



เครื่องกำเนิดกระแสไฟฟ้าด้วยพลังงานลม  
WIND GENERATOR

โดย

นายจิโรจน์ พรวัฒนา  
นายประศาสน์พร ผิวเสวก  
นายพรประสงค์ ส่งบุญ  
นายอดิศร อุดม  
นายอดิศักดิ์ ธาราดล  
นายจตุรงค์ เตชะทวีกุล  
นายदनัย เลาะมะ  
นายประวิทย์ พัฒนาศรีโรจน์  
นายปรีชา ทองหยัด  
นายสมชาย เพ็งสาตร์

วัน เดือน ปี 30 ก.พ. 2541  
เลขทะเบียน 038240  
เลขเรียกหนังสือ 1392.69 จ 5450

ปริญญาบัตรนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2539

ปีการศึกษา 2539

เครื่องกำเนิดกระแสไฟฟ้าด้วยพลังงานลม  
WIND GENERATOR

โดย

นายจิโรจน์ พรวัฒนา

นายประศาสน์พร ผิวเสวก

นายพรประสงค์ ส่งบุญ

นายอดิศร อุดม

นายอดิศักดิ์ ธาราดล

นายจตุรงค์ เตชะทวีกุล

นายदनัย เลาะมะ

นายประวิทย์ พัฒนาศรีโรจน์

นายปรีชา ทองหยัด

นายสมชาย เพ็งสาตร์

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ. ประภาช ไพรสวรรณ

อ. อนุวัฒน์ จางวานิชเลิศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2539


ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

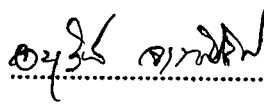
คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เครื่องกำเนิดกระแสไฟฟ้าด้วยพลังงานลม

จัดทำโดย

นายจิโรจน์	พรวัฒนา
นายประศาสน์พร	ผิวเสวก
นายพรประสงค์	ส่งบุญ
นายอดิศร	อุดม
นายอดิศักดิ์	ธาราดล
นายจตุรงค์	เดชะทวีกุล
นายदनัย	เลาะมะ
นายประวิทย์	พัฒนาศรีโรจน์
นายปรีชา	ทองหยัด
นายสมชาย	เพ็งสาตร์

  
.....อาจารย์ที่ปรึกษา  
( ผศ. ประภาส ไพโรสุวรรณ )

  
.....อาจารย์ที่ปรึกษา  
( อ. อนุวัฒน์ จางวานิชเลิศ )

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
ABSTRACT	II
สารบัญภาพ	III
สารบัญตาราง	IV
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 บทนำ	1
1.2 จุดประสงค์ของโครงการ	1
1.3 ขอบเขตของงาน	1
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน	2
บทที่ 2 ลม	3
2.1 บทนำ	3
2.2 ทิศทางลม	5
2.3 ความเร็วลม	7
2.4 การคำนวณหาค่าพลังงานลม	10
บทที่ 3 ระบบการเปลี่ยนแปลงพลังงานลมเป็นพลังงานไฟฟ้า	13
3.1 บทนำ	13
3.2 หลักการของระบบ	13
3.3 ส่วนประกอบของระบบ	14
3.4 การออกแบบระบบ	15
บทที่ 4 กังหันลม	17
4.1 บทนำ	17
4.2 ประเภทของกังหัน	19
4.1.3 กังหันแบบแกนนอน	19
4.1.4 กังหันแบบแกนตั้ง	28
บทที่ 5 เครื่องกำเนิดกระแสไฟฟ้า	32
5.1 บทนำ	32

5.2	หลักการเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	32
5.3	โครงสร้างและส่วนประกอบ	35
5.4	เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบต่างๆ	36
5.5	เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ	37
5.6	เครื่องกำเนิดไฟฟ้าในรถยนต์	41
5.7	หลักการเบื้องต้นของอัลเทอเนเตอร์	45
5.8	โครงสร้างของโรเตอร์	46
บทที่ 6	ระบบไฟฟ้า	48
6.1	บทนำ	48
6.2	แบตเตอรี่	48
บทที่ 7	การออกแบบการสร้าง	61
7.1	บทนำ	61
7.2	กัณฑ์ลม	61
7.3	เครื่องกำเนิดกระแสไฟฟ้า	62
7.4	วงจรควบคุมแรงดัน	64
บทที่ 8	การทดลองและผลการทดลอง	76
8.1	การทดลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในสถานะไม่มีโหลด	76
8.2	การทดลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในสถานะไม่มีโหลด	78
8.3	การทดลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในสถานะมีโหลด	79
8.4	การทดสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่โครงการจริงในสถานะไม่มีโหลด	80
8.5	การทดสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่โครงการจริงในสถานะมีโหลด	81
บทที่ 9	สรุปการทำงานและการแก้ปัญหา	82

กิตติกรรมประกาศ

เอกสารอ้างอิง

ภาคผนวก

## เครื่องกำเนิดกระแสไฟฟ้าด้วยพลังงานลม

นายจิโรจน์ พรวัฒนา  
นายประศาสน์พร ศิวเสวก  
นายพรประสงค์ สังกบุญ  
นายอดิศร อุดม  
นายอดิศศักดิ์ ธาราคล  
นายจตุรงค์ เตชะทวีกุล  
นายคณัย เถาะมะ  
นายประวิทย์ พัฒนศรีโรจน์  
นายปรีชา ทองหยัด  
นายสมชาย เฟ็งสาตร์  
ผศ. ประภาส ไพรสุวรรณ  
อ. อนุวัฒน์ จางวานิชเลิศ  
ปีการศึกษา 2539

### บทคัดย่อ

โครงการนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อนำเอาพลังงานลมมาเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้า โดยใช้กังหันลมมาเป็นตัวขับเคลื่อนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ซึ่งเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในรถยนต์ ตัวเครื่องกำเนิดจะผลิตเป็นกระแสสลับออกมาผ่านวงจรเรียงกระแสมาเป็นกระแสตรง มีแรงดันคงที่ โดยใช้ชุดควบคุมแรงดัน เพื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับแบตเตอรี่ พลังงานที่ได้จะถูกเก็บไว้ในรูปของแบตเตอรี่

**WIND GENERATOR**

Jirote Pornwattana

Prasatporn Piewsaweak

Pornprasong Songbun

Adisorn Udom

Adisak Tharadol

Jaturong Techataweekul

Danai Lohma

Pravit Patanasrirote

Preecha Thongyad

Somchai Pengsatr

Assis. Prof. Praphast Praisuwanna Advisor

Teacher Anuwat Jangwanitleart

1996

**ABSTRACT**

This project present the conversion of wind energy to electric energy. The air foil is use to drive a sharst of the alternator, which use in car. The alternator product a AC. Current flow through the bridge - full wave rectifier, to a DC. Current and constant voltage of the alternator are controlled. By the voltage regulator. The electric energy is stored by the battery.

## สารบัญภาพ

	หน้า
รูป 2.1 ก แผนที่ลมรอบโลก	3
รูป 2.1 ข แผนที่ลมรอบโลก	4
รูป 2.2 แสดงทิศทางลมที่เปลี่ยนระหว่างกลางวันและกลางคืน	4
รูป 2.3 แสดงลมที่เปลี่ยนแปลงในบริเวณหุบเขา	5
รูป 2.4 แสดงทิศทางลมที่ขึ้นกับฤดูกาล	5
รูป 2.5 แสดงทิศทางลมตามมาตรฐานที่ใช้กัน	6
รูป 2.6 เครื่องมือวัดทิศทางลม	6
รูป 2.7 แสดงความเร็วลมที่ต่างกันแต่ละชั้นบรรยากาศ	7
รูป 2.8 ก เครื่องมือวัดลมแบบต่างๆ	8
รูป 2.8 ข เครื่องมือวัดลมแบบต่างๆ	9
รูป 2.8 ค เครื่องมือวัดลมแบบต่างๆ	9
รูป 2.9 แสดงมวลของลม	10
รูป 2.10 กราฟระหว่างความเร็วลมกับกำลังไฟฟ้าที่ได้	12
รูป 3.1 ระบบการเปลี่ยนพลังงานลมให้เป็นพลังงานไฟฟ้า	13
รูป 4.1 ก กังหันลมแบบแกนนอน	17
รูป 4.1 ข กังหันลมแบบแกนตั้ง	18
รูป 4.1 ค กังหันลมแบบอื่นๆ	18
รูป 4.2 กังหันลมแบบดัตช์	20
รูป 4.3 กังหันลมแบบล้อจักรยาน	21
รูป 4.4 ลักษณะของใบพัดแบบ เซลวิง	22
รูป 4.5 กังหันลมแบบพริ้นซ์ตัน เซลวิง	23
รูป 4.6 ส่วนประกอบของกังหัน อเมริกัน-มัลติเบรค	24
รูป 4.7 กังหันลมชนิดโพรเพลเลอร์	26
รูป 4.8 การเกิดแรงยกและแรงหน่วงของใบพัด	27
รูป 4.9 ซาโวเนียส, เฮลโรเตอร์	28
รูป 4.10 การเกิดผลของการหมุน	29

รูป 4.11	กังหันแบบดาเรียส	30
รูป 5.1	ขดลวดแบบธรรมดาที่หมุนในสนามแม่เหล็ก	32
รูป 5.2	การเหนี่ยวนำแรงเคลื่อนไฟฟ้า	33
รูป 5.3	แสดงเครื่องกำเนิดกระแสอย่างง่าย และแรงดันที่ได้	34
รูป 5.4	แสดงเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มีขดลวดหลายชุด	34
รูป 5.5	วงจรขดลวดสนามแม่เหล็กแยกกระตุ่น	36
รูป 5.6	เครื่องกำเนิดไฟฟ้า 1 เฟส	39
รูป 5.7	สนามแม่เหล็กจากขั้วแม่เหล็ก	39
รูป 5.8	วิธีต่อขดลวดอามาเจอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 3 เฟส	40
รูป 5.9	เยนเนอเรเตอร์	41
รูป 5.10	อัลเตอเนเตอร์	41
รูป 5.11	อัลเตอเนเตอร์	43
รูป 5.12	ชุดประกอบแยกส่วนของอัลเตอเนเตอร์	44
รูป 5.13	รูปร่างของไฟฟ้ากระแสสลับ	44
รูป 5.14	ไดโอด	46
รูป 5.15	ชุดสนามแม่เหล็กโรเตอร์	47
รูป 5.16	โครงสร้างโรเตอร์	47
รูป 6.1	ปริมาณน้ำยา	48
รูป 6.2	แสดงโครงสร้าง	49
รูป 6.3	การต่อแบตเตอรี่เข้ากับเครื่องชาร์จ	50
รูป 6.4	การวัดความถี่จําเพาะ	51
รูป 6.5	การอ่านค่า	51
รูป 6.6	การผสมน้ำยา	54
รูป 6.7	การใช้เครื่องมือวัดเซลล์	59
รูป 6.8	แสดงให้เห็นความต้านทานของเครื่องทดสอบ	59
รูป 6.9	การใช้โวลท์มิเตอร์วัดแรงเคลื่อนตกคร่อม	60
รูป 7.1	วงจรของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ารถยนต์	63
รูป 7.2	แสดงวงจรควบคุมแรงดัน	64
รูป 7.3	แสดงลายแผ่นวงจรพิมพ์	65

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูป 7.4	แสดงลายแผ่นวงจรพิมพ์	66
รูป 7.5	แสดงวงจรควบคุม	67
รูป 7.6	เสา	71
รูป 7.7	ใบพัด	72
รูป 7.8	รูปมองด้านข้างของห้องเครื่อง	73
รูป 7.9	รูปมองด้านบนของห้องเครื่อง	74
รูป 7.10	เครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลม	75
รูป ผ 1	กราฟแสดงความเร็วลมเฉลี่ยปี พ.ศ. 2537	ภาคผนวก
รูป ผ 2	กราฟแสดงความเร็วลมเฉลี่ยปี พ.ศ. 2538	ภาคผนวก
รูป ผ 3	กราฟแสดงความเร็วลมเฉลี่ยปี พ.ศ. 2539	ภาคผนวก



## สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 6.1	ความถ่วงจำเพาะน้ำยากับสภาพการหารัจ	52
ตารางที่ 6.2	ค่าความถ่วงจำเพาะกับอุณหภูมิ	53
ตารางที่ 6.3	อัตราส่วนน้ำกลั่นกับกรดกำมะถัน	54
ตารางที่ 6.4	การจ่ายไฟด้วยแบตเตอรี่	55
ตารางที่ 6.5	รายละเอียดวิธีแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆของแบตเตอรี่	58
ตารางที่ 6.6	การวิเคราะห์ข้อขัดข้องด้วยแรงเคลื่อน	60
ตารางที่ 8.1	แสดงผลการทดลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเมื่อไม่มีโหลด	76
ตารางที่ 8.2	แสดงผลของแรงดันที่จ่ายออกมาจากเครื่องกำเนิด	78
ตารางที่ 8.3	แสดงผลของกระแสที่จ่ายให้โหลด	79
ตารางที่ 8.4	แสดงผลของแรงดันที่จ่ายออกมาจากเครื่องกำเนิด ที่โครงการจริง	80
ตารางที่ 8.4	แสดงผลของกระแสที่จ่ายให้โหลด	81

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 บทนำ

ปัจจุบันปัญหาสำคัญที่ทั่วโลกเผชิญอยู่ก็คือ ปัญหาทางด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม ในขณะที่พลเมืองกำลังเพิ่มขึ้น ความต้องการพลังงานก็เพิ่มขึ้นเป็นเงาตามตัว แต่ทรัพยากรและสิ่งแวดล้อมกลับเสื่อมลงทุกที

พลังงานที่ได้จากเชื้อเพลิงฟอสซิล ที่มนุษย์ใช้กันมากมายทุกวันนี้ สร้างปัญหาให้กับสิ่งแวดล้อมหลายด้าน จากสิ่งต่างๆที่เกิดขึ้น ทำให้มนุษย์ตระหนักถึงปัญหาที่จะเกิดขึ้นในอนาคต จึงพยายามค้นคว้าหาพลังงานรูปแบบใหม่ๆ ที่จะมาใช้ทดแทน โดยเฉพาะการนำพลังงานมาผลิตเป็นกระแสไฟฟ้า พลังงานลมเป็นรูปแบบหนึ่งที่อยู่ในความสนใจ ที่จะนำมาผลิตกระแสไฟฟ้า เพราะไม่มีผลต่อสิ่งแวดล้อม และสามารถเกิดขึ้นได้ในทุกพื้นที่ของโลก

ในประเทศสหรัฐอเมริกา ญี่ปุ่น และยุโรป ได้มีการวิจัยผลิตกระแสไฟฟ้า ด้วยพลังงานลม มาก่อนหน้านี้แล้ว และมีใช้กันบ้างแล้ว แต่ในประเทศไทย การวิจัยเรื่องนี้้น้อยมาก ซึ่งอาจเกิดจากความไม่พร้อมทางเทคโนโลยี และความเร็วลมที่ไม่สม่ำเสมอในรอบปี

ดังนั้นโครงการนี้จึงเกิดขึ้น เพื่อเปิด โอกาส ให้นักศึกษาได้ใช้ความรู้ความสามารถที่ได้ศึกษามา ทำการศึกษาถึงความเป็นไปได้ที่จะนำเครื่องกำเนิดไฟฟ้าโดยอาศัยพลังงานลม มาใช้ใน ประเทศไทย

### 1.2 จุดประสงค์ของโครงการ

- 1 เพื่อนำพลังงานจากลม มาผลิตกระแสไฟฟ้า
- 2 เพื่อสร้างเครื่องต้นแบบที่มีโครงสร้างเหมาะสม
- 3 ทดสอบความเป็นไปได้ในการใช้งานเครื่องกำเนิดด้วยพลังงานลมที่สร้างในประเทศไทย

### 1.3 ขอบเขตของงาน

โครงการเครื่องกำเนิดกระแสไฟฟ้าด้วยพลังงานลม ได้เกิดขึ้นมุก่อนหน้านี้แล้ว แต่ผลยังไม่เป็นที่พอใจ จากการศึกษาปัญหาต่างๆที่เกิดขึ้นก่อนหน้านี้นี้ จึงได้พยายามหลีกเลี่ยงปัญหาเหล่านั้น

โครงการที่ทำนี้ต้องเริ่มต้นใหม่หมด เพียงแต่มีแนวทางอยู่บ้างแล้ว ขอบเขตจึงคล้ายกับโครงการเดิม แต่จะเน้นให้ใช้งานได้ ดังนี้

- 1 พยายามใช้วัสดุและสิ่งที่มีอยู่ในท้องถิ่นสามารถหาได้ง่ายในการสร้าง
- 2 สามารถควบคุมแรงดันที่ออกมา ให้คงที่
- 3 ระบบสามารถใช้งานได้

### 3 ระบบสามารถใช้งานได้

#### 1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1 ศึกษาพฤติกรรมเบื้องต้นของลม กำลังที่ได้จากลม และความเร็วลม ในเขตกรุงเทพมหานคร ในระหว่าง 2-3 ปีที่ผ่านมา

2 ศึกษาลักษณะคุณสมบัติของกังหันลมต่างๆ เพื่อเลือกชนิดที่เหมาะสมที่สุดในการสร้าง โดยต้องพิจารณาจากสิ่งที่มีอยู่ในท้องถิ่นด้วย เพื่อความสะดวกและช่วยลดต้นทุน

3 ศึกษาข้อมูลเรื่องเครื่องกำเนิดไฟฟ้า โดยจะใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าในรถยนต์ เพื่อตัดแปลงมาใช้อย่างเหมาะสม

4 ศึกษาข้อมูลเรื่องแบตเตอรี่และการอัดประจุ ชนิด หลักการทำงาน แต่ในเรื่องการจัดการไม่อยู่ในขอบเขตที่จะทำได้ ส่วนการอัดประจุ คือ วงจรควบคุมแรงดันที่ได้ให้คงที่

5 ออกแบบห้องเครื่อง และเสา เพื่อให้ออกมาแข็งแรงเหมาะสม

6 ลงมือสร้างในส่วนต่างๆ ประกอบขึ้นเป็นรูปร่าง

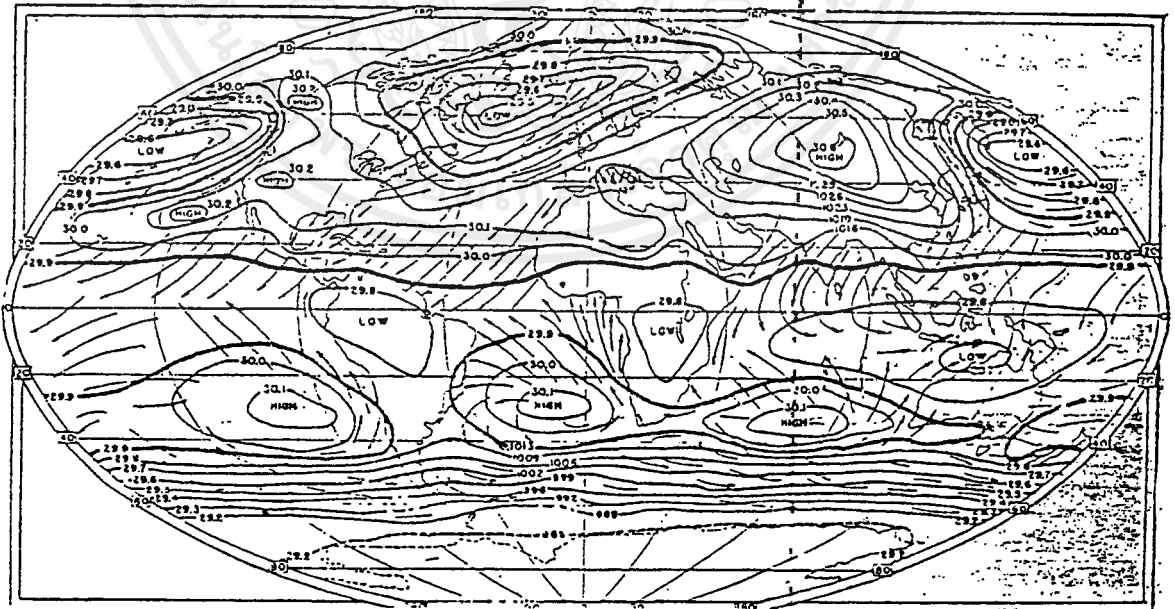
7 ติดตั้งและทดสอบ

## บทที่ 2

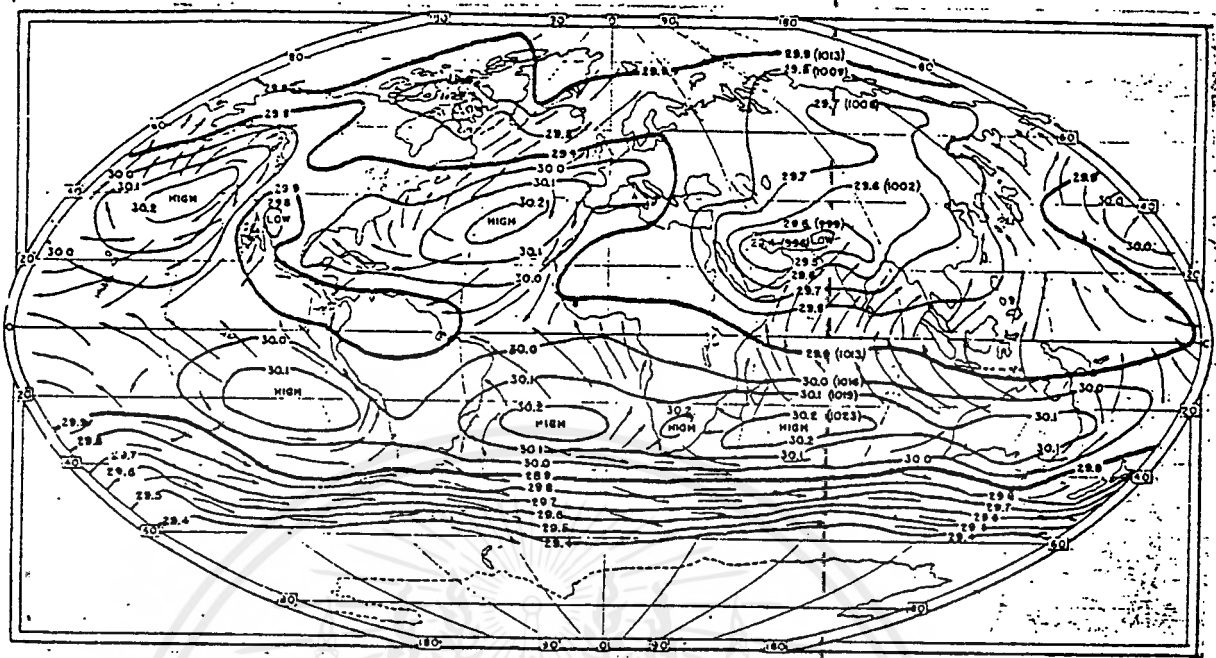
### ลม ( wind )

#### 2.1 บทนำ

อุณหภูมิของอากาศ มีผลทำให้ความกดอากาศในแต่ละพื้นที่ แตกต่างกันออกไป และเกิดการเคลื่อนตัวของอากาศ จากที่หนึ่งไปอีกที่หนึ่ง เราจึงแบ่งลักษณะการเกิดของลม โดยทั่วไปได้ 2 แบบ คือ การเกิดลมในลักษณะทั่วทั้งโลกและการเกิดลมในลักษณะเฉพาะที่ สำหรับลักษณะแรกจะเกิดขึ้นเนื่องจากการที่อุณหภูมิของพื้นผิวโลกที่ใกล้เส้นศูนย์สูตรทำให้อากาศที่ขั้วโลกซึ่งเย็นลงกว่า เคลื่อนตัวมายังบริเวณเส้นศูนย์สูตร แต่เนื่องจากโลกมีการหมุนรอบตัวเองจึงส่งผลกระทบต่อทิศทางการเคลื่อนที่ของอากาศที่เกิดขึ้นเหล่านี้ โดยอากาศร้อนซึ่งอยู่ในบรรยากาศชั้นบนจะมีทิศทางอ่อนไปทางทิศตะวันออก และอากาศเย็นซึ่งอยู่ใกล้พื้นผิวโลกจะมีทิศทางไปทางทิศตะวันตกดังแสดงในรูป 2.1ก,ข

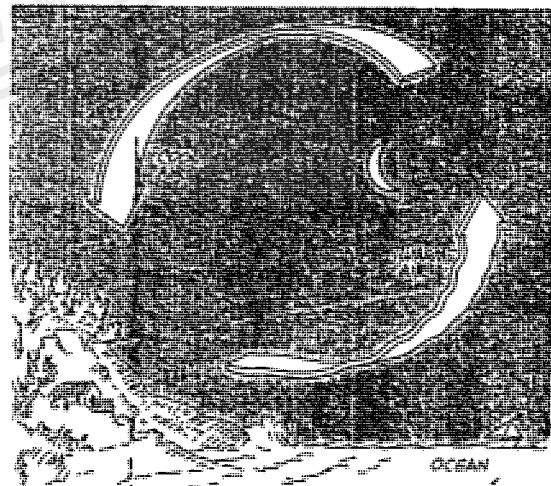
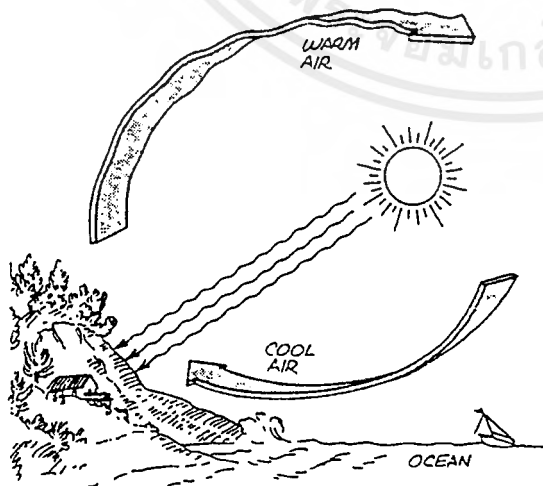


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้รูปที่ 2.1ก แสดงแผนที่ลมรอบโลก อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



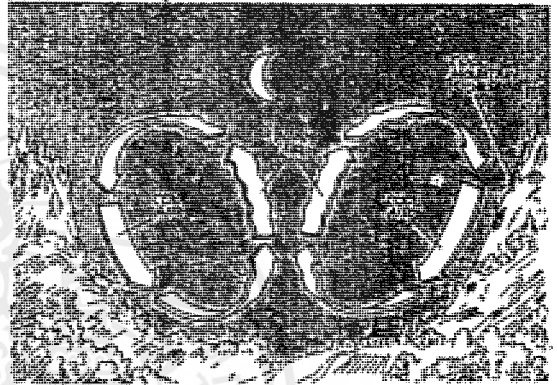
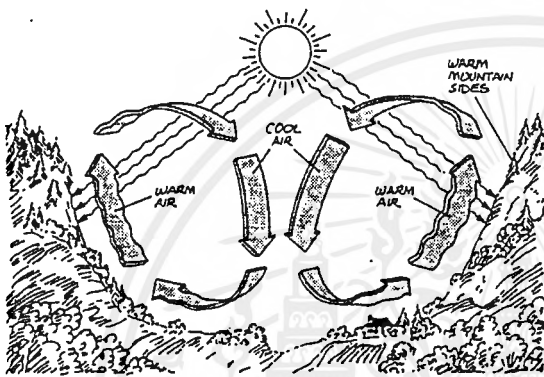
รูปที่ 2.1x แสดงแผนที่ลมรอบโลก

ลักษณะลมประเภทที่ 2 สามารถแบ่งได้ 2 แบบ คือ เกิดจากความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างพื้นดินและน้ำ เนื่องจากผลกระทบจากแสงอาทิตย์ที่ส่องมายังพื้นโลกในเวลากลางวันทำให้พื้นดินดูดซับความร้อนได้มากกว่าและทำให้อากาศบนพื้นดินเข้ามาแทนที่ ส่วนในเวลากลางคืนอากาศจะเคลื่อนตัวไปในทิศทางตรงกันข้ามกับช่วงเวลากลางวัน เป็นผลมาจากการที่บรรยากาศของพื้นผิวโลกเกิดการเปลี่ยนแปลงระบายความร้อนของดินุ้และน้ำ ต่างกันดังแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 แสดงทิศทางลมที่เปลี่ยนระหว่างกลางวันและกลางคืน

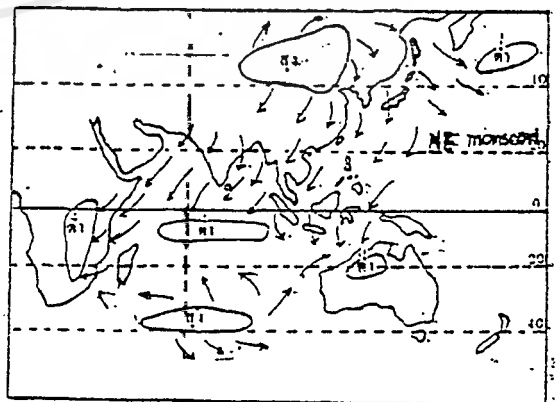
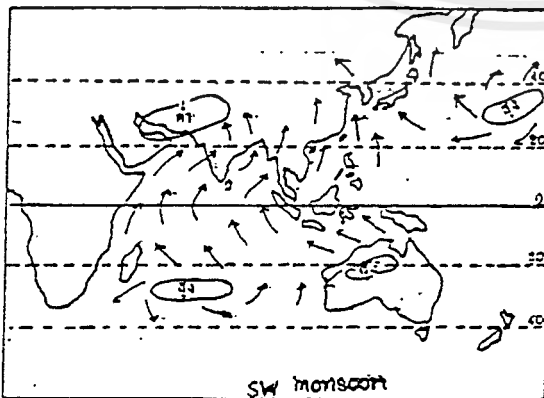
ส่วนอากาศที่เกิดขึ้นจากลักษณะความลาดชันของภูเขาหรือภูเขา ซึ่งในเวลากลางวันอากาศร้อนจะลอยตัวสูงขึ้นไปตามความลาดชันของภูเขา และในเวลากลางคืนอากาศที่เย็นลงจะกดตัวต่ำตามความลาดชันของภูเขา เป็นผลเนื่องมาจากอุณหภูมิบนพื้นผิวโลกที่แตกต่างกัน ดังแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 แสดงลมที่เปลี่ยนแปลงในบริเวณหุบเขา

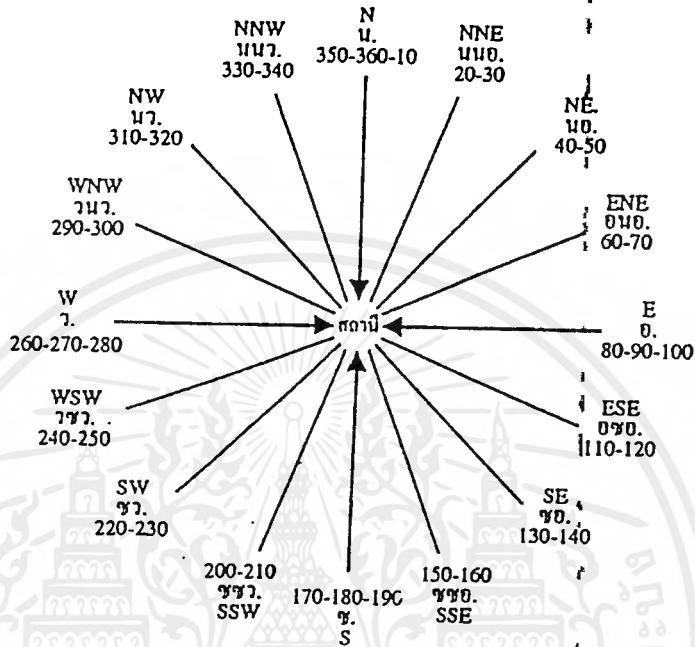
2.2 ทิศทางลม ( wind direction )

ลมมีการเปลี่ยนแปลงการเคลื่อนที่อยู่ตลอดเวลา และมีความเร็วไม่คงที่ เนื่องจากฤดูกาลตามธรรมชาติ เช่น ฤดูร้อน จะเกิดลมตะวันตกเฉียงใต้ ฤดูหนาวจะเกิดลมตะวันออกเฉียงเหนือขึ้น เป็นต้น ดังแสดงในรูปที่ 2.4



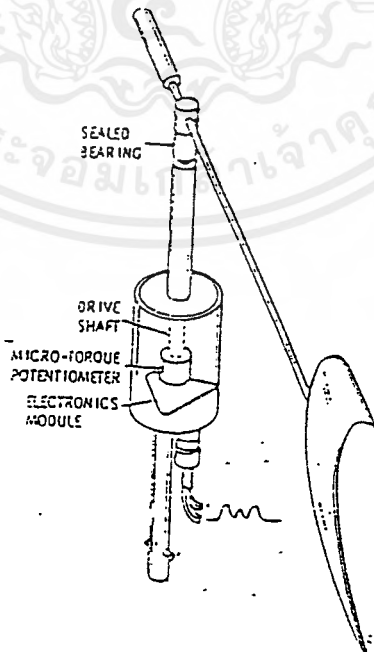
รูปที่ 2.4 แสดงทิศทางลมที่ขึ้นกับฤดูกาล

การกำหนดทิศทางของชนิดลมตามมาตรฐานที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันสามารถแบ่งออกได้  
ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 แสดงทิศทางลมตามมาตรฐานที่ใช้กัน

