



เครื่องกำเนิดกระแสไฟฟ้าด้วยพลังงานลม

WIND GENERATOR



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปี การศึกษา 2538

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

037025

ปีการศึกษา 2538

เครื่องกำเนิดกระแสไฟฟ้าด้วยพลังงานลม

WIND GENERATOR



อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ. ประภาส ไทรสุวรรณ

ดร. ชัยวุฒิ นัครอุทัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


ปริญญาโทปีการศึกษา 2538

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า


คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

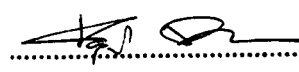
เรื่อง เครื่องกำเนิดกระแสไฟฟ้าด้วยพลังงานลม

จัดทำโดย



นายก้านรงค์ โภธิแก้ว  
นายโกสินทร์ ลาสงยาง  
นายพิเชษฐ์ เรืองปรีชา  
นายไพโรจน์ วรชาติตระกูล  
นายสมพงษ์ วรชาติตระกูล

  
.....อาจารย์ที่ปรึกษา  
( ผศ. ประภาส ไพรสุวรรณ )

  
.....อาจารย์ที่ปรึกษา  
( ดร. ชัยวุฒิ นิตรฤทัย )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
ABSTRACT	II
สารบัญภาพ	III
สารบัญตาราง	IV
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 บทนำ และ ความเป็นมา	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขต	1
1.4 วิธีการดำเนินงาน	1
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ลม	3
2.1 บทนำ	3
2.2 ลม	3
2.3 ความเร็วลม	5
2.4 การคำนวณหากำลังงานจากลม	7
2.5 เครื่องมือวัดความเร็วลม และเครื่องแสดงทิศทางลม	10
2.6 ข้อมูลความเร็วลมรอบเขตกรุงเทพฯ	12
บทที่ 3 ระบบการเปลี่ยนพลังงานลมเป็นพลังงานไฟฟ้า	16
3.1 บทนำ	16
3.2 หลักการของระบบ	16
3.3 ส่วนประกอบของระบบ	17
3.4 การออกแบบของระบบ	18
บทที่ 4 กังหันลม	20
4.1 บทนำ	20
4.2 ชนิดของกังหันลม	20
4.3 กำลังงานที่ได้จากกังหันลม	24

4.4	ประสิทธิภาพของกังหันลม	26
บทที่ 5	เครื่องกำเนิดกระแสไฟฟ้า	28
5.1	บทนำ	28
5.2	หลักการเหนี่ยวนำแรงเคลื่อนไฟฟ้า	28
5.3	หลักการเหนี่ยวนำแรงดันไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ	30
5.4	เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ	30
บทที่ 6	แบตเตอรี่	38
6.1	บทนำ	38
6.2	แบตเตอรี่	38
บทที่ 7	การออกแบบและการสร้าง	51
7.1	บทนำ	51
7.2	กังหันลม	51
7.3	เครื่องกำเนิดกระแสไฟฟ้า	57
7.4	วงจรควบคุมแรงดัน	62
บทที่ 8	การทดลองและผลการทดลอง	70
8.1	การทดลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในสถานะไม่มีโหลด (NO LOAD)	70
8.2	การทดลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในสถานะมีโหลด (ON LOAD)	75
8.3	การทดสอบที่กังหันขณะไม่มีโหลด (NO LOAD)	78
8.4	การทดสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขณะมีโหลด (ON LOAD) บนกังหัน	83
บทที่ 9	สรุปผลและอุปสรรค	87
	ภาคผนวก	
	กิตติกรรมประกาศ	
	เอกสารอ้างอิง	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

WIND GENERATOR

Klanrong Phogaew

Kosin Lasongyang

Pichel Roengprcha

Pairoj Vorrachatrakul

Sompoug Vorrachatrakul

Assis.Prof. Praphast Praisuwanna Advisor

Dr. Chaivout Chutauthai Advisor

1995.

ABSTRACT

This purpose of this thesis is to present the conversion of wind energy to electric energy. The windmill in country is used, which drive a shaft of the alternator. Such windmill is modified for that could be made to face into any wind direction. The alternator produce a ac current flow through the diode set, full wave rectifier, to a dc current and constant terminal voltage of the alternator are controlled by the voltage regulator. The available electric energy is stored by the lead-acid battery.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1 แสดงการเกิดลมทั่วทั้งโลก	4
รูปที่ 2.2 แสดงการเกิดลมแบบเฉพาะที่	5
รูปที่ 2.3 แสดงกราฟความเร็วลมที่ระดับความสูงต่าง ๆ	6
รูปที่ 2.4 การเคลื่อนที่ของมวลอากาศ	7
รูปที่ 2.5 แสดงเครื่องวัดความเร็วลมและเครื่องแสดงทิศทางลม	11
รูปที่ 2.6 แสดงเครื่องวัดความเร็วลมและแสดงทิศทางลมบนฐานรองอันเดียวกัน	12
รูปที่ 2.7 ข้อมูลความเร็วลมในเขตกรุงเทพฯ บันทึกเมื่อ พ.ศ. 2536	13
รูปที่ 2.8 ข้อมูลความเร็วลมในเขตกรุงเทพฯ บันทึกเมื่อ พ.ศ. 2537	14
รูปที่ 2.9 ข้อมูลความเร็วลมในเขตกรุงเทพฯ บันทึกเมื่อ พ.ศ. 2538	15
รูปที่ 3.1 ระบบการเปลี่ยนพลังงานลมให้เป็นพลังงานไฟฟ้า	16
รูปที่ 4.1 แสดงกังหันแนวแกนนอนชนิดต่าง ๆ และแนวแกนนอนใบขาว	21
รูปที่ 4.2 แสดงกังหันแนวแกนตั้งชนิดต่าง ๆ	22
รูปที่ 4.3 แสดงกังหันลมที่มีใช้ในประเทศ	23
รูปที่ 4.4 กังหันลมแนวแกนนอน	24
รูปที่ 4.5 กังหันลมแนวแกนตั้ง	25
รูปที่ 4.6 กำลังงานลมที่ได้จากกังหันลมที่ความเร็วลม 27 กิโลเมตรต่อชั่วโมง	27
รูปที่ 5.1 แสดงเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอย่างง่ายและแรงดันที่ได้	28
รูปที่ 5.2 แสดงเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มีคว้านาตามชุดและแรงดันที่ได้	29
รูปที่ 5.3 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าอย่างง่ายแบบใช้วงแหวน	30
รูปที่ 5.4 แสดงลักษณะสเกเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ	30
รูปที่ 5.5 แสดงเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับแบบ 1 เฟส	31
รูปที่ 5.6 แสดงลักษณะโรเตอร์เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ	32
รูปที่ 5.7 แสดงเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับแบบ 3 เฟส	33
รูปที่ 5.8 แสดงการต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ	34
รูปที่ 5.9 แสดงไดอะแกรมของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับแบบไม่มีแปรงถ่าน	35
รูปที่ 5.10 แสดงผลของตัวประกอบกำลังต่อแรงดันเอาต์พุต	36

รูปที่ 8.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับกระแสไฟฟ้าในขลวดขณะ ไม่มีโหลดบนกังหัน	81
รูปที่ 8.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับแรงดันไฟฟ้าขณะไม่มีโหลด บนกังหัน	82
รูปที่ 8.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับกระแสไฟฟ้าในขลวดขณะ ชาร์จแบตเตอรี่	84
รูปที่ 8.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับแรงดันไฟฟ้าขณะชาร์จ แบตเตอรี่	85
รูปที่ 8.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับกระแสไฟฟ้าขณะชาร์จ แบตเตอรี่	86



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 ค่าคงที่ $K$ ที่หน่วยการวัดต่าง ๆ	8
ตารางที่ 2.2 กำลังงานที่ได้จากลมที่ความเร็วลมต่าง ๆ	9
ตารางที่ 2.3 เทียบความเร็วลม (นอต) เป็นกิโลเมตรต่อชั่วโมง	12
ตารางที่ 4.1 เปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของกังหันลมแนวแกนนอนและแกนตั้ง	23
ตารางที่ 6.1 ความถ่วงจำเพาะน้ำยากับสภาพการชาร์จ	42
ตารางที่ 6.2 ค่าความถ่วงจำเพาะกับอุณหภูมิ	43
ตารางที่ 6.3 อัตราส่วนน้ำกลั่นกับกรดกำมะถัน	44
ตารางที่ 6.4 การจ่ายไฟด้วยแบตเตอรี่	45
ตารางที่ 6.5 รายละเอียดวิธีการแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ของแบตเตอรี่	48
ตารางที่ 6.6 การวิเคราะห์ข้อขัดข้องด้วยแรงเคลื่อน	50
ตารางที่ 7.1 รายละเอียดของส่วนประกอบของกังหันลม	51
ตารางที่ 8.1 แสดงผลการทดลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเมื่อไม่มีโหลด	70
ตารางที่ 8.2 แสดงผลการทดลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเมื่อไม่มีโหลดควบคุมด้วยวงจรควบคุมแรงดันไฟฟ้า	72
ตารางที่ 8.3 แสดงผลการทดลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขณะชาร์จแบตเตอรี่	75
ตารางที่ 8.4 แสดงผลการทดลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเมื่อไม่มีโหลดบนกังหัน	78
ตารางที่ 8.5 แสดงผลการทดลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเมื่อไม่มีโหลดบนกังหันโดยมีวงจรควบคุมแรงดันไฟฟ้า	80
๘ ตารางที่ 8.6 แสดงผลการทดลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขณะชาร์จแบตเตอรี่บนกังหัน	83

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 บทนำ และ ความเป็นมา

การขยายของการใช้ไฟฟ้าในประเทศไทยได้เป็นไปอย่างรวดเร็ว แต่อย่างไรก็ตามในสถานที่ที่อยู่ห่างไกลมาก อย่างเช่น หมู่บ้านตามภูเขา หรือเกาะกลางทะเล เป็นต้น นั้นยังไม่มีไฟฟ้าใช้กันมากนัก อาจจะมีบางแห่งที่ใช้ไฟฟ้าซึ่งได้จากการใช้เครื่องยนต์เป็นตัวขับเคลื่อนกระแสไฟฟ้า หรือกระแสไฟฟ้าที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ แต่การใช้เครื่องยนต์ก็ต้องใช้เชื้อเพลิงคือ น้ำมัน ซึ่งจะต้องออกมาซื้อในตัวอำเภอ หรือจังหวัด ดังนั้นถ้าเราจัดหาอุปกรณ์การผลิตกระแสไฟฟ้าโดยใช้พลังงานจากธรรมชาติอย่างเช่น แสงอาทิตย์ หรือลม ก็จะสามารถแก้เรื่องปัญหาจากการจัดหาเชื้อเพลิงได้

ลม คือ พลังงานที่เป็นจุดมุ่งหมายของโครงการนี้ เนื่องจากลมเกิดขึ้นได้ทั้งเวลากลางคืน และเวลากลางวัน และเครื่องกลทางลมสามารถใช้เทคโนโลยีที่ไม่สูงนัก เพียงแคมีประสบการณ์ก็สามารถที่จะทำได้แล้ว

#### 1.2 วัตถุประสงค์

- 1.2.1. เพื่อนำพลังงานจากลมมาใช้เป็นพลังงานที่จะผลิตกระแสไฟฟ้า
- 1.2.2. เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ของการนำกังหันลมที่มีโซ่อยู่ในประเทศไทยมาเป็นตัวขับเคลื่อนกำเนิดกระแสไฟฟ้า
- 1.2.3. ศึกษาวิธีการออกแบบระบบการใช้พลังงาน

#### 1.3 ขอบเขต

- 1.3.1. กังหันลมเป็นกังหันลมแบบใช้ในนาเกลือ ซึ่งคัดแปลงให้สามารถรับลมได้รอบทิศ
- 1.3.2. ระบบควบคุมการทำงาน และควบคุมแรงดัน

#### 1.4 วิธีการดำเนินงาน

- 1.4.1. ศึกษาคุณลักษณะของลม กำลังที่ได้จากลม และทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับลม

- 1.4.2. ออกแบบระบบการทำงาน และระบุฟังก์ชันของระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาและวิจัยเท่านั้น ไม่ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 1.4.3. ศึกษาคุณลักษณะสมบัติของกังหันลม เลือกกังหันลม และสร้างกังหันลม
- 1.4.4. เลือกเครื่องกำเนิดกระแสไฟฟ้า และออกแบบระบบควบคุมแรงดัน
- 1.4.5. ประกอบ และติดตั้งส่วนประกอบต่าง ๆ ของระบบ

## 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.5.1. ทำให้สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าจากลมได้
- 1.5.2. ทำให้สามารถใช้กังหันลมที่มีอยู่ในประเทศมาขับเคลื่อนเครื่องกำเนิดกระแสไฟฟ้าได้
- 1.5.3. เป็นเครื่องต้นแบบ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### ลม

#### 2.1 บทนำ

ในการผลิตกระแสไฟฟ้า จำเป็นต้องมีแหล่งกำเนิดพลังงานต่าง ๆ ที่สามารถจะนำพลังงานเหล่านี้มาเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้าได้ สำหรับการผลิตกระแสไฟฟ้าในปัจจุบันนั้นเราจะนำเอาพลังงานต่าง ๆ มาแปลงเป็นพลังงานกลแล้ว จากนั้นค่อยนำไปแปลงเป็นพลังงานไฟฟ้า ซึ่งพลังงานดังกล่าวก็อย่างเช่น พลังงานความร้อน(อาจจะได้จากการเผาไหม้ของก๊าซ น้ำมัน ถ่านหิน หรือจากปฏิกิริยาทางนิวเคลียร์) พลังงานที่ได้จากการไหลของน้ำ พลังงานแสงจากดวงอาทิตย์ และพลังงานจากลม เป็นต้น สำหรับในที่นี้จะกล่าวถึงการนำพลังงานลมมาแปลงเป็นพลังงานไฟฟ้า ซึ่งในบทนี้เราจะกล่าวถึงพลังงานลม และการคำนวณหาพลังงานจากลมรวมไปถึงการวัดความเร็วลม และทิศทางของลม

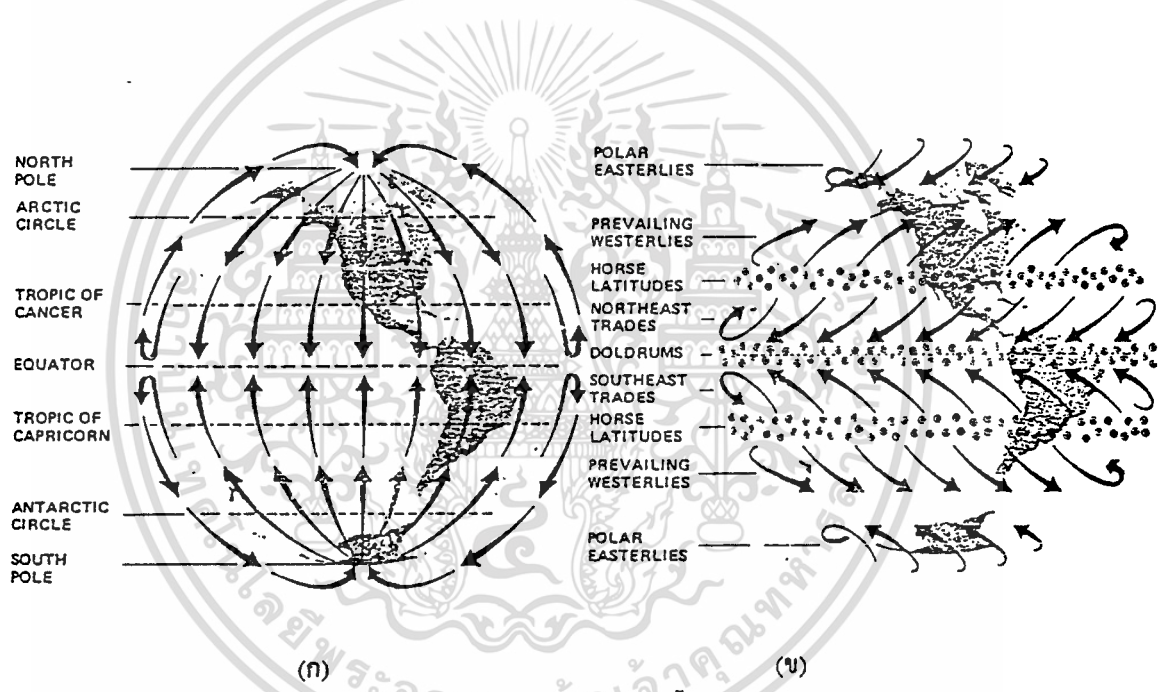
#### 2.2 ลม

เนื่องจากการที่บรรยากาศพื้นผิวโลกมีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิของอากาศ จึงทำให้ความหนาแน่นของอากาศ หรือความกดอากาศนั้นแตกต่างกันในแต่ละพื้นที่ โดยที่บริเวณที่มีอุณหภูมิสูง ๆ จะทำให้อากาศบริเวณนั้นลอยตัวขึ้นสูง เพราะที่บริเวณดังกล่าวมีความกดอากาศต่ำ (อากาศที่มีอุณหภูมิสูงจะเบากว่าอากาศที่มีอุณหภูมิต่ำ) เป็นเหตุให้อากาศจากบริเวณอื่น ๆ ที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า ซึ่งจะมีความกดอากาศสูงกว่านั้นจะเคลื่อนตัวเข้ามาแทนที่ และการเคลื่อนตัวของอากาศจากที่หนึ่ง ไปยังอีกที่หนึ่งนี้ เราเรียกว่า “ลม” หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งว่า ลม คือการเคลื่อนตัวของอากาศ เราอาจจะแบ่งลักษณะการเกิดของลมอย่างกว้าง ๆ ได้เป็นสองแบบ คือการเกิดในลักษณะทั่วทั้งโลก และการเกิดในลักษณะเฉพาะที่ สำหรับลักษณะแรกจะเกิดขึ้นเนื่องจากการที่อุณหภูมิของพื้นผิวโลกที่ใกล้เส้นศูนย์สูตรนั้นสูงกว่าอุณหภูมิที่ขั้วโลกเหนือและขั้วโลกใต้ เป็นเหตุให้อากาศร้อนที่บริเวณใกล้เส้นศูนย์สูตรนั้นลอยตัวขึ้นสูงสู่บรรยากาศข้างบน ทำให้อากาศที่อยู่ที่ขั้วโลกซึ่งเย็นกว่าเคลื่อนตัวมายังบริเวณเส้นศูนย์สูตร ดังแสดงในรูปที่ 2.1(ก) แต่เนื่องจากโลกหมุนรอบตัวเอง ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อทิศทางการเคลื่อนที่ของอากาศนี้ โดยที่อากาศร้อนซึ่งอยู่ในบรรยากาศชั้นบนจะมีทิศทางค่อนไปทางตะวันออก และอากาศเย็นซึ่งอยู่ใกล้พื้นผิวโลกจะหมุนตัวไปในทางทิศตะวันตกเหมือนแสดงในรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนเวลาสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ 2.2(ข) สำหรับลักษณะการเกิดลมแบบที่สอง นั้นสามารถเกิดได้สองแบบคือ เกิดจากความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างพื้นดินและพื้นน้ำ และเกิดจากลักษณะความลาดชันของเชิงเขาหรือภูเขา สำหรับแบบแรกในช่วงเวลากลางวันจะมีแสงอาทิตย์ส่องมายังพื้นโลกทำให้พื้นดินนั้นดูดซับความร้อนได้มากกว่าพื้นน้ำ ซึ่งจะทำให้อากาศบนพื้นดินมีอุณหภูมิสูงกว่าอากาศบนพื้นน้ำ แล้วอากาศที่พื้นดินจะลอยตัวสูงขึ้นและอากาศพื้นน้ำจะเคลื่อนตัวมาแทนที่ และในเวลากลางคืนทิศทางการเคลื่อนที่จะตรงข้ามกับช่วงเวลากลางวัน ดังแสดงในรูปที่ 2.2(ก) ในแบบที่สองในช่วงเวลากลางวันอากาศร้อนจะลอยตัวสูงขึ้นไปตามความลาดชันของภูเขา และในเวลากลางคืนอากาศที่เย็นซึ่งหนักจะกดตัวต่ำลงมาตามความลาดชันของภูเขาเหมือนที่แสดงในรูปที่ 2.2(ข)



รูปที่ 2.1 แสดงการเกิดลมทั่วทั้งโลก

(ก) ทิศทางลมเมื่อโลกไม่หมุน

(ข) ทิศทางลมเมื่อมีผลกระทบจากการหมุนของโลก

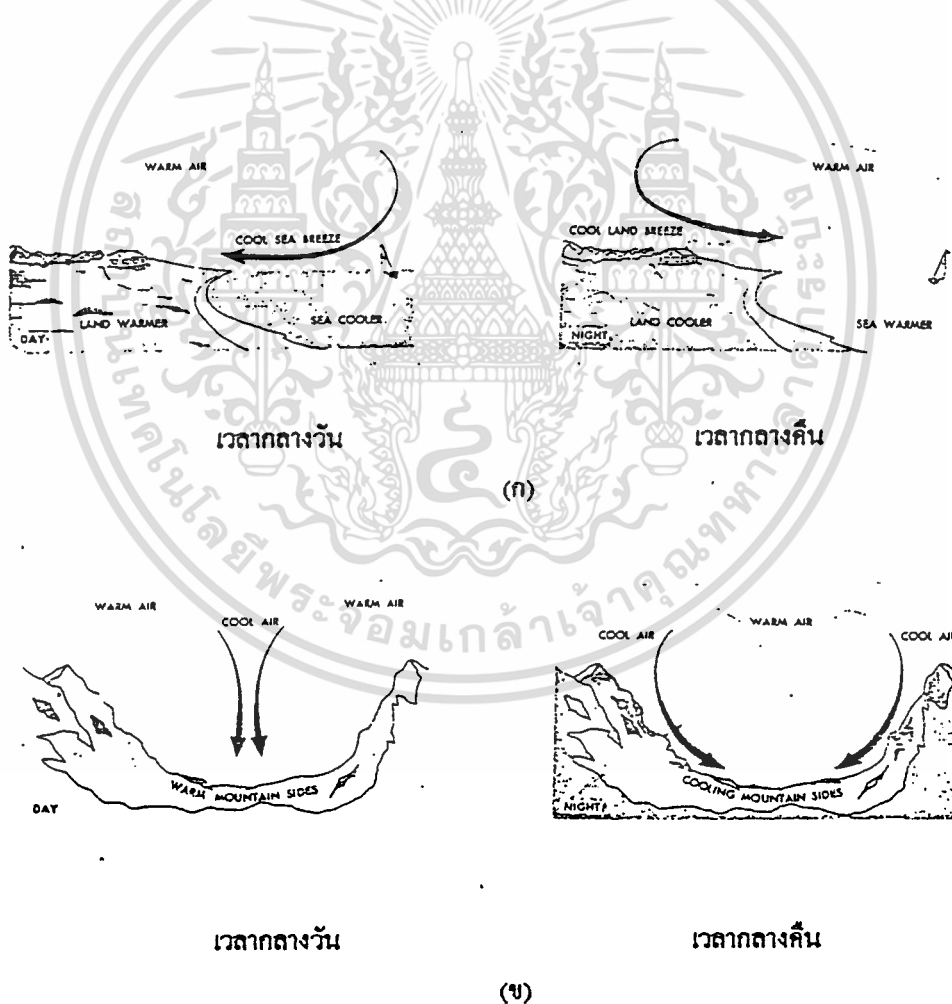
เมื่อลมเป็นการเคลื่อนที่ของอากาศและอากาศนั้นมีมวล ดังนั้นลมจึงจัดว่าเป็นพลังงานอีกรูปแบบหนึ่ง ซึ่งพลังงานจากลมนี้เป็นพลังที่ได้จากธรรมชาติ และเป็นพลังงานที่ไม่ทำให้เกิดมลพิษหรือพลังงานบริสุทธิ์ และพลังงานที่ได้จากลมนี้ยังจัดว่าเป็นพลังงานที่ไม่มีวันหมด แต่พลังงานลมก็เป็นพลังงานที่ไม่มีความแน่นอน เพราะว่าลมก็มีการเปลี่ยนทิศทางการเคลื่อนที่อยู่ตลอดเวลา และลมยังมีความเร็วที่ไม่สม่ำเสมอ แต่อย่างไรก็ตามที่เราก็สามารถที่จะนำเอาพลังงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สวทช. อนุญาตให้ใช้ฟรีสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากลมมาใช้ประโยชน์ได้ซึ่งมนุษย์เราได้เอาพลังงานจากลมมาใช้ตั้งแต่อดีตกาล โดยการนำมาใช้  
ในการเดินเรือในมหาสมุทร หรือวิดน้ำเพื่อการเกษตร เป็นต้น

### 2.3 ความเร็วลม

ลมมีความเร็วไม่คงที่ และยังมีหลายรูปแบบ ดังนั้นเราจึงไม่สามารถที่จะระบุว่าที่บริเวณ  
หนึ่ง ๆ จะมีความเร็วเป็นเท่าใด ฉะนั้น เราจึงจะบอกความเร็วของลมที่บริเวณใด ๆ เป็นความเร็ว  
ลมเฉลี่ยของบริเวณนั้น ๆ ต่อวัน ต่อเดือน หรือต่อปี ซึ่งความเร็วลมเฉลี่ยนี้จะได้มาจากข้อมูลจาก  
การวัดความเร็วลมในแต่ละเวลาต่าง ๆ และนำมาหาค่าเฉลี่ย สำหรับความเร็วลมเฉลี่ยที่บริเวณ  
ใด ๆ จะขึ้นอยู่กับลักษณะภูมิประเทศของบริเวณนั้น ๆ



รูปที่ 2.2 แสดงการเกิดลมแบบเฉพาะที่

(ก) การเกิดลมตามชายฝั่ง

(ข) การเกิดลมตามหุบเขา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

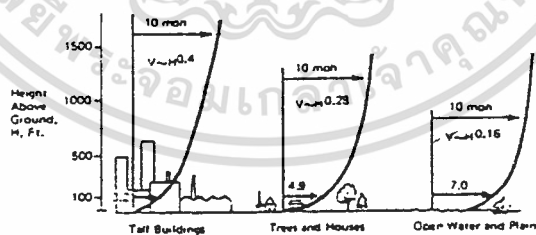
ความเร็วของลมนอกจากจะไม่คงที่แล้วยังขึ้นอยู่กับระดับความสูงของบรรยากาศ โดยเราสามารถที่จะคำนวณหาความเร็วลมที่ระดับความสูงต่าง ๆ กันได้ โดยที่เราทำการวัดความเร็วลมที่ระดับความสูงอ้างอิงใด ๆ และต่อจากนั้นเราก็นำค่าที่ได้นี้ไปคำนวณหาความเร็วที่ระดับความสูงที่ต้องการโดยใช้ สมการ

$$V_h = V_{ref} / [0.2337 + 0.656 \log(h + 457)] \quad (2.1)$$

โดยที่  $V_h$  = ความเร็วลมที่ระดับความสูงที่ต้องการทราบ  
 $V_{ref}$  = ความเร็วลมที่ระดับอ้างอิงที่ระดับความสูง 10 เมตร  
 $h$  = ระดับความสูงที่ต้องการหาความเร็วลม ใช้หน่วยเป็นเมตร  
 หรือเราอาจจะคำนวณได้จากสมการ

$$V_x = V_f (h/30)^{1/n} \quad (2.2)$$

โดยที่  $V_x$  = ความเร็วลมที่ระดับความสูงที่ต้องการ  
 $V_f$  = ความเร็วลมที่ระดับอ้างอิงที่ระดับความสูง 30 ฟุต  
 $h$  = ระดับความสูงจากพื้นที่ที่ต้องการหาความเร็วลม ใช้หน่วยเป็นฟุต  
 $1/n$  = ค่าประมาณการของการเพิ่มขึ้นของกำลังงาน ขึ้นอยู่กับลักษณะภูมิประเทศเมื่อเป็นท้องนา ที่โล่งแจ้งจะมีค่าเป็น 1/7 ถ้าเป็นลักษณะภูมิประเทศที่มีต้นไม้ หรือมีสิ่งกีดขวางเล็กน้อยจะมีค่าเป็น 1/5 และถ้าเป็นลักษณะภูมิประเทศที่มีสิ่งกีดขวางมากจะมีค่าเป็น 1/3



รูปที่ 2.3 แสดงกราฟความเร็วลมที่ระดับความสูงต่าง ๆ

ในการที่จะนำเอาพลังงานลมมาใช้ประโยชน์นั้นความเร็วของลมจะมีส่วนสำคัญมาก ซึ่งเราจะต้องทำการหาความเร็วลมเฉลี่ยในสถานที่ที่เราจะติดตั้งเครื่องกลทางลม ซึ่งเป็นเครื่องมือที่จะเปลี่ยนพลังงานลมไปเป็นพลังงานอย่างอื่น รูปที่ 2.3 แสดงกราฟของความเร็วลมที่ระดับความสูงต่าง ๆ ในแต่ละพื้นที่ที่แตกต่างกันอย่างคร่าว ๆ

ไม่ว่ากรณีใดๆ ฟังชั่น อีที ห้าหมื่นห้าพันห้าร้อยห้าสิบห้า และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.4 การคำนวณหากำลังงานจากลม

จากที่กล่าวมาแล้วว่าลมเป็นพลังงานคั่งแน่นลมจึงทำให้เกิดกำลังงานได้ โดยเราสามารถที่จะคำนวณหากำลังงานที่เกิดจากลมนี้ได้เมื่อวัตถุที่มีมวล  $m$  กิโลกรัมเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว  $v$  เมตรต่อวินาที จะมีพลังงานจลน์เกิดขึ้นเป็นครึ่งหนึ่งของมวลคูณกับความเร็วกกำลังสอง เขียนเป็นสมการได้เป็น

$$Ke = (1/2) mV^2 \quad \text{จูล} \quad (2.3)$$

เมื่อลมเคลื่อนที่ผ่านพื้นที่  $A$  ตารางเมตรด้วยความเร็ว  $V$  เมตรต่อวินาที และกำหนดให้ความหนาแน่นของอากาศเป็น  $p$  กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (ดังรูปที่ 2.4) เราจะได้มวลของอากาศเป็น  $pAV$  กิโลกรัมต่อวินาที แทนค่านี้ลงในสมการ (2.3) เราจะได้



รูปที่ 2.4 การเคลื่อนที่ของมวลอากาศ

$$Kep = (1/2)(pAV)V^2 \quad \text{จูลต่อวินาที} \quad (2.4)$$

กำหนดให้  $P$  เป็น กำลังงาน และจากกำลังงานเท่ากับพลังงานต่อหน่วยเวลา ดังนั้น

$$P = Kep = (1/2)pAV^3 \quad \text{วัตต์} \quad (2.5)$$

ซึ่งนี้เป็นพลังงานที่ได้จากลมทั้งหมด และกำลังงานนี้บางส่วนจะถูกกั้นเอาไว้เมื่อผ่านเครื่องกลทางลม เนื่องจากว่ามีการใช้หน่วยที่แตกต่างกันดังนั้นเราอาจเขียนสมการ (2.5) ใหม่ได้ว่า

$$P = KAV^3 \quad (2.6)$$

โดยที่  $K$  เป็นค่าคงที่ ซึ่งจะแตกต่างกันในแต่ละหน่วยที่ใช้ และกำหนดไว้ในตารางที่ 2.1 ซึ่งค่า  $K$  นี้เป็นค่าที่ความหนาแน่นอากาศเท่ากับ 1.290 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร หรือ 0.08

เอกสารนี้เป็นเอกสารสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ตารางที่ 2.1

กำลังงาน (P)	พื้นที่ (A)	ความเร็วลม (V)	ค่า K
กิโลวัตต์	ตารางฟุต	ไมล์ต่อชั่วโมง	0.0000053
กิโลวัตต์	ตารางฟุต	นอต	0.0000081
แรงม้า	ตารางฟุต	ไมล์ต่อชั่วโมง	0.0000071
วัตต์	ตารางฟุต	ฟุตต่อวินาที	0.0016800
วัตต์	ตารางเมตร	เมตรต่อวินาที	0.6450000
กิโลวัตต์	ตารางเมตร	เมตรต่อวินาที	0.0006450
กิโลวัตต์	ตารางเมตร	กิโลเมตรต่อชั่วโมง	0.0000137

\*p = 1.290 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

#### ความหนาแน่นอากาศ :

ความหนาแน่นอากาศจะแปรเปลี่ยนไปตามระดับของบรรยากาศ และแปรตามสถานะของบรรยากาศ สำหรับอากาศแห้งเราจะได้ความหนาแน่นอากาศในหน่วยกรัมต่อลูกบาศก์เมตรเท่ากับ 348.8 เท่าของอัตราส่วนความดันบรรยากาศในหน่วยมิลลิบาร์ต่ออุณหภูมิสมบูรณ์ในหน่วยเคลวิน หรือเราอาจเขียนเป็นสมการได้ว่า

$$p = (348.8 Pr)/T \quad \text{กรัมต่อลูกบาศก์เมตร} \quad (2.7)$$

โดยที่

p = ความหนาแน่นอากาศ ใช้หน่วย กรัมต่อลูกบาศก์เมตร

Pr = ความดันบรรยากาศ ใช้หน่วย มิลลิบาร์

T = อุณหภูมิสมบูรณ์ของบรรยากาศ ใช้หน่วย เคลวิน

ที่ความดันบรรยากาศมาตรฐาน 1000 มิลลิบาร์(ที่ระดับน้ำทะเล) และอุณหภูมิมาตรฐาน 290 เคลวิน เราจะได้ความหนาแน่นอากาศมาตรฐานเท่ากับ 1203 กรัมต่อลูกบาศก์เมตร

