

กังหันลมขนาดเล็กเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า

LOW SPEED WIND POWER BY DC POWER



โดย

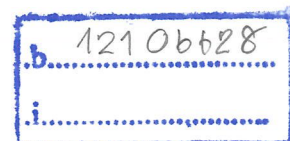
นายธนาคาร	โปะเปี่ยมลาภ
นายสาทิตย์	สุขสิน
นายสุเทพ	สมบัติชัยกุล

ร/น

ร ๑๓/๗

๒๕๕๑

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 104149
วัน,เดือน,ปี 30 ต.ค. 2552



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2551

กั้งห้ันลมหขขนาดเล็้กเพ็้ือผลิตกระแสไฟฟ้า
LOW SPEED WIND POWER BY DC POWER

โดย

นายธนาการ	โป๊ะเปี่ยมลาก
นายสาทิศย์	สุขสิน
นายสุเทพ	สมบัติชัยกุล

อาจารย์ที่ปรึกษา

อ.โกศล ชวนขยัน

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2551

ชื่อโครงการภาษาไทย

กังหันลมขนาดเล็กเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า

ชื่อโครงการภาษาอังกฤษ

Low speed wind power by DC power

จัดทำโดย

นาย ชนาคาร โป๊ะเปี่ยมตาก เลขประจำตัว 48010359

นายสาทิศย์ สุขสิน เลขประจำตัว 48010953

นายสุเทพ สมบัติชัยกุล เลขประจำตัว 48010989

อาจารย์ที่ปรึกษา

อ.โกศล ขวนขยัน

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ได้ผ่านการตรวจสอบโดยอาจารย์ที่ปรึกษาแล้ว

ชื่อ..........อาจารย์ที่ปรึกษา

(.....)

วันที่ / /

กัณฑ์ขนาดเล็เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า

นาย ษนาคาร ไ้ปะเปี่ยมลาภ รหัส 48010359
นาย สาทิตย์ สุขสิน รหัส 48010953
นาย สุเทพ สมบัติชัยกุล รหัส 48010989
อ. โกศล ชวนขยัน อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษาที่2551

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้จัดทำขึ้นเพื่อการอธิบายการทำงานของวงจรการแปลงพลังงานลมเป็นพลังงานไฟฟ้า โดยหลักการและวิธีการทำที่นำพลังงานลมมาใช้ในการหมุนมอเตอร์ ให้มอเตอร์ทำหน้าที่เป็นแหล่งกำเนิดไฟฟ้า แต่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานกลเป็นพลังงานไฟฟ้า ในโครงการนี้เราจะทำการสร้างชุดจำลองกังหันลมขึ้นมาเพื่อทำการชาร์จแบตเตอรี่ และมีการประมวลผลด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ที่สามารถจะแสดงผลได้ว่ากำลังทำงานอยู่หรือไม่, ชาร์จพลังงานเต็มแล้วหรือยังและสามารถเลือกที่จะไม่ทำงานถ้าพลังงานลมไม่เพียงพอที่จะชาร์จ โดยชุดการทำงานนี้จะออกแบบให้มีการชาร์จแบตเตอรี่ได้สองลูกโดยจะชาร์จทีละลูกและถ้าลูกไหนเต็มก่อนก็จะทำการสับเปลี่ยนเป็นอีกลูกได้ ความรู้ในการทำโครงการในคราวนี้จะเป็นความรู้เกี่ยวกับพลังงานทดแทนในเรื่องของพลังงานลมซึ่งสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้และเรียนรู้การทำงานของวงจรชาร์จแบตเตอรี่รวมถึงการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อใช้ในการควบคุมการทำงานต่างๆของวงจรอีกด้วย

Low speed wind power by small DC power

Mr. Tanakarn Pohpaiklap ID. 48010359

Mr. Satit Suksin ID. 48010953

Mr. Suthep Sombutchaiyakul ID. 48010989

Mr. Kosol Chaunkayan Advisor

Educational Year 2008

Abstract

This report describes the concept of the wind energy convert to electric energy with wind energy to spin motors are electric generator by which the DC motor concept be similar dynamo concept but there are give another energy. By making the air turbine model for charge battery with show display, and this model have two ports for charge batteries. The knowledge that we gain from this project will lead us to have the knowledge with renewable energy about wind energy that can applied, and learn about charger battery circuit, microcontroller for control systems.

คำนำ

ในปัจจุบันความสำคัญในเรื่องพลังงานมีผลกระทบต่อการดำรงชีวิตเรามากขึ้นที่เห็นได้ชัดเจนก็คือราคาของน้ำมันที่แพงขึ้นและยังมีแนวโน้มที่จะแพงขึ้นอีกจึงทำให้ในปัจจุบันนี้ได้มีการคิดค้นในเรื่องของพลังงานทดแทนกันมากขึ้นเพื่อลดการใช้้ำมันและพลังงานไฟฟ้าก็เช่นกันต้องพึ่งพาน้ำมันเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้านั้นจึงได้มีตระหนักถึงการนำพลังงานที่หาได้จากธรรมชาติมาใช้ผลิตกระแสไฟไม่ว่าจะเป็น พลังงานจากแสงอาทิตย์ พลังงานน้ำ หรือจะเป็นพลังงานลม จึงทำให้เกิดโครงการกักเก็บลมขนาดเล็กเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าขึ้นเพราะในปัจจุบันประเทศก็ได้มีผลิตกระแสไฟจากกังหันลมอยู่แล้ว แต่กังหันลมเหล่านั้นมีขนาดใหญ่และต้องใช้พลังงานลมที่มากซึ่งโดยปกติแล้วพลังงานลมในประเทศบางพื้นที่จะมีแรงไม่มากพอที่จะสามารถหมุนกังหันลมได้ดังนั้นจึงได้คิดค้นโครงการกักเก็บลมขนาดเล็กเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้านี้เพื่อสำหรับพลังงานลมที่ต่ำเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าได้แต่อาจจะไม่มากเท่าที่กังหันลมขนาดใหญ่ผลิตได้ก็ตาม

โดยการทำงานของโครงการนี้จะใช้หลักการของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่เกิดจากพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งจะมีคุณสมบัติคล้ายกับมอเตอร์ไฟฟ้านั้นจึงใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงขนาดเล็กมาเป็นแหล่งกำเนิดไฟฟ้า

ผู้จัดทำ

นายธนากร ปิยะเปี่ยมลาภ

นายสาทิตย์ สุขสิน

นายสุเทพ สมบัติชัยกุล

สารบัญ

บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ทฤษฎีเกี่ยวกับลม	2
2.1 ร่องมรสุม	2
2.2 พายุหมุนเขตร้อน	2
2.2.1 พายุดีเปรสชัน	2
2.2.2 พายุโซนร้อน	2
2.2.3 พายุไต้ฝุ่น	3
2.3 ทิศทางของลม	3
2.3.1 ความสำคัญของทิศทางลม	3
2.3.2 การวัดลมผิวพื้น	4
2.3.3 การบันทึกความเร็วลม	4
2.4 การวัดความเร็วลม	6
2.4.1 วิธีวัดด้วยเครื่องมือ	6
2.4.2 เครื่องวัดความเร็วลมแบบใช้อาคารกระดก	8
2.4.3 เครื่องมือวัดความเร็วลมแบบใช้ลูกถ้วย	8
2.4.4 เครื่องวัดลมแบบใช้ใบพัด	9
2.4.5 เครื่องวัดความเร็วลมแบบใช้ความกด	9
2.5 การวัดความเร็วลมและการคาดคะเนความเร็วลม	11
บทที่ 3 กังหันลม	12
3.1 ประเภทของกังหันลม	12
3.1.1 กังหันลมที่มีแกนเพลตาอยู่ในแนวนอน	12
3.1.1.1 กังหันลมแบบความเร็วคงที่	12
3.1.1.2 กังหันลมแบบความเร็วไม่คงที่	12
3.1.1.3 กังหันลมแบบความเร็วไม่คงที่ชนิดต่อตรง	13
3.1.2 กังหันลมที่มีแกนเพลตาอยู่ในแนวตั้ง	14
3.2 หลักการทำงานของกังหันลม	14

บทที่ 4 แหล่งกำเนิดไฟฟ้า	17
4.1 แหล่งกำเนิดไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากการเสียดสีของวัตถุ	17
4.2 แหล่งกำเนิดไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากพลังงานทางเคมี	17
4.2.1 เซลล์ปฐมภูมิ	17
4.2.2 เซลล์ทุติยภูมิ	18
4.3 แหล่งกำเนิดไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากพลังงานแสง	18
4.4 แหล่งกำเนิดไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากพลังงานความร้อน	19
4.5 แหล่งกำเนิดไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากแรงกด	20
4.6 แหล่งกำเนิดไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้า	20
4.6.1 ไฟฟ้ากระแสสลับ	21
4.6.2 ไฟฟ้ากระแสตรง	22
บทที่ 5 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับแบตเตอรี่	25
5.1 การทำงานของเซลล์ไฟฟ้า	25
5.2 แรงดันกับความต้านทาน	27
5.3 กำลังงานต่อชั่วโมง	30
5.4 วิธีการชาร์จแบตเตอรี่ที่ถูกต้อง	30
5.4.1 การประจุทีละน้อย	30
5.4.2 การประจุอย่างรวดเร็ว	31
5.4.3 การประจุอย่างเร่งด่วน	31
บทที่ 6 การออกแบบส่วนตรวจสอบความเร็วลม	33
6.1 ขั้นตอนการสร้างส่วนตรวจสอบความเร็วลม	33
6.2 วงจรตรวจสอบความเร็วลม	35
บทที่ 7 ออกแบบกังหันลมขนาดเล็กเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า	38
7.1 ขั้นตอนการสร้างกังหันลมแนวแกนตั้ง	38
7.2 วิธีการออกแบบวงจรเพื่อใช้เก็บประจุกระแสไฟฟ้าลงในแบตเตอรี่	39
7.2.1 วงจรเพิ่มค่าแรงดัน โดยใช้ ICL7660S	40
7.2.2 วงจรเก็บประจุ	40
7.2.3 วงจร Relay เพื่อรับคำสั่งจาก Microcontroller ควบคุมการทำงาน	
วงจรเก็บประจุ	42

บทที่ 8 ผลการทดลองและการคำนวณ	45
8.1 ความเร็วเริ่มต้น	45
8.1.1 ทำให้กังหันลมหมุนได้	45
8.1.2 ทำให้เครื่องวัดความเร็วลมหมุนได้	45
8.2 การปรับเทียบกับค่ามาตรฐานที่วัดจาก Anemometer	46
8.3 ทดลองวัดค่าแรงดันที่ได้จากมอเตอร์เมื่อกังหันลมผลิตกระแสไฟฟ้า	48
8.4 ทดลองวัดค่าแรงดันที่ได้จากวงจรชาร์จเมื่อกังหันลมผลิตกระแสไฟฟ้า	49
8.5 คำนวณค่ากำลังงานที่ได้จากกังหันลมและกำลังงานที่ได้จากมอเตอร์ผลิตไฟฟ้า ที่ความเร็วลมต่างๆ	51
บทที่ 9 สรุปผลการทดลอง	53
9.1 เครื่องวัดความเร็วลม	53
9.2 กังหันลมแนวแกนตั้ง	53
กิตติกรรมประกาศ	55
หนังสืออ้างอิง	56
ภาคผนวก	57

สารบัญรูป

บทที่ 2	รูปที่ 2.1 สัญลักษณ์แสดงความเร็วลม	5
บทที่ 3	รูปที่ 3.1 กังหันลมผลิตไฟฟ้าแบบแกนนอนและแบบแกนตั้ง	13
	รูปที่ 3.2 แสดงองค์ประกอบกังหันลมแบบความเร็วคงที่ (a)	
	กังหันลมแบบความเร็วไม่คงที่ (b) และกังหันลมแบบความเร็วไม่คงที่ชนิดต่อตรง (c)	14
	รูปที่ 3.3 แสดงลักษณะของความเร็วมหาสมุทรใต้ชั้นบรรยากาศ	15
	ภาพที่ 3.4 แผนภูมิแสดงกำลังไฟฟ้าและช่วงการทำงานของกังหันลมแบบต่างๆ ที่มา (Siegfried. 1998 : 107)	16
บทที่ 4	รูปที่ 4.1 เซลล์วอลเทอิกและลักษณะของเซลล์แห้ง	17
	รูปที่ 4.2 ลักษณะภายในของสตอเรจแบตเตอรี่	18
	รูปที่ 4.3 ตัวอย่างไฟฟ้าที่เกิดจากพลังงานแสง	19
	รูปที่ 4.4 ตัวอย่างไฟฟ้าที่เกิดจากพลังงานความร้อน	19
	รูปที่ 4.5 การเกิดกระแสไฟฟ้าในไมโครโฟน	20
	รูปที่ 4.6 การกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ 1 เฟส	21
	รูปที่ 4.7 ก. ไฟฟ้ากระแสสลับเฟสเดียว	21
	รูปที่ 4.8 ลักษณะไฟฟ้ากระแสสลับชนิดสามเฟส	22
	รูปที่ 4.9 ลักษณะการเกิดไฟฟ้ากระแสตรง	23
	รูปที่ 4.10 โครงสร้างของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	23
	รูปที่ 4.11 ส่วนที่เคลื่อนที่และลักษณะการเกิดไฟฟ้ากระแสตรง	24
บทที่ 5	รูปที่ 5.1 เป็นเซลล์แบบพื้นฐานแสดงถึงอาโนคาโทด และอิเล็กโทรไลต์	26
	รูปที่ 5.2 เป็นการทำงานของเซลล์แบบพื้นฐานในกรณีนี้ใช้ทำให้หลอดไฟฟ้สว่างขึ้นมา	27
	รูปที่ 5.3 ก.,ข และ ค.เป็นวงจรเทียบเท่า (ในรูปที่2) ของเซลล์ขนาด1.5โวลต์ แสดงถึงความต้านทานภายในเซลล์	28
	รูปที่ 5.4 ผลของความต้านทานภายใน ซึ่งมีผลกระทบต่อการทำงานของวงจร	

	ที่ภาวะกระแสสูงๆ	30
บทที่ 6	รูปที่ 6.1 แผ่นเพลทตัดแสงรูปวงกลม	33
	รูปที่ 6.2 แกนหมุนแบบแนวตั้งฉากกับทิศทางลม	34
	รูปที่ 6.3 ใบพัดลูกถ้วย	35
	รูปที่ 6.4 วงจรการตรวจจับแสง	36
	รูปที่ 6.5 วงจรตรวจจับสัญญาณความถี่โดย dsPIC30F4011	37
บทที่ 7	รูปที่ 7.1 ชิ้นส่วนของใบพัดกังหันลมแนวตั้ง	38
	รูปที่ 7.2 ใบพัดกังหันลมแนวตั้ง	38
	รูปที่ 7.3 ชิ้นส่วนที่ใช้ยึดลูกปืนเพื่อทำให้แกนหมุนได้	39
	รูปที่ 7.4 วงจรประจุไฟฟ้าของมอเตอร์แต่ละตัว	40
	รูปที่ 7.5 วงจรเก็บประจุ	41
	รูปที่ 7.6 วงจร Relay เพื่อรับคำสั่งจาก Microcontroller ควบคุมการทำงานของ ของวงจรเก็บประจุ	43
	รูปที่ 7.7 วงจรชาร์จแบตเตอรี่ 6 V	44
บทที่ 8	กราฟที่ 8.1 แสดงกราฟระหว่างความเร็วลมมาตรฐานและความเร็วลมที่วัดได้ ซึ่งปรับเทียบโดยสมการเชิงเส้นถดถอย	47
	กราฟที่ 8.2 แสดงกราฟระหว่างแรงดันกับค่าความต้านทานที่ความเร็วลมต่างๆ	48
	กราฟที่ 8.3 แสดงกราฟระหว่างแรงดันกับค่าความต้านทานที่ความเร็วลมต่างๆ	50
	กราฟที่ 8.4 แสดงกราฟระหว่างกำลังงานที่รับได้กับค่าความเร็ว	51
	กราฟที่ 8.5 แสดงกราฟระหว่างกำลังงานที่ผลิตได้กับค่าความเร็ว	52

สารบัญตาราง

บทที่ 2	ตารางที่ 2.2 ตารางอธิบายความหมายของสัญลักษณ์ที่แสดงความเร็วลม	6
	ตารางที่ 2.3 ตารางแสดงความสำคัญของหน่วยวัดความเร็วลมต่างๆ	7
บทที่ 8	ตารางที่ 8.1 แสดงค่าความเร็วเริ่มต้นที่ทำให้กังหันลมหมุนได้และเครื่องวัดความเร็วลมหมุนได้	45
	ตารางที่ 8.2 แสดงการปรับเทียบกับค่ามาตรฐานที่วัดจาก Anemometer	46
	ตารางที่ 8.3 แสดงค่าแรงดันจากมอเตอร์ที่โหลดค่าต่างๆซึ่งเปลี่ยนระดับความแรงของลม	48
	ตารางที่ 8.4 แสดงค่าแรงดันจากวงจรชาร์จที่โหลดค่าต่างๆซึ่งเปลี่ยนระดับความแรงของลม	49
	ตารางที่ 8.5 แสดงค่ากำลังงานที่ได้และที่ผลิติดอกมาจากกังหันลม	51

บทที่ 1

บทนำ

พลังงานลมเป็นพลังงานหมุนเวียนชนิดหนึ่ง ที่มีต้นกำเนิดจากพลังงานแสงอาทิตย์โดยอ้อม กล่าวคือพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบในภาคตัดขวางของโลกประมาณ 178,000 ล้านล้านวัตต์ มีเพียง 0.2% เท่านั้นที่จะก่อให้เกิดการเคลื่อนไหวของอากาศที่เรียกว่าพลังงานลม และส่วนนี้ก็ยังผลให้เกิดคลื่นในมหาสมุทรด้วย

การใช้ประโยชน์จากพลังงานลมในรูปแบบของกังหันลม เริ่มมาตั้งแต่ 1700 ปีก่อนคริสต์ศักราช และมีการพัฒนาต่อเนื่องแพร่หลายเข้าไปในทวีปยุโรป การใช้ประโยชน์ในระยะแรกๆ นี้เป็นการประยุกต์ใช้งานกลเป็นส่วนใหญ่ การพัฒนาใช้ประโยชน์ในลักษณะกังหันลมผลิตไฟฟ้า (Wind Turbine Generator) เพิ่งจะขยายตัวในระหว่างปี ค.ศ.1930-1960

การใช้ประโยชน์จากพลังงานลมในประเทศสมัยนี้เป็นการใช้งานจากกังหันลมขนาดใหญ่ซึ่งจะต้องใช้พลังงานลมที่มากเพื่อต้องการที่จะทำให้กังหันลมทำงานได้แต่กระแสลมส่วนใหญ่ในประเทศนั้นจะเป็นลมที่ไม่แรงมากนักจึงไม่เหมาะกับกังหันลมขนาดใหญ่จึงได้ค้นคว้าและออกแบบการทำงานของกังหันลมขนาดเล็กเพื่อที่จะไม่ต้องใช้กระแสลมที่มากในการทำให้กังหันลมทำงานแต่จะต้องใช้เวลานานพอสมควรถึงจะได้พลังงานไฟฟ้าที่มากเช่นกัน

โครงการนี้จะเป็นการผลิตกังหันลมขนาดเล็กเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าเพื่อชำระประจำประตูเข้าแบตเตอรี่เพื่อไปใช้เป็นแหล่งจ่ายพลังงานได้โดยมีการทำงานจริงเพื่อทดสอบความเร็วลมเพื่อให้สามารถรู้ว่าสถานที่ใดสามารถที่จะทำการติดตั้งกังหันลมได้บ้าง

บทที่ 2

ทฤษฎีเกี่ยวกับลม

2.1 ร่องมรสุม

มีลักษณะเป็นแนวทางพาดขวางทางทิศตะวันตก-ตะวันออก ในร่องมรสุมเป็นบริเวณความกดอากาศต่ำมีกระแสอากาศไหลขึ้นลงสลับกัน ร่องมรสุมจะอยู่ในเขตร้อนแถวใกล้ๆเส้นศูนย์สูตร โดยมีกระแสลมพัดจากบริเวณความกดอากาศสูงที่อยู่ทางซีกโลกเหนือ และซีกโลกใต้เข้าสู่ร่องนี้ มีการเคลื่อนขึ้นลงตามแนวโคจรของดวงอาทิตย์ ความกว้างประมาณ 6-8 องศาละติจูด เป็นบริเวณที่มีเมฆมากและฝนตกอย่างหนาแน่น

2.2 พายุหมุนเขตร้อน

พายุหมุนเขตร้อน(Tropical Cyclone) หมายถึง พายุที่เกิดเหนือทะเลหรือมหาสมุทรในเขตร้อน ลักษณะ มีฝนตกเป็นบริเวณกว้างตามแนวทางการเคลื่อนที่ของพายุ มีระบบการหมุนเวียนของลมเข้าสู่ศูนย์กลางของพายุในทิศทางทวนเข็มนาฬิกาสำหรับพายุในซีกโลกเหนือ และตามเข็มนาฬิกาสำหรับพายุในซีกโลกใต้ บริเวณศูนย์กลางของพายุจะมีความกดอากาศต่ำ มีลักษณะเป็นวงกลมอากาศในบริเวณนี้จะมีอากาศอุ่นและมีความชื้นสูง แหล่งพลังงานที่สำคัญของพายุหมุนเขตร้อนคือความชื้นและความร้อนจากมหาสมุทร พายุจะก่อตัวขึ้นเฉพาะเหนือทะเลและมหาสมุทรเท่านั้นแต่เมื่อก่อตัวแล้วอาจเคลื่อนตัวเข้าสู่แผ่นดินได้ อุณหภูมิ น้ำทะเลที่เหมาะสมสำหรับการเกิดพายุหมุนเขตร้อนนั้นคือตั้งแต่ 27 องศาเซลเซียสขึ้นไป แต่การที่จะเกิดพายุหมุนได้นั้นยังต้องมีปัจจัยอื่นๆประกอบด้วย เช่น อุณหภูมิและความชื้นของบรรยากาศในระดับความสูงต่างๆเป็นต้น พายุหมุนเขตร้อนที่เคลื่อนที่เข้าสู่ประเทศไทยนั้นมีประมาณ 3 ถึง 4 ลูกต่อปี ตามสถิติภูมิอากาศเดือนที่มีพายุเคลื่อนตัวเข้าสู่ประเทศไทยมากที่สุดคือเดือนตุลาคม โดยมีค่าเฉลี่ยปีละ 1 ลูก และเดือนที่ยังไม่มีพายุเคลื่อนเข้าสู่ประเทศไทยคือเดือนมกราคมถึงมีนาคม

มีการแบ่งกำลังของพายุตามความเร็วลมใกล้ศูนย์กลางไว้ดังนี้

2.2.1) พายุดีเปรสชัน (Tropical Depression) มีความเร็วสูงสุดใกล้ศูนย์กลางน้อยกว่า 34 นอต หรือ 61 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

2.2.3) พายุโซนร้อน (Tropical Storm) เป็นพายุที่มีความเร็วปานกลาง มีความเร็วสูงสุดใกล้ศูนย์กลางระหว่าง 34 ถึง 63 นอต หรือ 62 ถึง 117 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