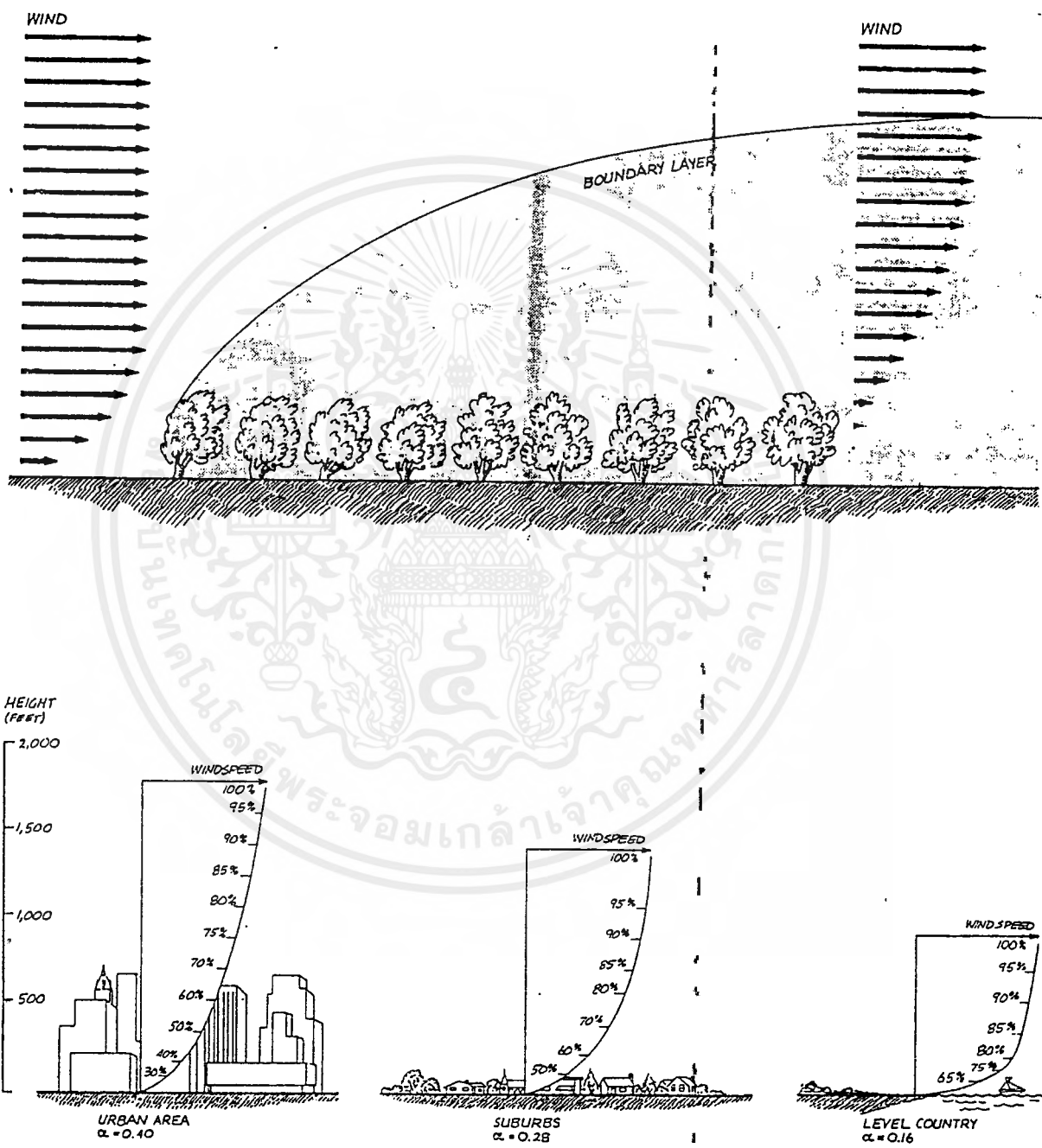
เครื่องมือที่ใช้วัดทิศทางลม เรียกว่า wind vane ( ลักษณะเหมือนลูกศร ) ดังในรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 เครื่องมือวัดทิศทางลม

### 2.3 ความเร็วลม ( wind velocity )

ลมมีความเร็วไม่คงที่แต่ตลอดเวลาที่มีความเร็วเป็นเท่าใด ขึ้นอยู่กับลักษณะภูมิประเทศในบริเวณนั้นๆ และความสูงของบรรยากาศในระดับที่ต่างกัน ดังในรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 แสดงความเร็วลมที่ต่างกันแต่ละชั้นบรรยากาศ

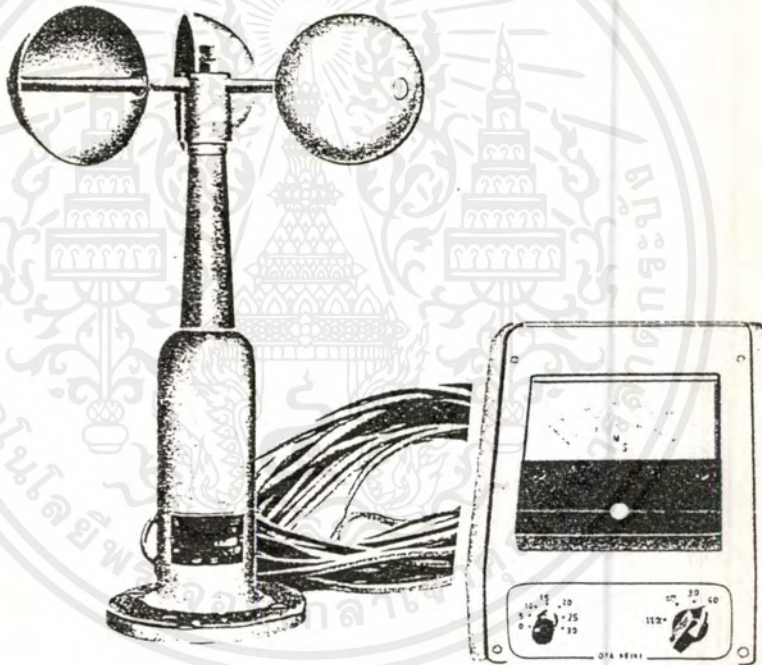
ปัจจุบันได้มีการผลิตเครื่องมือที่วัดความเร็วลม เรียกว่า “ อะนิโมมิเตอร์ ” (Anemometer) ซึ่งประกอบไปด้วยลูกถ้วยครึ่งวงกลม ทำด้วยอลูมิเนียม หรือ พลาสติก แล้วแต่ประเภทการใช้งาน จากการหมุนของถ้วยจะมีผลทำให้เราทราบถึงจำนวนรอบในการหมุน จึงทำให้สามารถหาความเร็วของลมได้ซึ่งมีหน่วยเป็น นอต ( Knot ), ไมล์ต่อชั่วโมง, กิโลเมตรต่อชั่วโมง

( 1 นอต = 1.85 กม./ชม. หรือ เท่ากับ 1 ไมล์ทะเล/ชม. )

1 ไมล์ทะเล = 1.15 ไมล์บก

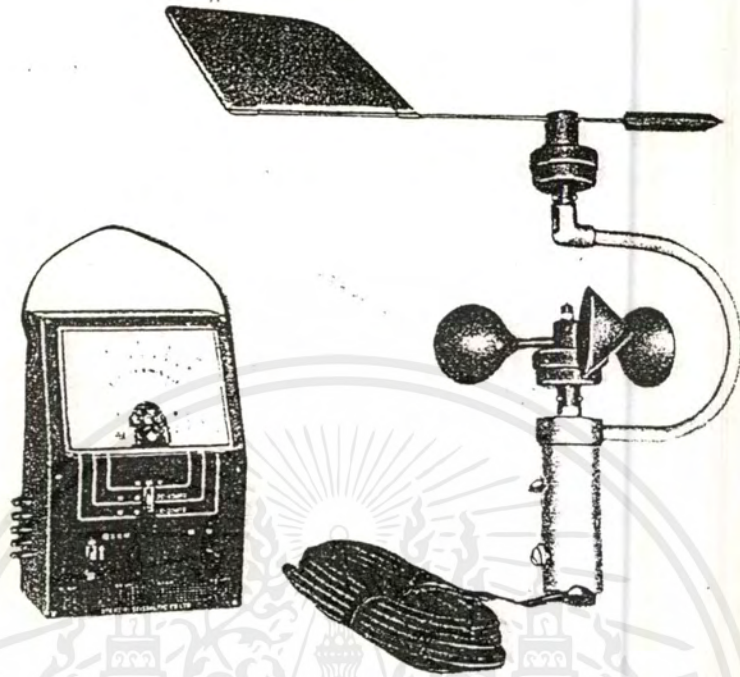
= 1.85 กม.

เครื่องมือวัดความเร็วลมที่ใช้กันอยู่โดยทั่วไปมีรูปร่างลักษณะดังในรูปที่ 2.8ก, ข และ ค

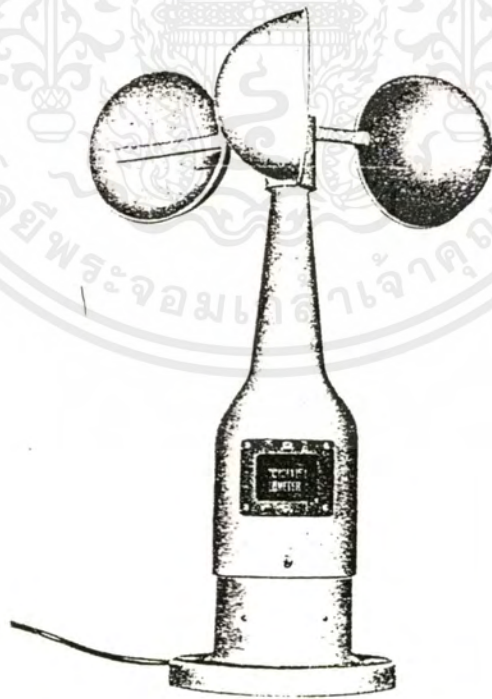


รูป ก.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป ข.



รูป ค.

รูปที่ 2.8 แสดงเครื่องมือวัดลมแบบต่างๆ

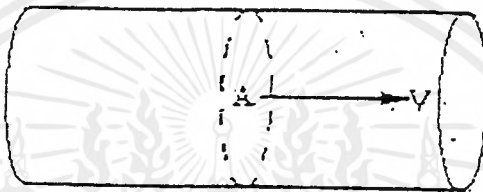
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.4 การคำนวณหาค่าพลังงานลม

เราสามารถที่จะคำนวณหาค่าพลังงานที่เกิดจากลมนี้ได้ เมื่อวัตถุมีมวล ( $m$ ) กิโลกรัมเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว ( $v$ ) เมตรต่อวินาที จะมีพลังงานจลน์เกิดขึ้นเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$K_e = (1/2)mv^2 \quad \text{จูล}$$

เมื่อลมเคลื่อนที่ผ่านพื้นที่ ( $A$ ) ตารางเมตรด้วยความเร็ว ( $V$ ) เมตรต่อวินาที โดยกำหนดให้ความหนาแน่นของอากาศเป็น ( $\rho$ ) กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร เราจะได้มวลของอากาศเป็น ( $\rho AV$ ) กิโลกรัมต่อวินาที ดังในรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 แสดงมวลของลม

และจากการทดลองเราสามารถนำมาเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$K_e = (1/2)(\rho AV)V^2 \quad \text{จูลต่อวินาที}$$

กำหนดให้ ( $P$ ) เป็นกำลังงานและเท่ากับกำลังงานต่อหน่วยเวลา

$$P = K_e = (1/2) \rho AV^3 \quad \text{วัตต์}$$

พลังงานที่ได้จากลมทั้งหมดบางส่วนจะถูกกั้นเอาไว้เมื่อผ่านเครื่องกลทางลม และมีการใช้หน่วยที่แตกต่างกัน ซึ่งอาจเขียนสมการได้ดังนี้

$$P = KAV^3 \quad \text{วัตต์}$$

โดยที่  $K$  เป็นค่าคงที่ ซึ่งจะแตกต่างกันในแต่ละหน่วยที่ใช้ และค่าความหนาแน่นของอากาศและเสียง 1.290 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

กำลังงาน (P)	พื้นที่ (A)	ความเร็วลม (V)	ค่า K
กิโลวัตต์	ตารางฟุต	นอต	0.0000081
กิโลวัตต์	ตารางเมตร	กิโลเมตรต่อชั่วโมง	0.0000137
กิโลวัตต์	ตารางเมตร	เมตรต่อวินาที	0.0006450
วัตต์	ตารางเมตร	เมตรต่อวินาที	0.6450000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางเปรียบเทียบความเร็วลม (นอต) เป็นกิโลเมตรต่อชั่วโมง

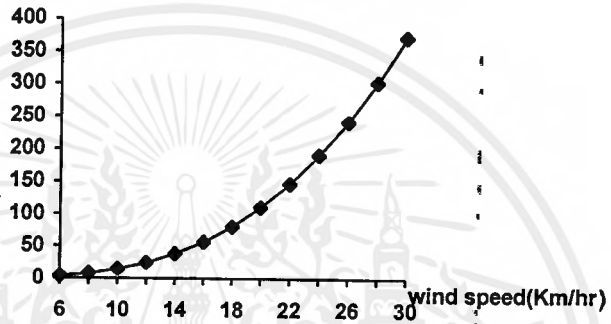
ความเร็ว (นอต)	ความเร็วลม (ก.ม./ช.ม.)									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	0	1.9	3.7	5.6	7.4	9.3	9.3	13.0	14.8	16.7
10	18.5	20.4	22.2	24.1	25.9	27.8	29.6	31.5	33.4	35.3
20	37.1	38.9	40.8	42.6	44.5	46.3	48.2	50.0	51.9	53.8
30	55.6	57.4	59.3	61.1	63.0	64.9	66.7	68.6	70.4	72.3

ตารางแสดงกำลังงานที่ได้จากความเร็วลม (กิโลเมตรต่อชั่วโมง) ที่ความหนาแน่นมาตรฐาน

ความเร็วลม (ก.ม. / ช.ม.)	กำลังงานที่ได้ (วัตต์ต่อตารางเมตร)
6.00	2.96
8.00	7.02
10.00	13.72
12.00	23.70
14.00	37.64
16.00	56.19
18.00	80.00
20.00	109.74
22.00	146.06
24.00	189.63
26.00	241.10
28.00	301.12
30.00	370.37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Power ( watt/m<sup>2</sup> )



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

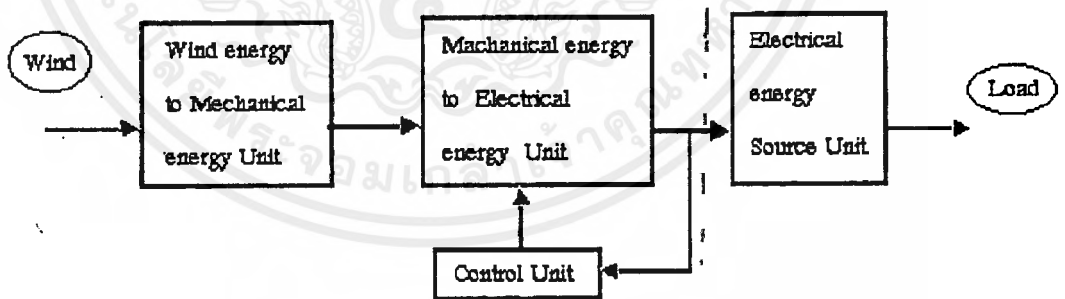
### ระบบการเปลี่ยนแปลงพลังงานลมเป็นพลังงานไฟฟ้า

#### 3.1 บทนำ

ระบบการเปลี่ยนพลังงานลมนั้นจะมีคุณลักษณะสมบัติขึ้นอยู่กับธรรมชาติของลม ซึ่งเป็นแหล่งพลังงานของระบบ และขึ้นอยู่กับพื้นที่รับลม รวมทั้งความเร็วลมด้วย

ในการเปลี่ยนพลังงานลมให้เป็นพลังงานไฟฟ้า เราสามารถที่จะทำได้โดยการเปลี่ยนพลังงานลมให้เป็นพลังงานกลเสียก่อน โดยใช้เครื่องกลทางลมที่เรียกว่า “กังหันลม” แล้วจากนั้นค่อยเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้าอีกที โดยใช้เครื่องกำเนิดกระแสไฟฟ้า ในบทนี้เราจะได้อธิบายถึงระบบการเปลี่ยนพลังงานลมให้เป็นพลังงานไฟฟ้า รวมถึงส่วนประกอบและวิธีการออกแบบเบื้องต้นอย่างคร่าวๆ

#### 3.2 หลักการของระบบ



รูปที่ 3.1 ระบบการเปลี่ยนพลังงานลมให้เป็นพลังงานไฟฟ้า

หลักการของระบบก็คือ เราจะใช้กังหันลมเป็นตัวเปลี่ยนพลังงานลมเป็นพลังงานกลแล้วก็นำพลังงานกลที่ได้นี้ไปเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้า โดยเอาพลังงานกลที่ได้ไปขับเครื่องกำเนิดกระแส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไฟฟ้า ซึ่งพลังงานไฟฟ้าที่ได้ออกมาจะมีการควบคุมแรงดันให้คงที่อยู่ที่ตลอดเวลา และเนื่องจากลมนั้นไม่มีความต่อเนื่องดังนั้นพลังงานไฟฟ้าที่ได้จึงมีความไม่ต่อเนื่องด้วย ฉะนั้นจะไม่สามารถนำพลังงานไฟฟ้าที่ได้นี้ไปใช้ได้โดยตรง ดังนั้นจะต้องมีส่วนที่ใช้เก็บพลังงานไฟฟ้าไว้ก่อนแล้วค่อยนำไฟฟ้าที่ได้ไปใช้งานต่อไป ระบบการเปลี่ยนพลังงานลมให้เป็นพลังงานไฟฟ้าได้แสดงไว้ในรูปที่ 3.1

### 3.3 ส่วนประกอบของระบบ

ระบบที่ใช้ในการเปลี่ยนพลังงานลมให้เป็นพลังงานไฟฟ้า เราสามารถที่จะแยกเป็นส่วนประกอบได้ดังนี้คือ

- ส่วนเปลี่ยนพลังงานลมให้เป็นพลังงานกล
- ส่วนเปลี่ยนพลังงานกลให้เป็นพลังงานไฟฟ้า
- ส่วนควบคุมระบบ
- ส่วนเก็บพลังงาน

1. ส่วนเปลี่ยนพลังงานลมให้เป็นพลังงานกล ส่วนประกอบนี้คือ กังหันลม ซึ่งกังหันลมนี้เมื่อมีลมพัดผ่านตัวมันจะทำให้ตัวมันนั้นหมุนซึ่งเป็นพลังงานกลที่สามารถนำไปใช้งานได้ กำลังงานที่ได้จากกังหันลมจะขึ้นอยู่กับความเร็วลม ประสิทธิภาพของกังหันลม และขนาดของกังหันลม ซึ่งจากที่กล่าวไว้ในบทที่ 2 กังหันจะมีความสามารถถ่ายทอค์พลังงานจากลมได้สูงสุดเท่ากับร้อยละ 59.3 ของพลังงานลมทั้งหมดที่พัดผ่าน กังหันลมจะถือว่าเป็นหัวใจหลักของระบบ ฉะนั้นกังหันลมจะต้องมีขนาดที่เหมาะสม และจะต้องมีความแข็งแรง มีอายุการใช้งานยาวนาน และมีการบำรุงรักษาที่ดี กังหันลมนั้นจะต้องมีความสามารถที่จะรับกระแสลมที่แรงอย่างพายุได้ หรือมีระบบป้องกันเมื่อมีลมพายุ

2. ส่วนเปลี่ยนพลังงานกลให้เป็นพลังงานไฟฟ้า ส่วนนี้จะรับพลังงานกลจากกังหันลมซึ่งจะใช้เครื่องกำเนิดกระแสไฟฟ้า โดยอาจจะเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง หรือเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ ซึ่งเครื่องกำเนิดไฟฟ้านั้นจะต้องเลือกให้เหมาะสมกับกังหันลม ถ้าเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ จะต้องทำการเปลี่ยนให้เป็นไฟกระแสตรง หรือถ้านำเอากระแสสลับไปใช้โดยตรง จะต้องมิกังหันลมแบบที่ให้ความเร็วคงที่เพื่อให้ได้แรงดันที่มีความถี่คงที่ แต่ถ้าเมื่อความเร็วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าต่ำกว่าที่จะสามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้ระบบนี้จะต้องทำการตัดการทำงานของมันออกไป ดังนั้นควรจะใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง หรือมีการแปลงกระแสสลับให้เป็นกระแสตรง

3 ส่วนควบคุมระบบ ส่วนนี้จะทำหน้าที่เป็นตัวควบคุมระบบการทำงานทั้งหมด โดยจะทำหน้าที่เป็นตัวต่อเครื่องกำเนิดกระแสไฟฟ้าเมื่อความเร็วถึงรอบที่ที่ต้องการ ควบคุมแรงดันไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดกระแสไฟฟ้า และป้องกันกระแสไหลย้อนจากส่วนเก็บพลังงาน ส่วนควบคุมนี้เราอาจแบ่งได้เป็นแบบใช้คนอย่างเดียว แบบใช้คนร่วมกับเครื่องควบคุมทางอิเล็กทรอนิกส์ หรือแบบอัตโนมัติซึ่งจะใช้วงจรทางอิเล็กทรอนิกส์ ใช้ไมโครโปรเซสเซอร์ หรือใช้ไมโครคอมพิวเตอร์

4 ส่วนเก็บพลังงาน แบตเตอรี่เป็นอุปกรณ์ที่เหมาะสมที่สุดที่จะใช้ในการเก็บพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากเครื่องกำเนิดกระแสไฟฟ้า โดยแบตเตอรี่อาจจะถูกต่ออยู่ในรูปวงจรถนายนาน หรืออนุกรม ขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งาน จำนวนของแบตเตอรี่จะขึ้นอยู่กับกิโลวัตต์-ชั่วโมงที่ต้องการและความจุของแบตเตอรี่เอง ขนาดของแบตเตอรี่นั้นจะมีขนาดตั้งแต่ประมาณ 10 - 8000 แอมป์ต่อชั่วโมง สำหรับอุปกรณ์เก็บพลังงานอย่างอื่นก็อย่างเช่น แบบฟูลวิล แบบฟูเอลเซลล์ เป็นต้น

### 3.4 การออกแบบระบบ

เพื่อให้ระบบมีการทำงานที่ดี มีประสิทธิภาพให้สูงสุด เราจะต้องมีการออกแบบให้ส่วนต่างๆในระบบมีความเหมาะสมซึ่งกันและกัน การออกแบบขั้นพื้นฐานนั้นเราอาจจะปฏิบัติตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. กำหนดหรือหาค่าพลังงานที่ต้องการ
  2. หาพลังงานที่ใช้
  3. หาโครงสร้างและขนาดของกังหันลมที่ต้องการ เพื่อให้ได้กำลังงานที่ต้องการจากพลังงานที่มีอยู่
  4. ออกแบบส่วนประกอบของกังหันลมให้ได้ตามหลักกลศาสตร์ที่เหมาะสม
- สำหรับขั้นตอนในการออกแบบระบบนั้น เราอาจจะปฏิบัติได้ดังนี้

1. เลือกชนิดของกังหันและขนาดของมันที่ซึ่งเรามีความสามารถที่จะสร้างได้
2. สมมติ ประมาณ หรือหาความเร็วลมในการออกเก็บ
3. ออกแบบส่วนประกอบของกังหันให้ได้ตามหลักกลศาสตร์ที่เหมาะสม

#### 3.4.1 กำลังงานที่ต้องการ

ในที่นี้เราจะกล่าวถึงกำลังไฟฟ้า สำหรับกำลังไฟฟ้าที่ต้องการนี้จะพิจารณาเป็นสองทาง อันแรกก็คือต้องการพลังงานมากเท่าใด และอีกทางก็คือต้องการใช้นานเท่าใด ซึ่งทั้งสองนี้มีความสำคัญเท่าๆกัน

- ปริมาณของกำลังงานไฟฟ้าที่ต้องการก็คือ ภาระที่ต้องจ่าย โดยเราจะทราบได้จากโหลดของระบบรวมทั้งการสูญเสียในระบบ

- ระยะเวลาการจ่ายกำลังงานคือ เวลาที่ระบบจะต้องจ่ายกำลังงานไฟฟ้าให้กับโหลด

### 3.4.2 พลังงานที่ใช้งาน

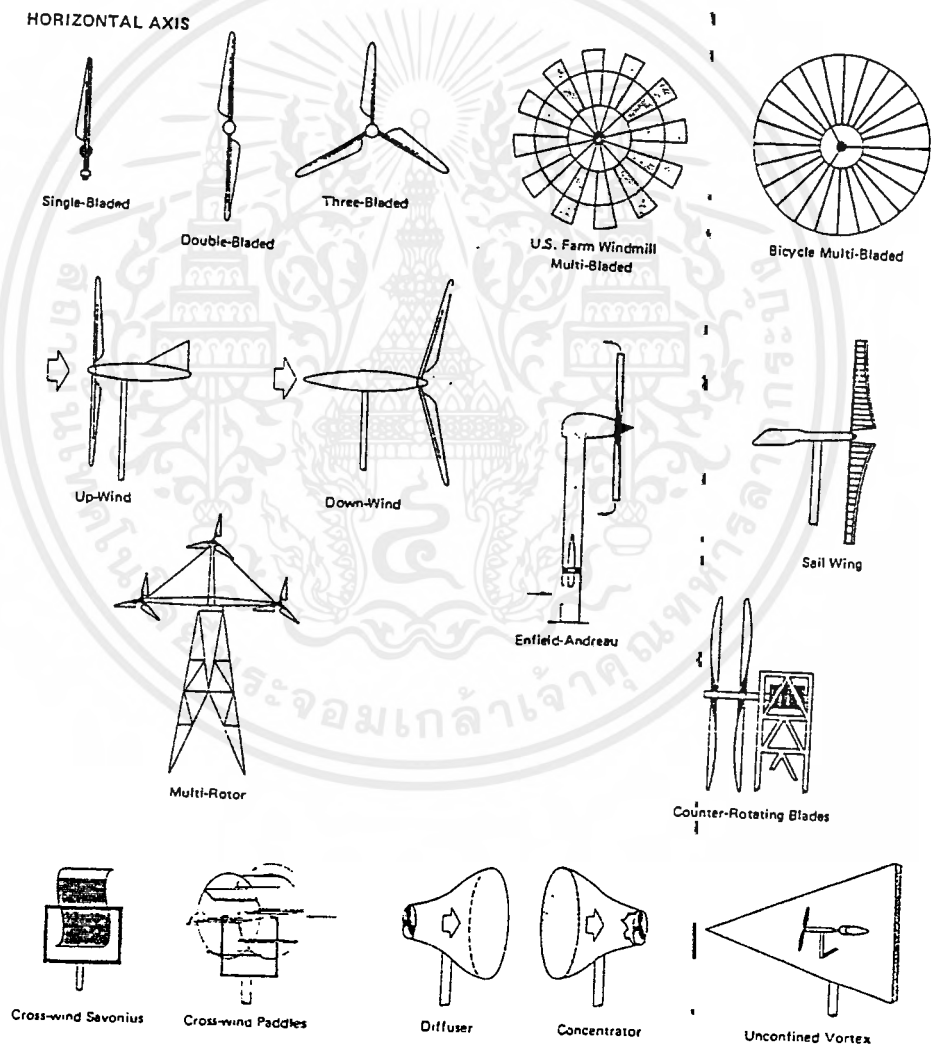
เราจะต้องทำการหาความเร็วลมเฉลี่ยและขนาดของกังหันแล้วนำไปหาพลังงานลมที่จะสามารถเกิดขึ้นได้ โดยคำนวณได้จากสูตรในหัวข้อที่ 2.4 ในบทที่ 2 นั้นเลือกขนาดของกังหันที่จะทำให้ได้กำลังงานตามข้อ ก. รวมทั้งชนิดของกังหันด้วย



## บทที่ 4 กังหันลม

### 4.1 บทนำ

กังหันลมที่มนุษย์ประดิษฐ์ขึ้นมีหลายชนิด ซึ่งแตกต่างกันไปแต่ละชนิด มีข้อดีข้อเสีย และความเหมาะสมกับงานอย่างใดอย่างหนึ่งเท่านั้น ดังนั้น การจะเลือกเอากังหันแบบใดมาใช้ ต้องพิจารณาถึงความเหมาะสมด้วย กังหันแบบต่างๆสามารถยกตัวอย่างได้ดังนี้



รูปที่ 4.1ก. กังหันแบบแกนนอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

VERTICAL AXIS

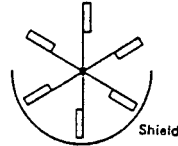
PRIMARYLY DRAG-TYPE



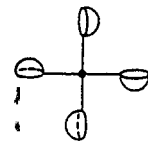
Savonius



Multi-Bladed Savonius

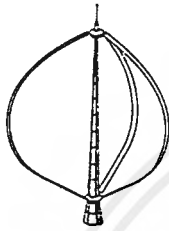


Plates

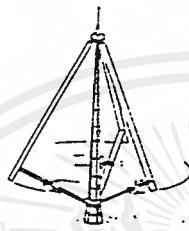


Cupped

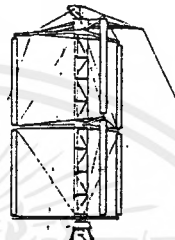
PRIMARYLY LIFT-TYPE



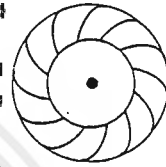
φ-Darrieus



Δ-Darrieus

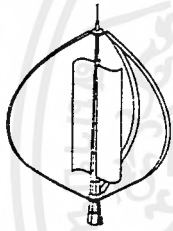


Giromill



Turbine

COMBINATIONS



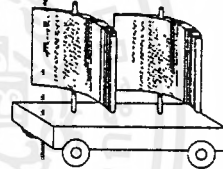
Savonius/φ-Darrieus



Split Savonius



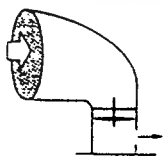
Magnus



Airfoil

รูปที่ 4.1ข. กังหันแบบแกนตั้ง

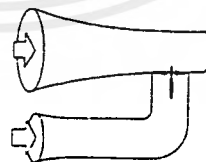
OTHERS



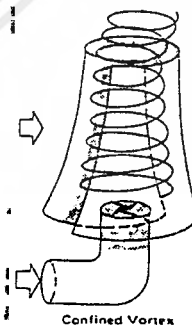
Deflector



Sunlight



Venturi



Confined Vortex

รูปที่ 4.1ค. กังหันแบบอื่นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



#### 4.2 ประเภทของกังหัน

การแบ่งประเภทของกังหันลมสามารถแบ่งได้ 2 วิธีคือ

1) แบ่งตามลักษณะการวางตัวของแกนหมุน มีแกนนอน และแกนตั้ง

1.1 แบบแกนนอน คือ กังหันลมที่มีแกนหมุนขนานกับทิศทางของกระแสลม เช่น แบบดัตช์ (Dutch), แบบล้อจักรยาน(Bicycle),แบบอเมริกัน มัลติใบพัด (American multiblade) และ แบบ โพรเพลเลอร์(Propeller).

