



กังหันลมผลิตไฟฟ้าต้นทุนต่ำ
A LOW COST WIND TURBINE

นายภัทรพงษ์ พลังข้างสาร รหัส 55360949
นายวสันต์ น้อยรักษา รหัส 55360987
นายศิริสิทธิ์ เพชรชื่น
นายทวิวุฒิ เจียวไทร

สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยนเรศวร	
รหัส 55361021	
วันลงทะเบียน.....	20 ต.ค. 2560
รหัส 55363957	19199398
เลขเรียกหนังสือ.....	ฟ

11 379
2558

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
ปีการศึกษา 2558



ใบรับรองปริญญาโท

ชื่อหัวข้อโครงการ กังหันลมผลิตไฟฟ้าต้นทุนต่ำ
ผู้ดำเนินโครงการ นายภัทรพงษ์ พลังข้างสาร รหัส 55360949
 นายวสันต์ น้อยรักษา รหัส 55360987
 นายศิริ สิริทธิ เพชรชื่น รหัส 55361021
 นายทวิวุฒิ เขียวไทร รหัส 55363957
ที่ปรึกษาโครงการ ดร. สราวุฒิ วัฒนวงศ์พิทักษ์
สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
ปีการศึกษา 2558

.....
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอัสสัมชัญ อนุมัติให้ปริญญาโทฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

.....ที่ปรึกษาโครงการ
(ดร. สราวุฒิ วัฒนวงศ์พิทักษ์)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นิพัทธ์ จันทรมินทร์)

.....กรรมการ
(ดร. ปิยะฉัย ภาชนะพรรณม์)

ชื่อหัวข้อโครงการ	กังหันลมผลิตไฟฟ้าต้นทุนต่ำ		
ผู้ดำเนินโครงการ	นายภัทรพงษ์ พลังช่างสาร	รหัส	55360949
	นายวสันต์ น้อยรักษา	รหัส	55360987
	นายศิริสิทธิ์ เพชรชื่น	รหัส	55361021
	นายทวิวุฒิ เสียวไทร	รหัส	55363957
ที่ปรึกษาโครงการ	ดร. สราวุฒิ วัฒนวงศ์พิทักษ์		
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า		
ภาควิชา	วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์		
ปีการศึกษา	2558		

บทคัดย่อ

ปรินญาณินพนธ์นี้้นำเสนอการออกแบบและสร้างกังหันลมผลิตไฟฟ้าต้นทุนต่ำให้มีความเหมาะสมกับความเร็วลมต่ำ ตามศักยภาพพลังงานลมของจังหวัดเพชรบูรณ์ โดยได้ออกแบบและสร้างกังหันลมชนิดแกนนอน ที่มีระบบการทำงานไม่ซับซ้อน บำรุงรักษาง่ายและต้นทุนต่ำ โดยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าตัดแปลงมาจากมอเตอร์เครื่องซักผ้าเก่าและที่เลิกใช้งานแล้ว เครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะถูกแปลงเป็นไฟฟ้ากระแสตรงและลดระดับแรงดันไฟฟ้าลงประมาณ 14 โวลต์ ต่อจากนั้นวงจรอัดประจุแบตเตอรี่อัตโนมัติถูกนำไปใช้สำหรับการตรวจสอบการเปิดปิดวงจรที่แรงดันไฟฟ้าคงที่ 11.8 ถึง 13 โวลต์ ซึ่งทำการติดตั้งเพื่อทดสอบหาประสิทธิภาพกังหันลมที่ระดับความสูง 2.5 เมตร ณ บ้านภูหนาวรีสอร์ท อำเภอเขาค้อ จังหวัดเพชรบูรณ์ จากผลการทดสอบพบว่ากังหันลมเริ่มผลิตกำลังไฟฟ้าที่ความเร็วลม 1.47 เมตรต่อวินาที และกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ผลิตได้เท่ากับ 30.82 วัตต์ ที่ความเร็วลม 4.12 เมตรต่อวินาที มีประสิทธิภาพสูงสุด 0.59 ที่ความเร็วลม 2.18 เมตรต่อวินาที

Project title	A Low Cost Wind Turbine		
Name	Mr. Pattarapong	Palungchangsarn	ID. 55360949
	Mr. Wasan	Noiraksa	ID. 55360987
	Mr. Sirasit	Phetchuen	ID. 55361021
	Mr. Taweewut	Khiawsai	ID. 55363957
Project advisor	Mr. Sarawut Wattanawongpitak, Ph.D.		
Major	Electrical Engineering		
Department	Electrical and Computer Engineering		
Academic year	2015		

Abstract

The wind turbine blade is designed as Horizontal-axis wind turbines (HAWT) to suit a low wind speed design. Moreover, this design is simply, easily maintainable, and low-cost. The wind turbine has a height of 2.5 metre tall. The induction motor in old and deactivated washing machine is used as a generator in wind turbine. The alternative currents from the generator are converted into direct currents and reduced to lower DC voltage around 14 V. Subsequently, the automatic battery charger is applied for detecting and On-off operating at fixed voltage of 11.8 - 13 V. In the experiment, the wind turbine is installed and tested in Ban Phu Nao resort, Khao-Kho district, Phetchabun province. The results showed that the wind turbine can initially generate the electricity at a wind speed of 1.47 m/s. The maximum power output is 30.82 watts at a wind speed of 4.12 m/s. Furthermore, the highest power coefficient of this wind turbine is 0.59 at a wind speed of 2.18 m/s.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการศึกษาเกี่ยวกับกังหันลมผลิตไฟฟ้าต้นทุนต่ำ ซึ่งจะไม่มีทางสำเร็จไปได้ถ้าไม่ได้รับความช่วยเหลือจากบุคคลดังต่อไปนี้

ขอขอบพระคุณ ดร.สรายุฒิ วัฒนวงศ์พิทักษ์ อาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ผู้เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการที่ได้ให้ความรู้ให้คำแนะนำและให้ความช่วยเหลือแก่คณะผู้จัดทำเป็นอย่างดีตลอดมา

ขอขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ต่างๆตลอดระยะเวลาของการศึกษาเล่าเรียน ซึ่งเป็นความรู้ที่สามารถนำไปใช้ในการทำโครงการนี้และยังสามารถนำไปใช้ในการประกอบอาชีพในอนาคต

และสิ่งสำคัญที่สุดขอขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่ได้เลี้ยงดูและอบรมสั่งสอนแก่คณะผู้จัดทำจนทำให้คณะผู้จัดทำทุกคนมีวันนี้ได้ ซึ่งเป็นพระคุณอันหาที่เปรียบไม่ได้

ท้ายนี้คณะผู้จัดทำใคร่ขอขอบพระคุณผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องทุกท่านที่ไม่ได้กล่าวนามมา ณ ที่นี้ ที่มีส่วนร่วมในการให้ข้อมูล เป็นที่ปรึกษาในการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้จนเสร็จสมบูรณ์คณะผู้จัดทำจึงขอขอบพระคุณไว้ ณ ที่นี้ด้วย

นายภัทรพงษ์ พลังช้างสาร

นายวสันต์ น้อยรักษา

นายศิริสิทธิ์ เพชรชื่น

นายทวิวุฒิ เขียวไทร

สารบัญ

หน้า

ใบรับรองปริญญาโท	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญ	จ
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	1
1.3 ขอบเขตของโครงการ	2
1.4 ขั้นตอนและแผนการดำเนินงาน	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการ	3
1.6 งบประมาณ	3
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 พลังงานลม	4
2.1.1 การวัดลม	4
2.1.2 ศักยภาพพลังงานลมในประเทศไทย	7
2.2 ทฤษฎีกังหันลมผลิตไฟฟ้า	8
2.2.1 ชนิดของกังหันลมผลิตไฟฟ้า	9
2.2.2 ทฤษฎีใบพัด	11
2.3 วงจรเรียงกระแสสามเฟสแบบบริดจ์	14
2.4 วงจรทอนระดับแรงดัน	15
2.5 วงจรอัดประจุแบตเตอรี่	17
2.6 แบตเตอรี่แบบตะกั่ว	18

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.6.1 วิธีใช้และการเก็บรักษา.....	19
2.6.2 การอัดประจุและวิธีการอัดประจุแบตเตอรี่เบื้องต้น.....	20
2.6.3 ช่วงเวลาขณะอัดประจุแบตเตอรี่.....	20
2.7 เครื่องกำเนิดไฟฟ้า.....	21
2.7.1 การทำงานของมอเตอร์.....	22
2.7.2 หลักการสนามแม่เหล็กตัดผ่านขดลวด.....	23
2.7.3 มอเตอร์เครื่องซักผ้า.....	23
2.7.4 การเกิดสนามแม่เหล็กหมุน.....	26
บทที่ 3 ขั้นตอนวิธีดำเนินงาน.....	28
3.1 การออกแบบและประกอบ โครงสร้างของกังหันลม.....	28
3.1.1 การสร้างฐานและเสากังหันลม.....	28
3.1.2 การทำโครงยึดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า.....	29
3.1.3 การสร้างชุดใบพัดกังหันลม.....	29
3.1.4 การสร้างจานหมุนใบพัดกังหันลม.....	30
3.1.5 การสร้างหางเสือกังหันลม.....	31
3.1.6 โครงสร้างของกังหันลม.....	32
3.2 การดัดแปลงขดลวดที่สเตเตอร์.....	32
3.3 การออกแบบวงจรควบคุมการทำงาน.....	34
3.3.1 วงจรควบคุมการอัดประจุ.....	35
3.3.2 ชุดควบคุมการอัดประจุแบตเตอรี่.....	37
บทที่ 4 การทดสอบและผลการทดลอง.....	38
4.1 การวัดความเร็วลมรีเวอร์ท ณ บ้านภูหนาว อำเภอเขาค้อ จังหวัดเพชรบูรณ์.....	38
4.1.1 การวัดความเร็วลมเฉลี่ยใน 1 วัน.....	39
4.1.2 การวัดความเร็วลมเฉลี่ยใน 1 สัปดาห์.....	40
4.2 การทดสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ความเร็วรอบต่างๆก่อนและหลังดัดแปลง ขดลวดที่สเตเตอร์.....	45

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.2.1 การทดสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าก่อนตัดแปลงขดลวดที่สเตเตอร์.....	45
4.2.2 การทดสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหลังตัดแปลงขดลวดที่สเตเตอร์.....	46
4.2.3 การเปรียบเทียบแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตก่อนและหลังตัดแปลงขดลวดสเตเตอร์....	47
4.3 การทดสอบกักเก็บพลังงานไฟฟ้าทั้งระบบ.....	48
4.3.1 กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ของกักเก็บ.....	49
4.3.2 ประสิทธิภาพของกักเก็บ.....	50
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ.....	53
5.1 สรุปผลการดำเนินงาน.....	53
5.2 ปัญหาและแนวทางแก้ไข.....	54
5.3 ข้อเสนอแนะในการพัฒนา.....	55
เอกสารอ้างอิง.....	56
ภาคผนวก ก รายละเอียดข้อมูลของความเร็วลมใน 1 สัปดาห์.....	57
ภาคผนวก ข รายละเอียดข้อมูลของทรานซิสเตอร์หมายเลข BD139.....	65
ภาคผนวก ค รายละเอียดข้อมูลของ ไอซีคุมค่าแรงดันหมายเลข LM7808.....	69
ภาคผนวก ง รายละเอียดข้อมูลของ ไอซีออปแอมป์หมายเลข TL084.....	76
ภาคผนวก จ รายละเอียดข้อมูลของรีเลย์ยี่ห้อ BOSCH.....	81
ภาคผนวก ฉ รายละเอียดข้อมูลของ LM2596.....	86
ประวัติผู้ดำเนินโครงการ.....	92

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ตารางเทียบความเร็วลมและชนิดลมของมาตราโบฟอร์ด	6
2.2 ตารางเทียบความเร็วลมของมาตราโบฟอร์ดกับปรากฏการณ์ธรรมชาติเหนือพื้นดิน	7
2.3 ศักยภาพพลังงานลมในประเทศไทย.....	8
4.1 ผลการทดสอบวัดความเร็วลมเฉลี่ยใน 1 วัน	39
4.2 ผลการวัดความเร็วลมเฉลี่ยระหว่างวันที่ 11 ถึง 17 เมษายน พ.ศ. 2559	44
4.3 ผลการทดสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าก่อนตัดแปลงขดลวดที่สเตเตอร์	45
4.4 ผลการทดสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหลังตัดแปลงขดลวดที่สเตเตอร์	46
4.5 เปรียบเทียบแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ความเร็วรอบต่างๆ	47
4.6 ผลการทดสอบกักเก็บผลิตไฟฟ้าทั้งระบบ	49
4.7 ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของกักเก็บลม	51



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ทิศลมเรียกเป็นองศาจากทิศจริง.....	5
2.2 กังหันลมชนิดแกนหมุนแนวตั้ง (Vetical Axis Wind Turbine).....	9
2.3 กังหันลมชนิดแกนหมุนแนวนอน (Horizontal Axis Turbine)	10
2.4 องค์ประกอบของกังหันลมแกนหมุนแนวนอน	10
2.5 การทำงานของใบพัด	12
2.6 ส่วนประกอบของใบพัด	12
2.7 ส่วนหน้าของใบพัด	13
2.8 ส่วนหลังของใบพัด	13
2.9 ระนาบแกนหมุน	13
2.10 ตัวเรียงกระแส 3 เฟสแบบบริดจ์.....	14
2.11 แผนภาพวงจรทอนระดับแรงดัน	15
2.12 แผนภาพวงจรทอนระดับแรงดันเมื่อสวิตช์นำกระแส	15
2.13 แผนภาพวงจรทอนระดับแรงดันเมื่อสวิตช์ไม่นำกระแส.....	16
2.14 แผงวงจรทอนระดับแรงดันรุ่น LM2596HV	16
2.15 แบบวงจรทอนระดับแรงดันรุ่น LM2596HV	16
2.16 วงจรอัดประจุแบตเตอรี่	17
2.17 พฤติกรรมที่เกิดขึ้นในการอัดประจุแบตเตอรี่	21
2.18 มอเตอร์กระแสตรง.....	22
2.19 หลักการสนามแม่เหล็กตัดผ่านขดลวด	23
2.20 โครงสร้างของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส ในเครื่องซักผ้าขนาดใหญ่.....	24
2.21 โครงสร้างของสเตเตอร์ในมอเตอร์ 3 เฟสที่ใช้	24
2.22 โครงสร้างของโรเตอร์ในมอเตอร์ 3 เฟสที่ใช้	25
2.23 การต่อขดลวดสเตเตอร์เข้ากับระบบไฟฟ้า 3 เฟส	26
2.24 รูปคลื่นกระแสไฟฟ้าในขดลวดสเตเตอร์	27
2.25 สนามแม่เหล็กในสเตเตอร์ในแต่ละเวลา.....	27
3.1 ฐานและเสากังหันลม.....	28
3.2 โครงยึดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	29
3.3 แบบท่อพีวีซี	29

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.4 ไบพัดที่ยึดติดกับแท่นเหล็ก	30
3.5 งานหมุนสำหรับยึดไบพัด	30
3.6 ไบพัดที่ยึดกับงานหมุน.....	31
3.7 แผนภาพแบบ โครงสร้างไบทางเสื่อ	31
3.8 ชุดทางเสื่อกึ่งหันลม	31
3.9 โครงสร้างของกึ่งหันลมที่นำมาประกอบเข้าด้วยกัน	32
3.10 การพันขดลวดแบบวงฟจำนวน 36 ขดลวด	32
3.11 การพันขดลวดเป็นแบบเวฟต่อแบบวาย (Y) 3 กลุ่มขนานกัน	33
3.12 การแบ่งขดลวดที่สเตเตอร์เป็น 12 ขด.....	33
3.13 การเชื่อมต่อกันของขดลวดที่สเตเตอร์ในแต่ละกลุ่ม	33
3.14 การเชื่อมต่อกันของขดลวดสเตเตอร์แต่ละเฟส	34
3.15 แผนภาพการทำงานของระบบ.....	35
3.16 วงจรควบคุมการอัดประจุแบตเตอรี่.....	36
3.17 ชุดควบคุมการอัดประจุแบตเตอรี่.....	37
4.1 เครื่องวัดความเร็วลมดิจิตอล Mastech รุ่น MS6252A	38
4.2 กราฟความเร็วลมเฉลี่ยใน 1 วัน	40
4.3 กราฟแสดงความเร็วลม วันที่ 11 เมษายน พ.ศ. 2559 เวลา 15.00 ถึง 15.10 น.	40
4.4 กราฟแสดงความเร็วลม วันที่ 12 เมษายน พ.ศ. 2559 เวลา 13.00 ถึง 13.10 น.	41
4.5 กราฟแสดงความเร็วลม วันที่ 13 เมษายน พ.ศ. 2559 เวลา 18.00 ถึง 18.10 น.	41
4.6 กราฟแสดงความเร็วลม วันที่ 14 เมษายน พ.ศ. 2559 เวลา 21.00 ถึง 21.10 น.	42
4.7 กราฟแสดงความเร็วลม วันที่ 15 เมษายน พ.ศ. 2559 เวลา 24.00 ถึง 24.10 น.	42
4.8 กราฟแสดงความเร็วลม วันที่ 16 เมษายน พ.ศ. 2559 เวลา 08.00 ถึง 08.10 น.	43
4.9 กราฟแสดงความเร็วลม วันที่ 17 เมษายน พ.ศ. 2559 เวลา 11.00 ถึง 11.10 น.	43
4.10 กราฟแสดงความเร็วลมเฉลี่ยใน 1 สัปดาห์ วันที่ 11 ถึง 17 เมษายน พ.ศ. 2559	44
4.11 การทดสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ความเร็วรอบต่างๆ	45
4.12 กราฟแสดงค่าแรงดัน ไฟฟ้าเอาต์พุตที่ความเร็วรอบต่างๆก่อนตัดแปลง	46
4.13 กราฟแสดงค่าแรงดัน ไฟฟ้าเอาต์พุตที่ความเร็วรอบต่างๆหลังตัดแปลง	47
4.14 กราฟแสดงการเปรียบเทียบแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตก่อนและหลังตัดแปลง	48

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.15 การทดสอบกังหันลมผลิตไฟฟ้าทั้งระบบ.....	48
4.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลม แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า.....	49
4.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมและกำลังไฟฟ้า.....	50
4.18 กราฟแสดงประสิทธิภาพของกังหันลม	52



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ

ในการแปลงพลังงานลมมาผลิตเป็นพลังงานไฟฟ้าโดยใช้กังหันลม ปัจจัยสำคัญที่สุด คือ ลม เนื่องจากลมในประเทศไทยมีความเร็วที่ค่อนข้างต่ำประมาณ 2 ถึง 3 เมตรต่อวินาที แต่กังหันลมผลิตไฟฟ้าทั่วไปที่มีขายในท้องตลาดมีการทำงานที่ใช้ความเร็วรอบสูงจึงไม่เหมาะสมกับความเร็วลมในประเทศไทยและมีราคาสูง เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุดในการผลิตกำลังไฟฟ้าจากแรงลม การเลือกใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าให้เหมาะสมกับความเร็วลมจึงเป็นสิ่งสำคัญ

เพื่อลดต้นทุนในการผลิตกังหันลมและออกแบบให้กังหันลมใช้งานได้อย่างเหมาะสมในโครงการนี้จึงเลือกใช้มอเตอร์เครื่องชักผ้าจากเครื่องซักผ้าเก่าและเลิกใช้งานแล้ว ซึ่งสามารถนำมาทำเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าได้ โดยที่มอเตอร์ชนิดนี้มีข้อดี คือ สามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้ที่ความเร็วรอบต่ำที่เหมาะสมกับความเร็วลมในประเทศไทย แต่คุณสมบัติของมอเตอร์เครื่องชักผ้าชนิดนี้โดยทั่วไปจะให้แรงดันไฟฟ้าที่ออกมาสูงเกินไปและมีกระแสไฟฟ้าต่ำ จึงไม่เหมาะกับการแปลงเป็นไฟฟ้ากระแสตรงเพื่ออัดประจุลงแบตเตอรี่ให้ได้อย่างรวดเร็ว จึงต้องมีการดัดแปลงโครงสร้างภายใน โดยการออกแบบพันขดลวดที่สเตเตอร์ใหม่ เพื่อลดแรงดันไฟฟ้าที่ผลิตได้ลงและเพิ่มกระแสไฟฟ้าให้สูงขึ้น ทำให้สามารถอัดประจุกำลังไฟฟาลงแบตเตอรี่ได้เร็วขึ้น

ดังนั้นโครงการนี้จึงได้ทำการศึกษาการทำกังหันลมผลิตไฟฟ้าจากมอเตอร์เครื่องชักผ้าเพื่อนำกำลังไฟฟ้าที่ได้มาอัดประจุลงแบตเตอรี่ 12 โวลต์ 45 แอมป์-ชั่วโมง และนำไปใช้ประโยชน์ทางด้านการเกษตรเป็นหลัก เพื่อลดต้นทุนค่าเชื้อเพลิงในการทำเกษตรกรรม

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

สร้างกังหันลมผลิตไฟฟ้าจากมอเตอร์เครื่องชักผ้าเพื่ออัดประจุกำลังไฟฟาลงแบตเตอรี่ 12 โวลต์ 45 แอมป์-ชั่วโมง

1.3 ขอบเขตของโครงการ

1. สร้างกังหันลมผลิตไฟฟ้าโดยใช้มอเตอร์เครื่องซักผ้ามาทำเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า โดยทำการดัดแปลงขดลวดที่สเตเตอร์
2. กังหันลมมีความสูงจากพื้น 2.5 เมตร ใบพัดกังหันลมมีจำนวน 4 ใบ ทำมาจากท่อพีวีซี ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 นิ้ว ยาว 1 เมตร หางเสือของกังหันลมทำมาจากแผ่นสังกะสีที่มีขนาด 0.9×0.6 ตารางเมตร
3. ควบคุมการอัดประจุกำลังไฟฟ้าง่ายแบบเตอรีขนาด 12 โวลต์ 45 แอมป์-ชั่วโมงโดยใช้ชุดวงจรอัดประจุแบบเตอรีแบบอัตโนมัติ
4. เปรียบเทียบแรงดันไฟฟ้าที่ได้ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าก่อนและหลังดัดแปลงขดลวดที่สเตเตอร์ที่ความเร็วรอบเท่ากัน
5. ทดสอบกังหันลมผลิตไฟฟ้า ณ บ้านภูหนาวารีสอร์ท อำเภอเขาค้อ จังหวัดเพชรบูรณ์

1.4 ขั้นตอนและแผนการดำเนินงาน

รายละเอียด	พ.ศ. 2558					พ.ศ. 2559			
	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.
1. ศึกษาค้นหาหาข้อมูลเกี่ยวกับการผลิตกำลังไฟฟ้าจากพลังงานลมโดยกังหันลม									
2. ทำการดัดแปลงเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและออกแบบฐานเสาใบพัด หางเสือ ของกังหันลม									
3. จัดเตรียมวัสดุอุปกรณ์ต่างๆที่ใช้ในโครงการ									
4. เชื่อมต่ออุปกรณ์ทั้งหมดเข้าด้วยกัน									
5. ทดสอบการทำงานของกังหันลมและปรับปรุงแก้ไข									
6. วิเคราะห์และสรุปผล									