2.2.3) พายุไต้ฝุ่น (Typhoon) เป็นพายุที่มีความรุนแรงมากที่สุด มีความเร็วลมสูงสุดใกล้ศูนย์กลางตั้งแต่ 64 นอต หรือ 118 กิโลเมตรต่อชั่วโมงขึ้นไป

พายุหมุนเขตร้อนมีชื่อเรียกต่างๆกันตามบริเวณที่เกิด ในมหาสมุทรอินเดียเรียกว่า “ไซโคลน” (Cyclone) ในมหาสมุทรแอตแลนติกเหนือและมหาสมุทรแปซิฟิกตะวันออก เรียกว่า “เฮอริเคน” (Hurricane) ในมหาสมุทรแปซิฟิกตะวันตกเรียกว่า “ไต้ฝุ่น” (Typhoon)

2.3 ทิศทางของลม

เป็นทิศทางที่ลมพัด ซึ่งทิศทางของลมนี้จะบอกได้โดยใช้เครื่องมือที่เรียกว่า “วินด์ เวน” (Wind Vane) โดยทั่วไปจะมีลักษณะเป็นลูกศรที่ติดอยู่กับแกนที่หมุนได้รอบตัว หรือบางแห่งจะใช้เป็นพวกผ้าบางๆ ที่มีลักษณะเป็นธง เครื่องมือใช้บอกทิศทางนี้มักจะติดตั้งไว้บนที่สูง เพื่อให้ผู้สังเกตสามารถที่จะมองเห็นได้ชัดเจน ทิศทางของลมที่พัดยังสามารถที่จะนำไปใช้สำหรับเรียกชื่อลมอีกด้วย ตัวอย่างเช่น ลมที่พัดจากทิศเหนือ เราเรียกชื่อลมนั้นว่า “ลมเหนือ” ลมที่พัดจากทิศตะวันออกก็เรียกว่า “ลมตะวันออก” เป็นต้น ทิศทางลมที่พัดจะวัดมุมของลมที่พัดในทิศทางตามเข็มนาฬิกาโดยใช้ทิศเหนือจริงเป็นหลัก ทิศทางลมแสดงโดยใช้หัวลูกศรบอกทิศทาง

ส่วนลมที่พัด ไปปะทะกับด้านหน้าของภูเขานั้น ด้านหน้าของภูเขาที่ตั้งรับลม เรียกว่า “ด้านรับลม” (Windward Side) ส่วนด้านหลังอยู่ตรงกันข้ามจะเป็นด้าน “อับลม” (Leeward Side)

2.3.1 ความสำคัญของทิศทางลม

ทิศทางลมนับว่ามีความสำคัญมาก ลมที่พัดมาจากทิศเหนือลงสู่ทิศใต้จะเป็นลมเย็น (ในซีกโลกเหนือ) ลมชนิดนี้จะมีความชื้นน้อยแม้จะพัดผ่านทะเลก็ตาม ทั้งนี้อุณหภูมิของลมเย็นจึงทำให้โอกาสการกลายเป็นไอของน้ำมีน้อย แต่อย่างไรก็ตามแม้ว่าลมนี้เป็นลมเย็นโอกาสที่น้ำจะกลายเป็นไอก็มีอยู่บ้าง ตัวอย่างเช่น ชายฝั่งตะวันออกของภาคใต้ของประเทศไทยในช่วงเดือนพฤศจิกายน ธันวาคม หรือเดือนมกราคม ที่มีลมมรสุมฤดูหนาว (ลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ) พัดผ่านอ่าวไทย มาจะหอบเอาความชุ่มชื้นมาด้วยทำให้เกิดฝนตกหนักและน้ำท่วมในภาคใต้ในช่วงนี้ได้ ดังนั้นจึงอาจกล่าวได้ว่าลมที่พัดจากทะเลเข้าสู่ฝั่งมักจะทำให้บริเวณชายฝั่งที่ลมพัดผ่านมีความชุ่มชื้น แต่ถ้าบริเวณใดมีลมประจำจากชายฝั่งออกสู่ทะเล บริเวณนั้นจะมีอากาศแห้งแล้ง ทั้งนี้เพราะลมที่พัดผ่านพื้นดินจะมีความชื้นน้อย ซึ่งในบางแห่งจะมีความรุนแรงมากจนทำให้บริเวณนั้นกลายเป็นทะเลทราย ตัวอย่างเช่น บริเวณทะเลทราย อะตากามา (Atacama) ในอเมริกาใต้ เป็นต้น ดังนั้นจึงอาจสรุปได้ว่า ทิศทางของลมมีผลต่อองค์ประกอบของอากาศดังนี้คือ

1 มีผลต่ออุณหภูมิของอากาศที่ลมพัดผ่าน

2 มีผลต่อปริมาณน้ำฝน

การบอกทิศทางลมนอกจากจะใช้ วินเวนค์ (Wind Vane) แล้วในบริเวณที่สูงจากผิวน้ำโลกขึ้นไป ตรวจสอบทิศทางลมเบื้องสูงจะใช้ ไพลอตท บัลลูน (Pilot Balloon) ในการหยั่งอากาศ หรือใช้ เรวินด์ (Rawind) ซึ่งเป็นเครื่องมือตรวจสอบเบื้องสูงโดยใช้ ระบบวิทยุตรวจสอบทิศทางลม เพื่อใช้ประโยชน์สำหรับการบิน ทั้งนี้บริเวณที่สูงจากพื้นโลกขึ้นไปลมจะพัดแรงในช่วง 2000-6000 ฟุต (700-2000 ม.) นักบินจะทำการติดต่อไปยังทางอากาศยานเพื่อขอทราบทิศทางของลมที่พัดในช่วงต่างๆ เพื่อที่จะได้เปลี่ยนระดับเพดานบินของเครื่องบินเสียใหม่ เพื่อหลีกเลี่ยงลมที่พัดแรงหรือการบินทวนทิศทางของลม เพราะจะทำให้เสียค่าใช้จ่ายและและเสียเวลาในการบินมากตัวอย่างเช่น

ถ้านักบินใช้ความเร็วของเครื่องบิน 100 ไมล์ต่อชั่วโมง เมื่อบินทวนทิศทางลมที่มีลมพัดด้วยความเร็ว 100 ไมล์ต่อชั่วโมงเครื่องบินจะบินอยู่กับที่ แต่ถ้าเครื่องบินใช้ความเร็วเท่าเดิมตามลมพัดด้วยความเร็ว 100 ไมล์ต่อชั่วโมง ความเร็วของเครื่องบินจะเท่ากับ 200 ไมล์ต่อชั่วโมง ดังนั้นการบินตามทิศทางลมจะทำให้เสียเวลาและค่าใช้จ่ายน้อยตามเหตุผลที่ได้กล่าวมาแล้ว

2.3.2 การวัดลมผิวพื้น

กล่าวโดยทั่วไป

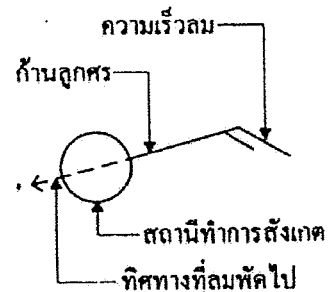
คำว่า “ลม” หมายถึงการเคลื่อนไหวของอากาศเฉพาะแนวนอน (Horizontal Component) แต่ทางเดียว การลมนี้ต้องให้ได้ค่าของทิศทางลมและความเร็วลมด้วยลมซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว เรียกว่า “ลมกรรโชก” (Gentle Breeze) การวัดทิศทางลม, ความเร็วลมกรรโชกจะให้ได้ผลแน่นอนคตินั้นต้องใช้เครื่องมือวัด แต่ถ้าไม่สามารถทำได้ให้ใช้วัดด้วยการกะประมาณค่า ถ้าไม่มีการเคลื่อนไหวของลม หรือถ้าลมมีความเร็วต่ำกว่า 1 นอต (เทียบกับหน่วยปกติมีค่าประมาณ 1.853 กิโลเมตรต่อชั่วโมง) เรียกว่า “ลมสงบ”

2.3.3 การบันทึกความเร็วลม

ในแผนที่อากาศมีสัญลักษณ์ที่ใช้บันทึกเกี่ยวกับความเร็วและทิศทางของลม โดยใช้ลูกศรที่เป็นจุด เรียกว่า “ขนนก” ตัวลูกศรจะใช้เป็นเส้นตรงเพื่อที่บอกให้ทราบถึงทิศทางของลมว่าพัดมาจากทิศใด ส่วนขนนกที่ติดอยู่ที่ปลายลูกศรจะบอกให้ทราบถึงความเร็วลม ส่วนวงกลมที่ติดอยู่ที่ปลายด้านหนึ่ง

ของลูกศรนั้นจะเป็นสถานีที่ทำการสังเกตอากาศ ความเร็วของลมของลมที่บันทึกนิยมใช้เป็นนอต (หรืออาจใช้เป็น ไมล์/ชั่วโมง หรือ กม./ ชั่วโมง ก็ได้)

- ☉ - ลมสงบ
- — 5 นอต
- — 10 นอต
- — 50 นอต



รูปที่ 2.1 สัญลักษณ์แสดงความเร็วลม

หมายเลข	สัญลักษณ์	ชื่อลม	ความเร็วของลม		ปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นจากการพัดของลม
			ไมล์/ชั่วโมง	ก.ม./ ชั่วโมง	
0	☉	ลมสงบ	ต่ำกว่า 1	ต่ำกว่า 1.6	คลื่นตอขึ้นตรง ๆ
1	○ —	ลมเบา	1 - 3	1.6 - 4.8	คลื่นตอไปคาบลม ลมไม่สามารถพัดคลื่นควมหมุนกลับได้
2	○ —	ลมอ่อน	4 - 7	6.4 - 11.3	มีลมพัดมากระทบใบหน้า ใบไม้ไหว วัชพวนหมุนกลับไป ตามแนวลมพัด
3	○ —	ลมโชย	8 - 12	12.9 - 19.3	ใบไม้แกว่งไปมา ธงบนยอดเสาถูกลมพัดให้เหวี่ยงตรง
4	○ —	ลมอ่อน- ปานกลาง	13 - 18	20.9 - 29.0	กิ่งไม้เล็กแกว่งไปมา หงหรือเศษกระดาษจะปลิวไปตามลม
5	○ —	ลมอ่อน- ค่อนข้างแรง	19 - 24	30.6 - 38.6	ต้นไม้เล็ก ๆ เอนไปตามลม เกิดคลื่นในแหล่งน้ำในพื้นดิน

หมายเลข	สัญลักษณ์	ชื่อลม	ความเร็วของลม		ปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นจากการพัดของลม
			ไมล์ / ชั่วโมง	ก.ม. / ชั่วโมง	
6		ลมอ่อน- แรงมาก	25 - 31	40.2 - 49.9	กิ่งไม้ขนาดใหญ่แกว่งไปมา สายโทรเลข สายโทรศัพท์ ส่งเสียงดังกรอไฉรมเป็นไปด้วยความฮากฮาบ
7		ลมแรง- ปานกลาง	32 - 38	51.5 - 61.1	ต้นไม้ทั้งต้นโอนเอนไปมา ลมจะพัดให้ผู้คนทวนลมล้มลง
8		ลมแรงจัด	39 - 46	62.8 - 74.0	ต้นไม้หักโค่น สิ่งกีดขวางบางอย่างถูกทำลาย
9		ลมแรง- จัดมาก	47 - 54	75.6 - 86.9	สิ่งก่อสร้างที่ไม่แน่นอนได้รับความเสียหาย กระเบื้องมุงหลังคาปลิวไปคามลม
10		พายุ	55 - 63	88.5 - 101.4	ต้นไม้ถอนรากถอนโคน สิ่งก่อสร้างพังทลาย
11		พายุจัด	64 - 75	103.0 - 120.7	จะทำลายทุกสิ่งทุกอย่างที่ลมพายุพัดผ่าน
12		เฮอริเคน	มากกว่า 75	มากกว่า 120.7	

ตารางที่ 2.1 ตารางอธิบายความหมายของสัญลักษณ์ที่แสดงความเร็วลม

2.4 การวัดความเร็วลม

เนื่องจากรายงานความเร็วลมเพื่อพยากรณ์อากาศนั้นใช้เป็นนอต ดังนั้น เครื่องวัดความเร็วลมจึงควรแบ่งสเกลเป็นนอตด้วย สำหรับพยากรณ์รายงานอากาศต้องการค่าของความเร็วลมผิวพื้นเฉลี่ยในช่วงเวลา 10 นาที ก่อนการตรวจ หรือระหว่างที่ลมมีความเร็ว 5 นอต และต้องอ่านให้ได้ค่าใกล้เคียงนอตที่สุด ถ้าลมมีความเร็วน้อยกว่า 1 นอต ให้รายงานว่า “ลมสงบ”

2.4.1 วิธีวัดด้วยเครื่องมือ

เครื่องวัดความเร็วลมที่เหมาะสมสำหรับความมุ่งหมายเพื่อการพยากรณ์นั้น จะต้องเป็นเครื่องที่ใช้อ่านได้หรือบันทึกรายการได้ในที่ทำการสำนักงาน เพื่อว่าจะได้เป็นการสะดวกในการหาค่าเฉลี่ยของความเร็วลมในช่วง 10 นาที หรือช่องระหว่างที่ลมมีความเร็ว 5 นอต ควรใช้เครื่องวัดความเร็วลมที่สามารถบันทึกรายงานได้ด้วยตัวเอง แทนเครื่องวัดความเร็วลมธรรมดา ค่าของความเร็วลมและทิศทาง

ลมที่พัดบนกระดาษกราฟต่อเนื่องกันนั้น จะมีความกว้างมากน้อยไม่เท่ากัน การหาค่าเฉลี่ยของค่าทั้งสองให้ใช้เส้นกลางของความกว้างของรอยขีดนั้นๆ

เพื่อความมุ่งหมายทางการเดินอากาศต้องการใช้เครื่องวัดความเร็วลมแบบบันทึกที่รายงานได้ในระยะไกล คือเดินสายไฟจากเครื่องมายังหน้าปัดซึ่งติดตั้งอยู่ที่ทำการและเครื่องมือจะต้องใช้วัฏจักรโซลิดได้ด้วย เครื่องจะต้องมีความไวดี (มีสัมประสิทธิ์ในการล่าถ่วงน้อยมาก) คือเมื่อมีลมเปลี่ยนความเร็วโดยฉับพลัน เครื่องจะต้องทำงานไม่เกิน 1 วินาที ถ้าลมยังมีความเร็วทวีขึ้นสัมประสิทธิ์ในการล่าถ่วงต้องน้อยลง

ถ้าเครื่องมือแบบธรรมดา และแบบที่จับบันทึกได้ด้วยตนเองมีอัตราแก้ไข เขียนอัตราแก้ไขประจำเครื่องไว้ด้วย เพื่อให้ได้ค่าที่ถูกต้องแน่นอนคือถึง 1 นอต ถ้าลมยังมีความเร็วทวีขึ้นสัมประสิทธิ์ในการล่าถ่วงต้องน้อยลง

หน่วยที่ใช้ในการวัด

หน่วยที่ใช้ในการวัดค่าของความเร็วลมนั้น อาจทำการวัดได้หลายหน่วยดังนี้

- นอต(หรือ ไมล์ทะเลต่อชั่วโมง)
- เมตรต่อวินาที
- กิโลเมตรต่อชั่วโมง
- ไมล์ต่อชั่วโมง
- ฟุตต่อวินาที

ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยต่างๆเหล่านี้แสดงให้เห็นดังตารางต่อไปนี้

นอต (kt)	เมตรต่อวินาที (m / sec)	ไมล์ต่อชั่วโมง (m.p.h)	กิโลเมตรต่อชั่วโมง (km / hr)	ฟุตต่อวินาที (ft / sec)
1	0.515	1.152	1.853	1.689
1.943	1	2.237	3.600	3.281
0.868	0.447	1	1.609	1.467
0.540	0.278	0.622	1	0.911
0.592	0.305	0.682	1.097	1

ตารางที่ 2.2 ตารางแสดงความสำคัญของหน่วยวัดความเร็วลมต่างๆ

2.4.2 เครื่องวัดความเร็วลมแบบใช้อากาศกระดก

เป็นแบบที่ง่ายที่สุด แต่มีความถูกต้องแม่นยำในการวัดใช้ได้ดีพอประมาณ ส่วนประกอบของเครื่องทำเป็นแผ่นสี่เหลี่ยม เป็นไม้ หรือเป็นโลหะอย่างเบาติดอยู่ที่ยอดศรลม มีบานพับติดห้อยอยู่ให้หันไปได้กับศรลม และหันทางแบบของแผ่นโลหะหรือไม้ให้ได้อากกับศรลม ดังนั้นแผ่นสี่เหลี่ยมนี้จึงหันหน้ารับลมอยู่เสมอ เมื่อลมพัดมาปะทะกับแผ่นสี่เหลี่ยมนี้จะกระดกขึ้น มีก้านกำหนดสเกลของความเร็วดังกล่าวของลมไว้ให้เห็น ได้ชัดจากเบื้องล่างตรง โคนเสาวัดลม

การอ่านค่าของสเกลนั้น เนื่องจากลมมิได้มีความเร็วคงที่อยู่ตลอดเวลา ดังนั้นแผ่นไม้หรือโลหะย่อมแกว่งไปแกว่งมา ให้สังเกตดูว่าแกว่งอยู่ระหว่างก้านกำหนดสเกลเฉลี่ยเป็นเกณฑ์ ตัวอย่างเช่น แผ่นไม้หรือโลหะนั้นแกว่งอยู่ระหว่างก้านสเกลที่ 1 และ 3 ให้ถือเอาความเร็วเฉลี่ยที่ก้านกำหนดสเกลที่ 2 เป็นเกณฑ์ดังนี้ เป็นต้น ดังนั้นเข้าใจว่าก้านกำหนดสเกลนี้ไม่ได้อ่านเป็นมาตราโบฟอร์ด

2.4.3 เครื่องมือวัดความเร็วลมแบบใช้ลูกถ้วย

เครื่องแบบนี้ใช้อากาศหมุนของลูกถ้วยรูปครึ่งทรงกรวย ซึ่งใช้ได้ดีกว่ารูปครึ่งทรงกลมและขบปากถ้วยทำให้หมุนขึ้นมา แบบที่เป็นรูปถ้วย 3 ใบนั้นมีแรงเหวี่ยงหมุนรอบตัวสูงที่สุดและโยใช้ลูกถ้วยรูปครึ่งทรงกรวยจะลดอัตราผิดได้มากเมื่อลมเปลี่ยนแปลงไป ส่วนขอบที่หมุนขึ้นมานั้นจะช่วยให้รักษาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมกับความเร็วที่ลูกถ้วยหมุนให้เป็นไปอย่างสม่ำเสมอ แบริงแกนหมุนนั้นต้องออกแบบเป็นอย่างดี เพื่อให้ทนต่อดินฟ้าอากาศได้ และขณะเดียวกันก็ต้องให้ง่ายต่อการหยคนั้นหล่อถิ่นด้วย ได้มีผู้ออกแบบเครื่องมือวัดลมนี้ต่าง ๆ กัน โดยใช้อากาศหมุนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเล็กๆ ต่อกระแสไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้านี้ไปเข้าหน้าปัด ซึ่งแบ่งสเกลไว้เป็นค่าของความเร็วลม

ข้อเปรียบเทียบของเครื่องวัดลมแบบลูกถ้วยรูปครึ่งทรงกรวย 3 ใบกับเครื่องวัดลมแบบรูปถ้วยครึ่งทรงวงกลม 4 ใบ

1. แบบที่ใช้ลูกถ้วย 3 ใบ ดีกว่าแบบที่ใช้ลูกถ้วย 4 ใบ เพราะแรงเหวี่ยงรอบตัวของแบบ 3 ใบได้ระเบียนดีกว่าและถ้าใช้โลหะอย่างเดียวกันแบบ 3 ใบให้แรงเหวี่ยงต่อน้ำหนักหน่วยมากกว่า
2. ถ้วยรูปครึ่งทรงกรวยดีกว่าถ้วยรูปครึ่งทรงกลม เพราะการรับแรงปะทะของลมด้านหลังถ้วยรูปครึ่งทรงกรวยจะมีการรับลมมากกว่าถ้วยแบบครึ่งวงกลม จึงทำให้การหมุนของลูกถ้วยหมุนได้ดีกว่า

3. ขอบของถ้วยทำให้สูงขึ้นมา ทำให้มีความไวต่ออาการผกผันต่อกระแสลมน้อยกว่าขอบ
เรียบธรรมดา

ในการทดลองต่อมาปรากฏว่า คุณสมบัติที่ดีของเครื่องวัดลมแบบลูกถ้วยนี้เป็นแบบที่เบา
และมีขนาดเล็กเพราะสามารถใช้วัดลมที่มีกำลังอ่อนมากๆ ได้

2.4.4 เครื่องวัดลมแบบใช้ใบพัด

เครื่องแบบนี้ใช้อาคารหมุนของใบพัดสำหรับวัดความเร็วลม ส่วนทิศทางการหมุนนั้นเขาทำกรรม
คล้ายรูปเครื่องบิน เครื่องชนิดนี้มีทั้งเครื่องที่ใช้ไฟฟ้า เรียกว่าแบบ “Aero vane” และแบบที่ไม่ต้อง ใช้ไฟ
แต่ใช้ความกดอากาศแทน เรียกว่าแบบ “Aero log” ทั้งสองแบบสร้างโดยบริษัท Bendix and Friez
Instrument ประเทศสหรัฐอเมริกา

เครื่องแบบแอโรเวนประกอบด้วยใบพัด 3 ใบ โครงเครื่องคล้ายกับเครื่องบินขนาดเล็กทำหน้าที่
เป็นกรรมคติดอยู่ปลายยอดเสา เครื่องแบบนี้ใช้อาคารหมุนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เช่นเดียวกับแบบลูก
ถ้วย ต่อสายไฟมายังหน้าปัดบอกความเร็ว ซึ่งแบ่งสเกลเป็น ไมล์ต่อชั่วโมงหรือนอต และเมื่อกรรม
คล้ายรูปเครื่องบิน) หันไปตามทิศทางการลมในทิศทางต่างๆ ก็จะส่งอาการของไฟฟ้าลงมายังหน้าปัดบอก
ทิศทางลมด้วย

เพื่อต้องการให้จดบันทึกรายงานของทิศทางและความเร็วลมให้ต่อเนื่องกัน ใช้สายไฟไปเข้า
เครื่องจดยาน ซึ่งมีปากกาขีดไปบนกระดาษกราฟจดบันทึกทิศทางและความเร็วลมให้ติดต่
เนื่องกันไปตลอดเวลา