1.2 แบบแกนตั้ง คือ กังหันที่มีแกนหมุนตั้งฉากกับทิศทางของกระแสลม และตั้งฉากกับพื้นโลก เช่น แบบ ดาเรียส (Darrieus) , ซาโวเนียส (Savonius)

2) แบ่งตามลักษณะแรงขับที่กระแสลม กระทำต่อไปกังหัน

2.1 การขับด้วยแรงยก (Lift Force) เช่น แบบ โพรเพลเลอร์, ดาเรียส

2.2 การขับด้วยแรงหน่วง (Drag Force) เช่น แบบ ซาโวเนียส

การแบ่งประเภทตามข้อ 1 เป็นวิธีที่เด่นชัด เข้าใจง่าย จึงนิยมนำมาใช้มากกว่าแบบที่ 2 ซึ่งต้องพิจารณาความรู้เกี่ยวกับ อากาศพลศาสตร์ (Aerodynamics) ประกอบด้วย ต่อไปจะขอกล่าวถึงกังหันลมประเภทต่างๆ

##### 4.2.1 กังหันแบบแกนนอน

จากทิศทางของลมซึ่งขนานกับแกนหมุน การหมุนของมันจะเกิดขึ้นได้ จากการรับลม 2 แบบ คือ รับลมด้านหน้า (up-wind) และรับลมด้านหลัง (down-wind) สังเกตได้จากในรูปที่ 4.1ก

1.1) กังหันแบบล้อแพน ลักษณะคล้ายแบบที่ใช้กันทั่วไป ตามนาเกลือซึ่งเป็นแบบแรก เริ่มใช้ในแถบเปอร์เซีย และแพร่หลายไปในพื้นที่ต่างๆ จะนำมาใช้ในการวิดน้ำ เนื่องจากเป็นกังหันรอบต่ำ มีแรงบิดสูง ปัจจุบันยังมีใช้อยู่

1.2) กังหันแบบดัตช์ (Dutch windmills) ได้รับกรรขอกแบบ และสร้างขึ้นจากชาวดัตช์ ในช่วงคริสต์ศตวรรษที่ 14 ใช้วิดน้ำออกจากพื้นที่ที่เกิดน้ำท่วม บริเวณริมแม่น้ำ และยังแยกชนิดตามลักษณะของใบได้อีก

ในศตวรรษที่ 19 ประเมินว่ามีกังหันใช้กันอยู่ 9000 ตัว แต่เมื่อมีการปฏิวัติอุตสาหกรรม มีการใช้ไอน้ำ และเทคโนโลยีมากขึ้นจำนวนกังหันจึงลดลง



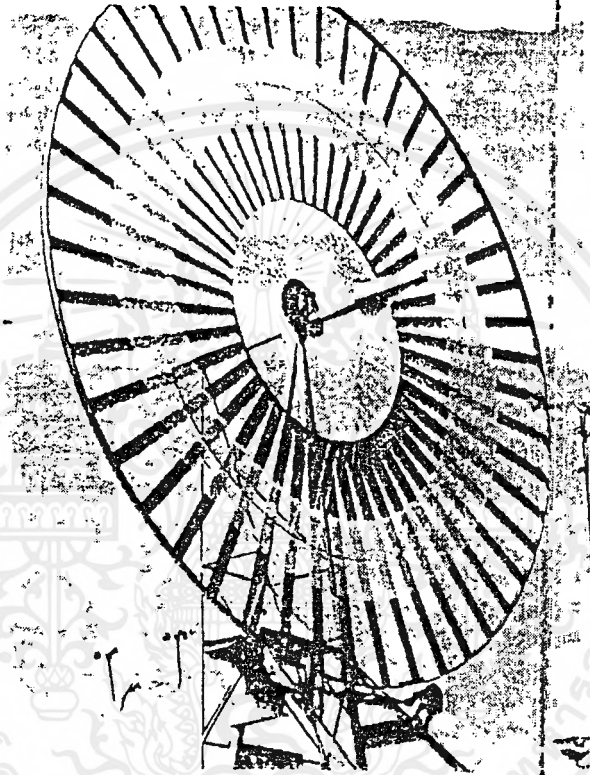
รูปที่ 4.2 กังหันลมแบบดัตช์

1.3) กังหันลมแบบล้อจักรยาน (Bicycle rotor , Chalk rotator) เป็นใบพัดแกนนอนมีจำนวน

ใบมากลักษณะใบ เป็นอลูมิเนียมแผ่นเล็กวางใกล้กัน อาจถึง 50ใบ น้ำหนักเบา เป็นใบพัดรอบต่ำ ส่งกำลัง โดยสายพาน ในการนำมาใช้ผลิตกระแสไฟฟ้า จะใช้สายพานส่งกำลังจากวงนอกของใบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

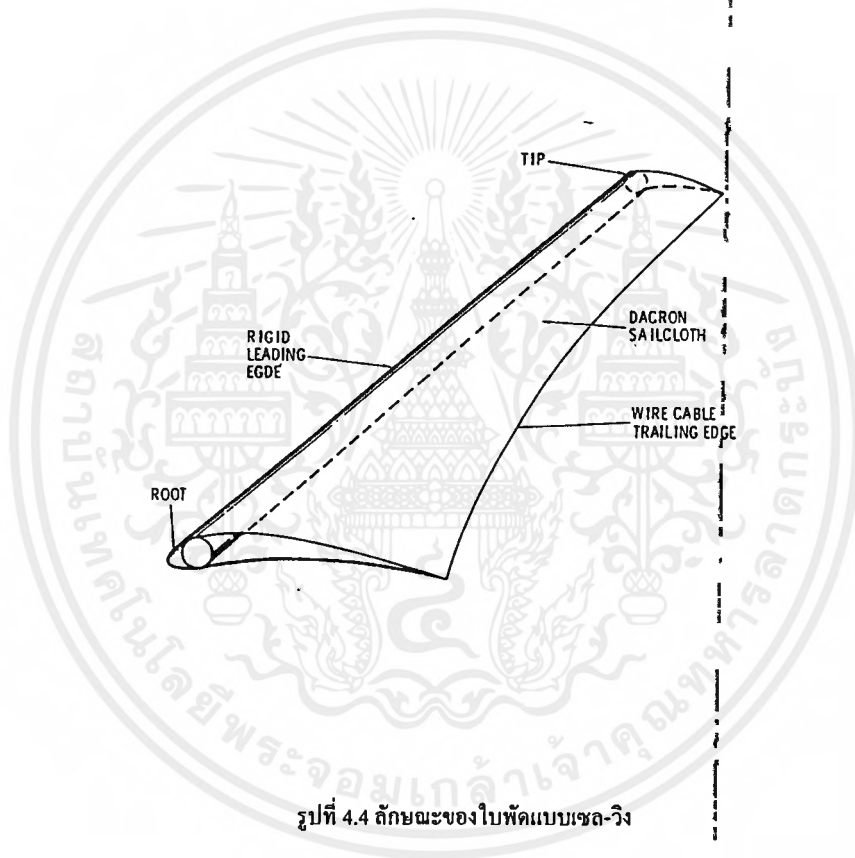
พัด ไปยังมุมล์ของเครื่องกำเนิดเพื่อเป็นการเพิ่มความเร็วรอบให้สูงขึ้นแต่ถ้าเป็นระบบที่พิกัดเอาพุดสูงๆ กังหันแบบนี้จะไม่เหมาะ เนื่องจากรอบต่ำ



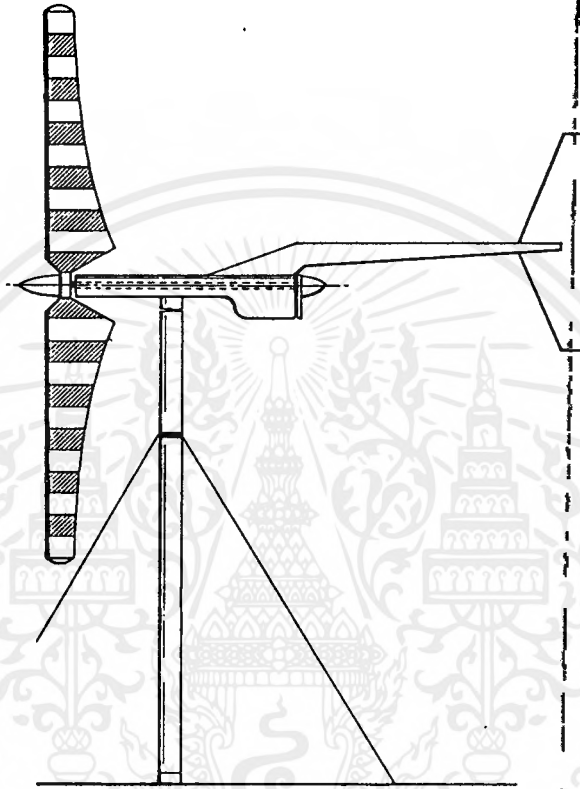
รูปที่ 4.3 กังหันแบบล้อจักรฮาน

1.4) กังหันแบบเซลวิง (Sail-wing or PRINCETON-sail) เป็นกังหันแกนนอนที่พัฒนาขึ้นโดยมหาวิทยาลัย PRINCETON ซึ่งประยุกต์มาจากใบของเรือ ลักษณะของใบเป็นไปตามรูปที่ 4.5 ซึ่งประกอบด้วยท่อโลหะเป็นแกนของใบ และเป็นด้านขอบนำในการหมุน ผิวใบเป็นผ้าไหมชนิดหนึ่ง มีลักษณะยืดหยุ่น ทางด้านขอบหลังจะใช้เคเบิลซึ่ง ใบพัดแบบนี้มีประสิทธิภาพในเกณฑ์ดี ราคาไม่แพง สร้างง่าย น้ำหนักเบา กว่า แบบที่ทำด้วยไฟเบอร์กลาสถึง 50% มีการออกแบบตามหลักอากาศพลศาสตร์ เพื่อให้เกิดอัตราส่วนของ แรงยกต่อแรงหน่วง ( $L/D$ ) สูง ขนาดของเซล-วิง

(Sail-wing) จะจำกัดแค่ 30 ฟุต ( เส้นผ่าศูนย์กลาง ) เนื่องมาจากความแข็งแรงของใบพัด ดังรูปที่ 4.5 เป็นลักษณะของเซล-วิง ของมหาวิทยาลัย PRINCETON เพื่อใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้า

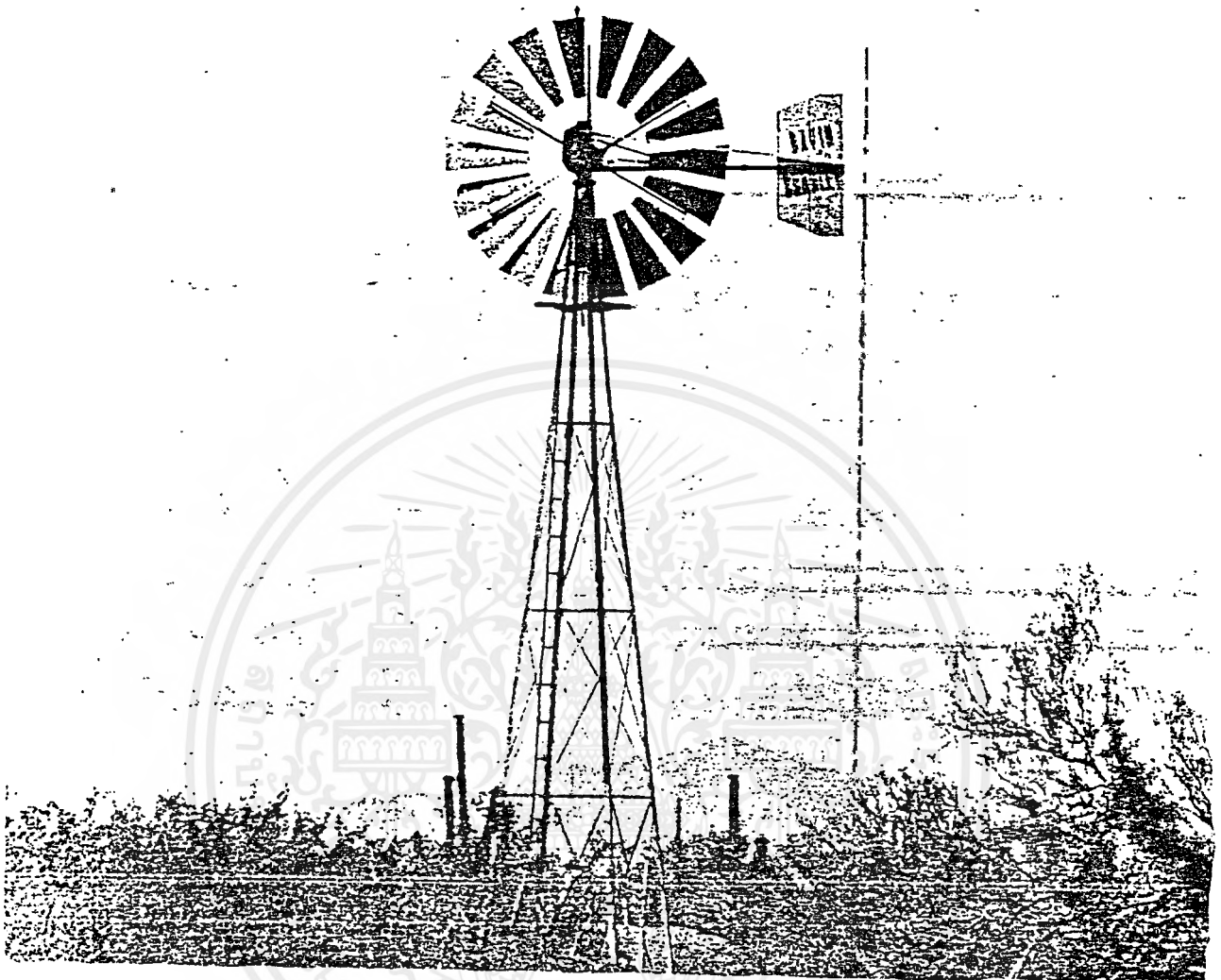


รูปที่ 4.4 ลักษณะของใบพัดแบบเซล-วิง



รูปที่ 4.5 กังหันลมแบบพริ้นซ์ตัน เซล-วิจ

1.5) กังหันแบบอเมริกันมัลติเบลด เริ่มใช้ตั้งแต่ช่วงคริสต์ทศวรรษ 1850 มีการใช้กังหันลม มาสูบน้ำ ในช่วงแรกใช้ใบเป็นไม้แบนๆ ต่อมาได้พัฒนาทำเป็นโลหะมีการโค้งงอ เป็นการช่วย สร้างแรงยก และเพิ่มประสิทธิภาพในการแปลงพลังงานส่งถ่ายไปยังเพลลา ในการสูบน้ำต้องการ แรงบิดเริ่มหมุนสูง เพราะต้องเริ่มหมุน และดึงน้ำขึ้นมาในเวลาเดียวกัน การที่จะได้แรงบิดสูงที่ รอบต่ำ ต้องมีพื้นที่หน้าใบมาก และเป็นลักษณะที่ให้แรงยกสูง ใบพัดชนิดนี้มีพื้นที่ใบรวม เกือบ เท่าด้านหน้าของมัน ( sweep area ) การวางใบแบบนี้เรียกว่า “แคสเคด” ( cascade ) ซึ่งมีผลดีทำ ให้ใบพัดอันถัดไปที่จะหมุนได้รับอิทธิพลของลม ที่มาจากใบที่อยู่ก่อนหน้านี้ เป็นตัวหลัก



รูปที่ 4.6 ส่วนประกอบของกังหันอเมริกัน-มัลติเบลด

การหาวิธีหยุดหรือ shut down ของระบบมีความจำเป็นมากกรณีที่มีพายุหรือลมแรงจัด เนื่องจากพื้นที่รับลมมีมาก ทำให้เกิดโหลดต่อเพลลา และเสามาก ใบพัดชนิดนี้ทำงานที่ tip speed ratio(TSR) = 1 ประสิทธิภาพประมาณ 30%

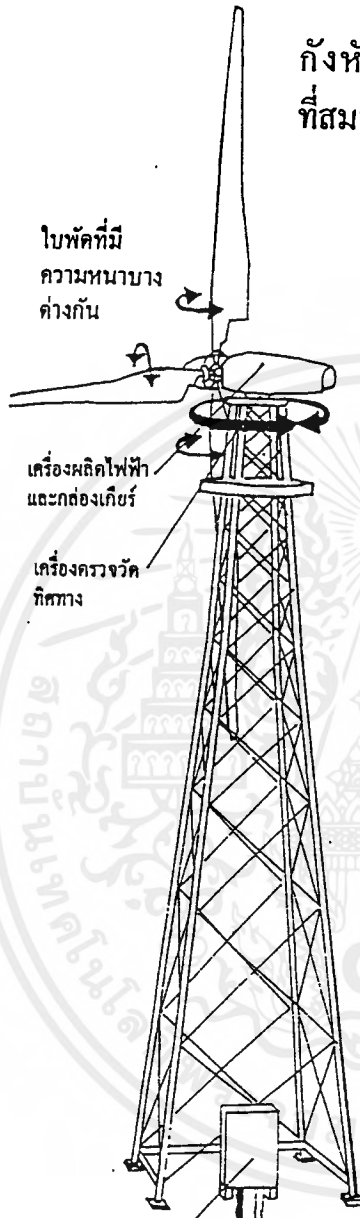
- ข้อดี
- 1) แรงบิดเริ่มต้นสูง
  - 2) ออกแบบและสร้างง่าย
  - 3) ระบบควบคุมทำได้ง่าย
  - 4) มีความคงทน

- ข้อเสีย 1) ไม่สามารถดัดแปลงใช้กับโหลดที่ต้องการรอบสูงได้  
2) ทำให้เกิดแรงหน่วงแก่เสามาก

1.6) กังหันแบบโพรเพลเลอร์ เป็นกังหันรอบสูง มีความแข็งแรงคงทนน้อยกว่าแบบ มัลติ-เบลค ปกติจะมี 2-3 ใบ หรืออย่างมาก 4 ใบ เริ่มทำงานที่  $TSR = 5$  จนถึงประมาณ 20 โดยทั่วไปมักใช้งานที่ 5-10 กังหันชนิดนี้เหมาะที่จะนำมาใช้ผลิตกระแสไฟฟ้า เพราะรอบสูง สามารถใช้การทอดอัตราต่ำๆ เพื่อขับเคลื่อนกำเนิดไฟฟ้าได้ กังหันลมที่ใช้อยู่ในประเทศไทยแถบจังหวัด ฉะเชิงเทรา ก็จัดเป็นกังหันชนิด โพรเพลเลอร์ ด้วย



### กึ่งहनลมรุ่นใหม่ ที่สมบูรณ์แบบกว่า



ใบพัดที่มี  
ความหนาบาง  
ต่างกัน

เครื่องผลิตไฟฟ้า  
และกล่องเกียร์

เครื่องควรวัด  
ทิศทาง

ระบบควบคุม  
อิเล็กทรอนิกส์

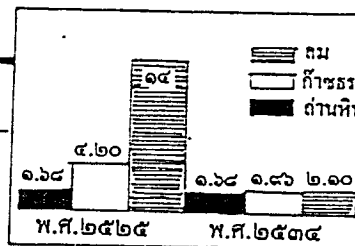
**ต้นทุนการผลิต**  
(ราคาเฉลี่ย : บาทต่อ  
กิโลวัตต์ชั่วโมง)

ใบพัดแบบใหม่ ที่ออกแบบ  
ด้วยวิธีแอโรไดนามิกและใช้วัสดุ  
ที่มีน้ำหนักเบา จะช่วยเพิ่มประ-  
สิทธิภาพกำลังผลิต

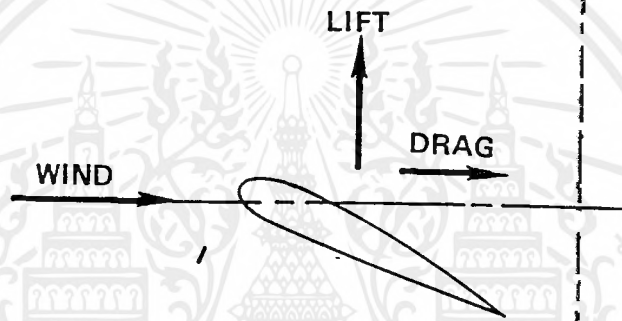
เครื่องมือตรวจวัดทิศทาง  
ลม หากเปลี่ยนไปเพียง ๑๕  
องศา กังหันจะสายตามหันที่

ระบบควบคุมที่ปรับปรุง  
ใหม่ ระบบควบคุมอิเล็กทรอนิกส์  
จะช่วยให้กังหันผลิตไฟฟ้า  
ได้สม่ำเสมอ และป้องกันการ  
ชำรุดเสียหายอันเกิดจากแรงลม  
กรรโชก

คอมพิวเตอร์ควบคุม จะ  
ควบคุมระบบการทำงานของ  
กังหันแต่ละตัวที่ทั้งกังหันลม



การออกแบบกังหันรอบสูงนี้ยุ่งยากมากกว่ากังหันรอบต่ำ เพราะต้องพิจารณาในเรื่องของหลักอากาศพลศาสตร์ ของใบพัด ซึ่งทางผู้ผลิตสามารถออกแบบ พื้นที่หน้าตัดใบได้เป็นอย่างดี ทำให้มีประสิทธิภาพสูงถึง 40-45%



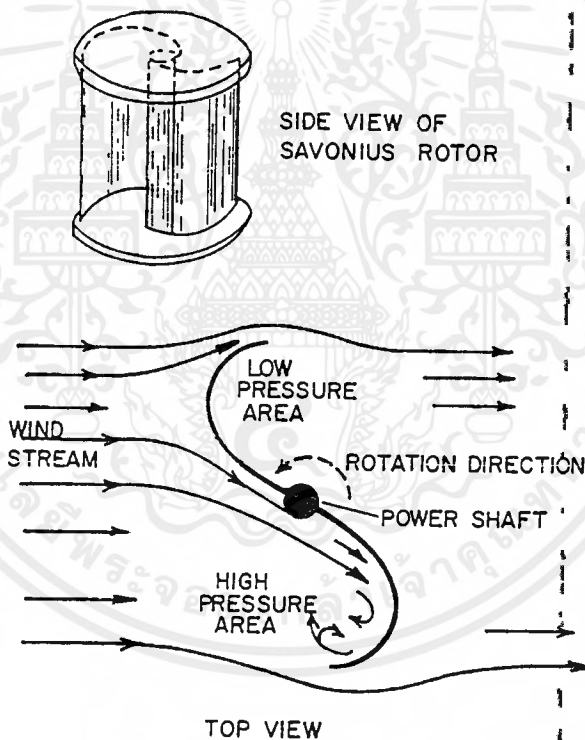
รูปที่ 4.8 การเกิดแรงยกและแรงหน่วงของใบ

แรงยกที่เกิดขึ้นจากมุมเอียงที่ถูกต้อง ซึ่งสัมพันธ์กับทิศทางของลมด้วย

- ข้อดี
- 1) ใบพัดมีลักษณะเรียวบาง ทำให้ใช้วัสดุน้อย
  - 2) รอบสูง
  - 3) โหลดที่เกิดขึ้นบนเสามีน้อย เนื่องจากพื้นที่รับลมมีน้อยกว่า
  - 4) สามารถเพิ่มกำลังที่ออกมาได้ โดยการเพิ่มขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางได้
- ข้อเสีย
- 1) มีแรงบิดเริ่มหมุนต่ำ
  - 2) การออกแบบใบต้องใช้หลักอากาศพลศาสตร์ และใช้ความละเอียดอ่อนมาก
  - 3) เกิดการกระพือ ( flutter ) และสั่นสะเทือนจากการหมุน
  - 4) ระบบควบคุมยุ่งยากมากกว่าใบพัดแบบรอบต่ำ

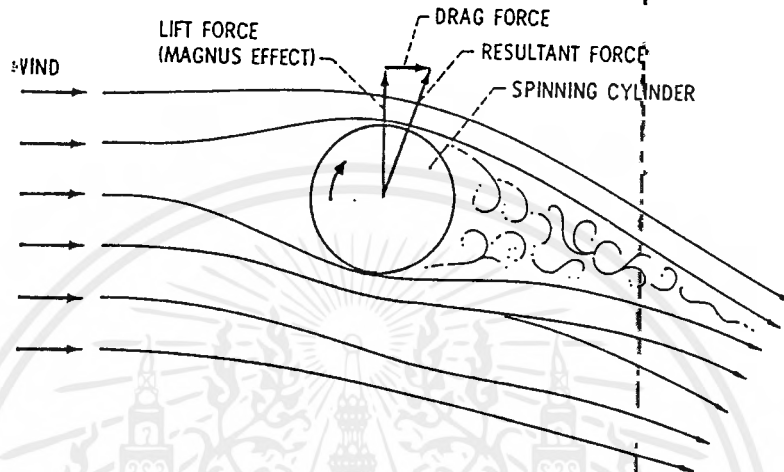
#### 4.2.2 กังหันลมแบบแกนตั้ง

2.1) แบบ ซาโวเนียส (savonius) ซาโวเนียส โรเตอร์ หรือ s-rotor ลักษณะภายนอกคล้ายถังน้ำมันที่ถูกผ่าซีกเป็น 2 ส่วน แล้วนำมาติดตั้งแยกกัน ซึ่งถูกประดิษฐ์ขึ้นโดย Sigurd J.Savonius ชาวฟินแลนด์ เมื่อปี ค.ศ. 1920 ซึ่งได้ความคิดมาจากการเล่นเรือใบ ซาโวเนียส เป็นโรเตอร์ชนิดแรงโน้มถ่วง แรงโน้มถ่วงที่เกิดขึ้นที่ใบกังหัน เป็นตัวทำให้เกิดการหมุนของเพลลา ความเร็วในการหมุนจะเพิ่มขึ้นจากด้านหนึ่งของใบพัด และจะถูกดูดด้านไปส่วนหนึ่ง จากใบพัดอีกด้านหนึ่ง



รูปที่ 4.9 ซาโวเนียส , เอส-โรเตอร์

ปัญหาที่เกิดขึ้นกับ s-rotor คือ magnus effect ซึ่งเป็นผลมาจากการหมุนของโรเตอร์ ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ในทิศทางตั้งฉากกับทิศทางลม และเป็นส่วนที่ทำให้เกิดความเสียหายขึ้นในกังหันซาโวเนียส หากผู้ออกแบบมองข้ามไป

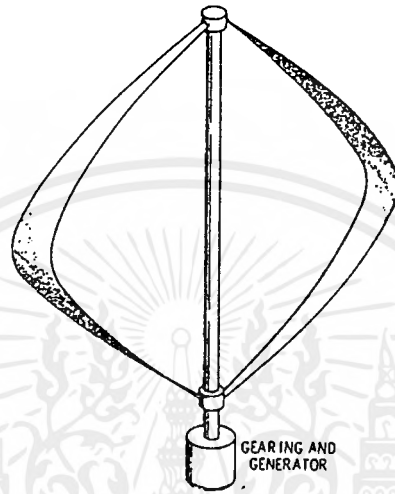


รูปที่ 4.10 การเกิดผลของการหมุน

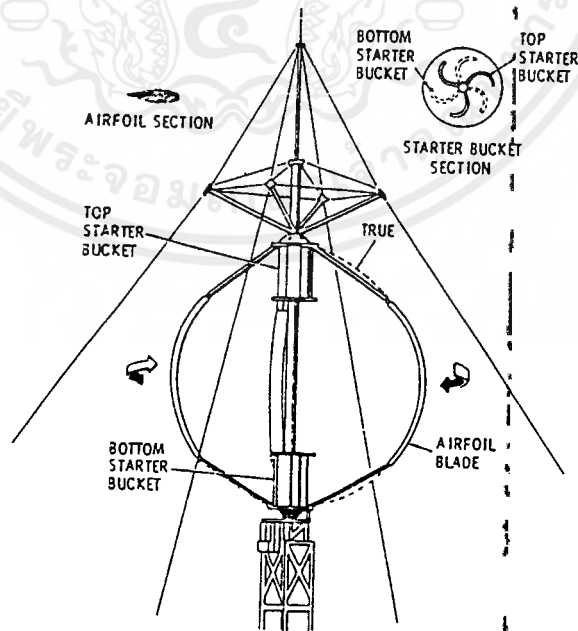
กังหันชาโวเนียสมิมีประสิทธิภาพประมาณ 25% หากนำไปใช้สูบน้ำ ประสิทธิภาพรวมจะเหลือ 15% ทำงานที่ tip speed ratio = 0.8-1 ที่ประสิทธิภาพสูงสุด

- ข้อดี
- 1) สร้างง่าย ทำได้ด้วยตัวเอง
  - 2) แรงบิดเริ่มหมุนสูง สามารถเริ่มหมุนที่โหลดหนักๆ ได้
  - 3) รับลมได้ทุกทิศทาง
- ข้อเสีย
- 1) ควบคุมให้รอบคงที่ทำได้ยาก
  - 2) ไม่เหมาะกับโหลดที่ต้องการรอบสูง
  - 3) ประสิทธิภาพค่อนข้างต่ำ

2.2) กังหันแบบดาเรียส ( Darieus ) หลังจากเกิดกังหันชาโวเนียส วิศวกรชาวฝรั่งเศส ชื่อ G.J.M. Darieus ก็ได้ประดิษฐ์กังหันลมแกนตั้ง อีกชนิดหนึ่งขึ้นมา เรียกว่า "ดาเรียส" กังหันดาเรียสยังชื่อเรียกต่างกันไปอีกตามลักษณะ เช่น ใบลักษณะโค้ง ( egg-beater ) หรือแบบใบตรง (straight-blade )



รูปที่ 4.11ก. กังหัน คาเรียส



รูปที่ 4.11ข. กังหันลมแบบคาเรียสผสมซาโวนีซ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ทั้งกังหันคาเรียส และซาโวเนียส ต่างก็เป็นแบบแกนตั้ง แต่ข้อแตกต่างที่เห็นได้ชัดก็คือ ซาโวเนียสเป็นกังหันที่ทำงานแบบหมุนง ( Drag ) ในขณะที่ คาเรียสจะทำงานแบบด้วยแรงยก ( Lift )

แรงยกของคาเรียสจะถูกสร้างขึ้นทุกๆจุดในการเคลื่อนที่เป็นวงกลมของใบพัด ส่วนซาโวเนียสกำลังที่ได้จะถูกสร้างขึ้นจากลมด้านหลัง ที่พัดเข้ามาหาใบ ทำให้ใบข้างหนึ่งถูกผลักให้หมุนไปตามลม ขณะเดียวกันใบอีกด้านหนึ่งก็หมุนสวนลมขึ้นมา ซึ่งเป็นการต้านกำลังที่เกิดขึ้น จะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพของ คาเรียสย่อมสูงกว่า

- ข้อดี
- 1) เนื่องจากเป็นแกนตั้ง จึงไม่มีส่วนบังคับทิศทางให้หันหาลม
  - 2) ระบบเฟืองทด และเครื่องกำเนิด สามารถติดตั้งได้ที่พื้นดิน
  - 3) มีขนาดเล็ก สร้างได้ง่าย และประหยัด
  - 4) ใบมีลักษณะบาง ไม่เปลืองวัสดุ

- ข้อเสีย
- 1) แรงบิดเริ่มหมุนต่ำ
  - 2) ต้องมีอุปกรณ์ควบคุม และป้องกัน การเสียวการทรงตัวของโรเตอร์

## บทที่ 5

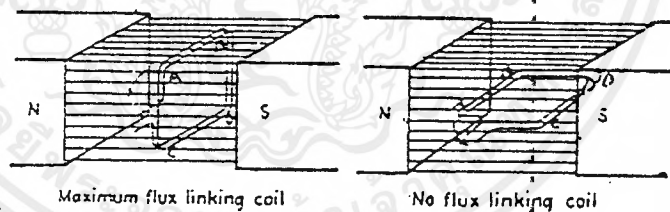
### เครื่องกำเนิดกระแสไฟฟ้า

#### 5.1 บทนำ

ในการผลิตพลังงานไฟฟ้าโดยอาศัยพลังงานลม นั้น จะต้องมีเครื่องกำเนิดกระแสไฟฟ้า เป็นตัวกำเนิดพลังงานไฟฟ้า ซึ่งในบทนี้จะกล่าวรายละเอียดต่างๆ ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ทั้ง กระแสตรง และกระแสสลับ ซึ่งจะประกอบไปด้วย โครงสร้างและส่วนประกอบ หลักการเกิดแรง เคลื่อนไฟฟ้าของเครื่องกำเนิด การทำงาน ตลอดจนการสูญเสียในเครื่องกำเนิด

#### 5.2 หลักการเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้า ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

การเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้านี้ จะเกิดจากการให้ตัวนำวิ่งผ่านสนามแม่เหล็ก ที่มีความเข้มคง ที่ค่าหนึ่ง ด้วยอัตราเร็ว นั่นคือ ทำให้เกิดอัตราการเปลี่ยนแปลง ของเส้นแรงแม่เหล็กต่อหน่วยเวลา ดังนั้นจึงทำให้เกิดการเหนี่ยวนำขึ้น ดังรูปที่ 5.1



รูปที่ 5.1 ขดลวดแบบธรรมดาที่หมุนในสนามแม่เหล็ก

ซึ่งแสดงถึงการนำเอาขดลวดหนึ่งให้วิ่งผ่านสนามแม่เหล็กถาวร โดยที่สนามแม่เหล็กนั้น สม่ำเสมอทุก ๆ จุด ดังรูปที่ 5.1(ก) เป็นตำแหน่งที่เส้นแรงแม่เหล็กที่มากล้องขดลวดมีค่าสูงสุด สำหรับรูปที่ 5.1(ข) นั้นเป็นตำแหน่งที่ไม่มีเส้นแรงแม่เหล็กมาคล้องขดลวด (no flux linking coil) ในรูปที่ 5.1(ก) นั้น เป็นตำแหน่งที่มีเส้นแรงแม่เหล็กมาคล้องขดลวดสูงสุด แต่ว่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดขึ้นกับขด ลวดนั้นมีค่าเท่ากับศูนย์ ทั้งนี้เพราะว่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของเส้นแรงแม่เหล็กที่มากล้องตัวนำ นั้นมีค่าเท่ากับศูนย์ หรือมีค่าต่ำสุด ฉะนั้นเมื่อระนาบของขดลวดตั้งฉากกับเส้นแรงแม่เหล็กก็จะ ทำให้เกิด การเหนี่ยวนำแรงเคลื่อนไฟฟ้ามีค่าต่ำสุด หรือ เท่ากับศูนย์ ส่วนรูปที่ 5.1(ข) นั้นเป็น เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ตำแหน่งที่มีการเหนี่ยวนำแรงเคลื่อนไฟฟ้าเกิดขึ้นสูงสุด เพราะมีอัตราการเปลี่ยนแปลงของเส้นแรงแม่เหล็กต่อหนึ่งหน่วยเวลาสูงสุดนั่นเอง

จากรูปที่ 5.1 เมื่อขดลวดเคลื่อนที่ที่วนเข็มนาฬิกาไป 1/4 รอบ ( จากตำแหน่งในรูป 5.1 ก ) ไปยังตำแหน่งในรูป 5.1 (ข) นั้น ทำให้เส้นแรงแม่เหล็กที่ไปคล้องขดลวด AB ลดลงเป็นศูนย์ เพราะฉะนั้นการเหนี่ยวนำแรงเคลื่อนไฟฟ้าเฉลี่ยในขดลวดช่วงนี้คือ

$$E_{av} = N \phi / t \quad \text{โวลท์}$$

เมื่อ N คือ จำนวนรอบของตัวนำในขดลวด

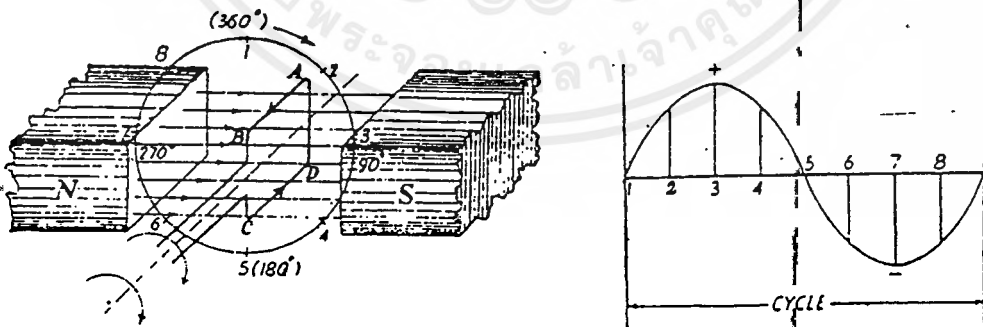
t คือ เวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ไป 1/4 รอบ นั่นคือ  $t = 1/4s$

S คือ จำนวนรอบต่อนาที ( rps.)