ความหนาแน่นอากาศจะลดลงเพียงเล็กน้อยเท่านั้นเมื่อระดับบรรยากาศเพิ่มสูงขึ้นอย่างมากและในการคำนวณเราจะไม่คำนึงถึงจุดนี้มากนัก และเราจะตัดเงื่อนไขทิ้งในการคำนวณหา กำลังงานจากลม สำหรับในที่นี้จะใช้ความหนาแน่นอากาศประมาณ 1200-1290 กรัมต่อลูกบาศก์เมตร

ตารางที่ 2.2 แสดงกำลังงานที่ได้จากลมในหน่วยวัตต์ต่อตารางเมตรที่ความหนาแน่นอากาศเป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า มาตรฐาน ณ ระดับความเร็วลมต่าง  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2

ความเร็วลม (กิโลเมตรต่อชั่วโมง)	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
32.00	449.49
34.00	539.15
36.00	640.00
38.00	752.70

กำลังงานที่ได้จากเครื่องกลทางลม :

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่จะนำพลังงานจากลมออกมานั้นจะมีความสามารถสูงสุดในการนำเอาพลังงานจากลมออกมาได้เพียงร้อยละ 59.3 ของพลังงานลมทั้งหมดที่หาได้จากสมการ( 2.5 ) หรือ( 2.6 ) ฉะนั้นเราสามารถที่จะหาค่ากำลังงานจากลมที่ผ่านเครื่องกลทางลมสูงสุดได้โดยคูณ 0.593 กับสมการ( 2.5 ) หรือ ( 2.6 ) เราจะได้ว่า

$$p = (0.593pAV^3)/2 \quad \text{วัตต์} \quad (2.8)$$

หรือ 
$$p = 0.593KAV^3 \quad \text{วัตต์} \quad (2.9)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่ในทางปฏิบัติแล้วเนื่องจากเครื่องกลที่สร้างขึ้นนั้นจะไม่มี ความสมบูรณ์ทางด้านหลัก แอโรไดนามิกและมีการสูญเสียทางกล และการสูญเสียทางไฟฟ้า ดังนั้นกำลังงานที่ได้จะมีค่าน้อย กว่ากำลังงานที่คำนวณได้จากสมการ( 2.8 )หรือ( 2.9 ) ซึ่งกำลังงานที่ได้นี้อาจจะไม่มากเกินกว่า  $0.4KAV^3$  โดยที่ค่าที่ได้จะขึ้นอยู่กับชนิดของเครื่องกลทางลมที่ใช้ และการออกแบบรวมทั้งสภาวะ การทำงานของเครื่องกล

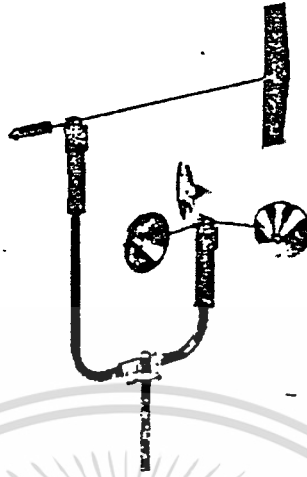
## 2.5 เครื่องมือวัดความเร็วลม และเครื่องแสดงทิศทางลม



(ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





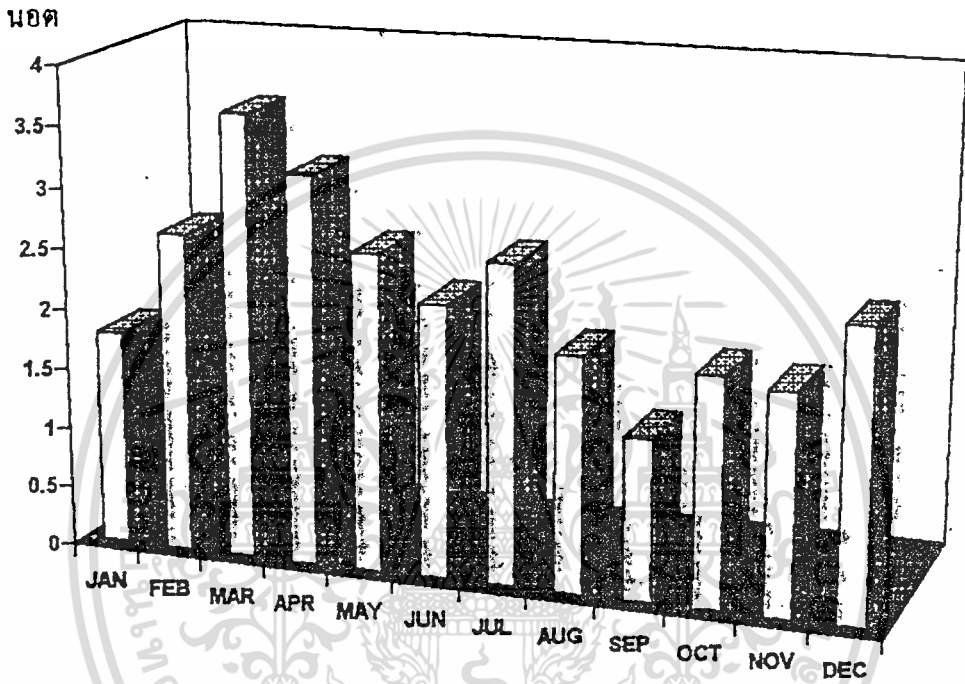
รูปที่ 2.6 เครื่องวัดความเร็วลมและแสดงทิศทางลมบนฐานรองอันติชิวกัน

## 2.6. ข้อมูลความเร็วลมรอบเขตกรุงเทพฯ

จากกรมอุตุนิยมวิทยา ซึ่งวัดที่ความสูงจากพื้นดิน 12 เมตร ในระยะเวลา 3 ปี คือ 2536, 2537, 2538

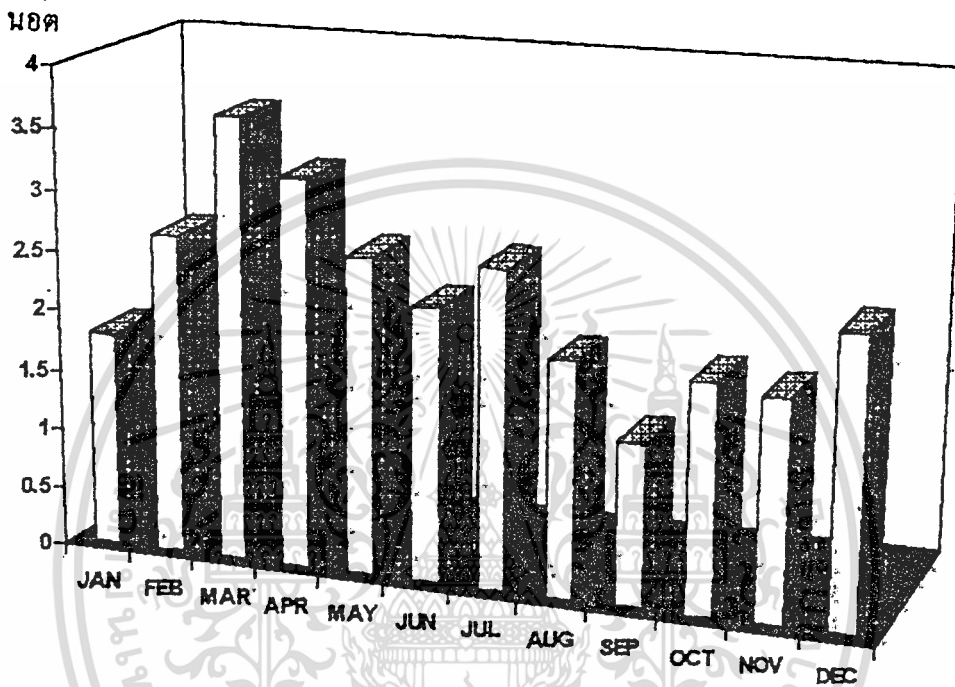
ตารางที่ 2.3. ตารางเทียบความเร็วลม (นอต) เป็นกิโลเมตรต่อชั่วโมง

ความเร็วลม (นอต)	ความเร็วลม กิโลเมตร ต่อชั่วโมง								
	0	1	2	3	4	5	6	7	8
0	0	1.9	3.7	5.6	7.4	9.3	11.1	13.0	14.8
10	18.5	20.4	22.2	24.1	25.9	27.8	29.6	31.5	33.4
20	37.1	38.9	40.8	42.6	44.5	46.3	48.2	50.0	51.9
30	55.6	57.4	59.3	61.1	63.0	64.9	66.7	68.6	70.4
40	74.1	76.0	77.8	79.7	81.5	83.4	85.2	87.1	88.9
50	92.7	94.5	96.4	98.2	100.1	101.9	103.8	105.6	107.5
60	111.2	113.0	114.9	116.7	118.6	120.4	122.3	124.2	126.0
70	129.7	131.6	133.4	135.3	137.1	139.0	140.8	142.7	144.5
80	148.2	150.1	151.9	153.8	155.7	157.5	159.4	161.2	163.1
90	166.8	168.6	170.5	172.3	174.2	176.0	177.9	179.7	181.6



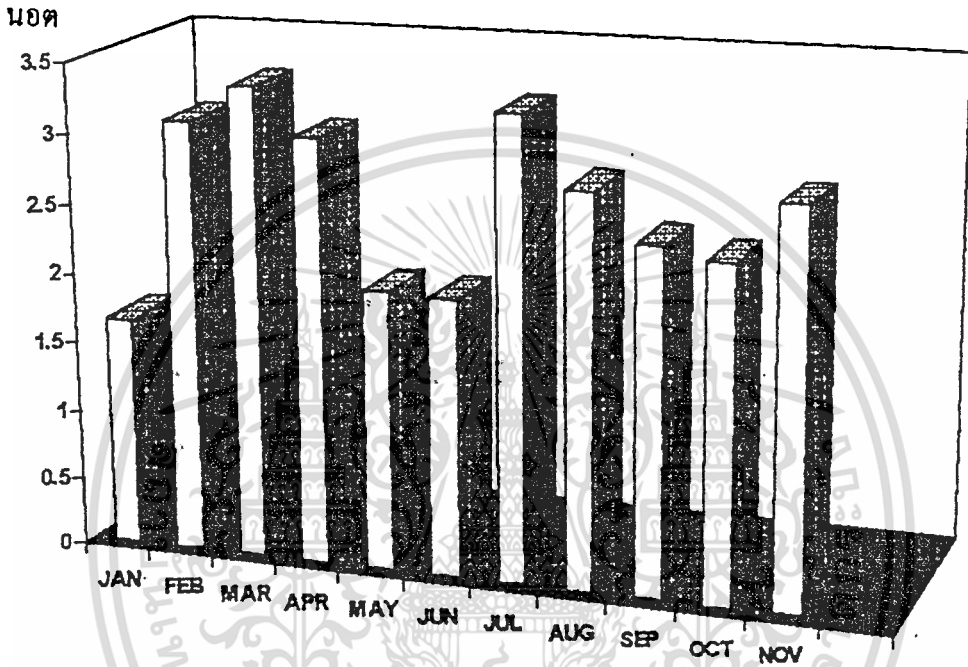
รูปที่ 2.7 ข้อมูลความเร็วลมบนเขตกรุงเทพฯ บันทึกเมื่อพ.ศ. 2536

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 ข้อมูลความเร็วลมบนเขตกรุงเทพฯ บันทึกเมื่อพ.ศ. 2537

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.9 ข้อมูลความเร็วลมเขตกรุงเทพฯ บันทึกเมื่อพ.ศ. 2538

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

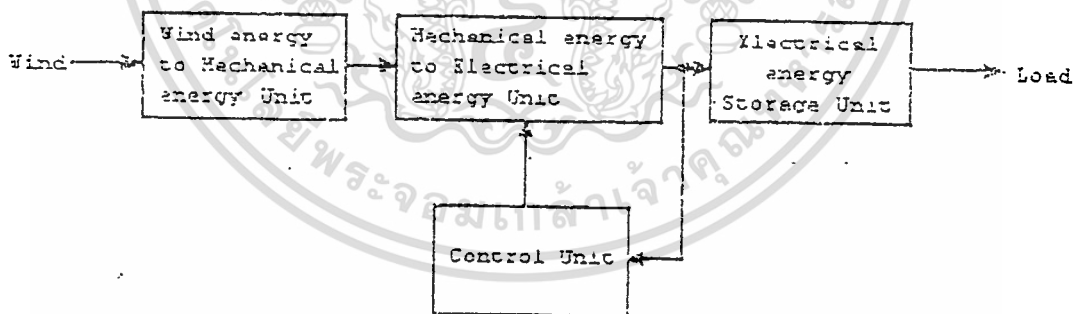
### ระบบการเปลี่ยนแปลงพลังงานลมเป็นพลังงานไฟฟ้า

#### 3.1 บทนำ

ระบบการเปลี่ยนพลังงานลมนั้นจะมีคุณลักษณะสมบัติขึ้นอยู่กับธรรมชาติของลม ซึ่งเป็นแหล่งพลังงานของระบบ และขึ้นอยู่กับพื้นที่รับลม รวมทั้งความเร็วลมด้วย

ในการเปลี่ยนพลังงานลมให้เป็นพลังงานไฟฟ้า เราสามารถที่จะทำได้โดยการเปลี่ยนพลังงานลมให้เป็นพลังงานกลเสียก่อน โดยใช้เครื่องกลทางลมที่เรียกว่า “กังหันลม” แล้วจากนั้นค่อยเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้าอีกที โดยใช้เครื่องกำเนิดกระแสไฟฟ้า ในบทนี้เราจะได้อธิบายถึงระบบการเปลี่ยนพลังงานให้เป็นพลังงานไฟฟ้า รวมถึงส่วนประกอบและวิธีการออกแบบเบื้องต้นอย่างคร่าว ๆ

#### 3.2 หลักการของระบบ



รูปที่ 3.1 ระบบการเปลี่ยนพลังงานลมให้เป็นพลังงานไฟฟ้า

หลักการของระบบก็คือ เราจะใช้กังหันลมเป็นตัวเปลี่ยนพลังงานลมเป็นพลังงานกลแล้วก็นำพลังงานกลที่ได้นี้ไปเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้า โดยเอาพลังงานกลที่ได้ไปขับเครื่องกำเนิดกระแสไฟฟ้า ซึ่งพลังงานไฟฟ้าที่ได้ออกมาจะมีการควบคุมแรงดันให้คงที่อยู่ตลอดเวลา และเนื่องจากลมนั้นไม่มีความต่อเนื่องดังนั้นพลังงานไฟฟ้าที่ได้จึงมีความไม่ต่อเนื่องด้วย ฉะนั้นจะไม่สามารถนำพลังงานไฟฟ้าที่ได้นี้ไปใช้ได้โดยตรง ดังนั้นจะต้องมีส่วนที่ใช้เก็บพลังงานไฟฟ้าไว้

ก่อนแล้วค่อยนำไฟฟ้าที่ได้ไปใช้งานต่อไประบบการเปลี่ยนพลังงานลมให้เป็นพลังงานไฟฟ้าได้ แสดงไว้ในรูปที่ 3.1

### 3.3 ส่วนประกอบของระบบ

ระบบที่ใช้ในการเปลี่ยนพลังงานลมให้เป็นพลังงานไฟฟ้า เราสามารถที่จะแยกเป็นส่วนประกอบได้ดังนี้คือ

- ส่วนเปลี่ยนพลังงานลมให้เป็นพลังงานกล
- ส่วนเปลี่ยนพลังงานกลให้เป็นพลังงานไฟฟ้า
- ส่วนควบคุมระบบ
- ส่วนเก็บพลังงานไฟฟ้า

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

2. ส่วนเปลี่ยนพลังงานกลให้เป็นพลังงานไฟฟ้า ส่วนนี้จะรับพลังงานกลจากกังหันลม ซึ่งจะใช้เครื่องกำเนิดกระแสไฟฟ้า โดยอาจจะเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง หรือเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ ซึ่งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเราจะต้องให้เหมาะสมกับกังหันลม ถ้าเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับเราจะต้องทำการเปลี่ยนให้เป็นไฟกระแสตรง หรือถ้าเรานำเอากระแสสลับไปใช้โดยตรงเราจะต้องมีกังหันลมแบบที่ให้ความเร็วคงที่เพื่อให้ได้แรงดันที่มีความถี่คงที่ แต่ถ้าเมื่อความเร็วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าต่ำกว่าที่จะสามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้ระบบนี้จะต้องทำการตัดการทำงานของมันออกไป ฉะนั้นควรจะใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง หรือมีการแปลงกระแสสลับให้เป็นกระแสตรง

3. ส่วนควบคุมระบบ ส่วนนี้จะทำหน้าที่เป็นตัวควบคุมระบบการทำงานทั้งหมด โดยจะทำหน้าที่เป็นตัวต่อเครื่องกำเนิดกระแสไฟฟ้าเมื่อความเร็วถึงรอบที่ต้องการ ควบคุมแรงดันไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดกระแสไฟฟ้า ควบคุมการจ่ายกระแสเกิน และป้องกันกระแสไหลย้อนจากส่วน

เก็บพลังงาน ส่วนควบคุมนี้เราอาจแบ่งได้เป็นแบบใช้คนเดียว แบบใช้คนร่วมกับเครื่องควบคุมทางอิเล็กทรอนิกส์ หรือแบบอัตโนมัติซึ่งจะใช้วงจรทางอิเล็กทรอนิกส์ ใช้ไมโครโปรเซสเซอร์ หรือใช้ไมโครคอมพิวเตอร์

4. ส่วนเก็บพลังงานไฟฟ้า แบตเตอรี่เป็นอุปกรณ์ที่เหมาะสมที่สุดที่จะใช้ในการเก็บพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากเครื่องกำเนิดกระแสไฟฟ้า โดยแบตเตอรี่อาจจะถูกต่ออยู่ในรูปวงจรถูกขนาน หรืออนุกรม ขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งาน จำนวนของแบตเตอรี่จะขึ้นอยู่กับกิโลวัตต์ ชั่วโมงที่ต้องการและความจุของแบตเตอรี่เอง ขนาดของแบตเตอรี่นั้นจะมีขนาดตั้งแต่ประมาณ 10-8000 แอมป์ต่อชั่วโมง สำหรับอุปกรณ์เก็บพลังงานอย่างอื่นก็อย่างเช่น แบบไฟลิวิด แบบฟูลเซลล์ เป็นต้น

### 3.4 การออกแบบระบบ

เพื่อให้ระบบมีการทำงานที่ดี มีประสิทธิภาพให้สูงสุดที่สุด เราจะต้องมีการออกแบบให้ระบบมีส่วนต่าง ๆ ในระบบมีความเหมาะสมซึ่งกันและกัน การออกแบบขั้นพื้นฐานนั้นเราอาจจะปฏิบัติตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. กำหนดหรือหากำลังงานที่ต้องการ
2. หาพลังงานที่ใช้งาน
3. หาโครงสร้างและขนาดของกังหันลมที่ต้องการ เพื่อให้ได้กำลังงานที่ต้องการจากพลังงานที่มีอยู่
4. ออกแบบส่วนประกอบของกังหันลมให้ได้ตามหลักกลศาสตร์ที่เหมาะสม

สำหรับขั้นตอนในการออกแบบระบบนั้น เราอาจจะปฏิบัติได้ดังนี้

1. เลือกชนิดของกังหันและขนาดของมันที่ซึ่งเรามีความสามารถที่จะสร้างได้
2. สมมติ ประมวล หรือหาความเร็วลมในการออกแบบ
3. ออกแบบส่วนประกอบของกังหันให้ได้ตามหลักกลศาสตร์ที่เหมาะสม

#### 3.4.1 กำลังงานที่ต้องการ

ในที่นี้เราจะกล่าวถึงกำลังไฟฟ้า สำหรับกำลังไฟฟ้าที่ต้องการนี้จะพิจารณาเป็นสองทาง อันแรกก็คือต้องการพลังงานมากเท่าใด และอีกทางคือต้องการใช้นานเท่าใด ซึ่งทั้งสองนี้มีความสำคัญเท่า ๆ กัน งานไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



- ปริมาณของกำลังงานไฟฟ้าที่ต้องการก็คือ ภาระที่ต้องจ่าย โดยเราจะทราบได้จากโหลดของระบบรวมทั้งการสูญเสียในระบบ
- ระยะเวลาการจ่ายกำลังงานคือ เวลาที่ระบบจะต้องจ่ายกำลังงานไฟฟ้าให้กับโหลด

### 3.4.2. พลังงานที่ใช้งาน

เราจะต้องทำการหาความเร็วลมเฉลี่ยและขนาดของกังหันแล้วนำไปหาพลังงานลมที่จะสามารถเกิดขึ้นได้ โดยคำนวณได้จากสูตรในหัวข้อที่ 2.4 ในบทที่ 2 นั้นเลือกขนาดของกังหันที่จะทำได้กำลังงานตามข้อ ก. รวมทั้งชนิดของกังหันลมด้วย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

037025

## บทที่ 4

### กังหันลม

#### 4.1 บทนำ

กังหันลมเป็นอุปกรณ์ที่เปลี่ยนพลังงานลมให้เป็นพลังงานกล กังหันลมจะมีอยู่หลายชนิด ซึ่งแต่ละชนิดก็จะมีลักษณะแตกต่างกัน มีประสิทธิภาพต่างกัน บางครั้งกังหันชนิดเดียวกันอาจจะมีความสามารถที่ต่างกันทั้งนี้ขึ้นอยู่กับเทคนิคการสร้างของกังหันลม ในบทนี้เราจะได้อธิบายถึงชนิดของกังหันลมลักษณะของกังหันลมของแต่ละชนิดรวมทั้งกำลังลมที่ได้จากกังหันลม

#### 4.2 ชนิดของกังหันลม

เราสามารถแบ่งชนิดของกังหันลมตามลักษณะการวางแนวแกนหมุนและใบได้เป็น 3 แบบคือ

- กังหันชนิดแนวแกนนอน
- กังหันชนิดแนวแกนนอน ใบขวาง
- กังหันชนิดแนวแกนตั้ง

##### 4.2.1 กังหันชนิดแนวแกนนอน

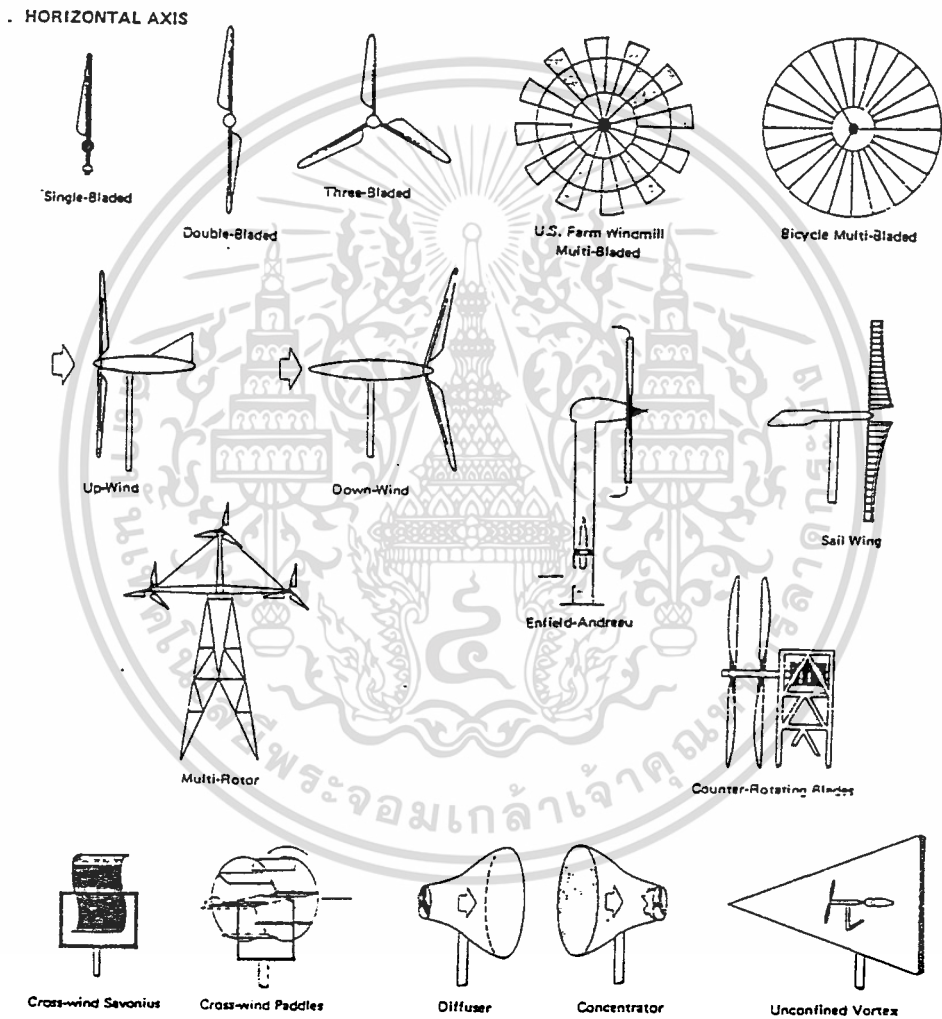
กังหันแบบนี้จะมีแนวแกนหมุนขนานกับทิศทางของกระแสลม ซึ่งเป็นกังหันแบบดั้งเดิม มีใบตั้งฉากกับทิศทางลม กังหันแบบนี้จะมีได้ตั้งแต่หนึ่งใบไปจนถึงหลายใบ ซึ่งเราสามารถแบ่งแบบของกังหันเหล่านี้ตามลักษณะใบตามการติดตั้งได้เป็นหลาย ๆ แบบดังแสดงในรูปที่ 4.1 โดยที่กังหันที่มีจำนวนใบน้อย ๆ จะมีความเร็วรอบสูง มีแรงบิดต่ำ สำหรับกังหันที่มีใบจำนวนมากจะมีความเร็วรอบต่ำมีแรงบิดสูง

โครงสร้างของกังหันแบบนี้จะมีความซับซ้อน เวลาใช้งานจะต้องให้ด้านหน้าของกังหันเข้าหาทิศทางลมเสมอซึ่งอาจทำได้โดยการใช้แผ่นบังคับทิศทางของกังหันไว้ด้านหลังของกังหัน ซึ่งเป็นวิธีที่ง่ายที่สุด หรืออาจจะใช้เครื่องวัดทิศทางลมแล้วส่งสัญญาณไปยังเครื่องควบคุมทิศทางเพื่อไปสั่งให้มอเตอร์หมุนกังหันไปยังทิศทางที่ถูกต้อง ใบของกังหันจะต้องมีการปรับถ่วงน้ำหนักให้เท่ากัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.2.2 กังหันชนิดแนวแกนนอนใบขวาง

กังหันแบบนี้จะมีแนวแกนหมุนอยู่ในแนวนอนตามพื้นผิวโลกและตั้งฉากทิศทางการเคลื่อน ซึ่งมีลักษณะเหมือนกับกังหันน้ำ



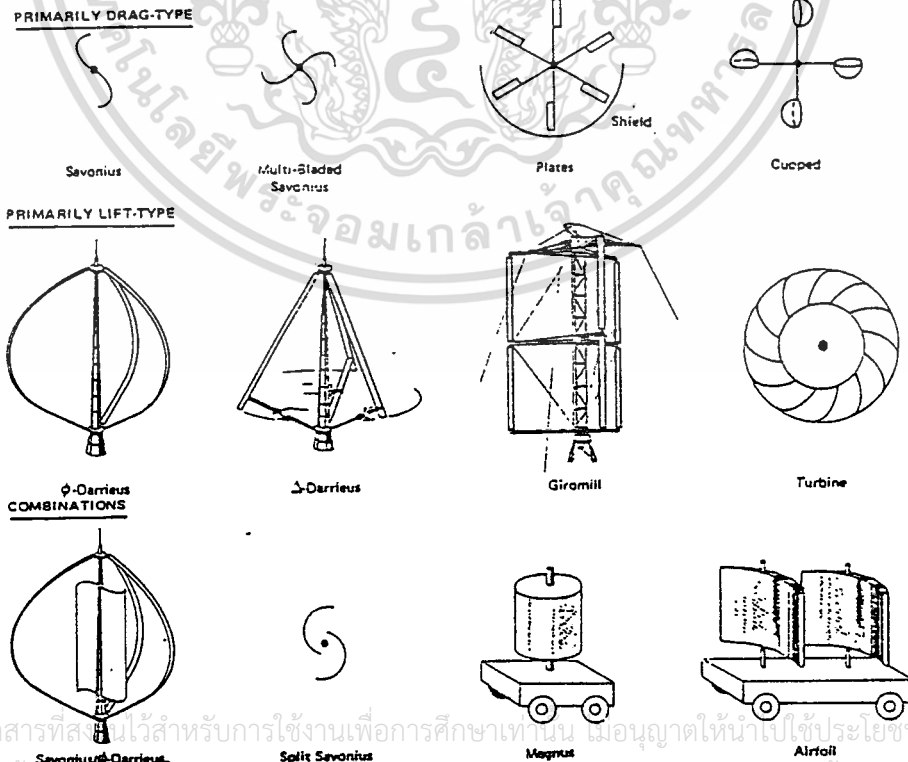
รูปที่ 4.1 แสดงกังหันแนวแกนนอนชนิดต่าง ๆ และแนวแกนนอนใบขวาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.2.3 กังหันชนิดแนวแกนตั้ง

กังหันแบบนี้จะมีแนวแกนหมุนตั้งฉากกับทิศทางของกระแสลมและระนาบพื้นดิน กังหันนี้จะมีโครงสร้างที่ง่ายกว่าแบบแนวแกนนอนสามารถรับลมได้รอบทิศทาง แต่จะให้กำลังงานน้อยกว่าแบบแนวแกนนอนเมื่อเทียบพื้นที่ที่เท่ากัน กังหันแบบนี้จะมีหลายลักษณะหลายรูปแบบดังแสดงในรูปที่ 4.2 เราสามารถที่จะเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียระหว่างกังหันลมแบบแนวแกนนอนกับแนวแกนตั้งได้ตามตารางที่ 4.1

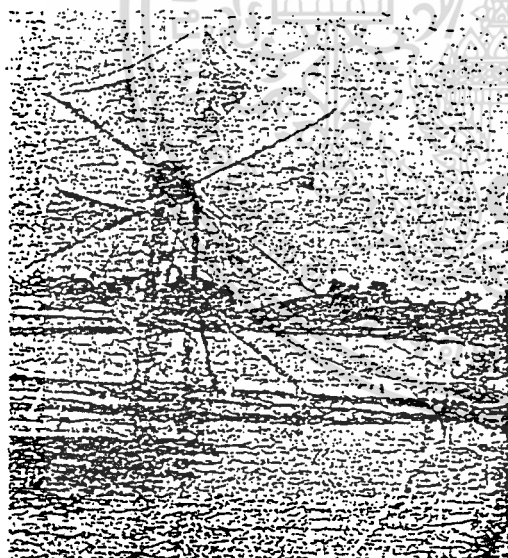
สำหรับกังหันที่มีใช้ในประเทศไทยส่วนมากจะเป็นกังหันแบบแนวแกนนอน ซึ่งจะใช้ในการเกษตรกรรม โดยใช้ในการสูบน้ำหรือวิดน้ำเพื่อใช้ในการทำนาเกลือ เป็นต้น โครงสร้างจะมีแบบที่ทำด้วยไม้และแบบที่ทำด้วยเหล็ก ลักษณะของกังหันแบบใช้ไม้ทำเป็นโครงจะมีเสาสองต้นเป็นตัวรองรับ มีเชือกขึงตึงระหว่างก้านใบเพื่อความแข็งแรง ส่วนใบนั้นอาจจะใช้ผ้า เสื่อ หรือไม้ไผ่สาน ซึ่งจะมีตั้งแต่สองใบถึงแปดใบ กังหันแบบนี้จะมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางใบตั้งแต่ 4-7 เมตร สำหรับแบบหลายใบนั้นใบจะทำด้วยเหล็กกล้าไนท์และส่วนประกอบต่าง ๆ จะทำด้วยโลหะ มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางใบตั้งแต่ 10-20 ฟุต มีจำนวนใบตั้งแต่ 30-45 ใบ และยังสามารถที่จะหมุนรับทิศทางลมโดยใช้หางเสือบังคับทิศทางเป็นตัวช่วย ซึ่งกังหันแบบนี้จะติดตั้งไว้บนหอสูง กังหันแบบนี้เมื่อใช้กับเครื่องสูบน้ำที่เหมาะสมจะสามารถใช้ส่งน้ำได้สูง 10 เมตร รูปที่ 4.3 แสดงกังหันลมที่มีใช้ในประเทศไทย



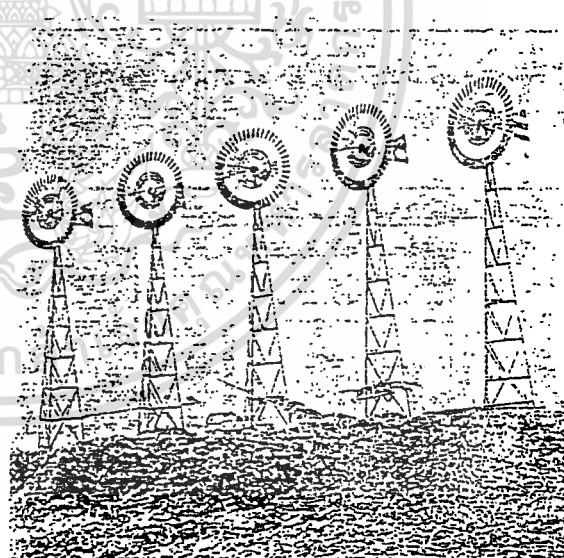
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สละไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้รูปที่ 4.2 แสดงกังหันแนวแกนตั้งชนิดต่าง ๆ เอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 เปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของกังหันลมแนวแกนนอนและแกนตั้ง