2.4.5 เครื่องวัดความเร็วลมแบบใช้ความกด

เป็นแบบที่ดีที่สุดและมีความถูกต้องแม่นยำดีกว่าแบบอื่นๆ ที่กล่าวมาแล้ว แบบที่นิยมใช้กัน
แพร่หลายคือแบบ “มูม โรโคร์” เครื่องประกอบด้วยท่อรับลม ซึ่งมาจากหัวกรรมลงมาด้านล่างของถัง
น้ำภายใต้กรรมลอย ด้านกรรมลอยให้สูงขึ้นตามกำลังของลม ลมเหนือกรรมลอยในถังหนีออกได้อีกท่อหนึ่งซึ่ง
เป็นท่อระบายลม การเคลื่อนขึ้นลงของกรรมลอยคิดต่ออาการไปยังแขนปากกา ปากกาขีดไปบนกระดาษ
กราฟ ซึ่งพันอยู่รอบกระบอกนาฬิกา เครื่องแบบนี้ทำได้จากการคำนวณเลขตามความกด, ขนาดของท่อ
และ อื่นๆ ได้ทั้งความกดและความเร็วลม และกรรมยังใช้วัดทิศทางลมได้อีกด้วยในคราวเดียวกัน

เครื่องแบบนี้ไม่มีอาการเกี่ยวกับกระแสไฟฟ้าจึงใช้ได้สะดวกแม้จะห่างไกลการคมนาคม และใช้วัดลมกรรโชกได้ดีมาก

1. เครื่องวัดลมแบบหมุนโรโค่น เป็นเครื่องวัดลมแบบใช้ความกดตั้งที่ได้กล่าวมาแล้ว ประกอบด้วย 3 ส่วนสำคัญดังนี้
 - ส่วนบนของสรลม
 - เสาหรือหอคอย สำหรับติดตั้งแกนส่งหรือเครื่องวัดทิศทางต่อความกด ท่อดูดและเป็นเครื่องยึดส่วนบนด้วย
 - เครื่องจดบันทึกรายงานทิศทางและความเร็วลม ซึ่งต้องตั้งในแนวตั้งกับสรลมและมีห้องกันอย่างมิดชิดมีหลังคากันแดดและฝนด้วย

2. ส่วนบนและสรลม

ส่วนบนและสรลมเป็นท่อปลายสรลมซึ่งอากาศจะเข้าไปทางท่อนี้ สรลมนี้จะหันหน้ารับลมอยู่เสมอ โดยมีหางบังคับ เมื่อมีลมพัดเข้าไปในท่อจะก่อให้เกิดความกดส่งผ่านไปและมีท่อต่อไปเข้าเครื่องจดยางานเบื้องล่าง

3. แกน

จากสรลมนี้ต่ออาการลงไปยังเครื่องจดยางานทิศทางของลมซึ่งอยู่รวมกันกับเครื่องจดยางานความเร็วลม

4. เครื่องจดยางานทิศทางและความเร็วลม

ภายในเครื่องประกอบด้วยเครื่องลูกลอย ซึ่งลอยอยู่เหนือน้ำ (น้ำที่ใช้ควรเป็นน้ำกลั่น หรือน้ำสะอาดบริสุทธิ์ หรือน้ำฝนก็ได้) ท่อความกดติดอยู่กับช่องว่างภายในลูกลอย ซึ่งอยู่เหนือระดับผิวหน้าน้ำ โดยมีท่อตั้งขึ้นมาจากตรงกลางของถัง ท่อดูดส่งอากาศต่อไปยังที่ว่างภายนอกลูกลอย ซึ่งอยู่ระดับผิวหน้าน้ำ

ที่ตรงกลางตอนบนของลูกลอยซึ่งอยู่เหนือน้ำนั้นมีการต่อขึ้นมายังตอนบนของถังที่ก้านลูกลอยนี้มีปากกาติดอยู่ ซึ่งจะขีดไปบนกระดาษกราฟบอกค่าของความเร็วลม ตอนปลายสุดของก้านมีถ้วยเล็กๆสำหรับใส่ลูกปืน เพื่อความมุ่งหมายในการตั้งขีด 0 ของเครื่องวัดความเร็วลม

ตอนล่างสุดของเครื่องมีท่อระบายน้ำออกเพราะน้ำฝนอาจจะเข้ามาตามท่อปลายศรลมเข้ามาในเครื่องได้ หรือไม่พนักงานสะพานร่ายกลูกลอยขึ้นลง อาจทำให้ระดับน้ำสูงขึ้นมาจนล้นท่อตรงกลางเครื่องได้

เพื่อป้องกันไม่ให้อลูมิเนียมไป หรือเอนเอียงไป เขาทำที่บังคับไว้ และที่ข้างๆดังภายนอกเขาทำหลอดแก้วไว้ เพื่อความสะดวกที่จะได้ทราบระดับน้ำภายในถัง

2.5 การวัดความเร็วลมและการคาดคะเนความเร็วลม

การวัดความเร็วลมนั้น โดยทั่วไปใช้วัดเป็นกิโลเมตรต่อชั่วโมง หรือไมล์ต่อชั่วโมง (บางทีก็วัดเป็นนอต) ในบ้างกรณีใช้วัดความเร็วเป็นฟุตต่อวินาที หรือเมตรต่อวินาทีก็มี

สำหรับการคาดคะเนความเร็วนั้น ประมาณเอาจากอาการของสิ่งๆที่รับลมทั้งหลาย ในการนี้พลเรือเอกโบฟอร์ด แห่งราชนาวิอังกฤษได้เป็นผู้กำหนดการกะประมาณความเร็วลมไว้เป็น 12 มาตรา ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1805 โคถือเอาอาการที่ใบเรือรับลมต่างๆเป็นหลัก ต่อมาจึงได้เปรียบเทียบตามกำลังของลม โดยอาการของคว้นข้าง ชงข้าง หรือต้นไม้ และอาคารบ้านเรือนเป็นเครื่องกำหนดโดยประมาณบนพื้นดิน แล้วเทียบเป็นอัตราโบฟอร์ด ต่อมาองค์การอุตุนิยมวิทยาโลกได้ปรับปรุงการคาดคะเนความเร็วของลมจนถึงมาตรา 17 โบฟอร์ด และได้ถือเป็นหลักปฏิบัติกันโดยทั่วไป

บทที่ 3

กังหันลม

3.1 ประเภทของกังหันลม

กังหันลม โดยทั่วไปจะมีรูปแบบพื้นฐานหลักๆ คล้ายๆกัน แต่อาจแตกต่างกันบ้างในส่วนของรายละเอียด ดังนั้นการแบ่งประเภทของกังหันลมมักจะยึดเอาลักษณะการวางตัวของแกนเพลลาของกังหันลมเป็นหลัก ซึ่งประเภทหลักๆของกังหันลมสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทคือ กังหันลมที่มีแกนเพลลาอยู่ในแนวนอนและกังหันลมที่มีแกนเพลลาอยู่ในแนวตั้ง ดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 3.1

3.1.1) กังหันลมที่มีแกนเพลลาอยู่ในแนวนอน

กังหันลมที่มีแกนเพลลาอยู่ในแนวนอน (horizontal-axis type wind turbine, HAWT) เป็นกังหันลมที่มีแกนหมุนวางตัวอยู่ในทิศขนานกับทิศทางของลม โดยมีใบเป็นตัวยึดจากรับแรงลม กังหันลมประเภทนี้ได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่องและมีการนำมาใช้งานมากในปัจจุบัน เนื่องจากมีประสิทธิภาพในการเปลี่ยนพลังงานสูงแต่ต้องติดตั้งบนเสาที่มีความสูงมาก และมีชุดควบคุมให้กังหันลมหันหน้าเข้ารับแรงลมได้ทุกทิศทางในแนวนอนตลอดเวลา อย่างไรก็ตามในรายละเอียดของรูปแบบ องค์ประกอบ และลักษณะการทำงานของกังหันลมแบบนี้ที่นิยมใช้กันสามารถแบ่งออกเป็น 3 แบบ (นิพนธ์ เกตุจ้อย และ อชิตพล ศศิธรานูวัฒน์. 2547 : 68-69) ได้แก่

3.1.1.1) กังหันลมแบบความเร็วคงที่ (fixed speed turbine)

กังหันลมชนิดนี้ประกอบไปด้วย ใบพัด กล่องเกียร์ ซึ่งเชื่อมต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับแบบเหนี่ยวนำ (squirrel cage induction generator) ชุดสเตเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าต่อเชื่อมเข้ากับระบบสายส่งไฟฟ้า ดังแสดงในภาพที่ 3.2 a ในความเป็นจริงแล้วกังหันลมแบบนี้มีค่าสลลิปของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (generator slip) ไม่นิ่งที่ซึ่งจะขึ้นอยู่กับการเปลี่ยนแปลงของกำลังเครื่องกำเนิดไฟฟ้า อย่างไรก็ตามการเปลี่ยนแปลงนี้มีค่าน้อยมากเพียง 1 – 2 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นจึงเรียกกังหันลมแบบนี้ว่าเป็นแบบความเร็วคงที่

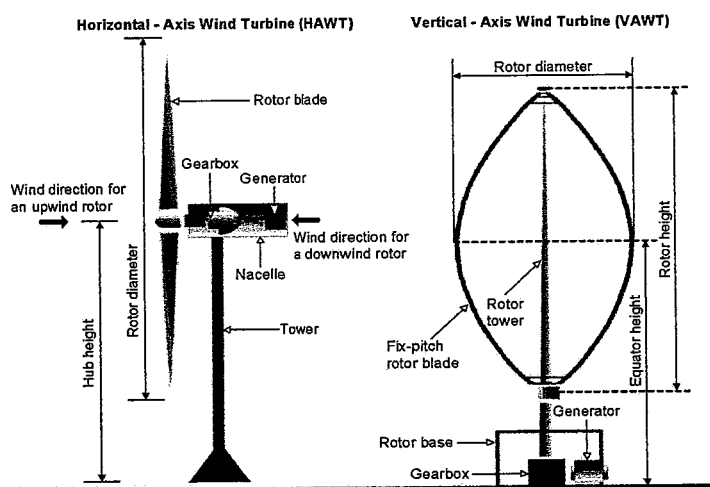
3.1.1.2) กังหันลมแบบความเร็วไม่คงที่ (variable speed turbine)

กังหันลมชนิดนี้ประกอบไปด้วย ใบพัด กล่องเกียร์ เชื่อมต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับแบบเหนี่ยวนำแบบดับเบิ้ลเฟด (doubly fed induction generator) เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า ชุดสเตเตอร์ต่อเชื่อมเข้ากับระบบสายส่งไฟฟ้า กังหันลมชนิดนี้ความเร็วรอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า สามารถเปลี่ยนแปลงได้โดยเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า ดังนั้นจึงสามารถปรับความเร็วรอบ

และความถี่ของกระแสไฟฟ้าที่ผลิตออกมาได้ องค์ประกอบของกังหันลมแบบความเร็วไม่คงที่ดังแสดงในภาพที่ 3.2 b

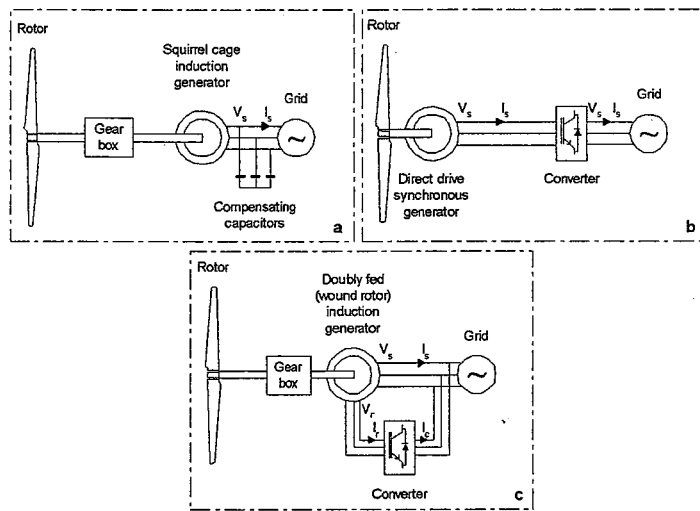
3.1.1.3) กังหันลมแบบความเร็วไม่คงที่ชนิดต่อตรง (variable speed with direct drive)

กังหันลมชนิดนี้ประกอบไปด้วย ใบพัด เชื่อมต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัสโดยตรงและมีเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า สำหรับการควบคุมความเร็วรอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า องค์ประกอบของกังหันลมแบบความเร็วไม่คงที่ชนิดต่อตรงดังแสดงในภาพที่ 3.2 c



รูปที่ 3.1 กังหันลมผลิตไฟฟ้าแบบแกนนอนและแบบแกนตั้ง

ที่มา (EIA, 2004e. On-line)



รูปที่ 3.2 แสดงองค์ประกอบกังหันลมแบบความเร็วคงที่ (a) กังหันลมแบบความเร็วไม่คงที่ (b)

และกังหันลมแบบความเร็วไม่คงที่ชนิดต่อตรง (c)

ที่มา (นิพนธ์ เกตุจ้อย และ อชิตพล ศศิธรานูวัฒน์. 2547 : 68-69)

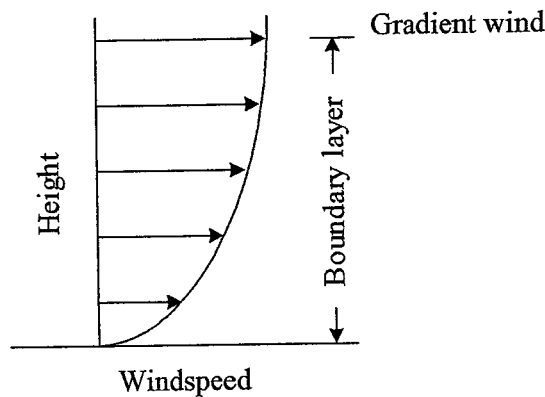
3.1.2 กังหันลมที่มีแกนเพลลาอยู่ในแนวตั้ง

กังหันลมที่มีแกนเพลลาอยู่ในแนวตั้ง (vertical-axis type wind turbine, VAWT) เป็นกังหันลมที่มีแกนหมุนตั้งฉากกับทิศทางของลม ซึ่งสามารถรับลมได้ทุกทิศทางและติดตั้งอยู่ในระดับต่ำได้ กังหันลมแบบนี้ที่รู้จักกันดีคือกังหันลมแบบแดร์เรียส (darrieus) ซึ่งออกแบบโดยวิศวกรชาวฝรั่งเศส ในปี ค.ศ. 1920 ข้อดีของกังหันลมแกนตั้งคือ สามารถรับลมได้ทุกทิศทาง มีจุดปรับความเร็ว (gear box) และเครื่องกำเนิดไฟฟ้า สามารถติดตั้งอยู่ที่ระดับพื้นล่างได้ นอกจากนี้ตัวเสาของกังหันลมยังไม่สูงมากนัก แต่มีข้อเสียคือประสิทธิภาพต่ำเมื่อเทียบกับกังหันลมที่มีแกนเพลลาแบบแกนนอน ดังนั้นในปัจจุบันจึงมีการใช้งานอยู่น้อย

3.2 หลักการทำงานของกังหันลม

ลมที่เกิดขึ้นถูกใช้ประโยชน์จากส่วนที่อยู่ใกล้ผิวโลกหรือที่เรียกว่าลมผิวพื้น ซึ่งหมายถึงลมที่พัดในบริเวณผิวพื้นโลกภายใต้ความสูงประมาณ 1 กิโลเมตรเหนือพื้นดิน เป็นบริเวณที่มีการผสมผสานของอากาศกับอนุภาคอื่นๆ และมีแรงเสียดทานในระดับต่ำ โดยเริ่มต้นที่ระดับความสูงมากกว่า 10 เมตรขึ้นไปแรงเสียดทานจะลดลง ทำให้ความเร็วลมจะเพิ่มขึ้นดังแสดงในภาพที่ 3.3 จนกระทั่งที่ระดับความสูงใกล้ 1 กิโลเมตรเกือบไม่มีแรงเสียดทาน (นิพนธ์ เกตุจ้อย และ อชิตพล ศศิธรานูวัฒน์. 2547 : 65) ความเร็วลมมีการเปลี่ยนแปลงขึ้นอยู่กับระดับความสูง และ สภาพภูมิประเทศ

เช่นเดียวกันกับทิศทางของลม จากประสบการณ์ที่ผ่านมาพบว่ากังหันลมจะทำงานได้ดีหรือไม่ขึ้นอยู่กับความเร็วลมเท่าๆ กัน แต่มีทิศทางลมที่แตกต่างกัน เมื่อลมเคลื่อนที่พุ่งเข้าหาแกนหมุนของกังหันลมแล้วจะส่งผลกระทบต่อแรงบิดของกังหันลมเป็นอย่างมาก ผลคือแรงลัพท์ที่ได้ออกมาจากกังหันลมแตกต่างกัน ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าปัจจัยเบื้องต้นที่เป็นตัวกำหนดในการใช้พลังงานลมคือความเร็วและทิศทางของลมนั่นเอง



รูปที่ 3.3 แสดงลักษณะของความเร็วมวลอากาศชั้นบรรยากาศ

พลังงานที่ได้รับจากกังหันลมจะมีเปลี่ยนแปลงขึ้นอยู่กับความเร็วลม แต่ความสัมพันธ์นี้ไม่เป็นสัดส่วนโดยตรง ที่ความเร็วลมต่ำในช่วง 1-3 เมตรต่อวินาที กังหันลมจะยังไม่ทำงานจึงยังไม่สามารถผลิตไฟฟ้าออกมาได้ ที่ความเร็วลมระหว่าง 2.5-5 เมตรต่อวินาที กังหันลมจะเริ่มทำงานเรียกช่วงนี้ว่า ช่วงเริ่มความเร็วลม (cut in wind speed) และที่ความเร็วลมช่วงประมาณ 12-15 เมตรต่อวินาที เป็นช่วงที่เรียกว่าช่วงความเร็วลม (nominal หรือ rate wind speed) ซึ่งเป็นช่วงที่กังหันลมทำงานอยู่บนพิกัดกำลังสูงสุดของตัวเอง ในช่วงที่ความเร็วลมได้ระดับ ไปสู่ช่วงความเร็วลมเป็นการทำงานของกังหันลมด้วยประสิทธิภาพสูงสุด (maximum rotor efficiency) ดังแสดงในรูปที่ 3.4 ซึ่งค่านี้ขึ้นอยู่กับอัตราการกระตุ่นความเร็ว (tip speed ratio) (Siegfried. 1998 : 67) และในช่วงเลยความเร็วลม (cut out wind speed) เป็นช่วงที่ความเร็วลมสูงกว่า 25 เมตรต่อวินาที กังหันลมจะหยุดทำงานเนื่องจากความเร็วลมสูงเกินไปซึ่งอาจทำให้เกิดความเสียหายต่อกลไกของกังหันลมได้

การหาค่าพลังของลมที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว v ผ่านพื้นที่หน้าตัด A หาได้จาก

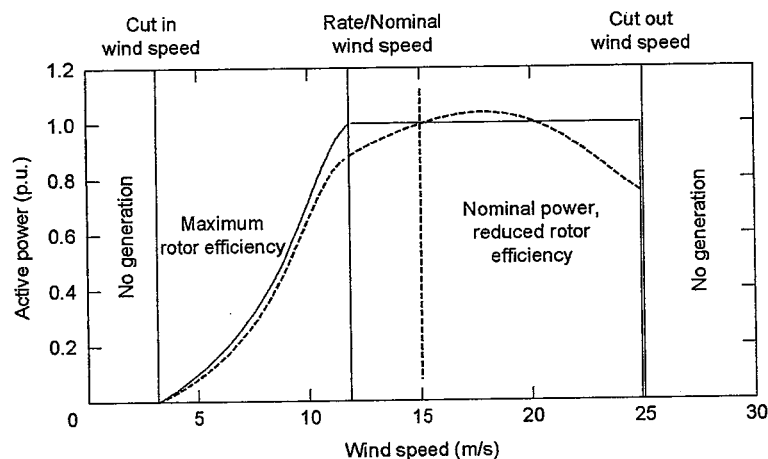
$$P_w = \frac{1}{2} \rho A v^3 \dots\dots\dots(1)$$

เมื่อ P_w คือ กำลังของลม (W)

ρ คือ ความหนาแน่นของอากาศ มีค่าเท่ากับ 1.225 kg/m^3

A คือ พื้นที่หน้าตัด (m^2)

v คือ ความเร็วลม (m/s)



รูปที่ 3.4 แผนภูมิแสดงกำลังไฟฟ้าและช่วงการทำงานของกังหันลมแบบต่างๆ

ที่มา (Siegfried, 1998 : 107)

สำหรับหลักการทั่วไปในการนำพลังงานลมมาใช้คือ เมื่อมีลมพัดมาปะทะกับใบพัดของกังหันลม กังหันลมจะทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานลมที่อยู่ในรูปของพลังงานจลน์ไปเป็นพลังงานกลโดยการหมุนของใบพัด แรงจากการหมุนของใบพัดนี้จะถูกส่งผ่านแกนหมุนทำให้เฟืองเกียร์ที่ติดอยู่กับแกนหมุนเกิดการหมุนตามไปด้วยพลังงานกลที่ได้จากการหมุนของเฟืองเกียร์นี้เองที่ถูกประยุกต์ใช้ประโยชน์ตามความต้องการเช่นในกรณีที่ต้องการใช้กังหันลมเพื่อการผลิตไฟฟ้าจะต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเข้าไป ซึ่งเมื่อเฟืองเกียร์ของกังหันลมเกิดการหมุนจะไปขับเคลื่อนให้แกนหมุนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหมุนตามไปด้วย ด้วยหลักการนี้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าก็สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าออกมาได้ ส่วนในกรณีของการใช้กังหันลมในการสูบน้ำหรือสี่ขาวสามารถนำเอาพลังงานกลจากการหมุนของเฟืองเกียร์นี้ไปประยุกต์ใช้ได้โดยตรง

บทที่ 4

แหล่งกำเนิดไฟฟ้า

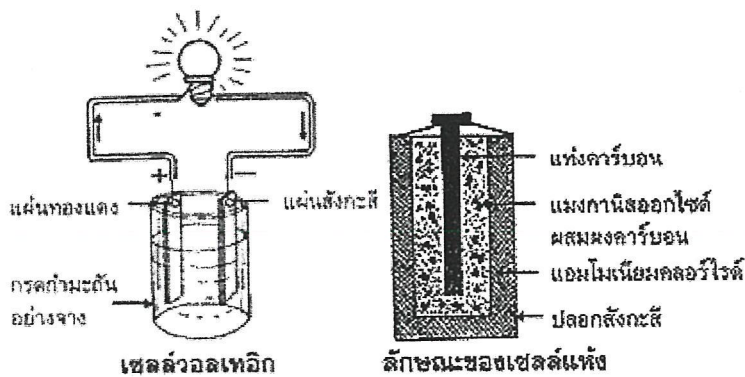
แหล่งกำเนิดไฟฟ้ามีหลายชนิด ดังนี้

4.1 แหล่งกำเนิดไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากการเสียดสีของวัตถุ

การนำวัตถุ 2 ชนิดมาเสียดสีกันจะเกิดไฟฟ้า เรียกว่า ไฟฟ้าสถิตผู้ค้นพบไฟฟ้าสถิตครั้งแรก คือนักปราชญ์กรีกโบราณท่านหนึ่งชื่อ เทลีส (Philosopher Thales) แต่ยังไม่ทราบอะไรเกี่ยวกับไฟฟ้ามากนัก จนถึงสมัย เซอร์ วิลเลียมกิลเบิร์ต (Sir William Gilbert) ได้ทดลองนำเอาแท่งอำพันถูกับผ้าขนสัตว์ ปรากฏว่าแท่งอำพันและผ้าขนสัตว์สามารถดูดผงเล็กๆ ได้ ปรากฏการณ์นี้คือการเกิดไฟฟ้าสถิตบน วัตถุทั้งสอง

