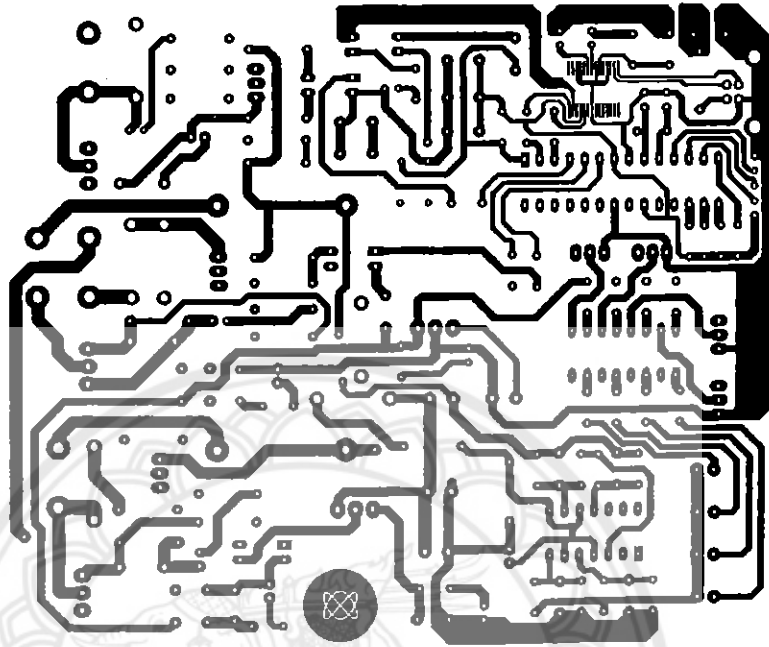
1N4747 ซีเนอร์ไดโอด	3	ตัว
1N5822 ซีร็อกไดโอด	6	ตัว
2N4401	5	ตัว
2N4403	2	ตัว
XTAL 16 MHz	1	ตัว
LM7805	2	ตัว
ACS712	2	ตัว
ATMEGA328	1	ตัว
FT232RL	1	ตัว
IRF3710	3	ตัว
LED3mm	8	ตัว
LED5mm	4	ตัว
LM339	1	ตัว
PC817	3	ตัว
TLP521-4	1	ตัว

1.5 อุปกรณ์อื่นๆ

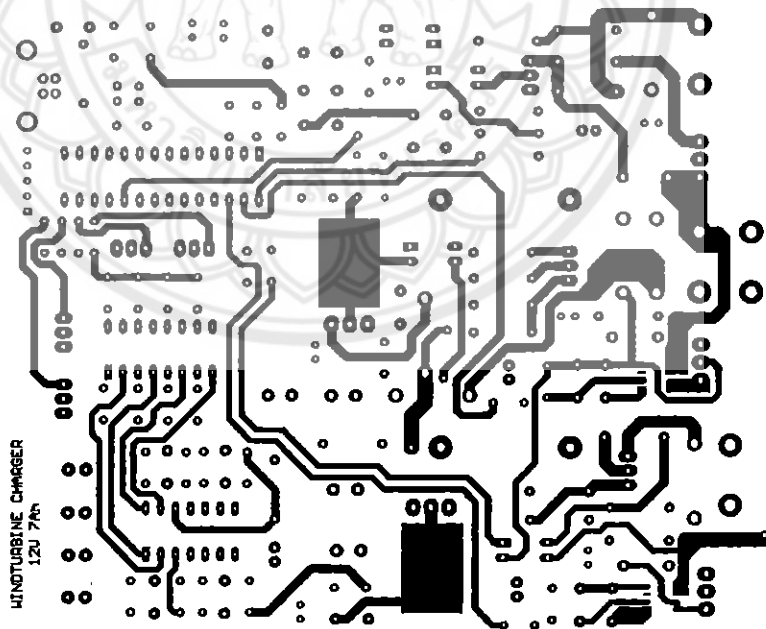
Ferrite Bead	1	ตัว
สวิตช์กดติดปลั๊กคียบ	1	ตัว
DIP-switch 2 ทาง	1	ตัว
ฟิวส์และฐานฟิวส์	2	ชุด
คอนเนกเตอร์ ICSB type B	1	ตัว
ขั้วต่อสายแดง-ดำ	4	คู่
คอนเนกเตอร์ RJ 11	1	ตัว
กล่องอะลูมิเนียมขนาด 47x158x160 mm	1	กล่อง
แผ่นวงจรขนาดเท่าแบบ	1	แผ่น

หมายเหตุ โปรแกรมซอร์สโค้ด Arduino สามารถดาวน์โหลดได้ที่ <http://electronics.se-ed.com/download/>

2. ลายพิมพ์ของวงจรชาร์จแบตเตอรี่



รูปที่ 1 ลายวงจรพิมพ์ด้านล่างขนาด 13.5 × 11.5 เซนติเมตร



รูปที่ 2 ลายวงจรพิมพ์ด้านบนเท่าขนาดของจริง 13.5 × 11.5 เซนติเมตร