กังหันแนวแกนนอน	กังหันแนวแกนตั้ง
มีพื้นที่รับลมมากกว่าเมื่อน้ำหนักเท่ากัน	รับลมได้รอบทิศทาง
ประสิทธิภาพสูง	น้ำหนักที่ลงบนฐานมีความสมดุลมากกว่า
แรงบิดรอบแกนสูง	เริ่มหมุนได้เองเมื่อความเร็วลมต่ำ
ความเร็วรอบสูงกว่าเมื่อความเร็วลมเท่ากัน	ระบบการผลิตส่งกังหันไต่ง่ายราคาถูก
ความเร็วรอบคงที่กว่า	มีแรงต้านการหมุนจากใบที่ไม่ได้รับลม
ต้องปรับทิศทางของใบกังหัน	ไม่สามารถรับลมได้ทุกใบ
เข้าหาทิศทางลม	
มีการติดตั้งลำบาก	



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.3 แสดงกังหันที่มีไว้ในประเทศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อวัตถุประสงค์เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ก) กังหันแบบ ใบผ้า

(ข) กังหันแบบ ใบโลหะ

### 4.3 กำลังงานที่ได้จากกังหันลม

จากที่กล่าวแล้วว่าเครื่องกลทางลมจะให้กำลังงานลมได้เพียงร้อยละ 59.3 ของกำลังงานที่ได้จากลมทั้งหมด ดังนั้นกำลังงานที่ได้จากกังหันลมสามารถหาได้โดยจากสมการ ( 2.6 ) เราจะได้ว่า

$$P_m = \rho A V^3 \cdot E \quad (4.1)$$

โดยที่  $P_m$  = กำลังงานที่ได้จากเพลลาของกังหันลม

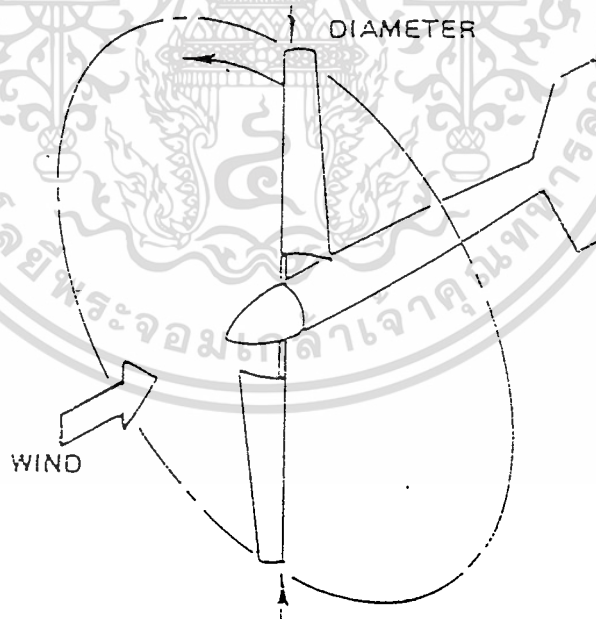
$E$  = ประสิทธิภาพของกังหันลม

$A$  = พื้นที่หน้าตัดของกังหันลม

$\rho$  = ความหนาแน่นของอากาศ

$V$  = ความเร็วลม

สำหรับพื้นที่หน้าตัดของกังหันลมเราสามารถจะหาได้สองลักษณะตามชนิดของกังหันซึ่งเราสามารถที่จะคำนวณหาได้จากสูตรดังต่อไปนี้  
สำหรับกังหันแนวแกนนอน:



รูปที่ 4.4 กังหันลมแนวแกนนอน

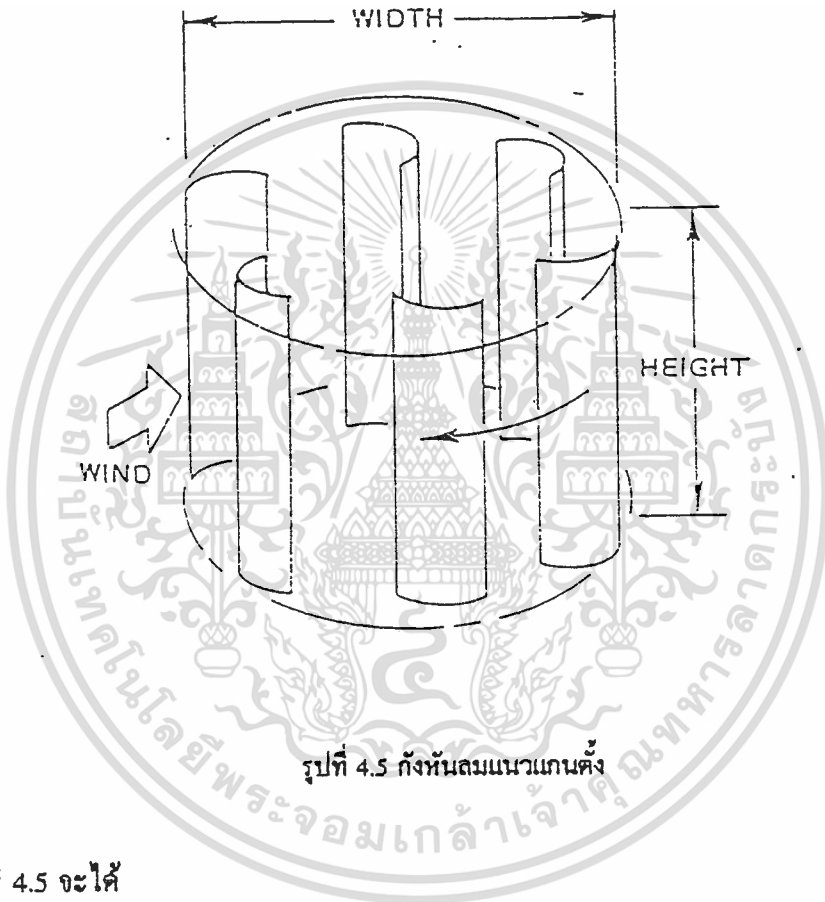
จากรูปที่ 4.4 จะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ  $A = \pi R^2$  งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ (4.2) การค้า

ไม่ว่า หรือ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมี  $A = (\pi D^2) / 4$  ข้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มี (4.3) ไปใช้

เมื่อ  $r$  = รัศมีของกังหันลม.  
 $D$  = เส้นผ่าศูนย์กลางของกังหันลม

สำหรับกังหันแนวแกนตั้ง :



รูปที่ 4.5 กังหันลมแนวแกนตั้ง

จากรูปที่ 4.5 จะได้

$$A = HW \tag{4.4}$$

เมื่อ  $H$  = ความสูงของกังหันลม  
 $W$  = ความกว้างของกังหันลม

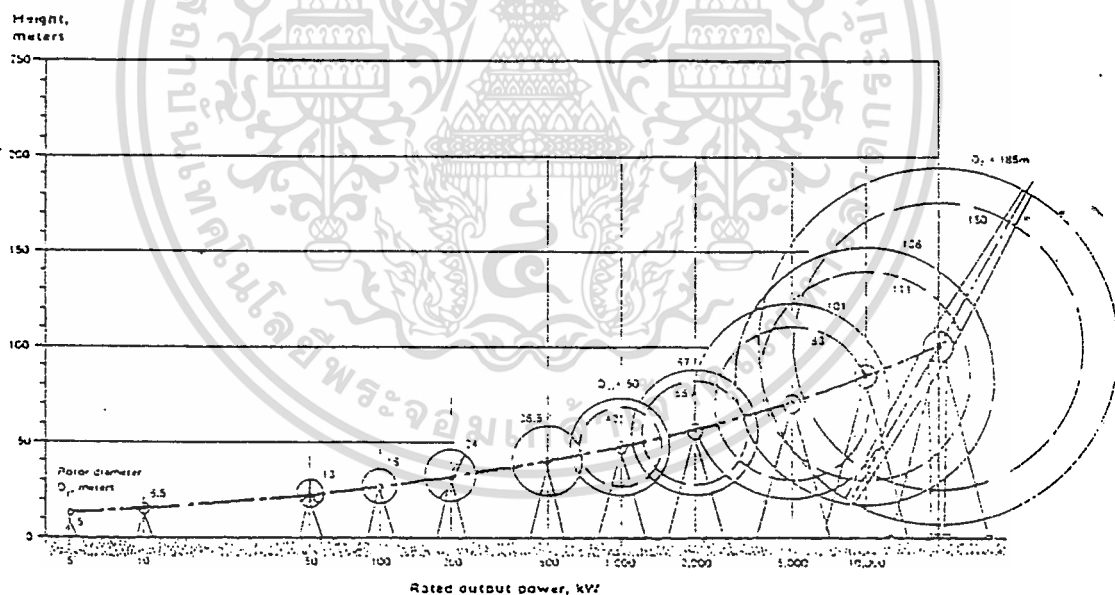
เราอาจกล่าวได้ว่ากำลังงานที่ได้จากกังหันลมจะขึ้นอยู่กับขนาดของกังหันลม และประสิทธิภาพของมัน สำหรับรูปที่ 4.6 แสดงกำลังงานที่ได้จากกังหันลมที่ความเร็วลม 27 กิโลเมตรต่อชั่วโมงของแต่ละขนาดของกังหันลมแบบแนวแกนนอน (รูปที่ 4.6 (ก)) และรูปที่ 4.6 (ข) เป็นการแสดงกำลังงานที่ได้จากกังหันลมแนวแกนตั้งที่แต่ละขนาดของกังหันลม ใช้ประโยชน์ด้านการค้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่เผยแพร่โดยศูนย์พัฒนาพลังงานทดแทนของมหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์ ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.4 ประสิทธิภาพของกังหันลม

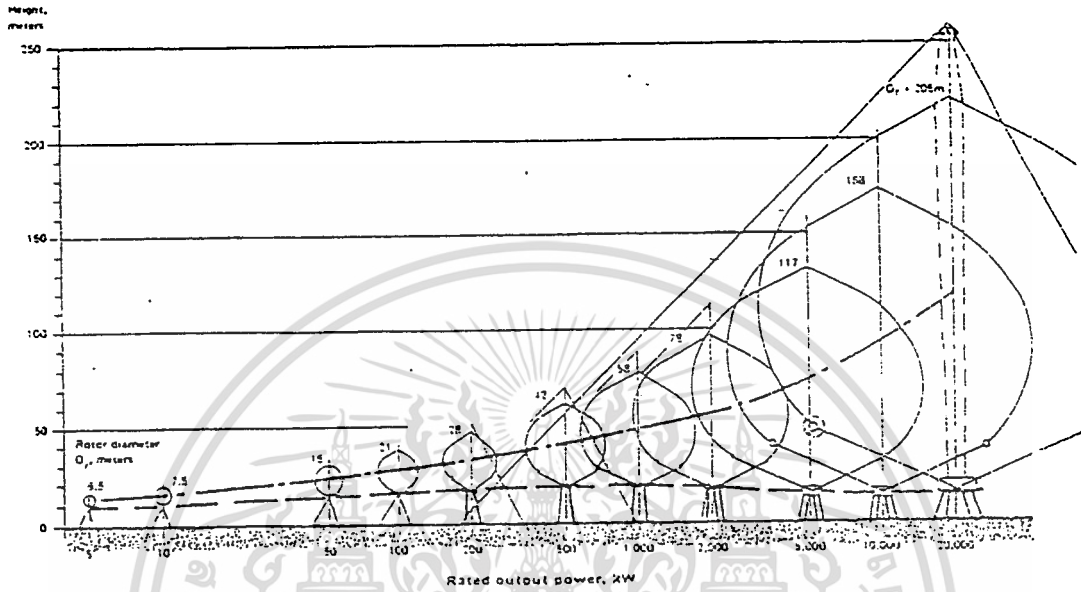
ประสิทธิภาพของกังหันลมนั้นขึ้นอยู่กับตัวประกอบหลายตัวด้วยกัน ตัวประกอบอันแรกก็คือโครงสร้างตามหลักแอโรไดนามิกของกังหันลมเอง ซึ่งจะเป็นตัวกำหนดประสิทธิภาพสูงสุดของกังหันลมที่แต่ละความเร็วลมต่าง ๆ ตัวประกอบที่เหลือก็อย่างเช่น น้ำหนักของกังหันลม จำนวนใบพัดของกังหัน เป็นต้น ประสิทธิภาพของกังหันลมจะแปรเปลี่ยนไปตามความเร็วลม เนื่องจากกังหันลมจะมีขีดจำกัดที่คงที่ในการดึงเอาพลังงานลมออกมานั้นเมื่อความเร็วลมเพิ่มขึ้นกำลังงานจากลมจะเพิ่มขึ้นแต่กำลังงานที่ได้จากกังหันลมจะมีการเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก

คุณสมบัติของกังหันลมอื่น ๆ ก็อย่างเช่น อัตราส่วนของความเร็วรอบของกังหันลมต่อความเร็วลมอัตราส่วนของพื้นที่ของใบกังหันลมต่อพื้นที่ที่ใบกังหันลมต่อหมุนกวาด เป็นต้น



(ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(๗)

รูปที่ 4.6 กำลังงานที่ได้จากกังหันลมที่ความเร็วลม 27 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

ก. กังหันลมแนวแกนนอน

ข. กังหันลมแนวแกนตั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### เครื่องกำเนิดกระแสไฟฟ้า

#### 5.1 บทนำ

บทนี้จะได้อธิบายถึงรายละเอียดของส่วนประกอบ หลักการทำงานของเครื่องกำเนิดกระแสไฟฟ้าและคุณลักษณะสมบัติของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เครื่องกำเนิดกระแสไฟฟ้าจะทำหน้าที่ในการเปลี่ยนพลังงานกลให้เป็นพลังงานไฟฟ้า โดยใช้หลักการเหนี่ยวนำทางสนามแม่เหล็กไฟฟ้า

#### 5.2 หลักการเหนี่ยวนำแรงเคลื่อนไฟฟ้า

เมื่อเราเคลื่อนที่ตัวนำตัดผ่านสนามแม่เหล็ก หรือเราให้สนามแม่เหล็กเคลื่อนที่ตัดผ่านตัวนำที่อยู่กับที่จะทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าได้ และเรายังสามารถที่จะสร้างเครื่องกำเนิดกระแสไฟฟ้าได้สองชนิด คือ เครื่องกำเนิดกระแสไฟฟ้ากระแสตรง และเครื่องกำเนิดกระแสไฟฟ้ากระแสสลับ ซึ่งจะได้อธิบายดังต่อไปนี้

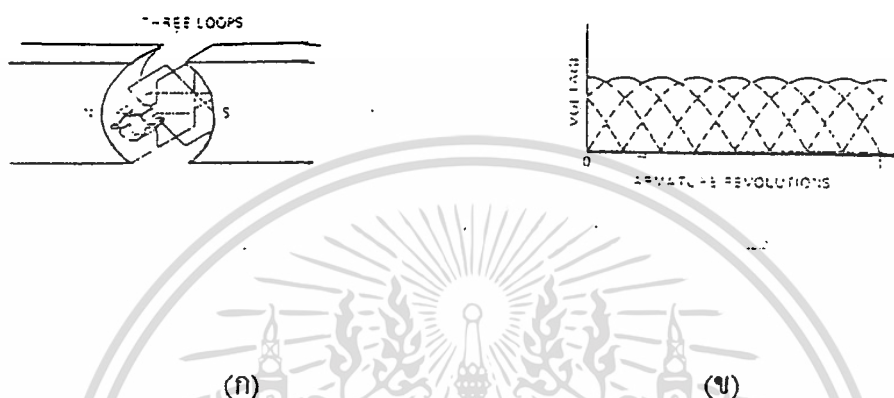


รูปที่ 5.1 แสดงเครื่องกำเนิดกระแสไฟฟ้าอย่างง่ายและแรงดันที่ได้

#### หลักการเหนี่ยวนำแรงดันไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง

พิจารณารูปที่ 5.1(ก) ซึ่งแสดงเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอย่างง่าย โดยประกอบด้วยขั้วแม่เหล็กสองขั้วคือ ขั้วเหนือและขั้วใต้ และตรงกลางระหว่างขั้วแม่เหล็กมีตัวนำวางอยู่ โดยที่ปลายทั้งสองด้านของตัวนำจะมีแผ่นโลหะโค้งคั่นอยู่ ซึ่งเราเรียกว่า “คอมมิวเตเตอร์”(Commutator) เมื่อเราหมุนตัวนำนี้ครบหนึ่งรอบเราจะได้ลักษณะของแรงดันที่ปลายทั้งสองด้านเหมือนแสดงในรูปที่ 5.1(ข) ซึ่งมีลักษณะเป็นกระแสตรง(กระแสตรงจะไหลในทิศทางเดียว) ถ้าเราเพิ่มจำนวนตัวนำให้

มากขึ้นจะทำให้เราได้ลักษณะของแรงดันที่เป็นกระแสดตรงที่สม่ำเสมอและเรียบมากขึ้นด้วย ดังแสดงในรูปที่ 5.2(ก) และรูปที่ 5.2(ข)



รูปที่ 5.2 แสดงเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มีตัวนำหลายชุดและแรงดันที่ได้

ปริมาณแรงดันที่ถูกเหนี่ยวนำขึ้นในแต่ละตัวนำ จะขึ้นอยู่กับความเร็วของตัวนำนั้น ๆ คัดเส้นแรงแม่เหล็ก เราจะสามารถหาแรงดันไฟฟ้าที่ถูกเหนี่ยวนำขึ้นมาทั้งหมดได้จากสมการ

$$E_a = (PZ\alpha\omega) / (60 a) \quad (5.1)$$

โดยที่

$E_a$  = แรงดันที่ถูกเหนี่ยวนำขึ้น มีหน่วยเป็น โวลต์

$P$  = จำนวนของขั้วแม่เหล็ก

$\alpha$  = จำนวนเส้นแรงแม่เหล็กต่อขั้วแม่เหล็ก มีหน่วยเป็น เวบเบอร์ต่อตารางเมตร

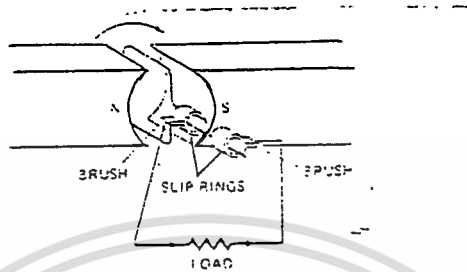
$\omega$  = ความเร็วรอบของการหมุน มีหน่วยเป็น รอบต่อวินาที

$a$  = จำนวนวงจรขนานของขดลวด

$Z$  = จำนวนตัวนำทั้งหมดเนื่องจากจะมีสองตัวนำต่อรอบ ดังนั้นจำนวนตัวนำทั้งหมดจะเป็นสองเท่าของจำนวนรอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 5.3 หลักการเหนี่ยวนำแรงดันไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ



รูปที่ 5.3 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าอย่างง่ายแบบใช้วงแหวน

จากรูปที่ 5.1(ก) ถ้าเราเปลี่ยนแผ่นโลหะโค้งเป็นแบบวงแหวนเหมือนรูปที่ 5.3 แรงดันที่ได้เราสามารถอธิบายได้ตามรูปที่ 5.4 และแรงดันที่ได้จะมีการเปลี่ยนแปลงไปมาระหว่างบวกกับลบ เหมือนแสดงในรูปที่ 5.4(ข) แรงดันนี้เป็นแรงดันกระแสสลับแบบ 1 เฟส กล่าวคือ มีการเหนี่ยวนำให้เกิดแรงดันเพียงตัวเดียว ถ้าเราเพิ่มจำนวนตัวนำเป็น 3 ชุด โดยแต่ละชุดวางห่างกัน 120 องศาทางไฟฟ้า

### 5.4 เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ

เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับที่ใช้กันอยู่ทั่วไปจะเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบ 1 เฟส และแบบ 3 เฟส ที่เรียกว่า “ซิงโครนัสเจนเนอเรเตอร์” (Synchronous Generator) ซึ่งทั้งสองแบบจะแตกต่างกันที่ชุดของการพันขดลวดอาร์เมเจอร์



(ก) สล๊อต



(ข) สเตเตอร์

รูปที่ 5.4 แสดงลักษณะสเตเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 5.4.1 โครงสร้างและส่วนประกอบ

โครงสร้างของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับแบ่งออกเป็นสองส่วนคือ ส่วนที่เคลื่อนที่  
ได้เรียกว่า “โรเตอร์” (Rotor) และส่วนที่อยู่กับที่ซึ่งเรียกว่า “สเตเตอร์” (Stator) การสร้างและการ  
ออกแบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบนี้จะทำให้สองลักษณะคือ

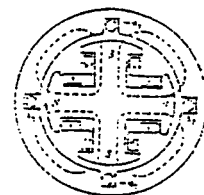
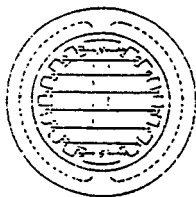
- แบบอาร์เมเจอร์เป็นตัวหมุน ขั้วสนามแม่เหล็กจะเป็นตัวอยู่กับที่ซึ่งอาร์เมเจอร์  
จะหมุนตัวตัดสนามแม่เหล็ก

- แบบขั้วสนามแม่เหล็กเป็นตัวหมุน อาร์เมเจอร์จะเป็นตัวอยู่กับที่ซึ่งขั้วสนามแม่  
เหล็กจะหมุนให้เส้นแรงแม่เหล็กหมุนตัวตัดขดลวดอาร์เมเจอร์

เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับขนาดเล็กจะเป็นแบบอาร์เมเจอร์หมุน และแบบขั้วแม่  
เหล็กหมุนนี้จะให้สำหรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดใหญ่เนื่องจากกระแสไฟฟ้าที่ไหลจากขดลวด  
อาร์เมเจอร์จะไม่ต้องผ่านแปรงถ่านและวงแหวน ในหัวข้อนี้จะได้อธิบายส่วนประกอบของเครื่อง  
กำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับในแบบที่สอง โดยส่วนประกอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสามารถแบ่งได้  
ดังนี้คือ

1. สเตเตอร์ ประกอบด้วยโครงสเตเตอร์ ซึ่งยึดแกนอาร์เมเจอร์ที่ทำด้วยเหล็ก  
แผ่นลามิเนตบาง ๆ จำนวนมากอัดซ้อนกันเป็นรูปทรงกระบอก โดยแต่ละแผ่นจะมีการฉนวนซึ่ง  
กันและกัน การที่ทำแกนเหล็กแบบนี้ก็เพื่อป้องกันการสูญเสียอันเนื่องมาจากความร้อนและกระแส  
ไหลวน และมีการเจาะร่องเรียกว่า “สล๊อต” (Slot) ซึ่งมีสามลักษณะคือ แบบเปิด, แบบกึ่งเปิด  
และแบบปิด ไว้สำหรับการวางขดลวดอาร์เมเจอร์ โดยแผ่นเหล็กส่วนที่อยู่ใต้ร่องจะเป็นส่วนที่ให้  
เส้นแรงแม่เหล็ก ดังรูปที่ 5.4 แสดงลักษณะสล๊อตทั้งสามแบบและลักษณะของสเตเตอร์แบบขั้ว  
สนามแม่เหล็กหมุน

2. โรเตอร์ จะเป็นขั้วแม่เหล็กที่มีขดลวดสนามแม่เหล็กพันอยู่บนแกนเพื่อสร้าง  
สนามแม่เหล็ก โดยสนามแม่เหล็กนี้จะขึ้นอยู่กับกระแสที่ไหลผ่านขดลวดนี้ โรเตอร์ของเครื่อง  
กำเนิดไฟฟ้าแบบสนามแม่เหล็กนี้สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 แบบ คือ



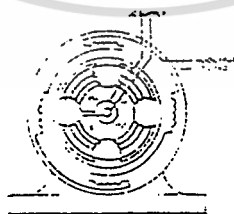
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้าม(ก) แดบทรงกระบอก และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของ(ข) แบบขั้วอื่น รังที่มีการนำไปใช้  
รูปที่ 5.5 แสดงลักษณะโรเตอร์เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ

ก. แบบขั้วทรงกระบอก(Cylindrical type) ลักษณะเป็นทรงกระบอก ซึ่งมีช่องอากาศระหว่างตัวโรเตอร์กับตัวสเตเตอร์สม่ำเสมอ ใช้กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มีความเร็วรอบสูง และมีจำนวนขั้วแม่เหล็กน้อย เช่น 2 หรือ 4 โรเตอร์แบบนี้จะมีเส้นผ่าศูนย์กลางน้อยและยาวมาก เนื่องจากว่ามีความเร็วรอบสูงและมีแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางมาก รูปที่ 5.5(ก) แสดงลักษณะของโรเตอร์แบบนี้

ข. แบบขั้วยื่นหรือวาเลี่ยนโพล(Salient pole type) ลักษณะเป็นขั้วแม่เหล็กยึดติดกับตัวโรเตอร์ มีช่องว่างอากาศระหว่างโรเตอร์กับสเตเตอร์จะไม่สม่ำเสมอคือ ที่หน้าขั้วแม่เหล็กจะมีช่องว่างอากาศน้อยกว่าที่ไม่ใช่ขั้วแม่เหล็ก ใช้กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มีขั้วแม่เหล็กมากและมีความเร็วรอบต่ำ ลักษณะรูปร่างของโรเตอร์แบบนี้จะมีเส้นผ่าศูนย์กลางใหญ่แต่สั้นเหมือนแสดงในรูปที่ 5.5(ข)

#### 5.4.2 เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสลับแบบ 1 เฟส

รูปที่ 5.6 จะเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสลับที่จะสร้างแรงดันไฟฟ้าเพียงตัวเดียวเท่านั้นขดลวดอาร์เมเจอร์จะต่อในลักษณะอนุกรมถึงกันทุกขด กล่าวคือแรงดันที่ถูกเหนี่ยวนำขึ้นมาในแต่ละขดลวดจะเป็นแรงดันเอาต์พุตที่ได้ทั้งหมด เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสลับแบบ 1 เฟส โดยปกติจะมีโครงสร้างขนาดเล็กเท่านั้น โดยส่วนมากจะใช้สำหรับงานสแตนด์บายในกรณีที่แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าหลักถูกตัดขาดหรือขัดข้องเพื่อจ่ายกำลังงานชั่วคราวในสถานที่ก่อสร้าง และสำหรับติดตั้งถาวรสำหรับที่ห่างไกล



รูปที่ 5.6 แสดงเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสลับแบบ 1 เฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

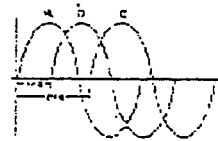
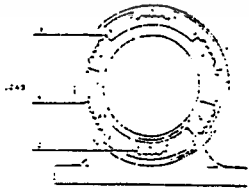
### 5.4.3 เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับแบบ 3 เฟส

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบนี้จะสร้างแรงดันออกมาสามตัวซึ่งแต่ละตัวจะห่างกัน 120 องศาทางไฟฟ้า ขดลวดอาร์เมเจอร์จะเรียงกันบนสเตออร์ในลักษณะที่คล้ายกับที่แสดงในรูปที่ 5.7(ก) โดยทางกลแล้วขดลวดทั้งสามชุดนี้จะวางห่างกัน 60 องศา อย่างไรก็ตามในการต่อกันทางไฟฟ้าแล้วแรงดันที่ได้จากขดลวดนี้จะมีการเลื่อนเฟสกันอยู่ 120 องศาทางไฟฟ้าเหมือนแสดงในรูปที่ 5.7(ข)

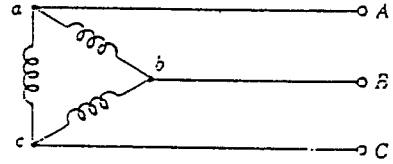
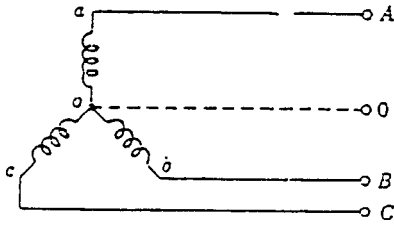
ขดลวดทั้งสามชุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะมีการต่อกันภายในตัวเครื่องจักร ซึ่งโดยทั่วไปแล้วจะสามารถต่อขดลวดทั้งสามชุดนี้ได้สองลักษณะคือ การต่อแบบสตาร์(Star) หรือแบบวาย(Wye) และการต่อแบบเดลต้า(Delta) ดังแสดงในรูปที่ 5.8 แรงดันที่ถูกเหนี่ยวนำขึ้นจากขดลวดอาร์เมเจอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับที่ต่อแบบเดลต้าจะถูกส่งไปยังขั้วสาย ดังนั้นแรงดันที่คร่อมขดลวดอาร์เมเจอร์ขดใดขดหนึ่ง(รูปที่ 5.8(ข)) จะเท่ากับแรงดันระหว่างขั้วสายใด ๆ กล่าวคือจากรูปที่ 5.8(ข) แรงดันที่คร่อมขดลวด  $ab$  จะเท่ากับแรงดันระหว่างสาย A และ B แรงดันที่คร่อมขดลวด  $ca$  จะเท่ากับแรงดันระหว่างสาย C และ A และแรงดันที่คร่อมขดลวด  $bc$  จะเท่ากับแรงดันระหว่างสาย B และ C โดยที่แรงดันระหว่างสายเราจะเรียกว่า “แรงดันไลน์”(Line voltage) สำหรับแรงดันที่ตกคร่อมขดลวดนั้น เราจะเรียกว่า “แรงดันเฟส”(Phase voltage) ซึ่งการต่อแบบเดลต้านี้จะได้แรงดันระหว่างสายเท่ากับแรงดันคร่อมขดลวด หรือถ้าเรากำหนดให้แรงดันระหว่างสายแทนด้วย  $V_L$  และแรงดันคร่อมขดลวดแทนด้วย  $V_P$  เราจะได้ว่า

$$V_L = V_P$$

( 5.2 )



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ต่อสาธารณะโดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้  
(ก) การวางขดลวดอาร์เมเจอร์ (ข) แรงดันเหนี่ยวนำ  
รูปที่ 5.7 แสดงเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับแบบ 3 เฟส



(ก) แบบบาย

(ข) แบบเดลต้า

รูปที่ 5.8 แสดงการต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ

กระแสที่ไหลในขดลวด ab bc และ ca เราจะเรียกว่า “กระแสเฟส” (Phase Current) และกระแสที่ซึ่งไหลในสาย A B และ C เราเรียกว่า “กระแสไลน์” (Line Current) สำหรับการต่อแบบเดลต้าแล้วเราจะได้ว่ากระแสไลน์จะเป็น 1.732 เท่าของกระแสเฟส ดังนั้นเราจะได้ว่า

$$I_L = 1.732 I_p \tag{5.3}$$

เมื่อ

$I_L$  = กระแสไลน์

$I_p$  = กระแสเฟส

สำหรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับที่ต่อแบบบายเราจะหาความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไลน์กับแรงดันเฟส

$$V_L = 1.732 V_p \tag{5.4}$$

และความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไลน์และกระแสเฟสได้ว่า

$$I_L = I_p \tag{5.5}$$

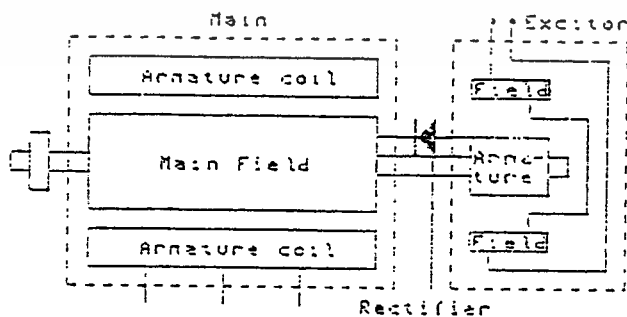
ในเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับนั้นไม่ว่าจะมีการต่อแบบใดก็ตามเราจะสามารถหาค่ากำลังไฟฟ้าเมื่อมีการจ่ายโหลดแบบสมมูลได้โดย

$$P = 1.732 I_L V_L \cos\theta \tag{5.6}$$

- โดยที่
- P = กำลังไฟฟ้าทั้งหมดของระบบ 3 เฟส มีหน่วยเป็นวัตต์
  - $I_L$  = กระแสไลน์ มีหน่วยเป็นแอมป์
  - $V_L$  = แรงดันไลน์ มีหน่วยเป็นโวลต์
  - $\cos\theta$  = ตัวประกอบกำลังไฟฟ้า

#### 5.4.4 เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับแบบไม่มีแปรงถ่าน

ในปัจจุบันเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับจะถูกสร้างเป็นลักษณะที่ไม่มีแปรงถ่าน เพื่อช่วยลดส่วนที่ต้องดูแลบำรุงรักษาลง ได้แก่ แปรงถ่านและวงแหวน เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบนี้จะประกอบด้วยชุดจ่ายแรงดันหลักซึ่งเป็นแบบขั้วแม่เหล็กหมุนและมีอาร์เมเจอร์เป็นตัวอยู่กับที่ และจะมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอีกชุด คือ ชุดกระตุ้นเป็นแบบอาร์เมเจอร์หมุน โดยที่อาร์เมเจอร์ของชุดกระตุ้นจะอยู่บนโรเตอร์เดียวกันกับขั้วแม่เหล็กสนามของชุดหลัก และอาร์เมเจอร์ของชุดกระตุ้นจะต่อยังขดลวดสนามแม่เหล็กของชุดหลักโดยผ่านตัวเรียงกระแสให้เป็นกระแสตรง เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบนี้จะไม่มีแปรงถ่าน และไดอะแกรมของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบนี้แสดงในรูปที่ 5.9



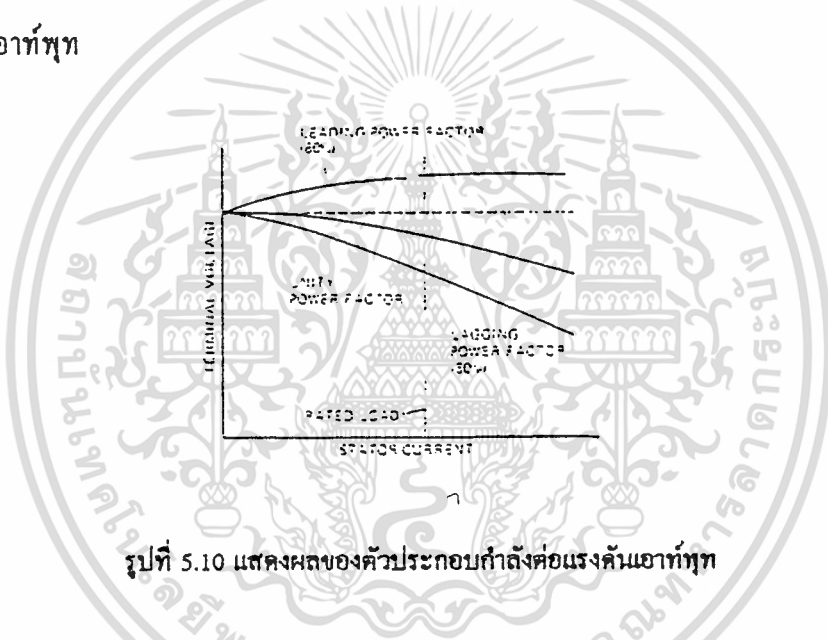
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5.9 แสดงไดอะแกรมของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับแบบไม่มีแปรงถ่าน.