4.2 แหล่งกำเนิดไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากพลังงานทางเคมี

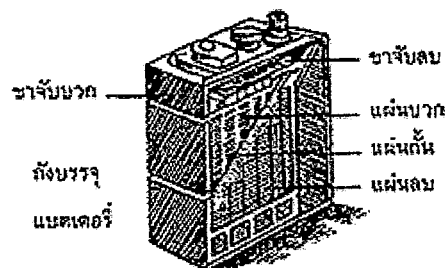
แหล่งกำเนิดไฟฟ้าจากพลังงานทางเคมีเป็นไฟฟ้าชนิดกระแสตรง (Direct Current) สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 แบบ คือ



รูปที่ 4.1 เซลล์วอลเทอิกและลักษณะของเซลล์แห้ง

4.2.1) เซลล์ปฐมภูมิ (Primary Cell) เป็นแหล่งกำเนิดไฟฟ้าที่ให้กระแสไฟฟ้าตรง ผู้ที่คิดค้นได้คนแรกคือ เคานต์อาเลสซันโดรเวปเปออัน โดนีโออานัสตาซีโอวอลตา นักวิทยาศาสตร์ชาวอิตาลี โดยใช้แผ่นสังกะสี และแผ่นทองแดงจุ่มลงในสารละลายของกรรดก้ามะถันอย่างเจือจาง มีแผ่นทองแดงเป็นขั้วบวกแผ่นสังกะสีเป็นขั้วลบ เรียกว่า เซลล์วอลเทอิก เมื่อต่อเซลล์กับวงจรภายนอกก็จะมีกระแสไฟฟ้า

ไหลจากแผ่นทองแดงไปยังแผ่นสังกะสีขณะที่เซลล์วอลเทอิกจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับหลอดไฟแผ่นสังกะสีจะค่อย ๆ กร่อนไปที่ละน้อยซึ่งจะเป็นผลทำให้กำลังในการจ่ายกระแสไฟฟ้าลดลงด้วย และเมื่อใช้ไปจนกระทั่งแผ่นสังกะสีกร่อนมากก็ต้องเปลี่ยนสังกะสีใหม่ จึงจะทำให้การจ่ายกระแสไฟฟ้าได้ต่อไปเท่าเดิม ข้อเสียของเซลล์แบบนี้คือ ผู้ใช้จะต้องคอยเปลี่ยนแผ่นสังกะสีทุกครั้งเวลาที่เซลล์จ่ายกระแสไฟฟ้าลดลงแต่อย่างไรก็ตามเซลล์วอลเทอิกนี้ ถือเป็นต้นแบบของการประดิษฐ์เซลล์แห้ง (Dry Cell) หรือถ่านไฟฉายในปัจจุบัน ทั้งเซลล์เปียกและเซลล์แห้งนี้เรียกว่า เซลล์ปฐมภูมิ (Primary Cell) ข้อดีของเซลล์ปฐมภูมินี้ คือเมื่อสร้างเสร็จสามารถนำไปใช้ได้ทันที

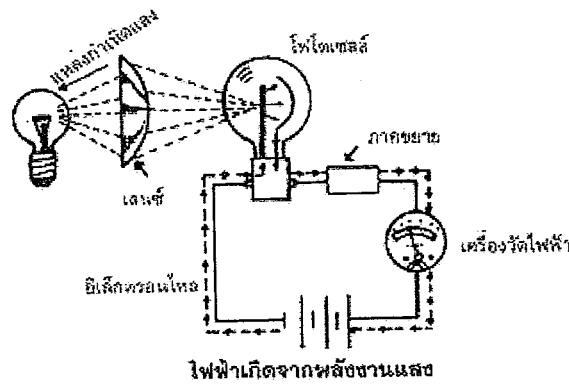


ลักษณะภายในของสตอเรจแบตเตอรี่
รูปที่ 4.2 ลักษณะภายในของสตอเรจแบตเตอรี่

4.2.2) เซลล์ทุติยภูมิ (Secondary Cell) เป็นเซลล์ไฟฟ้าสร้างขึ้นแล้วต้องนำไปประจุไฟเสียก่อน จึงจะนำมาใช้ และเมื่อใช้ไฟหมดแล้วก็สามารถนำไปประจุไฟใช้ได้อีกโดยไม่ต้องเปลี่ยนส่วนประกอบภายใน และเพื่อให้มีกระแสไฟฟ้ามากจะต้องใช้เซลล์หลายแผ่นต่อกันแบบขนานแต่ถ้าต้องการให้แรงดันกระแสไฟฟ้าสูงขึ้นก็ต้องใช้เซลล์หลาย ๆ แผ่น แบบอนุกรมเซลล์ไฟฟ้าแบบนี้มีชื่อเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า สตอเรจเซลล์ หรือสตอเรจแบตเตอรี่ (Storage Battery)

4.3 แหล่งกำเนิดไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากพลังงานแสง

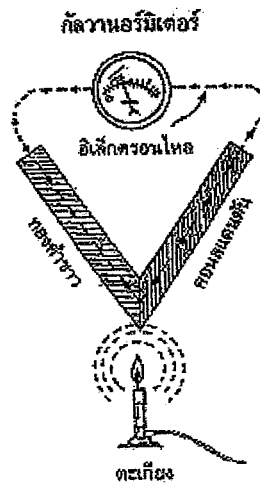
เกิดจากการที่แสงผ่านกระแสไฟฟ้า จากพลังงานสารกึ่งตัวนำ เพราะว่าเมื่อสารกึ่งตัวนำได้รับแสง อิเล็กตรอนภายในสารหลุดออกมาและเคลื่อนที่ได้ แหล่งกำเนิดไฟฟ้านี้ที่ใช้อยู่ปัจจุบันเรียกว่า โฟโตเซลล์ (Photo Cell) ใช้ในเครื่องวัดแสงของกล้องถ่ายรูป การปิดเปิดประตูลิฟต์และระบบนิรภัย เป็นต้น



รูปที่ 4.3 ตัวอย่างไฟฟ้าที่เกิดจากพลังงานแสง

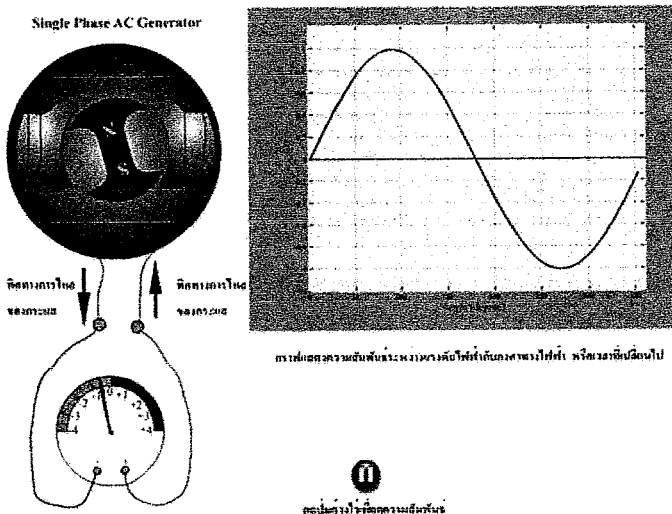
4.4 แหล่งกำเนิดไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากพลังงานความร้อน

กระแสไฟฟ้าเกิดขึ้นจากพลังงานความร้อนโดยการนำโลหะ 2 ชนิดมายึดติดกันแล้วให้ความร้อนจะเกิดกระแสไฟฟ้าไหลในแท่งโลหะทั้งสอง เช่น ใช้ทองคำขาวกับคอนสแตนตันยึดปลายข้างหนึ่งให้ติดกัน และปลายอีกด้านหนึ่งของโลหะทั้งสองต่อเข้ากับเครื่องวัดไฟฟ้า กัลวานอ์มิเตอร์ เมื่อใช้ความร้อนเผาปลายของ โลหะที่ยึดติดกันนั้น พลังงานความร้อนจะทำให้เกิดพลังงานไฟฟ้าขึ้น เกิดกระแสไฟฟ้าไหลผ่านเครื่องวัดไฟฟ้า



รูปที่ 4.4 ตัวอย่างไฟฟ้าที่เกิดจากพลังงานความร้อน

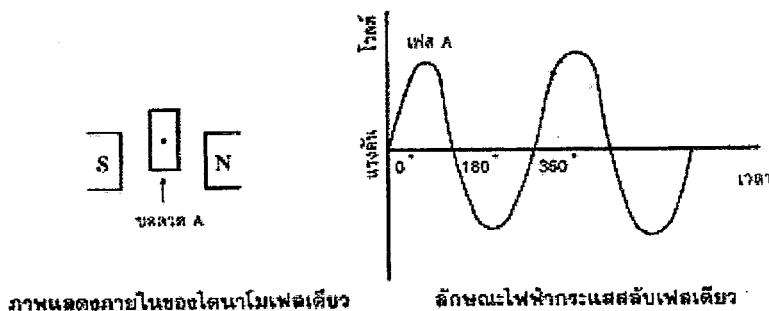
การกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ 1 เฟส



รูปที่ 4.6 การกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ 1 เฟส

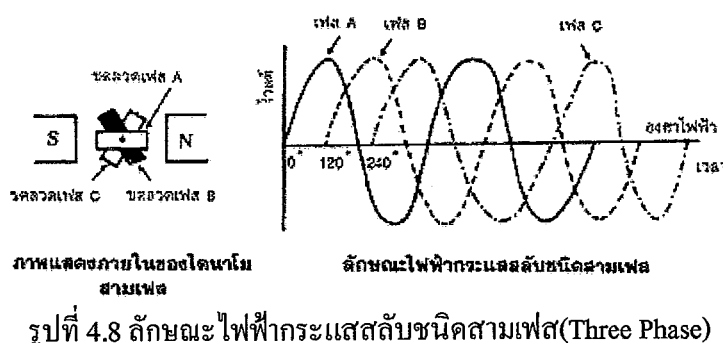
4.6.1) ไฟฟ้ากระแสสลับ (Alternating Current) เป็นไฟฟ้ากระแสที่มีทิศทางการเคลื่อนที่สลับกัน โดยกระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้น ในขดลวดตัวนำของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ ซึ่งมีอยู่ 3 ชนิด คือ ไฟฟ้ากระแสสลับ เฟสเดียว สองเฟส และสามเฟส ในปัจจุบันนิยมใช้เพียง 2 ชนิดเท่านั้น คือ กระแสไฟฟ้าสลับเฟสเดียวกับสามเฟส

ก. ไฟฟ้ากระแสสลับเฟสเดียว (Single phase)



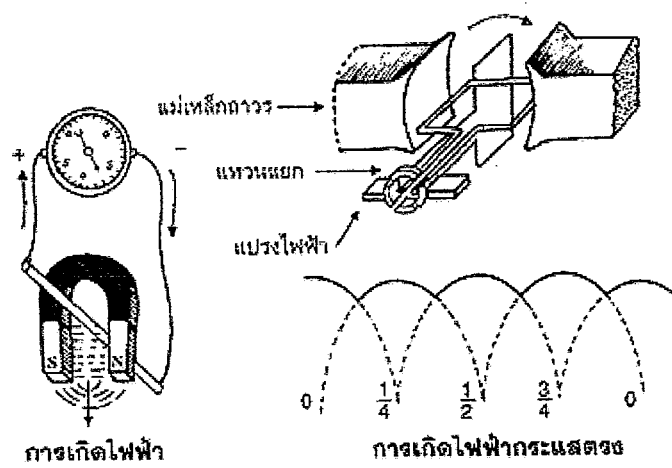
รูปที่ 4.7 ไฟฟ้ากระแสสลับเฟสเดียว (Single Phase)

ลักษณะการเกิดไฟฟ้ากระแสสลับ คือ ขดลวดขุดเดียวหมุนตัดเส้นแรงแม่เหล็ก เกิดแรงดันกระแสไฟฟ้า ทำให้กระแสไหลไปยังวงจรภายนอก โดยผ่านวงแหวน และแปลงถ่านดังกล่าวมาแล้ว จะเห็นได้ว่าเมื่อออกแรงหมุน ลวดตัวนำได้ 1 รอบ จะได้กระแสไฟฟ้าขุดเดียวเท่านั้น ถ้าต้องการให้ได้ปริมาณกระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้น ก็ต้องใช้ลวด ตัวนำหลายขุดไว้บนแกนที่หมุน ดังนั้นในการออกแบบขดลวดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับถ้าหากออกแบบ ขุดขดลวดบนแกนให้เพิ่มขึ้นอีก 1 ขุดแล้วจะได้กำลังไฟฟ้าเพิ่มขึ้น ข. ไฟฟ้ากระแสสลับสามเฟส (Three Phase) เป็นการพัฒนาจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับชนิดสองเฟส โดยการออกแบบจัดวาง ขดลวดบนแกนที่หมุนของเครื่องกำเนิดนั้น เป็น 3 ขุด ซึ่งแต่ละขุดนั้นวางห่างกัน 120 องศาทางไฟฟ้า



ไฟฟ้ากระแสสลับที่ใช้ในบ้านพักอาศัย ส่วนใหญ่ใช้ไฟฟ้ากระแสสลับเฟสเดียว (SinglePhase)ระบบการส่งไฟฟ้าจะใช้ สายไฟฟ้า 2 สายคือ สายไฟฟ้า 1 เส้น และสายศูนย์ (นิวทรัล) หรือเราเรียกกันว่าสายดินอีก 1 สาย สำหรับบ้านพักอาศัยในเมืองบางแห่ง อาจจะใช้เครื่องใช้ไฟฟ้าชนิดพิเศษ จะต้องใช้ไฟฟ้าชนิดสามเฟส ซึ่งจะให้กำลังมากกว่า เช่น มอเตอร์เครื่องสูบน้ำในการบำบัดน้ำเสีย ลิฟต์ของอาคารสูง ๆ เป็นต้น

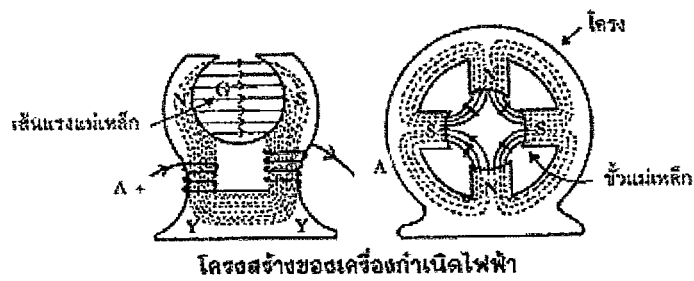
4.6.2) ไฟฟ้ากระแสตรง(Direct Current) เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง หลักการของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง อาศัยหลักการ ที่ตัวนำเคลื่อนที่ตัดสนามแม่เหล็ก จะเกิดแรงเคลื่อนที่ไฟฟ้าขึ้นในลวดตัวนำนั้น



รูปที่ 4.9 ลักษณะการเกิดไฟฟ้ากระแสตรง

โครงสร้างของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง มีดังนี้

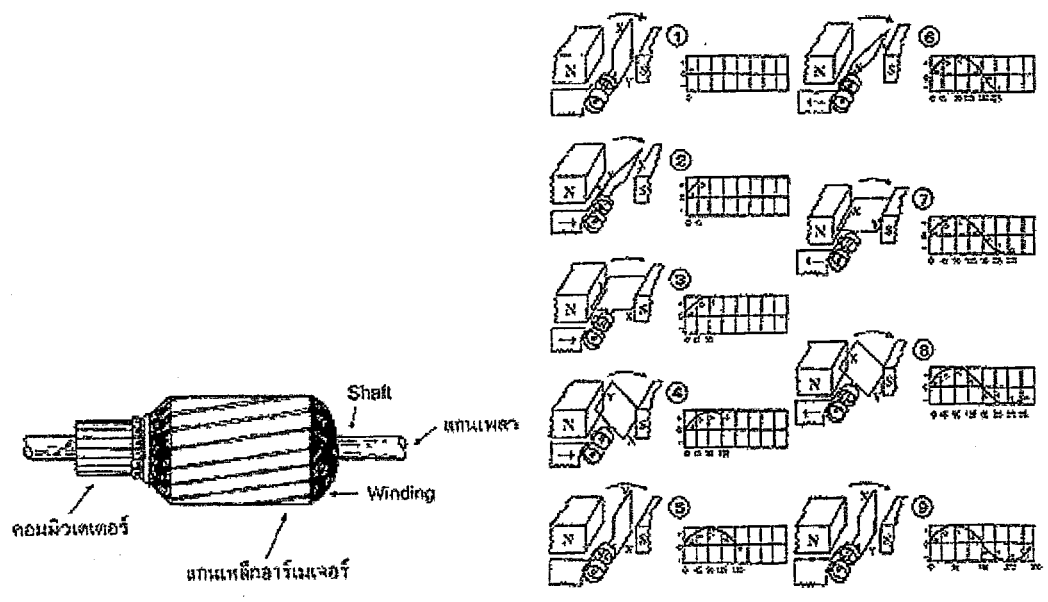
ก. ส่วนที่อยู่กับที่ ประกอบด้วย โครงและขั้วแม่เหล็ก ส่วนนี้สร้างสนามแม่เหล็กหรือ เส้นแรงแม่เหล็ก และส่วนที่รับกระแสไฟออก



รูปที่ 4.10 โครงสร้างของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

จ. ส่วนที่เคลื่อนที่ หรือส่วนที่หมุนเรียกว่า อาร์มาเจอร์ (Armature)

- ประกอบด้วย
1. แกนเพลลา
 2. แกนเหล็ก
 3. คอมมิวเตเตอร์



รูปที่ 4.11 ส่วนที่เคลื่อนที่และลักษณะการเกิดไฟฟ้ากระแสตรง

บทที่ 5

ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับแบตเตอรี่

5.1 การทำงานของเซลล์ไฟฟ้า

เซลล์ไฟฟ้านั้นสร้างขึ้นได้โดยการนำแท่งตัวหรือเรียกว่า แท่งอิเล็กโทรด (electrode) 2 แท่งมาจุ่มลงไป ในสารละลายที่เรียกว่า อิเล็กโทรไลต์ (electrolyte) ดังแสดงให้เห็นในรูปที่ 7 แท่งอิเล็กโทรดแท่งหนึ่งจะเรียกว่าอานอด ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นโลหะ ส่วนอีกแท่งหนึ่งเรียกว่า คาโทด ซึ่งส่วนใหญ่จะนำมาจากออกไซด์ของโลหะ

ออกไซด์ของโลหะเกิดจากการรวมตัวกันระหว่างอะตอมของโลหะกับออกซิเจน ตัวอย่างที่เห็นกันบ่อยๆ ของออกไซด์ของโลหะก็คือ ออกไซด์ของเหล็กที่เรียกกันว่า สนิมเหล็ก ซึ่งเกิดจากการที่เหล็กไว้ในอากาศ ซึ่งโลหะส่วนมากแล้วจะรวมตัวกับออกซิเจน เมื่อนำออกไซด์ของโลหะมาใช้ในเซลล์จะเป็นการใช้ในทางสร้างสรรค์ ไม่เหมือนกับสนิมเหล็กซึ่งเป็นตัวทำลาย

ส่วนอิเล็กโทรดที่ทำจากสารต่างๆ ได้หลายชนิด ซึ่งจะเลือกใช้ให้เหมาะกับอิเล็กโทรดแต่ละชนิดเท่านั้น โดยที่เซลล์ต่างชนิดกันจะใช้อิเล็กโทรดต่างกัน ทำให้ใช้อิเล็กโทรดต่างกันด้วย แต่อิเล็กโทรดไลน์แบบใดก็ตามก็เป็นตัวนำไฟฟ้าซึ่งจะให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่าน ในทิศทางใดโดยเฉพาะ ซึ่งเราจะกล่าวถึงต่อไป

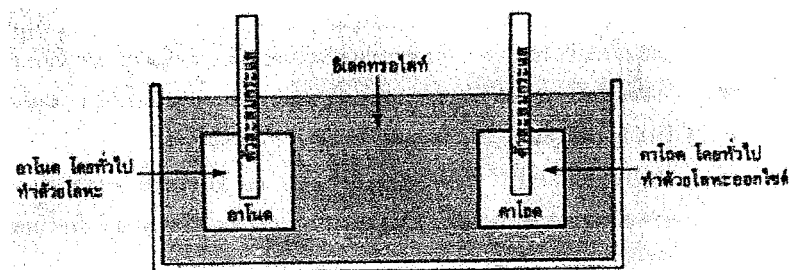
โลหะที่ใช้เป็นอานอดนั้น จะเลือกให้มีความสามารถในการรวมตัวกับออกซิเจนได้ดีกว่าโลหะที่ใช้เป็นคาโทดถ้าอานอดและคาโทดมาวางไว้ด้วยกัน อานอดจะดึงเอาออกซิเจนออกจากออกไซด์ของโลหะ ซึ่งเป็นคาโทดและทิ้งแท่งคาโทดไว้เป็นโลหะ ในกรณีนี้เราเรียกว่าอานอดถูกออกซิไดซ์ (oxidised) ส่วนคาโทดนั้นจะถูกรีดิิวซ์ (reduced)

อิเล็กโทรดไลต์นั้นเป็นสารเคมีเฉพาะ ซึ่งยอมให้การแลกเปลี่ยนของออกซิเจนระหว่างอานอดและคาโทดเกิดขึ้น โดยแท่งอานอดและคาโทดไม่จำเป็นต้องมาแตะกัน ในกรณีนี้สารอิเล็กโทรดไลต์จะเป็นตัวนำอนุภาคของออกซิเจน (ซึ่งมีประจุลบ) ซึ่งเกิดขึ้นที่คาโทดเคลื่อนที่เข้าไปสู่อานอด ดังนั้น

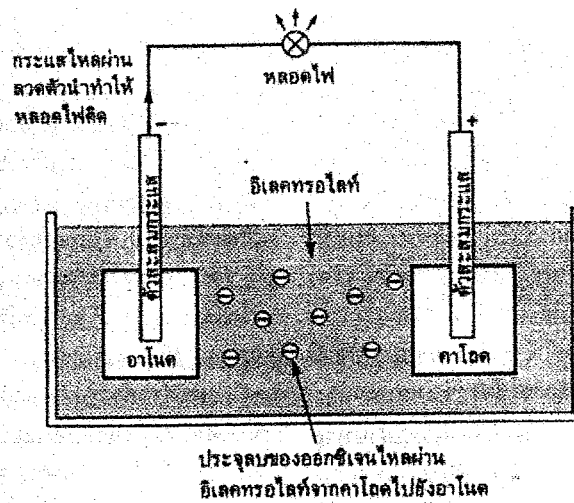
คาโอดจึงถูกรีคิวิซ์ ส่วนแอนโอดจะถูกออกซิไดซ์ ซึ่งเงื่อนไขในกรณีนี้จะไม่เกิดขึ้นถ้าเซลล์อยู่ในลักษณะรูปที่ 5.1 ถึงแม้ว่าเราจะพบว่าเกิดความต่างศักย์ขึ้น (ซึ่งหมายถึงแรงดันไฟฟ้า) ในการที่ประจุของออกซิเจนจะไปรวมตัวกับโลหะที่แท่งแอนโอด อนุภาคแต่ละอนุภาคของโลหะจะต้องปล่อยอิเล็กตรอนออกมา ในขณะที่เดียวกับที่อนุภาคของออกซิเจนจะออกจากแท่งคาโอด และเข้าไปในสารอิเล็กโทรไลต์ จะต้องได้รับประจุมา