และแรงเคลื่อนไฟฟ้า e ที่เกิดขึ้นจากตัวนำยาว 1 เมตร วิ่งตัดผ่านสนามแม่เหล็กที่มีความหนาแน่น (B) เวเบอร์ต่อตารางเมตร ด้วยความเร็ว (V) เมตรต่อนาที คือ

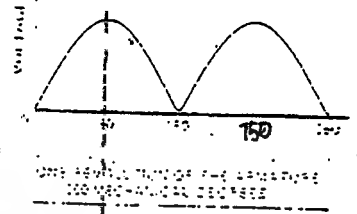
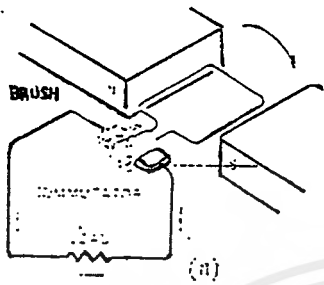
$$e = Blv \sin \theta \quad \text{โวลท์}$$

ฉะนั้นเมื่อตัวนำหมุนไปหนึ่งรอบ ทำให้เกิดการเหนี่ยวนำแรงเคลื่อนไฟฟ้า ที่เป็น ลบ และบวก ขึ้นในตัวมัน ก็จะเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ ดังรูปที่ 5.2



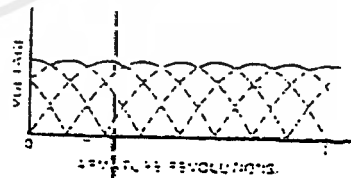
รูปที่ 5.2 การเหนี่ยวนำแรงเคลื่อนไฟฟ้า

หลักการเหนี่ยวนำแรงเคลื่อนไฟฟ้า ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง พิจารณารูปที่ 5.3 แสดงเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงอย่างง่าย



รูปที่ 5.3 แสดงเครื่องกำเนิดกระแสไฟฟ้าอย่างง่ายและแรงดันที่ได้

จากที่ได้กล่าวถึงหลักการเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดมาแล้ว จะเห็นว่าแรงดันที่ได้ออกมาเป็นกระแสสลับ ถ้าต้องการไฟกระแสตรงทำได้โดยใช้ปลอกทองเหลือง (slip ring) 1 วง แล้วผ่าซีกเป็น 2 ส่วน โดยให้ขดลวดตัวนำอยู่ในช่องวงแหวนผ่าซีกทั้งสองนั้นสลับกันไปมา ตลอดเวลา ที่มีการหมุนของตัวนำทั้งสอง ดังรูปที่ 5.3ก ส่วนรูปที่ 5.3ข นั้นเป็นรูปคลื่นที่ได้จากตัวนำทั้งสอง ที่เรียงกระแสแล้ว โดยผ่านวงแหวนผ่าซีก (commutator) ซึ่งกระแสตรงที่ได้ยังไม่ค่อยเรียบ ถ้าให้เรียบมากยิ่งขึ้น โดยการเพิ่มจำนวนตัวนำให้มากขึ้น ดังรูปที่ 5.4



รูปที่ 5.4 แสดงเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มีตัวนำหลายชุด และแรงดันที่ได้

ปริมาณแรงดันที่ถูกเหนี่ยวนำขึ้นในแต่ละตัวนำ จะขึ้นอยู่กับความเร็วของตัวนำนั้นๆตัดเส้นแรงแม่เหล็ก เราจะสามารถหาแรงดันไฟฟ้าที่ถูกเหนี่ยวนำขึ้นมาทั้งหมดได้จากสมการ

$$E_a = (Pzn\phi)/(60a)$$

โดยที่  $E_a$  คือ แรงดันที่ถูกเหนี่ยวนำขึ้น โวลท์

$P$  คือ จำนวนของขั้วแม่เหล็ก

$\phi$  คือ จำนวนเส้นแรงแม่เหล็กต่อขั้วแม่เหล็ก เวเบอร์ต่อตร.ม.

$n$  คือ ความเร็วรอบของการหมุน รอบต่อนาที

$a$  คือ จำนวนวงจรขนานของขดลวด

$Z$  คือ จำนวนตัวนำทั้งหมดเนื่องจากจะมีสองตัวนำต่อรอบ ดังนั้นจำนวนรอบทั้งหมดจะเป็นสองเท่าของจำนวนรอบ

### 5.3 โครงสร้างและส่วนประกอบ

จะประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ส่วนที่อยู่กับที่ ( Stator ) และส่วนที่เคลื่อนที่ ( Rotor )

1) โครงสร้างและส่วนประกอบที่อยู่กับที่คือ

1.1 เปลือกโครงเหล็ก ( Magnetic frame หรือ York ) ทำด้วยเหล็กหล่อมีไว้สำหรับยึดขั้วแม่เหล็กและทำให้ทางเดินแม่เหล็กที่เกิดจากขั้วแม่เหล็กวิ่งได้ครบวงจร

1.2 แกนเหล็กของขั้วแม่เหล็กและขั้วแม่เหล็ก ( Pole core Pole shoe ) ทั้งสองส่วนนี้ประกอบขึ้นมาเพื่อทำหน้าที่เป็นแกนและขั้วของแม่เหล็กเพื่อทำให้เกิดสนามแม่เหล็กขึ้น การที่ต้องมีขั้วแม่เหล็กนั้นมีจุดมุ่งหมาย 2 ประการคือ

1.2.1 เพื่อจ่ายเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดขึ้นในช่องว่างอากาศ ( Air gap ) และช่วยลดความต้านทานแม่เหล็ก ( Reluctance ) ของทางเดินสนามแม่เหล็กให้ลดลง

1.2.2 เพื่อเป็นตัวรองรับขดลวดที่กระตุ้นทำให้เกิดสนามแม่เหล็ก ( Exciting )

1.3 ขดลวดที่พันรอบแกนเหล็ก ( Pole coil ) คือ ขดลวดสนามแม่เหล็กที่ประกอบด้วยลวดกลมหรือแบนทำด้วยทองแดงหลายๆ เส้น นำมาประกอบเป็นรูปร่างของขดลวดของตัวนำที่ต้องการ

2) โครงสร้างของส่วนที่เคลื่อนที่ประกอบด้วย

2.1 แกนเหล็กของอาร์เมเจอร์ เป็นที่สำหรับฝังตัวนำหรือขดลวดลงไปในให้หมุน คัดสนามแม่เหล็กที่เกิดจากขั้วแม่เหล็กสเตเตอร์ และยังเป็นทางเดินของเส้นแรงแม่เหล็ก เพื่อให้ สนามแม่เหล็กที่วิ่งจากสนามแม่เหล็กหลัก ( ขั้ว N ) ผ่านช่องอากาศเข้าไปยังตัวหมุน แล้วผ่าน ช่องอากาศไปยังสนามแม่เหล็กหลัก ( ขั้ว S ) และผ่าน โครงกลับไปยังขั้ว N อีกที โดยที่ตัวหมุนนี้ มีความต้านทานแม่เหล็กต่ำมาก

2.2 ขดลวดอาร์เมเจอร์ คือ ขดลวดที่พันอยู่ในช่องต่างๆของอาร์เมเจอร์ เพื่อเป็น ทางเดินของเส้นแรงแม่เหล็ก

### 2.3 คอมมิวเตเตอร์

มีหน้าที่นำกระแสออกมาจากตัวนำที่พันอยู่ในอาร์เมเจอร์ และเป็นตัว กลับไฟกระแสสลับที่เกิดขึ้นภายในอาร์เมเจอร์ให้เป็นกระแสไฟตรง

2.4 แกนหมุน (Shaft) มีหน้าที่เป็นตัวรับหรือตัวถ่ายทอดการหมุนหรือการ เคลื่อนที่ต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นกับ โรเตอร์

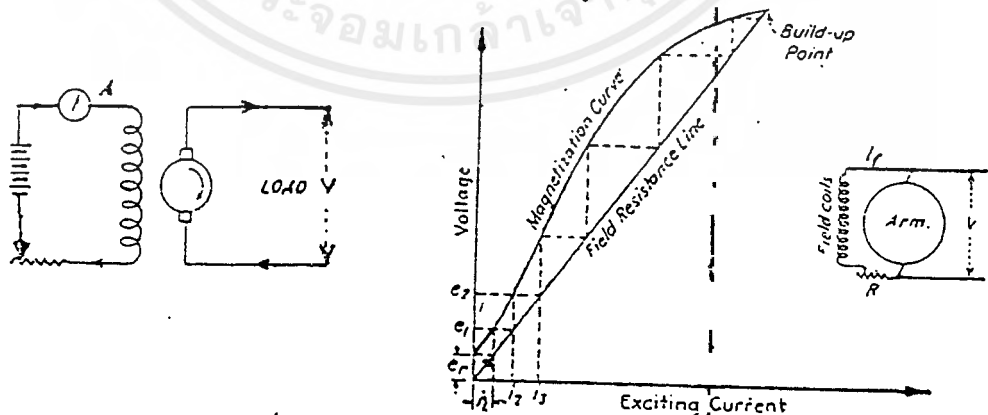
### 2.5 แปรงถ่านและลูกปืน (brusher and bearing) แปรงถ่านมีหน้าที่เป็นตัวรวบรวม

รวมกระแสที่ได้จาก คอมมิวเตเตอร์ เพื่อส่งต่อไปยังวงจรภายนอก ส่วนลูก ปืนนั้นเป็นตัวที่ใช้สำหรับรับน้ำหนักทั้งหมดที่ได้รับจากตัวหมุน และยัง ช่วยลดแรงเสียดทานด้วย

## 5.4 เครื่องกำเนิดไฟแบบต่าง ๆ

แบ่งตามชนิดของการใช้สนามแม่เหล็กที่นำมากระตุ้น (excited field) โดยแบ่งได้ 2 แบบ

a) สนามแม่เหล็กกระตุ้นที่อยู่แยกกับตัวอาร์เมเจอร์ (Separately excited) แบบนี้เป็นแบบที่สนาม แม่เหล็กกระตุ้น ได้รับกำลังไฟฟ้ามาจากวงจรภายนอก ดังรูป 5.5



รูปที่ 5.5 แสดงวงจรขดลวดสนามแม่เหล็กแยกกระตุ้น

และแสดงวงจรสนามแม่เหล็กกระตุ้นด้วยตัวเอง

สนามแม่เหล็กกระตุ้น โดยตัวมันเอง (Self excited) แบบนี้ได้รับกระแสมาจากอาร์เมเจอร์ของ เครื่องกำเนิด ไฟจากตัวมันเอง เครื่องกำเนิดที่มีการต่อแบบ กระตุ้น โดยตัวมันเองนี้ แบ่งออกตาม ลักษณะการต่อ ขดลวดสนาม ได้เป็น 3 อย่างคือ

1) การต่อแบบขนาน (Shunt wound) ซึ่งขดลวดที่ใช้พันแกนของขั้วแม่เหล็กนี้เป็นเส้น เล็ก ๆ ที่มีจำนวนรอบมากและมีความต้านทานสูงกว่าความต้านทานที่อาร์เมเจอร์มาก เครื่อง กำเนิดแบบนี้นิยมใช้

2) การต่อแบบอนุกรม (Series wound) ซึ่งขดลวดที่ใช้พันรอบแกนขั้วแม่เหล็กมีความ ต้านทาน และมีขนาดใหญ่แต่มีจำนวนรอบเพียงเล็กน้อย เครื่องกำเนิดไฟชนิดนี้ไม่ค่อยใช้

3) การต่อแบบผสม (Compound wound) คือการต่อขดลวดที่ใช้พันแกนขั้วแม่เหล็กของ สนามแม่เหล็ก โดยต่อขดลวดสนามแม่เหล็กนั้นขนาน และอนุกรมกับอาร์เมเจอร์และการต่อแบบ นี้ยังแบ่งการต่อได้เป็นอีก 2 แบบคือ แบบ Short Shunt และ Long Shunt

## 5.5 เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ

เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับมี 2 ประเภทคือ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าอินดักชัน (Induction Generator) และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส (Synchronous Generator) แต่เนื่องจากในปัจจุบัน นิยมใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับแบบซิงโครนัส ดังนั้นในบทนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดของ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส คือ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่หมุนด้วยความเร็วคงที่ ซึ่งเท่ากับ ความเร็วของสนามแม่เหล็กหมุน

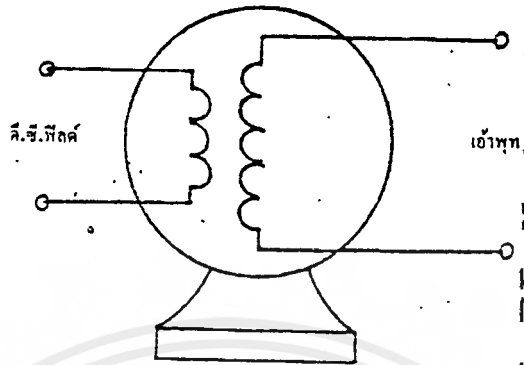
โครงสร้างของเครื่องกำเนิดซิงโครนัส 3 เฟส (Construction of Three-Phase Synchronous Generators) จะประกอบด้วย

- สเตเตอร์
- โรเตอร์
- ระบบที่ใช้ในการกระตุ้น (Excitation Systems)
- ขดลวดหน่วง (Damper Winding)

### 1) สเตเตอร์

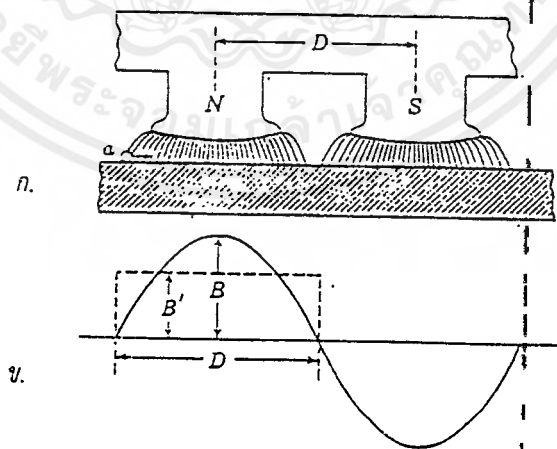
ทำหน้าที่ยึดขดลวดอาร์เมเจอร์ที่บรรจุอยู่ในสล๊อตประกอบด้วยแผ่นลามีเนตบาง ๆ อัด เป็นรูปทรง





รูปที่ 5.6 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าหนึ่งเฟส

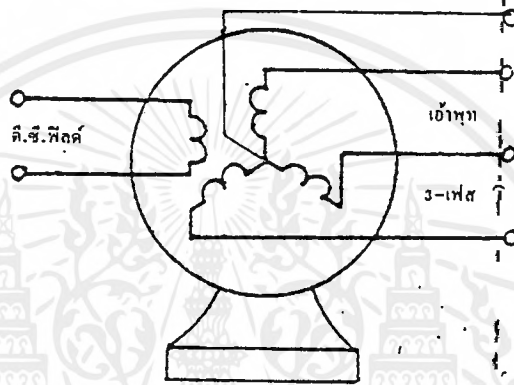
ถ้าพิจารณาจากรูปที่ 5.7 (ก) จะเห็นขั้วแม่เหล็ก N-S ส่งเส้นแรงแม่เหล็กไปยังอาร์เมเจอร์ที่มีขดลวดตัวนำ  $a$  พันอยู่ และในรูปที่ 5.7 (ข) เป็นลักษณะของสนามแม่เหล็กที่อยู่ภายใต้ขั้วแม่เหล็ก N จะเป็นบวก (เหนือ) ส่วนสนามแม่เหล็กที่อยู่ภายใต้ขั้ว S จะเป็นลบ (ใต้) และสนามแม่เหล็กที่ขั้วแม่เหล็กทั้งสองนี้จะมีลักษณะเป็นรูปคลื่นไซน์



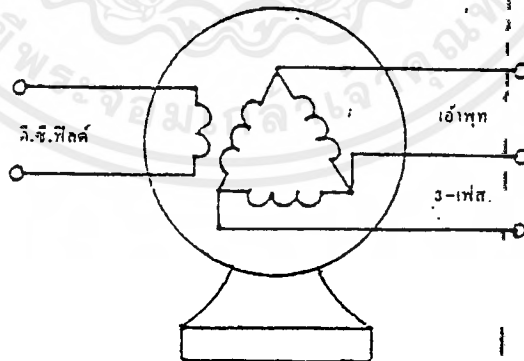
รูปที่ 5.7 สนามแม่เหล็กจากขั้วแม่เหล็ก

### 5.5.2 การทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสามเฟส

ในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสามเฟส ส่วนใหญ่จะเป็นเครื่องกำเนิดที่มีขนาดกำลังเอาต์พุตสูง และมีจำนวนขั้วแม่เหล็กมาก และถึงแม้ว่าจะมีจำนวนขั้วแม่เหล็กมากน้อยเท่าใดก็ตาม ภายใต้ขั้วแม่เหล็กหนึ่งขั้วจะมีขดลวดอาร์เมเจอร์อยู่ 3 ขดด้วยกัน โดยแต่ละขดจะพันห่างกัน 120 องศาไฟฟ้า และขดลวดนี้จะมีการต่อกันเพื่อนำพลังงานไฟฟ้าไปอนกับโหลด 2 วิธี คือ ต่อแบบวาย หรือ สตาร์ และแบบเดลต้า



ก. ต่อแบบสตาร์หรือวาย (Star or Wye)



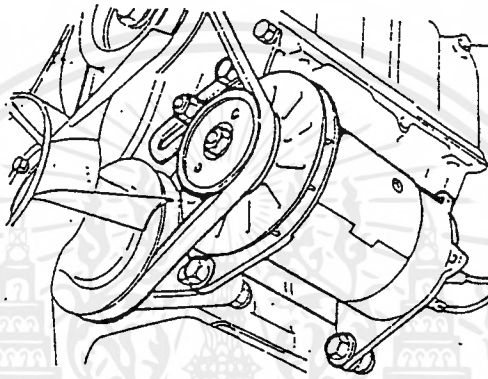
ข. ต่อแบบเดลต้า (Delta)

รูปที่ 5.8 วิธีต่อขดลวดอาร์เมเจอร์ของเครื่องกำเนิดสามเฟส

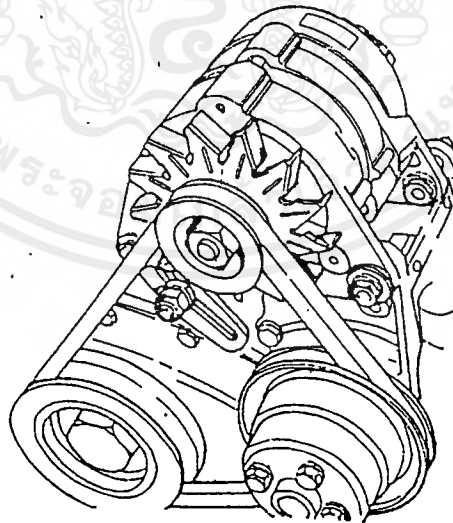
## 5.6 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าในรถยนต์มี 2 ชนิด คือ

1) เบนเนอเรเตอร์ (Generator) เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งในปัจจุบันนี้มิ่าใช้น้อยแล้วในรถยนต์สมัยใหม่อุปกรณ์ที่ใช้ไฟฟ้าเพื่ออำนวยความสะดวกมีมาก เครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดนี้จะให้กระแสไฟฟ้าน้อย ดังรูปที่ 5.9

2) อัลเตอเนเตอร์ (Alternator) เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง สามารถผลิตกระแสออกมาใช้งานได้เพียงพอตั้งแต่ความเร็วรอบต่ำจนถึงความเร็วรอบสูงและมีรูปร่างกระทัดรัด ดังรูปที่ 5.10



รูปที่ 5.9 เบนเนอเรเตอร์



รูปที่ 5.10 อัลเตอเนเตอร์

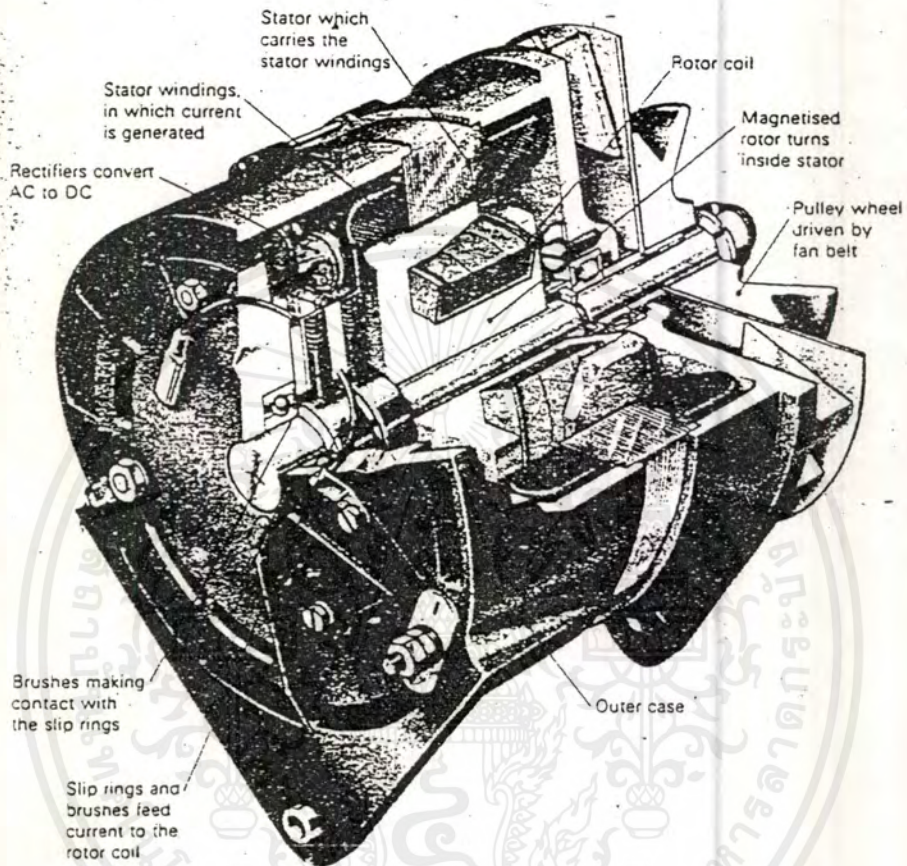
ซึ่งในโครงการนี้ เรื่อง การกำเนิดกระแสไฟฟ้าด้วยพลังงานลมนี้ จะใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้า ปรยนต์ชนิด อัลเตอเนเตอร์ เป็นตัวกำเนิดกระแสไฟฟ้า เพราะฉะนั้นเราจึงกล่าวถึง โครงสร้างและ ส่วนประกอบของเครื่องกำเนิดกระแสไฟฟ้าปรยนต์ชนิดอัลเตอเนเตอร์ที่นั่น

โครงสร้างของอัลเตอเนเตอร์ประกอบด้วย

- 1) ขดลวดสเตเตอร์ ทำหน้าที่ผลิตไฟฟ้าออกใช้งาน
- 2) ขดลวดโรเตอร์ ทำหน้าที่สร้างสนามแม่เหล็ก เพื่อทำให้เกิดแม่เหล็กตัดกับขดลวด สเตเตอร์
- 3) ตัวเรียงกระแสไฟ เพื่อทำหน้าที่เรียงกระแสสลับให้เป็นกระแสไฟตรง

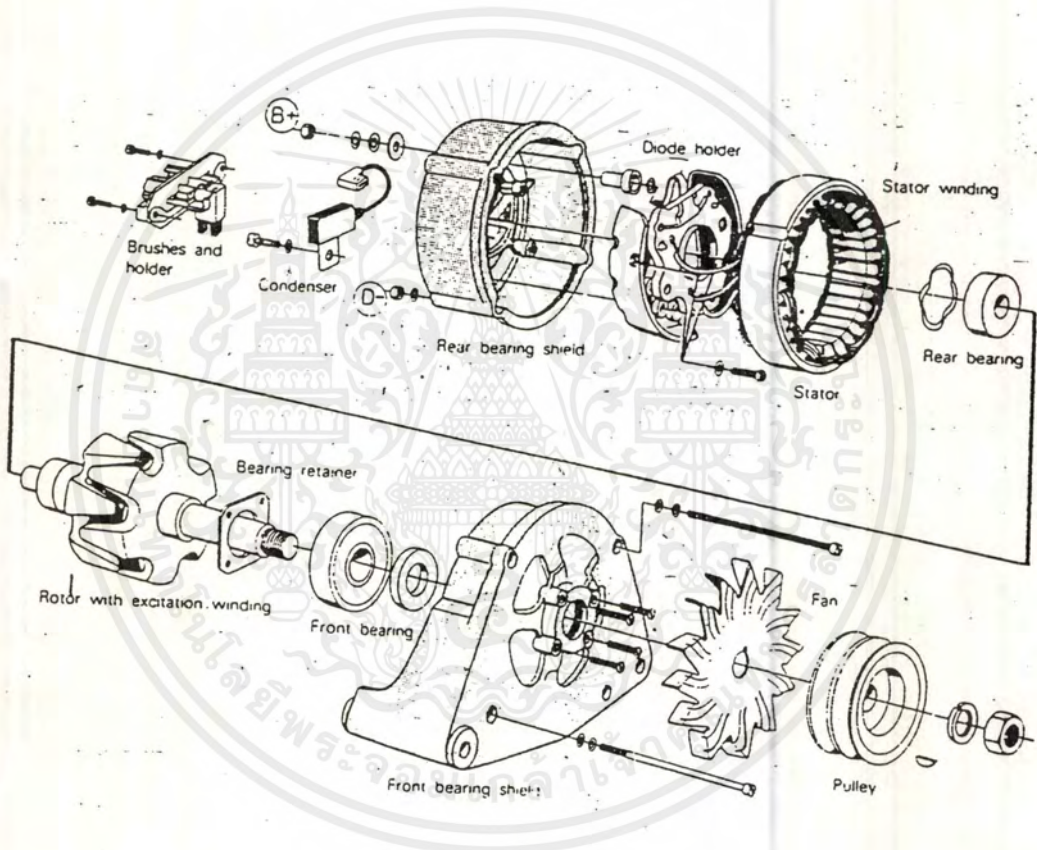
ส่วนประกอบของอัลเตอเนเตอร์

- 1) แปรงถ่านและช่องแปรงถ่าน (Brushes and Holder)
- 2) คอนเดนเซอร์ (Condenser)
- 3) โครงยึดลูกปืนหลัง (Rear bearing shield)
- 4) แผงไดโอด (Diode holder)
- 5) สเตเตอร์ (Stator)
- 6) ขดลวดสเตเตอร์ (Stator winding)
- 7) ลูกปืนตัวหลัง (Rear bearing)
- 8) โรเตอร์ที่มีขดลวดพันอยู่ (Rotor with excitation winding)
- 9) ลูกปืนตัวหน้า (Front bearing)
- 10) พัดลม (Fan)
- 11) พูลเลย์ (Pullay)



รูปที่ 5.11 อัลเทอเนเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



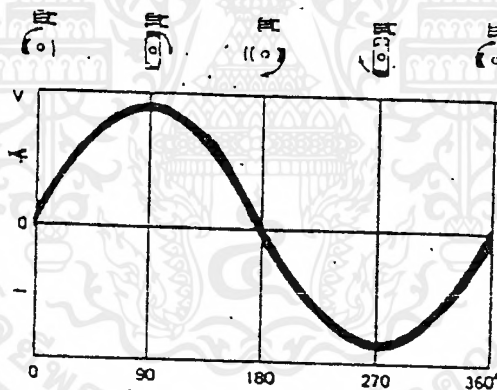
รูปที่ 5.12 ชุดประกอบแยกส่วนของอัลเตอเนเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 5.7 หลักการเบื้องต้นของอัลเตอเนเตอร์

โครงสร้างของอัลเตอเนเตอร์ตั้งอยู่บนหลักการพื้นฐานการเหนี่ยวนำไฟฟ้า โดยพลังงานกลที่เปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้า ซึ่งเหนี่ยวนำตัวนำไฟฟ้า เมื่อตัวนำไฟฟ้าเคลื่อนที่ผ่านสนามแม่เหล็กไฟฟ้าสำหรับในตัวของอัลเตอเนเตอร์ ตัวนำไฟฟ้า (ขดลวดสเตเตอร์) จะเป็นตัวอยู่กับที่ และสนามแม่เหล็ก (ขดลวดโรเตอร์) จะเป็นตัวเคลื่อนที่

เมื่อตัวโรเตอร์หมุน ขั้วแม่เหล็กและสนามแม่เหล็กจะเคลื่อนที่ไปด้วย เป็นเหตุให้กระแสไฟสลับเกิดขึ้นที่ขดลวดสเตเตอร์ ผลจากการหมุนของโรเตอร์ เมื่อขั้วแม่เหล็กเหนืออยู่ด้านบน และขั้วแม่เหล็กใต้อยู่ด้านล่าง ขั้วไฟฟ้าที่ถูกเหนี่ยวนำเกิดขึ้นจากมิเตอร์ที่เห็นจะเป็นขั้วบวก และมีทิศทางไหลในขดลวดตัวนำทิศทางหนึ่ง เมื่อตัวโรเตอร์หมุนต่อไปอีกจนกระทั่งแม่เหล็กได้มาอยู่ด้านบน และขั้วแม่เหล็กเหนือไปอยู่ด้านล่าง ขั้วไฟฟ้าและทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้าจะตรงข้ามกับลักษณะแรก การสลับทิศทางในการไหลของกระแสไฟฟ้าดังกล่าว เรียกว่า กระแสไฟสลับ จะมีการเปลี่ยนทิศทางครึ่งหนึ่งเมื่อแม่เหล็กมีการหมุนครบรอบ โดยสมบูรณ์ รูปร่างของกระแสสลับเรียกว่า รูปคลื่นไซน์ ดังรูป 5.13



รูปที่ 5.13 รูปร่างของกระแสไฟฟ้าสลับ

คลื่นดังรูปที่ครบรอบการหมุนของแม่เหล็ก 1 รอบ คือ บวก (+) หนึ่งคลื่น และลบ (-) หนึ่งคลื่น เรียกว่า หนึ่ง ไซเคิล (Cycle) ถ้าจำนวนหลายไซเคิลที่เกิดขึ้นในหนึ่งวินาที เรียกว่า ความถี่ (Frequency)

ความถี่ที่เกิดขึ้นในตัวอัลเตอเนเตอร์จะมีผลจากส่วนประกอบ 2 ประการ คือ

- 1) จำนวนขั้วของขั้วแม่เหล็ก
- 2) เวลาที่สนามแม่เหล็กตัดกับตัวนำไฟฟ้า

ปริมาณการผลิตไฟฟ้าขึ้นอยู่กับส่วนประกอบ 3 ประการ

- 1) จำนวนรอบของขดลวดสเตเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

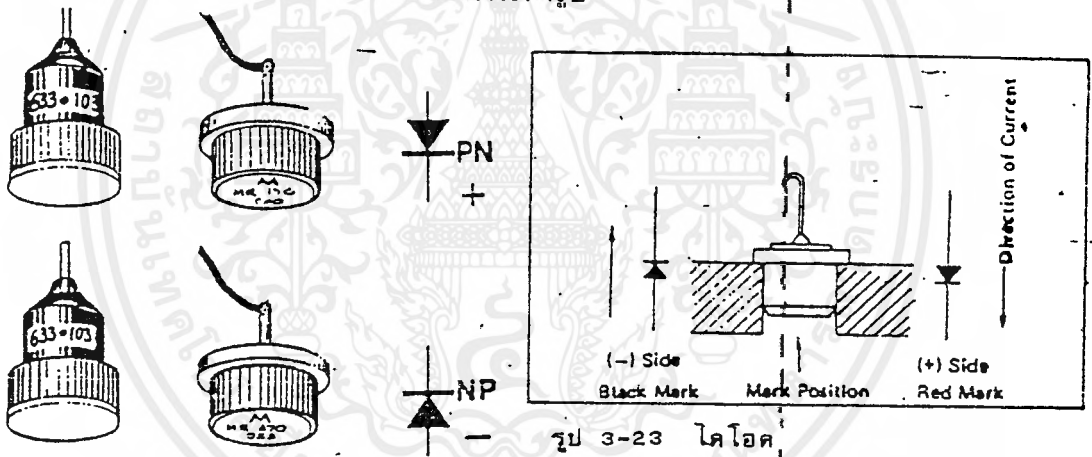
- 2) ความเข้มของสนามแม่เหล็ก
- 3) ความเร็วในการหมุนของสนามแม่เหล็ก

ซึ่งจุดประสงค์หลักของอัลเตอเนเตอร์ก็เพื่อประจุไฟให้กับแบตเตอรี่และอุปกรณ์ไฟฟ้า ซึ่งใช้กระแสไฟฟ้าตรง แต่กระแสไฟฟ้าที่ผลิตออกมาจากอัลเตอเนเตอร์ เป็นไฟฟ้ากระแสสลับ จะต้องเรียงกระแสไฟฟ้าให้เป็นกระแสตรงก่อน จึงจะสามารถใช้ประจุแบตเตอรี่และใช้กับ อุปกรณ์ไฟฟ้าได้ ซึ่งอุปกรณ์ที่ใช้เรียงกระแสไฟสลับให้เป็นกระแสไฟตรง คือ ไดโอด ซึ่งไดโอด ที่ใช้อยู่ในอัลเตอเนเตอร์เพื่อเรียงกระแส จะประกอบด้วย ไดโอดบวกและ ไดโอดลบ โครงไดโอดจะยึดติดกับโลหะที่ทำเป็นครีบบระบายความร้อน ตัวครีบบระบายความร้อนจะต่อกับขั้วบวก หรือขั้วลบของแบตเตอรี่

ไดโอดบวก (Positive diode) เรียกว่า ไดโอด PN (PN Diode) มีเครื่องหมายสีแดง

ไดโอดลบ (Negative diode) เรียกว่า ไดโอด NP (NP Diode) มีเครื่องหมายสีดำ (น้ำเงิน)