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการ

1. ได้กักหน้ลผลิตกำลังไฟฟ้าความเร็วรอบต่ำ ที่สามารถทำงานได้ดีและเหมาะสมกับความเร็วลมในประเทศไทย

2. นำกำลังไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ไปใช้ประโยชน์ด้านเกษตรกรรม เป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้าให้กับปั้มน้ำกระแสตรง 12 โวลต์ ใช้ในการสูบน้ำหรือเป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ให้ความสว่าง เช่น หลอดแอลอีดีที่ให้ความสว่างในบ่อเลี้ยงกุ้งในเวลากลางคืน

1.6 งบประมาณ

1. ค่าอุปกรณ์ทางไฟฟ้า	
1.1 มอเตอร์เครื่องซักผ้า	1,700 บาท
1.2 ชุดวงจรควบคุมการอัดประจุแบตเตอรี่อัตโนมัติ	600 บาท
1.3 ตัวเรียงกระแสแบบบริดจ์ 3 เฟส 1,600 โวลต์ 150 แอมป์	450 บาท
1.4 แบตเตอรี่แบบตะกั่ว 12 โวลต์ 45 แอมป์-ชั่วโมง	2,000 บาท
1.5 มิเตอร์วัดระดับแรงดัน 3 ถึง 30 โวลต์	120 บาท
1.6 มิเตอร์วัดระดับแรงดัน 15 ถึง 120 โวลต์	340 บาท
1.7 เบรกเกอร์ 10 แอมป์	40 บาท
1.8 ถังพลาสติกก้นน้ำ 0.15 × 0.20 × 0.10 ลูกบาศก์เมตร	120 บาท
1.9 โหลดเทียม 135 วัตต์	180 บาท
1.10 สายไฟ	300 บาท
2. ค่าอุปกรณ์ทางกล	
2.1 เหล็กโครงสร้าง	1,000 บาท
2.2 ท่อพีวีซีขนาด 4 นิ้ว	500 บาท
2.3 แผ่นสังกะสีหนา 1 มิลลิเมตร	350 บาท
3. ค่าถ่ายเอกสารและเข้ารูปเล่มปริญญาบัตร	500 บาท
รวมเป็นเงินทั้งสิ้น (แปดพันสองร้อยบาทถ้วน)	<u>8,200 บาท</u>
หมายเหตุ: ถัวเฉลี่ยทุกรายการ	

บทที่ 2

หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การทำโครงการเรื่องกังหันลมผลิตไฟฟ้าต้นทุนต่ำ เป็นการนำของที่ไม่ได้ใช้แล้วกลับมาใช้ให้เกิดประโยชน์ โดยเน้นการผลิตกำลังไฟฟ้ามาจัดเก็บในแบตเตอรี่ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุดและนำกำลังไฟฟ้าไปใช้งานในการเกษตรต่างๆ โดยผู้ดำเนินโครงการได้ศึกษาค้นคว้าเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง โดยแบ่งหัวข้อได้ดังนี้

1. พลังงานลม
2. ทฤษฎีกังหันลมผลิตไฟฟ้า
3. วงจรเรียงกระแส
4. วงจรทอนระดับแรงดัน
5. วงจรอัดประจุแบตเตอรี่
6. แบตเตอรี่
7. เครื่องกำเนิดไฟฟ้า

2.1 พลังงานลม

พลังงานลมเป็นพลังงานธรรมชาติที่มีความสะอาดและบริสุทธิ์ใช้แล้วไม่มีวันหมดสิ้นไปจากโลกจึงทำให้พลังงานลมได้รับความสนใจในการศึกษาและพัฒนาให้เกิดประโยชน์กันอย่างกว้างขวาง ในขณะที่เดียวกันกังหันลมก็เป็นอุปกรณ์ชนิดหนึ่งที่สามารถนำพลังงานลมมาใช้ให้เป็นประโยชน์ได้ โดยเฉพาะในการผลิตกระแสไฟฟ้าและการสูบน้ำ ซึ่งมีการใช้งานกันมาแล้วอย่างแพร่หลายในอดีตที่ผ่านมาลม คือ กระแสอากาศที่เคลื่อนที่ในแนวนอน ส่วนกระแสอากาศ คือ อากาศที่เคลื่อนที่ในแนวตั้ง การเรียกชื่อลมนั้นเรียกตามทิศทางที่ลมนั้นๆพัดมา เช่น ลมที่พัดมาจากทิศเหนือเรียกว่า ลมเหนือและลมที่พัดมาจากทิศใต้เรียกว่า ลมใต้ เป็นต้น ในละติจูดต่ำไม่สามารถจะคำนวณหาความเร็วลม แต่ในละติจูดสูงสามารถคำนวณหาความเร็วลมได้

2.1.1 การวัดลม

มีวิธีการวัด 2 วิธี คือ วัดทิศลมและวัดความเร็วลม

1. ทิศลม อาจเรียกชื่อตามทิศต่างๆของเข็มนาฬิกาหรือเรียกเป็นองศาจากทิศจริง ปัจจุบันการวัดทิศลมนิยมวัดตามเข็มนาฬิกาและวัดเป็นองศา ถ้าวัดทิศลมด้วยเข็มนาฬิกา เข็มนาฬิกาจะถูกแบ่งออกเป็นทิศใหญ่ๆ 4 ทิศ คือ ทิศเหนือ ทิศใต้ ทิศตะวันออก ซึ่งทิศทั้ง 4 ทิศ เมื่อแบ่งย่อยอีกจะเป็น 8 ทิศ โดย

จะเพิ่มทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ทิศตะวันออกเฉียงใต้ ทิศตะวันตกเฉียงเหนือและทิศตะวันออกเฉียงใต้ นอกจากนี้ยังสามารถแบ่งจาก 8 ทิศ ให้ย่อยเป็น 16 ทิศ หรือ 32 ทิศ ได้อีก แต่การรายงานทิศนั้น มักนิยมรายงานจำนวนทิศเพียง 8 หรือ 16 ทิศ เท่านั้น ส่วนการวัดทิศลมที่เป็นองศาบอกมุมของลมจากทิศจริง ในลักษณะที่เวียนไปตามเข็มนาฬิกา ใช้สเกลจาก 0 องศา ไปจนถึง 360 องศา เช่น ลมที่อยู่ในทิศ 0 องศา หรือลมที่อยู่ในทิศ 360 องศา เป็นทิศตะวันออก ลมที่อยู่ในทิศ 45 องศา เป็นทิศตะวันออกเฉียงเหนือ, ลมในทิศ 90 องศา เป็นทิศตะวันออก, ลมในทิศ 135 องศา เป็นทิศตะวันออกเฉียงใต้, ลมทิศ 180 องศา เป็นทิศใต้, ลมทิศ 225 องศา เป็นทิศตะวันตกเฉียงใต้, ลมทิศ 270 องศา เป็นทิศตะวันตกและลมทิศ 315 องศา เป็นทิศตะวันตกเฉียงเหนือดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ทิศลมเรียกเป็นองศาจากทิศจริง [1]

2. ความเร็วลม คือ การเคลื่อนที่ของอากาศที่ทำให้เกิดแรง หรือความกดที่ผ่านจุดที่กำหนดให้บนพื้นผิวโลกและแรงหรือความกดเป็นสัดส่วนกับกำลัง 2 ของความเร็วลม อธิบายได้ด้วยสมการที่ (2.1)

$$P = kv^2 \quad (2.1)$$

เมื่อ P คือ ความกดอากาศที่เกิดจากการกระทำของลม (ปอนด์ต่อตารางฟุต)

v คือ ความเร็วลม (นอต)

k คือ ค่าคงที่ของหน่วยที่ใช้

ถ้าความกดอากาศมีหน่วยเป็นปอนด์ต่อตารางฟุตและความเร็วลมมีหน่วยเป็นนอต (1 นอต หมายถึง 1 ไมล์ทะเล (6,080.20 ฟุต) ต่อชั่วโมง ซึ่งเป็นหน่วยมาตรฐานความเร็วลมที่ใช้ใน

สหรัฐอเมริกา) สมการจะเป็น $P = 0.0053v^2$ โดยประมาณสำหรับผิวพื้นที่ราบเรียบ แต่ถ้าความเร็วลมมีหน่วยเป็นไมล์ต่อชั่วโมง ค่า P ที่ได้จะเปลี่ยนค่าไปเป็น $P = 0.004v^2$ ด้วยเหตุนี้แรงที่เกิดขึ้นเนื่องจากการกระทำของลม ทำให้สามารถหาความเร็วลมได้ โดยที่ไม่ต้องอาศัยเครื่องมือใดๆ แต่จะสังเกตได้จากปรากฏการณ์ของวัตถุที่อยู่รอบๆ ดังนั้น เพื่อวัตถุประสงค์ดังกล่าวจึงได้มีการกำหนดมาตราความเร็วลมขึ้น เรียกว่ามาตราโบฟอร์ต (Beaufort Scale) สำหรับตรวจลมในทะเล ต่อมาได้ถูกดัดแปลงนำมาใช้ทั้งบนบกและในทะเล มาตราโบฟอร์ตใช้เปรียบเทียบกับสิ่งที่กีดขวางไม่ว่าบนบกและในทะเล โดยสิ่งที่กีดขวางต่างๆ ได้แก่ ใบไม้ สายโทรเลข สายโทรศัพท์ สิ่งปรักหักพังต่างๆ และคลื่นในทะเล เกณฑ์ที่ใช้กำหนดความเร็วลม ได้มาจากการสังเกตกำลังลมเหนือพื้นดินและในทะเล มาตราโบฟอร์ตจะเริ่มต้นจากมาตราที่ 0 ไปจนถึงมาตราที่ 17 ความเร็วลมมีค่าเพิ่มขึ้น คือ ที่มาตรา 0 จะเป็นเขตลมสงบ ไปจนถึงมาตราที่ 17 ลมมีกำลังแรงมากจนกลายเป็นพายุเฮอริเคน ปัจจุบันมาตราโบฟอร์ตถูกนำมาใช้น้อยลง โดยเฉพาะสถานีบนบก ตารางที่ 2.1 เป็นตารางเทียบความเร็วลมและชนิดลมของมาตราโบฟอร์ต ส่วนตารางที่ 2.2 เป็นตารางเทียบความเร็วลมของมาตราโบฟอร์ตกับปรากฏการณ์ธรรมชาติเหนือพื้นดิน

ตารางที่ 2.1 ตารางเทียบความเร็วลมและชนิดลมของมาตราโบฟอร์ต [1]

มาตราโบฟอร์ต	ความเร็วลม		ชนิดลม
	นอต	กิโลเมตรต่อชั่วโมง	
0	1	1.6	ลมสงบ
1	1-3	1.6-4.8	ลมเบา
2	4-6	6.4-8.6	ลมอ่อน
3	7-10	12.0-19.2	ลมเฉื่อย
4	11-21	20.8-28.8	ลมปานกลาง
5	17-21	30.4-38.4	ลมกระโชก
6	22-27	40.0-38.4	ลมแรง
7	28-33	51.2-60.8	พายุปานกลาง
8	34-40	62.4-73.6	พายุกระโชก
9	41-47	75.2-86.4	พายุแรง
10	48-55	88.0-100.8	พายุจัด
11	56-63	102.4-115.2	พายุจัด
12	64-71	116.8-131.2	เฮอริเคน
13	72-80	132.8-147.3	เฮอริเคน
14	81-89	148.8-164.8	เฮอริเคน

ตารางที่ 2.2 ตารางเทียบความเร็วลมของมาตราโบฟอร์ตกับปรากฏการณ์ธรรมชาติเหนือพื้นดิน [1]

มาตราโบฟอร์ต	ปรากฏการณ์ธรรมชาติเหนือพื้นดิน
0	ลมสงบ ควีนลอยขึ้นตรง
1	ทิศทางลมสังเกตได้จากควีน แต่ไม่ใช่จากศรลม
2	รู้สึกมีลมปะทะหน้า ใบไม้เคลื่อนไหว ศรลมเริ่มหันทิศทางไปตามลม
3	ใบไม้และกิ่งไม้เล็กๆเคลื่อนไหวตลอดเวลาตรงเคลื่อนตามลม
4	ฝุ่นฟุ้ง กระดาษปลิว กิ่งไม้เล็กๆ โยก
5	ต้น ไม้เล็กๆเริ่มโยก แหล่งน้ำบนบก เช่น แม่น้ำ ลำคลอง หนอง บึงเป็นระลอก
6	กิ่งไม้ใหญ่โยก สายโทรเลขมีเสียงดังจากลม ไม่สะดวกที่จะใช้ร่วม
7	ต้น ไม้โยก เดินต้านลม ไม่สะดวก
8	กิ่งไม้หัก เดินไปข้างหน้าไม่สะดวก
9	สิ่งก่อสร้างเสียหายเล็กน้อย
10	ต้น ไม้ถอนรากสิ่งก่อสร้างเสียหายมาก
11	สิ่งก่อสร้างเสียหายเป็นบริเวณกว้าง
12-17	สิ่งก่อสร้างเสียหายหนัก

2.1.2 ศักยภาพพลังงานลมในประเทศไทย

ประเทศไทยตั้งอยู่ในเขตเส้นศูนย์สูตร ลมที่เกี่ยวข้องกับภูมิอากาศของไทย คือ ลมประจำปี ลมประจำฤดูและลมประจำเวลา

ลมประจำปี เป็นลมที่พัดอยู่เป็นประจำตลอดทั้งปีในภูมิภาคส่วนต่างๆของโลกมีความแตกต่างกันไปในแต่ละเขตละติจูดของโลก เนื่องจากประเทศไทยอยู่ในบริเวณเขตศูนย์สูตร อิทธิพลของลมประจำปีจึงไม่มีประโยชน์ในการนำมาใช้

ลมประจำฤดู เป็นลมที่พัดเปลี่ยนทิศทางตามฤดูกาล เรียกว่า ลมมรสุม ได้แก่

1. ลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ หรือลมมรสุมฤดูร้อน พัดมาจากมหาสมุทรอินเดียขึ้นสู่ทวีปเอเชีย โดยพัดผ่านประเทศไทยช่วงเดือนเมษายนถึงเดือนกันยายน

2. ลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือหรือลมมรสุมฤดูหนาวพัดจากประเทศจีนลงมาจนถึงบริเวณอ่าวไทยตอนใต้ โดยจะพัดในราวเดือนตุลาคมถึงเดือนกุมภาพันธ์

ลมประจำเวลา เป็นลมที่เกิดขึ้นเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงความกดอากาศ ระหว่าง 2 บริเวณในระยะเวลานั้นๆ ได้แก่ ลมบก ลมทะเล ลมภูเขาและลมหุบเขา

จากภูมิประเทศของประเทศไทย ความเร็วลมเฉลี่ยของประเทศไทยอยู่ในระดับปานกลาง-ต่ำ มีความเร็วลมเฉลี่ยต่ำกว่า 4 เมตรต่อวินาที [1] ดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ศักยภาพพลังงานลมในประเทศไทย [1]

พื้นที่	ความเร็วลมเฉลี่ย (เมตรต่อวินาที)	ระดับกำลัง
- พื้นที่บริเวณชายฝั่งภาคใต้ด้านอ่าวไทย ตั้งแต่ จังหวัดนครศรีธรรมราช สงขลา ปัตตานี	6.4	3
- เทือกเขาในจังหวัดเพชรบุรี กาญจนบุรี และตาก ที่เป็นรอยต่อประเทศพม่า	5.6	2
- บริเวณพื้นที่สูงที่เป็นเทือกเขาในภาคใต้	5.6	2
- พื้นที่สูงในเขตอุทยานแห่งชาติดอยอินทนนท์ จังหวัดเชียงใหม่	5.1	2
- พื้นที่ชายฝั่งทะเลอ่าวไทย จังหวัดชลบุรี ระยอง เพชรบุรี ประจวบคีรีขันธ์ ชุมพร สุราษฎร์ธานี นครศรีธรรมราช	4.4	1
- พื้นที่ชายฝั่งทะเลอันดามัน จังหวัดสตูล ตรัง กระบี่ ภูเก็ต พังงา	4.4	1
- ภาคเหนือ จังหวัดเชียงใหม่	4.4	1
- ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ที่จังหวัดเพชรบูรณ์ และเลย	4.4	1

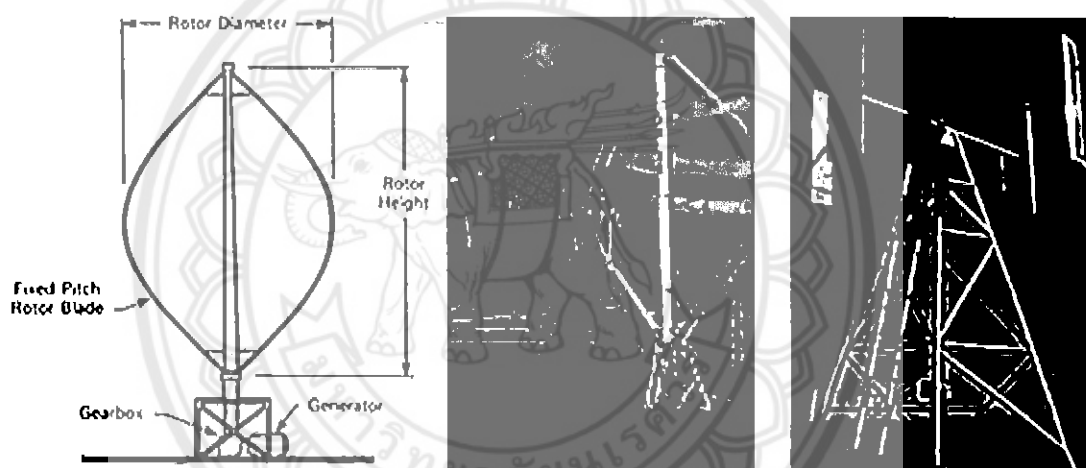
2.2 ทฤษฎีกังหันลมผลิตไฟฟ้า

กังหันลม (Wind Turbine) คือ ชุดเครื่องจักรกลอย่างหนึ่งที่สามารถเปลี่ยนพลังงานจลน์จากการเคลื่อนที่ของลมให้เป็นพลังงานกลและนำพลังงานไฟฟ้ามาใช้ในการผลิตไฟฟ้า โดยการออกแบบกังหันลมจะต้องอาศัยความรู้ทางด้านพลศาสตร์ของลมและหลักวิศวกรรมในแขนงต่างๆ เพื่อให้ได้กำลัง พลังงานและประสิทธิภาพสูงสุด

2.2.1 ชนิดของกังหันลมผลิตไฟฟ้า

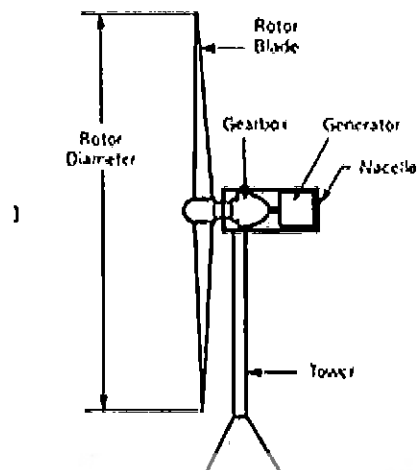
โดยทั่วไปกังหันลมสามารถแบ่งออกเป็นได้ 2 ชนิด ตามแกนหมุนของกังหันลม ได้แก่ กังหันลมแกนหมุนแนวตั้งและกังหันลมแกนหมุนแนวนอนซึ่งทั้ง 2 ชนิดจะประกอบไปด้วย อุปกรณ์ในการทำงาน ผลิตไฟฟ้าที่คล้ายกัน เช่น ชุดใบพัด ชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและชุดเสา โดยจะมีความแตกต่างกันตรงการวางชุดแกนหมุนใบพัด

1. กังหันลมชนิดที่แกนหมุนในแนวตั้ง (Vertical Axis Wind Turbine) เป็นแบบกังหันลมที่แกนหมุนจะตั้งฉากกับพื้นราบหรือตั้งฉากกับทิศทางของการเคลื่อนที่ของลม โดยมีใบพัดยึดติดขนานกับแกนหมุนทำหน้าที่รับแรงลมที่เคลื่อนตัวมากระทบทำให้เกิดการหมุนของใบพัด โดยสามารถรับแรงลมในแนวนอนได้ทุกทิศทาง กังหันลมชนิดนี้ไม่ค่อยได้รับความนิยมใช้ในเชิงพาณิชย์แสดงได้ดังรูปที่ 2.2



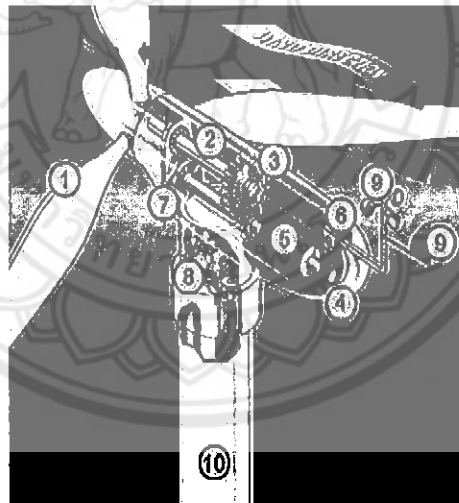
รูปที่ 2.2 กังหันลมชนิดแกนหมุนแนวตั้ง (Vertical Axis Wind Turbine) [2]

2. กังหันลมชนิดที่แกนหมุนในแนวนอน (Horizontal Axis Turbine) จะเป็นกังหันลมที่มีแกนหมุนขนานกับพื้นราบหรือขนานกับทิศทางของการเคลื่อนที่ของลม โดยมีใบพัดยึดติดตั้งฉากกับแกนหมุน ทำหน้าที่รับแรงลมที่เคลื่อนที่ตัวมากระทบทำให้เกิดการหมุนของใบพัด โดยกังหันลมชนิดแกนหมุนแนวนอนแบบสามใบพัดซึ่งมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง เป็นกังหันลมที่ได้รับความนิยมใช้งานเชิงพาณิชย์อย่างแพร่หลายมากที่สุดของกังหันลมที่มีการใช้งานในปัจจุบันแสดงได้ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 กังหันลมชนิดแกนหมุนแนวนอน (Horizontal Axis Turbine) [2]

องค์ประกอบที่ประกอบขึ้นเป็นกังหันลมผลิตไฟฟ้าในหนึ่งชุด ทั้งหมดจะประกอบด้วย 4 องค์ประกอบหลักใหญ่ๆ ได้แก่ ชุดแกนหมุนใบพัด (Rotor Blade) ชุดห้องเครื่อง (Nacelle) ชุดเสา (Tower) และรากฐาน (Foundation) ดังรูปที่ 2.4



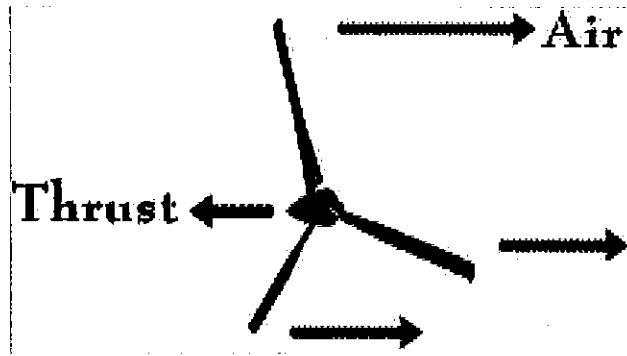
รูปที่ 2.4 องค์ประกอบของกังหันลมแกนหมุนแนวนอน [2]