เราสามารถให้ความต่างศักย์นี้ให้เป็นประโยชน์ ถ้าเราต่อวงจรไฟฟ้าเข้ากับขั้วของแท่งแอนโอดและคาโอด ดังแสดงในรูปที่ 5.2 ในกรณีนี้อิเล็กตรอนซึ่งมาจากการปล่อยของออกซิเจนเพื่อที่จะไปรวมตัวกับแท่งแอนโอด จะเคลื่อนที่จากแท่งแอนโอดเข้าไปในวงจรผ่านหลอดไฟ (ทำให้หลอดไฟสว่างขึ้น) และเคลื่อนกลับไปสู่แท่งคาโอดซึ่งมันสามารถประจุอนุภาคของออกซิเจนได้ดีกว่า การไหลของประจุอิเล็กตรอนจะทำให้เกิดการไหลของกระแสขึ้นในวงจรถัดจากแท่งคาโอดไม่มีอนุภาคของออกซิเจน หรือจนกระทั่งแอนโอดถูกออกซิไดซ์หมดแล้ว ที่จุดนี้เรากล่าวได้ว่า เซลล์คายประจุออกอนุภาคของประจุที่ไหลผ่านอิเล็กโทรไลต์เรียกว่า อีออน (ion) ซึ่งจะมาจากสารอื่นๆ ได้หลายชนิด ไม่เฉพาะแต่ออกซิเจนเท่านั้น ขึ้นอยู่กับเซลล์แต่ละชนิดและอิเล็กโทรไลต์ที่ใช้ซึ่งก็ใช้หลักการเดียวกัน

เนื่องจากการใช้อิเล็กโทรไลต์แตกต่างกัน ตลอดจนใช้แอนโอดและคาโอดที่แตกต่างกัน ทำให้สามารถผลิตเซลล์ชนิดต่างๆ ซึ่งมีราคาตลอดจนคุณสมบัติแตกต่างกัน เราจะมาศึกษาดูถึงตัวแปรที่แตกต่างกันของเซลล์ทั้งหมด ซึ่งเป็นสิ่งที่สำคัญที่สุดเพื่อที่จะได้รับทราบข้อเปรียบเทียบของเซลล์แต่ละชนิด เมื่อได้ไปสัมผัสกับมัน



รูปที่ 5.1 เป็นเซลล์แบบพื้นฐานแสดงถึงแอนโอดคาโอด และอิเล็กโทรไลต์

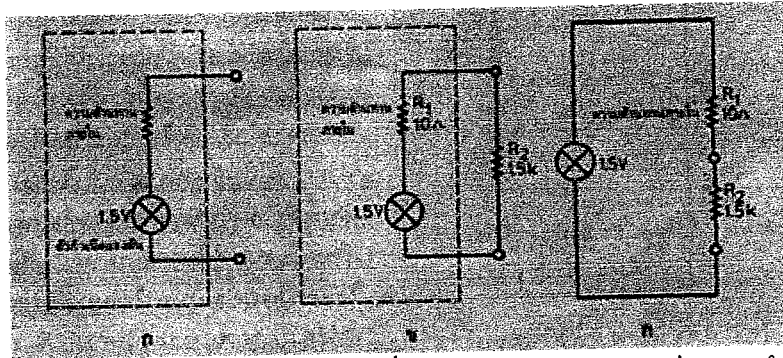


รูปที่ 5.2 เป็นการทำงานของเซลล์แบบพื้นฐานในกรณีนี้ใช้ทำให้หลอดไฟฟ้าสว่างขึ้นมา

5.2 แรงดันกับความต้านทาน

ความต่างศักย์ภายนอกของเซลล์นั้นเรียกกันว่าเป็นแรงเคลื่อนไฟฟ้า (electro motive force หรือย่อว่า EMF) ค่าที่แน่นอนนั้น (โดยปกติจะอยู่ประมาณ 1.5 โวลต์) จะขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุที่นำมาเป็นแอโนดและคาโทด และชนิดของสารอิเล็กโทรไลต์ นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและอายุของเซลล์ สำหรับเซลล์ใหม่แรงเคลื่อนไฟฟ้าสูงสุด (rated) อยู่เล็กน้อยคือประมาณ 1.6 โวลต์ และจะตกลงมาเป็นค่าต่ำประมาณ 1.2 โวลต์ เมื่อเซลล์เก่าและคายประจุหมด

การแปรเปลี่ยนไปของแรงเคลื่อนไฟฟ้าของเซลล์แม้ว่าจะเป็นสิ่งสำคัญ แต่ก็ไม่ใช่จะจหนักเนื่องจากวงจรอิเล็กทรอนิกส์หลายชนิดไม่ต้องการแรงดันไฟฟ้าที่คงที่และสม่ำเสมอในการทำงาน อย่างไรก็ตามมีอีกสิ่งหนึ่งที่สำคัญกว่า นั่นคือ ความต้านทานภายในของเซลล์ (internal resistance) ภายในตัวเซลล์เองเกิดจากโครงสร้างและสารที่ใช้ทำ ค่าความต้านทานภายในนี้ ไม่สามารถละทิ้งได้ แต่จะมีค่าน้อยมากซึ่งขึ้นอยู่กับเซลล์แต่ละชนิด



รูปที่ 5.3 ก.,ข.และ ค.เป็นวงจรเทียบเท่า (ในรูปที่8) ของเซลล์ขนาด1.5โวลต์ แสดงถึงความต้านทานภายในเซลล์

เราจะเห็นผลของค่าความต้านทานภายใน ถ้าเราดูตามแผนผังในรูปที่ 5.3 ก. ซึ่งเป็นวงจรเทียบเท่าของเซลล์ไฟฟ้า ซึ่งจะประกอบด้วยตัวกำเนิดแรงดันต่ออนุกรมอยู่กับตัวต้านทาน โดยที่ตัวกำเนิดแรงดันจะแทนความต่างศักย์ของอาโนดคาโทด และอิเล็กโทรไลต์ร่วมกัน ในขณะที่ตัวต้านทานนั้นจะแทนความต้านทานภายในของเซลล์ไฟฟ้าในรูป 5.3. ข. แสดงให้เห็นเซลล์ไฟฟ้า ซึ่งมีตัวกำเนิดแรงดันค่า 1.5 โวลต์ และมีค่าความต้านทานภายใน (R_1) ค่า 10 โอห์ม ต่ออยู่กับความต้านทานซึ่งเป็นวงจรภายนอก มีค่า 1.5 กิโลโอห์ม เราสามารถคำนวณค่าของกระแสที่ไหลผ่านวงจรโดยใช้กฎของโอห์มว่า

$$I = (1.5 / 1500) = 1\text{mA}..... \text{ มิลลิแอมป์}$$

อย่างไรก็ตาม ค่าความต้านทานภายในเซลล์ที่ต่ออนุกรมอยู่ก็มีผลต่อค่ากระแส และต้องนำมาคิดด้วย โดยวงจรจะเขียนใหม่เป็นดังรูปที่ 5.3 ค. ซึ่งเราจะเห็นตัวต้านทาน 2 ตัวติดต่อกันอยู่เป็นวงจรแบ่งแรงดัน ซึ่งแรงดันที่ตกคร่อมตัวต้านทานภายนอกค่า 1.5 กิโลโอห์ม นั้นเท่ากับ

$$\begin{aligned} V_{R2} &= (R_2 / (R_1 + R_2)) \times 1.5 \\ &= (1500 / (10 + 1500)) \times 1.5 \\ &= 1.49 \text{ โวลต์} \end{aligned}$$

ซึ่งต่ำกว่าที่เราคาดไว้ และค่ากระแสที่ไหลผ่านตัวต้านทานภายนอกเท่ากับ

$$I = (1.49 / 1500) = 0.99 \text{ mA}$$

ซึ่งมีค่าต่ำลงเล็กน้อย ค่าแรงดันและกระแสที่ต่ำลงเพียงเล็กน้อยไม่มีผลเพียงพอที่จะกระทบการทำงานของวงจร ลองมาวงจรใหม่ในรูปแบบที่ 10 ซึ่งวงจรภายนอกที่นำมาต่อมีความต้านทานทั้งหมดเพียง 5 โอห์ม เหมือนกับตัวอย่างที่แล้ว เราจะคำนวณค่ากระแสในวงจรตอนแรก เมื่อยังไม่คิดถึงความต้านทานภายในเซลล์ ได้ค่ากระแสเท่ากับ

$$I = (1.5 / 5) = 300 \text{ mA}$$

แต่เมื่อนำเอาค่าความต้านทานภายในเซลล์มาคิดด้วย ค่าแรงดันจริงๆ ที่ตกคร่อมความต้านทานภายนอก คือ

$$V_{R2} = (5 / (10+5)) \times 1.5 = 0.5 \text{ V}$$

ค่ากระแสจริงๆ ที่ไหลผ่าน คือ

$$I = (0.5 / 5) = 100 \text{ mA}$$

ซึ่งค่าแรงดันและกระแสที่ลดต่ำลงอย่างมากนี้ จะมีผลกระทบอย่างมากมายต่อการทำงานของวงจรภายนอกที่นำมาต่อด้วยไม่เฉพาะแต่ความต้านทานภายในเซลล์จะไปลดค่ากระแสที่ไหลผ่านวงจร ภายนอกซึ่งเซลล์จะจ่ายออกไป แต่ยังเป็นการสูญเสียพลังงานอีกด้วย โดยจากตัวอย่างข้างต้นแรงดันที่ตกคร่อมความต้านทานภายในเซลล์เป็น $1.5 - 0.5 = 1$ โวลต์ ทำให้เกิดกำลังงานสิ้นเปลืองไปเท่ากับ

$$P = (V^2 / R) = (1/10) = 0.1 \text{ W}$$

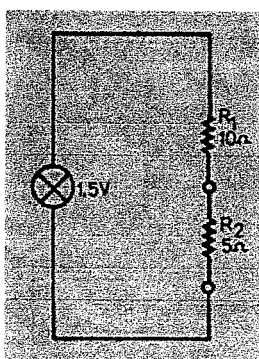
ซึ่งจะสูญเสียไปเป็นความร้อน เนื่องมาจากความต้านทานภายในเซลล์ตัวเซลล์จะอุ่นขึ้นซึ่งจะเป็นการเพิ่มค่า ความต้านทานภายในขึ้นอีกและจะมีผลให้ค่าแรงดันที่ตกคร่อมขึ้นอีก วนเวียนกันเป็นวัฏจักรไปเรื่อยๆ ซึ่งเป็นกรณีที่เลวร้าย ทำให้วงจรภายนอกที่นำมาต่อกระแสไฟฟ้าไม่พอเลี้ยงให้วงจรทำงานต่อไปได้ และถึงแม้ว่ากระแสจะพอเลี้ยงวงจรได้ พลังงานที่สูญเสียไปเหล่านี้ก็จะไปลดอายุการใช้งานของเซลล์ลง

ดังนั้น จะเห็นว่าค่าความต้านทานภายในเซลล์จะเริ่มมีความสำคัญ ถ้ากระแสที่จ่ายออกจากเซลล์มีค่ามาก โดยการลดค่าของความต้านทานภายในเซลล์ลง ผลกระทบเนื่องจากความต้านทานภายในเซลล์ก็จะลดน้อยลง แต่ก็ยังไม่สามารถลดลงจนเป็นศูนย์ได้

5.3 กำลังงานต่อชั่วโมง

คุณลักษณะสำคัญอันหนึ่งของเซลล์ไฟฟ้า ซึ่งเราจำเป็นต้องศึกษาก่อนที่จะรู้ถึงชนิดของเซลล์แบบต่างๆ นั้น ก็คือ ค่าความจุของเซลล์ (cell capacity) ซึ่ง คือปริมาณของกระแสไฟฟ้าซึ่งเซลล์หนึ่งๆ สามารถจ่ายออกไปได้ภายในช่วงระยะเวลาหนึ่ง ยกตัวอย่างเช่น เซลล์ไฟฟ้าเซลล์หนึ่งมีความจุ 1,000 มิลลิแอมป์-ชั่วโมง หมายความว่า (โดยการไม่คิดถึงค่าความต้านทานภายในเซลล์) เซลล์นี้สามารถจ่ายกระแสได้ 1,000 มิลลิแอมป์ เป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมง หรือจ่ายกระแสได้ 100 มิลลิแอมป์เป็นเวลา 10 ชั่วโมง หรือจ่ายกระแสได้ 20 มิลลิแอมป์ เป็นเวลา 50 ชั่วโมง เป็นต้น

แต่ถ้ากล่าวถึงค่าความจุกระแสของเซลล์ในรูปของมิลลิแอมป์-ชั่วโมง โดยถ้าฟัง ไม่ได้หมายถึงความจุทั้งหมดของเซลล์ บางครั้งเราจะคำนึงถึงค่าแรงดันของเซลล์เป็นส่วนหนึ่งของค่าความจุของเซลล์ด้วย ซึ่งทำได้โดยการคูณค่าความจุกระแสของเซลล์ด้วยค่าแรงดันของเซลล์ ซึ่งจากตัวอย่างแรงดันของเซลล์เท่ากับ 1.5 โวลต์ ดังนั้น มันจะมีความจุของพลังงานทั้งหมดอยู่ในหน่วยของมิลลิวัตต์-ชั่วโมง เช่น $1000 \times 1.5 \text{ V} = 1500 \text{ mWh}$



รูปที่ 5.4 ผลของความต้านทานภายใน ซึ่งมีผลกระทบต่อการทำงานของวงจรที่ภาวะกระแสสูงๆ

5.4 วิธีการชาร์จแบตเตอรี่ที่ถูกต้อง

5.4.1 การประจุทีละน้อย (Trickle Recharge)

ถ้ากระแสในวงจรรักษาไว้ที่อัตราเท่ากับ C/10 (10% ของความจุ) แล้ว เซลล์ที่หมดประจุอย่างสมบูรณ์สามารถจะประจุได้ภายใน 10 ชั่วโมง แต่ความเป็นจริงจะใช้เวลามากกว่า 10 ชั่วโมง การประจุที่ละน้อยด้วยอัตราขนาดนี้สามารถประจุทิ้งไว้ค้างคืนได้ ประโยชน์อีกข้อหนึ่งของการประจุเซลล์ด้วยอัตราขนาดนี้คือ ถึงแม้ว่าเซลล์จะถูกประจุเต็มแล้วก็ตาม ก็ไม่จำเป็นต้องนำเซลล์ออก เนื่องจากถ้าเราประจุต่อไปก็จะไม่ทำความเสียหายให้แก่เซลล์ เนื่องจากก๊าซออกซิเจนที่เกิดขึ้นทั้งหมดที่ขั้วบวกจะรวมตัวกับขั้วลบ การประจุเซลล์โดยไม่มีข้อจำกัด ซึ่งจะไม่ทำความเสียหายแก่เซลล์ ยกตัวอย่างเช่น เซลล์มีขนาดความจุ 500 มิลลิแอมป์- ชั่วโมง ถ้าประจุด้วยอัตรา C/10 ก็เท่ากับ 10% ของความจุ คือ 50 มิลลิแอมป์

5.4.2 การประจุอย่างรวดเร็ว (Fast Recharge)

เซลล์แบบนิแคดนี้สามารถจุประจุด้วยอัตราที่สูงขึ้นกว่าได้ เช่นด้วยอัตรา C/3 (33% ของความจุ) ถึง C/5 (20% ของความจุ) โดยจะต้องเตรียมการตัดการประจุ เมื่อเซลล์ได้รับการประจุจนเต็มที่แล้ว ซึ่งสามารถทำได้โดยอัตโนมัติ โดยใช้วงจรตรวจจับแรงดัน ซึ่งจะตัดกระแสที่ใช้ในการประจุออก เมื่อแรงดันของเซลล์เพิ่มขึ้นเกินกว่าค่าปัจจุบัน รูปที่ 10 แสดงถึงการแปรเปลี่ยนของแรงดันของเซลล์กับอัตราการประจุเท่ากับ C/4 (25% ของความจุ) จะเห็นได้ชัดว่าวิธีการนี้สามารถใช้ได้เฉพาะ ถ้าสามารถวัดค่าแรงดันได้อย่างเที่ยงตรงและว่องไว สามารถตัดกระแสที่ใช้ประจุออกก่อนที่จะเกิดความเสียหายขึ้น ปัญหาในการใช้การประจุแบบนี้ก็คือ ถ้ากระแสที่ใช้ในการประจุค่าสูงๆ นี้ไม่ได้ถูกตัดออกอย่างทันที เมื่อเซลล์ได้รับการประจุจนเต็มที่แล้ว ก๊าซออกซิเจนที่เกิดขึ้นมากเกินจากขั้วลบในปริมาณที่เพียงพอ ความดันจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว และเซลล์จะระบายก๊าซออกซิเจนออกไปโดยที่ รูระบายที่ปิดไว้จะเปิดออกและปล่อยก๊าซออกซิเจนกับอิเล็กโทรไลต์บางส่วนออกมา เนื่องจากเมื่ออิเล็กโทรไลต์สูญเสียนอกจากเซลล์แล้ว ก็ไม่สามารถเติมกลับเข้าไปใหม่ได้ ดังนั้น ความจุของเซลล์จะลดลงอย่างถาวรก็คือ เซลล์นั้นจะมีความจุน้อยลงตลอดไป

5.4.3 การประจุอย่างเร่งด่วน (Super – Fast Recharging)

มีบางกรณีที่ใช้ผู้ต้องการที่จะประจุเซลล์ภายในเวลาเพียง 2 – 3 นาที ยกตัวอย่างเช่น เครื่องบินเล็กที่ใช้แบตเตอรี่เป็นตัวจ่ายกำลังจะต้องการการประจุเซลล์ที่หมดประจุ เพื่อที่จะนำเครื่องบินนี้ บินขึ้น

สู่อากาศอีกครั้ง โดยเร็วที่สุดเท่าที่จะทำได้มันเป็นไปได้ที่จะประจุเซลล์อย่างเร่งด่วน ด้วยอัตราการประจุถึง 4C (4 เท่าของความจุ) หรือมากกว่านี้ โดยวิธีการต่อไปนี้ คือวัดแรงดันของเซลล์และตัดกระแสที่ใช้ประจุออก เมื่อแรงดันของเซลล์ขึ้นสูงถึงค่าที่ตั้งไว้ อย่างไรก็ตามมีวิธีการที่ง่ายกว่า แล้วก็เที่ยงตรงด้วย โดยจากหลักความจริงที่ว่าเซลล์ได้หมดประจุอย่างสมบูรณ์ก่อนที่จะพยายามทำการประจุมันใหม่ ให้ประจุไฟเข้าโดยกำหนดค่ากระแสประจุคงที่ไว้ใช้เวลาในการประจุตามที่ต้องการ เช่นหลังจากเซลล์หมดประจุแล้ว กระแสที่ใช้ในการประจุขนาด 3C (3 เท่าของความจุ) จะถูกป้อนเป็นเวลา 20 นาที หรือจะใช้กระแสในการประจุเป็น 5C (5 เท่าของความจุ) ป้อนเข้าไปเป็นเวลา 12 นาที เป็นต้น แม้ว่าวิธีการนี้จะเป็วิธีการที่ดี เช่น สำหรับนักเล่นเครื่องบินจำลองที่มีเพียงแหล่งจ่ายไฟเป็นเพียงแบตเตอรี่รถยนต์ก็ตาม ก็เป็นสิ่งที่ควรระวังไว้ เนื่องจากการประจุมากเกินไปเพียง 2 – 3 วินาที อาจจะทำให้เกิดการรั่วของเซลล์ได้ กล่าวย่อๆ ก็คือ เมื่อจะใช้วิธีการนี้เซลล์จะต้องหมดประจุอย่างเต็มที่ และใช้กระแสในการประจุค่าที่แน่นอนเป็นระยะเวลาที่ถูกต้อง

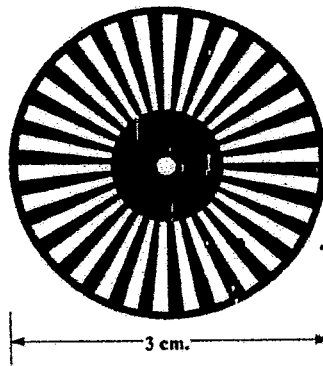
บทที่ 6

การออกแบบเครื่องตรวจสอบความเร็วลม

ในการสร้างเครื่องวัดความเร็วลมนั้น ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในข้างต้นของเนื้อหาส่วนทฤษฎีแล้วว่า สามารถสร้างได้หลายรูปแบบ แต่ในที่นี้จะใช้เครื่องวัดความเร็วลมแบบลูกถ้วย 3 แขน ที่แต่ละแกนของลูกถ้วยจะทำมุมกัน 120 องศา ซึ่งในการสร้างนั้นจะใช้วัสดุที่หาได้ง่ายมาดัดแปลง โดยสามารถนำไปใช้งานได้จริง

6.1 เครื่องวัดความเร็วมีขั้นตอนการสร้างดังนี้

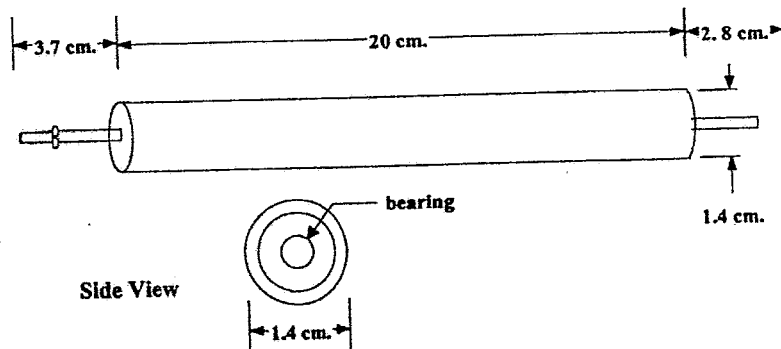
1. ออกแบบแผ่นเพลทตัดแสงเป็นรูปวงกลมโดยแบ่งส่วนสลัทั้งสิ้น 60 ส่วน ดังรูปที่ 6.1 ให้มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3 เซนติเมตร



รูปที่ 6.1 แผ่นเพลทตัดแสงรูปวงกลม

นำแผ่นพลาสติกใสที่มีความหนาประมาณ 1 มิลลิเมตร มาเจาะรูให้พอดีกับแกนที่จะใช้ทำเป็นแกนหมุน ทำแบบรูปวงกลมที่ได้ออกแบบไว้มาติดลงบนแผ่นพลาสติก แล้วจึงตัดแผ่นพลาสติกตามแบบ จากนั้นกรีดส่วนที่เป็นสีดำออกทั้งหมด โดยจะเหลือส่วนที่ต้องการเพียง 30 ส่วน ก็จะได้ส่วนขอบตัดแสงของวงจรทำงาน