ซึ่งกระแสไฟฟ้าที่ออกจากไดโอดจะมีลักษณะดังรูป

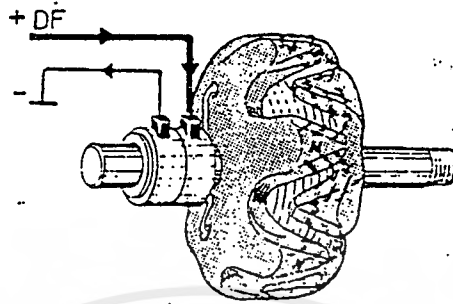


รูป 3-23 ไดโอด

รูปที่ 5.14 ไดโอด

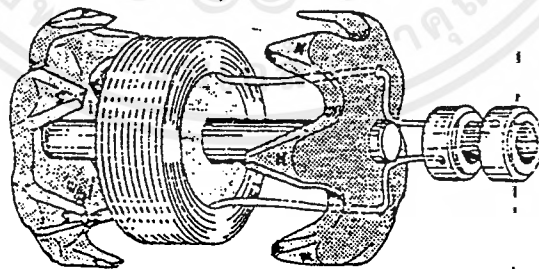
### 5.8 โครงสร้างของโรเตอร์

ขั้วแม่เหล็ก ทำหน้าที่สร้างสนามแม่เหล็ก เพื่อให้เส้นแรงแม่เหล็กตัดกับขดลวดสเตเตอร์ มีรูปร่างคล้ายทำสตัว์ ประกอบด้วย ขั้วจำนวน 8-16 ขั้ว โครงสร้างเป็นจำนวน 2 ชั้น ประกอบด้วยขดลวดสนามไว้ในเพลาดียวกัน ขั้วแต่ละขั้วทำหน้าที่เป็นขั้วแม่เหล็ก ถ้าเป็นแบบ 12 ขั้ว จะเป็นขั้วเหนือ 6 ขั้ว และขั้วใต้ 6 ขั้ว ขั้วแต่ละขั้วจะสลับระหว่างขั้วเหนือขั้วใต้เรียงรอบไปจนครบทุกขั้ว ขั้วแม่เหล็กแต่ละขั้วจะดึงดูดกันเพราะขั้วต่างกัน ปลายทั้งสองของขดลวด จะเชื่อมติดกับวงแหวนสลีปรึง 2 วง ซึ่งสวมอยู่กับแกนเพลารอเตอร์ วงแหวนสลีปรึงตัวหนึ่งจะทำหน้าที่รับกระแสไฟจากแบตเตอรี่ ซึ่งส่งผ่านแปรงถ่านเข้าเลี้ยงขดลวด โรเตอร์ และครบวงจรกับวงแหวนสลีปรึงอีกตัวหนึ่ง ซึ่งแปรงถ่านต่อลงดินเพื่อสร้างสนามแม่เหล็ก ดังรูป 5.15



รูปที่ 5.15 ชุดสนามแม่เหล็กโรเตอร์

สนามแม่เหล็กของโรเตอร์ เมื่อกระแสไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ไหลผ่านเข้าเลี้ยงขดลวดโรเตอร์ จะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กของโรเตอร์ เส้นแรงแม่เหล็กจะตัดกับขดลวดแต่ละขดของขดลวดสเตเตอร์ ขณะที่ตัวโรเตอร์หมุน เมื่อโรเตอร์หมุนหนึ่งรอบ ขั้วแม่เหล็กทั้งหมดจะเหนี่ยวนำให้เกิดกระแสไฟฟ้าขึ้น โดยขั้วแต่ละขั้วจะเหนี่ยวนำให้ไฟฟ้าเกิดครั้งละครั้งคลิ่น ซึ่งเป็นคลื่นบวกหรือคลื่นลบ การเหนี่ยวนำให้เกิดครั้งคลิ่นระหว่างตัวที่โรเตอร์หมุนหนึ่งรอบ จะมีการเหนี่ยวนำให้เกิดกระแสไฟฟ้าขึ้น



รูปที่ 5.16 โครงสร้างโรเตอร์

## บทที่ 6

### ระบบไฟฟ้า

#### 6.1 บทนำ

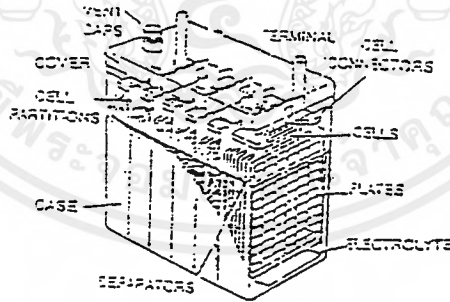
แบตเตอรี่จะเป็นแหล่งเก็บพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบตเตอรี่จะมีอยู่หลายชนิดซึ่งจะถูกออกแบบมาเพื่อจุดประสงค์ต่างกัน แบตเตอรี่นั้นบางทีเราอาจจะแบ่งได้สองแบบคือ แบบที่สามารถนำกลับมาประจุใหม่เราเรียกว่า แบตเตอรี่ทุติยภูมิ และแบบที่ไม่สามารถนำกลับมาอัดประจุได้ใหม่เราเรียกว่า แบตเตอรี่ปฐมภูมิ

แบตเตอรี่แบบที่สามารถนำกลับมาประจุใหม่ได้ โดยส่วนมากจะเป็นแบบตะกั่วกรด แบบนิเกิลเหล็กอะคาไลน์ (แบบเอคิสัน) และแบบนิเกิลแคดเมียม ในบทนี้จะอธิบายถึงรายละเอียดต่างๆ โครงสร้าง การชาร์จ และคุณสมบัติของแบตเตอรี่ที่นิยมใช้กันมาก

#### 6.2 แบตเตอรี่

##### 1. รายละเอียด

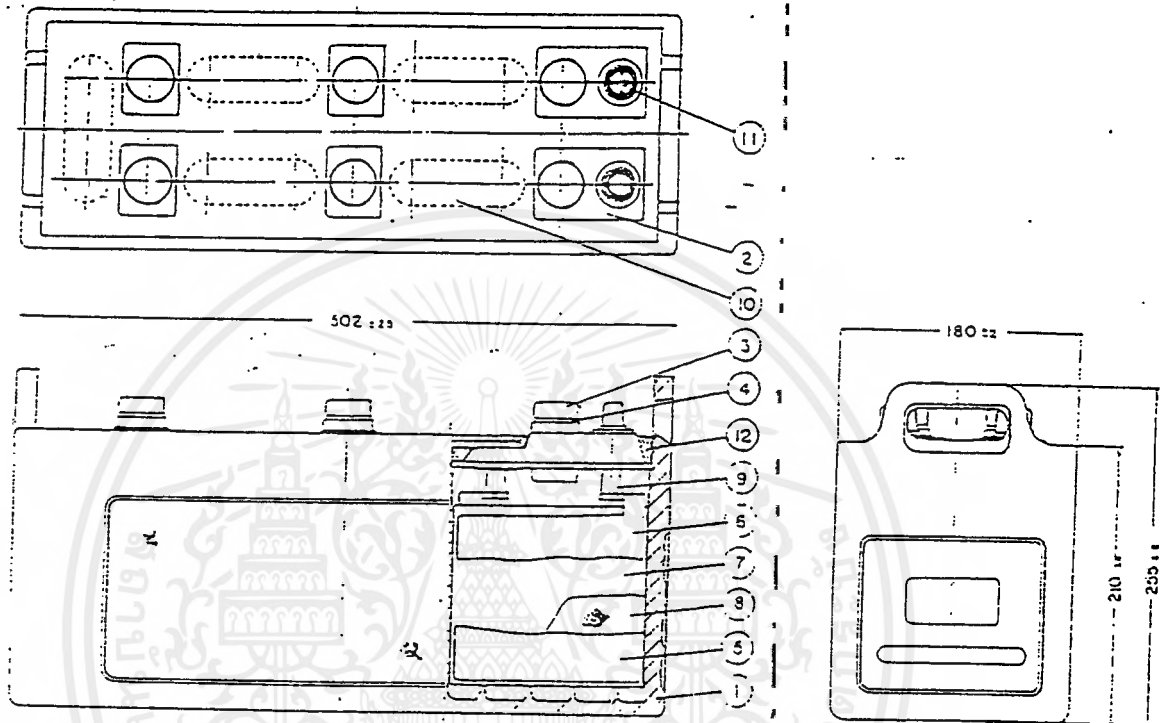
น้ำยา คือ น้ำกรดกำมะถันเจือจางผสมกับน้ำกลั่น แต่เมื่อใช้งานหรือชาร์จส่วนที่ระเหยออกไปมากคือน้ำกลั่น ดังนั้น โดยทั่วไป เมื่อระดับไม่ได้ก็ต้องเติมน้ำกลั่นนั่นเอง ส่วนปริมาณจากรายละเอียดดังรูปที่ 6.1



รูปที่ 6.1 ปริมาณน้ำยา

หมายเหตุ:แบบ N 100-12 เป็นมาตรฐานของ JIS

## 2. โครงสร้าง ดังรูป 6.2



รูปที่ 6.2 แสดง โครงสร้าง

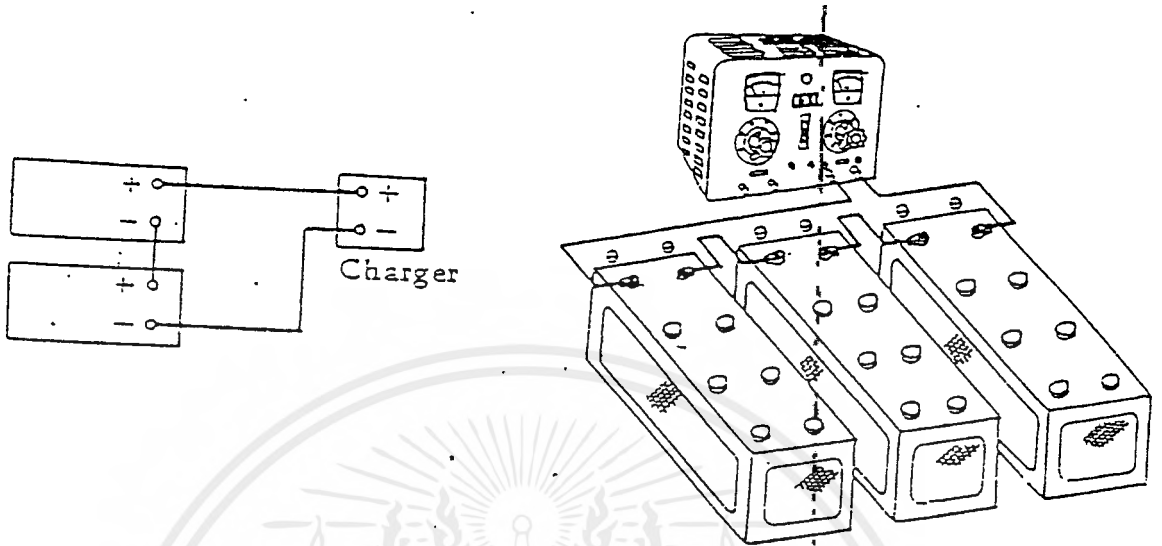
## 3. การชาร์จ

### (1) การเตรียม

- 1) การถอดขั้วแบตเตอรี่ต้องถอดขั้วลงดินก่อน
- 2) เมื่อยกแบตเตอรี่ออกจากตู้แล้ว ทำความสะอาดภายนอกด้วยน้ำสะอาดเป็นพิเศษ
- 3) เติมน้ำกลั่นให้ได้ระดับ (10-13 มม. สูงจากแผ่นธาตุ)

### (2) การต่อ

ต้องต่อแบตเตอรี่เป็นอันดับกับเครื่องชาร์จ และขั้วให้ถูกต้องดังรูปที่ 6.3



รูปที่ 6.3 การต่อแบตเตอรี่เข้ากับเครื่องชาร์จ

หมายเหตุ: ถ้าการต่อกลับขั้ว กระแสอาจทำให้แผ่นบวกเปลี่ยนเป็นแผ่นลบจะทำให้แบตเตอรี่มีอายุการใช้งานลดลงในขณะที่ชาร์จต้องเปิดฝาแบตเตอรี่ทิ้งไว้

### (3) ข้อควรระวังขณะชาร์จ

- 1) ต้องระวังไม่ให้ฝาแบตเตอรี่หาย
- 2) ต้องมีการถ่ายเทอากาศอย่างดี
- 3) ต้องระวังไฟเพราะจะเกิดแก๊สผสมระหว่างออกซิเจนกับไฮโดรเจน
- 4) อย่าให้อุณหภูมิน้ำยาสูงกว่า  $45^{\circ}\text{C}$
- 5) คุรระดับน้ำกลั่นให้ได้ระดับ
- 6) เมื่อชาร์จเสร็จปิดฝาให้แน่น ทำความสะอาดภายนอกด้วยน้ำสะอาดแล้วเช็ดให้แห้ง

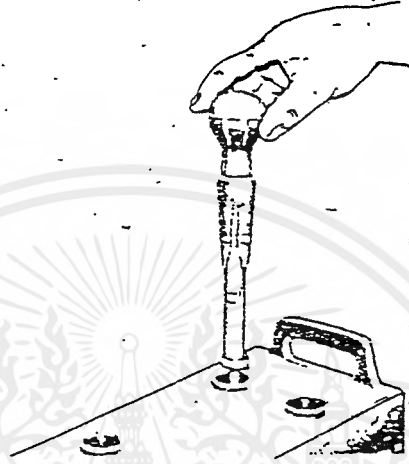
หมายเหตุ: การสังเกตว่าการชาร์จเต็มแล้ว อาจใช้วิธีง่ายๆ คือ เมื่อมีกลิ่นฉุนขึ้นก็แสดงว่าเกือบเต็มแล้ว แล้วชาร์จต่ออีกเล็กน้อยก็ใช้ได้ หรืออาจใช้ไฮโดรมิเตอร์วัดค่าความถ่วงจำเพาะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ถ้าชาร์จในรถยนต์ต้องปลดขั้วไฟของแบตเตอรี่ออก

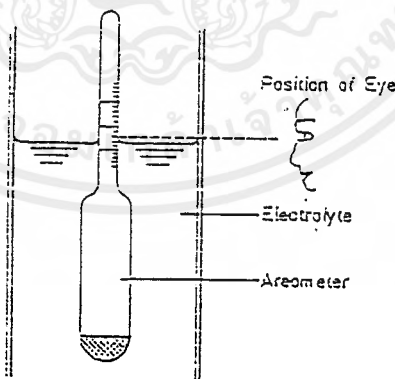
### 4. การวัดความถ่วงจำเพาะ

วัดด้วยไฮโครมิเตอร์ ดังรูป 6.4



รูปที่ 6.4 การวัดความถ่วงจำเพาะ

วัดโดยไฮโครมิเตอร์อยู่ในแนวตั้งฉาก การอ่านค่าต้องมองในระดับสายตาไปยังส่วนที่อยู่สูงสุด ดังรูป 6.5



รูปที่ 6.5 การอ่านค่า

ความถ่วงจำเพาะถือเอาที่อุณหภูมิ  $20^{\circ}\text{C}$  เป็นมาตรฐาน เมื่ออ่านค่าก็จะทราบสภาพการชาร์จได้ดังตารางที่ 6.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.1 ความถ่วงจำเพาะน้ำยากับสภาพการซาร์จ

ความถ่วงจำเพาะน้ำยา (ที่ 20°C)	สภาพการซาร์จ (%)
1.260	100
1.230	75
1.200	50
1.170	25
1.140	มีไฟเพียงเล็กน้อย
1.110	ไม่มีไฟเลย

ในไฮโดรมิเตอร์ต่างๆ ไปก็จะบอกความถ่วงจำเพาะและสภาพการซาร์จไว้ในตัวเอง ค่าความถ่วงจำเพาะจะเปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิ ถ้าอุณหภูมิสูงความถ่วงจำเพาะจะต่ำ แต่ถ้าอุณหภูมิต่ำความถ่วงจำเพาะจะสูง โดยถือเอาเกณฑ์ที่อุณหภูมิเปลี่ยนแปลง 1°C ความถ่วงจำเพาะจะเปลี่ยนแปลง 0.0007

เพื่อเปลี่ยนค่าความถ่วงจำเพาะ ที่วัดได้ที่อุณหภูมิอื่นๆ เมื่อเทียบกับอุณหภูมิมาตรฐาน (20°C) จึงมีสูตรดังนี้

$$S_{20} = S_t + 0.0007 (t - 20)$$

$$S_{20} = \text{ความถ่วงจำเพาะที่อุณหภูมิ } 20^{\circ}\text{C}$$

$$S_t = \text{ความถ่วงจำเพาะที่อุณหภูมิ } t^{\circ}\text{C}$$

$$t = \text{อุณหภูมิที่วัดความถ่วงจำเพาะ}$$

ดังนั้นถ้าให้  $0.0007 (t - 20) = \text{ความถ่วงจำเพาะที่เปลี่ยนแปลง } (\alpha)$

$$S_{20} = S_t + \alpha$$

ดังนั้นเมื่อรู้ค่า  $\alpha$  ก่อน ก็จะหาค่าได้ง่ายยิ่งขึ้น ดูค่า  $\alpha$  จากตาราง

ตารางที่ 6.2 ค่าความถ่วงจำเพาะกับอุณหภูมิ

อุณหภูมิ(°C)	$\alpha$	อุณหภูมิ(°C)	$\alpha$	อุณหภูมิ(°C)	$\alpha$
0	-0.014	17	-0.002	34	0.010
1	-0.013	18	-0.001	35	0.011
2	-0.013	19	-0.001	36	0.011
3	-0.012	20	0	37	0.012
4	-0.011	21	0.001	38	0.013
5	-0.011	22	0.001	39	0.013
6	-0.010	23	0.002	40	0.014
7	-0.009	24	0.003	41	0.015
8	-0.008	25	0.004	42	0.015
9	-0.008	26	0.004	43	0.016
10	-0.007	27	0.005	44	0.017
11	-0.006	28	0.006	45	0.018
12	-0.006	29	0.006	46	0.018
13	-0.005	30	0.007	47	0.019
14	-0.004	31	0.008	48	0.020
15	-0.004	32	0.008	49	0.020
16	-0.003	33	0.009	50	0.021

## 5. การปรับค่าความถ่วงจำเพาะ

ภายหลังการซาร์จ

ถ้าความถ่วงจำเพาะสูงเกินไป - เติมน้ำกลั่นลงไป

ถ้าความถ่วงจำเพาะต่ำเกินไป - ดูคือน้ำยาออกแล้วเติมน้ำยาที่ผสมขึ้นใหม่เท่ากับปริมาณที่ดูออก โดยผสมน้ำกรดกัมมะถันเจือจาง ซึ่งมีความถ่วงจำเพาะต่ำกว่า 1.45 กับน้ำกลั่นแล้วปรับให้ได้ 1.260

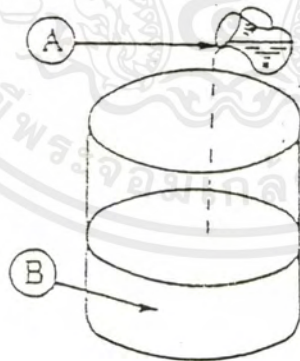
แต่ถ้า น้ำกรดกัมมะถันเจือจางที่มีความถ่วงจำเพาะประมาณ 0.45 หาไม่ได้ แต่มีขนาด 1.838-1.840 ก็ผสมด้วยอัตราคังตารางที่ 6.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.3 อัตราส่วนน้ำกลั่นกับกรดกำมะถัน

ความถ่วงจำเพาะที่อุณหภูมิ 20°C	อัตราส่วนน้ำกลั่นกับกรดกำมะถัน
1.15	6.4
1.20	4.6
1.22	4.0
1.24	3.6
1.26	3.2
1.28	2.8
1.30	2.6
1.32	2.4
1.34	2.2
1.36	1.9
1.38	1.8
1.40	1.7

การผสมน้ำยาดังรูปที่ 6.6



A กรดกำมะถัน

B น้ำกลั่น

รูปที่ 6.6 การผสมน้ำยา

- 1) ใส่น้ำกรดกำมะถันในเหยือกหรือถ้วยที่ทำจากแก้ว, กระเบื้องเคลือบ, แผ่นตะกั่วหรืออิโบไนต์
- 2) ค่อยๆ เทน้ำกรดช้าๆ ทีละน้อยๆ ลงในภาชนะบรรจุน้ำกลั่น แล้วค่อยๆ คน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมายเหตุ : ต้องแน่ใจว่าแท่นน้ำกรดลงในน้ำกลั่น ห้ามเทน้ำกลั่นลงในน้ำกรดอย่างเด็ดขาด เพราะจะทำให้เกิดความร้อนสูงมาก จะทำให้เกิดอันตรายหรือได้รับบาดเจ็บ ห้ามใช้น้ำประปาหรือน้ำบ่อแทนน้ำกลั่น

#### 6. วิธีชาร์จ

โดยทั่วไปแบตเตอรี่จะได้รับการชาร์จจากระบบชาร์จ แต่ถ้าไฟที่ใช้มีมากกว่า การชาร์จไฟจากแบตเตอรี่จะลดลง

ดังนั้นจึงจำเป็นต้องตรวจความถ่วงจำเพาะ อย่างน้อยเดือนละครั้ง ถ้าค่าที่วัดได้น้อยกว่า 1200 (ที่ 20°C) จะต้องชาร์จใหม่ทันที

แบตเตอรี่แม้ว่าจะไม่ใช้งาน แต่เก็บไว้เรื่อยๆ เป็นเวลานาน ก็มีโอกาที่จะคายประจุหมดได้ จากการจ่ายไฟของตัวแบตเตอรี่เอง

การจ่ายไฟด้วยแบตเตอรี่จะสูงขึ้นตามอุณหภูมิดังตาราง

ตารางที่ 6.4 การจ่ายไฟด้วยแบตเตอรี่

อุณหภูมิ	การจ่ายไฟด้วยแบตเตอรี่ เอง(%)	ค่าความถ่วงจำเพาะที่ลดลง
30°C	1% ต่อวัน	0.002 ต่อวัน
20°C	0.5% ต่อวัน	0.001 ต่อวัน
5°C	0.25% ต่อวัน	0.0005 ต่อวัน

#### 1) กระแสที่ชาร์จ

โดยทั่วไป การชาร์จตามปกติ จะใช้กระแส 1/10 ของความจุ ดังตัวอย่าง ถ้าความจุแบตเตอรี่เป็น 100 แอมแปร์/ชม. (AH) กระแสที่ใช้ชาร์จ =  $100 \times 1/10 = 10$  แอมแปร์ แต่ถ้าใช้กระแสชาร์จยิ่งน้อยยิ่งดี (ใช้กระแส 1/20 ของความจุ)

#### 2) การชาร์จตามปกติ

เวลาที่ใช้ชาร์จ จะต้องชาร์จจนกระทั่งได้ 125% ของไฟที่ใช้ไป ดังตัวอย่าง ถ้าแบตเตอรี่มีความจุ 100 AH ถูกใช้ไป 50 AH จะต้องชาร์จเพิ่มอีก 65 AH ดังนั้นจะต้องชาร์จด้วยกระแส 10 แอมแปร์ นาน 6 ชม. 30 นาที อย่างไรก็ตามการตัดสินใจว่าสภาพการชาร์จพอหรือไม่ ขึ้นอยู่กับสภาพดังต่อไปนี้

(1) วัตต์ที่ขั้วแต่ละเซลล์ต้องมากกว่า 2 V. อาจถึง 2.5 V. สำหรับ

แบตเตอรี่ 12 V. อาจอัดประจุได้ถึง 15 V.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(2) ความถ่วงจำเพาะต้องเพิ่มขึ้นเป็น 1.260 ที่ 20 °C ( ถ้าอุณหภูมิ เปลี่ยนอย่าลืมเปลี่ยนค่ามาหาอุณหภูมิมาตรฐาน 20°C.

(3) แก๊สจะต้องฉุนมาก

3) การชาร์จเร็ว ( Quick Charge, Booster Charge )

เมื่อแบตเตอรี่ตาย ก็จำเป็นต้องชาร์จด้วยกระแสสูงๆ ด้วยเวลาสั้นๆ เพียง 1-2 ชม. ก็เพียงพอจะสตาร์ท ได้แต่ไม่ควรจะทำบ่อย อาจทำให้แบตเตอรี่มีอายุการใช้งาน สั้น

ข้อห้ามในการชาร์จเร็วคือ

(1) แบตเตอรี่มีไฟไม่เต็ม

(2) แบตเตอรี่ชำรุด

(3) เมื่ออุณหภูมิต่ำมากๆ

(4) เมื่อแบตเตอรี่มีอัตราการใช้ไฟสูงมาก

4) การชาร์จที่อุณหภูมิต่ำๆ

เมื่ออุณหภูมิต่ำ ( อากาศหนาว, เย็นจัด ) ความจุแบตเตอรี่จะลดลง ในขณะที่ชาร์จ จะเกิดแก๊สเร็วมาก การป้องกันจะต้องชาร์จในที่อุ่นๆ

5) การชาร์จขณะทำงาน

ต้องปลดขั้วแบตเตอรี่ออกจากระบบชาร์จ

7. การบำรุงรักษา ที่ต้องทำเป็นประจำ

1) การติดตั้งต้องถูกต้อง

(1) ต้องยึดให้แน่น

(2) ใช้จารบีหรือวาสลีนทาขั้วเบาๆ

(3) ติดตั้งให้ไกลจากประกายไฟ

2) การถอดหรือใส่ต้องระวัง

อาจเกิดการลัดวงจรเนื่องจากคีมหรือไขควงที่ใช้

3) ตรวจสอบน้ำกลั่นให้ได้ระดับ

ตรวจอย่างน้อยสัปดาห์ละครั้ง

4) ให้ความสนใจต่ออุณหภูมิของแบตเตอรี่

ถ้าร้อนจัด แสดงว่าเกิดขัดข้องภายในหรือมีอัตราการชาร์จสูงเกินไปจะทำให้แบตเตอรี่มีอายุการใช้งานสั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 5) ระวังเรื่องอัตราการผลิตสูงเกินไป  
(1) เมื่อร้อนจัดแผ่นกั้นจะบิดเบี้ยวเสียรูป  
(2) ถ้าจำเป็นปรับเรกกูเลเตอร์



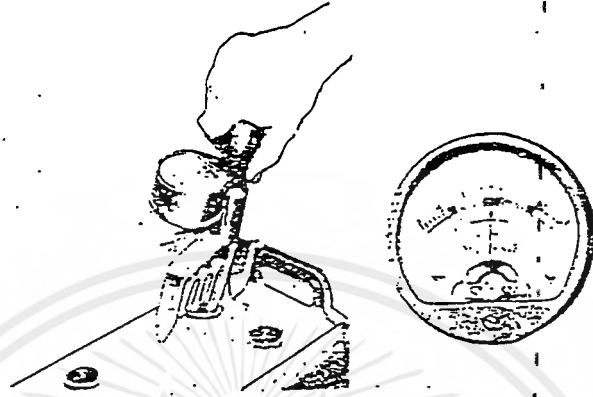
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.5 รายละเอียดวิธีแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ของแบตเตอรี่

1.270 หรือสูงกว่า	ความถ่วงจำเพาะสูงเกินไป	1. ปรับความถ่วงจำเพาะในขณะชาร์จ
1.270-1.240	ดี	<ol style="list-style-type: none"> <li>ถ้าความถ่วงจำเพาะของแต่ละเซลล์แตกต่างกันไม่เกิน 0.015 แสดงว่าดี</li> <li>ถ้าสูงเกิน 0.015 ทดสอบแบตเตอรี่ ถ้าผลการทดสอบดี ก็ชาร์จไปจนกระทั่งความแตกต่างลดลงหรือไม่มีเลย</li> </ol>
1.240-1.200	ต้องสนใจเป็นพิเศษ	<ol style="list-style-type: none"> <li>ชาร์จใหม่</li> <li>ถ้าความถ่วงจำเพาะแต่ละเซลล์ไม่เท่ากัน ต้องปรับให้ได้ขณะชาร์จ</li> <li>ดูการทำงานของเรกกูเลเตอร์ และแรงเคลื่อนที่ควบคุม</li> </ol>
1.200 หรือต่ำกว่า	ชำรุด	<ol style="list-style-type: none"> <li>ทำเช่นเดียวกับที่ความถ่วงจำเพาะ 1.240-1.200</li> <li>ตรวจการชาร์จของอุปกรณ์ไฟฟ้า, ข้อหลวมชิ้นส่วนเป็นสนิมหรือกร่อน</li> </ol>
เมื่อความแตกต่างแต่ละเซลล์มากกว่า 0.025	<ol style="list-style-type: none"> <li>การเกิดขึ้นภายในเซลล์ที่ความถ่วงจำเพาะต่ำ</li> <li>น้ำยารั่ว</li> <li>น้ำขามากเกินไปหรือเติมน้ำกลั่นมากเกินไป</li> <li>การจ่ายไฟมากเกินไป</li> <li>เปลี่ยนนอกกราว</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>ชาร์จแบตเตอรี่ใหม่จนกระทั่งความถ่วงจำเพาะและแรงเคลื่อนคงที่อยู่นานอย่างน้อย 2 ชั่วโมง</li> <li>ปรับความถ่วงจำเพาะให้ได้ 1.255-1.260 ในขณะชาร์จ</li> <li>ชาร์จทิ้งไว้ 12-96 ชั่วโมง แล้วทดสอบด้วยเครื่องทดสอบ</li> <li>ถ้าแรงเคลื่อนแต่ละเซลล์ยังคงแตกต่างกันมากกว่า 0.05 โวลต์ แสดงว่าแบตเตอรี่นั้นใช้ไม่ได้แล้ว ต้องเปลี่ยนใหม่</li> </ol>

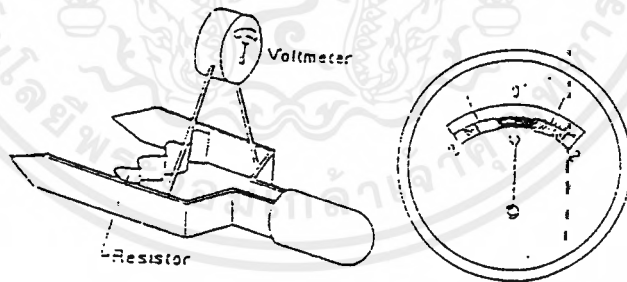
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




## (2) ตัดสิน โดยเครื่องทดสอบเซลล์ ดังรูปที่ 6.7



รูปที่ 6.7 การใช้วัคเซลล์

การใช้เครื่องทดสอบนี้ ใช้เมื่อจำเป็นจริงๆ เพราะเปลืองไฟจากแบตเตอรี่มากเนื่องจากกระแสต้องไหลผ่านค่าความต้านทานที่มีค่าสูง ดังรูป 6.8

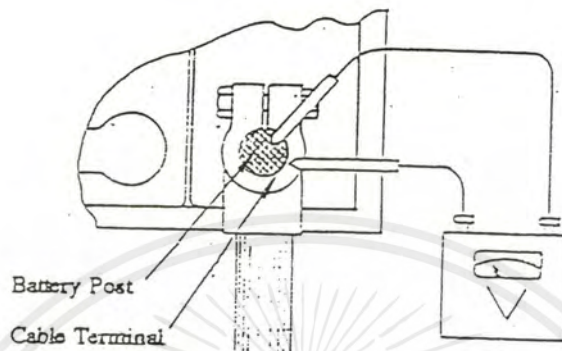


แดง		ไม่มีไฟ
เหลือง		มีครึ่งเดียว
ฟ้า		มีไฟเต็ม

รูปที่ 6.8 แสดงให้เห็นความต้านทานของเครื่องทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## (3) ความต้านทานระหว่างขั้วแบตเตอรี่กับขั้วสายที่ต่อดังรูปที่ 6.9



รูปที่ 6.9 การใช้โวลท์มิเตอร์วัดแรงเคลื่อนตกคร่อม

การทดสอบสตาร์ทเครื่องโดยไม่ให้เครื่องติด (ตัดการจ่ายน้ำมัน) แล้ววัดค่าแรงเคลื่อนตกคร่อมระหว่างขั้วแบตเตอรี่กับขั้วต่อสาย

- 1) ถ้าแรงเคลื่อนตกคร่อมมากกว่า 0.2-0.3 โวลต์ แสดงว่าความต้านทานมาก ต้องทำความสะอาดขั้วและขั้วต่อ ขึ้นใหม่ให้แน่น

ตารางที่ 6.6 การวิเคราะห์ข้อขัดข้องด้วยแรงเคลื่อน

แรงเคลื่อน (โวลท์)	ความถ่วงจำเพาะ	สาเหตุ
1.75 หรือมากกว่า	มากกว่า 1.200	พอใช้ได้
1.75 หรือน้อยกว่า	น้อยกว่า 1.200	ไม่มีไฟหรือสะพานไฟชำรุด
1.75 หรือน้อยกว่า	มากกว่า 1.200	ความถ่วงจำเพาะมากเกินไป หรือสะพานไฟชำรุด
1.75 หรือมากกว่า	น้อยกว่า 1.200	ความถ่วงจำเพาะต่ำไป
แรงเคลื่อนตกคร่อม (โวลท์)		ขัดข้องภายในหรือชอร์ต
แต่ละเซลล์แตกต่างกันมากกว่า 0.1		ขัดข้องภายในเซลล์
ระหว่างแบตเตอรี่กับสตาร์ทเตอร์มากกว่า 0.2		ขั้วต่อสายหลวม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 7

### การออกแบบและการสร้าง

#### 7.1 บทนำ

บทนี้ได้อธิบายการออกแบบ การสร้างชุดกั้นล้ม กระบวนการขั้นตอนการทำโครงการนี้ แสดงวงจรการควบคุม ส่วนประกอบ และชิ้นส่วนต่างๆ ซึ่งจะแจกแจงในรายละเอียดเป็นข้อๆ ต่อไป

#### 7.2 กังหันลม

7.2.1 กังหันที่ใช้เป็นกังหันที่มีใบพัดทำมาจากไม้ ซึ่งมีใ้ช้อยู่ในแถบจังหวัด ฉะเชิงเทรา สมุทรปราการ เพื่อใช้วิดน้ำเข้านาข้าว หรือพื้นที่การเกษตรอื่นๆ สาเหตุที่เลือกกังหันนี้ เพราะให้รอบก่อนข้างสูง ลักษณะใบมีความแข็งแรง โดยเส้นผ่าศูนย์กลางเราได้จากขนาดของไม้ คี้อยาว 6 เมตร ซึ่งรายละเอียดของส่วนต่างๆมีดังนี้

- 1) ฐานราก      4 ฐาน      คอนกรีตเสริมเหล็ก  
กว้าง 85 ซม.      ยาว 85 ซม.      ลึก 2 ม.  
แต่ละฐานตีเสาเข็ม 3 ม. จำนวน 4 ต้น
- 2) เสา              4 ต้น      เป็นเหล็กฉาก ขนาด 65 มม.×65 มม.×6 มม.  
ช่วงแรก              ยาว      6.0 ม.  
ช่วงกลาง              ยาว      2.5 ม.  
ช่วงบน                ยาว      3.5 ม.
- 3) ข้อต่อ          4 อัน      เหล็กแผ่นหนา 6 มม. เชื่อมติดกันเป็นฉาก
- 4) เพลากลอน    1 ท่อน    ทำด้วยเหล็กกลึง ยาว 1.7 ม. เส้นผ่าศูนย์กลาง 3 นิ้ว  
ที่ปลายข้างหนึ่งกลึงเป็นบ่า 2.5 นิ้ว รับกับลูกปืน
- 5) แผ่นเหล็กรับ    3 แผ่น    หนา 10 มม. เพื่อรับน้ำหนักของแกนเหล็ก  
แผ่นแรก              ขนาด 50×50 ซม.  
แผ่นสอง              ขนาด 43×43 ซม.  
แผ่นสาม              ขนาด 40×40 ซม.