### 5.4.5 คุณสมบัติของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ

แรงดันที่ได้จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับจะขึ้นอยู่กับตัวประกอบสามตัว คือ ความต้านทานของขดลวดอาร์เมเจอร์(R) ซึ่งความต้านทานนี้จะทำให้เกิดแรงดันตกภายในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเมื่อมีกระแสไหลในขดลวดอาร์เมเจอร์ ค่าของแรงดันตกจะเพิ่มขึ้นเมื่อมีกระแสไหลมากขึ้น ตัวประกอบที่สอง คือความต้านทานจากค่าอินดักแตนซ์(Inductance) ของขดลวดอาร์เมเจอร์(X) สุดท้ายก็คือตัวประกอบกำลังไฟฟ้าของโหลด

รูปที่ 5.10 แสดงกราฟของผลของตัวประกอบกำลังของแรงดันเอาต์พุต(Output voltage) ซึ่งจะเห็นว่าทั้งตัวประกอบกำลังที่ล่าช้า และตัวประกอบกำลังนำหน้าของโหลดจะมีผลกระทบต่อแรงดันเอาต์พุต



รูปที่ 5.10 แสดงผลของตัวประกอบกำลังต่อแรงดันเอาต์พุต

### 5.4.6 ประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

ประสิทธิภาพมีส่วนสำคัญในการเปลี่ยนแปลงพลังงาน ดังนั้นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะถูกออกแบบมาให้มีประสิทธิภาพสูงสุด ภายในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะประกอบด้วย การสูญเสียหลักใหญ่ ๆ อยู่สามอย่าง คือ การสูญเสียทางกล การสูญเสียทางไฟฟ้า และการสูญเสียทางแม่เหล็ก

การสูญเสียทางกลจะประกอบด้วย ความเสียดทานที่แบร็ง ความเสียดทานระหว่างแปรงถ่านและวงแหวนหรือคอมมิวเตเตอร์ และแรงต้านลมของส่วนที่หมุนได้ ความสมดุลที่ดีของโรเตอร์และการใช้แบร็งที่ถูกต้องและแบร็งมีการหล่อลื่นที่ดีจะลดการสูญเสียนี้ได้

การสูญเสียทางไฟฟ้าเกิดจากความต้านทานของตัวนำของขดลวดสนามและความต้านทานของขดลวดอาร์เมเจอร์ การใช้วัสดุที่มีความต้านทานต่ำและมีขนาดที่เหมาะสมจะทำให้การสูญเสียนี้มีค่าต่ำสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสูญเสียทางแม่เหล็กจะเป็นผลมาจากความต้านทานของวงจรมแม่เหล็ก ความต้านทานนี้เราจะเรียกว่า “รีลักแตนซ์”(Reluctance) การสูญเสียนี้จะมีการสูญเสียหลักอยู่สองอย่างคือ การสูญเสียเนื่องจากกระแสไหลวน และการสูญเสียเนื่องจาก ฮิสเตอร์รีซิส(Hysteresis) เราสามารถทำให้ค่าความต้านทานของวงจรมแม่เหล็กมีค่าต่ำสุดได้โดยการใช้วัสดุที่เป็นสารแม่เหล็กที่ดี และที่สำคัญก็คือทำให้ช่องอากาศ ระหว่างสเตเตอร์และโรเตอร์มีความห่างน้อยที่สุด

กระแสไหลวน(กระแสในแกนเหล็กของขั้วสนามแม่เหล็กและของอาร์เมเจอร์) จะเกิดจากแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำในแกนเหล็ก วิธีที่ดีที่สุดจะทำให้กระแสไหลวนเกิดขึ้นน้อยที่สุดก็คือ ใช้แผ่นเหล็กลามิเนตและมีการกั้นฉนวนระหว่างแต่ละแผ่น

การสูญเสียเนื่องจากฮิสเตอร์รีซิสมีสาเหตุมาจากสนามแม่เหล็กที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของกระแสที่ไหลในขดลวด การลดการสูญเสียก็คือเลือกแกนเหล็กที่เป็นสนามแม่เหล็กที่ดี



## บทที่ 8

### ระบบไฟฟ้า

### ELECTRICAL SYSTEM

#### 6.1. บทนำ

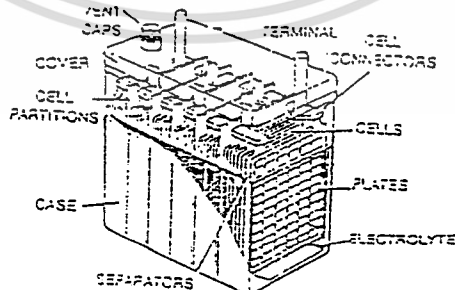
แบตเตอรี่จะเป็นแหล่งเก็บพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบตเตอรี่จะมีอยู่หลายชนิดซึ่งจะถูกออกแบบมาเพื่อจุดประสงค์ต่างกัน แบตเตอรี่นั้นบางที่เราอาจจะแบ่งได้สองแบบคือ แบบที่สามารถนำกลับมาประจุใหม่ได้และเราจะเรียกว่า “แบบแบตเตอรี่ทุติยภูมิ” และแบบที่ไม่สามารถนำกลับมาประจุได้เราเรียกว่า “แบบแบตเตอรี่ปฐมภูมิ”

แบตเตอรี่แบบที่สามารถนำกลับมาประจุใหม่ได้ โดยส่วนมากจะเป็นแบบตะกั่วกรด แบบนิเกิลเหล็กอะคาไลน์ (แบบเอคิสัน) และแบบนิเกิลแคลเซียม ในบทนี้จะอธิบายถึง รายละเอียดต่าง ๆ โครงสร้าง การชาร์จ และคุณสมบัติของแบตเตอรี่ที่นิยมใช้กันมาก

#### 6.2. แบตเตอรี่

##### 1. รายละเอียด

น้ำยา คือ น้ำกรดกำมะถันเจือจางผสมกับน้ำกลั่น แต่เมื่อใช้งานหรือชาร์จส่วนที่ระเหยออกไปมากคือน้ำกลั่น ดังนั้นโดยทั่ว ๆ ไป เมื่อระดับไม่ได้ก็ต้องเติมน้ำกลั่นนั่นเอง ส่วนปริมาณจากรายละเอียดดังรูปที่ 6.1



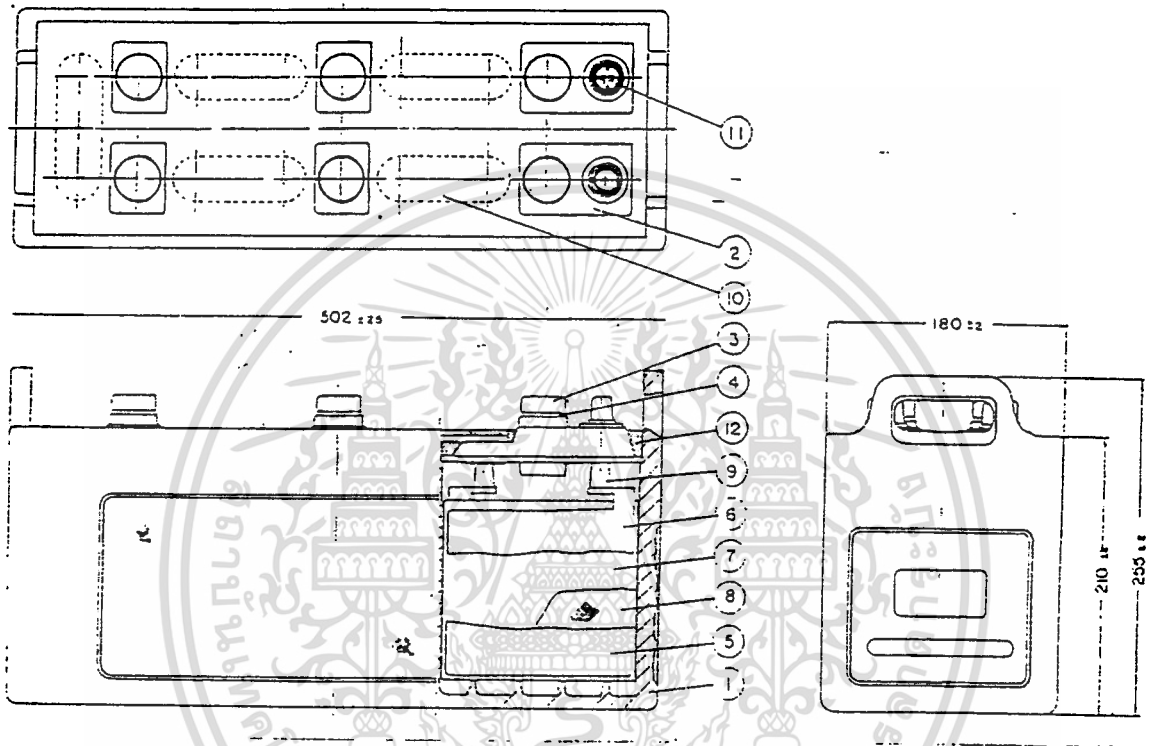
รูปที่ 6.1 ปริมาณน้ำยา

หมายเหตุ: แบบ N 100-12 เป็นมาตรฐานของ JIS (Japanese Industrial Standards)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่ขึ้นงานวิชาการ

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2. โครงสร้าง ดังรูปที่ 6.2



รูปที่ 6.2 แสดงโครงสร้าง

## 3. การชาร์จ

### (1) การเตรียม

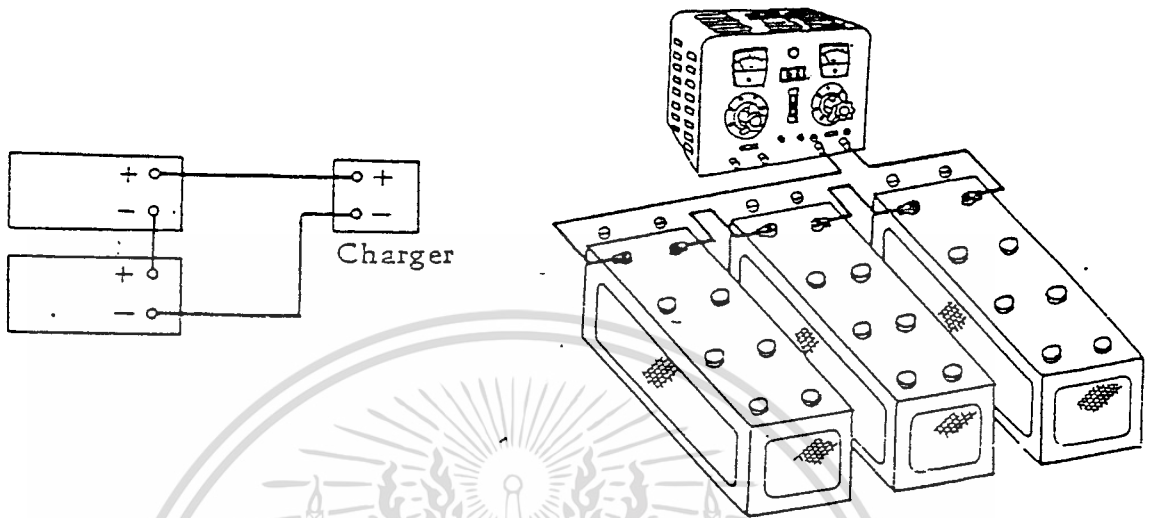
- 1) การถอดขั้วแบตเตอรี่ต้องถอดขั้วลงดินก่อน
- 2) เมื่อยกแบตเตอรี่ออกจากตู้แล้ว ทำความสะอาดภายนอกด้วยน้ำสะอาด โดยเฉพาะขั้วต้องสะอาดเป็นพิเศษ
- 3) เติมน้ำกลั่นให้ไ้ระดับ (10-13 มม. สูงจากแผ่นธาตุ)

### (2) การต่อ

ค้่องต่อแบตเตอรี่เป็นอันดับกับเครื่องชาร์จ และขั้วให้ถูกค้่องค้งรูปที่ 6.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



### รูปที่ 6.3 การต่อแบตเตอรี่เข้ากับเครื่องชาร์จ

หมายเหตุ: ถ้าการต่อกลับขั้ว กระแสจะไหลกลับทิศทาง อาจทำให้แผ่นบวกเปลี่ยนเป็นแผ่นลบจะทำให้แบตเตอรี่มีอายุการใช้งานลดลง

ในขณะที่ชาร์จต้องเปิดฝาแบตเตอรี่ไว้

#### (3) ข้อควรระวังขณะชาร์จ

- 1) ต้องระวังไม่ให้ฝาแบตเตอรี่หาย
- 2) ต้องมีการถ่ายเทอากาศอย่างดี
- 3) ต้องระวังไฟเพราะจะเกิดแก๊สผสมระหว่างออกซิเจนกับไฮโดรเจน
- 4) อย่าให้อุณหภูมิน้ำยาสูงกว่า  $45^{\circ}\text{C}$  ถ้าเกิดลดกระแสลงหรือหยุดชาร์จชั่วคราว
- 5) คุระดับน้ำกลั่นให้ไค้ระดับ
- 6) เมื่อชาร์จเสร็จ ปิดฝาให้แน่น ทำความสะอาดภายนอกด้วยน้ำสะอาด แล้วเช็ดให้แห้ง

หมายเหตุ: การสังเกตว่าการชาร์จเต็มแล้ว อาจใช้วิธีง่ายๆ คือ เมื่อมีกลิ่นแก๊สพุ่งขึ้นก็แสดงว่าเกือบเต็มแล้วชาร์จต่ออีกเล็กน้อยก็ใช้ได้ หรืออาจใช้ไฮโดรมิเตอร์วัดค่าความถ่วงจำเพาะไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าขาร่องในรถยนต์ต้องปลดขั้วแบตเตอรี่หรือขั้วไฟของแบตเตอรี่ออก

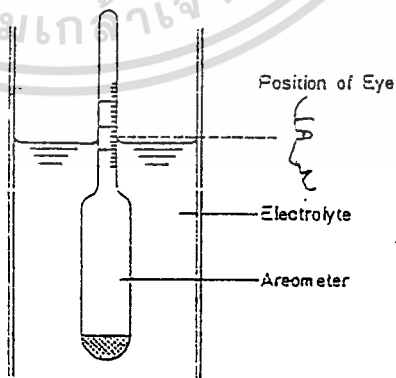
4. การวัดความถ่วงจำเพาะ

วัดด้วยไฮโดรมิเตอร์ ดังรูปที่ 6.4



รูปที่ 6.4 การวัดความถ่วงจำเพาะ

วัดโดยให้ไฮโดรมิเตอร์อยู่ในแนวตั้งฉาก การอ่านค่าต้องมองในระดับสายตาไป  
ยังส่วนที่อยู่สูงสุด ดังรูปที่ 6.5



รูปที่ 6.5 การอ่านค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถ่วงจำเพาะถึ้อเอาที่อุณหภูมิ 20° C เป็นมาตรฐาน เมื่้ออ่านค่าก็จะทราบสภาพการซาร์จได้ดังตารางที่ 6.1

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 ถ้าอุณหภูมิสูงความถ่วงจำเพาะจะต่ำแต่ถ้าอุณหภูมิต่ำความถ่วงจำเพาะจะสูง โดยถึ้อเอาเกณฑ์คั้งนี้ อุณหภูมิเปลี่ยนแปลง 1° C ความถ่วงจำเพาะจะเปลี่ยนแปลง 0.0007 เพื่อเปลี่ยนค่าความถ่วงจำเพาะ ที่วัดได้ที่อุณหภูมิอื่นๆ เมื่้อเทียบกับอุณหภูมิมาตรฐาน (20° C) จึงมีสูตรคั้งนี้

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

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

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

$$t = \text{อุณหภูมิที่วัดความถ่วงจำเพาะ}$$

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

$$S_{20} = S_t + \alpha \quad (6.1)$$

คั้งนั้นเมื่้อรู้ค่า  $\alpha$  ก่อน ก็จะสามารถหาค่าได้ง่ายยิ่งขึ้น สูตรค่า  $\alpha$  จากตาราง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ตารางที่ 6.2 ค่าความถ่วงจำเพาะกับอุณหภูมิ

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

#### 5. การปรับค่าความถ่วงจำเพาะ

ภายหลังการชั่ง

ถ้าความถ่วงจำเพาะสูงเกินไป - เติมน้ำกลั่นลงไป

ถ้าความถ่วงจำเพาะต่ำเกินไป - ดูดเอาน้ำยาออกแล้วเติมน้ำยาที่ผสมขึ้นใหม่  
เท่ากับปริมาณที่ดูดออก โดยผสมน้ำกรด  
กำมะถันเจือจาง ซึ่งมีความถ่วงจำเพาะต่ำ  
กว่า 1.45 กับน้ำกลั่น แล้วปรับให้ได้ 1.260

แต่ถ้าน้ำกรดกำมะถันเจือจางที่มีความถ่วงจำเพาะประมาณ .45 หาไม่ได้

แต่มีขนาด 1.838-1.840 ก็ผสมด้วยอัตราดังตารางที่ 6.3

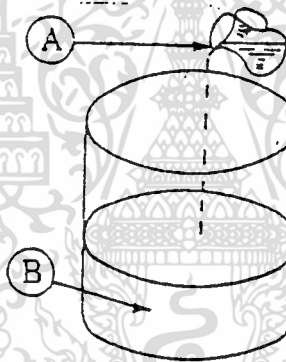
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.3 อัตราส่วนน้ำกลั่นกับกรรก้ำมะถัน

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

การผสมน้ำยาคังรูปที่ 6.6



A กรรก้ำมะถัน  
B น้ำกลั่น

รูปที่ 6.6 การผสมน้ำยา

- (1) ใส่ น้ำกรรก้ำมะถัน ในเหยือกหรือถ้วยที่ทำจากแก้ว, กระจกเคลือบ, แผ่นตะกั่วหรืออีโบนิต
- (2) ค่อยๆ เทน้ำกรรก้ำๆ ทีละน้อยๆ ลงในภาชนะบรรจุน้ำกลั่น แล้วค่อยๆ คน

หมายเหตุ: ต้องแน่ใจว่าเทน้ำกรรกลงในน้ำกลั่น

ห้ามเทน้ำกลั่นลงในน้ำกรรคอย่างเด็ดขาดเพราะจะทำให้เกิดความร้อนสูงมาก จะทำให้เกิดอันตรายหรือได้รับบาดเจ็บ ห้ามใช้น้ำประปา หรือน้ำบ่อแทนน้ำกลั่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 6. วิธีชาร์จ

โดยทั่วไปแบตเตอรี่จะได้รับการชาร์จจากระบบชาร์จ แต่ถ้าไฟที่ใช้มากกว่าการชาร์จไฟจากแบตเตอรี่ก็จะลดลง

ดังนั้นจึงจำเป็นต้องตรวจความว่างจำเพาะ อย่างน้อยเดือนละครั้ง ถ้าค่าที่วัดได้น้อยกว่า 1.200 (ที่ 20°C) จะต้องชาร์จใหม่ทันที

แบตเตอรี่แม้ว่าไม่ใช้งาน แต่เก็บไว้เฉยๆ เป็นเวลานาน ก็มีโอกาที่ไฟจะหมดหม้อได้ จากการจ่ายไฟของตัวแบตเตอรี่เอง

การจ่ายไฟด้วยแบตเตอรี่จะสูงขึ้นตามอุณหภูมิดังตาราง 6.4

ตารางที่ 6.4 การจ่ายไฟด้วยแบตเตอรี่

อุณหภูมิ	การจ่ายไฟด้วยแบตเตอรี่เอง (%)	ค่าความว่างจำเพาะที่ลดลง
30°	1% ต่อวัน	0.002 ต่อวัน
20°	0.5% ต่อวัน	0.001 ต่อวัน
5°	0.25% ต่อวัน	0.0005 ต่อวัน

### (1) กระแสที่ใช้ชาร์จ

โดยทั่วไป การชาร์จตามปกติ จะใช้กระแส 1/10 ของความจุ ดังตัวอย่าง ถ้าความจุแบตเตอรี่เป็น 100 แอมแปร์-ชั่วโมง (AH) กระแสที่ใช้ชาร์จ =  $100 \times 1/10 = 10$  แอมแปร์ แต่ถ้ามีเวลามากพอจะใช้กระแสชาร์จน้อยกว่านี้ก็ได้ อาจใช้กระแส 1/20 ของความจุ

### (2) การชาร์จตามปกติ

เวลาที่ใช้ชาร์จ จะต้องชาร์จจนกระทั่งได้ 125% ของไฟที่ใช้ไป ดังตัวอย่าง ถ้าแบตเตอรี่มีความจุ 100 AH ถูกใช้ไป 50 AH จะต้องชาร์จเพิ่มอีก 65 AH ดังนั้นจะต้องชาร์จด้วยกระแส 10 แอมแปร์ นาน 6 ชั่วโมง 30 นาทีอย่างไรก็ตามการตัดสินใจว่าสภาพการชาร์จพอหรือไม่ ขึ้นอยู่กับสภาพดังต่อไปนี้

1) วัดที่ขั้วแต่ละเซลล์ต้องมากกว่า 2 V. อาจถึง 2.5 V.

สำหรับแบตเตอรี่ 12 V. อาจอัดแรงเคลื่อนได้ถึง 15 V.

2) ความว่างจำเพาะต้องเพิ่มขึ้นเป็น 1.260 ที่ 20°C (ถ้าอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงอย่าลืมเปลี่ยนค่ามาหาอุณหภูมิมาตรฐาน 20°C)

3) แก๊สจะต้องดูมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีควรมานำไปใช้

## (3) การชาร์จเร็ว (Quick Charge, Booster Charge)

เมื่อแบตเตอรี่ตาย และคิดเครื่องไม่ได้ก็จำเป็นต้องชาร์จด้วยกระแสสูงๆ ด้วยเวลาสั้น ๆ เพียง 1-2 ชั่วโมง ก็เพียงพอจะสตาร์ทได้แต่ไม่ควรจะทำบ่อยทำให้แบตเตอรี่มีอายุการใช้งานสั้น

ข้อห้ามในการชาร์จเร็วคือ

- 1) แบตเตอรี่มีไฟเต็ม
- 2) แบตเตอรี่ชำรุด
- 3) เมื่ออุณหภูมิต่ำมาก ๆ
- 4) เมื่อแบตเตอรี่มีอัตราการจ่ายไฟสูงมาก

## (4) การชาร์จที่อุณหภูมิต่ำ ๆ

เมื่ออุณหภูมิต่ำ (อากาศหนาว, เย็นจัด) ความจุแบตเตอรี่จะลดลงในขณะที่ชาร์จจะเกิดแก๊สเร็วมาก การป้องกันจะต้องชาร์จในที่อุ่น ๆ

## (5) การชาร์จขณะทำงาน

ต้องปลดคั้วแบตเตอรี่ออกจากระบบชาร์จ

## 7. การบำรุงรักษา ที่ต้องทำเป็นประจำ

## (1) การติดตั้งต้องถูกต้อง

- 1) ต้องยึดให้แน่น
- 2) ใช้จารบีหรือวาสลีนทาที่ขั้วเบา ๆ
- 3) ติดตั้งให้ไกลจากประกายไฟ

## (2) การถอดหรือใส่ต้องระวัง

- 1) อาจเกิดชอร์ตเนื่องจากคีมหรือ ไขควงที่ใช้

## (3) ตรวจสอบน้ำกลั่นให้ได้ระดับ

- 1) ตรวจสอบอย่างน้อยสัปดาห์ละครั้ง

## (4) ให้ความสนใจต่ออุณหภูมิแบตเตอรี่

- 1) ถ้าวร้อนจัด แสดงว่าเกิดขั้วข้อยภายในหรือมีอัตราการชาร์จสูงเกินไป จะทำให้แบตเตอรี่มีอายุการใช้งานสั้น

## (5) ระวังเรื่องอัตราการชาร์จสูงเกินไป

- 1) เมื่อร้อนจัดแผ่นกันจะบิดเบี้ยวเสียรูป

- 2) ถ้าจำเป็นปรับเรกกูเลเตอร์

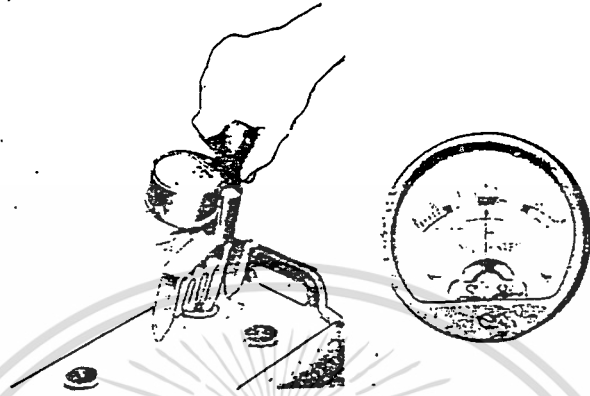
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เฉพาะที่ศูนย์บริการเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.5 รายละเอียดวิธีแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ของแบตเตอรี่

ความถ่วงจำเพาะ ที่ 20 °C	สภาพ	วิธีแก้ไข
1.270 หรือสูงกว่า	ความถ่วงจำเพาะสูงเกินไป	1. ปรับความถ่วงจำเพาะในขณะชาร์จ
1.270-1.240	ดี	1. ถ้าความถ่วงจำเพาะของแต่ละเซลล์แตกต่างกัน ไม่เกิน 0.015 แสดงว่าดี 2. ถ้าเกิน 0.015 ทดสอบด้วยเครื่องทดสอบแบตเตอรี่ (Hight Rate Discharge Test) ถ้าผลการทดสอบดีก็ชาร์จต่อไปจนกระทั่งความแตกต่างลดลง หรือ ไม่มีเลย
1.240-1.200	ต้องสนใจเป็นพิเศษ	1. ชาร์จใหม่ 2. ถ้าความถ่วงจำเพาะแต่ละเซลล์ไม่เท่ากัน ต้องปรับให้ได้ขณะชาร์จ 3. ต้องการทำงานของเรกกูเลเตอร์ และแรงเคลื่อนที่ควบคุม
1.200 หรือต่ำกว่า	ชาร์จ	1. ทำเช่นเดียวกับที่ความถ่วงจำเพาะ 1.240-1.200 2. ตรวจสอบการชาร์จของอุปกรณ์ไฟฟ้า, ข้อหาลวมขึ้น ส่วนเป็นสนิมหรือกร่อน
เมื่อความแตกต่าง แต่ละเซลล์ มากกว่า 0.025	ก. การชอร์ตเกิดขึ้นในเซลล์ ที่ความถ่วงจำเพาะต่ำ ข. น้ำยารั่ว ค. น้ำขามากเกินไปหรือเดิม น้ำก้นมากเกินไป ง. การจ่ายไฟมากเกินไป จ. เปลี่ยนกอนกรั่ว	1. ชาร์จแบตเตอรี่ใหม่จนกระทั่งความถ่วงจำเพาะ และแรงเคลื่อนคงที่อยู่นานไม่น้อยกว่า 2 ชั่วโมง 2. ปรับความถ่วงจำเพาะให้ได้ 1.255-1.260 ในขณะชาร์จ 3. ชาร์จทิ้งไว้ 12-96 ชั่วโมง แล้วทดสอบด้วยเครื่องทดสอบ (Hight Rate Discharge Test) 4. ถ้าแรงเครื่องแต่ละเซลล์ยังคงแตกต่างกันมากกว่า 0.05 โวลต์ แสดงว่าแบตเตอรี่นั้นใช้ไม่ได้แล้ว ต้องเปลี่ยนแบตเตอรี่ใหม่

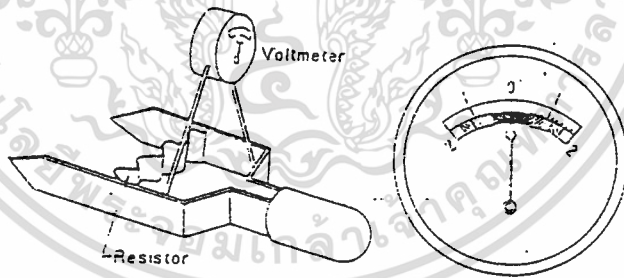
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




(2) คัดสินโดยเครื่องทดสอบเซลล์ ดังรูปที่ 6.7



รูปที่ 6.7 การใช้เครื่องวัดเซลล์

การใช้เครื่องทดสอบนี้ ให้เมื่อจำเป็นจริงๆ เพราะเปลืองไฟจากแบตเตอรี่มาก เนื่องจากกระแสต้องไหลผ่านค่าความต้านทานที่มีค่าสูง ดังรูปที่ 6.8

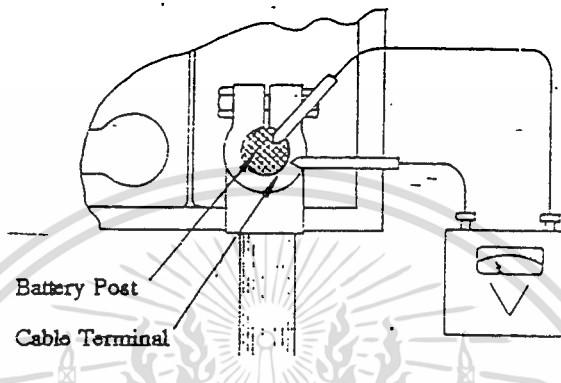


- |        |   |              |
|--------|---|--------------|
| แดง    |  | ไม่มีไฟ      |
| เหลือง |  | มีครึ่งเดียว |
| ฟ้า    |  | มีไฟเต็ม     |

รูปที่ 6.8 แสดงให้เห็นความต้านทานของเครื่องทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## (3) ความต้านทานระหว่างขั้วแบตเตอรี่กับขั้วคอสาย ดังรูปที่ 6.9



รูปที่ 6.9 การใช้โวลต์มิเตอร์วัดแรงเคลื่อนตกคร่อม

การทดสอบสตาร์ทเครื่อง โดยไม่ให้เครื่องติด(ตัดการจ่ายน้ำมัน) แล้ววัดแรงเคลื่อนตกคร่อมระหว่างขั้วแบตเตอรี่กับขั้วคอสาย

1) ถ้าแรงเคลื่อนตกคร่อมมากกว่า 0.2-0.3 โวลต์ แสดงว่าความต้านทานมาก ต้องทำความสะอาดขั้วและขั้วค่อ แล้วขันใหม่ให้แน่น

ตารางที่ 6.6 การวิเคราะห์ข้อขัดข้องด้วยแรงเคลื่อน

แรงเคลื่อน (โวลต์)	ความถ่วงจำเพาะ	สาเหตุ
1.75 หรือมากกว่า	มากกว่า 1.200	พอใช้ได้
1.75 หรือน้อยกว่า	น้อยกว่า 1.200	ไม่มีไฟหรือสะพานไฟชำรุด
1.75 หรือน้อยกว่า	มากกว่า 1.200	ความถ่วงจำเพาะมากเกินไปหรือสะพานไฟชำรุด
1.75 หรือมากกว่า	น้อยกว่า 1.200	ความถ่วงจำเพาะต่ำไป
แรงเคลื่อนตกคร่อม(โวลต์)		ขัดข้องภายในหรือขอร์ต
แต่ละเซลล์แตกต่างกันมากกว่า 0.1		ขัดข้องภายในเซลล์
ระหว่างแบตเตอรี่กับสตาร์ทเตอร์มากกว่า 0.2		ขั้วคอสายหลวม

## บทที่ 7

### การออกแบบและการสร้าง

#### 7.1 บทนำ

บทนี้จะอธิบายถึงการออกแบบระบบการเปลี่ยนพลังงานลมให้เป็นพลังงานไฟฟ้าของโครงการนี้ ซึ่งจะได้อธิบายถึงการออกแบบและการสร้างกังหันลม การเลือกชนิดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และการออกแบบวงจรควบคุมแรงดัน รวมถึงข้อมูลเกี่ยวกับความเร็วลม

#### 7.2 กังหันลม

##### 7.2.1 การออกแบบ

กังหันลมที่ใช้ในโครงการนี้เป็นกังหันลมที่ได้ดัดแปลงมาจากกังหันลมที่ใช้ในนาเกลือ กังหันลมที่ถูกดัดแปลงจะมีประกอบเป็นโลหะเป็นส่วนใหญ่และยังสามารถหมุนรับลมได้รอบทิศทาง การออกแบบกังหันลมเราทำการเลือกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของกังหันลมให้มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6 เมตร

ตารางที่ 7.1 รายละเอียดของส่วนประกอบของกังหันลม.