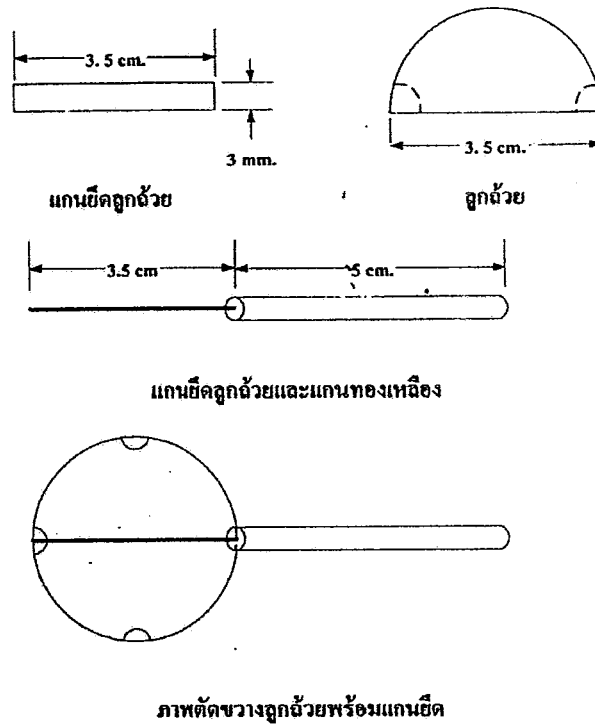
2. นำเบร็ญขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.4 เซนติเมตร 2 ชิ้น มาตอกยึดลงแกนหมุนของส่วนเครื่องวัดลมซึ่งใช้ท่อ PVC ความยาว 20 เซนติเมตร โดยให้เบร็ญใส่ลงบนปลายท่อ PVC ทั้งสองด้านพอดีขอบ ใส่แกนเหล็กขนาด 26.5 เซนติเมตร โดยปลายของแกนเหล็กด้านหนึ่งจะทำเกลียวไว้เพื่อใส่แผ่นตัดแสงดังรูป



รูปที่ 6.2 แกนหมุนแบบแนวตั้งฉากกับทิศทางลม

ในส่วนของวงจรถดลองนี้จะอยู่ภายในกล่อง โดยจะติดตั้งอยู่บนแผ่นสแตนเลสซึ่งสามารถเลื่อน ขยับได้ในการประกอบส่วนแกนหมุนเข้ากับฝาเครื่อง

3. ในส่วนของลูกถ้วยหมุนนั้นออกแบบโดยใช้ฝากรอบ PVC เส้นผ่าศูนย์กลาง 2.8 เซนติเมตร โดยทำการกำหนดจุดเจาะด้านบนฝากรอบ 3 จุด โดยแต่ละจุดจะห่างกันเป็นมุม 120 องศา เพื่อใส่ตัวหนอนสำหรับยึดแกนหมุน ส่วนด้านข้างก็เช่นเดียวกันทำการกำหนดจุดเพื่อเจาะรูสำหรับใส่แกนของลูกถ้วย และกำหนดจุดอีก 2 จุด เพื่อจะเป็นจุดใส่ตัวหนอนยึดส่วนฝากรอบเข้ากับแกนหมุน ซึ่งในส่วนนี้นั้นจะต้องให้มีความแน่นหนาและแข็งแรงอย่างมากเพื่อป้องกันความเสียหาย เนื่องจากเป็นส่วนที่หมุนเมื่อนำไปตรวจสอบลม
4. นำฝากรอบที่กำหนดจุดเจาะแล้ว นำมาเทเรซิน โดยเตรียมเรซินที่ผสมสารเร่งการแข็งตัว จากนั้นนำเอาเรซินที่ผสมแล้วเทลงในฝากรอบด้านใน โดยเว้นจากฝากรอบด้านใน 0.8 มิลลิเมตรและทิ้งไว้รอให้เย็นเป็นเวลาหนึ่งวัน เพื่อให้พร้อมใช้มากที่สุด
5. เมื่อได้ฝากรอบที่เทเรซินไว้ซึ่งแข็งตัวแล้ว นำไปเจาะรูตามจุดที่กำหนดไว้ และให้เจาะรูศูนย์กลางลึก 2 เซนติเมตร เพื่อใส่แกนหมุนเหล็กเข้ากับส่วนฝากรอบ
6. การทำลูกถ้วยสำหรับเครื่องวัดความเร็วลม จะนำเอาพลาสติกที่มีลักษณะเป็นครึ่งวงกลมมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3.5 เซนติเมตร ซึ่งแต่ละลูกต้องมีขนาดและน้ำหนักเท่ากัน ส่วนแกนของลูกถ้วยจะใช้แกนเหล็กความยาว 5 เซนติเมตร โดยส่วนปลายแกนเหล็กด้านหนึ่งจะมัดกรีเชื่อมกับแผ่นสแตนเลสขนาดกว้าง 3 มิลลิเมตร ยาว 3.5 เซนติเมตร ดังรูป

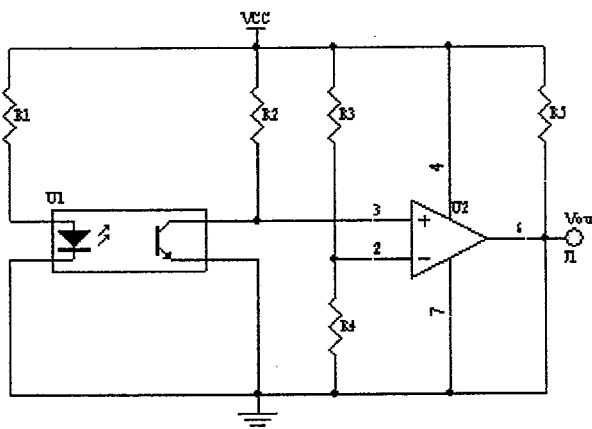


รูปที่ 6.3 ใบพัดลูกถ้วย

7. ประกอบแกนของลูกถ้วยเข้ากับฝาครอบ โดยใส่ตามจุดเจาะที่ได้กำหนดไว้แล้ว จากนั้น ประกอบส่วนของลูกถ้วยหมุนเข้ากับแกนหมุนที่ทำไว้เป็นอันเสร็จสมบูรณ์ สามารถประกอบ บนฝากล่องเข้ากับส่วนแผ่นพลาสติกตัดแสง ก่อนประกอบเข้ากับส่วนวงจรที่อยู่ภายในกล่อง เมื่อประกอบอุปกรณ์ในส่วนเครื่องวัดความเร็วลมเรียบร้อยแล้วก็จะ ได้ส่วนของเครื่องวัด

6.2 วงจรตรวจสอบความเร็วลม

วงจรวัดความเร็วนี้ใช้หลักการของการตรวจจับแสงจาก Infrared Emitting Diode ที่ผ่านเข้าตัว Photo Transistor เพื่อกำเนิดเป็นแรงดันแล้วทำการขยายสัญญาณ โดยใช้หลักการของ Comparator โดยใช้อปแอมป์



รูปที่ 6.4 วงจรการตรวจจับแสง

จากรูปวงจร เมื่อจ่ายแรงดันไฟบวก 5 โวลต์ ให้แก่ Infrared LED จะมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัว Infrared LED ทำให้ Infrared LED ปล่อยแสงออกมา ส่วนทางด้านรับคือ Photo Transistor เมื่อรับแสงมาได้แล้วจะทำการส่งเข้าขา Non-inverting ซึ่งมีแรงดันต่ำกว่าขา inverting ของออปแอมป์ ทำให้แรงดันเอาต์พุตของออปแอมป์ที่ได้มีค่าเป็น 0 โวลต์ หรือสัญญาณที่มีค่าลอจิกเป็น “0”

แต่ถ้าหากว่าตัว Photo Transistor ไม่ได้รับแสงจากตัว Infrared LED จะทำให้แรงดันขา Non-inverting ของออปแอมป์มากกว่าขา inverting เนื่องจาก Photo Transistor ไม่มีกระแสไหลผ่าน ทำให้แรงดันเอาต์พุตของออปแอมป์ที่ได้มีค่าประมาณไฟเลี้ยง คือ 5 โวลต์ หรือสัญญาณที่มีค่าลอจิกเป็น “1” โดยจากวงจรจะให้ค่า R_1, R_2, R_3, R_4 มีค่าเท่ากันคือค่าเท่ากับ 10K โอห์ม

จากเอาต์พุตที่ได้ทางขา 6 ของ LM311 จะออกมาเป็นลักษณะของพัลส์ซึ่งมีความถี่ขึ้นอยู่กับความเร็วลมมาต่อเข้ากับขา 23 ของ dsPIC30F4011 ซึ่งเป็นขา IC_1 (input capture) หรือ โมดูลตรวจจับสัญญาณ ซึ่งเป็นโมดูลฟังก์ชันพิเศษใน dsPIC30F4011 ข้อมูลที่ตรวจจับได้จะมีขนาด 16 บิต การทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ในส่วนนี้ใช้หลักการนับจำนวนครั้งในการอินเตอร์รัปต์เนื่องจากตรวจพบสัญญาณขอบขาลงที่ขาอินพุต IC_1 ในขณะเดียวกันที่ไทมเมอร์ 1 จะเปิดการนับเวลาแบบอินเตอร์รัปต์ทุกๆ 1 วินาที ดังนั้นเมื่อครบทุก 1 วินาที จำนวนครั้งที่อินเตอร์รัปต์เนื่องจากตรวจพบสัญญาณขอบขาลงที่ขา IC_1 ก็จะกลายเป็นค่าความถี่ของสัญญาณนั่นเอง โดยความแม่นยำของโปรแกรมอาจต้องอาศัยการปรับแต่งเทียบกับแหล่งกำเนิดความถี่ที่มีความเที่ยงตรงสูงด้วย

จากนั้นนำค่าความถี่ที่สามารถตรวจจับได้มาเข้าสมการหาความสัมพันธ์จากความถี่เป็นความเร็ว จากหน่วยของความถี่คือ ครั้งต่อวินาที ซึ่งจากความกว้างในแต่ละครั้งของแผ่นเพลท ขนาด

ความยาวครึ่ง r ดังนั้นเส้นรอบวงของเพลาตัดแสงมีค่าเท่ากับ $2\pi r$ ซึ่งในแต่ละรอบจะมีจำนวนทั้งหมด x ครั้ง ดังนั้น 1 ครั้งจะใช้ระยะทางเท่ากับ $2\pi r/x$ ซึ่งทำให้ได้ความเร็วมาจาก

$$\text{Frequency} = 1 \quad \text{ครั้งต่อวินาที} \quad \text{จะได้}$$

$$\text{ความเร็ว} = 2\pi r/x \quad \text{ต่อวินาที}$$

เพราะ ความเร็วลมจากเรื่องวัดจะมีค่าเท่ากับ

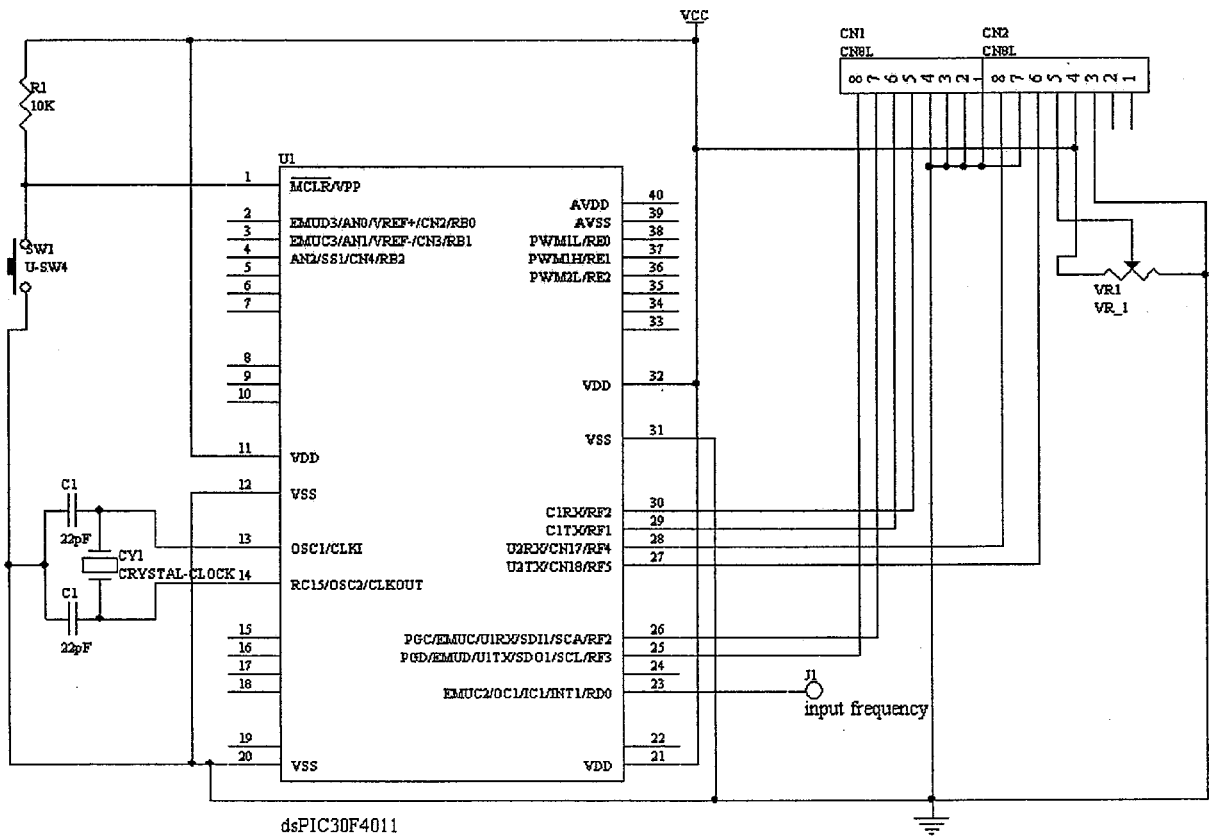
$$V = 2\pi r f/x \quad \text{m/s}$$

โดย $v =$ ความเร็วลมมีหน่วยเป็นเมตรต่อวินาที

$f =$ ความถี่ที่ตรวจจับได้จากโมดูลตรวจจับสัญญาณใน dsPIC

$x =$ จำนวนแถบค้ำของเพลาที่ใช้เป็นตัววัดแสง

โดยวงจรที่ใช้จับความถี่จะต่อดังรูปที่ 6.5 และจะแสดง code ไว้ที่ภาคผนวก



รูปที่ 6.5 วงจรจับความถี่

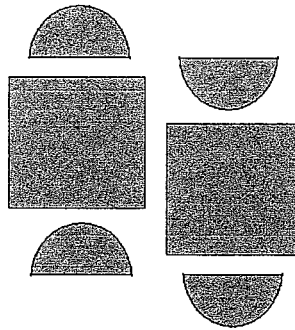
บทที่ 7

ออกแบบกังหันลมขนาดเล็กเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า

กังหันลมที่ได้ออกแบบมาเป็นกังหันลมแบบแกนตั้ง โดยกังหันลมแบบนี้จะมีแกนหมุนตั้งฉากกับทิศทางของกระแสลมซึ่งมีข้อดีในการรับทิศทางลมซึ่งสามารถรับทิศทางลมได้ทุกทิศทางซึ่งในสถานะลมที่มีอยู่จริงจะพัดมาทุกทิศทางซึ่งทำให้กังหันลมชนิดนี้มีข้อได้เปรียบในการรับลมได้มากกว่ากังหันลมแบบแกนแนวนอนที่ได้จัดทำเมื่อเทอมที่ผ่านมา โดยมีการออกแบบดังนี้

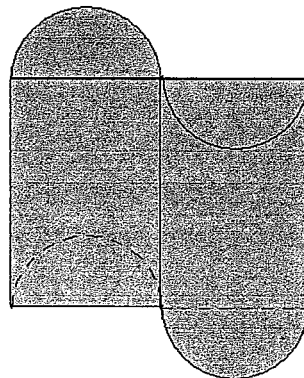
7.1 ขั้นตอนการสร้างกังหันลมแนวแกนตั้ง

1. นำมอเตอร์ขนาดที่พอเหมาะกับการที่จะนำมาเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มีคุณสมบัติที่หมุนแล้วสิ้นไม่ฝืดมากเพราะจะช่วยทำให้หมุนได้ง่ายโดยไม่ต้องใช้พลังงานลมที่มาก
2. นำแผ่นอลูมิเนียมซึ่งมีน้ำหนักเบาทำเป็นใบพัดซึ่งตัดออกเป็นชิ้นส่วนดังรูปที่ 7.1



รูปที่ 7.1 ชิ้นส่วนของใบพัดกังหันลมแนวตั้ง

จากรูปจะตัดวงกลมซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางยาว 17 cm. จำนวน 2 วง และตัดรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า กว้าง 30 cm. ยาว 35 cm. จำนวน 2 ชิ้นแล้วนำมาประกอบดังรูปที่ 7.2

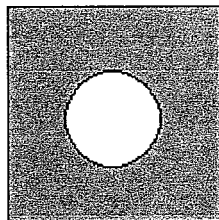


รูปที่ 7.2 ใบพัดกังหันลมแนวตั้ง

3. นำเหล็กแท่งขนาด 6 นิ้วยาว 39 cm. มาเป็นแกนเพื่อใช้ในการหมุนของใบพัดโดยติดลูกป็นไว้ที่ปลายทั้ง 2 ด้านของแท่งเหล็กโดยด้านบนให้ติดไว้ที่ปลายสุดส่วนด้านล่างให้ติดสูงขึ้นมาประมาณ 5-7 cm. เพื่อเหลือแกนไว้ติดกับตัวเฟืองเพื่อไว้จับมอเตอร์

4. จากการที่ได้ออกแบบใบพัดแบบดังกล่าวจะเกิดปัญหาขึ้น โดยเมื่อติดกับแกนหมุนแล้วจะทำให้ใบพัดทั้งสองเอียงลงคือฐานครึ่งวงกลมที่ทำมาไม่อยู่ในแนวแกนระนาบจึงแก้ปัญหาโดยตัดแผ่นอะคลิกมาเป็นฐานรองเพื่อรองรับน้ำหนักไม่ให้ฐานเอียงซึ่งจะทำให้การหมุนไม่สะดวก

5. นำแผ่นอะคลิกตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 6*6 cm. และเจาะรูตรงกลางแผ่นเพื่อยึดกับลูกป็นเพื่อทำเป็นส่วนยึดแกนทั้งบนและล่างดังรูปที่ 7.3



รูปที่ 7.3 ชิ้นส่วนที่ใช้ยึดลูกป็นเพื่อให้แกนหมุนได้

6. ส่วนของ โครงเพื่อใช้เป็นที่วางกังหันลมจะทำมาจากเหล็กฉากซึ่งได้ทำเป็นรูปลูกบาศก์จัตุรัสขนาด 10*10*10 ซอง

7. นำแกนที่ติดกับใบพัดแล้วเหลือส่วนแกนด้านล่างประมาณ 5-7 cm. นั้นมาติดกับเฟืองขนาดใหญ่เพื่อใช้เป็นเฟืองจับมอเตอร์ซึ่งจะต้องมีการทอรอบเนื่องจากกังหันลมแบบแนวแกนตั้งนั้นจะหมุนได้ความเร็วรอบน้อยแต่กำลังในการขับจะดีกว่าแบบแกนแนวนอนซึ่งในการขับมอเตอร์นั้นเพื่อจะได้กำลังงานที่มากต้องขับให้ความเร็วรอบของมอเตอร์มากขึ้นด้วย

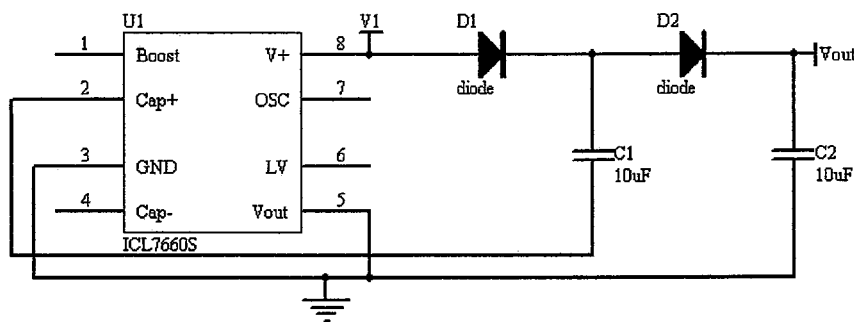
8. นำส่วนของมอเตอร์มาติดไว้กับเฟืองเพื่อเป็นส่วนของแหล่งผลิตกระแสไฟฟ้า

7.2 วิธีการออกแบบวงจรเพื่อใช้เก็บประจุกระแสไฟฟาลงในแบตเตอรี่

ถ้ามีพลังงานลมมาหมุนกังหันลมจะทำให้สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้ อุปกรณ์ที่จะนำมาใช้ในการเปลี่ยนพลังงานลมมาเป็นพลังงานไฟฟ้าคือมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงและ ใบพัดขนาดเล็กซึ่งเมื่อนำมาต่อกันดังวิธีการที่ได้กล่าวไว้แล้วนั้น ก็ทำให้เกิดกังหันลมขนาดเล็กซึ่งสามารถผลิตกระแสไฟได้แต่อาจจะไม่มาก แต่จะนำพลังงานไฟฟ้าที่ได้ก็นำมาค่อยๆประจุลงในแบตเตอรี่ โดยจะมีวงจรการประจุจะมีรายละเอียดดังนี้

- 1 วงจรเพิ่มค่าแรงดัน โดยใช้ ICL7660S
- 2 วงจรเก็บประจุ
- 3 วงจร Relay เพื่อรับคำสั่งจาก Microcontroller ควบคุมการทำงานของวงจรเก็บประจุ

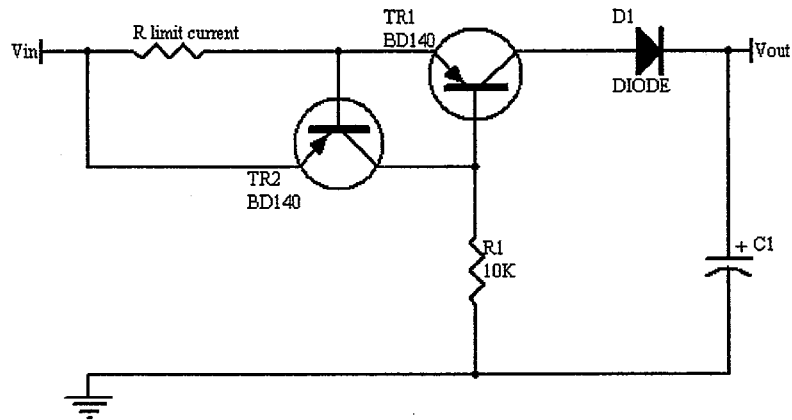
7.2.1 วงจรเพิ่มค่าแรงดัน โดยใช้ ICL7660S มีหน้าที่เพิ่มค่าแรงดันที่ได้จากมอเตอร์โดยตรงซึ่งจากการที่ได้ทดลองมอเตอร์จะผลิตแรงดันประมาณ 3-6 โวลต์ ซึ่งในการประจุเข้าแบตเตอรี่ 6 โวลต์นั้นแรงดันต่ำสุดที่ใช้ในการประจุต้องมีค่ามากกว่าโวลต์ของแบตเตอรี่ซึ่งวงจรนี้จะทำการเพิ่มค่าแรงดันขึ้นประมาณ 2 เท่าของแรงดันที่ได้จากมอเตอร์ ซึ่งวงจрдังรูปที่ 7.4