1. ใบพัดเป็นตัวรับพลังลมและเปลี่ยนให้เป็นพลังงานกลซึ่งยึดติดกับชุดแกนหมุนและส่งแรงจากแกนหมุนไปยังเพลากลหมุน
2. เพลากลหมุนรับแรงจากแกนหมุนใบพัดและส่งผ่านระบบกำลัง เพื่อหมุนและปั่นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

3. ห้องส่งกำลังทำหน้าที่เป็นระบบปรับเปลี่ยนและควบคุมความเร็วในการหมุนระหว่างเพลาแกนหมุนกับเพลาของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า
4. ห้องเครื่องซึ่งมีขนาดใหญ่และมีความสำคัญต่อกังหันลมใช้บรรจุระบบต่างๆของกังหันลม เช่น ระบบเกียร์ เครื่องกำเนิดไฟฟ้า เบรกและระบบควบคุม
5. เครื่องกำเนิดไฟฟ้าทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานกลเป็นพลังงานไฟฟ้า
6. ระบบควบคุมไฟฟ้าซึ่งใช้ระบบคอมพิวเตอร์ซึ่งเป็นตัวควบคุมของการทำงานและจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้าไปสู่ระบบ
7. ระบบเบรกเป็นระบบกลไกเพื่อใช้ควบคุมการหยุดหมุนของใบพัดและเพลาแกนหมุนของกังหัน เมื่อได้รับความเร็วลมเกินความสามารถของกังหันที่จะรับได้และในระหว่างการซ่อมบำรุงรักษา
8. แกนคอกหมุนรับทิศทางการลม เป็นตัวควบคุมการหมุนห้องเครื่องเพื่อให้ใบพัดรับทิศทางลมโดยระบบอิเล็กทรอนิกส์ ที่เชื่อมต่อให้มีความสัมพันธ์ กับหางเสือรับทิศทางลมที่อยู่ด้านบนของเครื่อง
9. เครื่องวัดความเร็วลมและทิศทางลมซึ่งเชื่อมต่อสายสัญญาณเข้าสู่ระบบคอมพิวเตอร์เพื่อเป็นตัวชี้ขนาดของความเร็วและทิศทางของลม เพื่อที่คอมพิวเตอร์จะได้ควบคุมกลไกอื่นๆได้ถูกต้อง
10. เสากังหันลมเป็นตัวแบกรับส่วนที่เป็นตัวเครื่องที่อยู่ข้างบน [2]

2.2.2 ทฤษฎีใบพัด

กำลังของใบพัด (Blade Power) ใบพัดสร้างขึ้นให้มีลักษณะหรือรูปร่างเป็นพัดลมใบแพนอากาศคล้ายกับลักษณะของปีกเครื่องบิน (NACA 4415) เมื่อใบพัดเกิดการหมุนโดยเป็นการหมุนของเครื่องยนต์ ใบพัดก็จะสร้างแรงยกไปทางด้านหน้าของเครื่องบินและแรงยกส่วนนี้โดยเรียกว่า กำลังผลึก ที่จะทำให้เครื่องบินเคลื่อนที่ไปข้างหน้า มีใบพัดแบบที่ใช้ดึงเครื่องบิน ผ่าน ไปในอากาศ ใบพัดประเภทนี้เรียกว่า ใบพัดแบบเครื่องลาก (Tractor) ดังรูปที่ 2.5

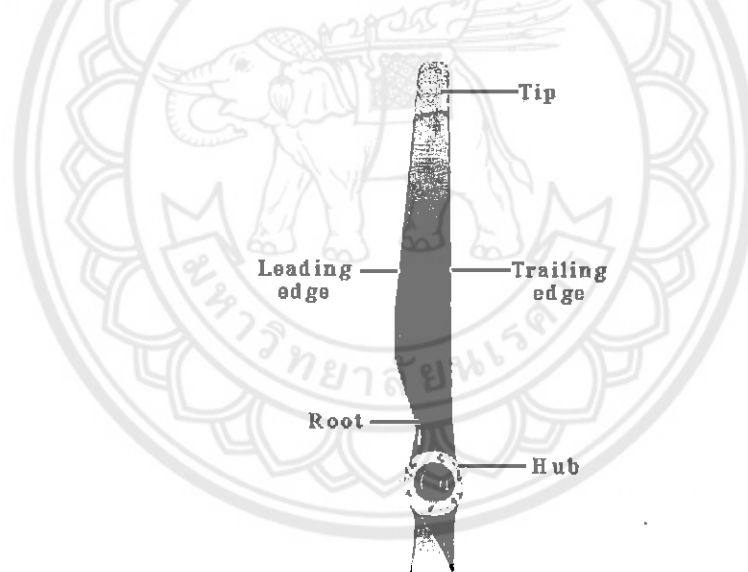


รูปที่ 2.5 การทำงานของใบพัด [3]

ขอบใบพัด (Leading Edge) คือ ส่วนแรกของใบพัดที่หมุนตัดกับอากาศ เมื่อใบพัดหมุนตัดอากาศ อากาศก็จะไหลผ่านบนด้านหน้าของใบพัดและส่วนที่เป็นส่วนโค้งของใบพัด

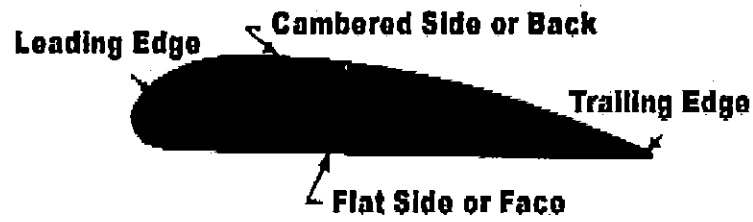
ก้านใบพัด (Blade Shank) คือ ส่วนกลีบใบพัดที่อยู่กึ่งกลางหรือส่วนที่อยู่ติดกับส่วนตรงกลาง (Hub)

ปลายใบพัด (Blade Tip) คือ ส่วนปลายสุดของใบพัดดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 ส่วนประกอบของใบพัด [3]

หน้าใบพัด (Blade Face) คือ ส่วนล่างของใบพัดหรือส่วนล่างของพัดลมใบแพนอากาศ (Airfoil) แต่อาจเรียกว่าเป็นด้านหลังของใบพัดดังรูปที่ 2.7



Cross section of a propeller blade.

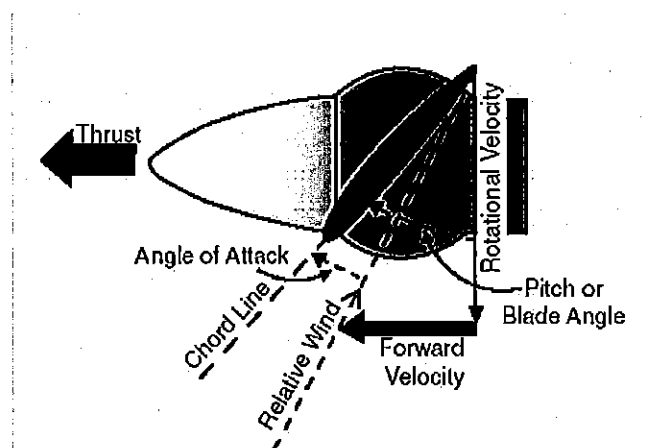
รูปที่ 2.7 ส่วนหน้าของใบพัด [3]

หลังใบพัด (Thrust Face) คือ ส่วนที่มีความโค้งพื้นผิวดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 ส่วนหลังของใบพัด [3]

ระนาบของแกนหมุน (Plane of Rotation) คือ ระนาบจินตนาการของการหมุนของใบพัดที่ตั้งฉากกับแกนของเครื่องยนต์ ระนาบนี้จะเป็นระนาบวงกลมตามที่ใบพัดหมุนดังรูปที่ 2.9



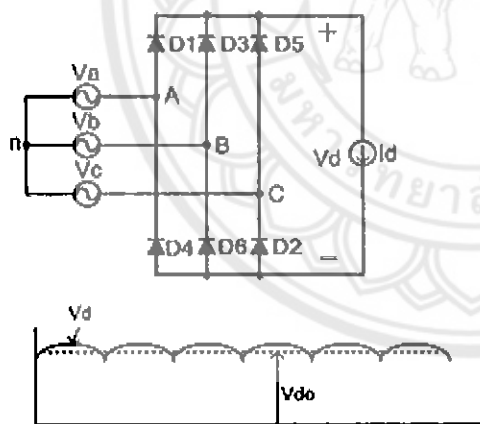
รูปที่ 2.9 ระนาบแกนหมุน [3]

มุมใบพัด (Blade Angle) คือ มุมที่เกิดจากส่วนของด้านหลังของใบพัดกับที่ระนาบการหมุนของใบพัด มุมที่เกิดขึ้นตลอดระยะเวลาความยาวของใบพัด ตั้งแต่โคนถึงปลายใบพัด จะไม่เท่ากัน เหตุผลในการที่มุมตลอดใบพัดมีค่าต่างกัน เพราะวาระยะความยาวของใบพัดจากแกนศูนย์กลางหมุนไม่เท่ากัน ทำให้ความเร็วของใบพัดแต่ละส่วนมีความเร็วไม่เท่ากัน ซึ่งมีผลกับแรงที่เกิดขึ้น ดังนั้นการออกแบบจึงต้องการให้ทุกๆส่วนของใบพัดมีมุมปะทะ (Angle of Attack) ที่มีประสิทธิภาพที่สุดที่สามารถสร้างแรงที่ใช้ขับเคลื่อน (Thrust) ตามความเร็วรอบที่ออกแบบมา

เหตุผลในการวางส่วนต่างๆที่มุมต่างกัน เพราะว่าส่วนย่อยต่างๆของใบพัดนั้นมีความเร็วในการหมุนที่ต่างกัน ส่วนของใบพัดที่อยู่ด้านในติดกับศูนย์กลางจะมีความเร็วที่ช้ากว่า ส่วนที่อยู่ไกลออกไปที่ส่วนปลายของใบพัด ถ้าหากว่าทุกส่วนตลอดความยาวของใบพัดมีมุมเท่ากันหมด ทิศทางของลมที่กระทบกับใบพัดก็จะไม่กระทบกับใบพัดที่มีมุมปะทะ (Angle of Attack) ที่เท่ากัน เป็นเพราะความเร็วของใบพัดตลอดระยะเวลาความยาวไม่เท่ากัน [3]

2.3 วงจรเรียงกระแสสามเฟสแบบบริดจ์

ตัวเรียงกระแสสามเฟสแบบบริดจ์แสดงดังรูปที่ 2.10 นิยมใช้กับงานที่ส่งกำลังไฟฟ้าสูง ซึ่งอาจใช้หรือไม่ใช้หม้อแปลงก็ได้และให้แรงดันด้านออกที่มีความพลั่ว 6 ลูกใน 1 คาบสัญญาณ



(ก) แผนภาพวงจรเรียงกระแส [4]



(ข) ตัวเรียงกระแสรุ่น MDS150A [5]

รูปที่ 2.10 ตัวเรียงกระแส 3 เฟสแบบบริดจ์

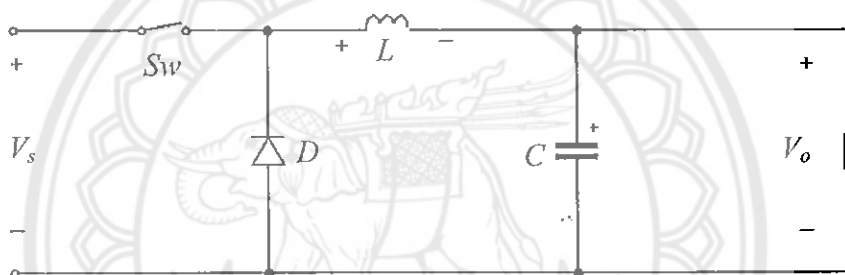
จากรูปที่ 2.10(ก) หมายเลขไค โอคแต่ละตัวถูกกำหนดตามลำดับการนำกระแส โดยไค โอคแต่ละตัวมีช่วงการนำกระแสเท่ากับ $2\pi/3$ (120 องศา) ไค โอคจะนำกระแสเป็นคู่ๆ โดยคู่ที่จะนำกระแส คือ คู่ที่ถูกคกคร่อมด้วยแรงดันไฟฟ้าระหว่างสาย (Line-to-line Voltage) หรือที่เรียกสั้นๆว่าแรงดันสาย (Line Voltage) ที่มีค่าสูงสุดในขณะนั้น [4] ลำดับการนำกระแสได้แก่

D1-D2 \longrightarrow D3-D2 \longrightarrow D3-D4 \longrightarrow D5-D4 \longrightarrow D5-D6 \longrightarrow D1-D6

จากรูป 2.10(ข) คุณสมบัติของตัวเรียงกระแส 3 เฟสแบบบริดจ์ จะมีพิกัดกระแสขนาด 150 แอมป์ และแรงดันขนาด 1600 โวลต์ [5] เหมาะสำหรั้นำไปใช้กับการแปลงไฟฟ้ากระแสสลับแบบ 3 เฟส ให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง เช่นในเครื่องกำเนิดกระแสไฟฟ้าที่ใช้กับกังหันลม

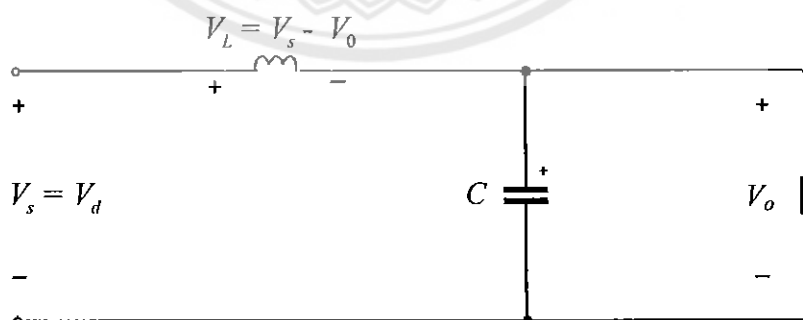
2.4 วงจรทอนระดับแรงดัน

หลักการทํางานของวงจรทอนระดับแรงดันที่ออกแบบให้ได้แรงดันไฟฟ้าด้านออกตามที่ต้องการ คือ ต้องเริ่มจากที่ว่าแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำในแต่ละคาบเวลามีค่าเท่ากับศูนย์จากนั้นจะสามารถหาค่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำได้การวิเคราะห์การทํางานของสวิตช์ในแต่ละ โหมบจะต้องวิเคราะห์ในสภาวะอยู่ตัวแสดงได้ดังรูปที่ 2.11



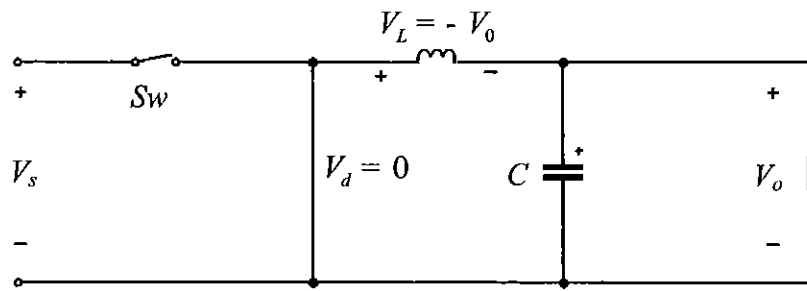
รูปที่ 2.11 แผนภาพวงจรทอนระดับแรงดัน [6]

ขณะสวิตช์นำกระแสไฟฟ้าที่ไหลจากแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงจะไหลผ่านสวิตช์ผ่านตัวเหนี่ยวนำไปยัง โหลด โดยที่กระแสไฟฟ้าส่วนหนึ่งจะไปเก็บที่ตัวเก็บประจุแสดงได้ดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 แผนภาพวงจรทอนระดับแรงดันเมื่อสวิตช์นำกระแส [6]

เมื่อสวิตช์ไม่นำกระแสไดโอดจะถูกไบอัสตรง (Forward Bias) ให้นำกระแสทำให้อากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำเกิดการไหลอย่างต่อเนื่องแสดงได้ดังรูปที่ 2.13



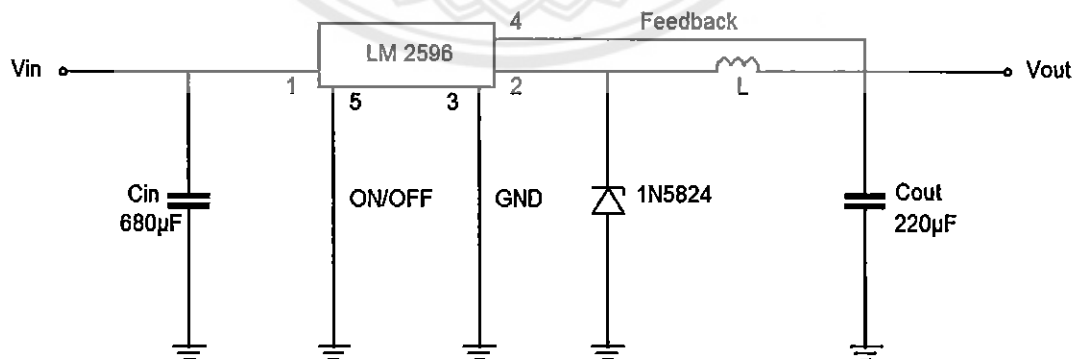
รูปที่ 2.13 แผนภาพวงจรทอนระดับแรงดันเมื่อสวิตช์ไม่นำกระแส [6]

การออกแบบวงจรทอนระดับแรงดันนั้นสามารถออกแบบให้ทำงานอยู่ในขอบเขตของ โหมดกระแสไม่ต่อเนื่องเพื่อที่จะสามารถควบคุมกระแสได้โดยง่าย [6]

แผงวงจรทอนระดับแรงดันและแผนภาพวงจรทอนระดับแรงดันที่นำมาใช้ในโครงการ ดังรูปที่ 2.14 และรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.14 แผงวงจรทอนระดับแรงดันรุ่น LM2596HV [7]



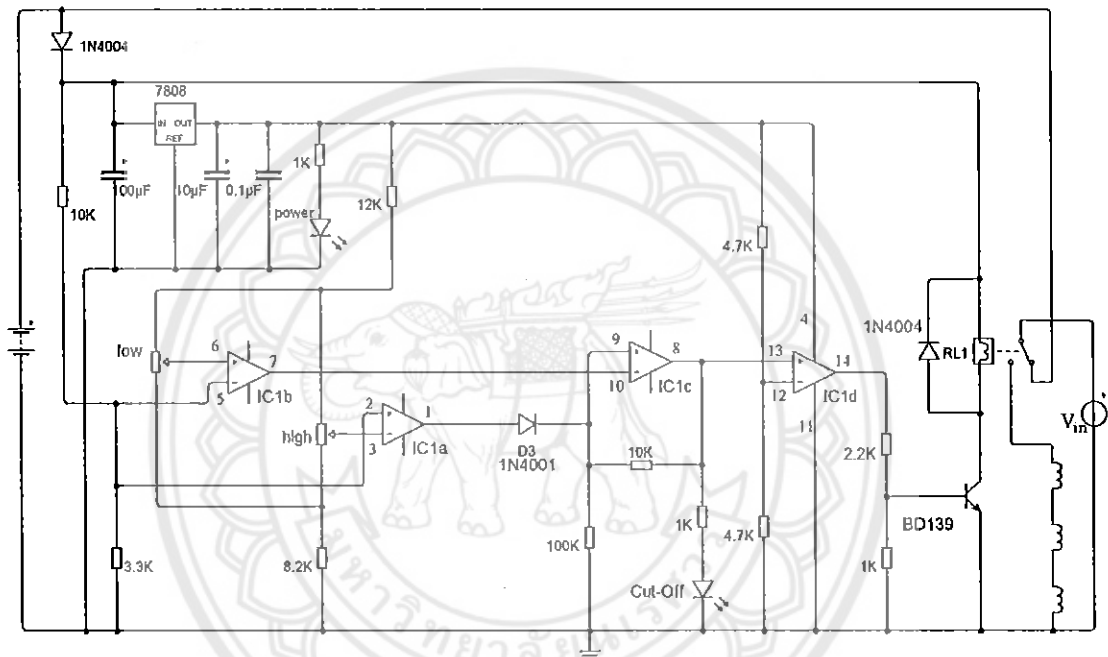
รูปที่ 2.15 แบบวงจรทอนระดับแรงดันรุ่น LM2596HV

ที่มา: <http://www.ti.com/product/LM2596>

จากรูปที่ 2.14 คุณสมบัติของแผงวงจรทอนระดับแรงดันหมายเลข LM2596HV มีความกว้าง 21.5 มิลลิเมตร ยาว 43.6 มิลลิเมตร และสูง 13.5 มิลลิเมตร แรงดันไฟฟ้าอินพุต 4.5 โวลต์ ถึง 60 โวลต์แรงดันไฟฟ้าเอาต์พุต 3 โวลต์ ถึง 35 โวลต์ และพิกัดกระแสเอาต์พุต 3 แอมป์ [7]

2.5 วงจรอัดประจุแบตเตอรี่

ออกแบบวงจรอัดประจุแบตเตอรี่แบบอัตโนมัติที่ใช้ในโครงการนี้แสดงได้ดังแผนภาพดังรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.16 วงจรอัดประจุแบตเตอรี่

ที่มา: <http://www.thebackshed.com/Windmill/articles/TL084-Controller.asp>

วงจรควบคุมการอัดประจุแบตเตอรี่แบบอัตโนมัติ เมื่อระดับแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่มีค่าสูงถึง 13 โวลต์ ชุดวงจรควบคุมจะสั่งให้รีเลย์เปลี่ยนหน้าสัมผัส เพื่อตัดกระแสอัดประจุแบตเตอรี่มาที่โหลดเทียมและเมื่อระดับแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่ลดลงต่ำถึง 11.8 โวลต์ ชุดวงจรควบคุมจะสั่งให้รีเลย์เปลี่ยนหน้าสัมผัสเพื่อกลับมาอัดประจุแบตเตอรี่อีกครั้ง ในวงจรนี้แบ่งการทำงานออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้

1. วงจรควบคุมแรงดันเอาต์พุตคงที่ โดยให้แรงดันเอาต์พุต 8 โวลต์ เพื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับขา V_{CC}^+ ของออปแอมป์ จากวงจรจึงได้ใช้ไอซีคุมค่าแรงดันหมายเลข LM7808 และกรองกระแสด้วยตัวเก็บประจุขนาด 35 V/100 ไมโครฟารัด ส่วนตัวเก็บประจุ 16 V/0.1 ไมโครฟารัด โดยทำหน้าที่ป้องกันสัญญาณรบกวนความถี่สูงที่เข้ามาทำความเสียหายให้กับไอซี