ชื่อส่วนประกอบ	จำนวน	การสร้าง และวัสดุที่ใช้ทำ
1. ฐาน	1	คอนกรีตเสริมเหล็ก กว้าง 1.5 เมตร ยาว 1.5 เมตร หน้า 40 เซนติเมตร บนเสาเข็ม 2 เมตร จำนวน 5 คัน คอนกรีตจะหล่อยึดน๊อตเกลียว 8 ตัวเพื่อใช้ยึดเสา
2. เสา	1	ท่อเหล็กยาว 6 เมตร เส้นผ่าศูนย์กลาง 21 เซนติเมตร ปลายทั้งสองด้านมีแผ่นเหล็กกลมที่เจาะรูรอบแผ่น 8 รูเชื่อมติดกับเสาด้วยเหล็กสามเหลี่ยม 8 อันรอบเสาแผ่นด้านบนหนา 2 เซนติเมตร มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 30 เซนติเมตร แผ่นล่างหนา 3 เซนติเมตรมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 45 เซนติเมตรระหว่างตัวเสามีรูร้อยสลิง 3 อันยึดสูงจากพื้น 2.9 เมตรแต่ละตัวทำมุมกัน 120 องศา
3. สติงคิงเสา	3	เป็นสติงขนาด 3/8 นิ้ว มีเกลียวแรงเพื่อปรับความตึงของสติง ปลายด้านหนึ่งยึดติดกับสมอบก ส่วนอีกปลายยึดกับเสา

ชื่อส่วนประกอบ	จำนวน	การสร้าง และวัสดุที่ใช้ทำ
4. เพลาหมุนทิศทาง	1	ทำด้วยเหล็กกลึงกลมยาว 34 ซม. มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 39 ซม. ยึดอยู่บนแบร็งซึ่งติดอยู่กับปลอกเหล็กกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 9 ซม. ยาว 26 ซม. ด้านบนมีแบร็งรองรับการหมุน และแบร็งรับแรงกระแทกแนวแกน ส่วนด้านล่างมีแบร็งรองรับการหมุน ปลอกเหล็กเชื่อมติดกับแผ่นเหล็กกลมหนา 2.5 ซม. เส้นผ่าศูนย์กลาง 30 ซม. มีรูเกลียวขนาดเอ็ม 12 จำนวน 8 รู ไว้อัดกับแผ่นเหล็กกลมด้านบนของเขา
5. แท่นรองรับแผ่นรองเพลา	1	ทำด้วยแผ่นเหล็กกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 27 ซม. หนา 2.5 ซม. เชื่อมติดกับท่อนเหล็กกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 9 ซม. สูง 5 ซม. แล้วเจาะรูที่ศูนย์กลางกว้าง 3.5 ซม. ทะลุผ่านทั้งสองชั้น บนแผ่นเหล็กกลมใหญ่เจาะรูเกลียว 6 รู ขนาดเอ็ม 12 ไว้อัดกับแท่นรองเพลา และเจาะรู 3 มม. 4 รู ไว้อัดควงแหวนตัวนำไฟฟ้า
6. แผ่นรองรับเพลาหมุนใบ	1	ทำด้วยแผ่นเหล็กหนา 2.5 ซม. กว้าง 25 ซม. ยาว 50 ซม. บนแผ่นมีรูไว้สำหรับยึดเพลา 4 รู ให้สายไฟผ่าน 4 รู และรูสำหรับยึดกับแท่นรองรับ 6 รู มีรูเกลียวเอ็ม 6 จำนวน 6 รู ไว้อัดโครงครอบและเอ็ม 10 จำนวน 8 รู ไว้อัดกับแท่นยึดเครื่องกำเนิดกระแสไฟฟ้า
7. เพลาหมุนใบ	1	ทำจากเหล็กกลึงกลมยาว 78 ซม. มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 39 ซม. ยึดอยู่บนแบร็งซึ่งติดอยู่กับปลอกเหล็กกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 9 ซม. ยาว 55 ซม. ด้านหน้ามีแบร็งรองรับการหมุน
8. พุเลย์		เป็นพุเลย์เหล็กหล่อขนาด 40 ซม. มีร่องสายพาน 2 ร่อง
8.1. พุเลย์ตั้งกำลังหลัก	1	
8.2. พุเลย์ทศตัวที่ 1	1	เป็นพุเลย์เหล็กหล่อขนาด 8 ซม. มีร่องสายพาน 2 ร่อง
8.3. พุเลย์ทศตัวที่ 2	1	เป็นพุเลย์เหล็กหล่อขนาด 25 ซม. มีร่องสายพาน 2 ร่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อส่วนประกอบ	จำนวน	การสร้าง และวัสดุที่ใช้ทำ
9. คมยัดก้านใบ	1	ทำด้วยเหล็กกลึงกลม ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 15 ซม. ยาว 12 ซม. ด้านหน้ามีรู 6 รู ไว้ใส่น็อตยึดปลอกสวมก้านใบและรู เกลียวขนาดเอ็ม 10 จำนวน 6 รู ไว้ปลอกสวมก้านยัดสลึง ด้านข้างมีรูขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3 ซม. ลึก 40 ซม. 6 รู ตามแนวเส้นรองวง
10. ปลอกสวมก้านใบ	6	ทำด้วยเหล็กที่กลึงให้กลม เส้นผ่าศูนย์กลาง 5.4 ซม. ความยาวกว้าง 2.54 ซม. ไว้ปลอกใส่ก้านใบ ปลายด้านหนึ่งกลึงให้เป็นบากเพื่อสวมเข้ากับคมยัดก้านใบ
11. ก้านใบ	6	เป็นท่อเหล็กขนาด 1/2 นิ้วเคลือบด้วยสังกะสียาว 3 เมตร สวมอยู่บนก้านใบ อีกปลายด้านหนึ่งเจาะรูไว้สำหรับยึดสลึง
12. ใบ	6	ทำด้วยผ้าที่ทอจากเส้นพลาสติกเคลือบสีเขียวแก่ คัดเป็นลักษณะสี่เหลี่ยมคางหมู ด้านแรกยาว 3 ม. ด้านที่สองยาว 1.65 ม. ด้านที่ 3 ยาว 2.6 ม. ส่วนด้านที่เหลือยาว 15 ซม. มีตาปลายยึดติดที่มุม ด้านแรกจะเย็บให้เป็นรูไว้สอดก้านใบ
13. ปลอกสวมก้านยัดสลึง	1	ทำด้วยเหล็กกลึงกลม เส้นผ่าศูนย์กลาง 7 ซม. ยาว 24 ซม. ความยาวกลมกว้าง 2.55 ซม. ระหว่างกลางเจาะรูใส่น็อตยึดกับก้านยัดสลึง ปลายด้านหนึ่งเชื่อมติดกับแผ่นเหล็กกลมหนา 1.5 ซม. เส้นผ่าศูนย์กลาง 15 ซม. เจาะรู 6 รูไว้ยึดกับคม
14. ก้านยัดสลึงขึงใบ	1	ทำด้วยท่อเหล็กขนาด 2 นิ้ว ยาว 1.5 ม. ปลายด้านหนึ่งเจาะรูไว้สำหรับยึดสลึง อีกด้านสวมเข้ากับปลอกสวมก้านยัด
15. สลึงขึงใบ	18	เป็นสลึง ขนาดเล็กยึดติดกับก้านใบด้วยก๊ิบลือกสลึง
16. แท่นยึดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและแผ่นบังคับทิศทาง	1	ทำด้วยเหล็กแผ่นหนา 8 มม. 7 ชั้น สองแผ่นแรกยาว 60 ซม. กว้าง 16 ซม. สองแผ่นที่สองยาว 16 ซม. กว้าง 8.5 ซม. อีกหนึ่งแผ่นกว้าง 9.5 ซม. ยาว 16 ซม. และสองแผ่นที่เหลือกว้าง 30 ซม. ยาว 30 ซม. ทั้งหมดเชื่อมยึดติดกัน
17. แผ่นบังคับทิศทาง	1	เป็นโลหะโปร่ง กว้าง 1.2 ซม. ยาว 1.5 ซม. ยึดบนหางเหล็กที่ทำจากเหล็กกลมที่เชื่อมเป็นลักษณะของการฉีกเหล็ก

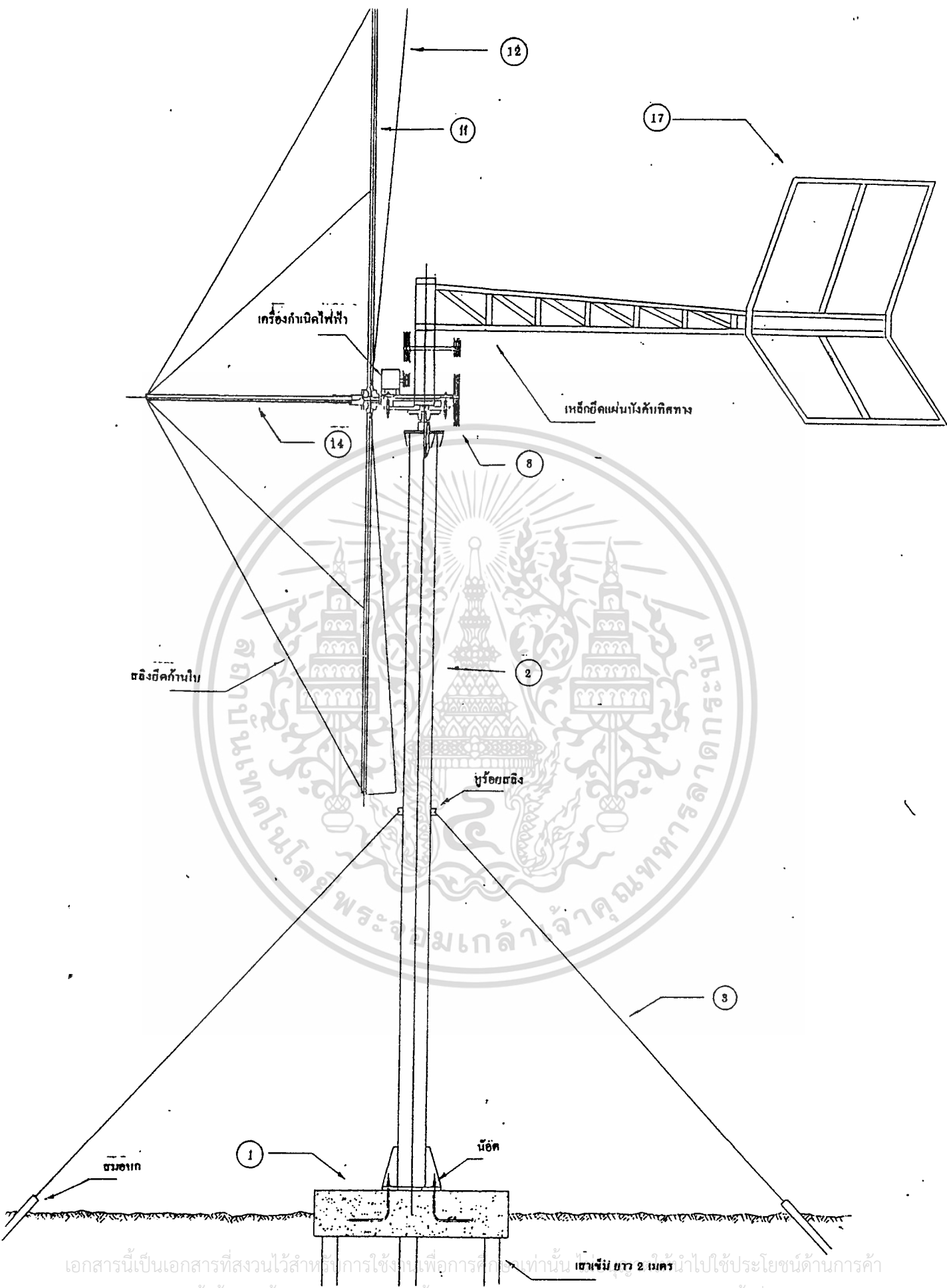
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

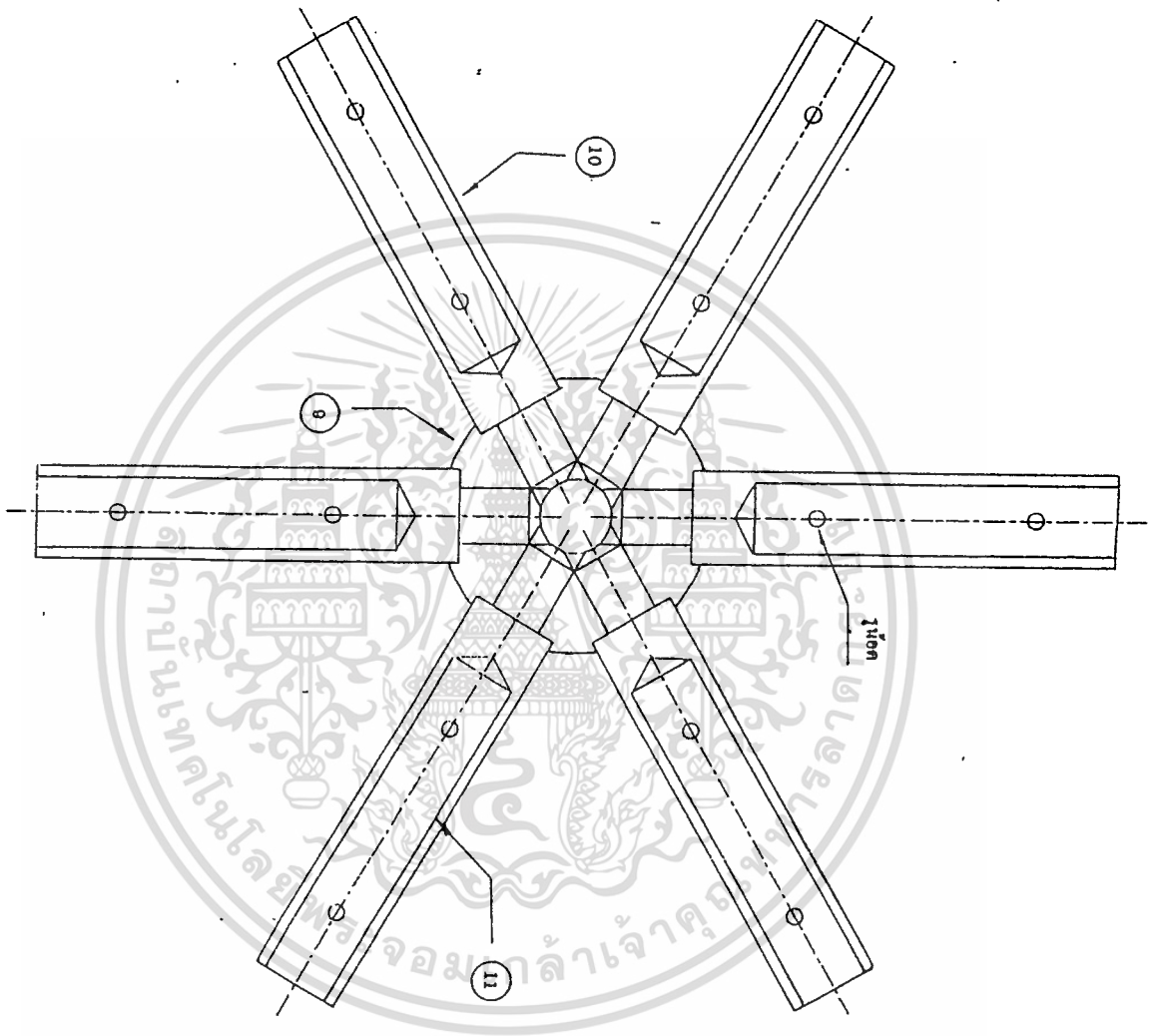
ชื่อส่วนประกอบ	จำนวน	การสร้าง และวัสดุที่ใช้ทำ
18. ตัวล็อกเพดาหมุนใบ	2	เป็นเหล็กกลมโค้งเป็นรูปตัวยู ปลายทั้งสองมีเกลียว สำหรับขันน๊อต
19. วงแหวน	4	ทำจากแผ่นทองแดง เซาะเป็นวงแหวน มีความกว้างหน้าสัมผัส 8 มม. ยึดติดอยู่ด้านล่างของแท่นรองรับ โดยมีแผ่นเบกะไลต์เป็นฉนวนกัน
20. ซองแปรงถ่าน	4	ทำจากแผ่นเบกะไลต์ ยึดแน่นบนแผ่นเหล็ก
21. โครงครอบ	1	โครงทำจากเหล็กเส้นแบนเชื่อมติดกัน มีแผ่นพลาสติกยึดติดกับ โครงด้วยหมุนย้ำ



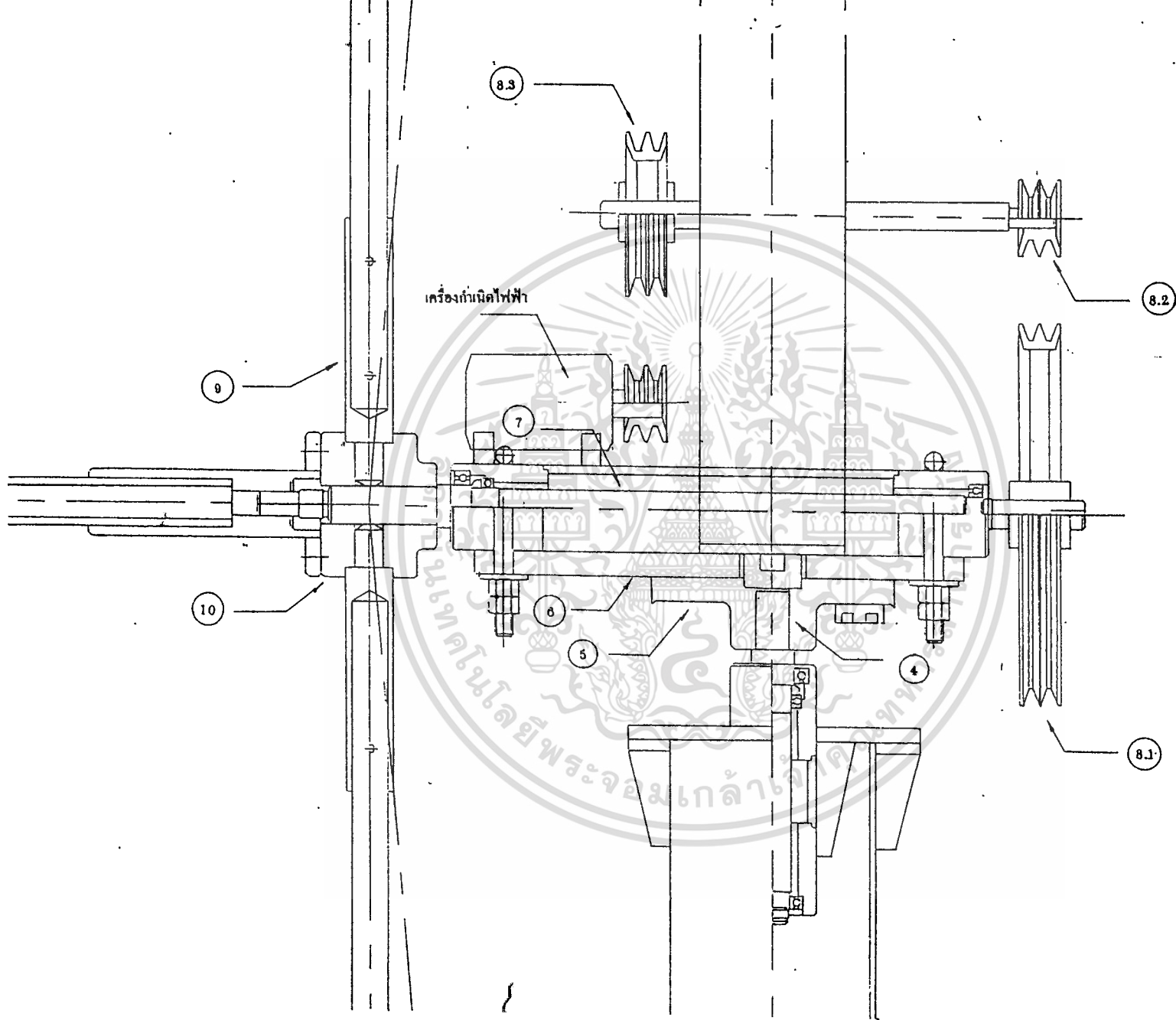
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



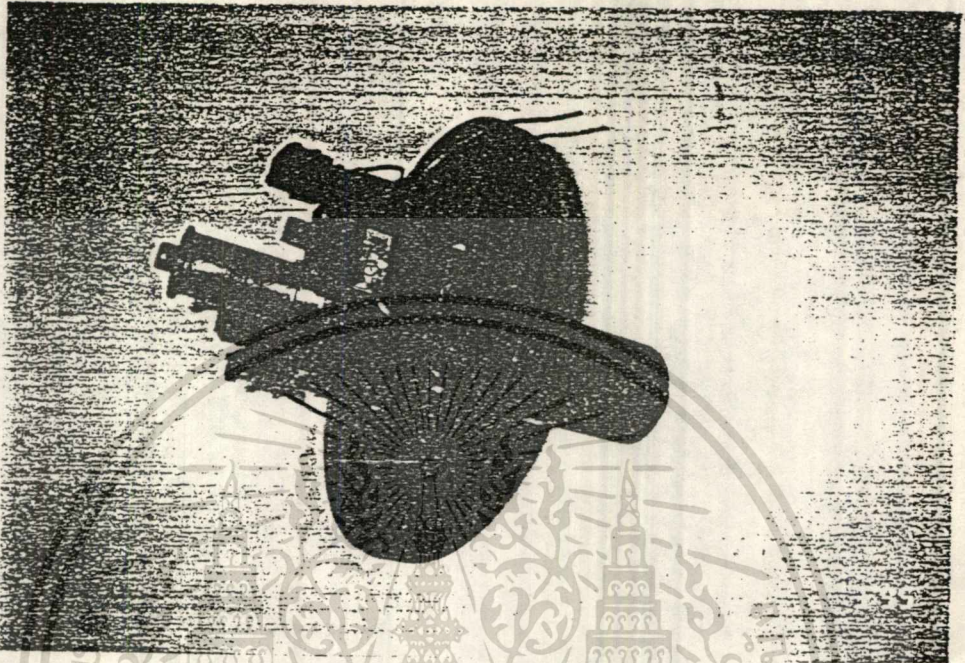
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เขาจะมี ยาว 2 เมตรนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



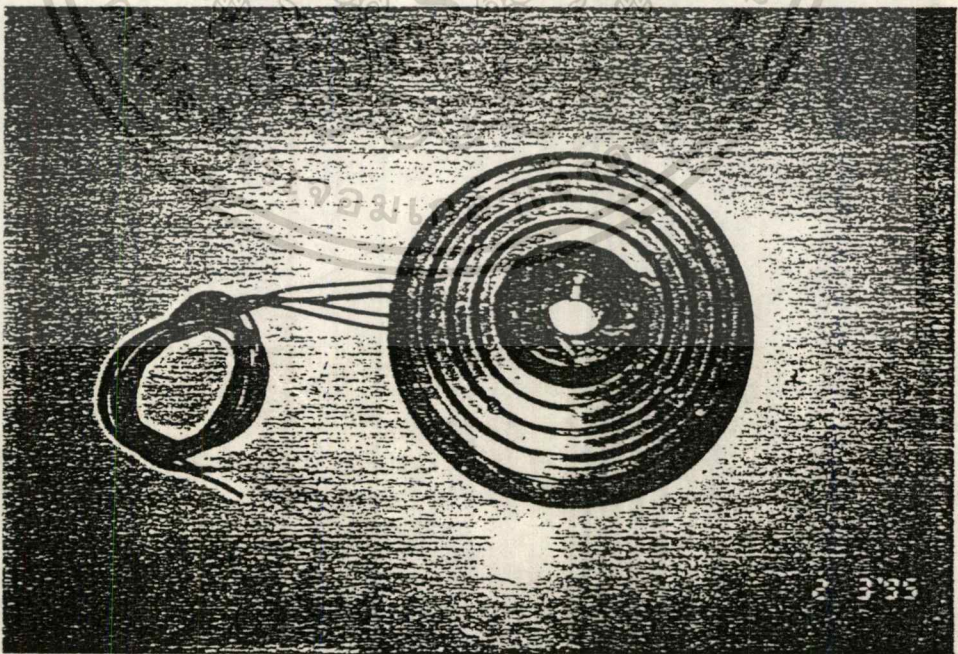
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



### 7.2.2 ลักษณะส่วนประกอบ

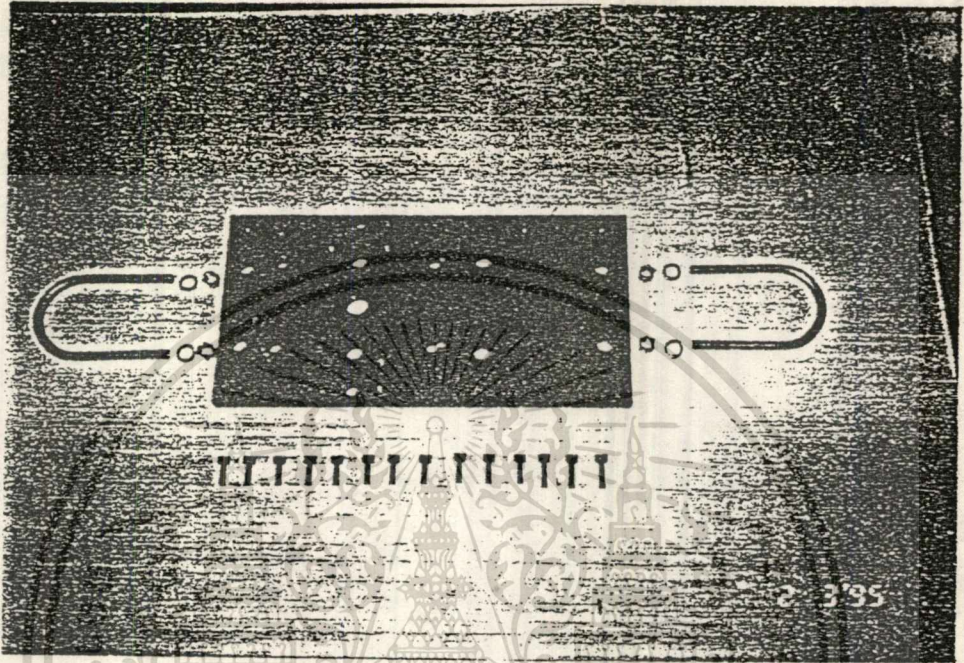


รูปที่ 7.1 แสดงภาพถ่ายของเพลาหมันทิศทาง พร้อมซองแปรงถ่าน

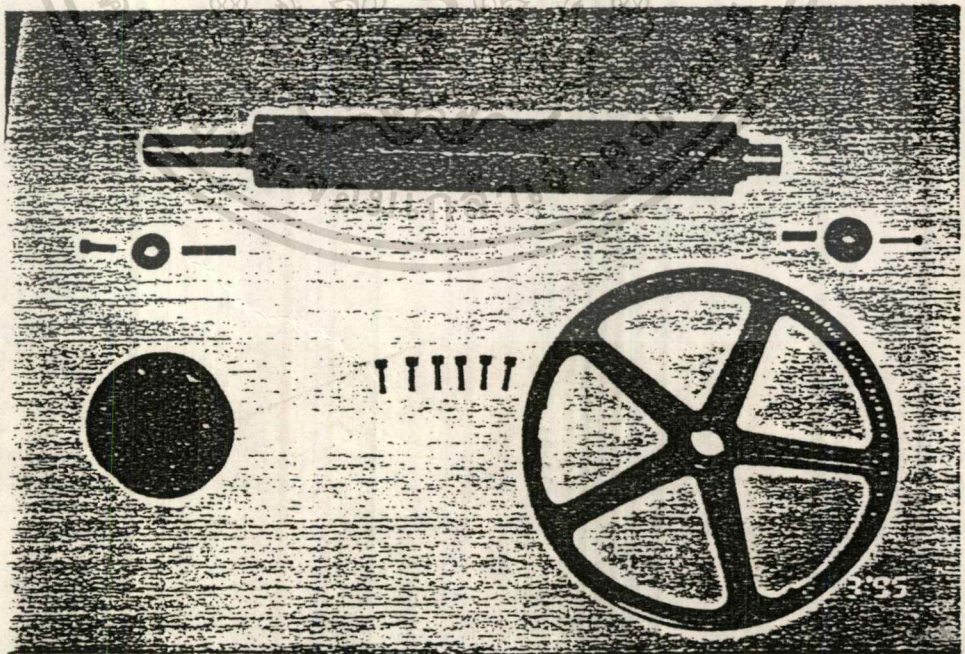


รูปที่ 7.2 แสดงภาพถ่ายแท่นรองเพลาหมันใบ พร้อมวงแหวนทองแดง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกหนึ่งที่มาที่พบเห็นบ่อยครั้งเห็นที่และหายากของเครื่องดนตรีไทยที่มีการนำไปใช้



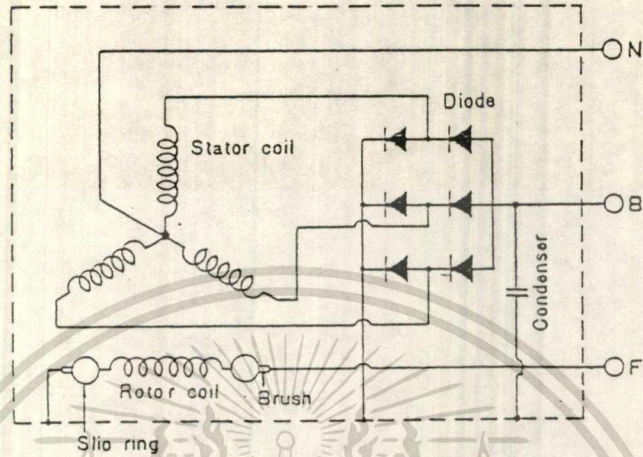
รูปที่ 7.3 แสดงภาพถ่ายแผ่นรองรับเตลาหมุนใบและตัวล็อกเตลาหมุนใบ



รูปที่ 7.4 แสดงภาพถ่ายเพลาหมุนใบ, พูล์เลย์, คัมติดกันใบ

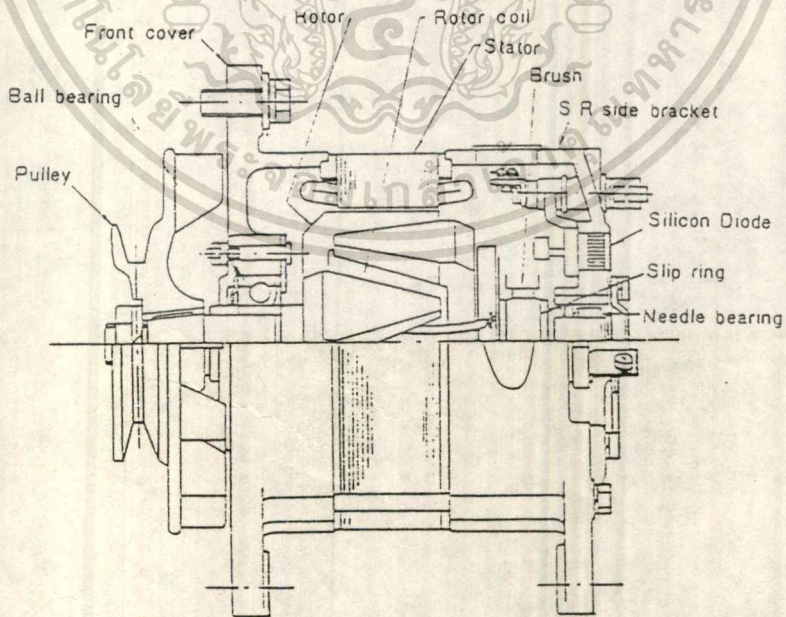
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังเป็นให้ดัดแปลงเนื้อหาและตั้งอ้างสิทธิ์ในเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