- 6) ตลับลูกปืน 3 ตลับ ตลับแรก ขนาด 3 นิ้ว  
 ตลับสอง ขนาด 3 นิ้ว  
 ตลับสาม ขนาด 2.5 นิ้ว
- 7) สลีปริง 1 ชุด ทำด้วยทองแดง 10 วง ติดตั้งบนแผ่นฉนวน ซึ่งเป็นส่วนเคลื่อนที่
- 8) แปรงถ่าน 10 ชุด ทำจากชิ้นส่วนของแผ่นฉนวน ประกอบขึ้นเอง ใส่ก้อนแปรงถ่าน ซึ่งเป็นส่วนอยู่กับที่
- 9) มู่เลย์ 1 ตัว ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 25 ซม. ชนิด 2 ร่อง
- 10) ตัวตุ้กตา 4 ตัว ขนาด 2.5 นิ้ว 2 ตัว  
 ขนาด 1.5 นิ้ว 2 ตัว
- 11) เพลลา 2 ท่อน เพลลาหมุนจากใบกังหัน ยาว 104 ซม. ขนาด 3 นิ้ว  
 เพลลาขับ ยาว 85 ซม. ขนาด 2 นิ้ว
- 12) เฟือง 2 ชุด เฟืองหมุน เส้นผ่าศูนย์กลาง 32 ซม.  
 เฟืองขับเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 ซม.

### 7.3 เครื่องกำเนิดกระแสไฟฟ้า

เลือกใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าในรถยนต์ เนื่องจากหาซื้อได้ง่าย ความเร็วรอบใช้งานค่อนข้างต่ำ ประมาณ 700-1200 รอบต่อนาที เมื่อเทียบกับเครื่องกำเนิด โดยทั่วไป ความเร็วใช้งานต่ำสุด 1500 รอบต่อนาที เครื่องกำเนิดที่มีความเร็วรอบต่ำกว่านี้ จะมีราคาแพงมาก หาซื้อยาก เนื่องจากในงานทั่วไปไม่นิยมใช้ จึงไม่มีผลผลิตออกมา และเครื่องกำเนิดไฟฟ้ารถยนต์ ยังสามารถทนความร้อนได้สูง จากสภาพการใช้งานในห้องเครื่องที่มีอุณหภูมิสูงอยู่ตลอดเวลา ทำให้มั่นใจได้ว่าจะไม่มีปัญหาในเรื่องการระบายความร้อน เพราะต้องติดตั้งกลางกลางแจ้งตลอดเวลา

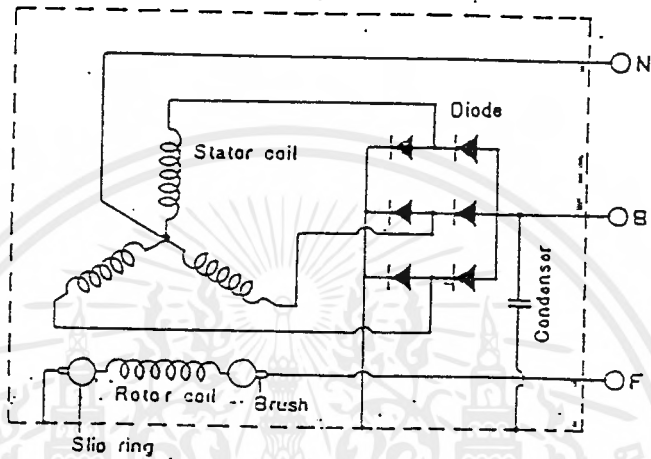
#### 7.3.1 คุณสมบัติทั่วไป ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ารถยนต์ มีดังนี้

- 1) เป็นเครื่องกำเนิด 3 เฟส
- 2) มีชุดเรียงกระแส แบบเต็มคลื่น ( full wave )
- 3) แรงดันที่ขั้วเป็นกระแสตรง 24 โวลท์
- 4) พิกัดกระแส 50 แอมแปร์
- 5) ความเร็วรอบ 700-1200 รอบต่อนาที
- 6) มีจำนวนขั้วแม่เหล็ก 8 ขั้ว ( pole )
- 7) น้ำหนักประมาณ 5 กิโลกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 7.3.2 การดัดแปลงเพื่อความเหมาะสม

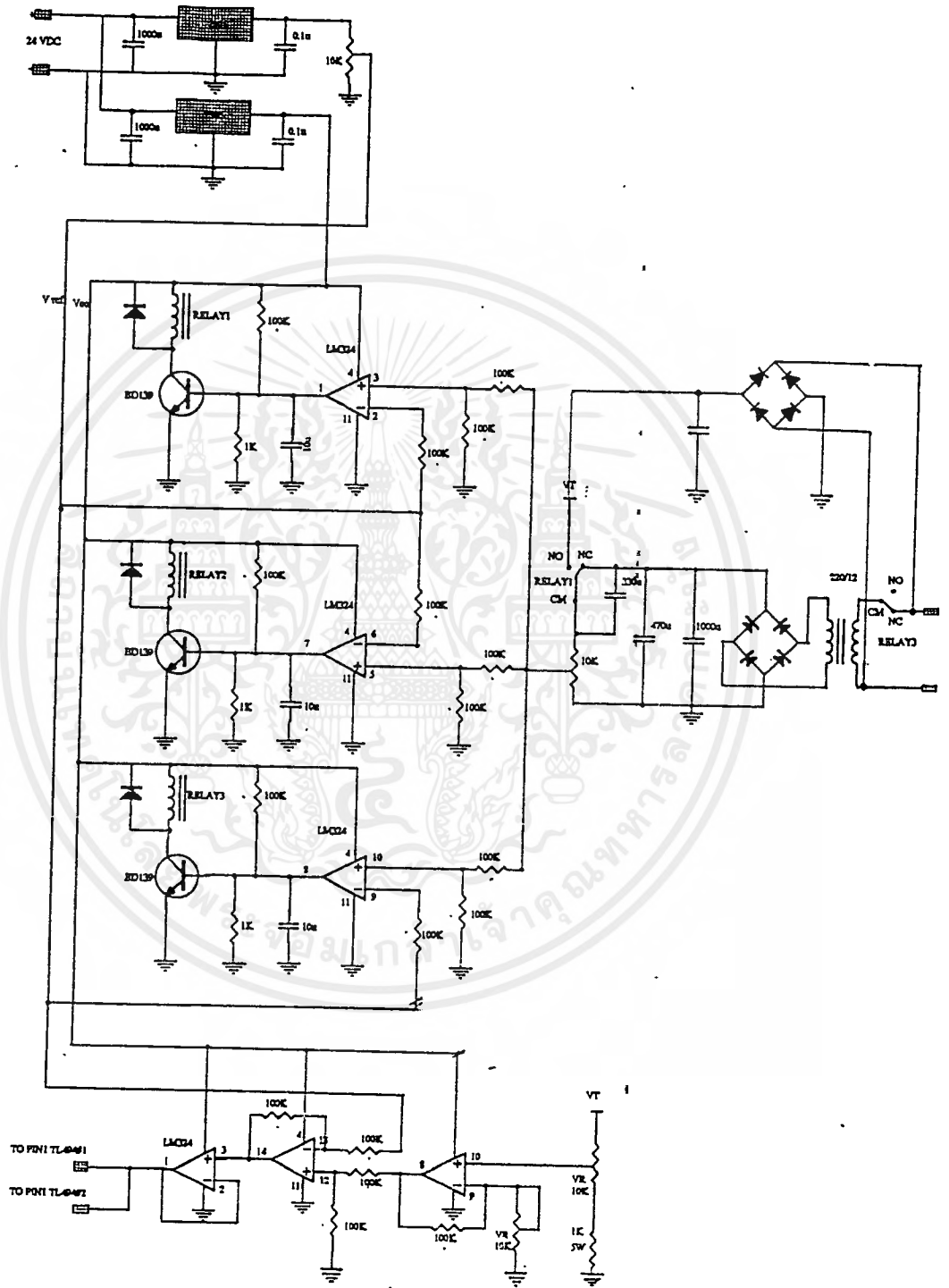
จากวงจรภายในของเครื่องกำเนิดที่เราซื้อ มา เป็นดังนี้



รูปที่ 7.1 วงจรของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ารถยนต์

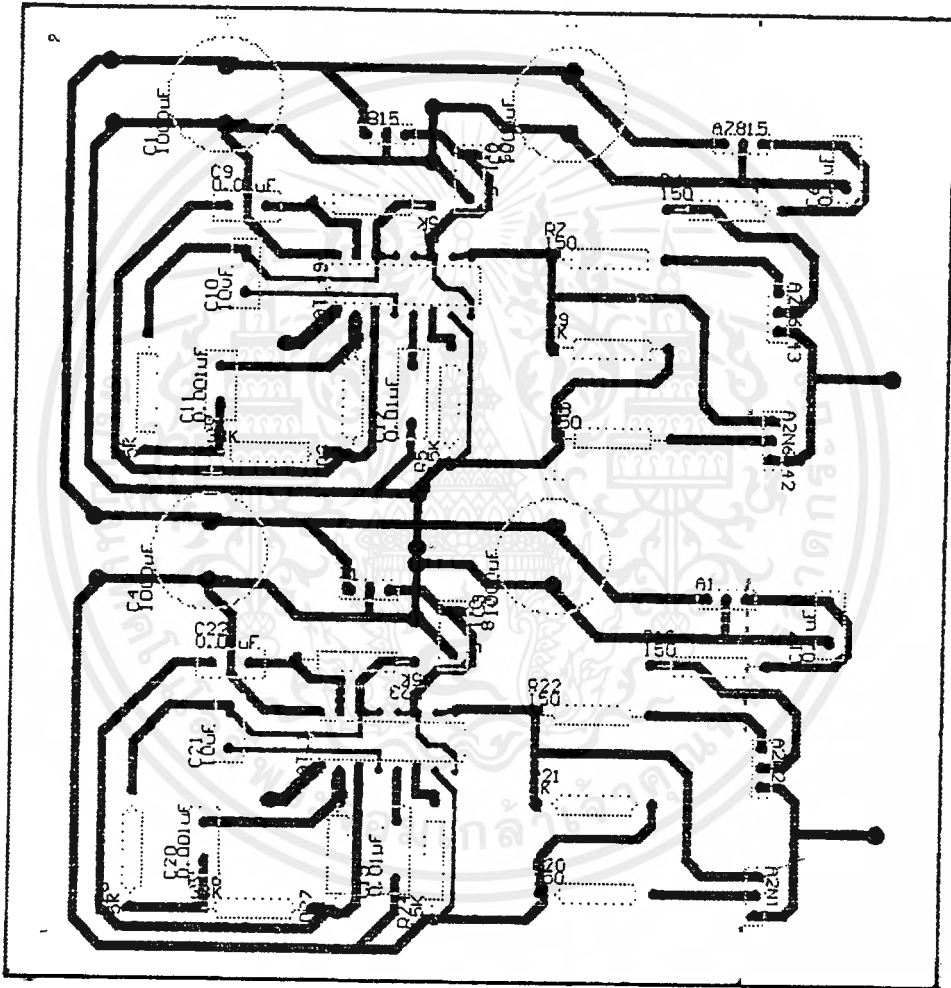
จากรูปจะเห็นได้ว่า ขั้ว E ของเครื่องกำเนิด จะต่อเข้ากับโครงเครื่องกำเนิด ในการใช้งาน เราใช้ เครื่องกำเนิด 2 ตัว ต่ออนุกรมกัน เนื่องจากต้องการให้ทำงานที่ความเร็วรอบ ประมาณ 400 รอบต่อนาที ฉะนั้นปัญหาที่เกิดขึ้นหากอนุกรมกัน คือ จะมีตัวหนึ่งที่ถูกลัดวงจร แรงดันที่ออกมา จะเป็นครึ่งเดียว เราแก้ปัญหานี้โดย ทำการแยก ขั้ว E ออกจากโครงเครื่องกำเนิด เพื่อที่จะอนุกรมกัน เราเอาแรงดันที่ขั้ว ของทั้งสองตัวมาอนุกรมกัน เพื่อให้ได้แรงดันเป็นสองเท่า คือ  $V_1+V_2$  ส่วนกระแสกระแสดัน ต่อแบบขนานกัน ส่วนรายละเอียดและทฤษฎี ได้กล่าวไว้ในบทที่ 5

### 7.4 วงจรควบคุมแรงดัน



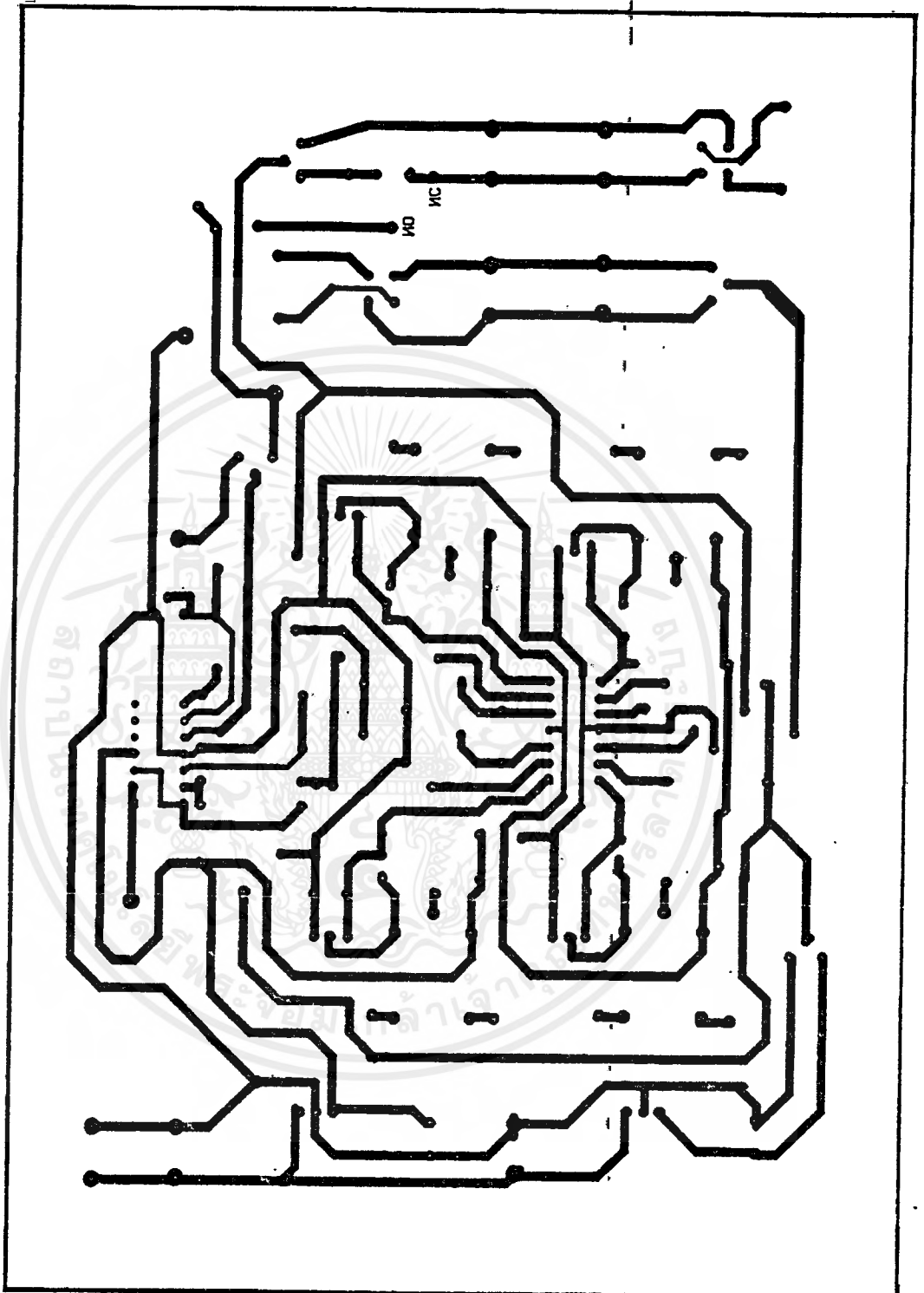
รูปที่ 7.2 แสดงวงจรควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



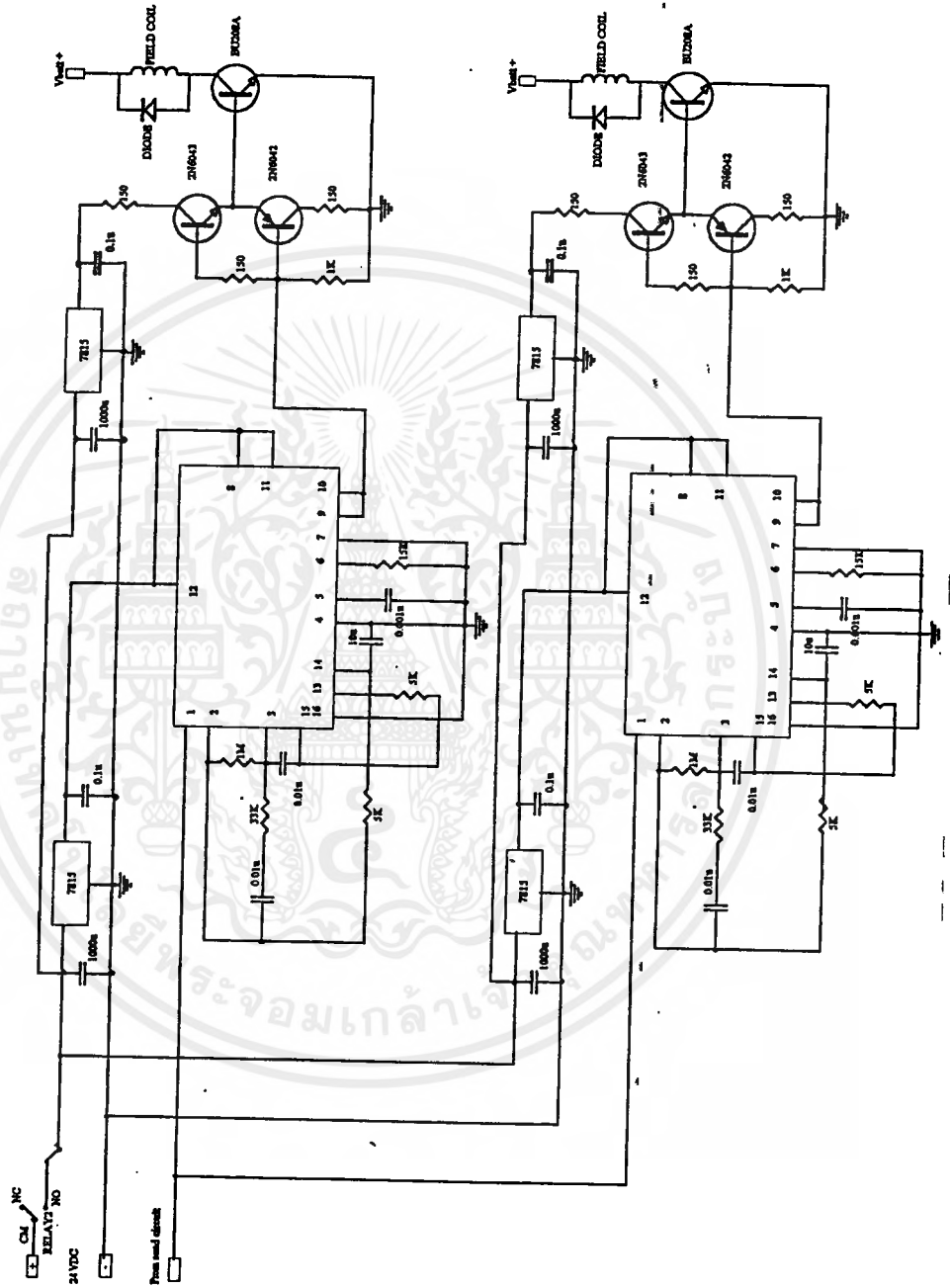
รูปที่ 7.3 แสดงลายแผ่นวงจรพิมพ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.4 แสดงลายแผ่นวงจรพิมพ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.5 แสดงวงจรควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ชุดตัดต่อกระแสสนามอัตโนมัติ (Automatic ON/OFF Field Current)

สถานะเริ่มต้นจะยังคงไม่มีการป้อนกระแสกระตุ้นเข้าไปยังขดลวดสนาม (field coil) เมื่อมีลมพัดทำให้แกนโรเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหมุน จะทำให้มีแรงดันเกิดขึ้น เนื่องจากสนามแม่เหล็กตกค้างในแกนเหล็ก (นำแรงดันนี้ซึ่งเป็นไฟสลับมาแปลงเป็นกระแสตรง แล้วนำไปเข้าขาคินพุตบวกของออปแอมป์ตัวที่ 1) เมื่อถึงความเร็ว 450 รอบ จะทำให้แรงดันที่ขาคินพุตบวกของออปแอมป์ ตัวที่ 1 มีค่ามากกว่าแรงดันที่ขาคินพุตลบของออปแอมป์ตัวที่ 1 ซึ่งมีแรงดันไฟฟ้าอ้างอิง ( $V_{ref}$ ) มาเป็นอินพุต ทำให้มีอินพุตออกไป ซึ่งจะเป็นกระแสเบส ของทรานซิสเตอร์ตัวที่ 1 ทำให้ทรานซิสเตอร์นำกระแส (ON) จะมีกระแสไหลผ่านขดลวด ของรีเลย์ตัวที่ 1 ทำให้หน้าคอนแทคปกติปิด แยกออกจากกัน และขาร่วม (Common) จะไปสัมผัสกับหน้าคอนแทคปกติเปิด ซึ่งที่ขาคินพุตเปิดจะมีไฟฟ้ากระแสตรง (ซึ่งได้มาจากการแปลงไฟฟ้ากระแสสลับ จากที่เครื่องกำเนิดผลิตได้ มาผ่านไดโอดบริดจ์) มาเป็นอินพุต ทำให้รีเลย์เกิดสถานะอินเตอร์ลอคตัวมันเอง และจะกลับสู่สภาวะปกติ ก็ต่อเมื่อไม่มีไฟฟ้ากระแสมาป้อนที่หน้าคอนแทคปกติเปิด ซึ่งก็คือ โรเตอร์หยุดหมุนนั่นเอง

รีเลย์ตัวที่ 2 จะทำงานพร้อมกับรีเลย์ตัวที่ 1 ซึ่งจะใช้หน้าคอนแทคปกติเปิด เป็นตัวควบคุมไฟเลี้ยงวงจรของ ไอซี เบอร์ TL 494 เมื่อรีเลย์ตัวที่ 2 ทำงาน จะมีกระแสสนามไปป้อน ให้กับขดลวดชุดสนามแม่เหล็ก ถ้ารีเลย์ตัวที่ 2 กลับสู่สภาวะปกติ จะทำให้ไฟเลี้ยงวงจรของ TL 494 ถูกตัดออก ทำให้ไม่มีกระแสสนามไปป้อนให้กับขดลวดชุดสนาม

รีเลย์ตัวที่ 3 จะทำงานพร้อมกับรีเลย์ตัวที่ 1 และ 2 ซึ่งจะใช้หน้าคอนแทคปกติปิดไปควบคุมหม้อแปลงไฟฟ้า เนื่องจากใช้หม้อแปลงอัตราส่วน 12 / 220 โวลต์ ในตอนสถานะเริ่มแรกไม่มีการป้อนกระแสเข้าไปยังขดลวดชุดสนามแม่เหล็ก ทำให้ทางด้านปฐมภูมิของหม้อแปลงมีแรงดันไฟฟ้ากระแสมีค่าประมาณ 400 มิลลิโวลต์ ทำให้ชุดขดลวดทุติยภูมิมีแรงดันไฟฟ้าประมาณ 6 โวลต์ แต่เมื่อมีการป้อนกระแสสนามแม่เหล็ก เข้าไปที่ชุดขดลวดสนามแม่เหล็ก จะทำให้ขดลวดปฐมภูมิ มีแรงดันไฟฟ้าประมาณ 24 โวลต์ ทำให้ขดลวดทุติยภูมิมีแรงดันไฟออกมาประมาณ 440 โวลต์ ทำให้เป็นอันตรายต่อหม้อแปลง และอุปกรณ์ต่างๆในวงจร ดังนั้นเมื่อมีการป้อนกระแสสนามแม่เหล็กเข้าไป ขดลวดปฐมภูมิจะถูกตัดอินพุตออกไป

ออปแอมป์ ตัวที่ 4 จะเป็นวงจรขยายสัญญาณแบบคูณ ขาคินพุตบวกจะได้รับไฟฟ้ากระแสตรงจากแรงดันที่ขั้วของเครื่องกำเนิด ซึ่งผ่านตัวต้านทานปรับค่าได้ ทำให้สามารถปรับระดับแรงดันได้ โดยปรับค่าความต้านทาน

ออปแอมป์ตัวที่ 5 จะเป็นวงจรลดขนาดสัญญาณแบบลบ โดยจะมีแรงดันไฟฟ้าอ้างอิงมาเข้าเป็นอินพุตลบ ส่วนอินพุตบวกจะมาจากเอาต์พุตของออปแอมป์ตัวที่ 4

ออปแอมป์ตัวที่ 6 เป็นวงจรบัฟเฟอร์ (Buffer) ทำหน้าที่แยกวงจรทางไฟฟ้าออกจากวงจรที่กล่าวมาแล้วข้างต้นทั้งหมด กับวงจรของไอซี เบอร์ TL 494 เอาต์พุตของออปแอมป์ตัวนี้จะไปเข้าขา 1 ของ TL 494 ทั้ง 2 ตัว

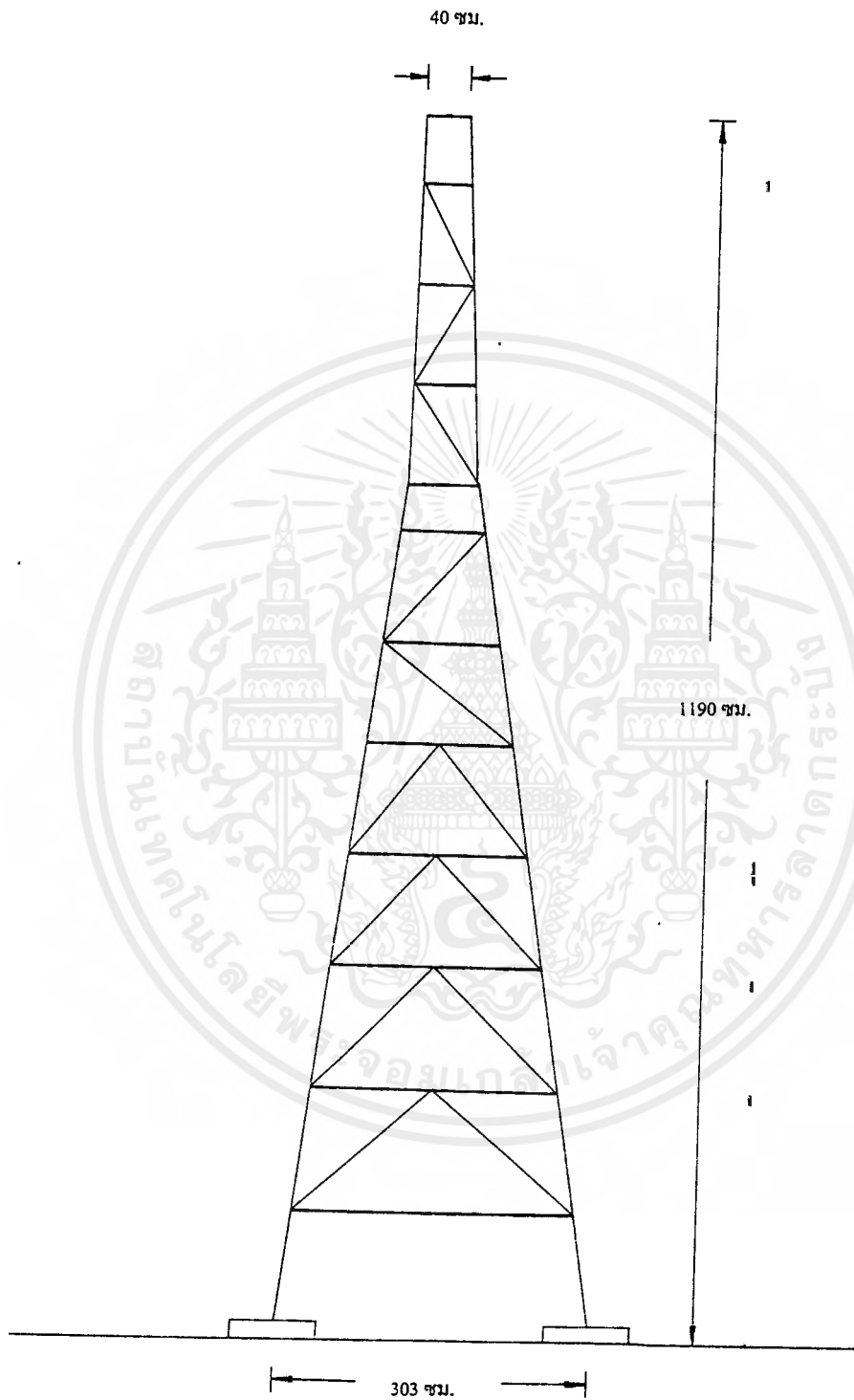


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการออกแบบสร้างดังกล่าว เราสามารถเขียนเป็นตารางโครงการ ได้ดังนี้  
ข้อมูลเฉพาะ ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าด้วยพลังงานลม ปีการศึกษา 2539-2540

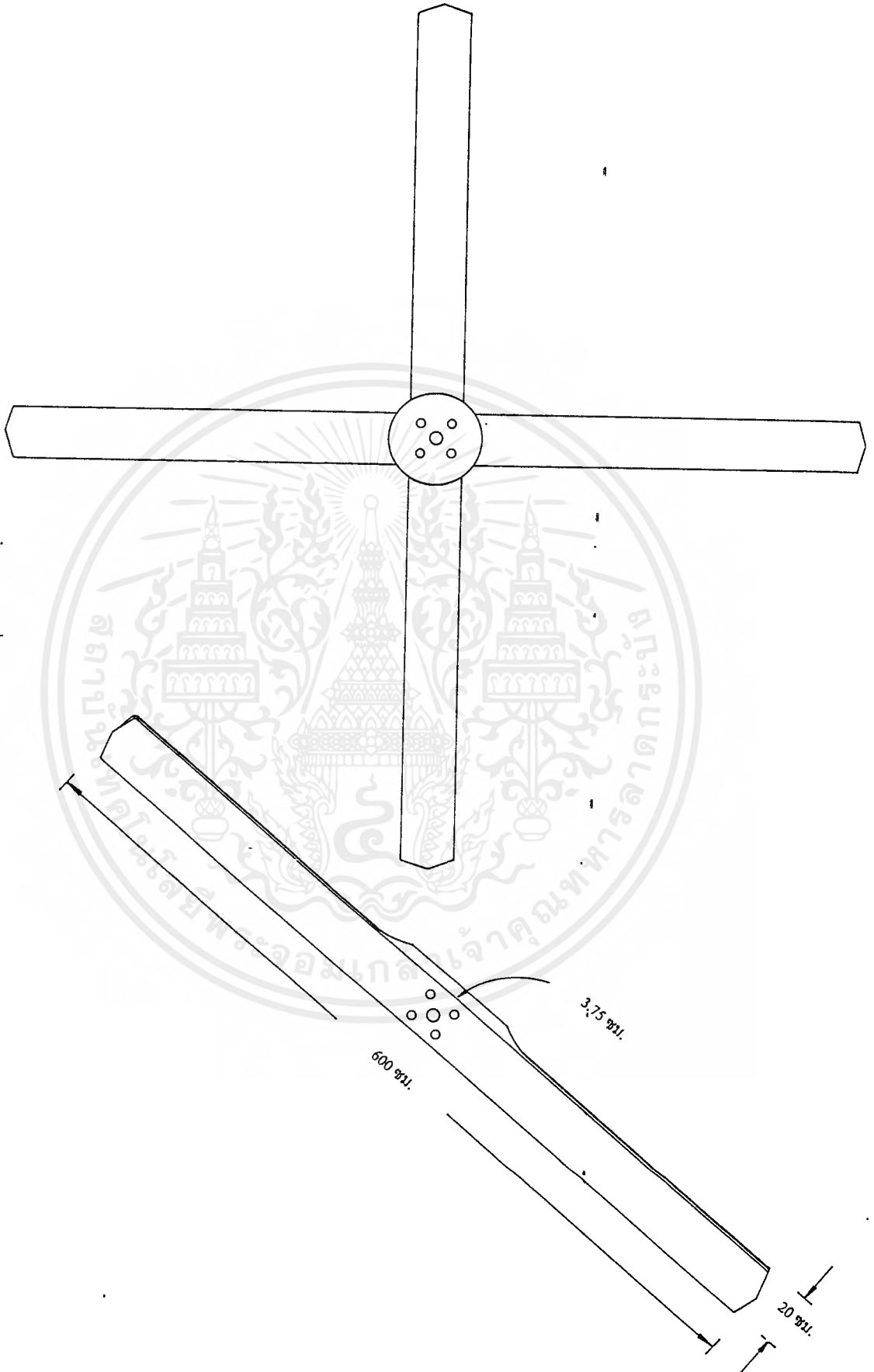
<u>ชุดหมุน</u>	
ชนิด	โพรเพลเลอร์
จำนวนใบพัด	4 ใบ
ทิศทางการรับลม	ด้านหน้า
ช่วงความเร็วในการหมุน	60-120 รอบต่อนาที
เส้นผ่าศูนย์กลาง	6 เมตร
ใบกว้าง / มุมเอียง	20 เซนติเมตร / ประมาณ 7 องศา
วัสดุทำใบ	ไม้ตะเคียน
การจับยึดใบพัด	แผ่นเหล็กกลมยึดตายตัว
<u>เครื่องกำเนิด</u>	
ระบบทดกำลัง	เฟือง และสายพาน
อัตราทด	8.5 : 1
ชนิด	เครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิด 2 ตัวอนุกรมกัน
พิกัดกำลัง	1 กิโลวัตต์
ความเร็ว	400-1200 รอบต่อนาที
แรงดันที่ได้	27 โวลท์
กระแสกระตุ้นสูงสุด	3 แอมแปร์
<u>ระบบควบคุม</u>	
แรงดัน	ใช้แรงดันขาออกป้อนกลับมาเพื่อควบคุมขนาดของกระแสกระตุ้น โดยวงจร PWM.
การปรับหertz ทางลม	หางเสือ
<u>เสา</u>	
ความสูง	ประมาณ 12 เมตร
ลักษณะ	เป็นทาวเวอร์
<u>น้ำหนัก (โดยประมาณ)</u>	
ใบพัด	80 กิโลกรัม
ห้องเครื่องและชุดเพลลาแกน	160 กิโลกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

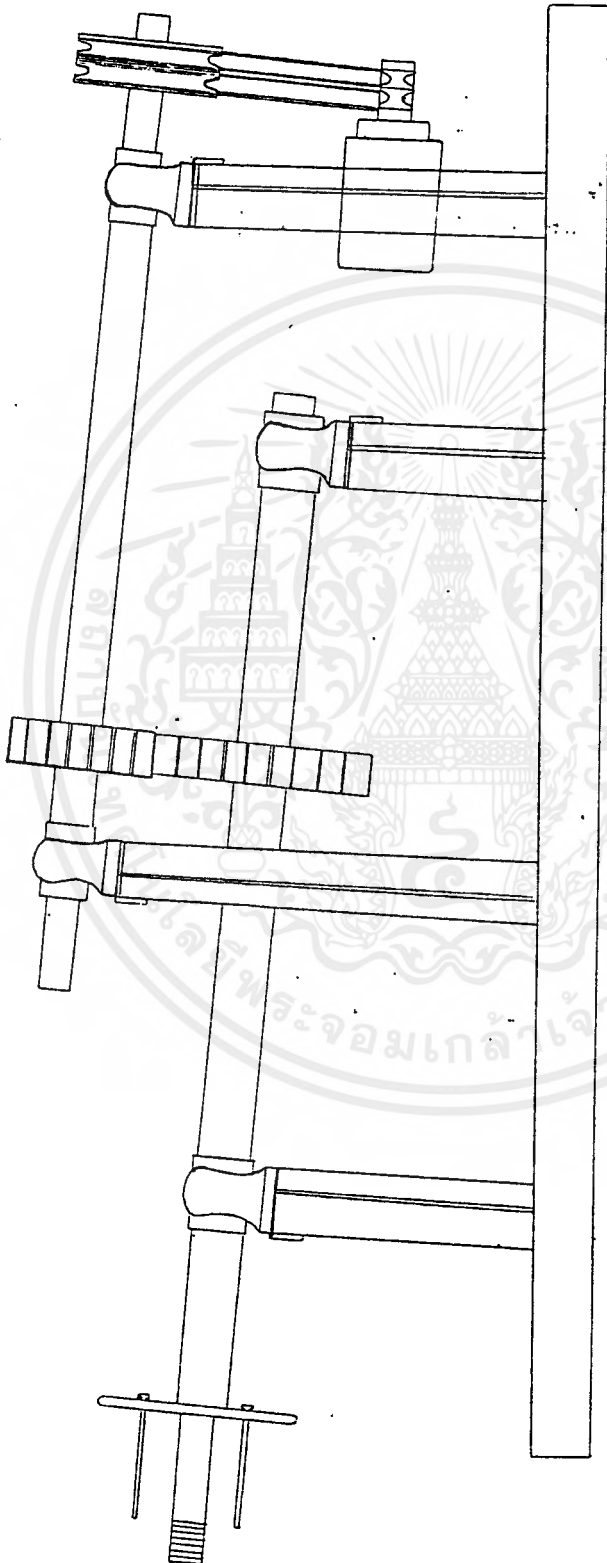


1 : 50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

74

130 ซม.