2. วงจรขยายแรงดันไฟฟ้า โดยใช้โอปอแอมป์เพื่อขยายสัญญาณแรงดันไฟฟ้าให้กับทรานซิสเตอร์ในการทำหน้าที่เป็นสวิทช์ เพื่อสั่งให้รีเลย์เปลี่ยนหน้าสัมผัส เมื่อแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่สูงถึง 13 โวลต์ ปรับตัวต้านทานด้านสูงไว้ที่ 27 เพอร์เซ็นต์ หรือ 2,700 โอห์ม และเมื่อแรงดันไฟฟ้าแบตเตอรี่ต่ำกว่า 11.8 โวลต์ ปรับตัวต้านทานด้านต่ำไว้ที่ 7 เพอร์เซ็นต์ หรือ 700 โอห์ม จากวงจรใช้ไอซีหมายเลข TL084 ซึ่งประกอบด้วยวงจรอปอแอมป์ทั้งหมด 4 ตัวอยู่ในใน ขณะที่แรงดันไฟฟ้าแบตเตอรี่ถึง 13 โวลต์ อปอแอมป์ a มีสัญญาณอินพุตเหมือนกัน ($V_3=V_2$) ดังนั้นแรงดันเอาต์พุต (V_1) มีค่าเป็น 0 ในขณะที่อปอแอมป์ b จะมีสัญญาณอินพุตที่แตกต่างกัน ($V_5 \neq V_6$) ดังนั้นแรงดันเอาต์พุตจะมีค่า (V_7) = $A_0(V_5-V_6)$ โดย V_1 และ V_7 ทำหน้าที่เป็นสัญญาณอินพุตให้กับอปอแอมป์ c (V_9 และ V_{10}) และอปอแอมป์ c ทำการส่งสัญญาณแรงดันเอาต์พุต (V_8) เป็นสัญญาณอินพุตให้กับอปอแอมป์ d (V_{12}) และสัญญาณอินพุต (V_{13}) ของอปอแอมป์ d จะรับสัญญาณมาจากแรงดันเอาต์พุตของไอซีคุมค่าแรงดันหมายเลข LM7808 ส่งผลทำให้อปอแอมป์ d มีแรงดันเอาต์พุต (V_{14}) เป็น $A_0(V_{12}-V_{13})$ มีค่าแรงดันเอาต์พุตประมาณ 6.5 โวลต์ จึงส่งผลให้ค่าแรงดันตกคร่อม V_{BE} ของทรานซิสเตอร์นั้นมีค่ามากกว่า 0.7 โวลต์ ทำให้ทรานซิสเตอร์ทำงานในสถานะนำกระแส รีเลย์จึงเปลี่ยนหน้าสัมผัสเพื่อตัดกระแสอัดประจุแบตเตอรี่มาที่โหลดเทียม และในขณะที่แรงดันแบตเตอรี่ต่ำถึง 11.8 โวลต์ อปอแอมป์ d จะมีแรงดันเอาต์พุต (V_{14}) เป็น 0 ดังนั้นทรานซิสเตอร์จะทำงานในสถานะไม่นำกระแส ส่งผลให้รีเลย์เปลี่ยนหน้าสัมผัสกลับมาอัดประจุแบตเตอรี่อีกครั้ง

2.6 แบตเตอรี่แบบตะกั่ว

แบตเตอรี่แบบตะกั่วแบบแห้งแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ ประเภทที่ใช้เจลเป็นวัสดุอุดขั้วกรด เรียกว่า แบตเตอรี่แบบเจล (Gel Battery) และประเภทที่ใช้แผ่นซีลิกาไฟเบอร์ต้องเป็นตัวดูดซึมที่เรียกว่า แบตเตอรี่แบบเอจีเอ็ม (AGM Battery) ซึ่งลักษณะการแบ่งประเภทแบบนี้เป็นการแบ่งตามลักษณะ โครงสร้างทางกายภาพ ของแบตเตอรี่แต่การแบ่งประเภทของแบตเตอรี่แบบตะกั่วยังแบ่งได้อีกลักษณะหนึ่ง คือ การแบ่งประเภทตามลักษณะการใช้งาน โดยแบ่งเป็นแบตเตอรี่แบบใช้งานทั่วไปหรือแบบที่ใช้สำหรับเริ่มเดินเครื่องยนต์แบบคายประจุลึกและแบบลูกผสม

ความแตกต่างระหว่างแบตเตอรี่แบบเจลและแบตเตอรี่แบบเอจีเอ็ม คือ แบตเตอรี่แบบเจลเป็นแบตเตอรี่ที่แห้งกว่าแบบเอจีเอ็ม ถ้าเปลือกนอกแตกไม่มีน้ำกรดไหลหรือซึมออกมา แต่สำหรับแบบเอจีเอ็มขั้วน้ำกรดได้ประมาณ 95 เพอร์เซ็นต์ ดังนั้นถ้าเปลือกแตกมีน้ำกรดจะไหลออกมาแต่ก็อาจมีการซึมออกมาได้บ้างเล็กน้อย

ในปัจจุบันนิยมใช้แบตเตอรี่แบบตะกั่วแบบเอจีเอ็มมากกว่าแบบเจล ส่วนแบบเจลมีการใช้น้อยลงเนื่องจากมีข้อเสีย คือ เจลละลายเมื่ออยู่ในสภาพอากาศที่ร้อนและถ้าเกิดการอัดประจุเกินขึ้นเจลอาจเปลี่ยนรูปเป็นสารเหนียวๆ ที่เรียกว่า วอยด์ (Void) ไปยึดเกาะติดแน่นอยู่ที่แผ่นธาตุที่

ขีดขวงการแลกเปลี่ยนประจุระหว่างอิเล็กโทรไลต์และแผ่นธาตุ ทำให้ประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ลดลง แบตเตอรี่ทั้งแบบเอจี้เอ็มและแบบเจลยังแบ่งย่อยออกได้เป็นแบตเตอรี่แบบตะกั่วแบบปิดผนึกหรือเอสแอลเอ (Sealed Lead Acid) และแบบกึ่งปิดผนึกที่เป็นการใช้วาล์วระบายความดันหรือแบบว็อลท์แอลเอ (Valve-Regulator Lead Acid) แบตเตอรี่แบบว็อลท์แอลเอนี้จะมีการติดตั้งวาล์วระบาย (Safety Valve) เพื่อใช้ระบายแก๊สในกรณีที่ความดันภายในเซลล์สูงเกินไป เพื่อป้องกันแบตเตอรี่เสียหาย

การอัดประจุแบตเตอรี่ทั้ง 2 ประเภท คือ เอสแอลเอและว็อลท์แอลเอจะต้องไม่อัดประจุแบตเตอรี่เร็วหรือมากจนเกินไป เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดแก๊สในขณะอัดประจุมาก การอัดประจุมากหรือเร็วเกินไปทำให้ปฏิกิริยาเคมีภายในเซลล์ดูดซับแก๊สที่เกิดขึ้นไม่ทัน ความดันภายในแบตเตอรี่สูงขึ้นเป็นสาเหตุให้เกิดการสูญเสียแก๊สและน้ำออกไปจากตัวแบตเตอรี่ การเสียแก๊สและน้ำออกไปก็เท่ากับว่าแบตเตอรี่ได้สูญเสียอิเล็กโทรไลต์ออกไปจากระบบ เพราะแก๊สและน้ำเป็นส่วนประกอบของอิเล็กโทรไลต์ เมื่อแบตเตอรี่มีปริมาณอิเล็กโทรไลต์น้อยลงทำให้สูญเสียความสามารถในการเก็บพลังงานไปทำให้แรงดันไฟฟ้าหรือ โวลต์ของแบตเตอรี่หลังจากการอัดประจุไม่สูงเท่าที่ควรจะเป็นและถ้าแบตเตอรี่มีการเสียแก๊สและน้ำบ่อยๆ อิเล็กโทรไลต์ภายในเซลล์ก็จะหมดไปทำให้แบตเตอรี่ใช้งานไม่ได้

2.6.1 วิธีใช้และการเก็บรักษา

แบตเตอรี่แบบตะกั่วจะไม่มีการจำว่าก่อนอัดประจุแบตเตอรี่มีประจุเหลืออยู่เท่าไร ต่างจากแบตเตอรี่แบบนิกเกิลแคดเมียม ถ้าแบตเตอรี่มีประจุเต็มอยู่แล้วการนำไปอัดประจุโดยการให้กระแสค่าต่ำไปเรื่อยๆแบตเตอรี่จะไม่เสีย แต่เมื่อมีการคายประจุที่ลึกมาก โดยเฉพาะการคายประจุจนหมดจะทำให้ความสามารถในการเก็บประจุของแบตเตอรี่ลดลงส่งผลให้อายุการใช้งานสั้นลง ดังนั้นถ้าจำเป็นต้องใช้งานจนแบตเตอรี่ประจุหมดบ่อยๆควรป้องกันการคายประจุที่ลึกมากเกินไป โดยเลือกใช้แบตเตอรี่ที่มีขนาดใหญ่ขึ้นความจุสูงขึ้น (แอมป์-ชั่วโมงมากขึ้น) เพื่อไม่ให้แบตเตอรี่คายประจุที่ลึกมาก

การทิ้งแบตเตอรี่แบบตะกั่วไว้เฉยๆเป็นเวลานานแบตเตอรี่จะคายประจุออกไปเรื่อยๆด้วยตัวเอง (Self Discharge) ถ้าไม่อัดประจุเพื่อเติมประจุให้กับแบตเตอรี่ผลึกของตะกั่วซัลเฟตที่เกิดขึ้นที่แผ่นธาตุลบจะรวมตัวกันแล้วมีขนาดใหญ่ขึ้น ผลึกที่มีขนาดใหญ่นี้จะไปขัดขวางการไหลของกระแสทำให้กระแสไหลได้น้อยลง ส่งผลให้แบตเตอรี่จ่ายกระแสให้กับโหลดได้น้อยลง นอกจากนี้ผลึกที่มีขนาดใหญ่จะมีเหลี่ยมหรือมุมที่คมและแหลม ในกรณีที่ร้านแรงอาจจะที่มจนแผ่นธาตุทะลุได้ ทำให้แบตเตอรี่เกิดการลัดวงจรขึ้นภายในเราจะเรียกปรากฏที่เกิดผลึกขนาดใหญ่ของตะกั่วซัลเฟตนี้ว่าการเกิดซัลเฟชัน (Sulphation)

การเกิดซัลเฟชันจะยิ่งง่ายขึ้นถ้าทิ้งแบตเตอรี่ไว้โดยที่แบตเตอรี่มีประจุเหลืออยู่น้อยหรือไม่เหลืออยู่เลย ดังนั้นจึงควรเก็บแบตเตอรี่ไว้โดยการอัดประจุให้ประจุเต็มอยู่เสมอ โดยอาจจะมีการอัดประจุโดยใช้กระแสต่ำๆ ไปเรื่อยๆ ซึ่งเรียกว่าการอัดประจุแบบทริกเกิล (Trickle Charge) หรือการอัดประจุแบบโฟลต (Floating Charge) ซึ่งการอัดประจุแบบนี้มักจะพบในระบบสำรองไฟฟ้าหรือระบบไฟแสงสว่างฉุกเฉิน เพื่อให้แบตเตอรี่มีประจุอยู่เต็มตลอดเวลาเป็นการรักษาแบตเตอรี่และทำให้แบตเตอรี่พร้อมที่จะจ่ายพลังงานเมื่อระบบไฟฟ้าหลักขัดข้องหรือจ่ายกระแสให้กับระบบไฟส่องสว่างเมื่อเกิดเหตุฉุกเฉินหรือไฟฟ้าดับ

การอัดประจุแบตเตอรี่แบบตะกั่วโดยทั่วไปใช้เวลาประมาณ 8-16 ชั่วโมงโดยแบตเตอรี่แบบแห้งจะอัดประจุได้ช้ากว่าแบบเปียก เพราะจะต้องลดอัตราการอัดประจุลงเพื่อไม่ให้เกิดแก๊สขึ้นภายในเซลล์มากเกินไป การสะสมของแก๊สทำให้ความดันภายในเซลล์มีค่าที่สูงขึ้นทำให้สูญเสียอิเล็กโทรไลต์ไปจากการระเหยแก๊สหรือน้ำออกทางวาล์วระบายหรืออาจทำให้แบตเตอรี่ถึงขั้นแตกเสียหายได้ ถ้าอัดประจุเร็วทำให้ความดันสูงไปด้วยจนระบายความดันไม่ทัน

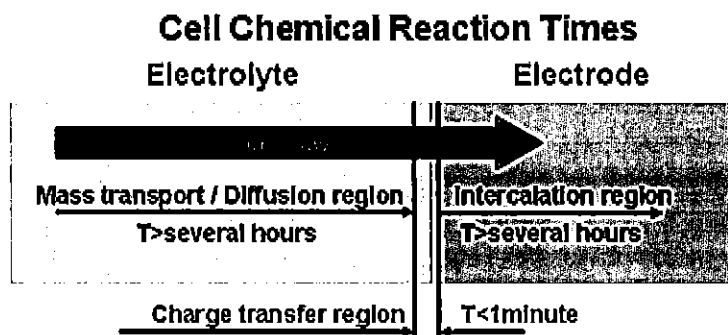
2.6.2 การอัดประจุและวิธีการอัดประจุแบตเตอรี่เบื้องต้น

การจัดเก็บพลังงานไฟฟ้าส่วนใหญ่ในปัจจุบันที่รู้จักกัน คือ แบตเตอรี่ (Battery) โดยตัวแบตเตอรี่จะเก็บพลังงานไฟฟ้าได้ในรูปแบบของไฟฟ้ากระแสตรง ดังนั้นพลังงานไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากพลังงานทดแทนต่างๆ ซึ่งจะทำให้การเปลี่ยนให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรงด้วยวงจรต่างๆ เช่น วงจรคอนเวอร์เตอร์ วงจรเรียงกระแส เป็นต้น

พลังงานไฟฟ้ากระแสตรงที่ถูกเปลี่ยนรูปมาแล้วนี้จะถูกนำไปยังวงจรที่ใช้ควบคุมปริมาณการประจุไฟฟ้าที่ได้ให้ถูกต้องและเหมาะสมกับแบตเตอรี่ที่เราเลือกใช้งานในระบบที่ เรียกว่า วงจรอัดประจุ (Charger) นั้นเองและที่ตามมาคือวงจรอัดประจุ คือ ชนิดของวงจรที่เราจะต้องเลือกใช้และวิธีอัดประจุที่เหมาะสมกับแบตเตอรี่นั้นๆ ทั้งนี้ก็เพราะการเสียหายของแบตเตอรี่ส่วนใหญ่เกิดขึ้นจากการอัดประจุที่ไม่ถูกต้องหรือเหมาะสมกับแบตเตอรี่เหล่านั้น [8]

2.6.3 ช่วงเวลาขณะอัดประจุแบตเตอรี่

ในช่วงเวลานี้หมายถึง การส่งผ่านพลังงานไฟฟ้าเข้าไปยังตัวแบตเตอรี่และแบตเตอรี่ได้รับพลังงานไฟฟ้าเหล่านั้นด้วยกระบวนการทางเคมี โดยปฏิกิริยาทางเคมีจะไม่เกิดขึ้นทันที แต่ค่อยๆ มีผลที่เกิดขึ้นกับอิเล็กโทรไลต์ โดยอิเล็กโทรดกับอิเล็กโทรไลต์อยู่ใกล้ๆ กันและอิเล็กโทรดคอยเปลี่ยนหรือรับพลังงานก่อนอิเล็กโทรไลต์ เราสังเกตได้ว่าแบตเตอรี่ขนาดใหญ่มีอิเล็กโทรไลต์ที่มากกว่าดังรูปที่ 2.17



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

Mass transfer / diffusion of ions in the electrolyte bulk

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

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

รูปที่ 2.17 พฤติกรรมที่เกิดขึ้นในการอัดประจุแบตเตอรี่ [9]

1. กระบวนการประจุ คือ ช่วงเวลาของการกระตุ้นปฏิกิริยาเคมีให้กับรอยต่อระหว่างอิเล็กโทรดกับอิเล็กโทรไลต์ ซึ่งเป็นกระบวนการที่รวดเร็วมาก

2. กระบวนการส่งผ่านไปยังมวล คือ ในช่วงเวลานี้เป็นการแปรรูปหรือแพร่กระจายของไอออนอันเกิดจากการประจุ ทำให้เกิดการเคลื่อนที่และส่งผ่านบริเวณผิวของอิเล็กโทรด กระบวนการนี้ค่อนข้างช้าและเป็นไปอย่างต่อเนื่อง โดยทำให้วัสดุค่อยๆเปลี่ยนรูปไป

กระบวนการอัดประจุแบตเตอรี่นั้น ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติที่มีสัมพันธ์กันสำหรับการอัดประจุแบตเตอรี่ที่สมบูรณ์ การเกิดปฏิกิริยาทางเคมีซึ่งขึ้นอยู่กับสารเคมีและโครงสร้างของเซลล์ ค่าเวลาคงที่สำหรับการประจุจะอยู่ที่ประมาณ 1 นาที หรือน้อยกว่า แต่กระบวนการเปลี่ยนผ่านมวลใช้เวลามากกว่าหนึ่งชั่วโมงหรือมากกว่านั้นขึ้นอยู่กับความจุของแบตเตอรี่

การอัดประจุที่ยอมรับได้ คือ การพิจารณาเวลาที่ใช้ในการอัดประจุและอุณหภูมิของแบตเตอรี่ทั้งนี้ก็เพราะในสถานะที่อุณหภูมิต่ำทำให้ระยะเวลาการอัดประจุนานขึ้นและประสิทธิภาพการอัดประจุสูงขึ้นด้วย ในบางครั้งของการอัดประจุแบตเตอรี่ที่อุณหภูมิแบตเตอรี่ต่ำก็ไม่ได้หมายความว่าจะทำให้แบตเตอรี่ที่เต็มเสมอไปตามที่แรงดันแบตเตอรี่ปรากฏที่ชั่วต่อ [9]

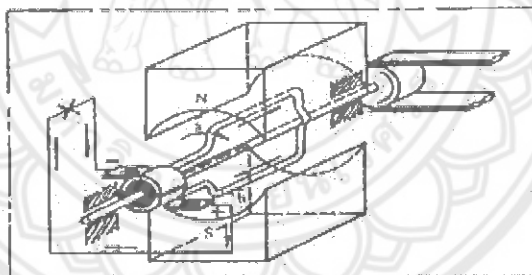
2.7 เครื่องกำเนิดไฟฟ้า

เครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Electric Generator) คือ เครื่องกลที่ใช้สำหรับแปลงพลังงานกลเป็นพลังงานไฟฟ้า โดยอาศัยหลักการทำงานว่าเมื่อสนามแม่เหล็กเคลื่อนที่ตัดขดลวดหรือขดลวดเคลื่อนที่ตัดสนามแม่เหล็กทำให้ได้ไฟฟ้าออกมา เครื่องกำเนิดไฟฟ้าประกอบด้วยส่วนที่สำคัญสองส่วน คือ ส่วนที่สร้างสนามแม่เหล็ก เรียกว่า ฟิวด์และส่วนที่สร้างแรงดันไฟฟ้าเรียกว่าอาเมเจอร์

ในเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง ฟิลด์เป็นส่วนที่อยู่กับที่อาร์เมเจอร์เป็นส่วนที่เคลื่อนที่ แต่ในเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ ฟิลด์และอาร์เมเจอร์สามารถเป็นได้ทั้งส่วนที่อยู่กับที่และส่วนที่หมุน โดยในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็ก สามารถสร้างได้ทั้งแบบฟิลด์และอาร์เมเจอร์หมุน แต่ในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดใหญ่ สร้างได้แต่แบบอาร์เมเจอร์อยู่กับที่เท่านั้น เพราะทำให้มีปัญหาน้อยกว่าแรงดันที่เกิดขึ้นในเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามากหรือน้อย ขึ้นอยู่กับปัจจัยที่สำคัญสองตัว คือ ความเร็วรอบและเส้นแรงแม่เหล็กในเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงเราสามารถเพิ่มแรงดันไฟฟ้าขึ้นได้โดย การปรับความเข้มของสนามแม่เหล็กและเพิ่มความเร็วรอบของเครื่องกำเนิด แต่ในเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ การเพิ่มแรงดันโดยการเพิ่มความเร็วไม่สามารถทำได้เพราะทำให้ความถี่ของแรงดันไฟฟ้าที่ได้เปลี่ยนแปลงไป สามารถทำได้เพียงปรับความเข้มของสนามแม่เหล็กเท่านั้น [10]

2.7.1 การทำงานของมอเตอร์

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงประกอบด้วย แม่เหล็กถาวร 2 ขั้ว วางอยู่ระหว่างขดลวดตัวนำ ขดลวดตัวนำจะได้รับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงป้อนให้ในการทำงาน ทำให้เกิดอำนาจแม่เหล็ก 2 ชุด มีขั้วแม่เหล็กเหมือนกันวางใกล้กันเกิดแรงผลักกันทำให้ขดลวดตัวนำหมุนเคลื่อนที่ได้การทำงานเบื้องต้นของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแสดงดังรูปที่ 2.18



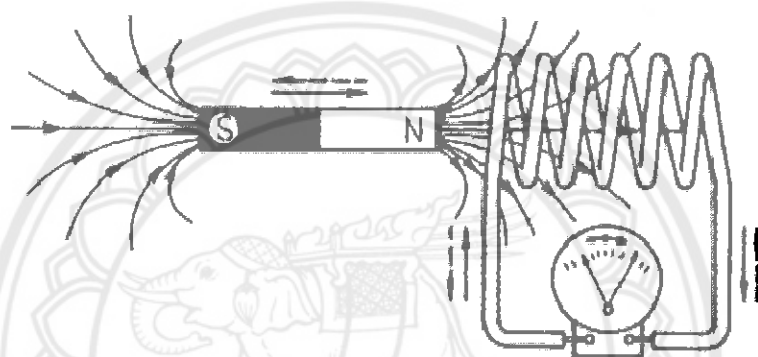
รูปที่ 2.18 มอเตอร์กระแสตรง [11]

เมื่อมีกระแสไหลผ่านเข้าไปในมอเตอร์กระแสจะแบ่งออกไป 2 ทาง คือ ส่วนที่หนึ่งจะผ่านเข้าไปที่ขดลวดสนามแม่เหล็ก (Field Coil) ทำให้เกิดสนามแม่เหล็กขึ้นและอีกส่วนหนึ่งจะผ่านแปลงถ่านคาร์บอนและผ่านคอมมิวเตเตอร์ เข้าไปในขดลวดอาร์เมเจอร์ทำให้เกิดสนามแม่เหล็กขึ้นเช่นกัน ซึ่งทั้งสองสนามจะเกิดขึ้นขณะเดียวกัน ตามคุณสมบัติของเส้นแรงแม่เหล็กและจะไม่มี การติดกัน จะมีแต่ที่หักล้างและมีการเสริมกัน ซึ่งทำให้เกิดแรงบิดในอาร์เมเจอร์ ทำให้อาร์เมเจอร์หมุน ซึ่งในการหมุนนั้นจะเป็นไปตามกฎมือซ้ายของเฟลมมิ่ง (Fleming's Left Hand Rule) [11]

2.7.2 หลักการสนามแม่เหล็กตัดผ่านขดลวด

การกำเนิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าโดยวิธีการของสนามแม่เหล็กตัดผ่านขดลวดมีหลักการดังนี้

1. ให้ขดลวดลวดตัวนำอยู่กับที่แล้วหาพลังงานกลมาขับให้สนามแม่เหล็กตัดผ่านขดลวดตัวนำทำให้ได้แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำเกิดขึ้นที่ขดลวดตัวนำนี้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าอาศัยหลักการขดลวดตัวนำหมุนตัดสนามแม่เหล็กขดลวดตัวนำที่สร้างแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำนี้เรียกว่าขดลวดอาร์เมเจอร์ (Armature) ซึ่งวางอยู่ระหว่างขั้วแม่เหล็กและสามารถหมุนได้โดยมีต้นกำลังงานกลมาขับเมื่อขดลวดนี้ตัดผ่านสนามแม่เหล็กทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้ากระแสสลับเกิดขึ้นในขดลวดอาร์เมเจอร์ (Armature) ดังรูปที่ 2.19