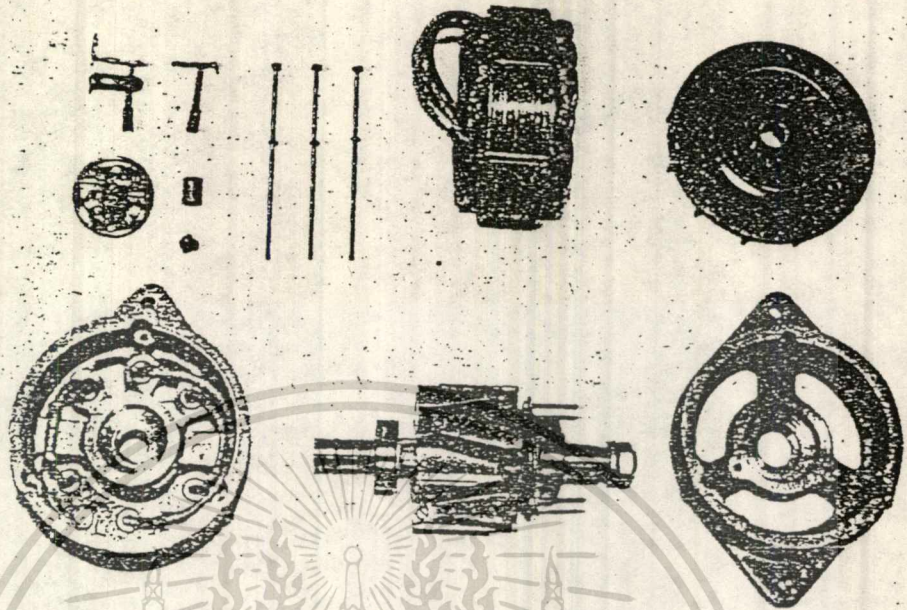


รูปที่ 7.6 แสดงวงจรภายในเครื่องกำเนิดกระแสไฟฟ้า

### 7.3.2 ลักษณะส่วนประกอบ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังเป็นที่ต้องขออภัยที่การนำภาพประกอบของเครื่องกำเนิดกระแสไฟฟ้าที่ไว้  
 ครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.8 แสดงโครงสร้างภายใน

### 7.3.3. การออกแบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

#### 7.3.3.1. การออกแบบคักแปลงเครื่องกำเนิดไฟฟ้าให้ทำงานที่ความเร็วรอบต่ำ

สมการแรงเคลื่อนไฟฟ้า (E.M.F. Equation) จากโครงสร้างเมื่อตัวนำสนามแม่เหล็กด้วยความเร็ววงที่นั้น ทำให้เกิดแรงเคลื่อน ซึ่งเป็นไปตามกฎของฟาราเดย์ (Faraday Law)

$\Phi_m$  = จำนวนเส้นแรงแม่เหล็กที่มากที่สุดของหนึ่งขั้วแม่เหล็ก (เวเบอร์)

$e$  = แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เหนี่ยวนำขึ้นในขณะใดขณะหนึ่ง (โวลท์)

$N_e$  = จำนวนรอบของตัวนำในหนึ่งขดลวดในหนึ่งช่องที่เป็นแฉกรวม (รอบ)

$\phi$  = จำนวนเส้นแรงแม่เหล็กที่ตัดกับขดลวดในขณะหนึ่ง (เวเบอร์)

$\theta$  = ตำแหน่งของมุมของเฟสของขดลวดขดหนึ่งที่มีค่าคงที่ค่าหนึ่ง ณ. จุดที่มันเริ่มหมุน (เมื่อเวลา = 0) เพื่อเปรียบเทียบกับขั้วของตัวหมุน

ในการออกแบบทำการหาค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าจากขดลวดที่มีการพันแบบรวม (Concentric Winding)

$$e = N(d\phi/dt)$$

$$\text{เมื่อ } \phi = \phi_m \sin(\omega t + \theta)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

∴ ค่าแรงเครื่องไฟฟ้าสูงสุดเมื่ออยู่ในสถานะที่คงที่แน่นอน (Steady State) ก็คือ

$$E_m = \omega N e \phi_m$$

∴ ค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ใช้งาน (Effective Value) ก็คือ

$$E_{v.m.f} = \text{Roof Mean Square of } E_m f$$

$$E = E_m / \sqrt{2}$$

$$E = 4.44 \omega N e \phi_m f$$

ซึ่งในการออกแบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพื่อให้ใช้งานที่ความเร็วรอบที่ต่ำของกังหัน ซึ่งจะใช้การพันขดลวดแบบรวม (Concentric Winding) ซึ่งจะทำให้แรงดันไฟฟ้ามากกว่าการพันแบบกระจาย หรือแบบแยก (Distributed Winding) สาเหตุที่พันแบบกระจายเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าน้อยกว่าเพราะว่าตัวนำในแต่ละช่องต่ออนุกรมกัน ตัดสนามแม่เหล็กที่จุดเดียวกันไม่พร้อมกัน จึงทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าขึ้นไม่พร้อมกัน

### 7.3.3.2. การออกแบบการพันอเมเจอร์ 3 Ø

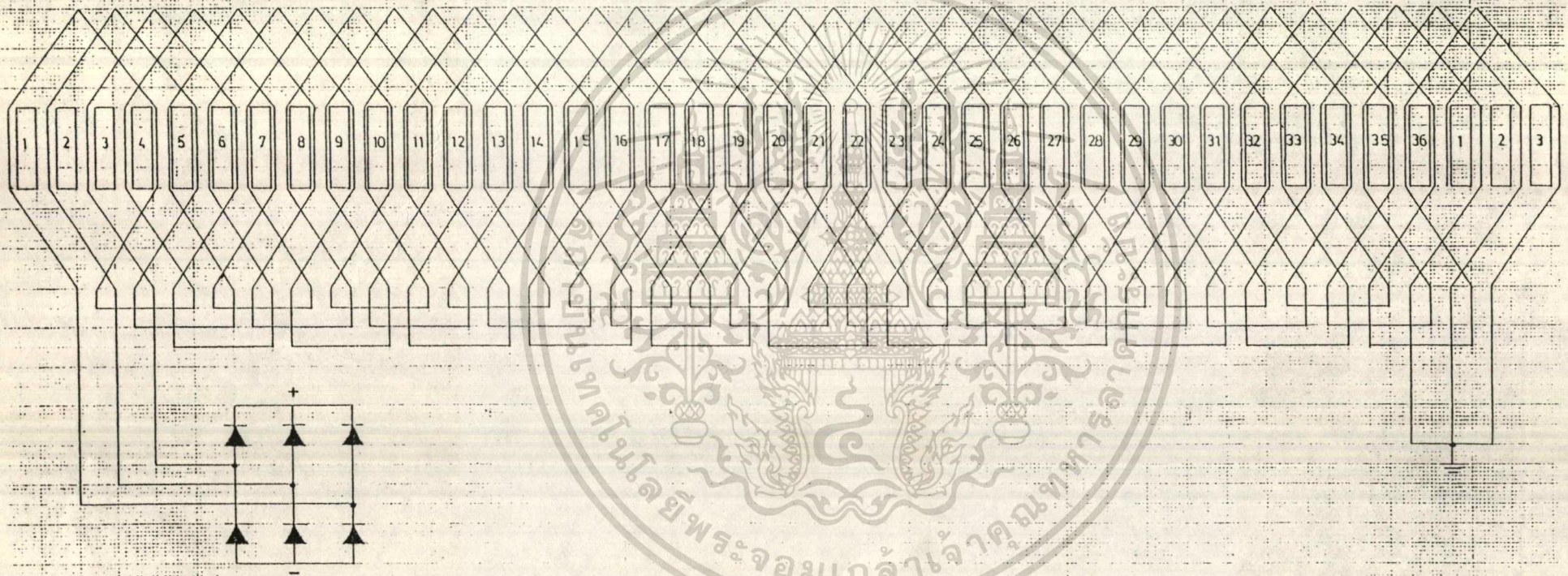
เครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีจำนวนร่องสล็อต (Slot) ทั้งหมด 36 ร่อง 8 ขั้วแม่เหล็ก โดยพันแบบ 2 ชั้นซ้อนกันแบบแลป (lap) โดยพันให้ความกว้างของขดลวดห่างกัน 180 องศาทางไฟฟ้า

$$\text{ช่องต่อขั้วต่อเฟส (Slot/pole/phase)} = 36/8 \times 3 = 1.5 \approx 2$$

$$\text{มุมของ 1 ร่องสล็อต} = 360 \times 8 / 36 \times 2 = 40 \text{ องศาไฟฟ้า}$$

$$\text{ความกว้างของขดลวด} = 180 \text{ องศาไฟฟ้า}$$

$$\text{จำนวนช่องที่ใช้พันขดลวด} = 180/40 = 4.5 \approx 4 \text{ ร่อง}$$



รูปที่ 7.9. รูปแสดงการพันขดลวดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

## 7.4. วงจรควบคุมแรงดัน

### 7.4.1. การออกแบบวงจรเพื่อควบคุมแรงดันไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่นำมาใช้เป็นแบบเดียวกับที่มีอยู่ในรถยนต์ทั่วไป ซึ่งมีเอาต์พุตจากอาร์มาเจอร์เป็นกระแสสลับ 3 เฟส ซึ่งได้จากการที่มีกระแสตรงถูกป้อนให้กับขดลวดที่พันอยู่รอบโรเตอร์ที่มีลักษณะเป็นก้ามปู โดยผ่านวงแหวน (slip rings) ซึ่งจะอยู่ติดกับแกนหมุน ทำให้เกิดการสร้างสนามแม่เหล็กขึ้นมา เมื่อโรเตอร์หมุนก็จะทำให้มีเส้นแรงแม่เหล็กตัดกับขดลวดอาร์มาเจอร์ซึ่งอยู่ที่สเตเตอร์ และเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้นในขดลวด เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเคมเป็นขนาด 24 โวลต์ คี.ซี. , 25 แอมแปร์ มีความเร็วรอบของการใช้งานในช่วง 2,000-5,000 รอบต่อนาที ภายหลังการคิดแปลงแล้วจะสามารถให้กำลังไฟฟ้าในสภาพการใช้งานที่พอเหมาะประมาณ 1,100 วัตต์ ที่กระแสไหลดล 10. แอมแปร์ กระแสสนาม 1.4 แอมแปร์ และความเร็วรอบ 1,200 รอบต่อนาที

เป็นที่ทราบกันดีว่าแรงดันเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นต่อเฟส ถ้าสมมติให้มีรูปลักษณะเป็นคลื่นรูปไซน์ จะมีความสัมพันธ์กับความเร็วรอบและกระแสในขดลวดสนาม

$$E_p = knI_f$$

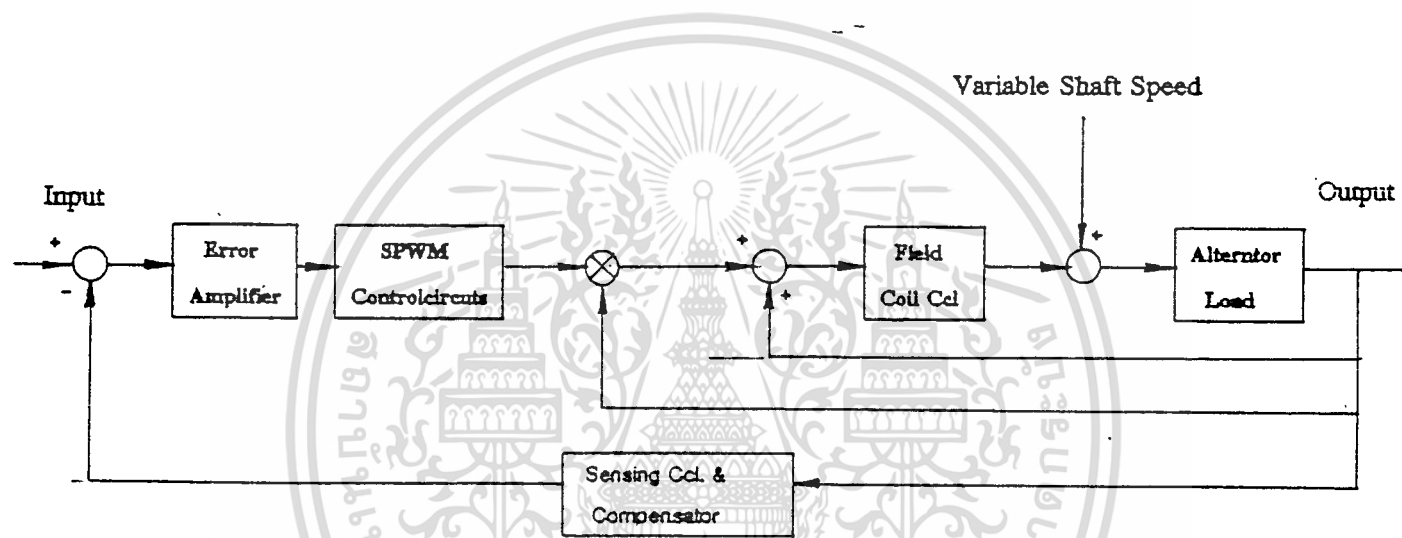
เมื่อ  $k$  เป็นค่าคงที่ของสมการ และของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ซึ่งขึ้นอยู่กับโครงสร้างและการพันขดลวด  $n$  เป็นความเร็วรอบของโรเตอร์, และ  $I_f$  เป็นกระแสไฟตรงที่เลี้ยงขดลวดสนาม ในกรณีของกังหันลม  $n$  เป็นตัวแปรไม่คงที่ ส่วน  $I_f$  สามารถปรับค่าได้ ดังนั้นวิธีการที่จะใช้ในการควบคุมแรงดัน  $E_p$  วิธีหนึ่งคือการควบคุมกระแส  $I_f$  เพื่อให้ได้ผลคูณ  $nI_f$  มีค่าคงที่ ถึงแม้ว่า  $n$  จะมีค่าเปลี่ยนไป กระแส  $I_f$  อาจได้มาจากแบตเตอรี่ช่วย อีกวิธีหนึ่งอาศัยอำนาจแม่เหล็กของโรเตอร์ ซึ่งมีค้างอยู่บ้างเล็กน้อย (Residual flux) เป็นตัวสร้างแรงดันเริ่มต้น (Residual voltage) ในขณะที่  $I_f$  เป็นศูนย์ เมื่อความเร็วรอบเพิ่มขึ้นแรงดันนี้จะเพิ่มขึ้นด้วย ถ้าต่อวงจรจากอาร์มาเจอร์ผ่านเรกติฟายเออร์ไปยังขดลวดสนาม เมื่อความเร็วรอบสูงพอแรงดันขณะเริ่มแรกนี้ ก็จะมีค่ามากกว่าแรงดันคร่อมไดโอดก่อนนำกระแส (knee voltage = 1.2 โวลต์ ในกรณีที่เรกติฟายเต็มคลื่น) ทำให้มีกระแสไหลเข้าไปเลี้ยงขดลวดสนามได้ เนื่องจากการต่อวงจรในลักษณะนี้เป็น การป้อนกลับบวก (Positive feedback) แรงดันและกระแสในวงจรก็จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนถึงขีดจำกัดด้วยการอิ่มตัวของสนามแม่เหล็ก หรือความเร็วรอบ ถ้าใช้วงจรควบคุมกระแสนี้ให้มีค่าเปลี่ยนแปลงไปได้อย่างพอเหมาะ แรงดันเอาต์พุตจากอาร์มาเจอร์ก็สามารถปรับให้คงที่ได้ในย่านความเร็วหนึ่ง วิธีการดังกล่าวนี้มีข้อคืออยู่หลายประการสำหรับการใช้พลังงานจากกังหันลมซึ่งมีอยู่จำกัด โดยเฉพาะประการแรกมีการทำงานได้ด้วยตัวเอง กล่าวคือ ไม่ต้องอาศัยแบตเตอรี่ช่วยใน

เอกสาร

ไม่ว่า การสร้างสนามแม่เหล็ก ทำให้ไม่มีการสูญเสียกำลังงานจากแบตเตอรี่ ดังนั้น

กำลังงานจากแบตเตอรี่ก็สามารถนำมาใช้งานอย่างอื่นได้เต็มที่ นอกจากนั้นการติดตั้งก็สามารถทำได้ง่ายขึ้นเพราะวงจรควบคุมสามารถประกอบเป็นส่วนหนึ่งของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าได้

ระบบควบคุมแรงดันที่จะกล่าวถึงต่อไปนี้ใช้วิธีการป้อนกระแสสนามด้วยตัวเอง (Self excitation) ตามที่ได้อธิบายมาแล้ว โดยอาศัยวงจรเชิงเส้น (Line IC circuit) ซึ่งใช้ IC เบอร์ 494 เป็น IC Switch mode pure width Modulation control circuits ระบบดังกล่าวอาจเขียนแสดงได้ด้วยแผนภาพแบบบล็อก ดังในรูป



รูปที่ 7.10 แผนภาพแบบบล็อกของระบบ

จากรูปที่ 7.10 จะสังเกตเห็นได้ว่าระบบควบคุมนี้มีลักษณะที่สำคัญบางประการที่จะต้องคำนึงถึงก็คือ

- ระบบควบคุมมีลักษณะไม่เชิงเส้น (Nonlinearity) ค่อนข้างสูง เนื่องจากสัญญาณในบางจุดเป็นผลคูณของสัญญาณและตัวแปรต่าง ๆ ซึ่งมีค่าไม่คงที่
- ลูปย่อย (Minor loop) ในระบบมีลักษณะเป็นการป้อนกลับจาก out put (Feed back control)
- การเปลี่ยนแปลงระดับแรงดันเอาท์พุทจากอาร์มาเจอร์ซึ่งเป็นแหล่งจ่ายไฟเพียงแหล่งเดียวของทั้งระบบจะมีผลกระทบต่อการทำงานของวงจรต่าง ๆ ในระบบทุกวงจร ซึ่งจะเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ระบบควบคุม มีการทำงาน ไม่เสถียรได้เช่นกัน

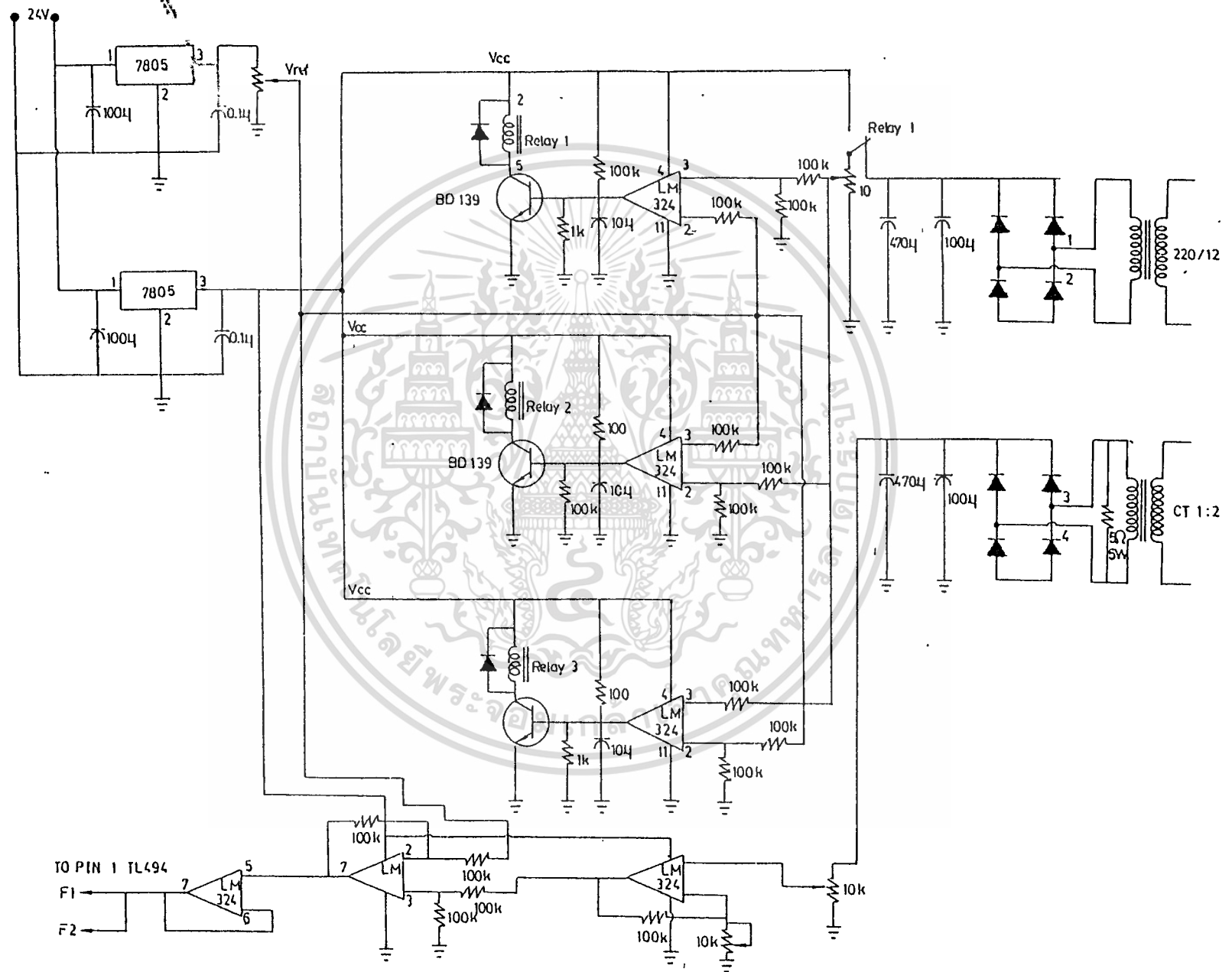
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบควบคุมที่ออกแบบได้พยายามลดผลกระทบจากลักษณะต่าง ๆ เหล่านี้ นอกจากนี้ เนื่องจากกังหันลม ถือว่ามีอยู่จำกัด จึงต้องออกแบบวงจรให้ใช้กำลังงานน้อยที่สุดด้วยเพื่อไม่ให้มีผลกระทบต่อการทำงานและกำลัง เอาท์พุทของระบบมากนัก ซึ่งประการหลังนี้ได้ถือเป็นข้อพิจารณาที่สำคัญในการออกแบบวงจรระบบควบคุมนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 7.11. วงจรตรวจจับความถี่รบกวน และควบคุมการตัดประจุแบตเตอรี่  
 (Food Back and operation circuit)



รูปที่ 7.12. วงจรควบคุมการทำงานของพัดลมและวงจรขับการขับเคลื่อนมอเตอร์ (PWM Control and Drive Base)

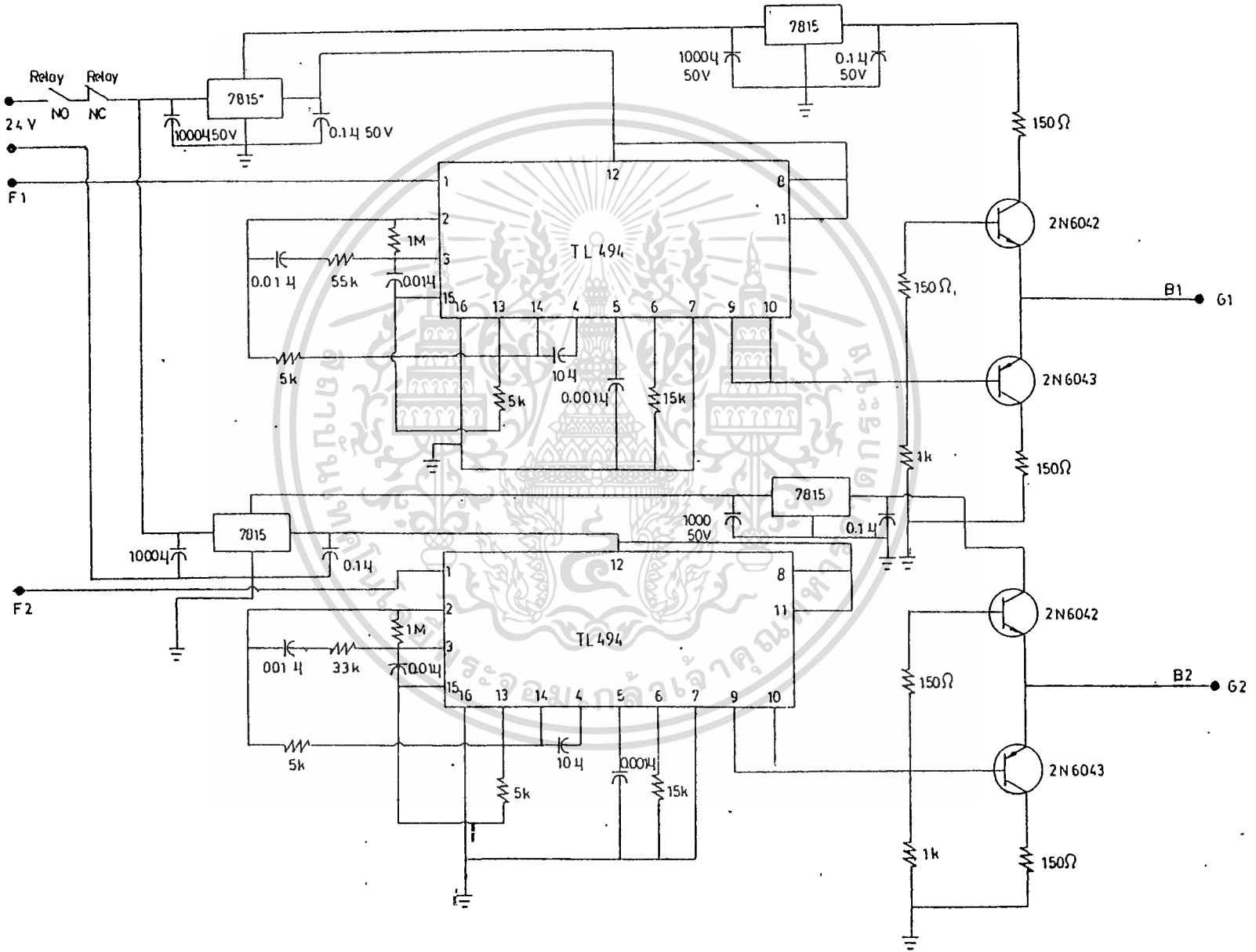


FIGURE 1 — BLOCK DIAGRAM

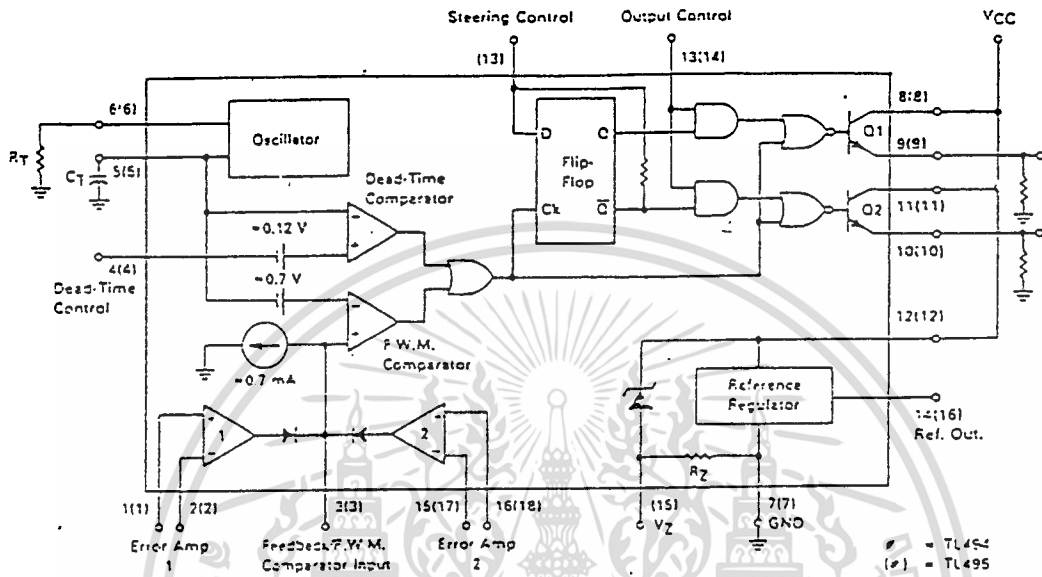
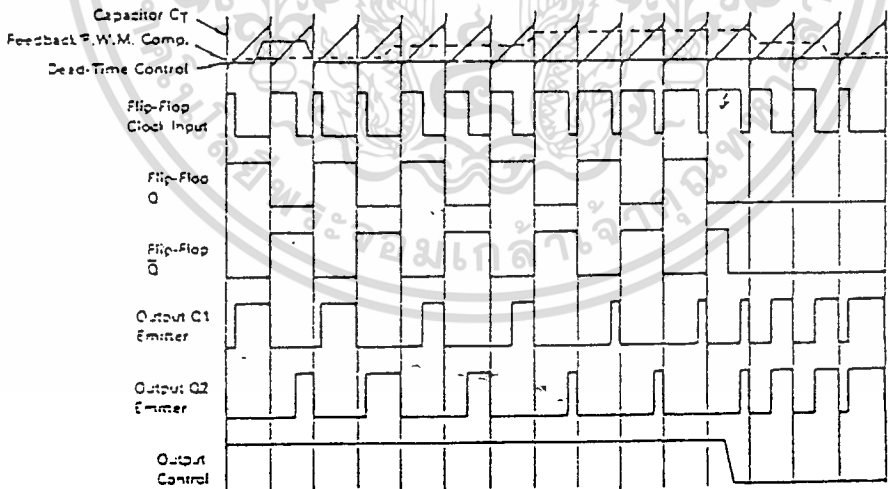


FIGURE 2 — TIMING DIAGRAM



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้เผยแพร่เนื้อหาเอกสารใดๆ ของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 7.13. วงจรภายใน ไอซีเบอร์ TL494, TL495

การทำงานของวงจรควบคุมการอัดประจุ(Charger Controller) จะแบ่งออกเป็น 2 ระบบคือ

- ชุดตรวจจับความเร็วรอบและสั่งระบบการอัดประจุแบคเตอร์ (Feed Back and operation circuit)
- ชุดควบคุมความกว้างของพัลส์ และวงจรขับทรานซิสเตอร์ (PWM Control and Drive Base)

1). ชุดตรวจจับความเร็วรอบและสั่งระบบการอัดประจุแบคเตอร์ (Feed Back and operation circuit) วงจรนี้จะเป็นตัวคอยตรวจจับความเร็วรอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในขณะที่ยังไม่ถึง 450 รอบต่อนาที ซึ่งรีเลย์ L1 จะไม่ทำงานจนกว่าความเร็วจะสูงกว่า 450 รอบต่อนาที ซึ่งแรงดันที่ตรวจสอบจะรับค่ามาจากหม้อแปลง T1 เมื่อความเร็วรอบสูงกว่า 450 รอบต่อนาที รีเลย์ L1 และรีเลย์ L2 จะเป็นตัวที่ให้แบคเตอร์จ่ายกระแสให้แก่ขดลวดสนามแม่เหล็กในช่วงมากกว่าเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะเข้าสู่ระบบที่จะสามารถผลิตกำลังไฟฟ้าขึ้น ในกรณีที่ความเร่งรอบเกินพิกัด หรือแบคเตอร์มีค่าประจุต่ำ ยังจะทำให้กระแสเริ่มอัดประจุสูง จะเป็นผลเสียต่อแบคเตอร์ และรีเลย์ L3 จะเป็นตัวคอยตรวจสอบกระแสอัดประจุของแบคเตอร์

2). ชุดควบคุมความกว้างของพัลส์ และวงจรขับทรานซิสเตอร์ (PWM Control and Drive Base) เมื่อระบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทำการอัดประจุให้แก่แบคเตอร์ในลักษณะวงจรมิด (close Loop) เมื่อเริ่มมีกระแสอัดประจุแบคเตอร์ในระบบควบคุมการอัดประจุจะใช้ไอซีเบอร์ 494 และในการอัดประจุจะเป็นอยู่กับลักษณะการอัดประจุ ซึ่งจะคล้ายกับการตรวจจับจากหม้อแปลงกระแส (CT) เป็นตัวควบคุมการอัดประจุแบคเตอร์ ในการอัดประจุที่เหมาะสมจะอาศัยการสวิทซ์ซิงของทรานซิสเตอร์ เพื่อให้ระดับแรงดันของขดสนามที่เหมาะสมซึ่งจะสามารถควบคุมกระแสสนาม (field current) ให้เปลี่ยนแปลงตามความเร็วรอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

การทำงานของระบบควบคุมแบบป้อนกลับ (Feed back control)

ไอซีเบอร์ 494 (Switchmode Plus width Modulation Control Circuit) ในการทำงานจะมีสัญญาณระดับแรงดันจากชุดป้อนกลับ ซึ่งจะใช้หม้อแปลงกระแส มาป้อนที่ขา 1 ซึ่งเป็นขาเปรียบเทียบกับระบบสัญญาณป้อนกลับและสัญญาณอ้างอิง ทำให้เกิดการรวมสัญญาณ(Modulation) ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความกว้างของ พัลส์ ทำให้เอาท์พุทของไอซีเบอร์ 494 คือขา 9 และ 10 เปลี่ยนแปลงคั่งรูปที่ 3 เป็นผลให้กระแสเบสของทรานซิสเตอร์เปลี่ยนแปลงตามระดับความกว้างของพัลส์ ซึ่งทรานซิสเตอร์จะทำงานในลักษณะการสวิทซ์ซิง ซึ่งเราจะนำคุณลักษณะนี้ไปควบคุมกระแสขดลวดสนามแม่เหล็กของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าได้ ซึ่งอาจจะไม่เป็นเชิงเส้น(Nonlinearity)

แต่ก็สามารถควบคุมกระแสสนามแม่เหล็ก ในขณะที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีความเร็วรอบเปลี่ยนแปลงตั้งแต่ 500 ถึง 1,200 รอบ และเรีกูละชั้นของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขณะอัดประจุ เพียง 2% เท่านั้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 8