รูปที่ 7.4 วงจรประจุไฟฟ้าของมอเตอร์แต่ละตัว

ซึ่งการทำงานของวงจรคือเมื่อมีแรงดันที่ V_1 ซึ่งค่าที่ทำให้ V_1 ทำงานมีค่าอยู่ระหว่าง 1.5-12 V ดังนั้นเมื่อวงจรสามารถทำงานได้ ตัวเก็บประจุ C_1 จะถูกชาร์จ โดยจะมีค่าแรงดันตกคร่อมเท่ากับ $V_1 - V_F$ (V_F คือค่าแรงดัน Forward ของไดโอด) หลังจากนั้น C_2 จะถูก ชาร์จเช่นกัน โดยค่าแรงดันของ $(V_1 - V_F) + V_1 - V_F$ หรือมีค่าประมาณ 2 เท่าของ V_1 นั้นเอง

7.2.2 วงจรเก็บประจุ จะใช้หลักการของวงจรแหล่งจ่ายกระแสไฟตรงคงที่ซึ่งวงจรนี้เป็นวงจรที่จ่ายกระแสไฟคงที่ซึ่งใช้ในการประจุแบตเตอรี่ที่จ่ายกระแสไฟให้คงที่เพื่อในการประจุไฟเข้าแบตเตอรี่ด้วยกระแสคงที่โดยไม่ให้แบตเตอรี่ดึงกระแสจากแหล่งจ่ายมากเพราะจะทำให้มอเตอร์ซึ่งเป็นแหล่งจ่ายเกิดเสียหายได้ ซึ่งวงจรดังรูปที่ 7.5



รูปที่ 7.5 วงจรเก็บประจุ

ซึ่งการทำงานของวงจรคือเมื่อมีแรงดัน V_{in} เข้าสู่วงจรจะทำให้มีกระแสไหลสู่ตัวต้านทานที่ใช้จำกัดกระแสซึ่งในกรณีปกติถ้าไม่มีโหลดจะทำให้ไม่มีการดึงกระแสซึ่งทำให้แรงดันที่ตกคร่อม ตัวต้านทานจำกัดกระแสไม่ถึง V_F ซึ่งทำให้ TR_2 ไม่ทำงานจะทำให้แรงดัน V_{out} มีค่าประมาณ V_{in} ส่วนในกรณีที่มีการดึงกระแสซึ่งอาจจะทำให้แรงดันที่ตกคร่อมตัวต้านทานจำกัดกระแสมีค่าเท่ากับ V_F ซึ่งจะทำให้วงจรมีการจำกัดกระแสโดยสามารถกำหนดค่ากระแสที่จ่ายได้สูงสุดจากค่าของ ตัวต้านทานจำกัดกระแสโดยมีการคำนวณดังนี้

$$R_{\text{limit current}} = V_F / I_{\text{out max from motor}}$$

โดย $R_{\text{limit current}}$ คือ ตัวต้านทานที่ใช้จำกัดกระแส

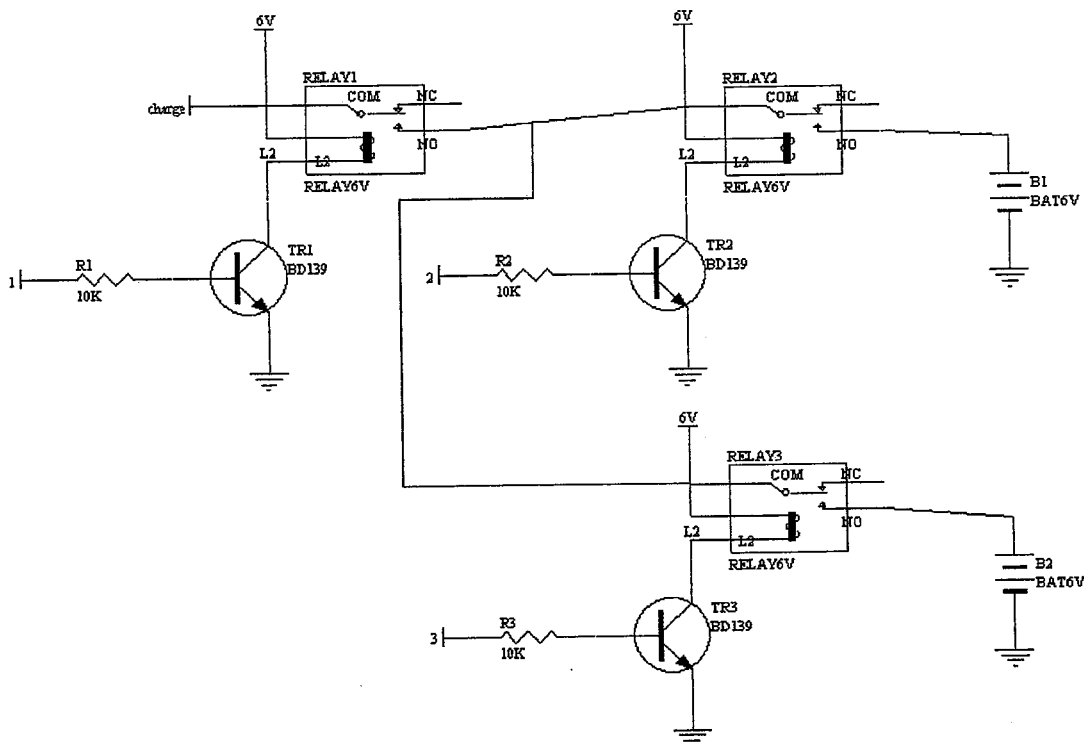
V_F คือ ค่าแรงดัน Forward ของไดโอด

$I_{\text{out max from motor}}$ คือ ค่ากระแสสูงสุดที่มอเตอร์จ่ายออกมาโดยกำหนดไม่ให้

มากเกินไปที่มอเตอร์จ่ายออกมาเพราะจะทำให้มอเตอร์เกิดความเสียหายโดยจะหาได้จากผลการทดลอง

และจากวงจรจะมีไดโอด D_1 เพื่อทำหน้าที่ป้องกันกระแสไหลย้อนกลับที่มาจากตัวเก็บประจุ C_1 ในกรณีที่ V_{out} น้อยกว่า V_{in} ซึ่งจะทำให้ตัวเก็บประจุ C_1 คายประจุไหลย้อนกลับไปที่ TR_1 ซึ่งไหลย้อนกลับไปที่ขา C ของ TR_1 ไปยัง ขา B ของ TR_1 ซึ่งเป็นรอยต่อ BE ซึ่งรอยต่อนี้จะเปรียบเสมือน ไดโอดซึ่งจะทำให้เสียกระแสผ่าน R_1 ลงกราวน์ไปโดยเสียประโยชน์ถ้าไม่มีไดโอด D_1 กันไว้

7.2.3 วงจร Relay เพื่อรับคำสั่งจาก Microcontroller ควบคุมการทำงานของวงจรเก็บประจุ
หน้าที่หลักของวงจรนี้คือทำหน้าที่เป็นสวิตช์ของวงจรเก็บประจุเพื่อใช้ควบคุมการเก็บประจุและเลือก
แบตเตอรี่ในการชาร์จ โดยวงจรดังรูปที่ 7.6



รูปที่ 7.6 วงจร Relay เพื่อรับคำสั่งจาก Microcontroller ควบคุมการทำงานของวงจรเก็บประจุ

ซึ่งการทำงานของวงจรคือ รับคำสั่งจาก Microcontroller เพื่อสั่งให้ทรานซิสเตอร์ทำงานหรือไม่ทำงานเพื่อควบคุมการชาร์จของวงจรโดยทรานซิสเตอร์ตัวที่ 1 จะทำงานเมื่อตำแหน่งที่ 1 มีค่าเป็น High ซึ่งจะควบคุมการทำงานเมื่อวงจรชาร์จพร้อมที่จะทำการชาร์จได้ ทรานซิสเตอร์ตัวที่ 2 จะทำงานเมื่อตำแหน่งที่ 2 มีค่าเป็น High ซึ่งจะควบคุมการทำงานว่าจะให้ชาร์จแบตเตอรี่ตัวที่ 1 โดยที่แบตเตอรี่ตัวที่ 1 พร้อมทั้งจะได้รับการชาร์จ ส่วนทรานซิสเตอร์ตัวที่ 3 จะทำงานเมื่อตำแหน่งที่ 3 มีค่าเป็น High ซึ่งจะควบคุมการทำงานว่าจะให้ชาร์จแบตเตอรี่ตัวที่ 2 โดยที่แบตเตอรี่ตัวที่ 2 พร้อมทั้งจะได้รับการชาร์จ

โดยสามารถแบ่งได้หลายกรณีดังนี้

กรณีที่ 1 แบตเตอรี่ตัวที่ 1 มีค่าน้อยกว่า 6.3 V และแบตเตอรี่ตัวที่ 2 มีค่ามากกว่า 6.3 V

Microcontroller จะสั่งให้ตำแหน่งที่ 2 มีค่าเป็น High ซึ่งหมายความว่าแบตเตอรี่ตัวที่ 1 พร้อมที่จะได้รับการชาร์จแล้ว ดังนั้น ดูที่วงจรถาร์จพร้อมที่จะชาร์จหรือไม่ โดย Microcontroller จะรับค่าแรงดันจากมอเตอร์โดยตรงว่ามีค่ามากกว่า 3.5 V หรือไม่ ถ้ามีค่ามากกว่า 3.5 V ให้ส่งตำแหน่งที่ 1 ออกเป็น High แต่ถ้าไม่ถึง 3.5 V ให้ตำแหน่งที่ 1 ออก Low ซึ่งเป็นการควบคุมวงจรถาร์จ

กรณีที่ 2 แบตเตอรี่ตัวที่ 1 มีค่ามากกว่า 6.3 V และแบตเตอรี่ตัวที่ 2 มีค่าน้อยกว่า 6.3 V

Microcontroller จะสั่งให้ตำแหน่งที่ 3 มีค่าเป็น High ซึ่งหมายความว่าแบตเตอรี่ตัวที่ 1 พร้อมที่จะได้รับการชาร์จแล้ว ดังนั้น ดูที่วงจรถาร์จพร้อมที่จะชาร์จหรือไม่ โดย Microcontroller จะรับค่าแรงดันจากมอเตอร์โดยตรงว่ามีค่ามากกว่า 3.5 V หรือไม่ ถ้ามีค่ามากกว่า 3.5 V ให้ส่งตำแหน่งที่ 1 ออกเป็น High แต่ถ้าไม่ถึง 3.5 V ให้ตำแหน่งที่ 1 ออก Low ซึ่งเป็นการควบคุมวงจรถาร์จ

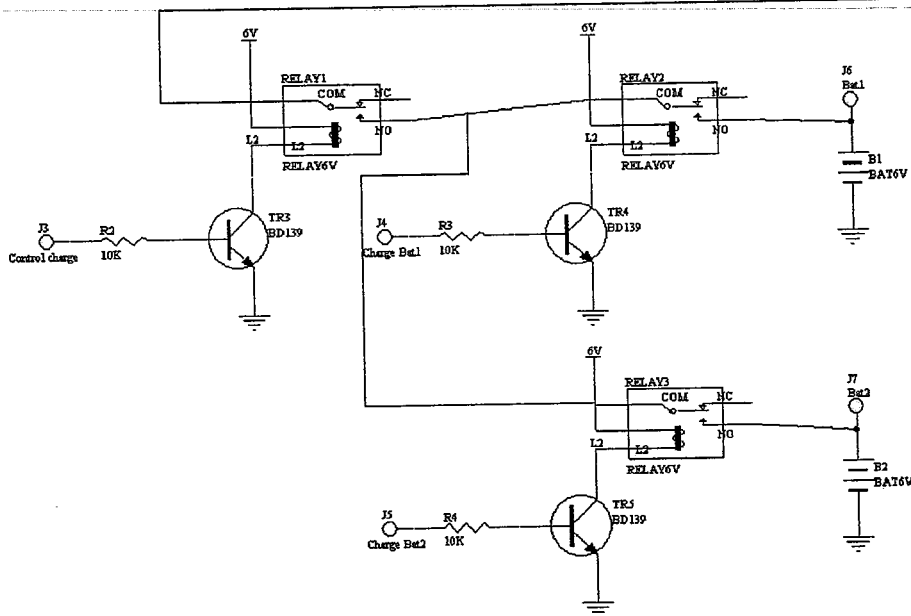
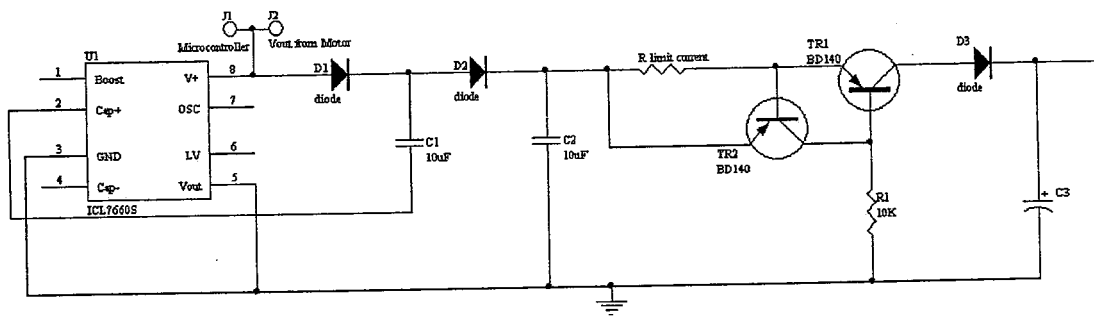
กรณีที่ 3 แบตเตอรี่ตัวที่ 1 มีค่าน้อยกว่า 6.3 V และแบตเตอรี่ตัวที่ 2 มีค่าน้อยกว่า 6.3 V

Microcontroller จะสั่งให้ตำแหน่งที่ 2 มีค่าเป็น High และ จะสั่งให้ตำแหน่งที่ 3 มีค่าเป็น Low หมายความว่าแบตเตอรี่ตัวที่ 1 พร้อมที่จะได้รับการชาร์จแล้ว เหมือนดังกรณีที่ 1

กรณีที่ 4 แบตเตอรี่ตัวที่ 1 มีค่ามากกว่า 6.3 V และแบตเตอรี่ตัวที่ 2 มีค่ามากกว่า 6.3 V

กรณีนี้จะไม่มีการชาร์จเกิดขึ้นเพราะ Microcontroller จะสั่งให้ตำแหน่งที่ 2 และ 3 เป็น Low เพราะแบตเตอรี่ทั้ง 2 เต็มแล้ว

ดังนั้นเมื่อนำวงจรทั้ง 3 วงจรมารวมกันจะเป็นวงจรที่สามารถเพิ่มค่าแรงดันเป็นสองเท่าที่สำหรับเก็บประจุและสามารถควบคุมการเก็บประจุได้เมื่อแบตเตอรี่เต็มก็สามารถย้ายการชาร์จไปชาร์จอีกตัวและจะมีวงจรถาร์จรูปที่ 7.7



รูปที่ 7.7 วงจรชาร์จแบตเตอรี่ 6V

บทที่ 8

ผลการทดลองและการคำนวณ

8.1 ความเร็วเริ่มต้น

8.1.1 ทำให้กังหันลมหมุนได้

8.1.2 ทำให้เครื่องวัดความเร็วลมหมุนได้

ครั้งที่	ความเร็วเริ่มต้นที่ทำให้กังหันลมหมุนได้(m/s)	ความเร็วเริ่มต้นที่ทำให้เครื่องวัดความเร็วลมหมุนได้(m/s)
1	2.676	2.1
2	2.577	2.3
3	2.875	2.1
4	2.726	1.8
5	2.626	1.8
6	2.478	2.5
7	2.130	2.1
8	2.775	1.7
9	2.825	
10	2.676	
	ค่าเฉลี่ย = 2.637	ค่าเฉลี่ย = 2.1

ตารางที่ 8.1 แสดงค่าความเร็วเริ่มต้นที่ทำให้กังหันลมหมุนได้และเครื่องวัดความเร็วลมหมุนได้

8.2 การปรับเทียบกับค่ามาตรฐานที่วัดจาก Anemometer

ปรับความเร็วลม (m/s)	ความเร็วลมที่วัด ได้จาก เครื่องวัด:X(m/s)	ความเร็วลมที่วัดได้ จาก Anemometer:Y(m/s)	XY	X ²
2.4	0.21	2.4	0.504	0.0441
2.6	0.25	2.6	0.650	0.0625
2.8	0.29	2.8	0.812	0.0891
3.0	0.34	3.0	1.020	0.1156
3.2	0.39	3.2	1.248	0.1521
3.4	0.40	3.4	1.360	0.1600
3.6	0.47	3.6	1.692	0.2209
3.8	0.51	3.8	1.938	0.2601
4.0	0.54	4.0	2.160	0.2916
4.2	0.57	4.2	2.394	0.3249
4.4	0.61	4.4	2.684	0.3721
4.6	0.65	4.6	2.990	0.4225
	$\bar{x} = 0.43583$	$\bar{y} = 3.5$	$\sum XY = 19.452$	$\sum X^2 = 2.5155$

ตารางที่ 8.2 แสดงการปรับเทียบกับค่ามาตรฐานที่วัดจาก Anemometer

ค่าที่วัดได้จะสามารถนำมาคำนวณเพื่อปรับเทียบเป็นค่าที่ได้มาตรฐานโดยใช้สมการเชิงเส้นถดถอยเพื่อการทำนายค่าต่างๆที่จะเกิดจากการวัดความเร็วลมที่ความเร็วค่าต่างๆโดยสมการถดถอยเชิงเส้นจะมีสมการดังนี้

$$y = a + bX$$

$$b = \frac{\sum xy - n\bar{x}\bar{y}}{\sum x^2 - n\bar{x}^2}$$

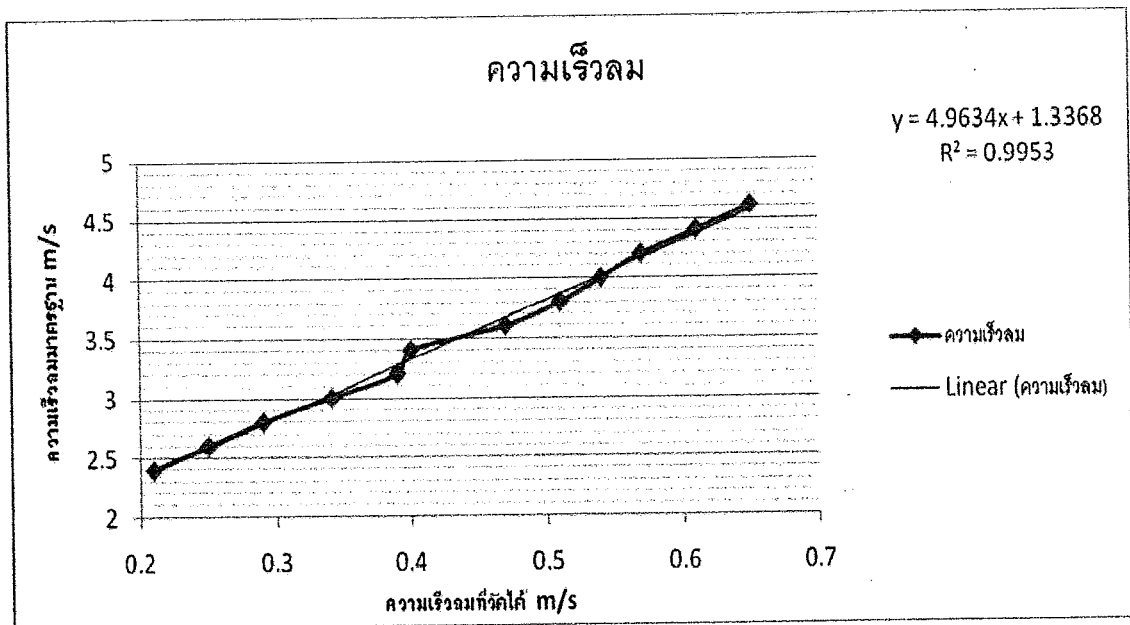
$$a = \bar{y} - b\bar{x}$$

$$\bar{x} = 0.43583, \bar{x}^2 = 0.18995, \bar{y} = 3.5, \bar{x}\bar{y} = 1.5254$$

ซึ่งสามารถคำนวณแล้วได้สมการเชิงเส้นถดถอยได้ดังนี้

$$Y = 4.9634X + 1.3365 \text{ m/s}$$

และสามารถแสดงกราฟของสมการดังกล่าวได้ดังนี้



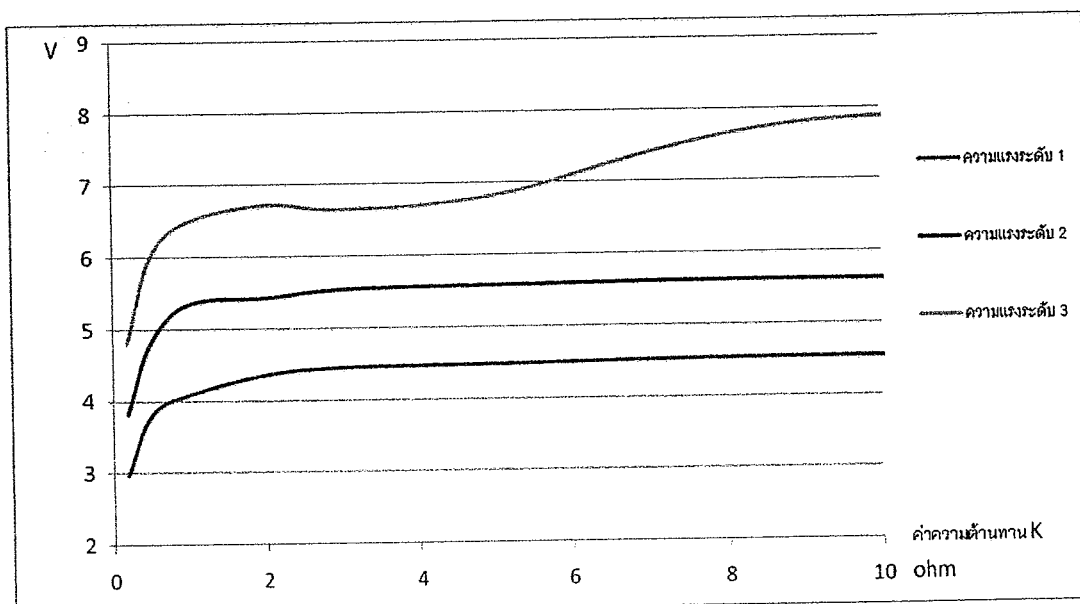
กราฟที่ 8.1 แสดงกราฟระหว่างความเร็วลมมาตรฐานและความเร็วลมที่วัดได้ซึ่งปรับเทียบโดยสมการเชิงเส้นถดถอย