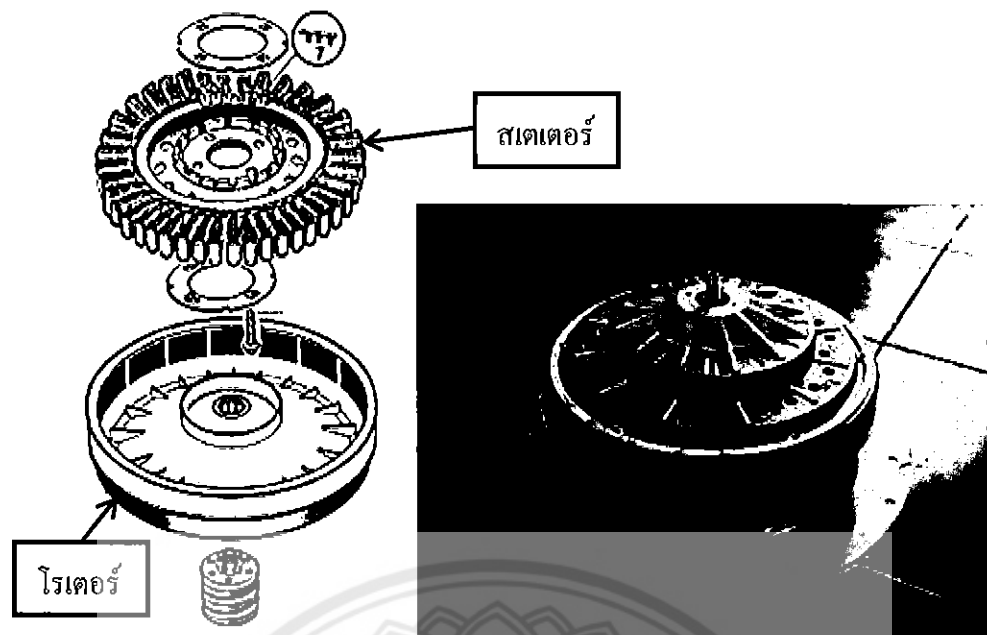
รูปที่ 2.19 หลักการสนามแม่เหล็กตัดผ่านขดลวด [12]

2. ขดลวดสเตเตอร์ (Stator Winding) เป็นขดลวดทองแดงที่พันอยู่ในสลิตของแกนเหล็กสเตเตอร์และเป็นลวดทองแดงที่เคลือบด้วยฉนวนไฟฟ้าอย่างดี เมื่อพันเสร็จแล้วจะอบด้วยน้ำมันวานิชและอบให้แห้งอีกครั้งหนึ่ง [12]

2.7.3 มอเตอร์เครื่องชักผ้า

1. โครงสร้าง

มอเตอร์ชนิดนี้เป็นมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส (Three-Phase Induction Motor) ประกอบด้วยโครงสร้าง 2 ส่วนหลัก คือ สเตเตอร์ (Stator) และโรเตอร์ (Rotor) โดยสเตเตอร์จะเป็นโครงสร้างส่วนที่อยู่กับที่ส่วนโรเตอร์เป็นส่วนที่หมุนและขับเคลื่อนโหลด ดังรูปที่ 2.20



รูปที่ 2.20 โครงสร้างของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส ในเครื่องซักผ้าขนาดใหญ่

2. สเตเตอร์

สเตเตอร์จะทำหน้าที่สร้างสนามแม่เหล็กหมุน (Rotating Field) ซึ่งเป็นสนามแม่เหล็กหลักที่ทำให้เกิดการเหนี่ยวนำกับ โรเตอร์ และสามารถหมุนไปได้ สเตเตอร์ประกอบด้วย 2 ส่วนหลักคือ ขดลวดสเตเตอร์ (Stator Winding) และแกนเหล็กสเตเตอร์ (Stator Core) ขดลวดสเตเตอร์จะต่อเข้ากับระบบไฟฟ้าโดยรับพลังงานไฟฟ้ามาแปลงเป็นพลังงานสนามแม่เหล็กเพื่อทำการส่งต่อให้กับโรเตอร์และแปลงเป็นพลังงานกลต่อไป

การพันขดลวดที่สเตเตอร์เป็นการพันแบบเวฟแบ่งออกเป็น 3 เฟส มีลักษณะการต่อแบบวาย (Y) มีขดลวดจำนวน 36 ขดลวด ใน 1 เฟสประกอบด้วยขดลวดจำนวน 12 ขดลวด ดังรูปที่ 2.21



รูปที่ 2.21 โครงสร้างของสเตเตอร์ในมอเตอร์ 3 เฟสที่ใช้

19199395

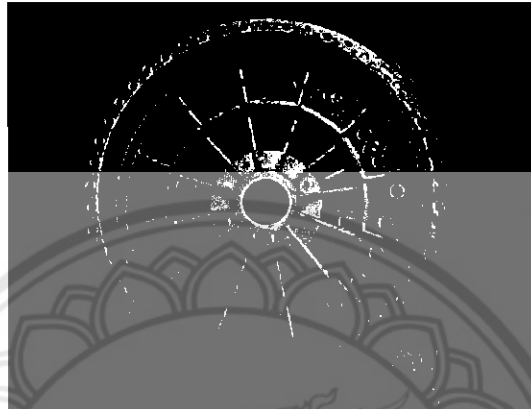
20 ต.ค. 2560



สำนักหอสมุด

3. โรเตอร์

โรเตอร์มีแม่เหล็กถาวรจำนวน 48 ขั้ว เป็นส่วนที่รับการถ่ายทอดพลังงานจากสเตเตอร์ (Stator Output) ที่ส่งผ่านช่องว่างอากาศออกมารูปของสนามแม่เหล็กหมุนบางครั้งถูกเรียกว่ากำลังที่ส่งผ่านช่องว่างอากาศ (Air-Gap Power) โรเตอร์จะเปลี่ยนให้เป็นพลังงานกลและส่งต่อไปขับ โหลดทางกล (Mechanical Load) ที่ต่ออยู่ที่เพลาดังรูปที่ 2.22



รูปที่ 2.22 โครงสร้างของโรเตอร์ในมอเตอร์ 3 เฟสที่ใช้

4. สมการแสดงความสัมพันธ์ของกำลังไฟฟ้า

มอเตอร์เครื่องซักผ้าชนิดนี้เมื่อนำมาใช้งานเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าโดยทั่วไปจะให้แรงดันไฟฟ้าที่สูงเกินไปและมีกระแสไฟฟ้าน้ำ จึงไม่เหมาะกับการอัดประจุกำลังไฟฟ้าลงแบตเตอรี่ ดังนั้นต้องมีการตัดแปลงขดลวดที่สเตเตอร์ใหม่โดยการต่อแบบวาย (Y) 3 กลุ่มขนานกันเพื่อลดแรงดันไฟฟ้าที่ผลิตได้ลงและเพิ่มกระแสไฟฟ้าให้สูงขึ้น โดยกำลังไฟฟ้าก่อนตัดแปลงขดลวดที่สเตเตอร์แสดงได้ดังสมการที่ (2.2) และค่ากำลังไฟฟ้าหลังตัดแปลงขดลวดที่สเตเตอร์แสดงได้ดังสมการที่ (2.3)

$$P_1 = V_1 I_1 = \frac{V_1^2}{Z} = I_1^2 Z \quad (2.2)$$

$$P_2 = 3P_3 = \frac{3V_2^2}{Z/3} = 3I_2^2 \frac{Z}{3} \quad (2.3)$$

เปรียบเทียบแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตก่อนและหลังตัดแปลงขดลวดที่สเตเตอร์แสดงได้ดังสมการที่ (2.4)

$$P_1 = P_2$$

$$\frac{V_1^2}{Z} = \frac{3V_2^2}{Z/3}$$

$$\frac{V_1^2}{Z} = \frac{9V_2^2}{Z}$$

$$V_1 = 3V_2 \quad (2.4)$$

เมื่อ V_1 คือ แรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตก่อนตัดแปลงขดลวดที่สเตเตอร์ (โวลต์)

V_2 คือ แรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตหลังตัดแปลงขดลวดที่สเตเตอร์ (โวลต์)

P คือ กำลังไฟฟ้า (วัตต์)

Z คือ ค่าอิมพีแดนซ์ของขดลวด (โอห์ม)

2.7.4 การเกิดสนามแม่เหล็กหมุน

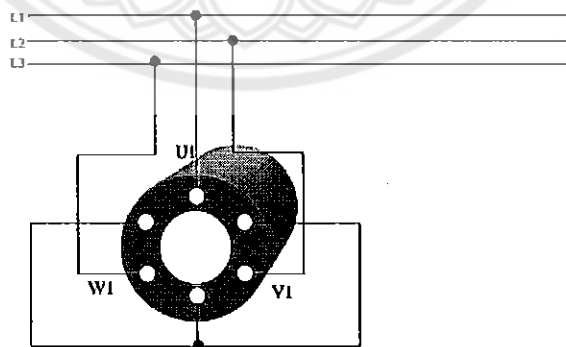
สนามแม่เหล็กหมุน (Rotating Field) เกิดจากการกระแสไฟฟ้าที่ไหลในขดลวดสเตเตอร์ และรูปแบบการวางขดลวดที่เหมาะสม ขนาดของสนามแม่เหล็กจะมีค่าคงที่และหมุนรอบจุดศูนย์กลางของสเตเตอร์ ซึ่งความเร็วของสนามแม่เหล็กหมุนจะถูกเรียกว่า ความเร็วซิงโครนัส (Synchronous Speed) มีค่าขึ้นอยู่กับความถี่ของระบบไฟฟ้าและจำนวนขั้วแม่เหล็กของสเตเตอร์ ดังสมการที่ (2.5) ส่วนการเกิดสนามแม่เหล็กหมุนเป็นดังรูปที่ 2.23 2.24 และ 2.25

$$N_s = \frac{120f}{P} \quad (2.5)$$

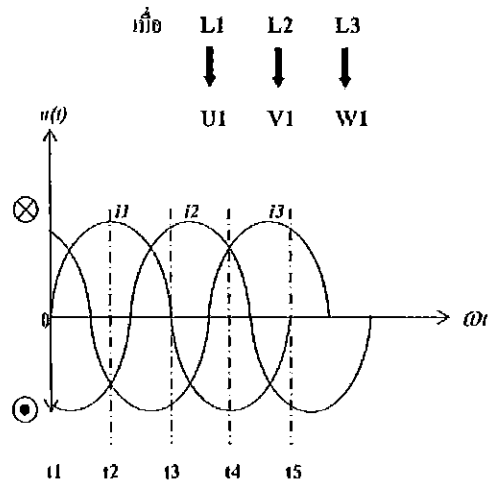
เมื่อ N_s คือ ความเร็วซิงโครนัส (รอบต่อนาที)

f คือ ความถี่ (เฮิรตซ์)

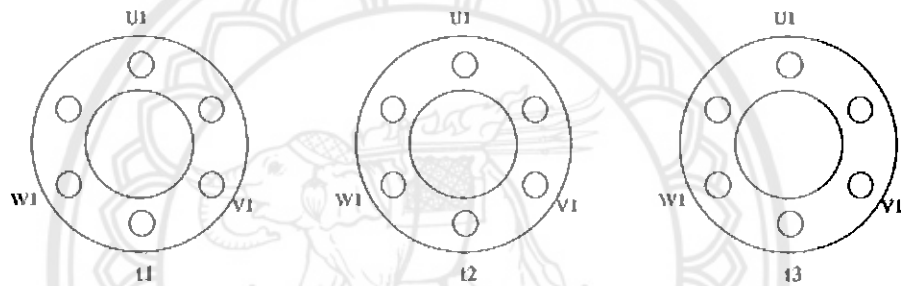
P คือ จำนวนขั้วแม่เหล็ก (ขั้ว) [13]



รูปที่ 2.23 การต่อขดลวดสเตเตอร์เข้ากับระบบไฟฟ้า 3 เฟส [13]



รูปที่ 2.24 รูปคลื่นกระแสไฟฟ้าในขดลวดสเตเตอร์ [13]



รูปที่ 2.25 สนามแม่เหล็กในสเตเตอร์ในแต่ละเวลา [13]

บทที่ 3

ขั้นตอนวิธีดำเนินงาน

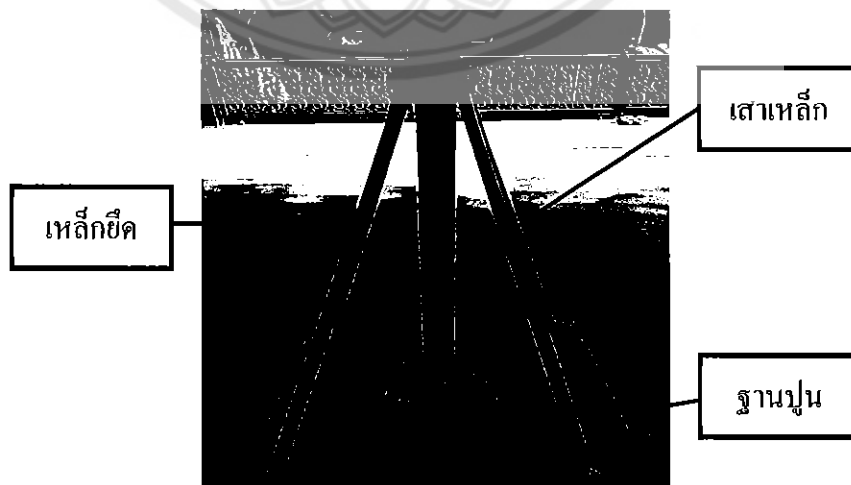
หลังจากศึกษาเกี่ยวกับหลักการต่างๆ และรายละเอียดเกี่ยวกับส่วนประกอบหลักของ กังหันลมผลิตไฟฟ้า เนื้อหาในบทนี้จะกล่าวถึง การออกแบบเพื่อสร้างกังหันลมผลิตไฟฟ้า โดยการ นำมอเตอร์เครื่องซักผ้ามาทำการดัดแปลงขดลวดที่สเตเตอร์และประกบค้ำใช้เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เพื่ออัดประจุกำลังไฟฟ้าลงแบตเตอรี่ขนาด 12 โวลต์ โดยมีชุดวงจรที่ควบคุมการอัดประจุแบตเตอรี่ แบบอัตโนมัติ ในการออกแบบและสร้างกังหันลมผลิตไฟฟ้าได้แบ่งออกเป็น 3 ส่วนดังนี้

1. การออกแบบและประกอบโครงสร้างของกังหันลม
2. การดัดแปลงขดลวดที่สเตเตอร์
3. การออกแบบวงจรควบคุมการทำงาน

3.1 การออกแบบและประกอบโครงสร้างของกังหันลม

3.1.1 การสร้างฐานและเสากังหันลม

ฐานของกังหันลมเนื่องจากต้องสร้างให้แข็งแรงเพื่อรับน้ำหนักของกังหันลมจึงนำปูนมา หล่อเป็นรูปสี่เหลี่ยมขนาด $0.7 \times 0.7 \times 0.1$ ลูกบาศก์เมตร และนำเสาเหล็กขนาด 2 นิ้ว ยาว 2.50 เมตร มายึดติดกับฐานปูน แล้วนำเหล็กเส้นยาวขนาด 1 เมตร จำนวน 4 เส้น มาเชื่อมติดกับเสาเหล็กและ ฐานปูนดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ฐานและเสากังหันลม

3.1.2 การทำโครงยึดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

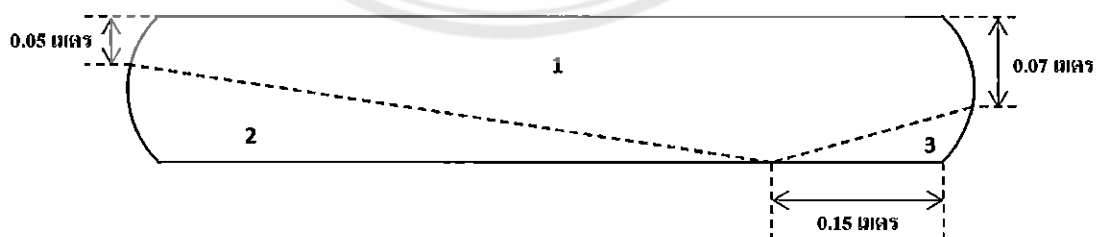
นำท่อเหล็กขนาด 2 นิ้ว ยาว 0.45 เมตร มาเชื่อมต่อกับเหล็กฉากและเชื่อมต่อเข้ากับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า โดยภายในท่อเหล็กมีเพลลาใช้สำหรับหมุนใบพัดและโรเตอร์ดังรูปที่ 3.2



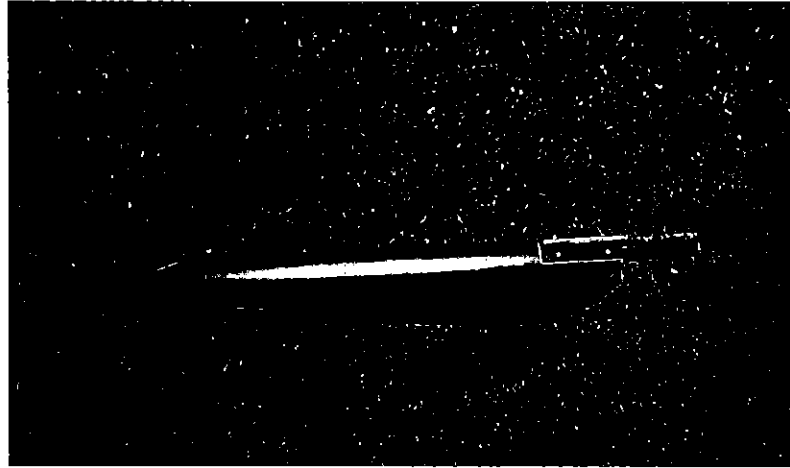
รูปที่ 3.2 โครงยึดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

3.1.3 การสร้างชุดใบพัดกังหันลม

การสร้างใบพัดกังหันลม โดยการเลือกใช้ท่อพีวีซีเพื่อให้ง่ายและสะดวกต่อการออกแบบ ซึ่งคุณสมบัติของท่อพีวีซีนั้นมีความเหนียว แข็งแรงทนทานต่อแดดและฝน ลักษณะการออกแบบนั้นนำท่อพีวีซีขนาด 8 นิ้ว ยาว 1 เมตร มาแบ่งออกเป็น 4 ส่วนเท่าๆกัน ทำการตัดท่อพีวีซีตามแบบในรูปที่ 3.3 จากนั้นนำแผ่นเหล็กขนาด 0.05×0.15 ตารางเมตร มาเชื่อมติดกับท่อเหล็กขนาด 0.5 นิ้ว ยาว 0.30 เมตร เพื่อยึดกับใบพัดแสดงได้ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.3 แบบท่อพีวีซี



รูปที่ 3.4 ใยพืดที่ยึดติดกับแท่นเหล็ก

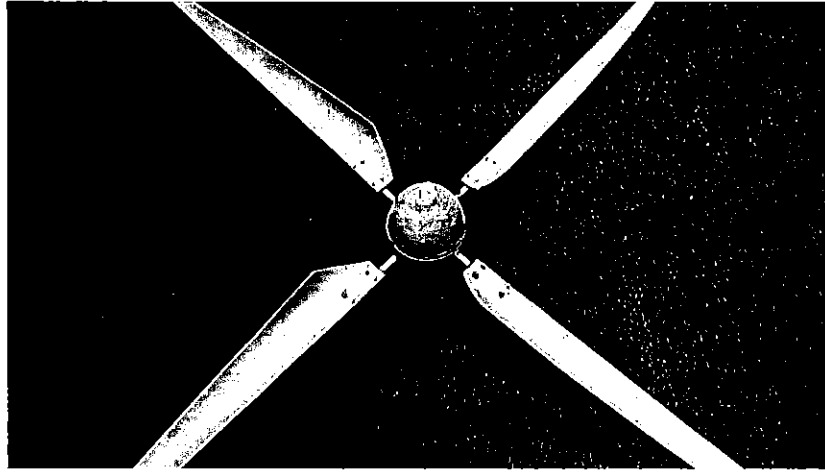
3.1.4 การสร้างงานหมุนใยพืดกึ่งหันลม

การสร้างงานหมุนสำหรับยึดกับใยพืด โดยการเชื่อมเหล็กแผ่นกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.26 เมตร กับท่อเหล็กขนาด 5 หุน ทั้ง 4 ชุด เข้าด้วยกันดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 งานหมุนสำหรับยึดใยพืด

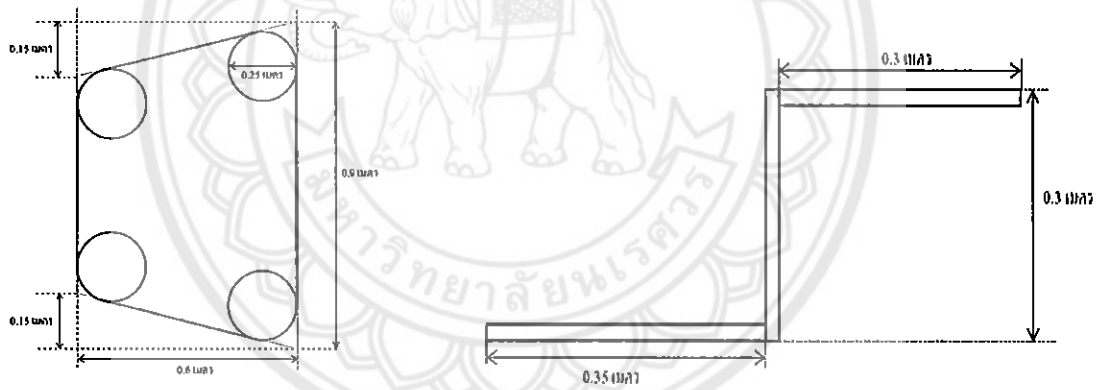
จากนั้นนำใยพืดทั้ง 4 ใย มาประกอบเข้ากับงานหมุนของกึ่งหันลม โดยทำการยึดให้แน่น ดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 โขพักที่ยึดกับจานหมุน

3.1.5 การสร้างทางเสื่อกั้นล้ม

นำแผ่นสังกะสีชนิดบางมาทำการตัดตามแบบเพื่อสร้างโบริงเสื่อและนำท่อเหล็กมาทำการตัดตามแบบเพื่อสร้างโครงสร้างโบริงเสื่อตามแผนภาพดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 แผนภาพแบบโครงสร้างโบริงเสื่อ

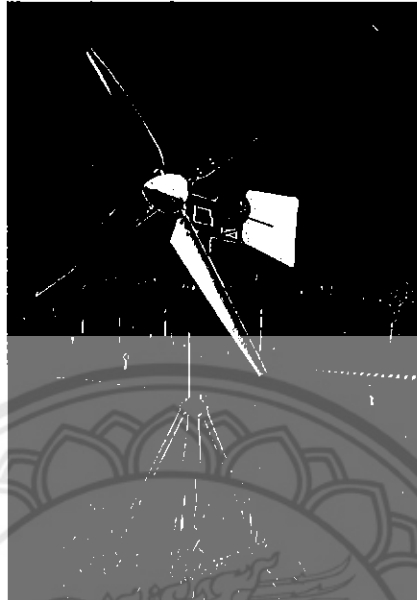
เมื่อนำโบริงเสื่อมาประกอบเข้ากับท่อเหล็กตามแบบได้ดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 จุดทางเสื่อกั้นล้ม