### การทดลองและผลการทดลอง

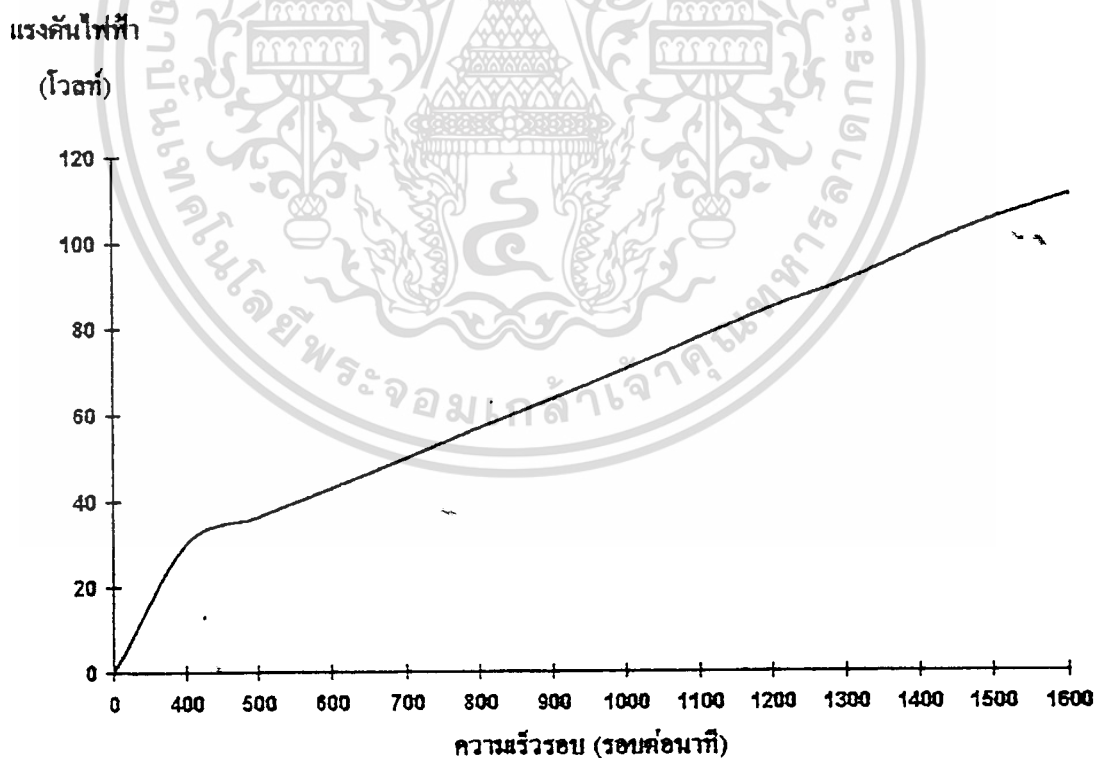
#### 8.1. การทดลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในสถานะไม่มีโหลด (NO LOAD)

ทำการทดลองเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 2 เครื่อง ต่ออนุกรมกันในสถานะไม่มีโหลด (NO LOAD) โดยยังไม่ต่อวงจรควบคุมแรงดัน โดยทดสอบที่กระแสชดลวดสนามคงที่ (IF) โดยให้กระแสชดลวดสนาม (IF) คงที่ที่ 1.5 A. ต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 1 เครื่อง

ตารางที่ 8.1. แสดงผลการทดลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเมื่อไม่มีโหลด (NO LOAD)

ความเร็วรอบ	แรงดันขณะ No load (V)			ความเร็วรอบ	แรงดันขณะ No Load (V)		
	GA	GB	GA+GB		GA	GB	GA+GB
400	15.1	15.2	30.2	860	30.3	30.1	60.4
420	15.75	15.75	31.5	880	31	31.4	62.4
460	16.15	16.5	33.3	900	32	31.85	63.7
480	17	17.1	34.1	920	32.6	32.7	65.3
500	18	18.15	36.4	940	33.5	33.4	66.7
520	18.45	18.05	37.0	960	33.7	33.9	67.6
540	18.05	19.43	39.0	980	34.5	34.6	69.1
560	20.15	20.05	40.1	1000	35.4	35.3	70.5
580	20.08	20.13	41.6	1020	36.1	36.3	72.2
600	21.13	21.45	42.9	1040	36.7	36.6	73.1
620	22.3	22.1	44.0	1060	37.2	37.3	74.5
640	23.4	23.1	46.1	1080	38.1	38	76.0
660	23.3	23.3	46.6	1100	38.9	38.7	77.7
680	24.4	24.35	48.7	1120	39.6	39.5	78.9
700	24.9	25.1	50.0	1140	40.9	40.5	80.8
720	25.6	25.5	51.0	1160	41	40.9	81.9
740	26.7	26.6	53.1	1180	47.8	41.75	83.5
760	27.0	27.2	54.2	1200	43	42	84.8
780	27.95	27.8	55.6	1220	43.3	43.2	86.4
800	28.5	28.45	56.9	1240	43.9	43.8	87.7
820	25.8	28.9	57.7	1260	44.3	44.6	88.6
840	29.8	29.7	59.4	1280	45.3	45.1	90.1

ความเร็วรอบ	แรงดันขณะ No load (V)			ความเร็วรอบ	แรงดันขณะ No Load (V)		
	GA	GB	GA+GB		GA	GB	GA+GB
1300	45.4	45.5	91	1460	52	51.5	102
1320	46	47	93	1480	52	51.1	103.1
1340	47.5	47.7	95.3	1500	52.9	53	105.6
1360	48.1	48.0	96.1	1520	53.3	54	106.5
1380	48.4	48.6	97.1	1540	54.1	54	108
1400	49.3	49.5	98.8	1560	54.2	54.1	109
1420	49.5	50	99.8	1580	55.3	55.5	110.8
1440	51	50.1	101	1600	55.5	55.45	110.9



รูปที่ 8.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับแรงดันไฟฟ้าขณะไม่มีโหลด (NO LOAD)

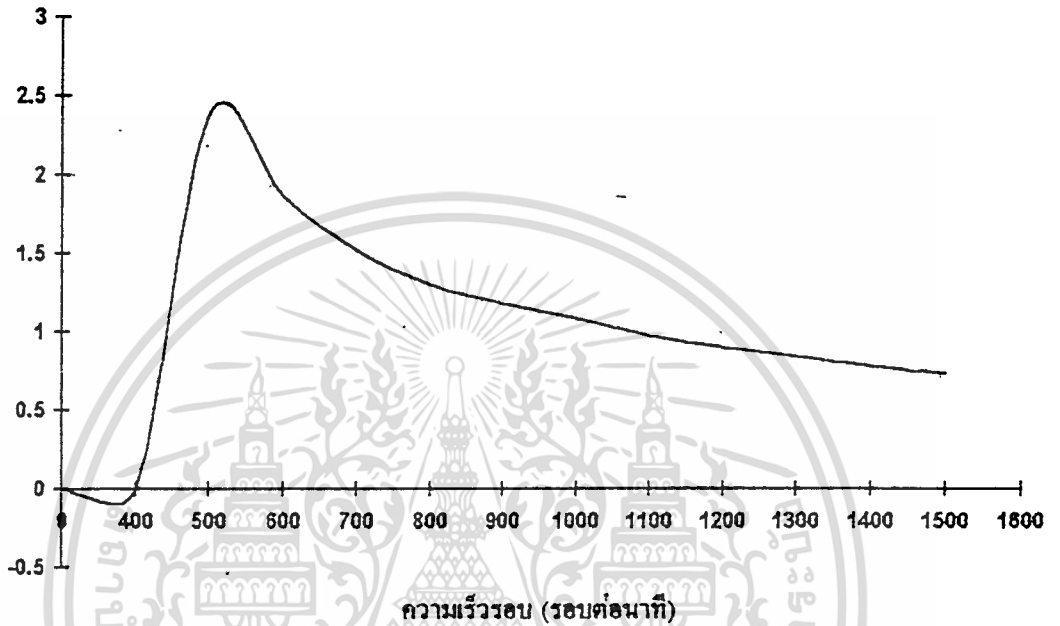
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขณะไม่มีโหลด (NO LOAD) โดยต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 2 เครื่องต่ออนุกรมกันแล้วควบคุมระดับแรงดันไฟฟ้าด้วยวงจรควบคุมระดับแรงดันไฟฟ้า ตามรูปที่ 8.2 แสดงผลการทดลองเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขณะไม่มีโหลด (NO LOAD) ควบคุมด้วยวงจรควบคุมแรงดันไฟฟ้า

ความเร็วรอบ (rpm)	If (A)	แรงดันที่ขั้ว (Vdc)	ความเร็วรอบ (rpm)	If (A)	แรงดันที่ขั้ว (Vdc)
500	2.38	30.4	907	1.18	33.4
524	2.24	30.7	920	1.17	33.4
542	2.18	30.7	943	1.12	33.6
560	2.04	30.8	965	1.11	33.7
587	1.90	30.8	980	1.10	33.9
600	1.86	31.2	1003	1.08	33.8
622	1.72	31.4	1020	1.04	34.0
635	1.66	31.2	1040	1.02	34.1
660	1.62	31.0	1071	1.01	34.1
684	1.56	31.5	1088	0.99	34.8
700	1.52	31.7	1100	0.97	34.9
720	1.50	32.0	1120	0.96	34.9
740	1.46	32.0	1160	0.93	35.0
760	1.41	32.0	1181	0.90	35.3
783	1.36	32.0	1200	0.90	35.7
800	1.30	32.9	1305	0.84	36.1
823	1.29	32.7	1419	0.78	36.8
842	1.28	33.1	1470	0.74	37.3
864	1.23	33.1	1527	0.73	37.2
887	1.22	33.4			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

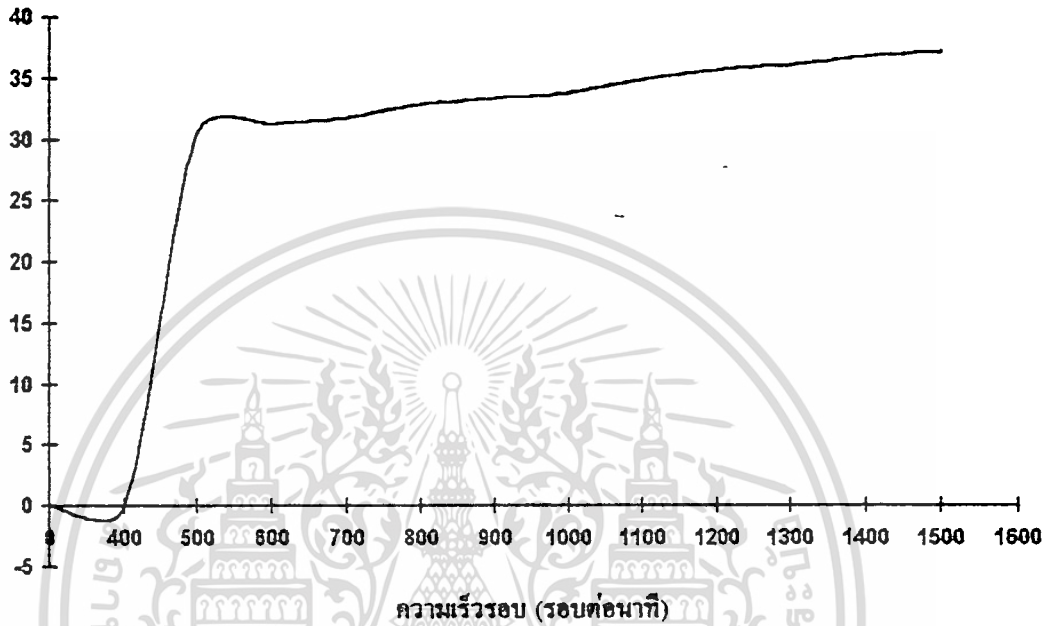
กระแสไฟฟ้า  
(แอมป์)



รูปที่ 8.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับกระแสไฟฟ้าในจุดอวด(No) ในสถานะไม่มีโหลด(NO LOAD)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงดันไฟฟ้า  
(โวลต์)



รูปที่ 8.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับแรงดันไฟฟ้าในขณะไม่มีโหลด (NO LOAD)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 8.2. การทดลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเมื่อสถานะมีโหลด (ON LOAD)

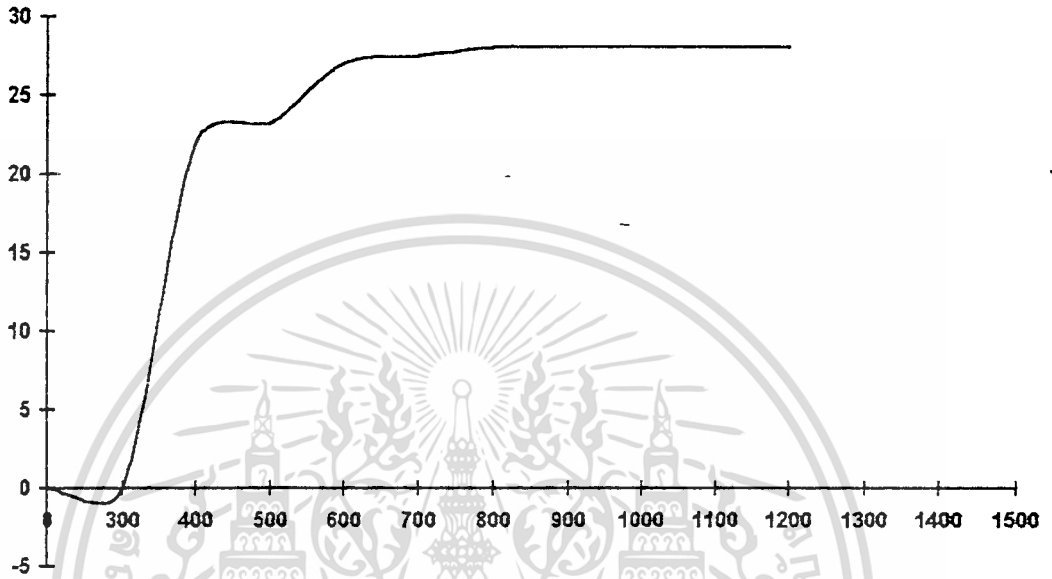
ทำการทดลองเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 2 เครื่องต่อกันและใช้วงจรควบคุมแรงดันไฟฟ้าควบคุมการชาร์จแบตเตอรี่ (Charge Battery) ที่แรงดันไฟฟ้า 27 V.

ตารางที่ 8.8. แสดงผลการชาร์จแบตเตอรี่ (Charge Battery)

rpm	Icharge (Idc)	Vcharge (Vdc)	If	rpm	Icharge (Idc)	Vcharge (Vdc)	If
390	0.2	22	2.6	788	4.9	28	2.3
421	0.4	22	2.53	796	4.9	28	2.26
443	0.9	23	2.53	828	4.9	28	2.18
463	1.2	23	2.53	849	4.8	28	2.00
482	1.5	23	2.52	887	4.8	28	1.96
500	1.9	23.2	2.52	906	4.8	28	1.90
520	2.2	24	2.52	926	4.8	28	1.84
545	2.5	24.5	2.55	949	4.8	28	1.796
564	2.8	25	2.6	966	4.7	28	1.74
583	3.0	26	2.54	985	4.8	28	1.65
604	3.2	27	2.65	1000	4.7	28	1.62
621	3.4	27.3	2.73	1020	4.8	28	1.60
645	3.8	27	2.75	1058	4.7	28	1.56
660	4.0	27	2.76	1077	4.7	28	1.54
686	4.4	27	2.76	1081	4.7	28	1.52
697	4.5	27.5	2.75	1095	4.7	28	1.48
728	4.7	27.5	2.58	1120	4.7	28	1.46
749	4.7	28	2.5	1160	4.7	28	1.43
764	4.8	28	2.44	1200	4.7	28	1.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

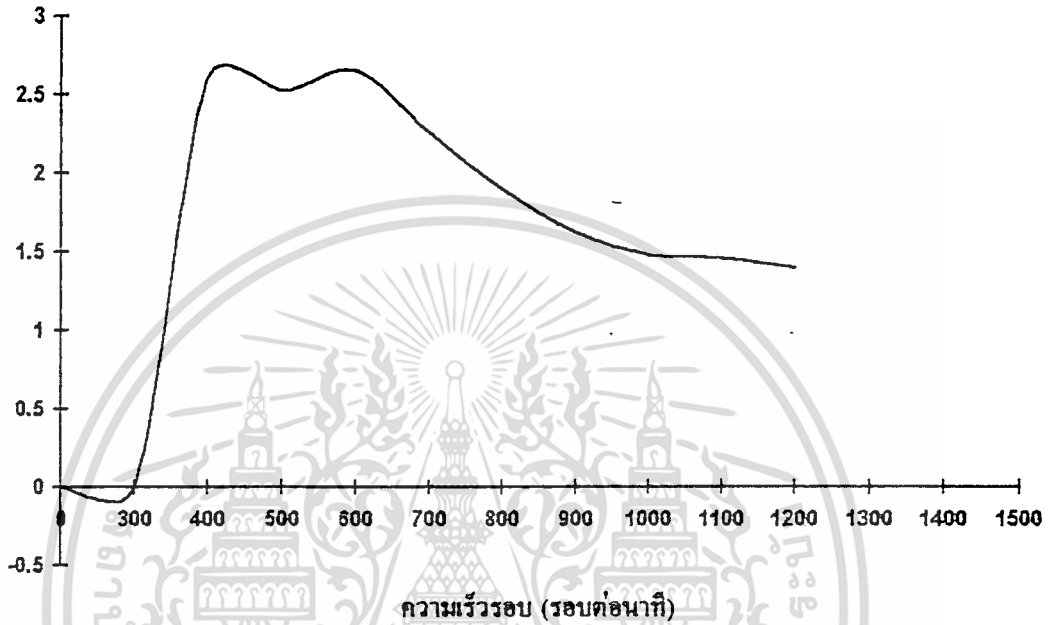
แรงดันไฟฟ้า (Vcharge)  
(โวลต์)



รูปที่ 8.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับแรงดันไฟฟ้าที่ชาร์จแบตเตอรี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระแสไฟฟ้า (แอมป์)  
(มอมป์)



รูปที่ 8.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับกระแสไฟฟ้าที่ขดลวด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 8.3. การทดสอบที่โครงการขณะไม่มีโหลด (NO LOAD)

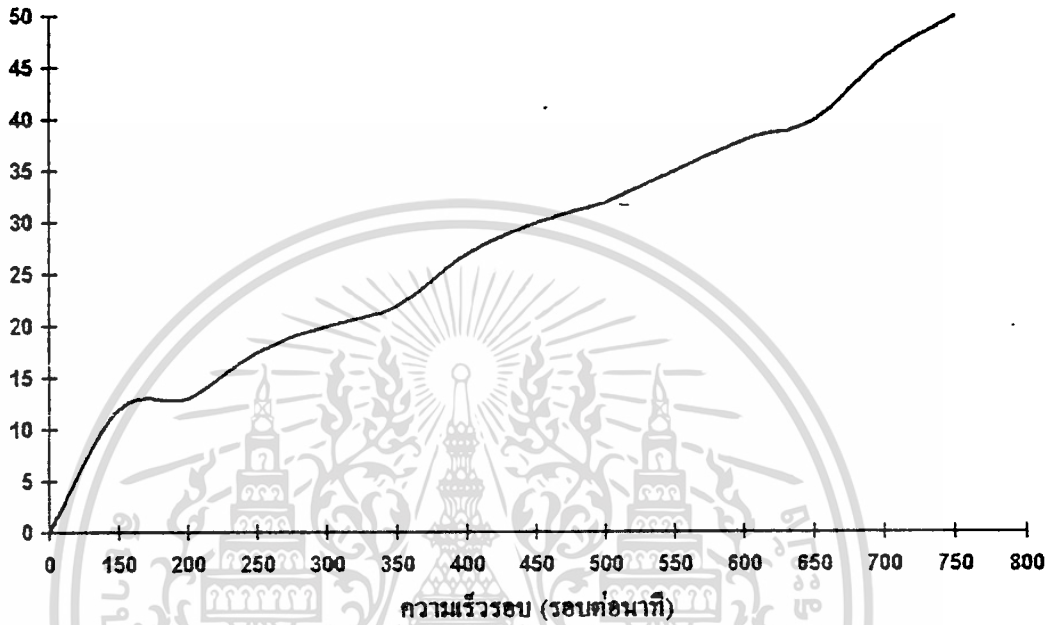
การทดสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขณะ NO LOAD บนกึ่งหันลมโดยไม่มีวงจรควบคุมแรงดัน ทดสอบที่กระแสขดลวดสนามคงที่ (IF) กระแส  $I_f = 1.3 \text{ A./ตัว}$

ตารางที่ 8.4 แสดงผลการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขณะไม่มีโหลด (NO LOAD) ที่โครงการจริง

ความเร็วรอบกังหัน (rpm)	ความเร็วรอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (rpm)	แรงดันไฟฟ้า (V)
10	150	12
12	180	14
15	225	16
17	255	17.5
20	300	20
23	345	22
25	375	24
27	405	27
30	450	30
33	495	32
35	525	34
37	555	36
40	600	38
45	675	43
50	750	50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงดันไฟฟ้า  
(โวลต์)



รูปที่ 8.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็รรอบกับแรงดันไฟฟ้าขณะไม่มีโหลด

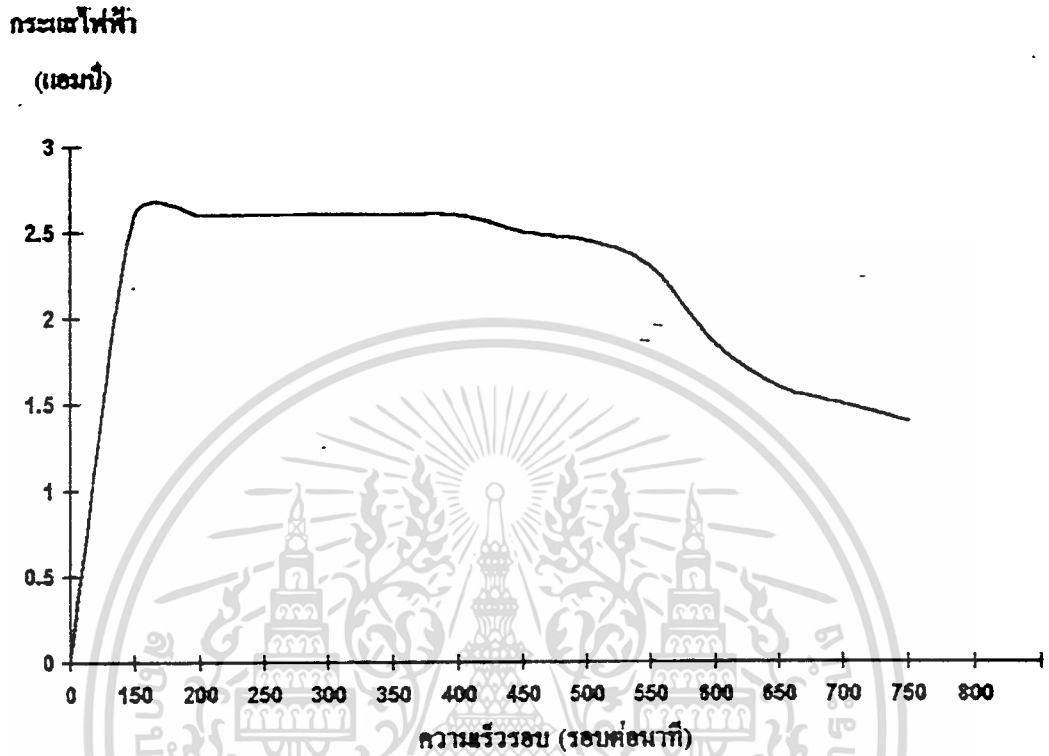
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทดสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขณะไม่มีโหลด (NO LOAD) บนกังหันโดยใช้วงจรควบคุมแรงดัน

ตารางที่ 8.5. แสดงผลการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขณะไม่มีโหลด (NO LOAD) บนกังหัน

ความเร็วรอบกังหัน (rpm)	ความเร็วรอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (rpm)	If (A)	แรงดันไฟฟ้า (Vdc)
10	150	2.6	12
12	180	2.6	14
16	240	2.6	16.5
17	255	2.6	17
21	315	2.6	21
23	345	2.6	22
25	375	2.6	23
28	420	2.6	24.5
30	450	2.5	25
33	495	2.45	26
35	525	2.4	26.4
38	570	2	26.8
40	600	1.8	27
45	675	1.5	27
50	750	1.4	27.2

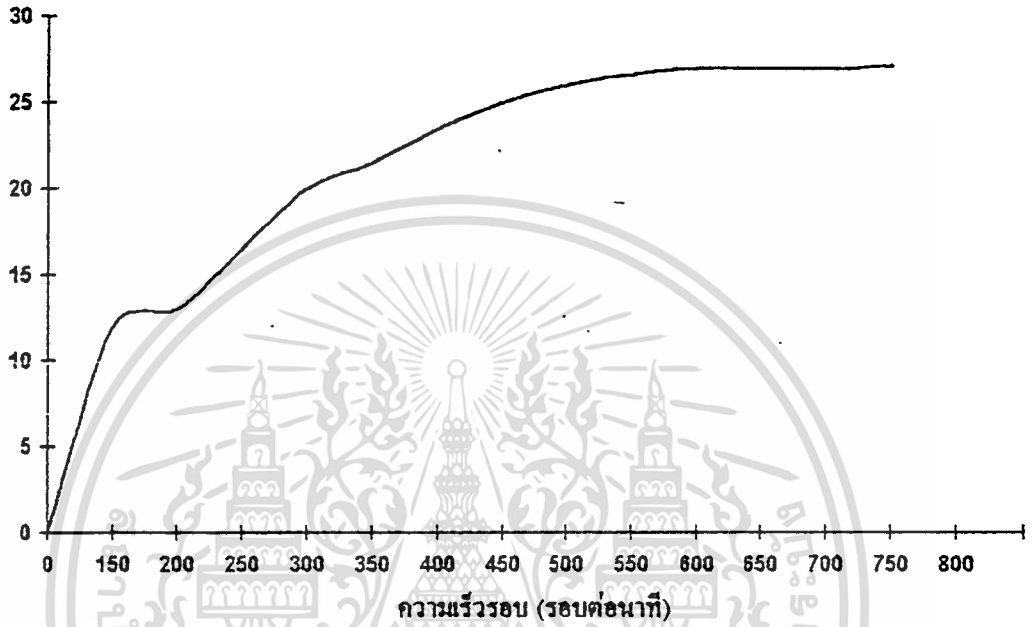
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 8.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับกระแสไฟฟ้าในขดลวดขณะไม่มีโหลดบนกังหัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงดันไฟฟ้า  
(โวลต์)



รูปที่ 8.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับแรงดันไฟฟ้าขณะ ไม่มีโหลดบนกังหัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

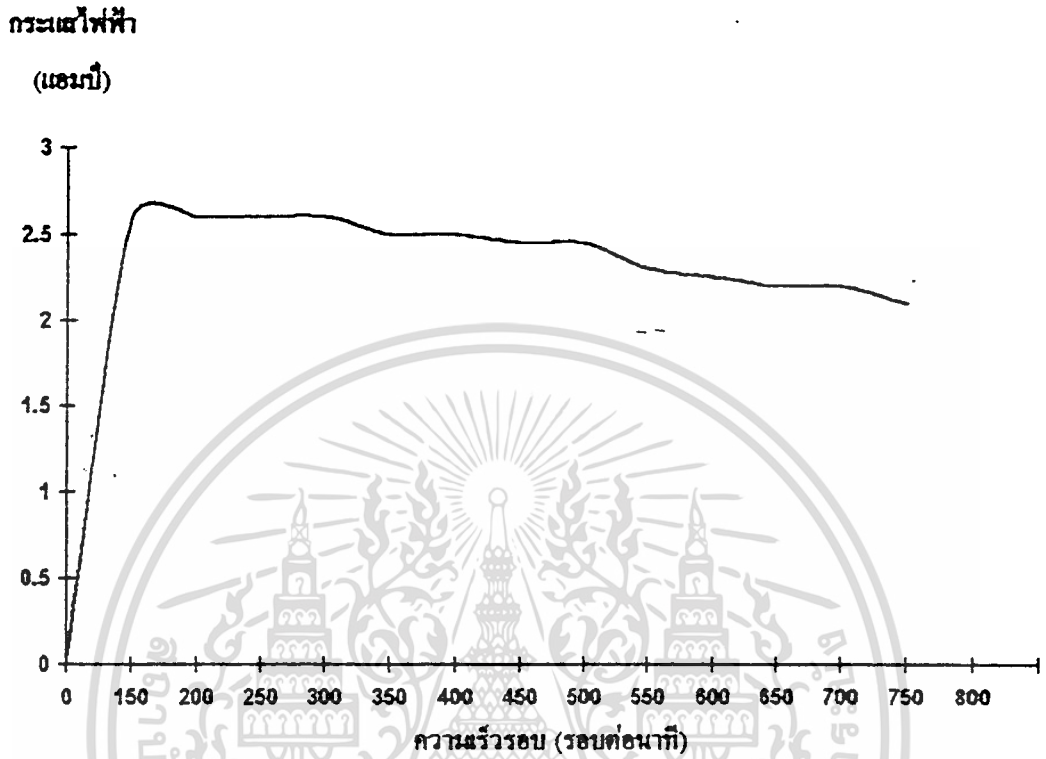
#### 8.4. การทดสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขณะมีโหลด (ON LOAD)

ทดสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขณะมีโหลด (ON LOAD) บนกังหันโดยใช้วงจรควบคุมแรงดันและชาร์จแรงดันไฟฟ้าให้กับแบตเตอรี่

ตารางที่ 8.6. แสดงผลการชาร์จแบตเตอรี่บนกังหัน

ความเร็วรอบกังหัน (rpm)	ความเร็วรอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (rpm)	I <sub>f</sub> (A)	แรงดันไฟฟ้า (V <sub>dc</sub> )	กระแสชาร์จ (I <sub>charge</sub> )
10	150	2.6	23	0
12	180	2.6	23	0
15	225	2.6	23	0
18	270	2.6	23	0
20	300	2.6	23	0
22	330	2.5	23	0
25	375	2.5	23.5	0
28	420	2.45	23.5	0
30	450	2.45	23.5	0
32	480	2.45	23.5	1
35	525	2.4	24	2
37	555	2.3	24	2.5
40	600	2.25	24.5	3
44	660	2.2	24.5	3.5
50	750	2.1	25	4.2

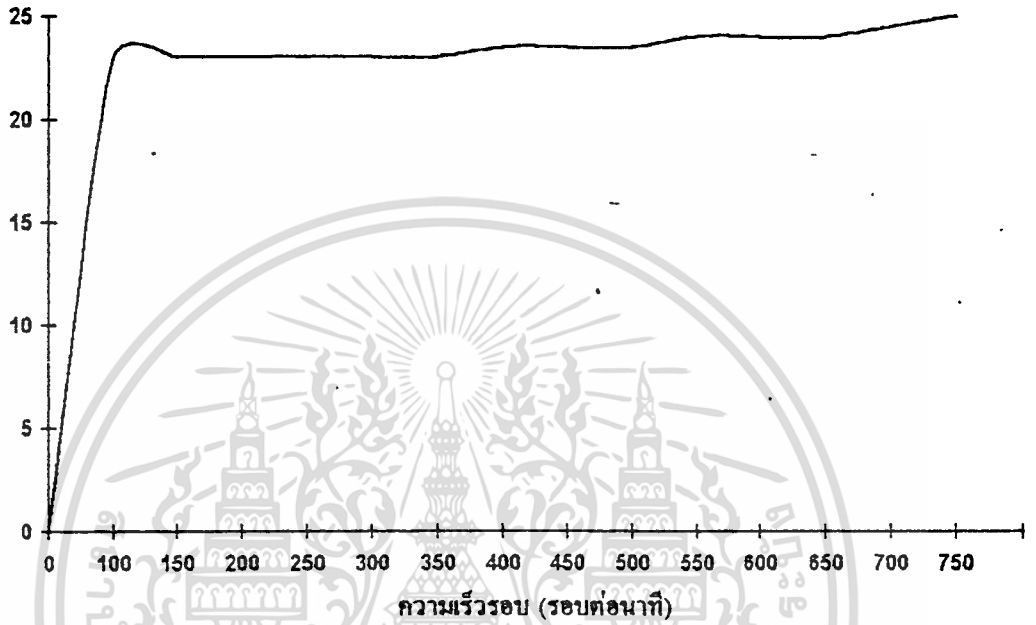
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 8.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับกระแสไฟฟ้าในขดลวดขณะอาร์จแบบเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