160 ซม.



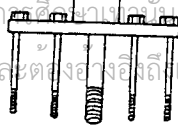
เครื่องกำเนิดไฟฟ้า

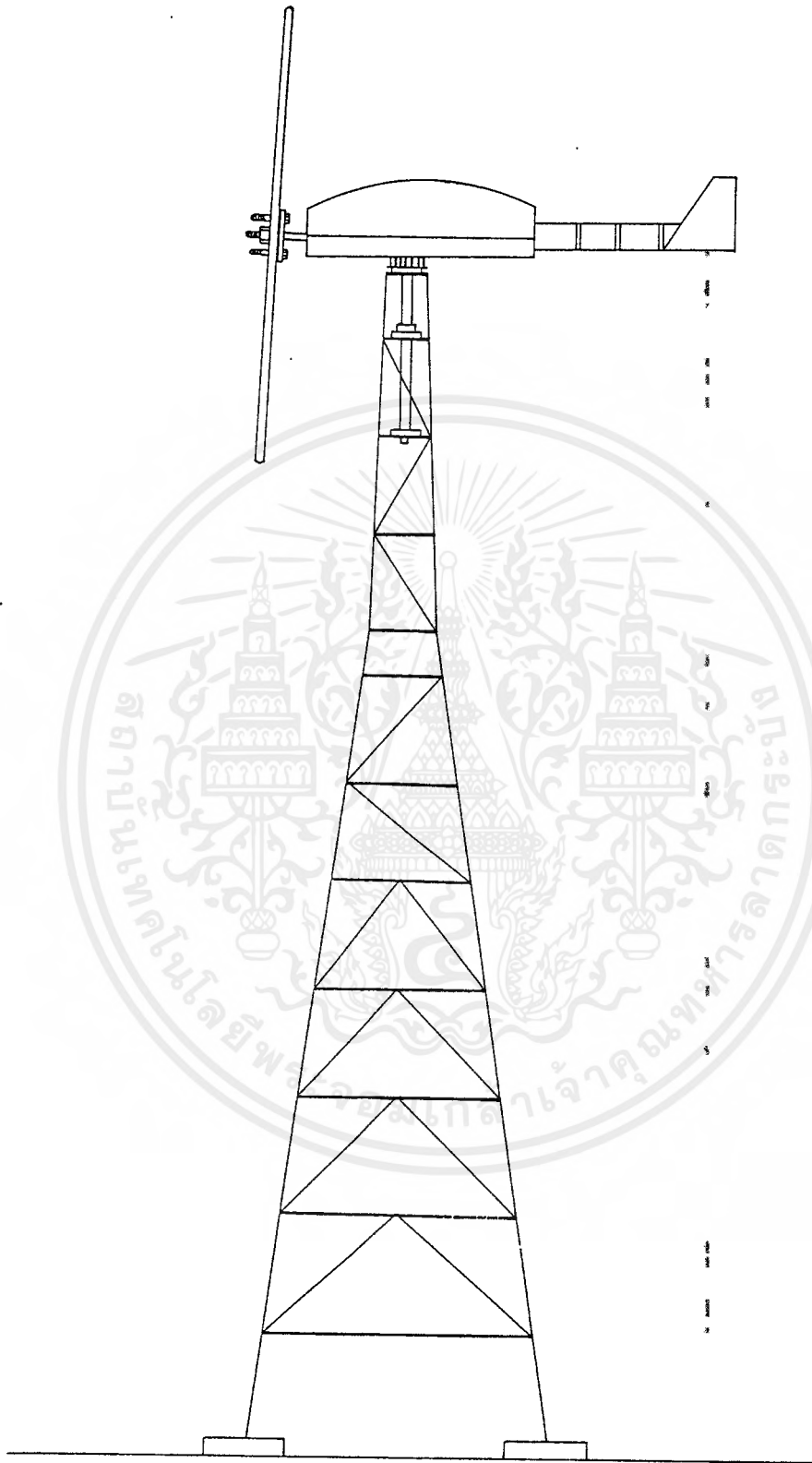
เพลาขับเคลื่อนกำเนิดไฟฟ้า

เฟืองทด

เพลาใบพัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้นฉบับของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 8

### การทดลองและผลการทดลอง

#### 8.1 การทดลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในสถานะไม่มีโหลด

ทำการทดลองเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 2 เครื่อง ต่อกันในสถานะไม่มีโหลด (NO LOAD) โดยยังไม่ต่อวงจรควบคุมแรงดัน โดยทดสอบที่กระแสชดสนามที่คงที่ ( $I_f$ ) โดยที่กระแสชดสนาม คงที่ที่ 1.3 แอมแปร์ ต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหนึ่งเครื่อง

ตารางที่ 8.1 แสดงผลการทดลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเมื่อไม่มีโหลด (No load) ( $I_f = 1.3$ )

speed (rpm)	gen1 (v)	gen2 (v)	gen1+gen2 (v)
300	11.1	8.4	19.5
330	12.4	9.6	22.0
350	13.0	10.0	23.0
375	14.0	11.0	25.0
400	15.2	11.8	27.0
425	15.6	12.9	28.5
450	16.5	13.5	30.0
475	17.3	14.2	31.5
500	18.9	15.1	34.0
525	19.2	15.8	35.0
550	20.5	16.5	37.0
580	21.5	17.5	39.0
600	22.4	18.1	40.5
630	23.0	19.0	42.0
650	24.1	19.9	44.0
675	25.0	20.5	45.5
700	25.8	21.2	47.0
725	27.0	22.0	49.0
750	27.6	22.9	50.5
775	28.4	23.6	52.0
800	29.5	24.5	54.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(If = 1.3)

speed (rpm)	gen1 (v)	gen2 (v)	gen1+gen2 (v)
825	30.8	25.2	56.0
850	31.5	26.0	57.5
875	32.2	26.8	59.0
900	33.2	27.8	61.0
930	34.2	28.8	63.0
950	35.0	29.2	64.2
975	35.9	30.1	66.0
1000	36.7	30.8	67.5
1025	37.6	31.9	69.5
1050	38.6	32.9	71.5
1075	39.5	33.5	73.0
1100	40.0	34.5	74.5
1125	41.4	35.1	76.5
1150	42.0	36.0	78.0
1175	43.2	36.8	80.0
1200	44.0	37.5	81.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 8.2 การทดลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในสถานะไม่มีโหลด ( NO LOAD )

ผลของการทำการทดลองเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 2 เครื่อง ต่อกันและใช้วงจรควบคุมแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายออกมา ที่ประมาณ 27 โวลต์

ตารางที่ 8.2 แสดงผลของแรงดันที่จ่ายออกมาจากเครื่องกำเนิด

rpm	If ( A )	Vdc1 ( gen1 )	Vdc2 ( gen2 )	Vdc output ( gen1+gen2 )
450	2.56	13.0	10.0	23.0
475	2.50	13.8	10.6	24.4
500	2.50	14.8	11.0	25.8
525	2.40	14.2	11.4	26.6
550	2.24	15.4	11.4	26.8
575	2.10	15.4	11.6	27.0
600	2.00	15.8	11.8	27.6
625	1.90	16.2	11.8	28.0
650	1.80	16.2	11.8	28.0
675	1.70	16.2	11.8	28.0
700	1.65	16.2	11.8	28.0
725	1.58	16.2	12.0	28.2
750	1.50	16.2	12.0	28.2
775	1.44	16.4	12.0	28.4
800	1.40	16.4	12.0	28.4
825	1.36	16.6	12.0	28.6
850	1.30	16.6	12.2	28.8
875	1.28	16.8	12.2	29.0
900	1.22	16.8	12.4	29.2
925	1.20	16.8	12.4	29.2
950	1.16	17.0	12.4	29.4
975	1.12	16.9	12.5	29.4
1000	1.11	17.2	12.6	29.8

\*เนื่องจากมู่เลขของ gen1 มีขนาดเล็กกว่ามู่เลขของ gen2 จึงทำให้แรงดันของ gen1 สูงกว่า gen2 เล็กน้อย\*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 8.3 การทดสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในสภาวะมีโหลด ( ON LOAD )

การทดลองเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 2 เครื่องอนุกรมกันและใช้วงจรควบคุมแรงดันไฟฟ้าควบคุมแรงดันไฟฟ้า ให้คงที่ที่ 27 โวลต์ แล้วทำการเพิ่มโหลดขึ้นไปเรื่อยๆ

ตารางที่ 8.3 แสดงผลของกระแสที่จ่ายให้โหลด

rpm	If (A)	I load (A)
550	2.54	0.20
575	2.54	0.84
600	2.52	1.25
625	2.54	1.60
650	2.56	2.20
675	2.56	2.60
700	2.58	2.90
725	2.54	2.90
750	2.60	3.50
775	2.60	3.70
800	2.60	4.00

#### 8.4 การทดสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่โครงการจริง (NO LOAD)

การทดสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขณะ No - Load บนกึ่งหันลม โดยมีวงจรควบคุมแรงดัน

หมายเหตุ เนื่องจากการนับจำนวนรอบของกึ่งหันลมนั้นไม่สามารถที่จะนับได้ และไม่สามารถที่จะวัดความเร็วของลมในขณะที่ทำการทดลอง จึงนำเอากระแสที่วัดได้มาคำนวณหาจำนวนรอบของเครื่องกำเนิดและจำนวนรอบของกึ่งหันลม

ตารางที่ 8.4 แสดงผลของแรงดันที่จ่ายออกมาจากเครื่องกำเนิด

ความเร็วรอบกึ่งหัน (รอบ)	ความเร็วรอบเครื่อง กำเนิดไฟฟ้า (รอบ)	กระแส If (แอมป์)	แรงดันไฟฟ้า (โวลต์)
50	425	2.56	22.2
55	468	2.5	24.2
60	510	2.48	26.1
65	553	2.27	26.7
70	595	2.02	27.2
75	638	1.87	27.4
80	680	1.72	28.0
85	723	1.59	28.0
90	765	1.53	28.1
95	808	1.42	28.3
100	850	1.30	28.8
105	893	1.25	28.9
110	935	1.19	29.1
115	978	1.12	29.5
120	1020	1.06	29.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 8.5 การทดสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในสถานะมีโหลด (ON LOAD)

การทดลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขณะ On - Load บนกัณฑ์ลมน โดยมืวงจรวควบคุมแรงดัน

หมายเหตุ เนื่องจากการนับจำนวนรอบของกัณฑ์ลมนั้น ไม่สามารถที่จะนับได้ และไม่สามารถที่จะวัดความเร็วของลมนในขณะที่ทำการทดลอง จึงนำเอากระแสที่วัดได้มาคำนวณหาจำนวนรอบของเครื่องกำเนิด และจำนวนรอบของกัณฑ์

ตารางที่ 8.5 แสดงผลของกระแสที่จ่ายให้โหลด

จำนวนรอบ (รอบ)	กระแส If (แอมป์)	กระแส I load (A)
562	2.54	0.25
567	2.54	0.50
573	2.54	0.75
580	2.54	1.00
600	2.54	1.25
615	2.54	1.50
621	2.54	1.75
640	2.54	2.00
653	2.54	2.25
670	2.54	2.50
682	2.54	2.75
730	2.54	3.00
740	2.54	3.25
750	2.54	3.50
780	2.54	3.75
800	2.54	4.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 9

### สรุปการทำงานและการแก้ไข้ปัญหา

จากการทำงานที่ผ่านมา ต้องทำงานถึง 2 ครั้ง ส่วนของงานครั้งแรกถูกสร้างขึ้นภายในเวลาที่จำกัดจึงเกิดปัญหาขึ้นหลายอย่างกั้กันชุดแรกพลั้งเนื่องจากพายุ จากสิ่งที่เกิดขึ้นคณะผู้จัดทำพยายามค้นหาสาเหตุทุกอย่างที่ทำให้เกิดความเสียหาย ศึกษาหาวิธีที่จะป้องกันเพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาที่จะเกิดขึ้น เมื่องานทั้งหมดเสร็จลง สามารถจะอธิบายปัญหาต่างๆและการแก้ไขได้ดังนี้

1) ปัญหาการเริ่มหมุนของใบพัด ซึ่งทำได้ยาก ในกั้กันชุดแรกเนื่องจากพื้นที่รับลมของใบน้อย (กว้าง 8 นิ้ว) มุมบิดของใบน้อยเกินไปทำให้แรงยกที่เกิดขึ้นยังต่ำเกินไป ปกติแล้วมันเป็นคุณสมบัติอย่างหนึ่งของกั้กัน โพรเพลเลอร์ คือ แรงบิดเริ่มต้นต่ำ แต่อย่างน้อยก็ควรจะปรับปรุงให้อยู่ในเกณฑ์ที่เริ่มหมุนเองได้ ดังนั้นในการทำใบพัดชุดที่ 2 ขนาดความกว้างของใบยังคงเดิม แต่มุมบิดของใบพัดถูกทำให้เพิ่มมากขึ้น และก็ได้ผลดีขึ้นทั้งในการออกตัวและความเร็วรอบในการหมุน

2) น้ำหนักของห้องเครื่องและความสมดุล ห้องเครื่องชุดใหม่น้ำหนักลดลงมากเพราะตัดส่วนประกอบที่ไม่จำเป็นออกทั้งหมด เหล็กที่ใช้มีเหล็กตัว U เพียง 2 ชิ้น คือ ฐาน ส่วนเหล็กจับยึดเพลลาใช้เป็นเหล็กขนาด 65x65x6 มม. ซึ่งของเก่าเป็นเหล็กตัว U อย่างหนาทั้งหมด ส่วนโครงภายนอกใช้เหล็กสี่เหลี่ยม โปร่งเป็นโครง แต่การทำสมดุลยังทำให้ไม่ดีนัก เนื่องจากพื้นที่จำกัด และลักษณะของตัวห้องเครื่อง คือ ส่วนของห้องเครื่องอย่างเดียวสามารถทำให้สมดุลกันได้ แต่เมื่อใส่ใบพัดเข้าไปทำให้ส่วนหน้าหนักกว่าส่วนหลัง แต่ได้ป้องกันไว้อีกจุดหนึ่งคือ ตัดเหล็กเป็นรูปสามเหลี่ยมมุมฉากมาเชื่อมติดระหว่างแผ่นรองรับห้องเครื่องและเพลลาตั้ง เพื่อช่วยค้ำและรับน้ำหนักจากฐานห้องเครื่องที่ถ่ายลงมาไปยังเพลลา อีกทั้งยังช่วยรักษาให้ห้องเครื่องอยู่ในแนวระนาบตลอด

3) การชำรุดของใบพัดที่เกิดจากใบพัดพันกับเสาโครงเหล็ก สิ่งนี้เกิดจากการอ่อนตัวของใบพัดซึ่งต้องเผื่อเอาไว้ประมาณ 30 ซม. ในงานครั้งแรกระยะห่างก็เพียงพอแต่ส่วนหน้าของกั้กันหนัก รอยเชื่อมต่อไม่แข็งแรงพอทำให้ส่วนหน้าของกั้กันเอียงลงมามากกว่าเดิม(ไม่อยู่ในแนวระนาบ) ทำให้ใบพัดเข้าใกล้เสามากกว่าปกติและเกิดอุบัติเหตุขึ้น กั้กันชุดที่ 2 ทำการแยกแกนเพลลาของใบพัดขึ้นประมาณ 3 องศา ซึ่งทำให้ระยะห่างที่ปลายใบพัดคู้กับ โครงเสาเหล็กให้มากขึ้นเป็น 80 ซม. ซึ่งเป็นระยะที่มั่นใจได้ว่าจะไม่เกิดอุบัติเหตุขึ้น

4) ปัญหาความไม่สม่ำเสมอของลม จากการสังเกตและจากข้อมูลลมของกรมอุตุนิยมวิทยา ทำให้ทราบว่าความเร็วลมในเขตกรุงเทพมหานครค่อนข้างน้อย จะมีช่วงที่ใช้งานได้ก็คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ช่วงเดือน กุมภาพันธ์ มีนาคม และเมษายน ซึ่งในการติดตั้งในการใช้งานจริงถ้าจะให้ได้ดี ควรเลือกทำเลที่เหมาะสม เช่น ชายทะเล เพราะลมเป็นตัวแปรหลักของระบบนี้

5) โครงสร้างเสา เนื่องจากโครงสร้างเดิมเสาส่วนบนมีขนาดใหญ่จึงปรับให้มีขนาดเล็กลง เพื่อเพิ่มระยะห่างระหว่างเสากับปลายใบพัดซึ่งก็ได้ผลดี แต่ปัญหาที่ตามมาอีกคือ ความสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นแต่มิอาจวิตกมากนัก

6) การต่ออนุกรมเครื่องกำเนิด การที่จะนำเครื่องกำเนิดไฟฟ้ารถยนต์มาต่ออนุกรมกัน จำเป็นจะต้องมีการตัดแปลงคือ แยกขั้วไฟลบออกจากโครงของเครื่องกำเนิดมิฉะนั้นแล้วจะนำมาอนุกรมกัน ไม่ได้ (เมื่อเราจับขั้วเครื่องกำเนิดทั้ง 2 ด้วยนอตและวัสดุนำไฟฟ้า) ซึ่งเป็นส่วนที่ยุ่งยากพอสมควร และการต่ออนุกรมนี้จะทำให้พิกัดที่ควรจะได้จากเครื่องกำเนิด 2 ตัวคือ 2 กิโลวัตต์ เหลือเพียง 1 กิโลวัตต์

7) ขาดแบตเตอรี่ที่ใช้ในการทดสอบ โครงงานและใช้งานจริงเนื่องจากโครงงานนี้สามารถทำงานได้จริงแต่พิกัดอาจจะไม่สูงนักหากมีอุปกรณ์พร้อมจะทำให้งานสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

8) เกิดเสียงดังเวลากังหันหมุน ซึ่งเสียงนี้เกิดจากการหมุนของเพลาดังต่างๆ และเสียงที่ใบพัดตัดอากาศ

9) ระบบความปลอดภัย เป็นสิ่งที่ยังไม่สามารถทำได้ เนื่องจากต้องใช้เทคโนโลยีและเงินทุนในระดับที่สูงขึ้นไป จากสาเหตุนี้จึงไม่สามารถปล่อยให้กังหันหมุนตลอดเวลาโดยไม่มีผู้ควบคุมดูแล เพราะเกรงว่าจะเกิดพายุ หรือ ลมกรรโชกแรงอย่างกระทันหัน การทดสอบจึงเกิดขึ้นโดยมีคณะผู้จัดทำคอยดูแลอยู่ทุกครั้ง คณะผู้จัดทำหวังว่าหากโครงงานนี้ยังมีขึ้นต่อไป ก็จะได้ระบบกำเนิดไฟฟ้าด้วยพลังงานลมที่สมบูรณ์ และปล่อยให้ทำงานได้โดยอัตโนมัติในอนาคตอันใกล้

## สรุปเงินลงทุนสำหรับกังหันลม 1 ชุด (ชุดที่ 2) ที่ใช้ไปมีดังนี้

1) เสาโครงเหล็ก	20,000	บาท
2) ใบพัดไม้	9,000	บาท
3) เพลาและระบบส่งกำลัง	6,000	บาท
4) ห้องเครื่อง	2,000	บาท
5) วงจรควบคุม	2,000	บาท
6) สายไฟ	500	บาท
7) เครื่องกำเนิดไฟฟ้า 2 ตัว	7,500	บาท
8) เทรนชกของ	3,500	บาท
9) ยานพาหนะ	3,000	บาท
10) อื่นๆ	7,000	บาท
ต้นทุนรวม	<u>60,500</u>	บาท

พิกัดกำลังที่ได้ 1 กิโลวัตต์ ดังนั้นต้นทุนค่าไฟฟ้าสำหรับระบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าด้วยพลังงานลม คือ 60.5 บาท / วัตต์ ซึ่งยังนับว่าสูงมาก หากระบบมีอายุการใช้งานนาน 5 ปี ต้นทุนค่าไฟฟ้าคือ 1.4 บาท / กิโลวัตต์ - ชั่วโมง

## กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้จัดทำโครงการขอขอบคุณ หน่วยงาน อาจารย์ และท่านที่ให้ความช่วยเหลือ และสนับสนุนทุกท่าน

ขอขอบคุณ คณะกรรมการอุทยานพระจอมเกล้า ที่สนับสนุนเงินทุนบางส่วน รวมทั้งการก่อสร้างรากฐาน และห้องปฏิบัติงาน

ขอขอบคุณ ผศ. ประภาส ไพรสุวรรณ และ อ. อนุวัฒน์ จางวานิชเลิศ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการนี้ ซึ่งคอยรับฟังปัญหา และให้คำแนะนำในการแก้ปัญหา รวมทั้งเงินทุนสนับสนุนแก่โครงการนี้

ขอขอบคุณ แผนกทดลองพลังงาน การไฟฟ้าฝ่ายผลิต แห่งประเทศไทย (บางกรวย) สำหรับคำแนะนำเกี่ยวกับชนิดของกังหันต่างๆ ข้อมูลของเครื่องกำเนิดของการไฟฟ้าที่มีใช้อยู่ และให้โอกาสเข้าชม สถานีพลังงานทดแทน แหลมพรหมเทพ จังหวัดภูเก็ต

ขอขอบคุณ บริษัท พงัน ชัฟฟลาย จำกัด ที่อนุเคราะห์ด้านเครื่องมือที่ใช้ในงานเหล็ก และพนักงานที่มาช่วยในงาน โครงสร้าง ตลอดจนยานพาหนะในการขนส่ง

ขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี ที่ให้คำแนะนำในการใช้เรซิน

ขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล ที่เอื้อเฟื้อเครื่องมือหลายๆอย่างในโรงฝึกงาน

ขอขอบคุณ ช่างไม้ ต.บางเตย อ.เมือง จ.ฉะเชิงเทรา สำหรับฝีมือ และความตั้งใจ ในการทำใบพัดทั้ง 2 ครั้ง

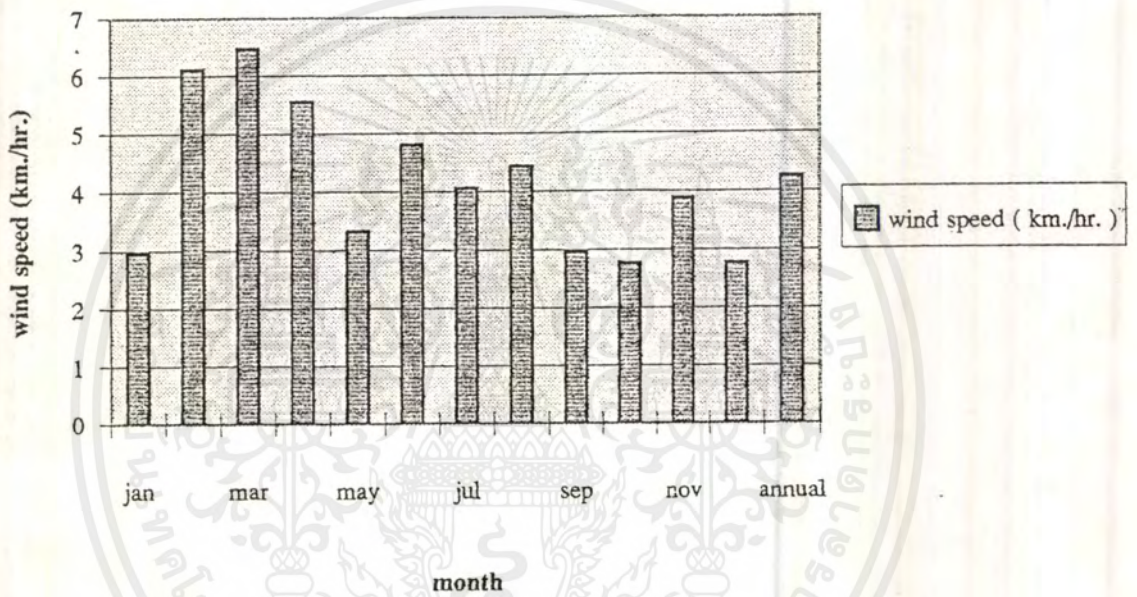
ขอขอบคุณ คุณสำราญ ชื่นทองคำ ที่ช่วยแนะนำแนวทางแก้ปัญหา ในแต่ละครั้ง

## เอกสารอ้างอิง

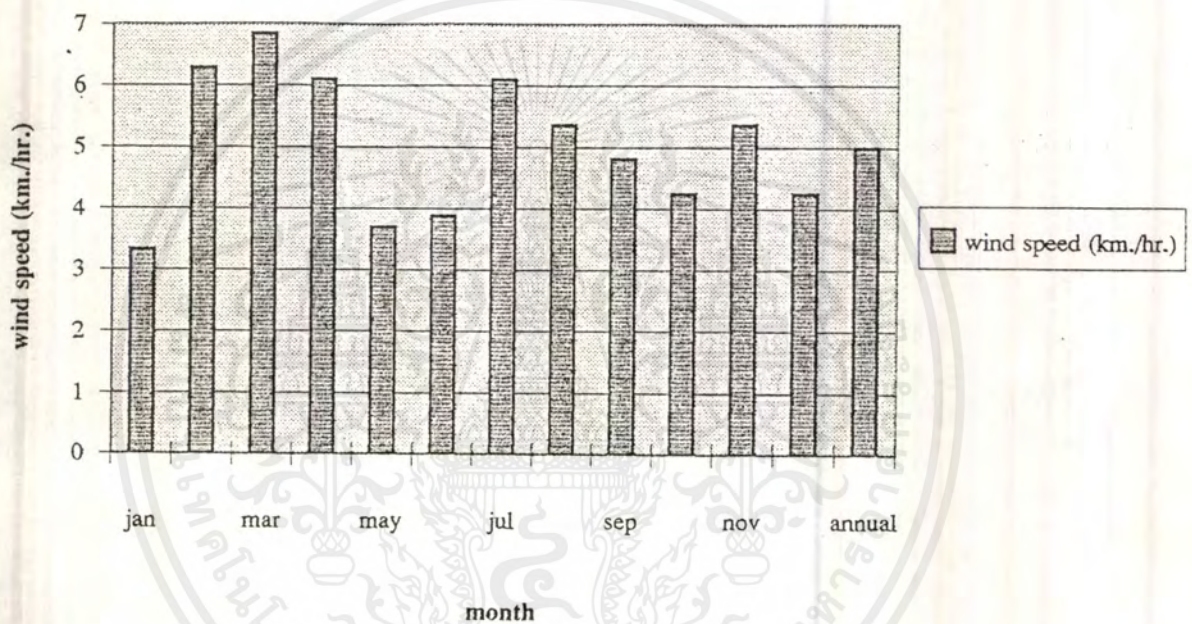
- [1] Eldridge, Frank R., "Wind Machines" 2nd edition, Van Nostrand Reinhold Company, New York, 1980
- [2] Golding, E.W., "The Generation of Electricity by Wind Power", The Philosophical Library, London, 1955
- [3] Hackleman, Michael, "Wind and Windspinners", Peace Press, Culver city California, 1974
- [4] Hickok, Floyd, "Hand Book of Solar and Wind Energy", (R.TJ 810' HS วศ)
- [5] Noll, Edward M., "Wind / Solar Energy for Radiocommunications and Low Power Electronic / Electric Applications", Harward W.Sams & Co.Inc, Indiana, 1975
- [6] Park, Jack, "Simplified Wind Power System for Experimenters", Helion Box 4301, Sylmar California, 1975
- [7] Park, Jack, "The Wind Power Book", Cheshive Books, California; 1981
- [8] Putnam, Palmer C., "Power from the Wind", Van Nostrand Reinhold Company, New York, 1974
- [9] Warnne, D.F., "Wind Power Equipment", E & F.N. Spon Ltd., London, 1983
- [10] บุญธรรม ภัทธารกุล และ ประสานพงษ์ หาเรือนชั้น, "ทฤษฎีและปฏิบัติไฟฟ้ารถยนต์", บริษัท เอช เอ็น กรุ๊ป, กรุงเทพมหานคร, 2537
- [11] วิศวกรรมศาสตร์, คณะ, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, "โครงการวิจัยและพัฒนากการผลิตไฟฟ้าด้วยกังหันลม การสร้างทดสอบ และปรับแต่งระบบย่อย", รายงานความคืบหน้าครั้งที่ 2, จัดทำสำหรับการไฟฟ้าฝ่ายผลิต แห่งประเทศไทย, 2525
- [12] สุทธิพร สุทธิเมธการ, "ลม : แหล่งผลิตไฟฟ้าแห่งอนาคต", คอลัมน์ เทคโนโลยี วิศวกรรมไฟฟ้า, วิศวกรรมสาร ฉบับ ว.ศ.ท. เทคโนโลยี, กันยายน 2535



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

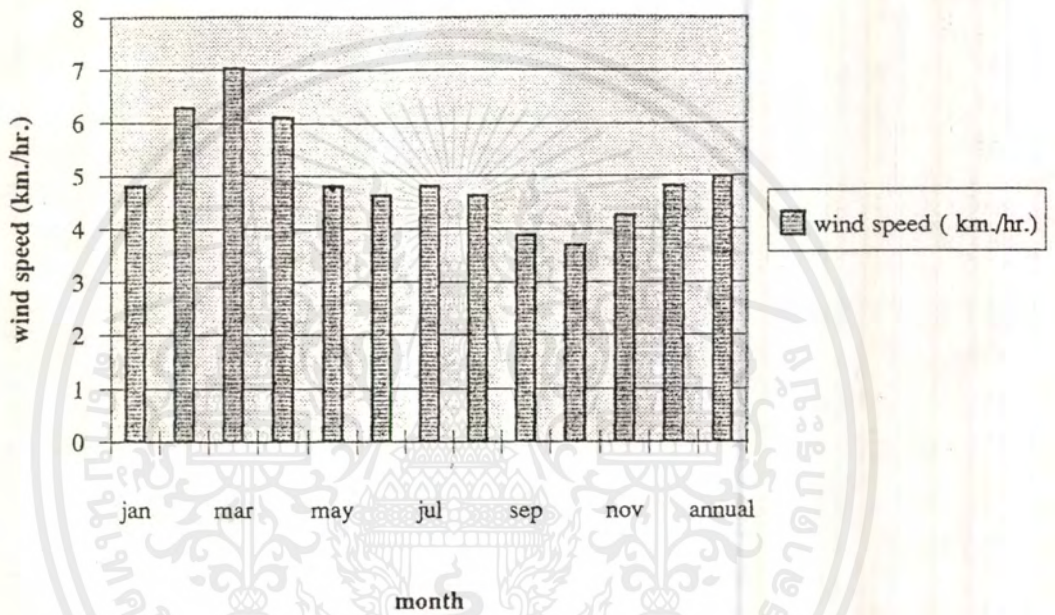


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



2538

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



2539

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



TL494  
TL495

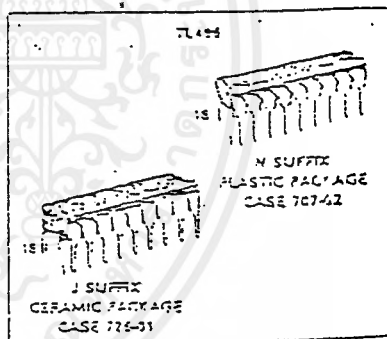
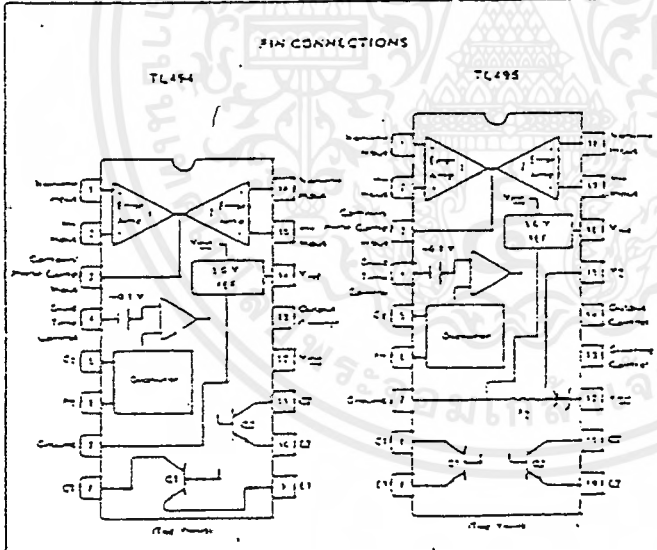
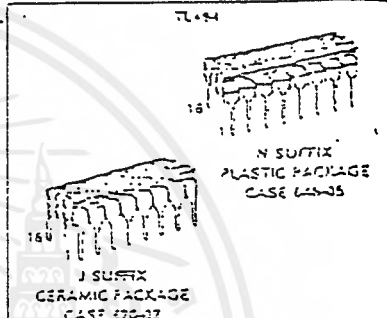
Specifications and Applications Information

SWITCHMODE PULSE WIDTH MODULATION CONTROL CIRCUITS  
SILICON MONOLITHIC INTEGRATED CIRCUITS

**SWITCHMODE PULSE WIDTH MODULATION CONTROL CIRCUITS**

The TL494 and TL495 are fixed frequency, pulse width modulation control circuits designed primarily for Switchmode power supply control. These devices feature:

- Complete Pulse Width Modulation Control Circuitry
- On-Chip Oscillator With Master Or Slave Operation
- On-Chip Error Amplifiers
- On-Chip 2 Volt Reference
- Adjustable Dead-Time Control
- Uncommitted Output Transistors For 200 mA Source Or Sink
- Output Control For Push-Pull Or Single-Ended Operation
- On-Chip 28 Volt Zener (TL495 Only)
- Output Steering Control (TL495 Only)



The TL494C/495C are specified over the commercial operating range of 0°C to 70°C. The TL494M/495M are specified over the industrial range of -25°C to 85°C. The TL494N/495N is specified over the full military range of -55°C to 125°C.