3.1.6 โครงสร้างของกังหันลม

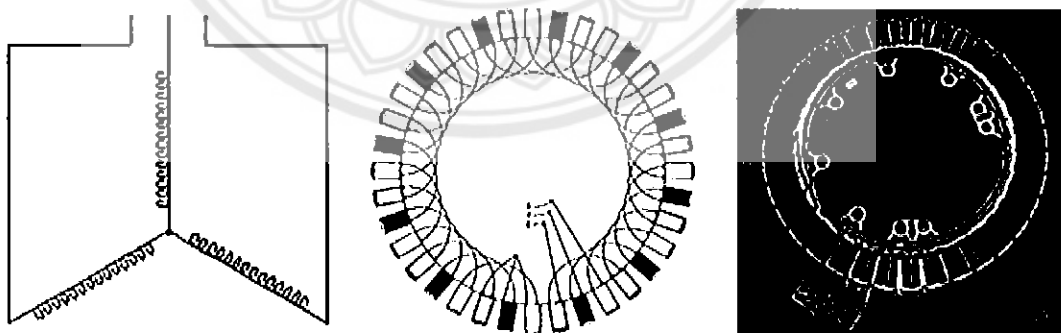
จากนั้นนำชิ้นส่วนแต่ละชุดมาประกอบเข้าด้วยกันดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 โครงสร้างของกังหันลมที่นำมาประกอบเข้าด้วยกัน

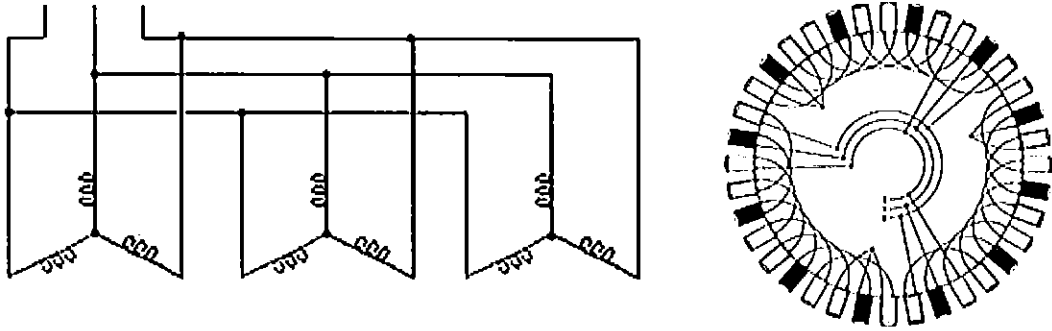
3.2 การตัดแปลงขดลวดที่สเตเตอร์

สเตเตอร์ มีการพันขดลวดแบบเวฟต่อแบบวาย (Y) มีขดลวดทั้งหมด 36 ขดลวด แบ่งเป็น 3 เฟส ใน 1 เฟส ประกอบด้วยขดลวด 12 ขดลวด ดังรูปที่ 3.10

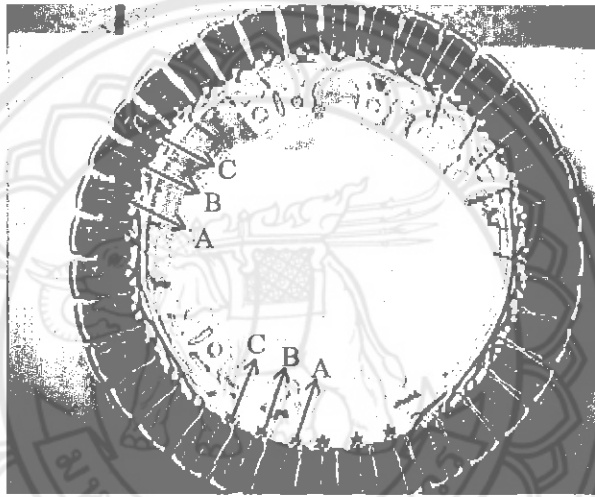


รูปที่ 3.10 การพันขดลวดแบบเวฟจำนวน 36 ขดลวด

ตัดแปลงขดลวดที่สเตเตอร์ โดยการต่อแบบวาย (Y) 3 กลุ่มขนานกัน แต่ละกลุ่มมีขดลวดจำนวน 12 ขดลวด แบ่งออกเป็น 3 เฟส ซึ่งใน 1 เฟส ประกอบด้วยขดลวด 4 ขดลวด ดังรูปที่ 3.11

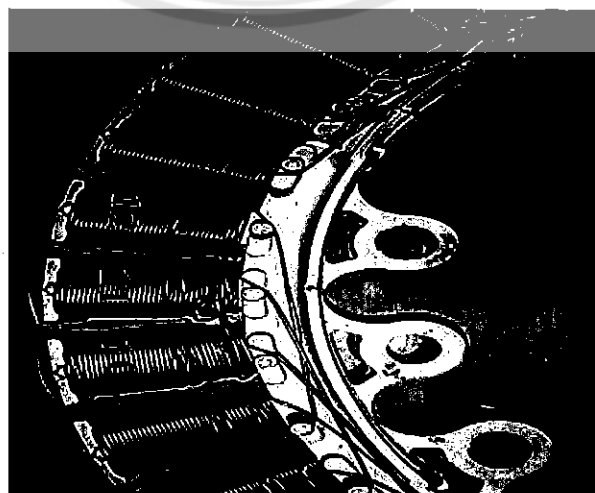


รูปที่ 3.11 การพันขดลวดเป็นแบบเวฟต่อแบบวาย (Y) 3 กลุ่มขนานกัน
แบ่งขดลวดออกเป็น 3 กลุ่ม กลุ่มละ 12 ขด ดังรูปที่ 3.12



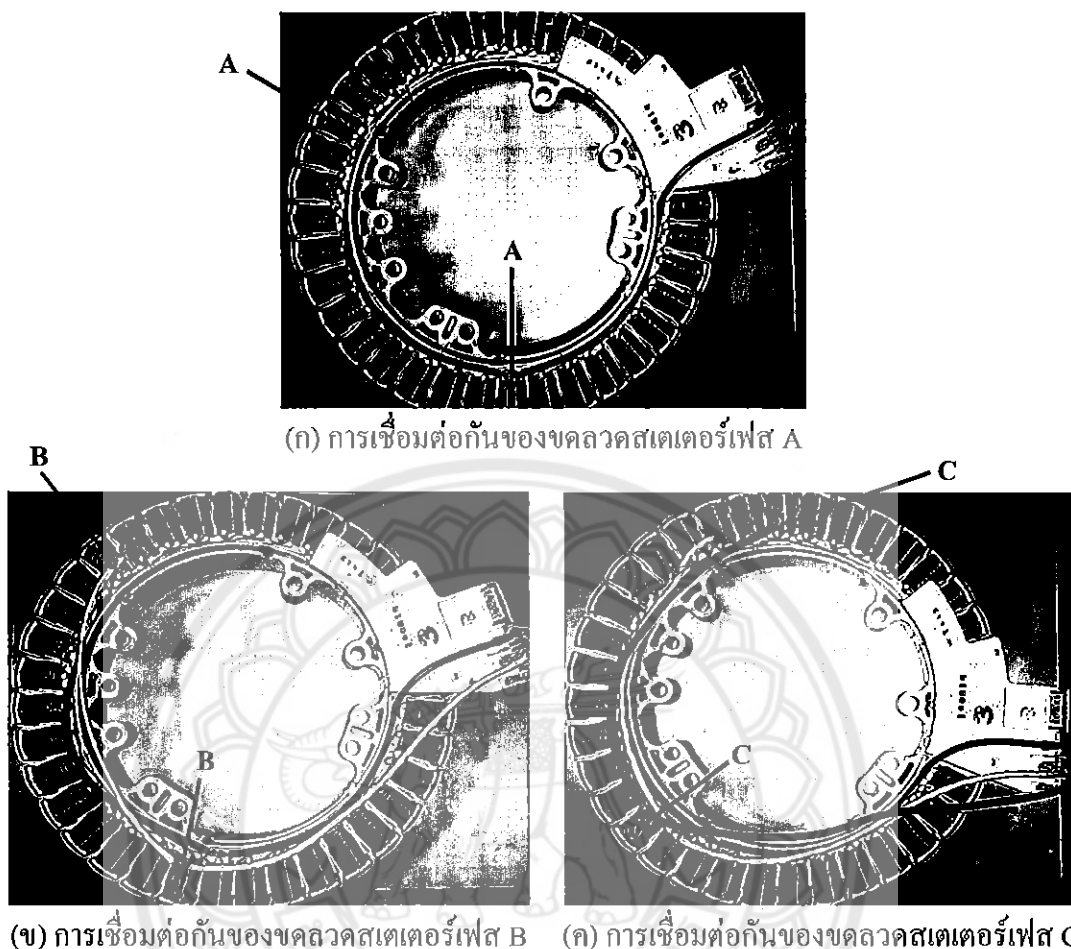
รูปที่ 3.12 การแบ่งขดลวดที่สเตเตอร์เป็น 12 ขด

จากนั้นนำขดลวดที่ 10, 11, 12 ของแต่ละกลุ่มมาเชื่อมต่อกันดังรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 การเชื่อมต่อกันของขดลวดที่สเตเตอร์ในแต่ละกลุ่ม

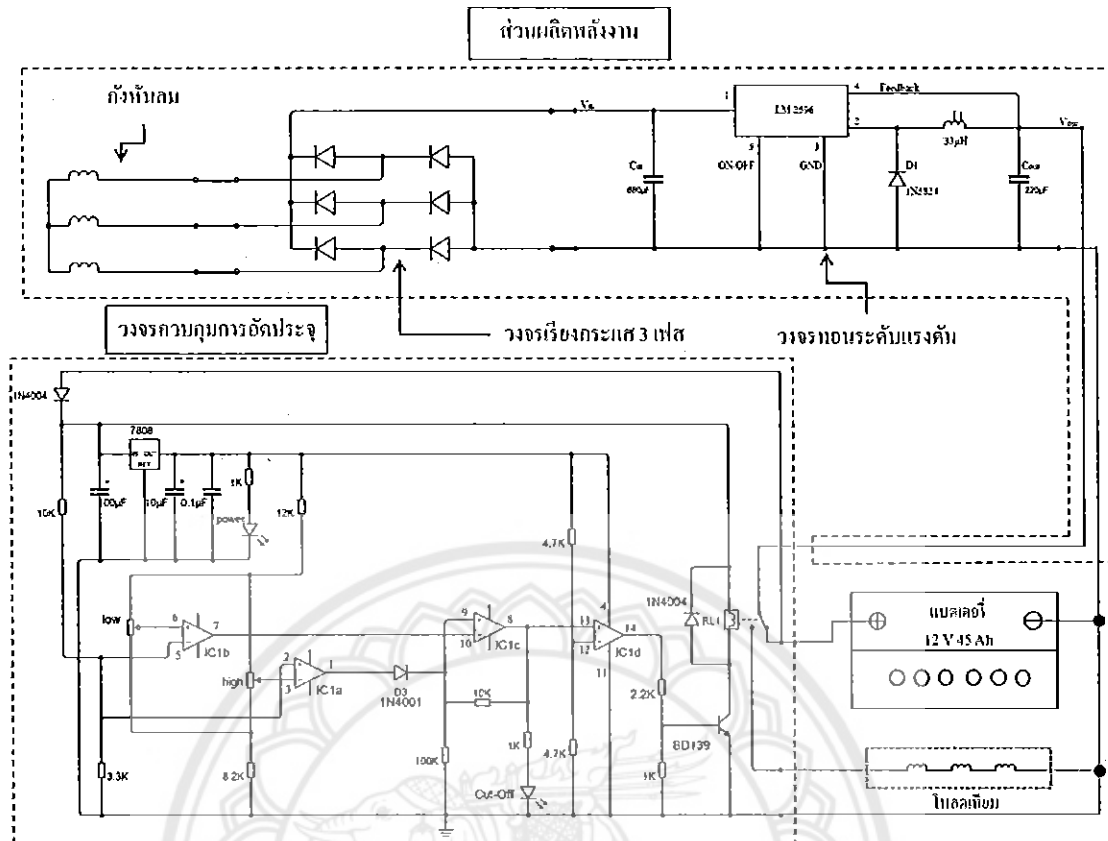
นำขดลวดสเตเตอร์เฟส A B C ของแต่ละกลุ่มมาเชื่อมต่อกันดังรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 การเชื่อมต่อกันของขดลวดสเตเตอร์แต่ละเฟส

3.3 การออกแบบวงจรควบคุมการทำงาน

การสร้างกังหันลมผลิตไฟฟ้าโดยการนำมอเตอร์เครื่องซักผ้ามาประยุกต์ใช้เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เนื่องจากมอเตอร์ชนิดนี้เป็นมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบ 3 เฟส จึงได้ใช้วงจรเรียงกระแส 3 เฟสแบบบริดจ์เพื่อแปลงเป็นไฟฟ้ากระแสตรงก่อนเข้าวงจรทอนระดับแรงดันให้คงที่เพื่อจ่ายไฟให้กับวงจรควบคุมการอัดประจุ โดยวงจรควบคุมการอัดประจุทำหน้าที่ควบคุมการอัดประจุแบตเตอรี่แบบอัดโน้มติ เมื่อแบตเตอรี่มีค่าแรงดันสูงถึงค่าที่ตั้งไว้ วงจรจะตัดกระแสอัดประจุทันที ซึ่งเป็นการป้องกันแบตเตอรี่เสื่อม โดยแสดงแผนภาพการทำงานของระบบดังรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.15 แผนภาพการทำงานของระบบ

3.3.1 วงจรควบคุมการอัดประจุ

การทำงานของวงจรควบคุมการอัดประจุแบตเตอรี่ วงจรทำการตรวจวัดระดับแรงดันเมื่อแรงดันแบตเตอรี่สูงถึง 13 โวลต์ รีเลย์เปลี่ยนหน้าสัมผัสเพื่อตัดกระแสอัดประจุไปที่โหลดเทียม และเมื่อระดับแรงดันของแบตเตอรี่ต่ำถึง 11.8 โวลต์ รีเลย์ทำการเปลี่ยนหน้าสัมผัสเพื่อจ่ายกระแสอัดประจุให้แบตเตอรี่อีกครั้ง

หลักการการทำงานของวงจรควบคุมการอัดประจุแบตเตอรี่แบบอัตโนมัตินี้แบ่งการทำงานออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้

1. วงจรควบคุมแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตคงที่ โดยให้แรงดันไฟฟ้าเอาต์พุต 8 โวลต์ เพื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับขา V_{CC}^+ ของออปแอมป์ จากวงจรได้ใช้ไอซีคงค่าแรงดันหมายเลข LM7808

2. วงจรขยายแรงดันไฟฟ้า โดยใช้ออปแอมป์เพื่อขยายสัญญาณแรงดันไฟฟ้าให้กับทรานซิสเตอร์ในการทำหน้าที่เป็นสวิทช์ เพื่อสั่งให้รีเลย์เปลี่ยนหน้าสัมผัส จากวงจรใช้ไอซีหมายเลข TL084 ซึ่งจะมีวงจรออปแอมป์ 4 ตัวอยู่ในขณะที่ยังมีแรงดันไฟฟ้าแบตเตอรี่ถึง 13 โวลต์ ไอซีหมายเลข TL084 ทำหน้าที่ในการเปรียบเทียบสัญญาณแรงดันไฟฟ้าอินพุตและขยายสัญญาณแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตไปที่ออปแอมป์ d ส่งผลให้แรงดันไฟฟ้าเอาต์พุต (V_{14}) เป็น $A_0(V_{12}-V_{13})$ มีค่า

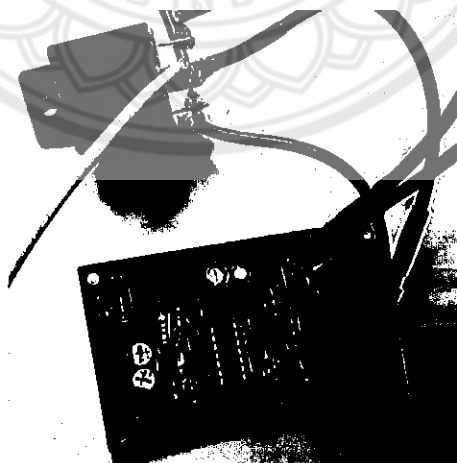
แรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตประมาณ 6.5 โวลต์ ส่งผลให้ค่า V_{BE} ของทรานซิสเตอร์มีค่ามากกว่า 0.7 โวลต์ ทำให้ทรานซิสเตอร์ทำงานในสถานะนำกระแส รีเลย์จึงเปลี่ยนหน้าสัมผัสเพื่อตัดกระแสอัดประจุแบตเตอรี่มาที่โหลดเทียบและในขณะที่แรงดันไฟฟ้าแบตเตอรี่ต่ำถึง 11.8 โวลต์ ออปแอมป์ d จะมีแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุต (V_{in}) เป็น 0 ดังนั้นทรานซิสเตอร์จะทำงานในสถานะไม่นำกระแส ส่งผลให้รีเลย์เปลี่ยนหน้าสัมผัสกลับมาอัดประจุแบตเตอรี่อีกครั้ง

หลักการปรับตั้งวงจรอัดประจุแบตเตอรี่นี้มีหลอดแอลอีดี 2 หลอดแสดงสถานการณ์การทำงานของวงจร หลอดที่ 1 (สีเขียว) คือ แสดงสถานะการอัดประจุแบตเตอรี่ หลอดที่ 2 (สีแดง) คือ แสดงสถานะการตัดกระแสการอัดประจุแบตเตอรี่เมื่อแรงดันของแบตเตอรี่ถึงค่าที่ตั้งไว้ ในการปรับตั้งวงจรควบคุมการอัดประจุครั้งแรกจำเป็นต้องใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงที่สามารถปรับค่าได้ ซึ่งแสดงขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. นำแหล่งจ่ายไฟต่อกับวงจรทางฝั่งของแบตเตอรี่และปรับแรงดันไฟฟ้าให้มีค่าตามที่ต้องการเช่น 13 โวลต์ จากนั้นให้ปรับตั้งตัวต้านทานปรับค่าได้ด้านสูงจนรีเลย์เปลี่ยนหน้าสัมผัสตัดกระแสอัดประจุแบตเตอรี่และหลอดแอลอีดีสีแดงสว่าง

2. ปรับแหล่งจ่ายไฟให้มีค่าแรงดันไฟฟ้าที่ต้องการเช่น 11.8 โวลต์ จากนั้นให้ปรับตั้งตัวต้านทานปรับค่าได้ด้านต่ำจนรีเลย์เปลี่ยนหน้าสัมผัสกลับมาจ่ายกระแสอัดประจุแบตเตอรี่อีกครั้ง และหลอดแอลอีดีสีแดงดับลง

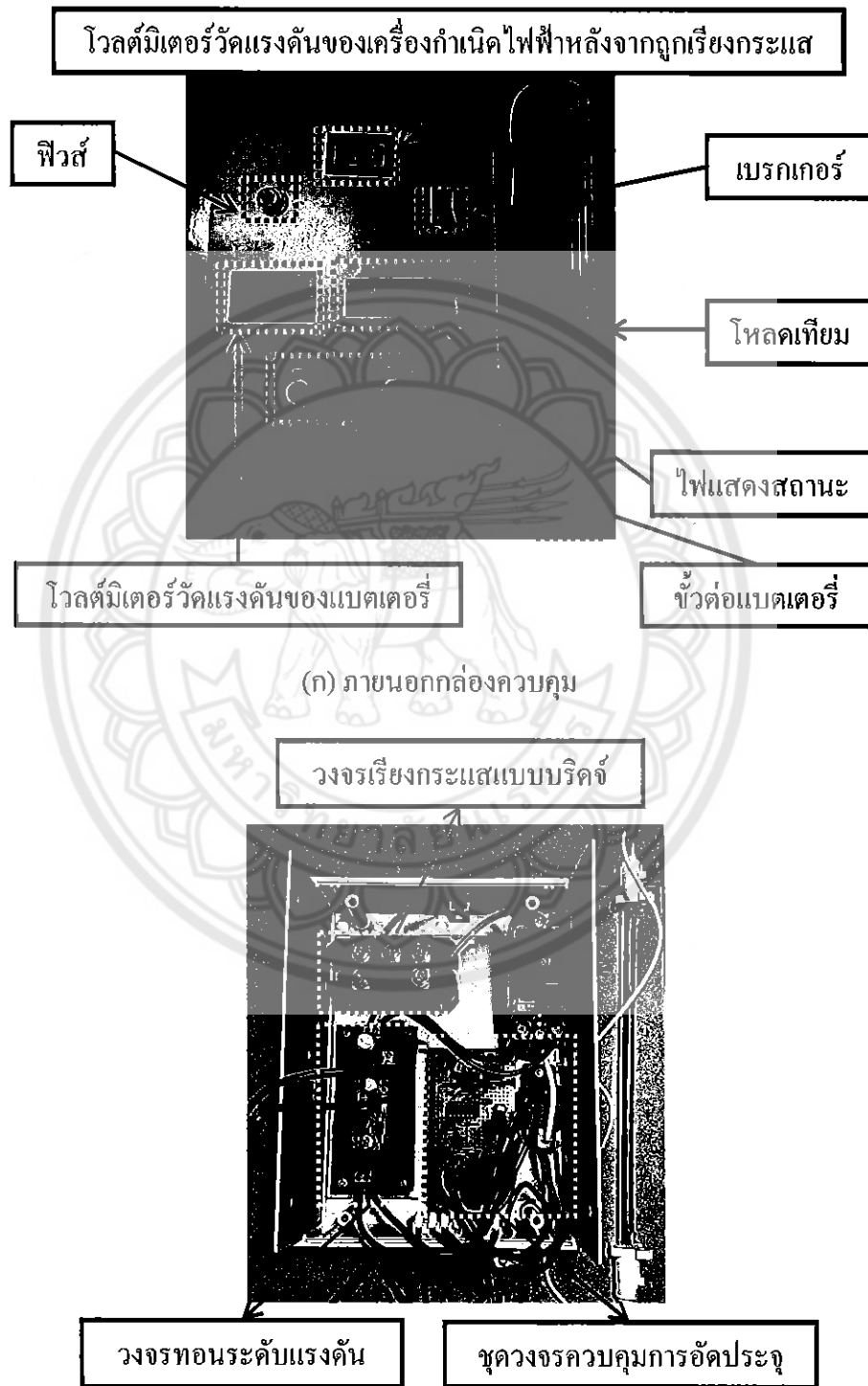
จากนั้นนำอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์มาทำการต่อวงจรตามที่ได้ออกแบบไว้ลงบนโปรโตบอร์ดดังรูปที่ 3.16



รูปที่ 3.16 วงจรควบคุมการอัดประจุแบตเตอรี่

3.3.2 ชุดควบคุมการอัดประจุแบตเตอรี่

นำวงจรมาเชื่อมต่อกันตามที่ได้ออกแบบไว้ เพื่อสร้างชุดควบคุมการอัดประจุแบตเตอรี่ แสดงดังรูปที่ 3.17