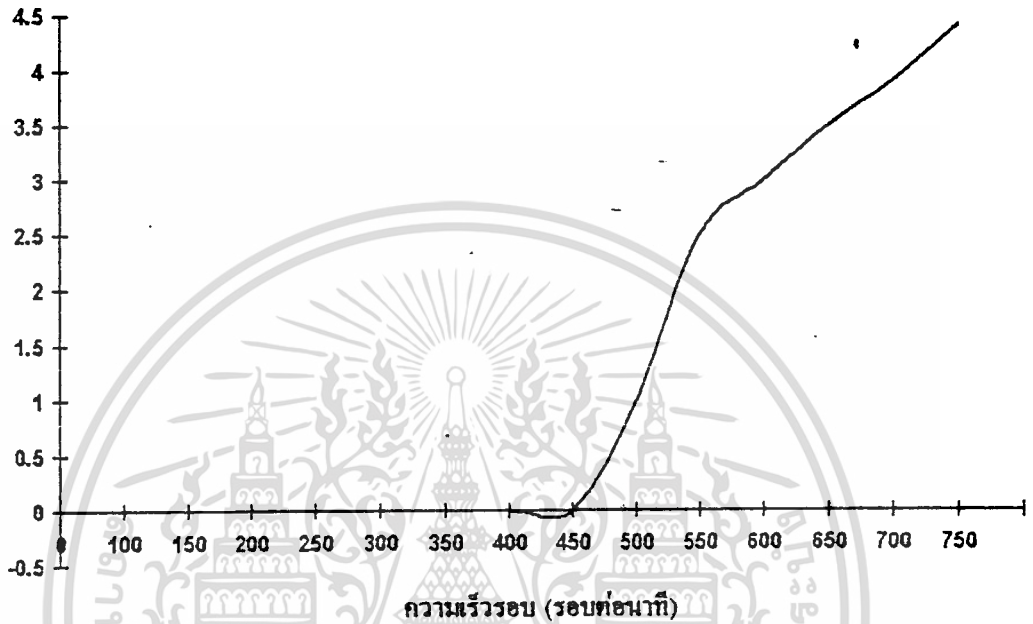
แรงดันไฟฟ้า  
(โวลต์)



รูปที่ 8.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับแรงดันไฟฟ้าขณะชาร์จแบตเตอรี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระแสไฟฟ้า (Icharge)  
(แอมป์)



รูปที่ 8.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับกระแสไฟฟ้าขณะชาร์จแบตเตอรี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ ๑

### สรุปผลและอุปสรรค

#### สรุปผลและอุปสรรคในการทำโครงการ

ลมเป็นพลังงานธรรมชาติที่สูญเปล่า เมื่อนำมาใช้แล้วไม่ทำให้สถานะแวดล้อมเสียหรือถูกทำลายไป โครงการนี้จึงเลือกนำพลังงานลมมาใช้เปลี่ยนรูปพลังงานเป็นพลังงานไฟฟ้า เพื่อให้เกิดประโยชน์โดยผ่านกังหันลม เครื่องกำเนิดไฟฟ้า และวงจรควบคุมรักษาระดับแรงดัน เพื่อให้ได้พลังงานไฟฟ้ามาเก็บไว้ในรูปของประจุที่แบตเตอรี่ เพื่อนำไปใช้งานให้เกิดประโยชน์ต่อไป จากการทำโครงการนี้ทำให้ได้ใช้ความรู้ทั้งทางด้านอิเล็กทรอนิกส์และด้านไฟฟ้ากำลัง กล่าวคือ ในส่วนของวงจรควบคุมรักษาระดับแรงดันให้มีค่าคงที่เป็นวงจรทางด้านอิเล็กทรอนิกส์ และส่วนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเป็นทางด้านไฟฟ้ากำลัง

จากที่กล่าวมาแล้วว่าลมเป็นพลังงานที่ไม่แน่นอนขาดความต่อเนื่อง ดังนั้นจึงค่อนข้างที่จะให้พลังงานออกมาไม่แน่นอน แต่ผลจากการศึกษาและทำโครงการได้ปรับปรุงและแก้ไขมาโดยตลอดซึ่งผลที่ออกมาจึงเป็นที่น่าพอใจระดับหนึ่ง พลังงานที่แปรรูปออกมาสามารถนำไปใช้ได้คือ สามารถชาร์จแบตเตอรี่ 24 V. ได้ แต่ต้องมีความเร็วลมที่สูงพอ คือ ความเร็วลมสูงไม่ต่ำกว่า 10 ก.ม. ต่อ ชม. ขึ้นไปเพื่อให้ได้รอบที่จุดทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ใช้ในโครงการนี้

จากการทดสอบโครงการที่ผ่านมาผลที่ออกมาคือพบว่า แรงดันและกระแสที่จะเริ่มชาร์จได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสภาพของแบตเตอรี่ที่จะนำมาชาร์จ แต่จุดที่จะเริ่มชาร์จได้ก็คือ ต้องมีแรงดันตั้งแต่ 24 V. ขึ้นไป แต่โครงการนี้มีจุดทำงานที่ 24-25 V. โดยที่ความเร็วรอบของกังหันตั้งแต่ประมาณ 35 รอบต่อนาทีขึ้นไป

ส่วนด้านการลงทุนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าด้วยพลังงานลมในโครงการนี้คือ แบ่งออกเป็น

ส่วนโครงสร้าง	เป็นเงิน	32,000 บาท
ส่วนเครื่องกำเนิด	เป็นเงิน	7,000 บาท
ส่วนชุดใบพัด	เป็นเงิน	9,300 บาท
ส่วนชุดส่งกำลัง	เป็นเงิน	1,200 บาท
ส่วนชุดวงจรควบคุม	เป็นเงิน	1,700 บาท
รวม		51,200 บาท

ขนาดพิกัดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ได้ คือ 540 วัตต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ทำซ้ำหรือดัดแปลงต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกแห่งที่มีการนำไปใช้

การลงทุนต่อวัตต์ คือ 94.8 บาทต่อวัตต์

จากโครงการนี้ถ้านำไปติดตั้งในสถานที่เหมาะสมและมีกำลังลมต่อเนื่องและความเร็วลมเพียงพอ ก็จะสามารเพิ่มพิกัดของเครื่องกำเนิดได้ ก็จะทำให้ต้นทุนต่อวัตต์ลดลง

จากการทดสอบพบว่า ความเร็วลมต้องมีการเก็บข้อมูลเป็นเวลานาน แต่ในการทำงานมีการเก็บข้อมูลในระยะเวลาที่สั้นมาก ดังนั้นจึงมีความคลาดเคลื่อนมาก และเนื่องจากการติดตั้งกังหันลมติดตั้ง ณ. จุดไม่เหมาะสมมีทิศทางลมที่จะพัดเข้าหากังหันลม จึงไม่สามารถทดสอบได้แน่นอน ความเร็วลมที่พัดจึงไม่ถึง 10 ก.ม.ต่อช.ม. และทิศทางลมมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ฉะนั้นกังหันลมตัวนี้เมื่อนำไปติดตั้งที่บริเวณที่มีลมสะดวก และสม่ำเสมอ เช่น ชายทะเล หรือบริเวณเนินเขา กังหันลมจะสามารถแปลงพลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพตามต้องการ และอุปสรรคอีกอย่างคือ วัสดุที่ทำกังหันใบต้องมีการเปลี่ยนแปลงอยู่หลายครั้ง เนื่องจากการเลือกวัสดุไม่แข็งแรงพอแต่ในการทำโครงการนี้ได้เปลี่ยนแปลงจะเป็นผลที่ดีพอในระดับหนึ่งและปัญหาอีกอย่างที่ประสบมากคือ การทำงานบนตัวกังหันไม่มีความปลอดภัยเลย เนื่องจากมีความสูงมาก แต่อุปสรรคทุกอย่างก็ผ่านไปได้ด้วยดีแม้จะไม่ราบรื่นนักแต่โครงการนี้ก็ประสบผลสำเร็จจนเป็นที่น่าพอใจกันทุกฝ่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



MOTOROLA

TL494  
TL495

### Specifications and Applications Information

#### SWITCHMODE PULSE WIDTH MODULATION CONTROL CIRCUITS

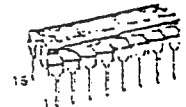
The TL494 and TL495 are fixed frequency, pulse width modulation control circuits designed primarily for Switchmode power supply control. These devices feature:

- Complete Pulse Width Modulation Control Circuitry
- On-Chip Oscillator With Master Or Slave Operation
- On-Chip Error Amplifiers
- On-Chip 5 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)

#### SWITCHMODE PULSE WIDTH MODULATION CONTROL CIRCUITS

SILICON MONOLITHIC INTEGRATED CIRCUITS

TL494



N SUFFIX PLASTIC PACKAGE CASE 629-05



J SUFFIX CERAMIC PACKAGE CASE 870-02

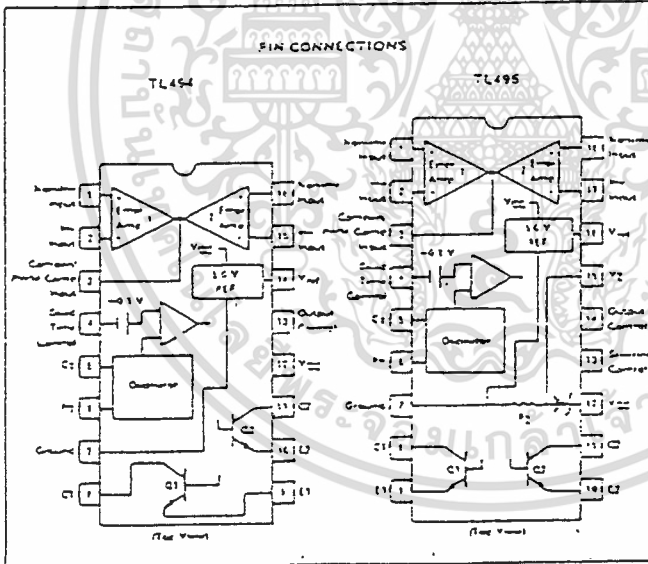
TL495



N SUFFIX PLASTIC PACKAGE CASE 707-02



J SUFFIX CERAMIC PACKAGE CASE 725-01



The TL494/495C are specified over the commercial operating range of 0°C to 70°C. The TL494/495I are specified over the industrial range of -25°C to 85°C. The TL494M 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
TL494CJ	0 To 70°C	Ceramic DIP
TL494IN	-25 To 85°C	Plastic DIP
TL494IJ	-25 To 85°C	Ceramic DIP
TL494MJ	-55 To 125°C	Ceramic DIP
TL495CN	0 To 70°C	Plastic DIP
TL495CJ	0 To 70°C	Ceramic DIP
TL495IN	-25 To 85°C	Plastic DIP
TL495IJ	-25 To 85°C	Ceramic DIP

MOTOROLA LINEAR/INTERFACE DEVICES

4-214

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# TL494, TL495

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

Rating	Symbol	TL494M	TL494/TL495I	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

Characteristics	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	1/R <sub>θJA</sub>	10.0	12.5	mW/°C
Derating 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>	—	30	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, TL495C			Unit
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Reference Voltage (I <sub>O</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	2.6	%
Input Regulation (V <sub>CC</sub> = 7.0 V to 40 V)	R <sub>regline</sub>	—	2.0	25	—	2.0	25	mV
Output Regulation (I <sub>O</sub> = 1.0 mA to 10 mA)	R <sub>regload</sub>	—	3.0	15	—	3.0	15	mV
Short-Circuit Output Current (V <sub>ref</sub> = 0 V, T <sub>A</sub> = 25°C)	I <sub>SC</sub>	10	35	50	—	25	—	mA

## MOTOROLA LINEAR/INTERFACE DEVICES

4-217

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> = 42 V)	I <sub>CO(s)</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>EO(s)</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>OCL</sub>	—	10	—	—	10	—	μA
	I <sub>OCH</sub>	—	0.2	3.5	—	0.2	3.5	mA
Output Voltage Rise Time (T <sub>A</sub> = 25°C) Common-Emitter (See Figure 13) 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>IS</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>	-0.5	—	V <sub>CC</sub> - 2.0	V
Open-Loop Voltage Gain (V <sub>O</sub> = 3.0 V, V <sub>I</sub> = 0.5 to 3.5 V, R <sub>L</sub> = 2.0 kΩ)	A <sub>VOL</sub>	75	95	—	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>	—	350	—	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>	—	65	—	deg.
Common-Mode Rejection Ratio (V <sub>CC</sub> = 40 V)	CMRR	65	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>	-3.0	-4.0	—	mA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# 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	TL494 TL495			Unit
		Min	Typ	Max	
<b>PWM COMPARATOR SECTION (Test Circuit Figure 12)</b>					
Input Threshold Voltage (Zero duty cycle)	V <sub>TH</sub>	—	3.5	4.5	V
Input Sink Current (V <sub>in</sub> (Pin 3) = 0.7 V)	I <sub>I-</sub>	0.3	0.7	—	mA
<b>DEAD-TIME CONTROL SECTION (Test Circuit Figure 12)</b>					
Input Bias Current (Pin 4) (V <sub>in</sub> = 0 to 5.25 V)	I <sub>IB</sub> (DT)	—	-2.0	-10	μA
Maximum Duty Cycle, Each Output, Push-Pull Mode (V <sub>in</sub> = 0 V, C <sub>T</sub> = 0.1 μF, R <sub>T</sub> = 12 kΩ) (V <sub>in</sub> = 0 V, C <sub>T</sub> = 0.001 μF, R <sub>T</sub> = 30 kΩ)	DC <sub>max</sub>	45	45	50	%
Input Threshold Voltage (Pin 4) (Zero Duty Cycle) (Maximum Duty Cycle)	V <sub>TH</sub>	—	2.8	3.3	V
<b>OSCILLATOR SECTION</b>					
Frequency (C <sub>T</sub> = 0.001 μF, R <sub>T</sub> = 30 kΩ)	f <sub>osc</sub>	—	40	—	kHz
Standard Deviation of Frequency* (C <sub>T</sub> = 0.001 μF, R <sub>T</sub> = 30 kΩ)	σ <sub>fosc</sub>	—	3.0	—	%
Frequency Change with Voltage (V <sub>CC</sub> = 7.0 V to 40 V, T <sub>A</sub> = 25°C)	Δf <sub>osc</sub> (ΔV)	—	0.1	—	%
Frequency Change with Temperature (ΔT <sub>A</sub> = T <sub>low</sub> to T <sub>high</sub> ) (C <sub>T</sub> = 0.01 μF, R <sub>T</sub> = 12 k)	Δf <sub>osc</sub> (ΔT)	—	—	12	%

Characteristic	Symbol	TL495			Unit
		Min	Typ	Max	
<b>STEERING CONTROL</b>					
Input Current Low (V <sub>in</sub> (Pin 13) = 0.4 V)	I <sub>STL</sub>	—	-25	-200	μA
Input Current High (V <sub>in</sub> (Pin 13) = 2.4 V) (V <sub>in</sub> (Pin 13) = V <sub>ref</sub> )	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 <sub>in</sub> (Pin 15) = 1.0 V)	I <sub>EZ</sub>	—	0.3	—	mA
<b>TOTAL DEVICE</b>					
Standby Supply Current (Pin 6 at V <sub>ref</sub> , All Other Inputs and Outputs Open) (V <sub>CC</sub> = 15 V) (V <sub>CC</sub> = 40 V)	I <sub>CC</sub>	—	5.5	10	mA
Average Supply Current (V <sub>in</sub> (Pin 4) = 2.0 V) (See Figure 12.) (C <sub>T</sub> = 0.001, R <sub>T</sub> = 12 kΩ, V <sub>CC</sub> = 15 V)	—	—	7.0	—	mA

\* Standard deviation is a measure of the statistical distribution about the mean as derived from the formula:  $\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^N (x_n - \bar{x})^2}{N - 1}}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FIGURE 4 — OSCILLATOR FREQUENCY  
VERSUS TIMING RESISTANCE

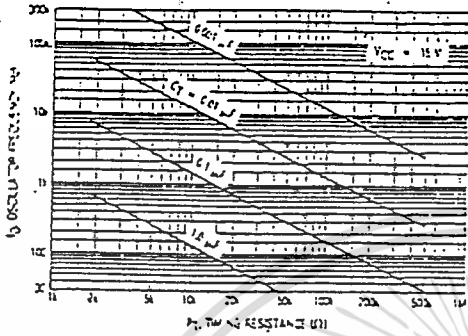


FIGURE 5 — OPEN LOOP VOLTAGE GAIN AND PHASE  
VERSUS FREQUENCY

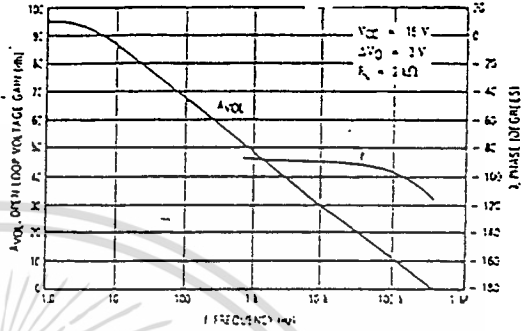


FIGURE 6 — PERCENT DEAD TIME VERSUS  
OSCILLATOR FREQUENCY

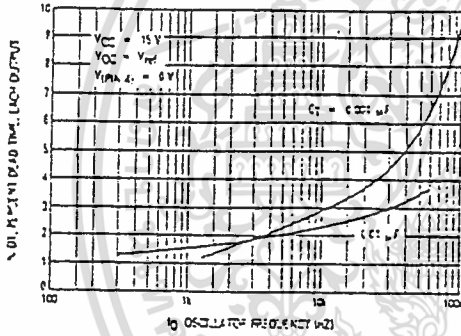


FIGURE 7 — PERCENT DUTY CYCLE VERSUS  
DEAD-TIME CONTROL VOLTAGE

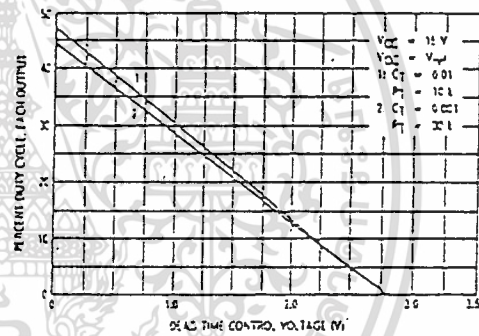


FIGURE 8 — EMITTER-FOLLOWER CONFIGURATION,  
OUTPUT-SATURATION VOLTAGE  
VERSUS EMITTER CURRENT

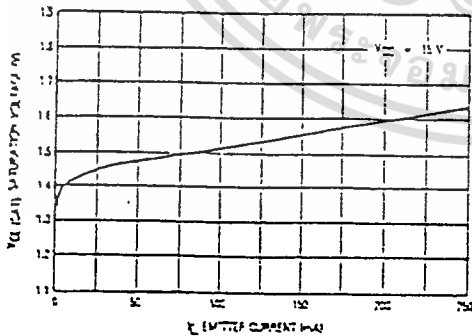


FIGURE 9 — COMMON-EMITTER CONFIGURATION,  
OUTPUT-SATURATION VOLTAGE  
VERSUS COLLECTOR CURRENT

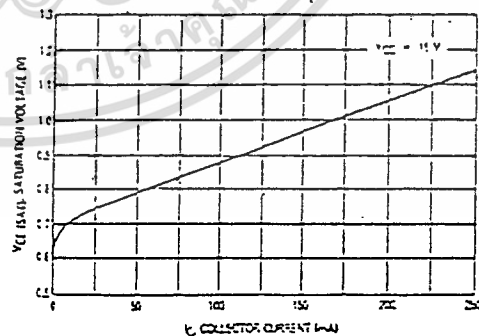


FIGURE 10 — STANDBY-SUPPLY CURRENT versus SUPPLY VOLTAGE

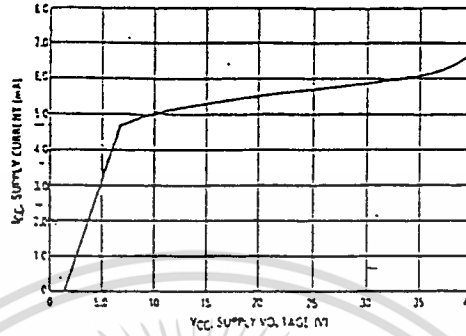


FIGURE 11 — ERROR AMPLIFIER CHARACTERISTICS

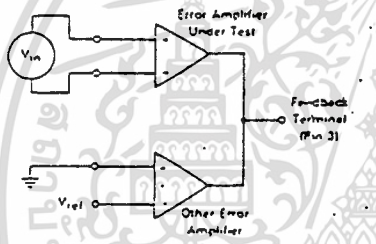


FIGURE 12 — DEAD-TIME AND FEEDBACK CONTROL TEST CIRCUIT

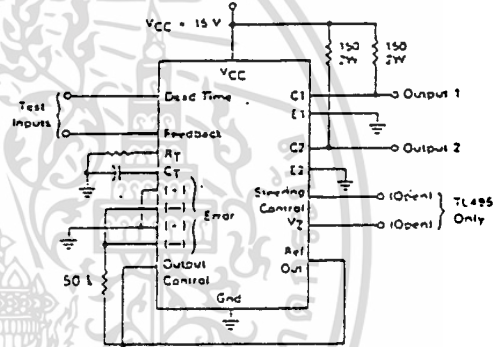


FIGURE 13 — COMMON-EMITTER CONFIGURATION TEST CIRCUIT AND WAVEFORM

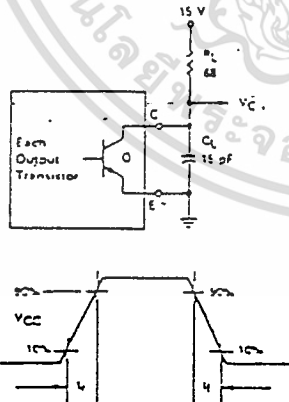
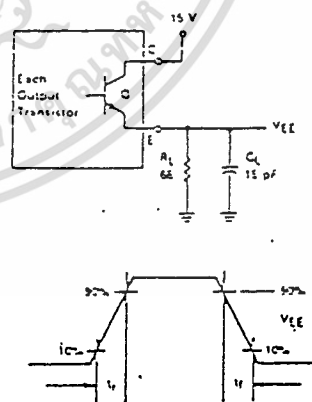


FIGURE 14 — EMITTER-FOLLOWER CONFIGURATION TEST CIRCUIT AND WAVEFORM



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FIGURE 15 — ERROR-AMPLIFIER SENSING TECHNIQUES

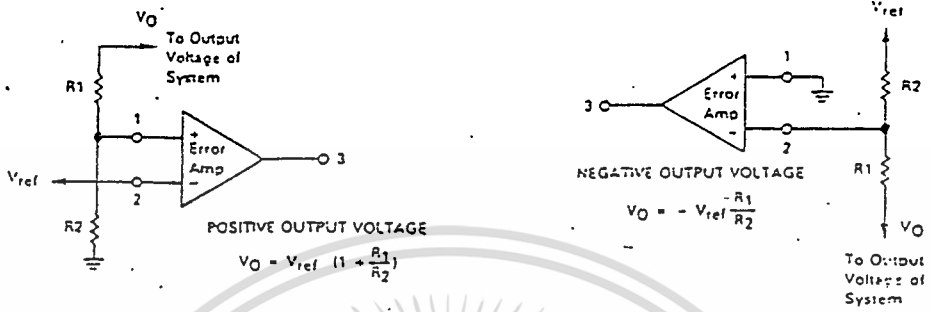


FIGURE 16 — DEAD-TIME CONTROL CIRCUIT

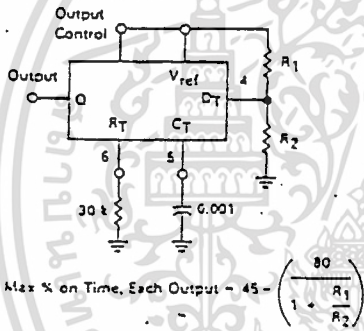


FIGURE 17 — SOFT-START CIRCUIT

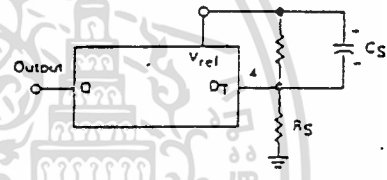
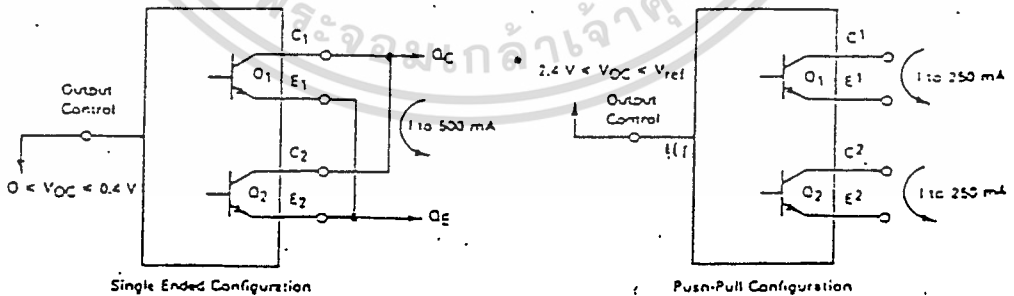


FIGURE 18 — OUTPUT CONNECTIONS FOR SINGLE-ENDED AND PUSH-PULL CONFIGURATIONS



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# TL494, TL495

FIGURE 15 — SLAVING TWO OR MORE CONTROL CIRCUITS

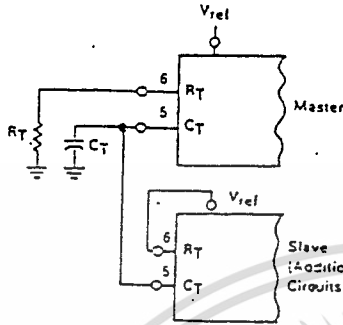


FIGURE 20 — OPERATION WITH  $V_{in} > 40$  V USING INTERNAL ZENER (TL495 ONLY)

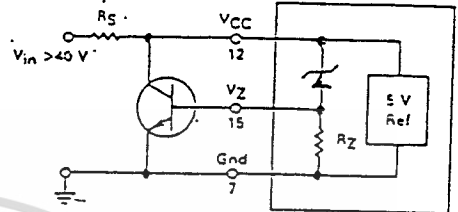
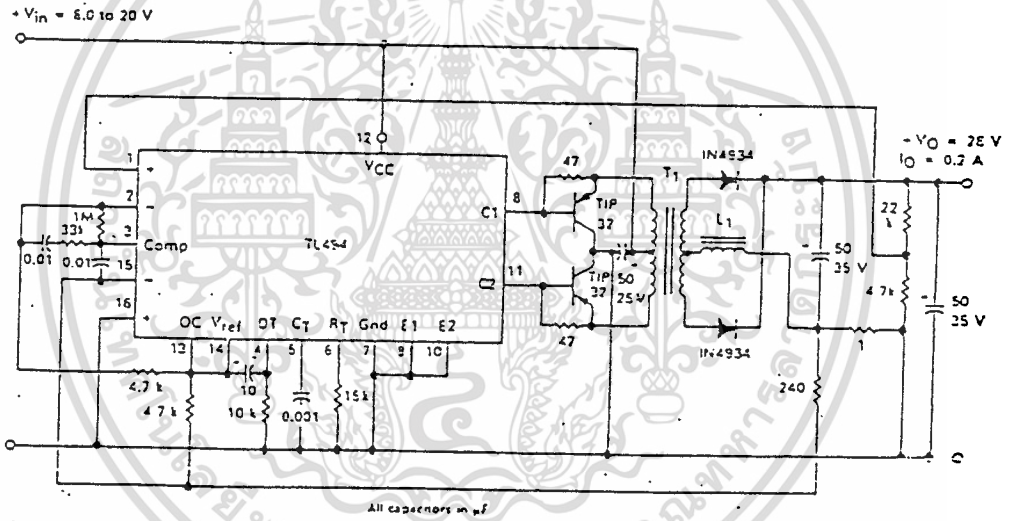


FIGURE 21 — PULSE-WIDTH MODULATED PUSH-PULL CONVERTER



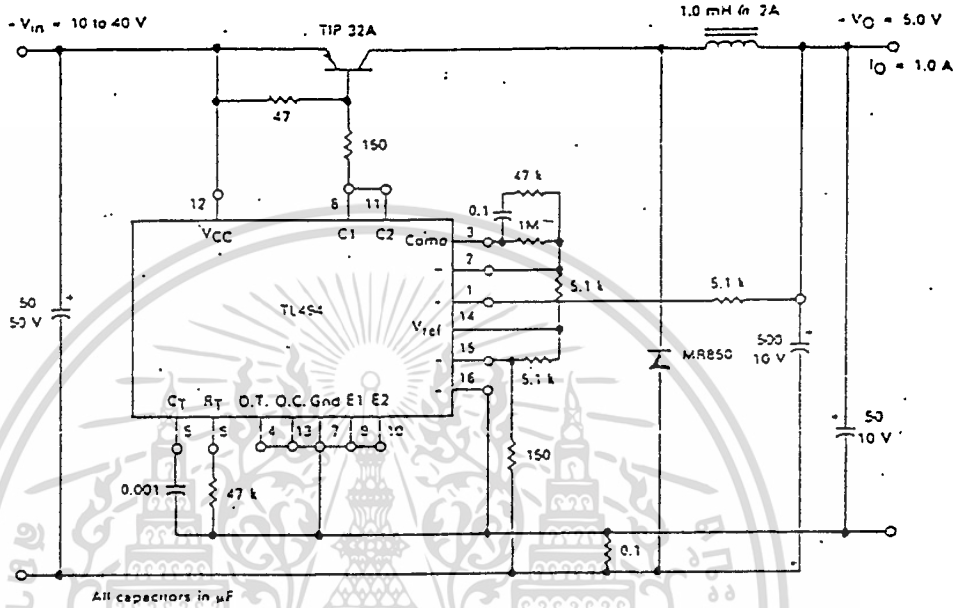
- L1 — 3.5 mH @ 0.3 A
- T1 — Primary: 20T C.T. #28 AWG  
Secondary: 170T C.T. #36 AWG  
Core: Ferroxcube 1402F-100-3C3

TEST	CONDITIONS	RESULTS
Line Regulation	$V_{in} = 8.0$ to $20$ V	1.0 mV 0.01%
Load Regulation	$V_{in} = 12.6$ V, $I_O = 0.2$ to $200$ mA	5.0 mV 0.62%
Output Ripple	$V_{in} = 12.6$ V, $I_O = 200$ mA	45 mV P-P F.A.R.D.
Short Circuit Current	$V_{in} = 12.6$ V, $R_L = 0.1 \Omega$	250 mA
Efficiency	$V_{in} = 12.6$ V, $I_O = 200$ mA	72%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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	$V_{in} = 28 \text{ V}, I_O = 1.0 \text{ mA to } 1.0 \text{ A}$	30 mV 0.05%
Output Ripple	$V_{in} = 28 \text{ V}, I_O = 1.0 \text{ A}$	65 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	$V_{in} = 28 \text{ V}, I_O = 1.0 \text{ A}$	71%

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 frequency 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 95% 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 50 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	$\frac{f_{out}}{f_{osc}}$
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 $V_{ref}$	$V1 < 0.4$ V	Single-ended P.W.M. at Q1 only	1
At $V_{ref}$	$V1 > 2.4$ V	Single-ended P.W.M. at Q2 only	1

See Engineering Bulletin EE100 for further information.

## กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้จัดทำโครงการนี้ขอขอบคุณท่านอาจารย์ ผศ. ประภาส ไพรสุวรรณและดร.ชัยวุฒิ  
ฉัตรอุทัย

ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาสำหรับโครงการนี้ ซึ่งคอยให้คำแนะนำ ชี้แนะ พร้อมทั้งแก้ปัญหาต่าง ๆ

ขอขอบคุณ คุณชาญณรงค์ พรหมใจดี ที่ช่วยออกแบบกึ่งहनลุม และให้คำแนะนำทางค้ำน  
เครื่องกล และทำส่วนประกอบต่าง ๆ ของกึ่งहनลุม

ขอขอบคุณ คุณน้รชชช อมาตยกุล ที่ช่วยจัดพิมพ์ปริญญานิพนธ์ชุดนี้ทั้งนี้คณะผู้จัดทำขอ  
ขอบคุณเพื่อนๆ และทุกคนที่มีส่วนช่วยเหลือให้โครงการนี้สำเร็จ ไปด้วยดี

คณะผู้จัดทำหวังเป็นอย่างยิ่งว่ารายงาน โครงการนี้จะให้ประโยชน์ต่อท่านผู้สนใจงานค้ำนนี้  
ความค้ำที่ค้ำจากโครงการนี้ขอขอบให้ ท่านอาจารย์ ผศ.ประภาส ไพรสุวรรณและ ดร.ชัยวุฒิ  
ฉัตรอุทัย สำหรับข้อผิดพลาดและข้อบกพร่องของรายงาน โครงการนี้คณะผู้จัดทำขอรับไว้ทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

- [1] ขนิษฐ ศิริพานิจกร, สมพงษ์ เฉลิมวิริยะพันธ์ และอาทิวระ อิศุริ, “ปริญาณานิพนธ์ เรื่อง WIND ENERGY”, ภาควิชาโทรคมนาคม, คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2523.
- [2] ไพโรจน์ อนันต์ชัย, บุญชัย วิเศษกุล และ ประจิมตรี วิจิตรศิลป์, “ปริญาณานิพนธ์เรื่องพลังงานลม”, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2520.
- [3] Edward M. Noll, “WIND/SOLAR ENERGY”, 2nd, Howard W. Sams & Co, Inc., Indiana, USA, 1981.
- [4] Frank R. Eldridge, “WIND MACHINE”, 2nd, Van Nostrand Reinhold Ltd, Canada, 1980.
- [5] Golding E. W, “THE GENERATION OF ELECTRICITY BY WIND POWER”, John Wiley & Sons, Inc., New York, USA, 1956.
- [6] Jack Pard, “SIMPLIFIED WIND POWER SYSTEMS FOR EXPERIMENTERS”, 1985.
- [7] John M. Nadon, Bert J. Gelmine and Edward D. McLaughlin, 4th Delmar Publishers Inc., USA, 1989.
- [8] MM. El-Wakil, “POWER PLANT TECHNOLOGY”, McGraw-Hill, Inc., Singapore, 1985.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้