8.3 ทดลองวัดค่าแรงดันที่ได้จากมอเตอร์เมื่อกั้นลมนผลิตกระแสไฟฟ้า

ความต้านทาน (K ohm)	no load	500	200	100	47	30	20
ความแรงระดับ 1(4.017m/s)	4.60	4.63	4.55	4.62	4.58	4.54	4.44
ความแรงระดับ 2(4.513m/s)	5.70	5.66	5.67	5.64	5.58	5.55	5.50
ความแรงระดับ 3(4.861m/s)	7.10	7.08	7.12	7.20	7.96	7.02	7.15

ความต้านทาน (K ohm)	10	5	3	2	1	0.5	0.18
ความแรงระดับ 1(4.017m/s)	4.53	4.47	4.44	4.35	4.08	3.80	2.96
ความแรงระดับ 2(4.513m/s)	5.62	5.58	5.54	5.43	5.35	4.83	3.82
ความแรงระดับ 3(4.861m/s)	6.87	6.83	6.65	6.72	6.50	6.02	4.80

ตารางที่ 8.3 แสดงค่าแรงดันจากมอเตอร์ที่โหลดค่าต่างๆซึ่งเปลี่ยนระดับความแรงของลม ซึ่งจากรายสามารถแสดงกราฟได้เพื่อหาค่ากำลังงานที่มอเตอร์สามารถผลิตออกมาได้ที่ความเร็วลมต่างกัน โดยกราฟแสดงดังนี้



กราฟที่ 8.2 แสดงกราฟระหว่างแรงดันกับค่าความต้านทานที่ความเร็วลมต่างๆ

โดยจากกราฟจะเห็นได้ว่าเมื่อค่าโหลดมีค่าต่ำลงจะทำให้แรงดันที่มอเตอร์จ่ายออกมามีค่าลดลง ซึ่งแสดงได้ว่ามอเตอร์จ่ายกระแสออกมาไม่พอทำให้ค่าแรงดันลดต่ำลงซึ่งค่าที่ทำให้มอเตอร์เริ่มจ่ายแรงดันลดลงมีค่าดังนี้

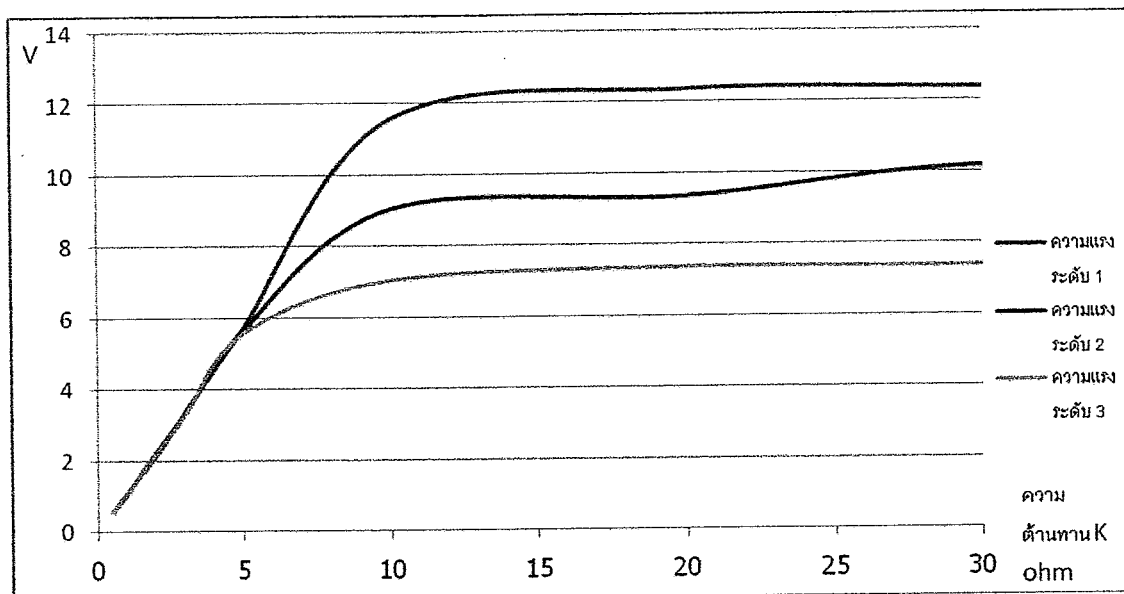
ความแรงระดับ 1(4.017m/s) ค่าโหลดที่แรงดันเริ่มตกคือ 2K ohm โดยมีแรงดัน = 4.35 V
 ความแรงระดับ 2(4.513m/s) ค่าโหลดที่แรงดันเริ่มตกคือ 1K ohm โดยมีแรงดัน = 5.35 V
 ความแรงระดับ 3(4.861m/s) ค่าโหลดที่แรงดันเริ่มตกคือ 1K ohm โดยมีแรงดัน = 6.50 V

8.4 ทดลองวัดค่าแรงดันที่ได้จากวงจรชาร์จเมื่อกั้นหมผลิตกระแสไฟฟ้า

ความต้านทาน (K ohm)	noload	500	200	120	50	47	30
ความแรงระดับ 3(4.861m/s)	12.80	12.39	12.12	12.26	12.33	12.23	12.40
ความแรงระดับ 2(4.513m/s)	9.66	10.06	9.97	9.90	10.17	10.30	10.19
ความแรงระดับ 1(4.017m/s)	8.03	7.50	7.51	8.00	8.04	7.61	7.39

ความต้านทาน (K ohm)	20	10	5	3	2	1	0.50
ความแรงระดับ 3(4.681m/s)	12.38	11.60	5.75	3.41	2.21	1.14	0.58
ความแรงระดับ 2(4.513m/s)	9.38	9.07	5.68	3.39	2.29	1.13	0.58
ความแรงระดับ 1(4.017m/s)	7.38	7.05	5.58	3.33	2.26	1.12	0.58

ตารางที่ 8.4 แสดงค่าแรงดันจากวงจรชาร์จที่ โหลดค่าต่างๆซึ่งเปลี่ยนระดับความแรงของลม ซึ่งจากตารางสามารถแสดงกราฟได้เพื่อหาค่าการจำกัดกระแสของวงจรที่ได้จำกัดกระแสไว้ประมาณที่ 1.2 mA โดยกราฟแสดงดังนี้



กราฟที่ 8.3 แสดงกราฟระหว่างแรงดันกับค่าความต้านทานที่ความเร็วลมต่างๆ

โดยจากกราฟจะเห็นได้ว่าเมื่อค่าโหลดมีค่าต่ำลงจะทำให้แรงดันที่วงจรรชาร์จจ่ายออกมามีค่าลดลงซึ่งแสดงได้ว่าวงจรรชาร์จมีการจำกัดกระแสโดยจะตรวจสอบว่าวงจรรชาร์จได้จำกัดกระแสไว้ที่ค่า 1.2 mA ตามที่กำหนดไว้โดยมีค่าดังนี้

โดยจากกราฟจะเห็นได้ว่าที่ค่าแรงดันประมาณ 0-6 V ที่โหลดความต้านทานช่วง 0-5 K ohm โดยจะสามารถหาค่ากระแสที่ไหลได้โดยหาจากความชันของกราฟดังนี้

$$\text{Slope} = (6-0)/(5-0) = 1.2 \text{ mA}$$

ซึ่งค่ากระแสที่ได้นั้นจะตรงตามกับที่ได้กำหนดเอาไว้แล้ว

8.5 คำนวณค่ากำลังงานที่ได้จากกังหันลมและกำลังงานที่ได้จากมอเตอร์ผลิตไฟฟ้าที่ความเร็วลมต่างๆ

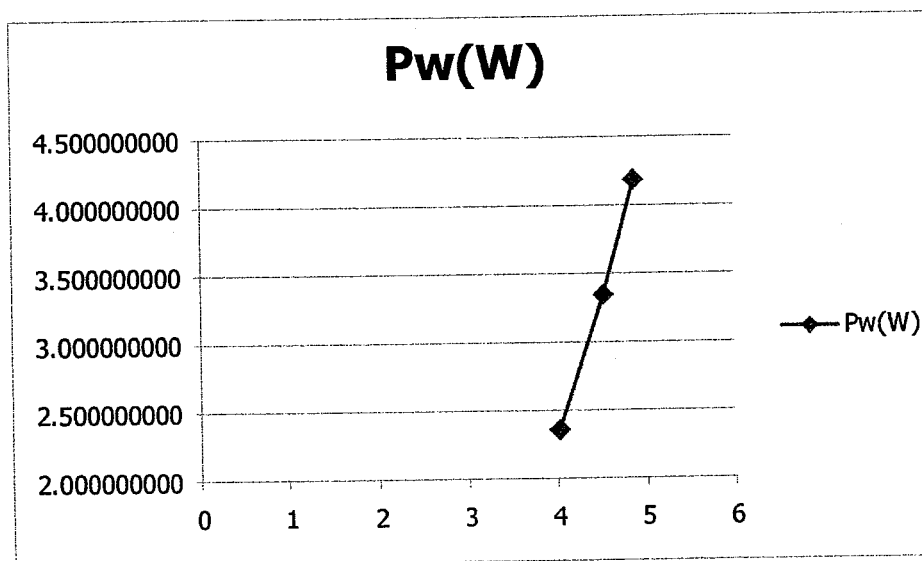
โดยค่ากำลังงานที่ P_w (W) จะหาได้จากสมการกำลังลมดังนี้

$$P_w = 0.5\rho A v^3$$

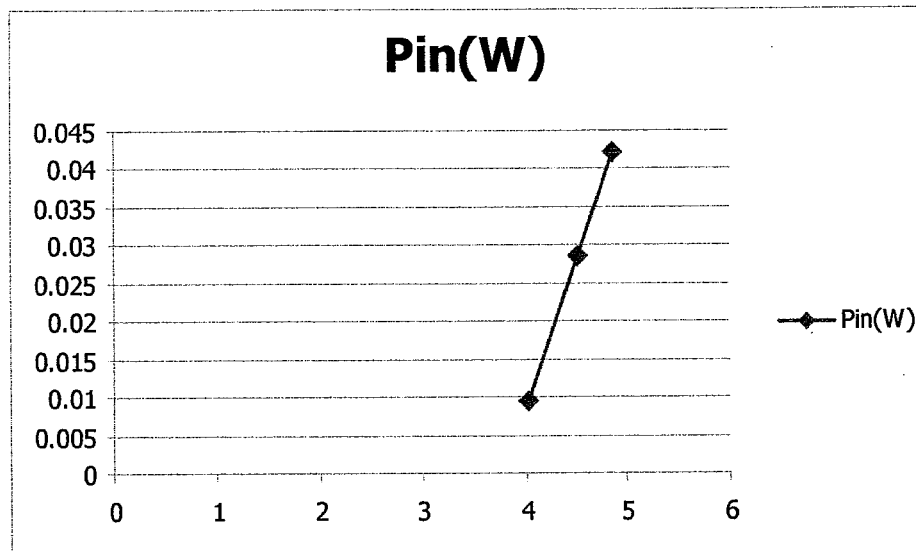
ความเร็วลม(m/s)	Pwจากลม(W)	Pinเข้าเบต๑(W)
4.016736	2.361798900	0.009461
4.513076	3.349976634	0.02862
4.860514	4.184751310	0.04225

ตารางที่ 8.5 แสดงค่ากำลังงานที่ได้และที่ผลิตออกมาจากกังหันลม

โดยจากตารางจะสามารถแสดงกราฟได้ดังนี้



กราฟที่ 8.4 แสดงกราฟระหว่างกำลังงานที่ได้รับ(แกน y) กับ ค่าความเร็วลม(แกน x)



กราฟที่ 8.5 แสดงกราฟระหว่างกำลังงานที่ผลิตได้(แกน y) กับ ค่าความเร็ว(แกน x)

บทที่ 9

สรุปผลการทดลอง

9.1 เครื่องวัดความเร็วลม

จากผลการทดลองเครื่องวัดความเร็วลมสามารถที่จะวัดความเร็วลมได้จริง ซึ่งค่าความเร็วต่ำสุดที่เครื่องวัดความเร็วลมวัดได้อยู่ที่ค่าประมาณ 2.1 m/s แต่อาจจะมีค่าความคลาดเคลื่อนเนื่องจากเครื่องวัดความเร็วลมที่วัดได้นั้นต้องแปลงค่าเข้าสู่ค่าที่ได้มาตรฐาน โดยใช้สมการเชิงเส้นถดถอยซึ่งเป็นสมการที่ใช้ทำนายค่าที่จะเกิดขึ้นจริงซึ่งอาจจะเกิดความคลาดเคลื่อนขึ้นได้ เช่นจากผลการทดลองนั้นค่าที่ได้จากเครื่องวัดที่ความเร็ว 4.6 m/s แต่เครื่องวัดความเร็วที่ทำขึ้นจะได้ค่าความเร็ว 4.56271 โดยจะมีค่าความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 0.81% ซึ่งเป็นความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากสมการเชิงเส้นถดถอย

ปัญหาที่เกิดขึ้นกับเครื่องวัดความเร็วลมคือ ที่ตัวแกนหมุนประกอบจากท่อพีวีซีและแกนเหล็ก ซึ่งมีเบรคเป็นตัวประคองไว้ให้แกนเหล็กขนานกับท่อพีวีซีโดยที่เบรคสวมติดเข้ากับแกนเหล็กกลมทำเบรคไม่หมุนแต่ทำให้แกนเหล็กหมุนแทนจึงทำให้เกิดแรงเสียดทานขึ้นเป็นผลให้เวลาวัดความเร็วลมอาจเกิดการหน่วงซึ่งเกิดจากแรงเสียดทานทำให้แกนเริ่มหมุนช้ากว่าปกติและไม่มีกลิ่นไพลทำให้ได้ค่าความเร็วที่ไม่เสถียร ส่วนปัญหาอีกประการคือชิ้นส่วนแต่ละชิ้นที่ประกอบนั้นทำการวัดรูที่เจาะยึดอุปกรณ์ส่วนต่างเข้าด้วยกัน ไม่ได้ตำแหน่งที่สมมาตรกันทำให้เครื่องวัดความเร็วลมได้แรงหมุนที่ไม่เต็มประสิทธิภาพ

วิธีแก้ไขคือต้องทำการวัดตำแหน่งที่เจาะและยึดให้ได้ตำแหน่งที่สมมาตรกันเพื่อให้เครื่องวัดความเร็วลมเกิดประสิทธิภาพในการอ่านค่าสูงสุด

9.2 กังหันลมแนวแกนตั้ง

จากเมื่อเทอมที่แล้วได้ทำกังหันลมแนวแกนนอนซึ่งสามารถที่จะผลิตกระแสไฟฟ้าได้ที่ความเร็วลมต่ำแต่จะเกิดปัญหาที่ว่ากำลังงานที่ผลิตได้มีค่าน้อยมากส่วนในเทอมนี้ได้ทำการดัดแปลงกังหันลมเป็นแกนแนวตั้งซึ่งสามารถที่จะผลิตกระแสได้เช่นกันแต่ใช้ตัวผลิตกระแสไฟฟ้าที่ได้กำลังงานมากกว่าเดิมแต่ก็ต้องคำนึงถึงแรงเหนี่ยวนำแม่เหล็กของมอเตอร์ที่ตัวใหญ่ขึ้นซึ่งเป็นผลทำให้มอเตอร์หมุนได้ยากขึ้นซึ่งทำให้กังหันลมหมุนได้ยากขึ้นโดยกังหันลมที่ทำนั้นความเร็วเริ่มต้นที่สามารถทำให้กังหันลมหมุนได้นั้นอยู่ที่ความเร็ว 2.637 m/s ซึ่งทำให้สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้จริงจากมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง 1 ตัวโดยวงจรจอร์จที่จะใช้จำกัดกระแสที่ประมาณ 4 mA ซึ่งใช้มอเตอร์เป็นแหล่งกำเนิดไฟฟ้า 2 ตัวซึ่งแต่ละตัวมีความสามารถในการผลิตไฟฟ้าได้ดังที่กล่าวมาแล้ว ซึ่งเป็น

การชาร์จแบตเตอรี่แบบช้าๆ แต่เนื่องจากวงจรนั้นยังไม่สามารถใช้งานในสภาวะการเป็นจริงได้ เนื่องจากกระแสที่ออกมา นั้นยังมีพลังงานน้อยเกินไปซึ่งไม่สามารถนำมาเลี้ยงวงจรเองได้

โดยปัญหาที่เกิดขึ้นคือการชาร์จจะชาร์จด้วยกระแสที่มีค่าน้อยคือได้กำลังงานที่น้อยและประสิทธิภาพที่ได้จากกำลังงานลมนั้นมีค่าน้อยเมื่อความเร็วลมต่ำและความสามารถในการจ่ายกระแสที่จะใช้เลี้ยงให้กับวงจรยังไม่พอซึ่งจะต้องมีการพัฒนาต่อไป โดยแนวทางการแก้ไขอาจจะใช้ตัวกำเนิดกระแสไฟฟ้าที่ตีมากขึ้นหรือใช้ตัวคอนโทรลที่ลดกระแสได้มากกว่าที่ใช้ซึ่งก่อให้เกิดประสิทธิภาพที่ดีขึ้นซึ่งเป็นแนวทางให้รุ่นหลังทำการพัฒนาต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

โครงการกัณฑ์ขนาดเด็กเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้านี้ประกอบด้วยชิ้นงานและเอกสารประกอบ
โครงการจะไม่สำเร็จล่วงไปด้วยดีหากขาดอาจารย์ โกศล ชวนขยัน ผู้ให้คำแนะนำ ชี้นะ ดูแลและ
ช่วยเหลือให้คำปรึกษาโดยตลอด พร้อมกับการช่วยเหลือของเพื่อน ครอบครัวของเพื่อนและ
ครอบครัวตนเอง ซึ่งสนับสนุนเรื่องทุนทรัพย์และให้กำลังใจตลอดมา

ผู้จัดทำ

นายธนากร ปิยะเปี่ยมลาภ

นายสาทิตย์ สุขสิน

นายสุเทพ สมบัติชัยกุล

หนังสืออ้างอิง

1. กองพัฒนาพลังงานทดแทนฝ่ายพัฒนาและแผนงาน โรงงานไฟฟ้าการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย
2. นคร ภัคดีชาติ, “dsPIC Microcontroller ด้วยโปรแกรมภาษา C กับ MPLAB C30” , บริษัท อินโนเวตีฟ เอ็กเพอริเมนต์ จำกัด, 376 หน้า
3. วิชัย เทียนน้อย, “ภูมิอากาศวิทยา”, สำนักอักษรวัฒนา, กทม.
4. ดอนสัน ปงผาบ, “ไมโครคอนโทรลเลอร์และการประยุกต์ใช้งาน”, สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี(ไทย-ญี่ปุ่น), กทม., มิถุนายน 2550

เว็บไซต์อ้างอิง

1. <http://www.lcct.ac.th/office/electrical/fifanaru.html>
2. <http://sathaporn.exteen.com/20070517/m6062550g1#dynamo>
3. <http://www.carbatt.com/index.php?lay=show&ac=article&Id=370062>

ภาคผนวก

จุดคำสั่งไมโครคอนโทรลเลอร์

```
#include<p30f4011.h>
#include<incap.h>
#include<timer.h>
#include<lcd.h>
#include<adc10.h>
#include<stdio.h>
#include<ports.h>

_FOSC(CSW_FSCM_OFF & XT_PLL8);
_FWDT(WDT_OFF);
_FBORPOR(PBOR_OFF & MCLR_EN);
_FGS(CODE_PROT_OFF);
```

```
unsigned long frequency,freq_count=0;
```

```
int count=0;
```

```
char i,str_adc[16];
```

```
float result[3];
```

```
void _ISR_T2Interrupt(void)
```

```
{
    IFS0bits.T2IF = 0;
    WriteTimer2(0);
}
```

```
void _ISR_T1Interrupt(void)
```

```
{
    IFS0bits.T1IF = 0;
    WriteTimer1(0);
}
```

```
count++;
if(count>=200)
{
    if(freq_count>0)
    {
        count = 0;
        frequency = (((freq_count*0.00481466667)*4.9634)+1.3365)*1000;
        freq_count = 0;
    }
}
}
```

```
void _ISR_IC1Interrupt(void)
{
    IFS0bits.IC1IF = 0;
    freq_count++;
}
```

```
void display_frequency(unsigned char pos,unsigned long value)
{
    unsigned char index=9,i=0,scale=0;
    char buffer[16],dat[13];

    if(value>=1000 && value<1000000)
        scale = 2;

    while(value != 0)
    {
```

```
        if(scale==2 && index==6)
        {
            buffer[index] = '.';
            index--;
        }
        buffer[index] = '0'+(value%10);
        value/=10;
        index--;
    }
    do
    {
        dat[i++] = buffer[index++];
    } while(index < 10);
    dat[i++] = '.';
    dat[i++] = 'm';
    dat[i++] = '/';
    dat[i++] = 's';
    while(i<12)
    dat[i++] = ' ';
    dat[12] = 0;

    lcd_puts(pos,&dat[1]);
}

void capture_init()
{
    unsigned int match_value;
    ConfigIntTimer1(T1_INT_PRIOR_1 & T1_INT_ON);
```

```
WriteTimer1(0);
match_value = 36854;
OpenTimer1(T1_ON & T1_GATE_OFF & T1_IDLE_STOP &
T1_PS_1_1 & T1_SYNC_EXT_OFF & T1_SOURCE_INT, match_value);
ConfigIntCapture1(IC_INT_PRIOR_2 & IC_INT_ON);
T3CON = 0x8000;
OpenCapture1(IC_IDLE_STOP &
IC_TIMER3_SRC &
IC_INT_1CAPTURE &
IC EVERY_FALL_EDGE);
}
```

```
void _ISR_CNInterrupt(void)
{
    IFS0bits.CNIF = 0;
    WriteTimer2(0);
    PORTBbits.RB2 = 1;
    if(PORTB >= 4)
    {
        switch(PORTB)
        {
            case 4 : LATE |= 5;
                    break;

            case 5 : LATE |= 6;
                    break;

            case 6 : LATE |= 5;
                    break;

            case 7 : LATE |= 4;
```

```

                break;
            default : LATE = 0;
                break;
        }
    }
}

void port_init()
{
    unsigned int match_value;
    ADPCFG = 0xFFFF;
    TRISB |= 0xFFFF;
    TRISE = 0;
    CNEN1 = 0xFFFF;
    CNPU1 = 0xFFFF ;
    IEC0bits.CNIE = 1;
    IPC3 = 0x7000;
    ConfigIntCN(CHANGE_INT_ON & CHANGE_INT_PRI_7);
    ConfigIntTimer2(T2_INT_PRIOR_7 & T2_INT_ON);
    WriteTimer2(0);
    match_value = 6250 ;
    OpenTimer2(T2_ON & T2_GATE_OFF & T2_IDLE_STOP &
    T2_PS_1_256 &
    T2_SOURCE_INT,match_value);
}

int main(void)
{
    lcd_init();
    capture_init();
}

```

```
port_init();  
lcd_puts(LINE1,"Speed wind");  
while(1)  
    {  
        display_frequency(0xC2,frequency);  
    }  
}
```