(ข) ภายในกล่องควบคุม

รูปที่ 3.17 ชุดควบคุมการอัดประจุแบตเตอรี่

บทที่ 4

การทดสอบและผลการทดลอง

การทดสอบการทำงานของกังหันลมผลิตไฟฟ้าที่สร้างขึ้นได้มีการออกแบบการทดลอง โดยการศึกษาข้อมูลความเร็วลมในพื้นที่ติดตั้งกังหันลม ณ บ้านภูหนาวรีสอร์ท อำเภอเขาค้อ จังหวัดเพชรบูรณ์ ว่ามีความเหมาะสมในการติดตั้งมากน้อยเพียงใดและทำการทดสอบเปรียบเทียบ แรงดันไฟฟ้าที่ความเร็วรอบต่างๆของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทั้งก่อนและหลังตัดแปลงขดลวด สเตเตอร์ จากนั้นทำการทดสอบกังหันลมผลิตไฟฟ้าทั้งระบบ

ดังนั้นในการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของกังหันลมผลิตไฟฟ้า แบ่งการทดลอง ออกเป็น 3 การทดลองดังนี้

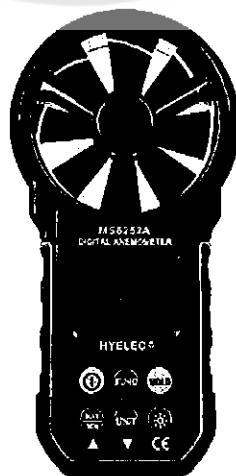
การทดลองที่ 1 ทดสอบวัดความเร็วลมเฉลี่ย ณ บ้านภูหนาวรีสอร์ท อำเภอเขาค้อ จังหวัด เพชรบูรณ์

การทดลองที่ 2 ทำการทดสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ความเร็วรอบต่างๆทั้งก่อนและหลัง ตัดแปลงขดลวดที่สเตเตอร์โดยใช้มอเตอร์กระแสตรงเป็นต้นกำลัง

การทดลองที่ 3 การทดสอบกังหันลมผลิตไฟฟ้าทั้งระบบ

4.1 การวัดความเร็วลมรีสอร์ท ณ บ้านภูหนาว อำเภอเขาค้อ จังหวัดเพชรบูรณ์

การวัดความเร็วลม ณ บ้านภูหนาวรีสอร์ท อำเภอเขาค้อ จังหวัดเพชรบูรณ์ โดยใช้ เครื่องวัดความเร็วลมดิจิทัล Mastech รุ่น MS6252A ดังรูปที่ 4.1



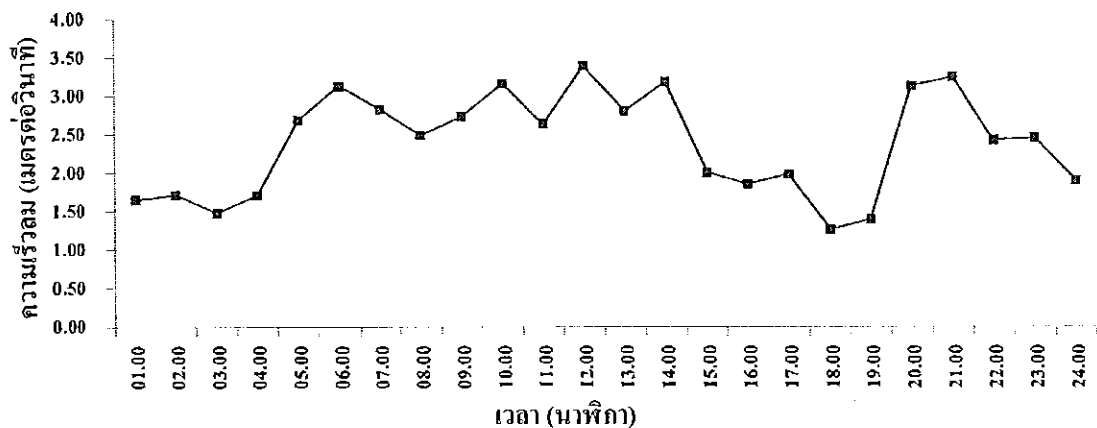
รูปที่ 4.1 เครื่องวัดความเร็วลมดิจิทัล Mastech รุ่น MS6252A

4.1.1 การวัดความเร็วลมเฉลี่ยใน 1 วัน

ทดสอบวัดความเร็วลมตลอด 24 ชั่วโมง โดยในเวลา 1 ชั่วโมง จะสุ่มวัด 10 นาที ซึ่งใน 10 นาทีนี้จะแบ่งการวัดเป็นช่วงๆละ 30 วินาที จากนั้นหาค่าเฉลี่ยของความเร็วลมในแต่ละชั่วโมง เพื่อหาค่าความเร็วลมเฉลี่ยใน 1 วัน ดังตารางที่ 4.1 และแสดงเป็นกราฟได้ดังรูปที่ 4.2

ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบวัดความเร็วลมเฉลี่ยใน 1 วัน

ช่วงเวลา (นาฬิกา)	ความเร็วเฉลี่ย (เมตรต่อวินาที)
01.00	1.65
02.00	1.71
03.00	1.48
04.00	1.70
05.00	2.68
06.00	3.13
07.00	2.83
08.00	2.49
09.00	2.73
10.00	3.16
11.00	2.63
12.00	3.39
13.00	2.80
14.00	3.18
15.00	2.00
16.00	1.85
17.00	1.98
18.00	1.26
19.00	1.39
20.00	3.13
21.00	3.24
22.00	2.43
23.00	2.45
24.00	1.90
ค่าเฉลี่ย	2.28



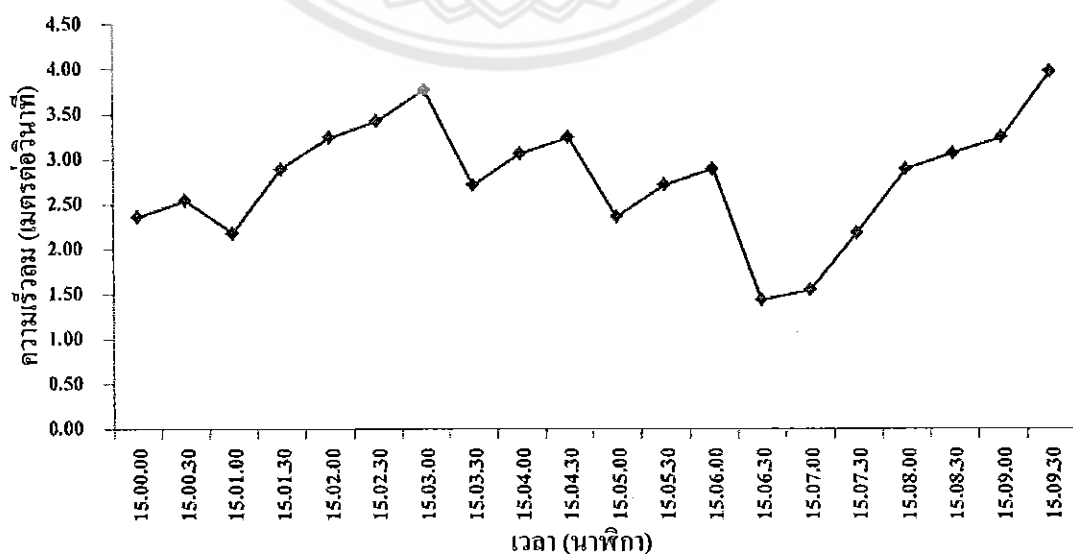
รูปที่ 4.2 กราฟความเร็วลมเฉลี่ยใน 1 วัน

จากรูปที่ 4.2 กราฟแสดงความเร็วลมเฉลี่ยใน 1 วัน พบว่าความเร็วลมในแต่ละช่วงเวลามีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย โดยมีความเร็วลมเฉลี่ยตลอดทั้งวันอยู่ที่ 2.38 เมตรต่อวินาที

4.1.2 การวัดความเร็วลมเฉลี่ยใน 1 สัปดาห์

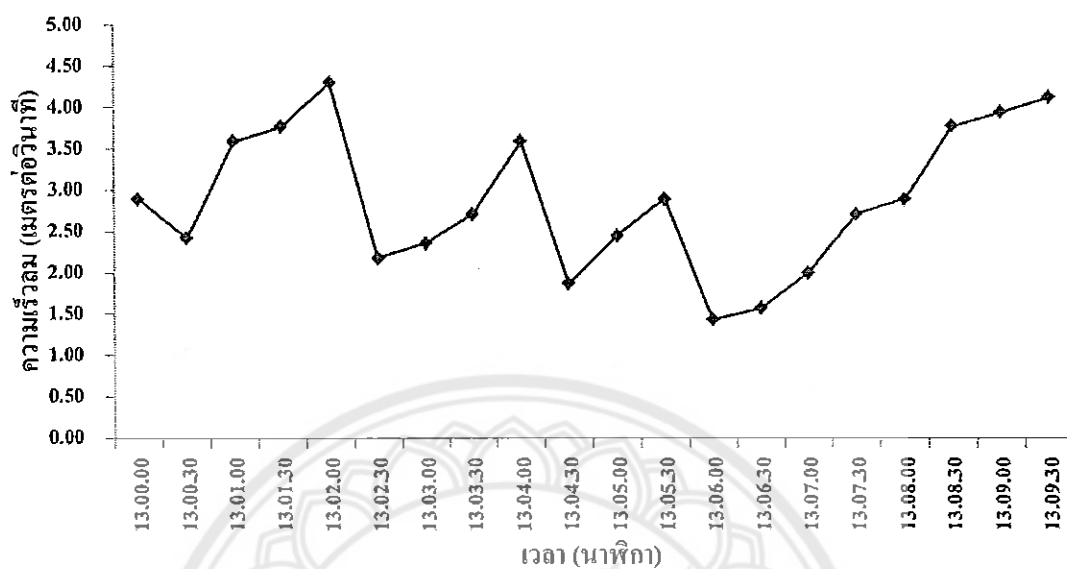
ทดสอบวัดความเร็วลมโดยเลือกสุ่มวัดในช่วงเช้าเวลา 8.00 ถึง 12.00 น. การสุ่มวัดช่วงบ่ายตั้งแต่เวลา 12.00 ถึง 18.00 น. และการสุ่มวัดช่วงกลางคืนตั้งแต่เวลา 18.00 ถึง 24.00 น. โดยในแต่ละช่วงเวลากลับมาจะสุ่มวัด 10 นาที ซึ่งในช่วง 10 นาทีนี้จะแบ่งการวัดเป็นช่วง ช่วงละ 30 วินาที เพื่อความละเอียดของการทดลองจึงได้ทำการวัดความเร็วลมในแต่ละวันซึ่งมีผลการทดลองเป็นดังนี้

วัดความเร็วลมในวันที่ 11 เมษายน พ.ศ. 2559 เวลา 15.00 ถึง 15.10 น. มีค่าความเร็วลมดังรูปที่ 4.3



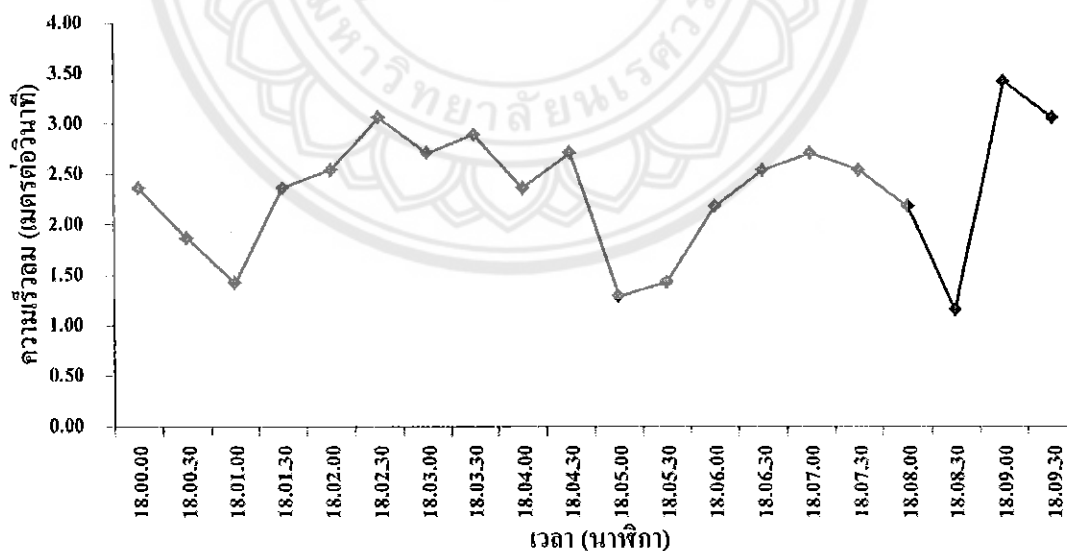
รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความเร็วลม วันที่ 11 เมษายน พ.ศ. 2559 เวลา 15.00 ถึง 15.10 น.

วัดความเร็วลมในวันที่ 12 เมษายน พ.ศ. 2559 เวลา 13.00 ถึง 13.10 น. มีค่าความเร็วลม
ดังรูปที่ 4.4



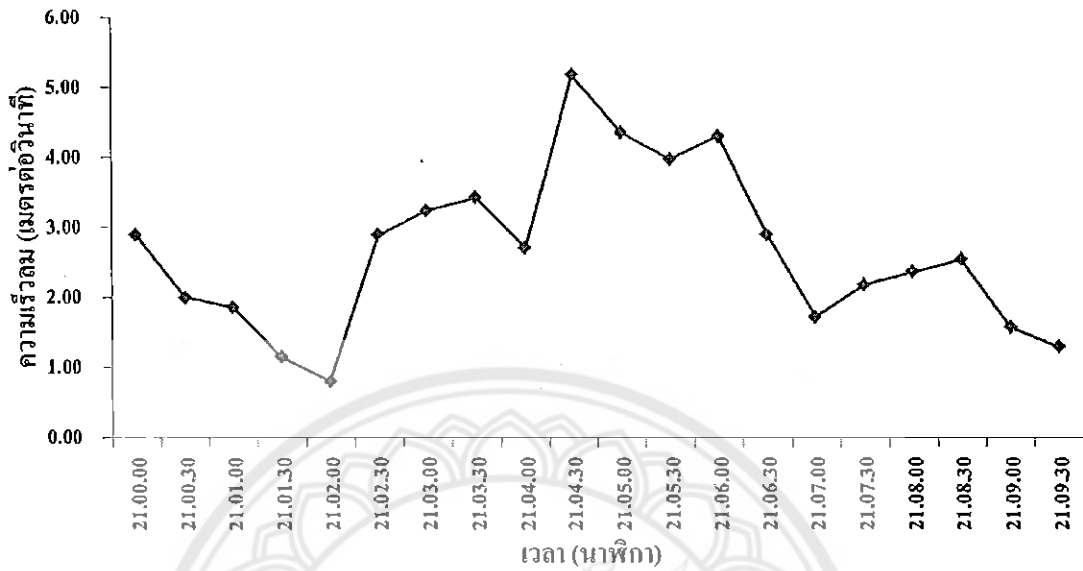
รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความเร็วลม วันที่ 12 เมษายน พ.ศ. 2559 เวลา 13.00 ถึง 13.10 น.

วัดความเร็วลมในวันที่ 13 เมษายน พ.ศ. 2559 เวลา 18.00 ถึง 18.10 น. มีค่าความเร็วลม
ดังรูปที่ 4.5



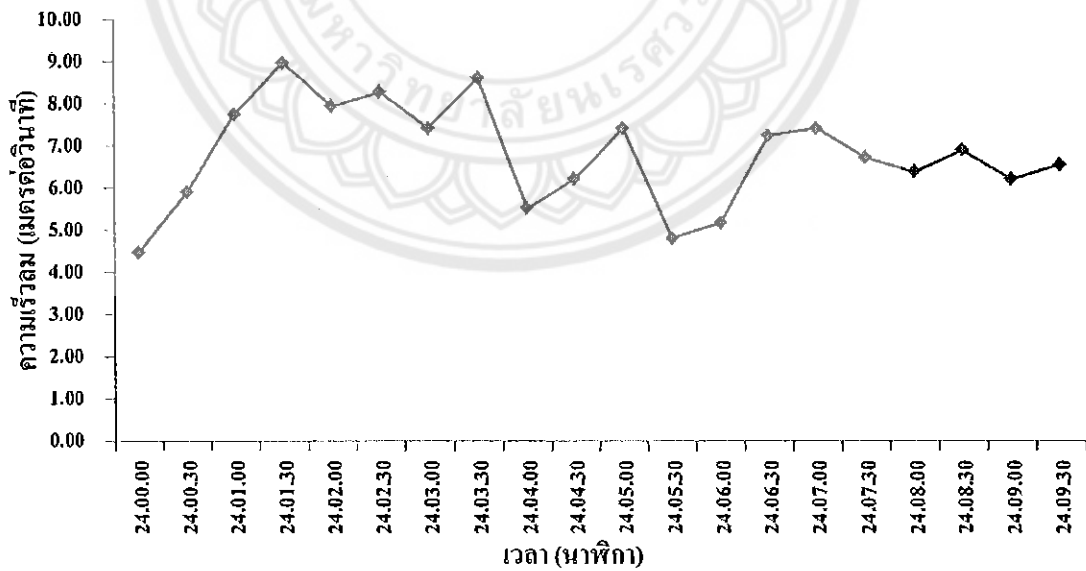
รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความเร็วลม วันที่ 13 เมษายน พ.ศ. 2559 เวลา 18.00 ถึง 18.10 น.

วัดความเร็วลมในวันที่ 14 เมษายน พ.ศ. 2559 เวลา 21.00 ถึง 21.10 น. มีค่าความเร็วลม
 ดังรูปที่ 4.6



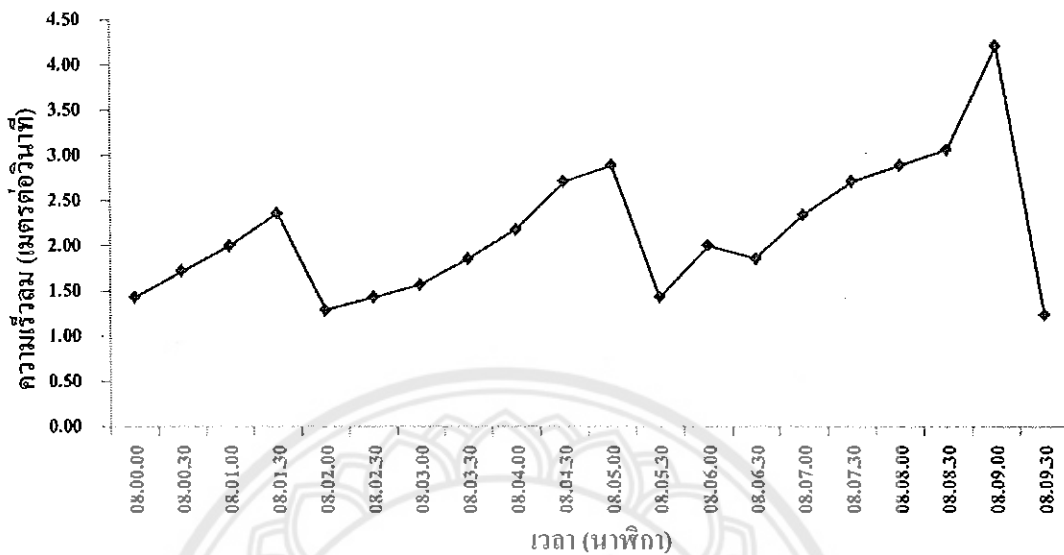
รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความเร็วลม วันที่ 14 เมษายน พ.ศ. 2559 เวลา 21.00 ถึง 21.10 น.

วัดความเร็วลมในวันที่ 15 เมษายน พ.ศ. 2559 เวลา 24.00 ถึง 24.10 น. มีค่าความเร็วลม
 ดังรูปที่ 4.7



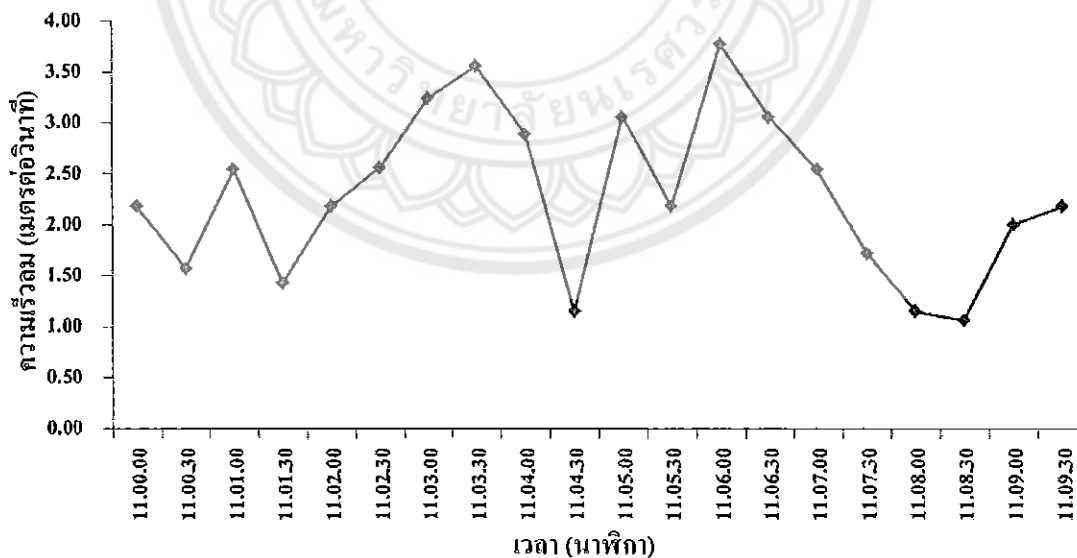
รูปที่ 4.7 กราฟแสดงความเร็วลม วันที่ 15 เมษายน พ.ศ. 2559 เวลา 24.00 ถึง 24.10 น.

วัดความเร็วลมในวันที่ 16 เมษายน พ.ศ. 2559 เวลา 08.00 ถึง 08.10 น. มีค่าความเร็วลม ดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 กราฟแสดงความเร็วลม วันที่ 16 เมษายน พ.ศ. 2559 เวลา 08.00 ถึง 08.10 น.