ORDERING INFORMATION

Device	Temperature Range	Package
TL494CN	0 To 70°C	Plastic DIP
TL494CL	0 To 70°C	Ceramic DIP
TL494N	-55 To 85°C	Plastic DIP
TL494M	-55 To 85°C	Ceramic DIP
TL494MJ	-55 To 125°C	Ceramic DIP
TL495CN	0 To 70°C	Plastic DIP
TL495CL	0 To 70°C	Ceramic DIP
TL495M	-55 To 85°C	Plastic DIP
TL495MJ	-55 To 85°C	Ceramic DIP

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# TL494, TL495

MAXIMUM RATINGS (Full operating ambient temperature range applies unless otherwise noted.)

Rating	Symbol	TL494M	TL494(TL495)	TL494C(TL495C)	Unit
Power Supply Voltage	V <sub>CC</sub>	42	42	42	V
Collector Output Voltage	V <sub>C1</sub> , V <sub>C2</sub>	42	42	42	V
Collector Output Current (each transistor)	I <sub>C1</sub> , I <sub>C2</sub>	250	250	250	mA
Amplifier Input Voltage	V <sub>in</sub>	V <sub>CC</sub> - 3.0	V <sub>CC</sub> + 3.0	V <sub>CC</sub> - 3.0	V
Power Dissipation @ T <sub>A</sub> = 45°C	P <sub>D</sub>	1000	1000	1000	mW
Operating Junction Temperature	T <sub>J</sub>	150	150	150	°C
Operating Ambient Temperature Range	T <sub>A</sub>	-55 to 125	-25 to 85	0 to 70	°C
Storage Temperature Range	T <sub>stg</sub>	-65 to +150	-65 to +150	-65 to +150	°C

## THERMAL CHARACTERISTICS

Characteristic	Symbol	J Suffix Ceramic Package	N Suffix Plastic Package	Unit
Thermal Resistance, Junction to Ambient	R <sub>θJA</sub>	100	80	°C/W
Power Derating Factor	W <sub>θJA</sub>	10.0	12.5	mW/°C
Operating Ambient Temperature	T <sub>A</sub>	50	45	°C

## RECOMMENDED OPERATING CONDITIONS

Condition/Value	Symbol	TL494/TL495			Unit
		Min	Typ	Max	
Power Supply Voltage	V <sub>CC</sub>	7.0	15	40	V
Collector Output Voltage	V <sub>C1</sub> , V <sub>C2</sub>	—	20	40	V
Collector Output Current (each transistor)	I <sub>C1</sub> , I <sub>C2</sub>	—	—	200	mA
Amplifier Input Voltage	V <sub>in</sub>	-0.3	—	V <sub>CC</sub> - 2.0	V
Current Into Feedback Terminal	I <sub>fb</sub>	—	—	0.3	mA
Reference Output Current	I <sub>ref</sub>	—	—	10	mA
Timing Resistor	R <sub>T</sub>	1.8	30	500	Ω
Timing Capacitor	C <sub>T</sub>	0.47	1.0	10,000	nF
Oscillator Frequency	f <sub>osc</sub>	1.0	40	200	kHz

## ELECTRICAL CHARACTERISTICS (V<sub>CC</sub> = 15 V, f<sub>osc</sub> = 10 kHz unless otherwise noted.)

For typical values T<sub>A</sub> = 25°C, for min/max values T<sub>A</sub> is the operating ambient temperature range that applies unless otherwise noted.

Characteristic	Symbol	TL494M			TL494C, TL495CJ			Unit
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
<b>REFERENCE SECTION</b>								
Reference Voltage (I <sub>Q</sub> = 1.0 mA)	V <sub>ref</sub>	4.75	5.0	5.25	4.75	5.0	5.25	V
Reference Voltage Change with Temperature (ΔT <sub>A</sub> = Min to Max)	ΔV <sub>ref</sub> (ΔT)	—	0.2	2.0	—	1.3	2.5	%
Input Regulation (V <sub>CC</sub> = 7.0 V to 40 V)	ΔV <sub>refline</sub>	—	2.0	25	—	2.0	25	mV
Output Regulation (I <sub>Q</sub> = 1.0 mA to 10 mA)	ΔV <sub>refload</sub>	—	2.0	15	—	2.0	15	mV
Short-Circuit Output Current (V <sub>ref</sub> = 0 V, T <sub>A</sub> = 25°C)	I <sub>SC</sub>	10	25	50	—	25	—	mA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TL494, TL495

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (V<sub>CC</sub> = 15 V, f<sub>osc</sub> = 10 kHz unless otherwise noted.)

For typical values T<sub>A</sub> = 25°C, for min/max values T<sub>A</sub> is the operating ambient temperature range that applies unless otherwise noted.

Characteristic	Symbol	TL494M			TL494C, TL495C, I			Unit
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
<b>OUTPUT SECTION</b>								
Collector Off-State Current (V <sub>CC</sub> = 40 V, V <sub>CE</sub> = 40 V)	I <sub>CO(Off)</sub>	—	2.0	100	—	2.0	100	μA
Emitter Off-State Current (V <sub>CC</sub> = 40 V, V <sub>C</sub> = 40 V, V <sub>E</sub> = 0 V)	I <sub>E(Off)</sub>	—	—	-150	—	—	-100	μA
Collector-Emitter Saturation Voltage Common-Emitter (V <sub>E</sub> = 0 V, I <sub>C</sub> = 200 mA) Emitter-Follower (V <sub>C</sub> = 15 V, I <sub>E</sub> = -200 mA)	V <sub>sat(C)</sub>	—	1.1	1.5	—	1.1	1.3	V
	V <sub>sat(E)</sub>	—	1.5	2.5	—	1.5	2.5	V
Output Control Pin Current Low State (V <sub>OC</sub> < 0.4 V) High State (V <sub>OC</sub> = V <sub>ref</sub> )	I <sub>OC(L)</sub>	—	10	—	—	10	—	mA
	I <sub>OC(H)</sub>	—	0.2	3.5	—	0.2	3.5	mA
Output Voltage Rise Time (T <sub>A</sub> = 25°C) Common-Emitter (See Figure 12) Emitter-Follower (See Figure 14)	t <sub>r</sub>	—	100	200	—	100	200	ns
	t <sub>r</sub>	—	100	200	—	100	200	ns
Output Voltage Fall Time (T <sub>A</sub> = 25°C) Common-Emitter (See Figure 13) Emitter-Follower (See Figure 14)	t <sub>f</sub>	—	25	100	—	25	100	ns
	t <sub>f</sub>	—	40	100	—	40	100	ns

Characteristic	Symbol	TL494/TL495			Unit
		Min	Typ	Max	
<b>ERROR AMPLIFIER SECTIONS</b>					
Input Offset Voltage (V <sub>O</sub> (Pin 3) = 2.5 V)	V <sub>IO</sub>	—	2.0	10	mV
Input Offset Current (V <sub>O</sub> (Pin 3) = 2.5 V)	I <sub>IO</sub>	—	5.0	250	nA
Input Bias Current (V <sub>O</sub> (Pin 3) = 2.5 V)	I <sub>IE</sub>	—	0.1	1.0	μA
Input Common-Mode Voltage Range (V <sub>CC</sub> = 7.0 V to 40 V)	V <sub>ICR</sub>	-0.3	—	V <sub>CC</sub> - 2.0	V
Open-Loop Voltage Gain (V <sub>O</sub> = 1.0 V, V <sub>I</sub> = 0.5 to 3.5 V, R <sub>L</sub> = 2.0 kΩ)	A <sub>v(OL)</sub>	70	25	—	dB
Unity-Gain Crossover Frequency (V <sub>O</sub> = 0.5 to 3.5 V, R <sub>L</sub> = 2.0 kΩ)	f <sub>C</sub>	—	250	—	kHz
Phase Margin at Unity-Gain (V <sub>O</sub> = 0.5 to 3.5 V, R <sub>L</sub> = 2.0 kΩ)	φ <sub>m</sub>	—	55	—	deg.
Common-Mode Rejection Ratio (V <sub>CC</sub> = 40 V)	CMRR	55	90	—	dB
Power Supply Rejection Ratio (ΔV <sub>CC</sub> = 33 V, V <sub>O</sub> = 2.5 V, R <sub>L</sub> = 2.0 kΩ)	PSRR	—	100	—	dB
Output Sink Current (V <sub>O</sub> (Pin 3) = 0.7 V)	I <sub>O(-)</sub>	0.3	0.7	—	mA
Output Source Current (V <sub>O</sub> (Pin 3) = 3.5 V)	I <sub>O(+)</sub>	-2.0	-4.0	—	mA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TL494, TL495

**ELECTRICAL CHARACTERISTICS** (VCC = 15 V, fosc = 10 kHz unless otherwise noted.)

For typical values TA = 25°C, for min/max values TA is the operating ambient temperature range that applies unless otherwise noted.

Characteristic	Symbol	TL494-TL495			Unit
		Min	Typ	Max	
<b>PWM COMPARATOR SECTION</b> (Test Circuit Figure 12)					
Input Threshold Voltage (Zero duty cycle)	VTH	—	3.5	4.5	V
Input Sink Current (V (Pin 3) = 0.7 V)	II-	0.3	0.7	—	mA
<b>DEAD-TIME CONTROL SECTION</b> (Test Circuit Figure 12)					
Input Bias Current (Pin 4) (VIN = 0 to 5.25 V)	IIE (DT)	—	-2.0	-10	µA
Maximum Duty Cycle, Each Output, Push-Pull Mode (VIN = 0 V, CT = 0.1 µF, RT = 12 kΩ) (VIN = 0 V, CT = 0.001 µF, RT = 30 kΩ)	DCmax	45	48	50	%
Input Threshold Voltage (Pin 4) (Zero Duty Cycle) (Maximum Duty Cycle)	VTH	—	2.8	3.3	V
<b>OSCILLATOR SECTION</b>					
Frequency (CT = 0.001 µF, RT = 30 kΩ)	fosc	—	40	—	kHz
Standard Deviation of Frequency* (CT = 0.001 µF, RT = 30 kΩ)	σfosc	—	3.0	—	%
Frequency Change with Voltage (VCC = 7.0 V to 40 V, TA = 25°C)	Δfosc (ΔV)	—	0.1	—	%
Frequency Change with Temperature (ΔTA = Tlow to Thigh) (T = 0.01 µF, RT = 12 k)	Δfosc (ΔT)	—	—	12	%

Characteristic	Symbol	TL495			Unit
		Min	Typ	Max	
<b>STEERING CONTROL</b>					
Input Current Low (V (Pin 13) = 0.4 V)	I <sub>STL</sub>	—	-25	-200	µA
Input Current High (V (Pin 13) = 2.4 V) (V (Pin 13) = Vref)	I <sub>STH</sub>	—	25	200	µA
<b>ZENER CHARACTERISTICS</b>					
Zener Breakdown Voltage (I <sub>Z</sub> = 2.0 mA)	V <sub>Z</sub>	—	28	—	V
Sink Current (V (Pin 15) = 1.0 V)	I <sub>SZ</sub>	—	0.3	—	mA
<b>TOTAL DEVICE</b>					
Standby Supply Current (Pin 6 at Vref, All Other Inputs and Outputs Open) (VCC = 15 V) (VCC = 40 V)	I <sub>CC</sub>	—	5.5	10	mA
Average Supply Current (V (Pin 4) = 2.0 V) (See Figure 12.) (CT = 0.001, RT = 12 kΩ, VCC = 15 V)	—	—	7.0	—	mA

\* Standard deviation is a measure of the statistical distribution about the mean as defined from the formula, σ =

$$\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{N - 1}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FIGURE 4 — OSCILLATOR FREQUENCY  
versus TIMING RESISTANCE

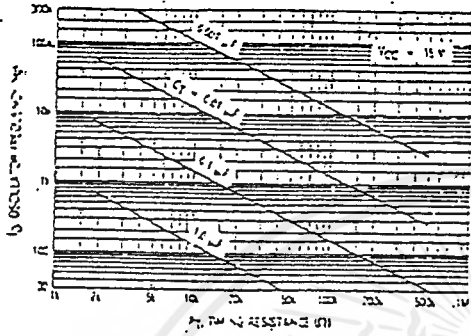


FIGURE 5 — OPEN LOOP VOLTAGE GAIN AND PHASE  
versus FREQUENCY

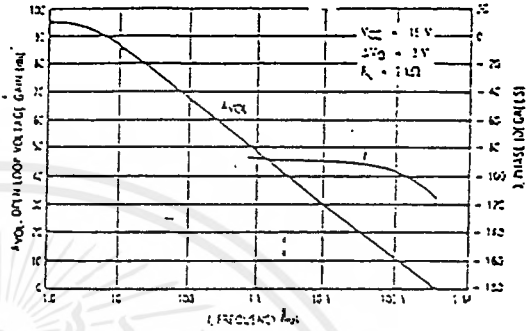


FIGURE 6 — PERCENT DEAD TIME versus  
OSCILLATOR FREQUENCY

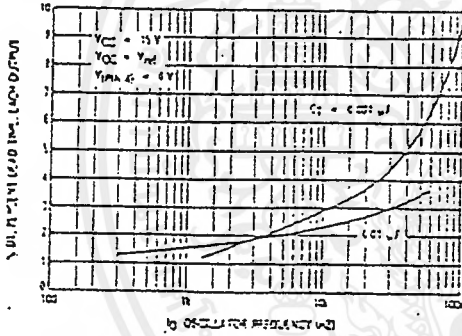


FIGURE 7 — PERCENT DUTY CYCLE versus  
DEAD-TIME CONTROL VOLTAGE

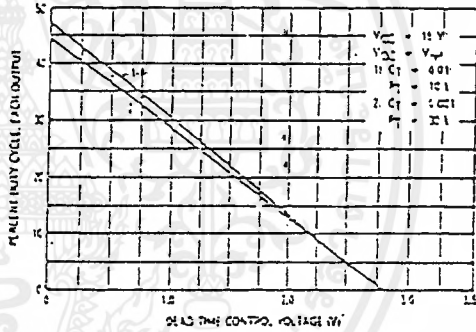


FIGURE 8 — EMITTER-FOLLOWER CONFIGURATION,  
OUTPUT-SATURATION VOLTAGE  
versus EMITTER CURRENT

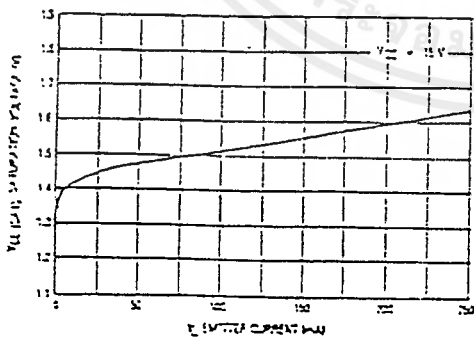
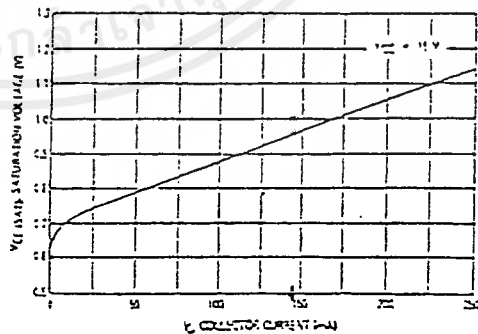


FIGURE 9 — COMMON-EMITTER CONFIGURATION,  
OUTPUT-SATURATION VOLTAGE  
versus COLLECTOR CURRENT



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FIGURE 10 — STANDBY-SUPPLY CURRENT versus SUPPLY VOLTAGE

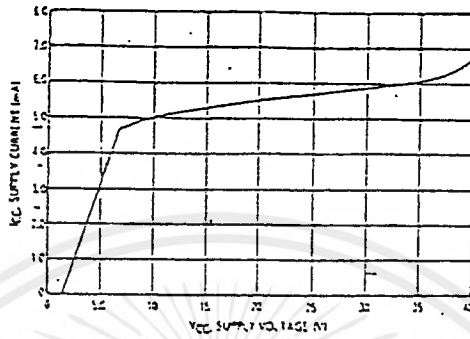


FIGURE 11 — ERROR AMPLIFIER CHARACTERISTICS

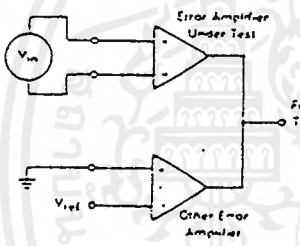


FIGURE 12 — DEAD-TIME AND FEEDBACK CONTROL TEST CIRCUIT

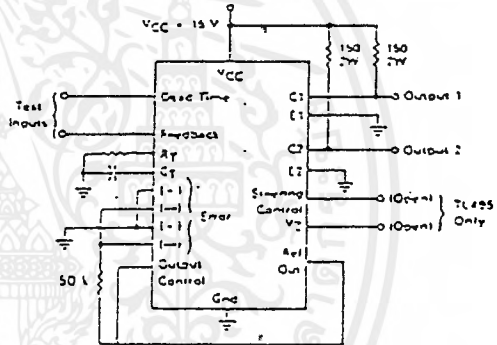


FIGURE 13 — COMMON-EMITTER CONFIGURATION TEST CIRCUIT AND WAVEFORM

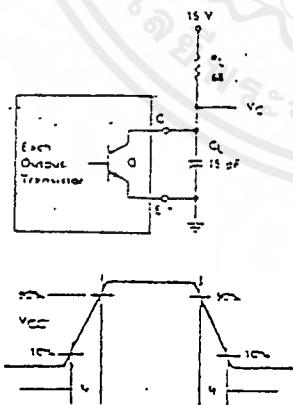


FIGURE 14 — EMITTER-FOLLOWER CONFIGURATION TEST CIRCUIT AND WAVEFORM

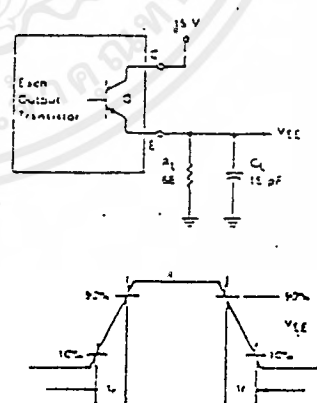


FIGURE 15 — ERROR-AMPLIFIER SENSING TECHNIQUES

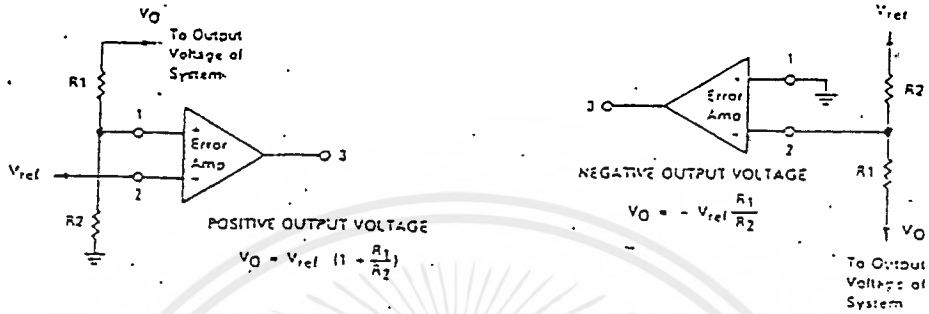


FIGURE 16 — DEAD-TIME CONTROL CIRCUIT

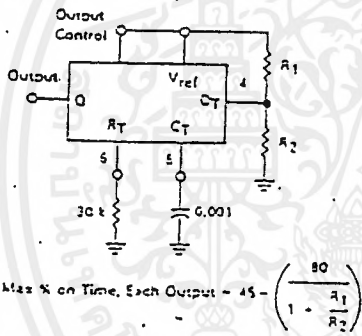


FIGURE 17 — SOFT-START CIRCUIT

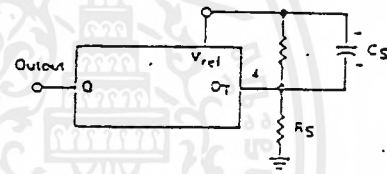
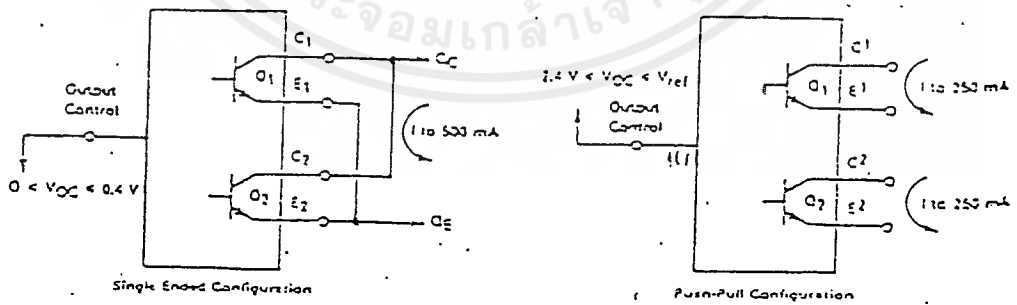


FIGURE 18 — OUTPUT CONNECTIONS FOR SINGLE-ENDED AND PUSH-PULL CONFIGURATIONS



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TL494, TL495

FIGURE 18 — SLAVING TWO OR MORE CONTROL CIRCUITS

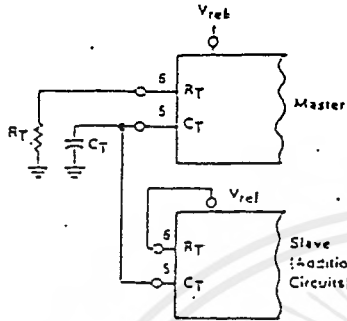


FIGURE 20 — OPERATION WITH  $V_{in} > 40\text{ V}$  USING INTERNAL ZENER (CLASS ONLY)

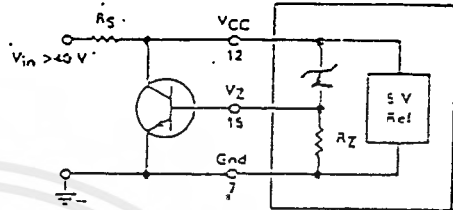
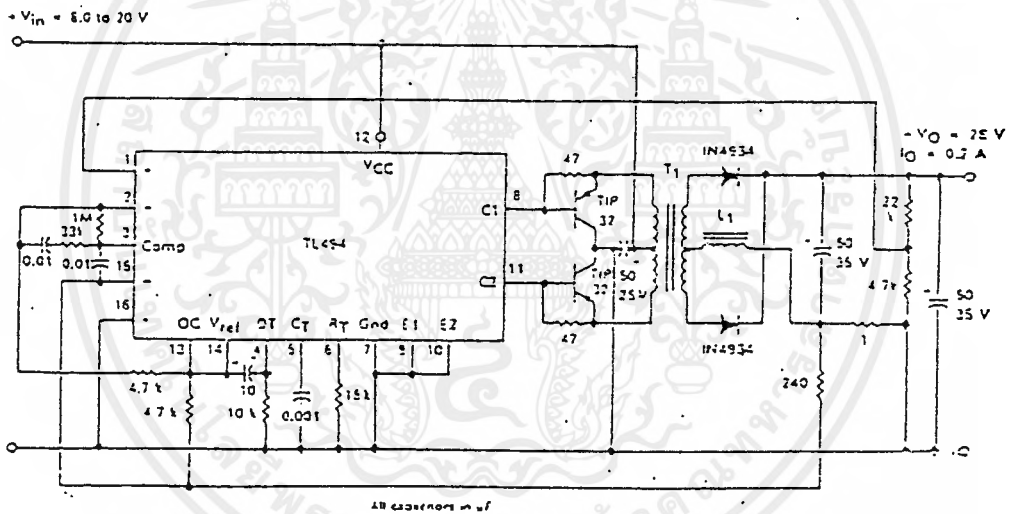


FIGURE 21 — PULSE-WIDTH MODULATED PUSH-PULL CONVERTER



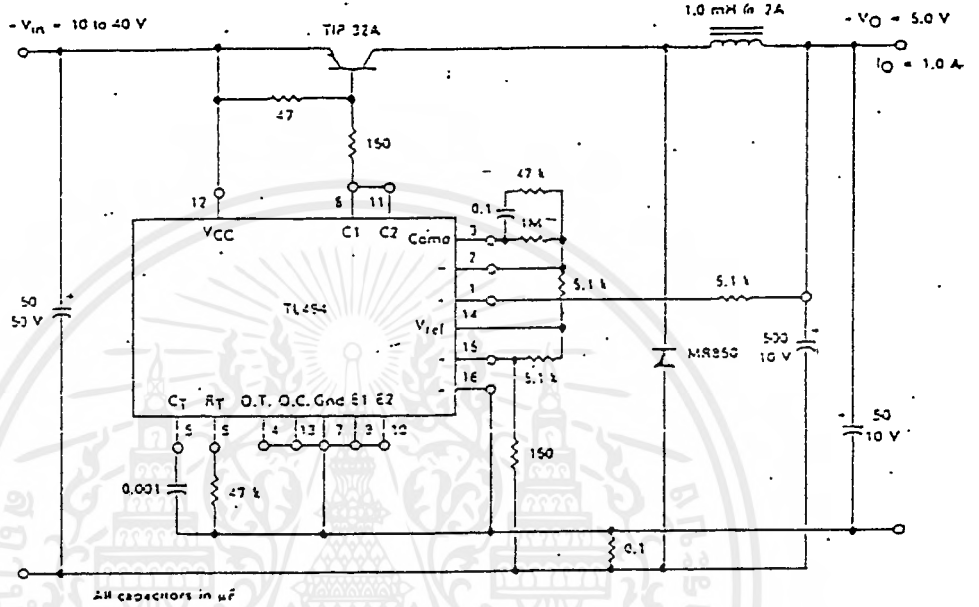
- L1 — 3.5 mH @ 0.2 A
- T1 — Primary: 20T C.T. # 28 AWG
- Secondary: 170T C.T. # 36 AWG
- Core: Ferroxcube 14267-L02-3C2

TEST	CONDITIONS	RESULTS
Line Regulation	$V_{in} = 8.0 \text{ to } 20 \text{ V}$	3.0 mV 0.01%
Load Regulation	$V_{in} = 12.6 \text{ V}, I_o = 0.2 \text{ to } 200 \text{ mA}$	5.0 mV 0.02%
Output Ripple	$V_{in} = 12.6 \text{ V}, I_o = 200 \text{ mA}$	45 mV P.P. F.A.R.D.
Short Circuit Current	$V_{in} = 12.6 \text{ V}, R_L = 0.1 \Omega$	350 mA
Efficiency	$V_{in} = 12.6 \text{ V}, I_o = 200 \text{ mA}$	72%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TL494, TL495

FIGURE 22 — PULSE-WIDTH MODULATED STEP-DOWN CONVERTER



TEST	CONDITIONS	RESULTS
Line Regulation	$V_{in} = 10 \text{ V to } 40 \text{ V}$	14 mV 0.28%
Load Regulation	$V_{in} = 28 \text{ V}, I_o = 1.0 \text{ mA to } 1.0 \text{ mA}$	10 mV 0.05%
Output Ripple	$V_{in} = 28 \text{ V}, I_o = 1.0 \text{ A}$	55 mV P-P P.A.R.D.
Short Circuit Current	$V_{in} = 28 \text{ V}, R_L = 0.1 \Omega$	1.6 A max
Efficiency	$V_{in} = 28 \text{ V}, I_o = 1.0 \text{ A}$	77%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



TL494, TL495

Description

The TL494-495 are fixed-frequency pulse-width modulation control circuit, incorporating the primary building blocks required for the control of a switching power supply. (See Figure 1.) A linear sawtooth oscillator is frequency-programmable by two external components,  $R_T$  and  $C_T$ . The oscillator frequency is determined by:

$$f_{osc} = \frac{1.1}{R_T \cdot C_T}$$

Output pulse width modulation is accomplished by comparison of the positive sawtooth waveform across capacitor  $C_T$  to either of two control signals. The NOR gates, which drive output transistors Q1 and Q2, are enabled only when the  $f_{osc}$  clock-input line is in its low state. This happens only during that portion of time when the sawtooth voltage is greater than the control signals. Therefore, an increase in control-signal amplitude causes a corresponding linear decrease of output pulse width. (Refer to the timing diagram shown in Figure 2.)

The control signals are external inputs that can be fed into the dead-time control, the error amplifier inputs, or the feedback input. The dead-time control comparator has an effective 120 mV input offset which limits the minimum output duty cycle to approximately the first 4% of the sawtooth cycle time. This would result in a maximum duty cycle of a given output of 55% with the output control grounded, and 48% with it connected to the reference line. Additional dead time may be imposed on the output by setting the dead time-control input to a fixed voltage, ranging between 0 to 3.3 V.

The pulse width modulator comparator provides a means for the error amplifiers to adjust the output pulse width from the maximum percent on-time, established by the dead time control input, down to zero, as the

voltage at the feedback pin varies from 0.5 to 3.5 V. Both error amplifiers have a common-mode input range from -0.3 V to  $(V_{CC} - 2 V)$ , and may be used to sense power-supply output voltage and current. The error amplifier outputs are active high and are ORed together at the non-inverting input of the pulse-width modulator comparator. With this configuration, the amplifier that demands minimum output on time, dominates control of the loop.

When capacitor  $C_T$  is discharged, a positive pulse is generated on the output of the dead-time comparator, which clocks the pulse-steering flip-flop and inhibits the output transistors, Q1 and Q2. With the output-control connected to the reference line, the pulse-steering flip-flop directs the modulated pulses to each of the two output transistors alternately for push-pull operation. The output frequency is equal to half that of the oscillator. Output drive can also be taken from Q1 or Q2, when single-ended operation with a maximum on-time of less than 50% is required. This is desirable when the output transformer has a ringback winding with a catch diode used for snubbing. When higher output-drive currents are required for single-ended operation, Q1 and Q2 may be connected in parallel, and the output-mode pin must be tied to ground to disable the flip-flop. The output frequency will now be equal to that of the oscillator.

The TL494-495 has an internal 5.0 V reference capable of sourcing up to 10 mA of load current for external bias circuits. The reference has an accuracy of  $\pm 5\%$  with a thermal drift of less than 30 mV over an operating temperature range of 0 to 70°C.

The TL495 contains an on-chip 35 volt zener diode for high voltage applications where  $V_{CC}$  is greater than 40 volts, and an output steering control that overrides the internal control of the pulse-steering flip-flop. (Refer to the functional table shown in Figure 3.)

FIGURE 3 — FUNCTIONAL TABLE

Inputs		Output Function	$\frac{I_{out}}{I_{osc}}$
Output Control	Steering Control		
Grounded	Open	Single-ended P.W.M. at Q1 and Q2	1
At $V_{ref}$	Open	Push-pull operation	0.5
At $V_{ref}$	$V_T < 0.4 V$	Single-ended P.W.M. at Q1 only	1
At $V_{ref}$	$V_T > 2.4 V$	Single-ended P.W.M. at Q2 only	1

See Engineering Bulletin EB100 for further information.