วัดความเร็วลมในวันที่ 17 เมษายน พ.ศ.2559 เวลา 11.00 ถึง 11.10 น. มีค่าความเร็วลมดัง รูปที่ 4.9

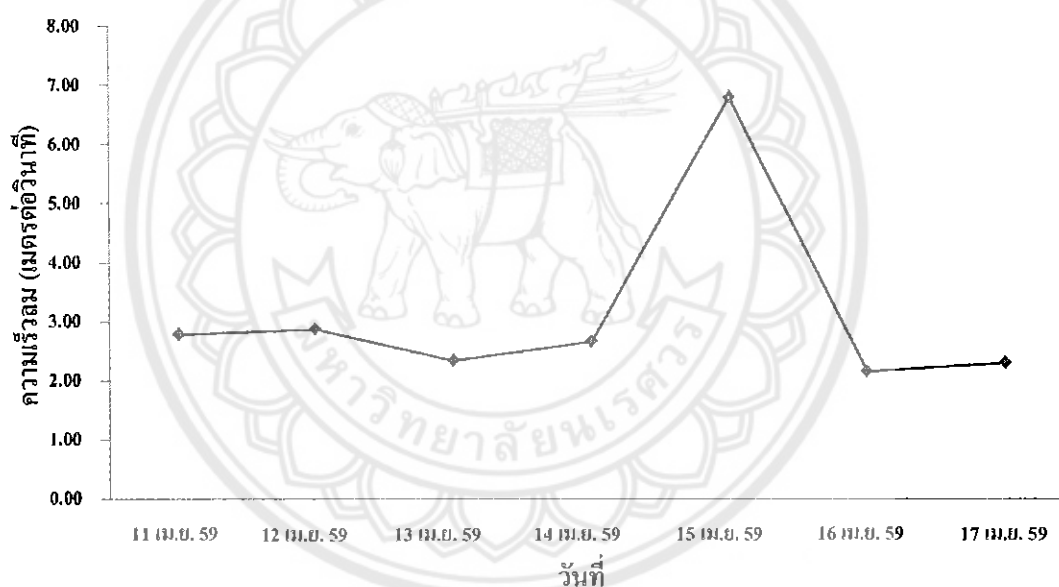


รูปที่ 4.9 กราฟแสดงความเร็วลม วันที่ 17 เมษายน พ.ศ. 2559 เวลา 11.00 ถึง 11.10 น.

ความเร็วลมเฉลี่ยในวันที่ 11 ถึง 17 เมษายน พ.ศ. 2559 มีค่าความเร็วลมดังตารางที่ 4.2 และแสดงเป็นกราฟได้ดังรูปที่ 4.10

ตารางที่ 4.2 ผลการวัดความเร็วลมเฉลี่ยระหว่างวันที่ 11 ถึง 17 เมษายน พ.ศ. 2559

วันที่	ความเร็วลม (เมตรต่อวินาที)
11 เม.ย. 59	2.78
12 เม.ย. 59	2.87
13 เม.ย. 59	2.34
14 เม.ย. 59	2.67
15 เม.ย. 59	6.80
16 เม.ย. 59	2.16
17 เม.ย. 59	2.30
เฉลี่ย	3.13

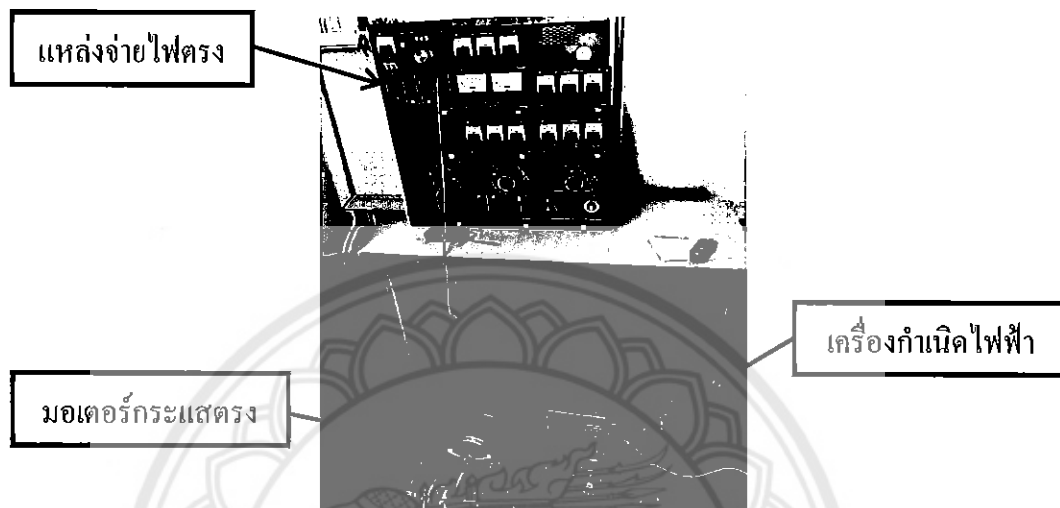


รูปที่ 4.10 กราฟแสดงความเร็วลมเฉลี่ยใน 1 สัปดาห์ วันที่ 11 ถึง 17 เมษายน พ.ศ. 2559

จากรูปที่ 4.10 กราฟแสดงความเร็วลมเฉลี่ยใน 1 สัปดาห์ ความเร็วลมเฉลี่ยของแต่ละวันใน 1 สัปดาห์มีค่าแตกต่างกันเล็กน้อยแต่จะเห็นได้ว่าในวันที่ 15 เมษายน พ.ศ. 2559 ความเร็วลมเฉลี่ยของวันมีค่าที่สูงมาก โดยมีสาเหตุมาจากการทดสอบความเร็วลมในเวลา 24.00 น. ถึง 24.10 น. และมีลมกระโชกแรงเกิดขึ้นจึงทำให้ความเร็วลมที่วัดได้สูงผิดปกติ ซึ่งการทำงานจริงของกังหันลมผลิตไฟฟ้านั้นมีการทำงานตลอดทั้งวัน จึงเป็นปกติที่กังหันลมผลิตไฟฟ้าต้องเจอกับความเร็วลมที่เปลี่ยนแปลงตลอดเวลา

4.2 การทดสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ความเร็วรอบต่างๆก่อนและหลังดัดแปลงขดลวดที่สเตเตอร์

การทดสอบค่าแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าก่อนและหลังดัดแปลงขดลวดสเตเตอร์ที่ความเร็วรอบต่างๆ โดยใช้มอเตอร์กระแสตรงเป็นต้นกำลังดังรูปที่ 4.11



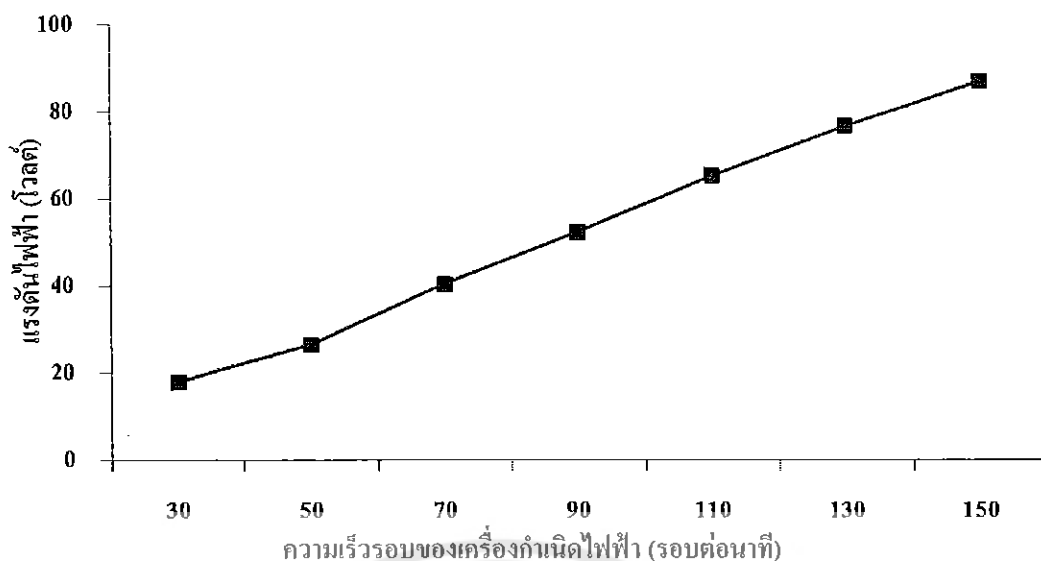
รูปที่ 4.11 การทดสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ความเร็วรอบต่างๆ

4.2.1 การทดสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าก่อนดัดแปลงขดลวดที่สเตเตอร์

จากการทดสอบได้ค่าความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบและแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าก่อนดัดแปลงขดลวดที่สเตเตอร์ดังตารางที่ 4.3 และแสดงเป็นกราฟได้ดังรูปที่ 4.12

ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าก่อนดัดแปลงขดลวดที่สเตเตอร์

ความเร็วรอบ (รอบต่อนาที)	แรงดันไฟฟ้าเอาต์พุต (โวลต์)
30	17.89
50	26.56
70	40.40
90	52.30
110	65.20
130	76.70
150	86.80



รูปที่ 4.12 กราฟแสดงค่าแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตที่ความเร็วรอบต่างๆก่อนตัดแปลง

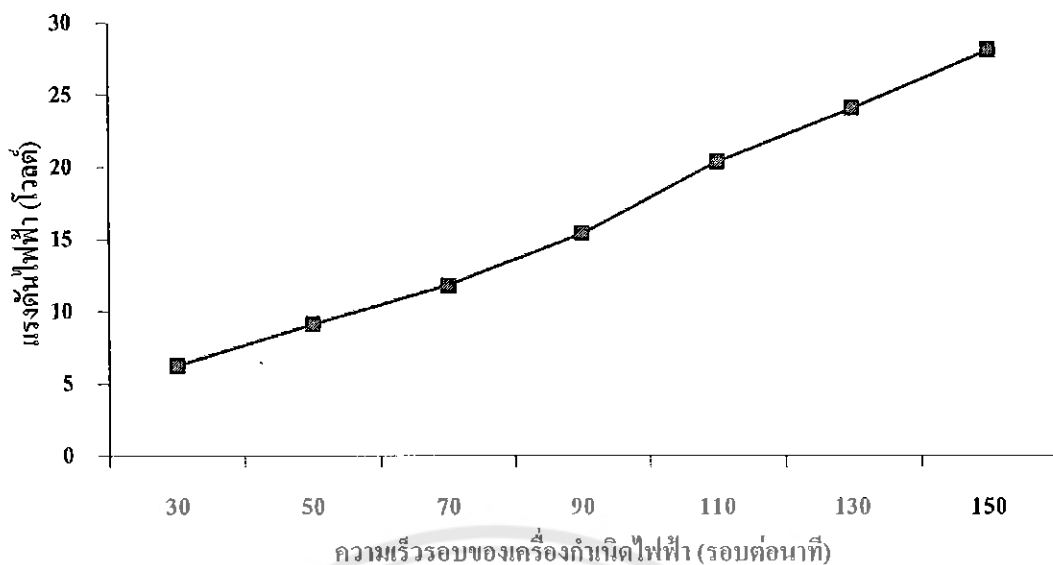
จากรูปที่ 4.12 กราฟแสดงค่าแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตก่อนตัดแปลงขดลวดสเตเตอร์ที่ความเร็วรอบต่างๆจะไม่มีโหลด พบว่าแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตเพิ่มขึ้นเป็นลักษณะเชิงเส้น สัมพันธ์กับความเร็วรอบที่มากขึ้น

4.2.2 การทดสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหลังตัดแปลงขดลวดที่สเตเตอร์

จากการทดสอบได้ค่าความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบและแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหลังตัดแปลงขดลวดที่สเตเตอร์ดังตารางที่ 4.4 และแสดงเป็นกราฟได้ดังรูปที่ 4.13

ตารางที่ 4.4 ผลการทดสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหลังตัดแปลงขดลวดที่สเตเตอร์

ความเร็วรอบ (รอบต่อนาที)	แรงดันไฟฟ้าเอาต์พุต (โวลต์)
30	6.25
50	9.14
70	11.81
90	15.43
110	20.38
130	24.09
150	28.12



รูปที่ 4.13 กราฟแสดงค่าแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตที่ความเร็วรอบต่างๆหลังดัดแปลง

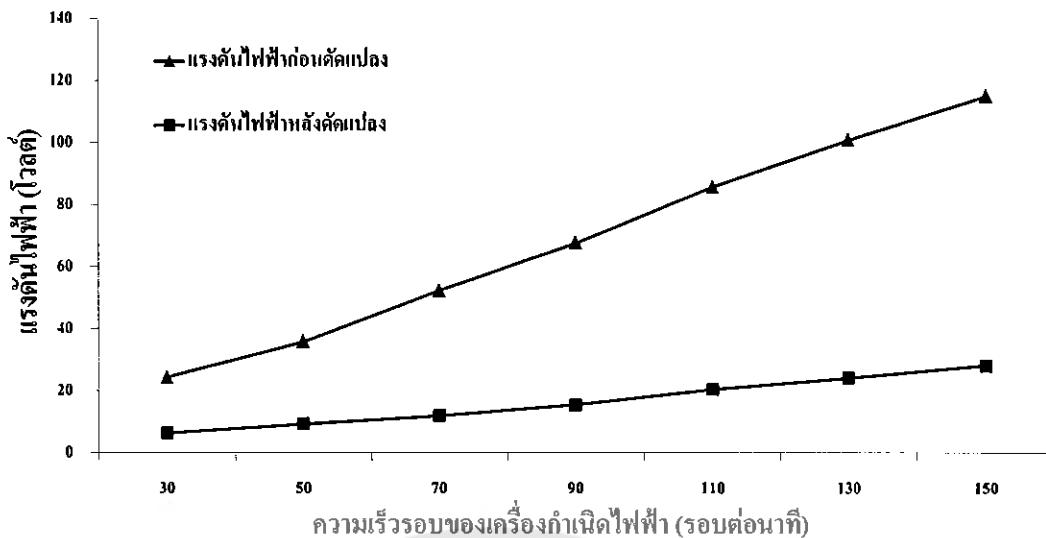
จากรูปที่ 4.13 กราฟแสดงค่าแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตหลังดัดแปลงขดลวดสเตเตอร์ที่ความเร็วรอบต่างๆจะไม่มีโหลด พบว่าแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตเพิ่มขึ้นเป็นลักษณะเชิงเส้นสัมพันธ์กับความเร็วรอบที่มากขึ้นเช่นเดียวกัน

4.2.3 การเปรียบเทียบแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตก่อนและหลังดัดแปลงขดลวดสเตเตอร์

จากการทดสอบแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ความเร็วรอบต่างๆแสดงได้ดังตารางที่ 4.5 และแสดงเป็นกราฟได้ดังรูปที่ 4.14

ตารางที่ 4.5 เปรียบเทียบแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ความเร็วรอบต่างๆ

ความเร็วรอบ (รอบต่อนาที)	แรงดันไฟฟ้าเอาต์พุต ก่อนดัดแปลง (โวลต์)	แรงดันไฟฟ้าเอาต์พุต หลังดัดแปลง (โวลต์)
30	17.89	6.25
50	26.56	9.14
70	40.40	11.81
90	52.30	15.43
110	65.20	20.38
130	76.70	24.09
150	86.80	28.12

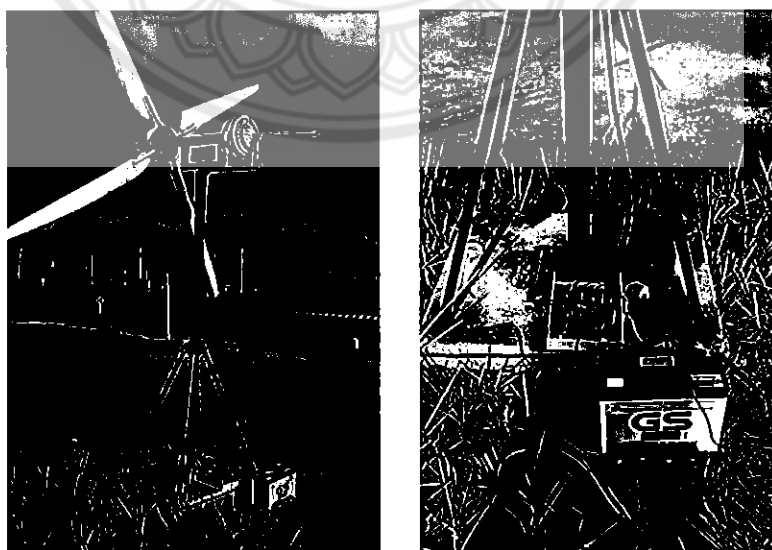


รูปที่ 4.14 กราฟแสดงการเปรียบเทียบแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตก่อนและหลังดัดแปลง

จากรูปที่ 4.14 กราฟแสดงการเปรียบเทียบแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตก่อนและหลังดัดแปลง ขดลวดที่สแตเตอร์พบว่า แรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตหลังดัดแปลงขดลวดสแตเตอร์จะมีค่าลดลงประมาณ 1 ใน 3 เท่าของแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตก่อนมีการดัดแปลงขดลวดสแตเตอร์ที่ความเร็วรอบเท่ากัน

4.3 การทดสอบกักเก็บผลผลิตไฟฟ้าทั้งระบบ

การทดสอบกักเก็บผลผลิตไฟฟ้าจริงทั้งระบบ โดยทำการทดสอบ ณ บ้านภูหนาวารีสอร์ท อำเภอเขาค้อ จังหวัดเพชรบูรณ์ดังรูปที่ 4.15



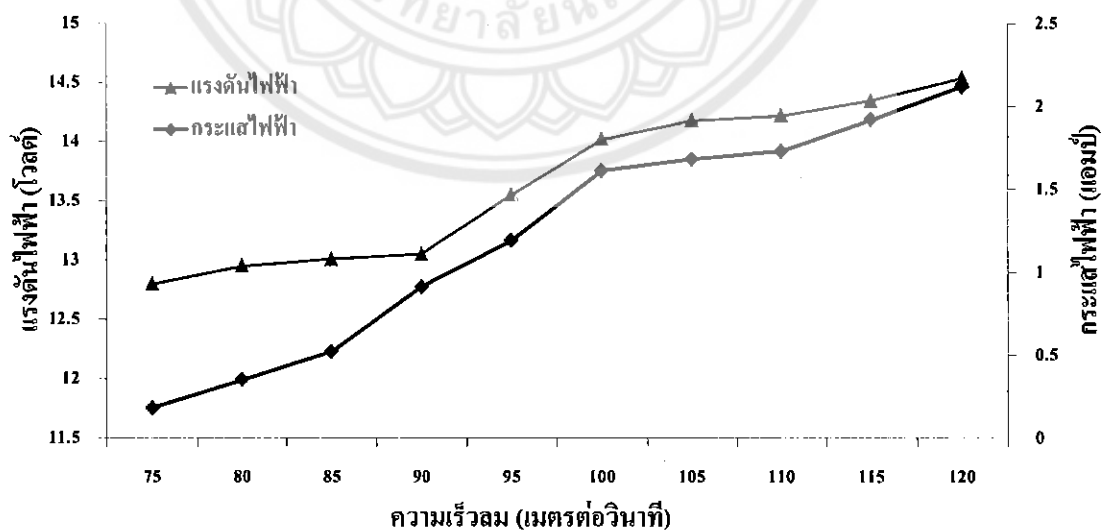
รูปที่ 4.15 การทดสอบกักเก็บผลผลิตไฟฟ้าทั้งระบบ

4.3.1 กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ของกังหันลม

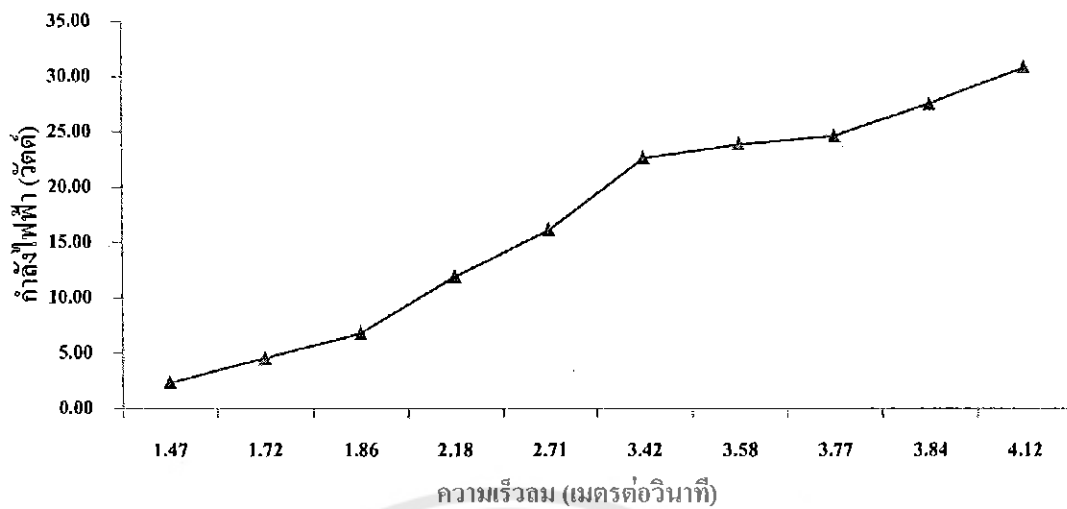
ในการทดสอบระบบการทำงานจริงของกังหันลมผลิตไฟฟ้า ได้ค่าพารามิเตอร์ 4 ค่า คือ ความเร็วลม ความเร็วรอบ แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าแสดงดังตารางที่ 4.6 และมาแสดงเป็นกราฟ ดังรูปที่ 4.16 และ 4.17

ตารางที่ 4.6 ผลการทดสอบกังหันลมผลิตไฟฟ้าทั้งระบบ

ความเร็วลม (เมตรต่อวินาที)	ความเร็วรอบ (รอบต่อนาที)	แรงดันไฟฟ้า (โวลต์)	กระแสไฟฟ้า (แอมป์)	กำลังไฟฟ้า (วัตต์)
1.47	75	12.80	0.18	2.30
1.72	80	12.95	0.35	4.53
1.86	85	13.01	0.52	6.76
2.18	90	13.05	0.91	11.87
2.71	95	13.55	1.19	16.12
3.42	100	14.02	1.61	22.57
3.58	105	14.18	1.68	23.82
3.77	110	14.22	1.73	24.60
3.84	115	14.35	1.92	27.55
4.12	120	14.54	2.12	30.82



รูปที่ 4.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลม แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า



รูปที่ 4.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมและกำลังไฟฟ้า

จากรูปที่ 4.16 และ 4.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลม แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้า สามารถอธิบายได้ว่ากังหันลมเริ่มผลิตกำลังไฟฟ้าที่ความเร็วลมต่ำสุดคือ 1.47 เมตรต่อวินาที กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้เท่ากับ 2.30 วัตต์ โดยทำให้มีแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุต 12.8 โวลต์ และกระแสเอาต์พุต 0.18 แอมป์ ในขณะที่ความเร็วลม 4.12 เมตรต่อวินาที กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้เท่ากับ 30.82 วัตต์ โดยมีแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุต 14.54 โวลต์ และกระแสเอาต์พุต 2.12 แอมป์

4.3.2 ประสิทธิภาพของกังหันลม

อากาศเมื่อมีการเคลื่อนที่จะมีพลังงานสะสมเกิดขึ้น ซึ่งมีความสัมพันธ์กับความเร็วลมยกกำลังสาม โดยสามารถเขียนความสัมพันธ์ได้ดังสมการที่ (4.1)

$$W = \frac{1}{2} \rho A V^3 \quad (4.1)$$

เมื่อ W คือ กำลังลม (วัตต์)

ρ คือ ความหนาแน่นของลม (1.225 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)

A คือ พื้นที่กวาดของใบพัด (ตารางเมตร)

V คือ ความเร็วลม (เมตรต่อวินาที)

ประสิทธิภาพ คือ อัตราส่วนระหว่างกำลังไฟฟ้าที่กังหันลมผลิตได้และกำลังลมที่พัดเข้ากังหันลม บ่งบอกถึงประสิทธิภาพของกังหันลม โดยสามารถเขียนความสัมพันธ์ได้ดังสมการที่ (4.2)

$$C_p = \frac{P_a}{W} \quad (4.2)$$

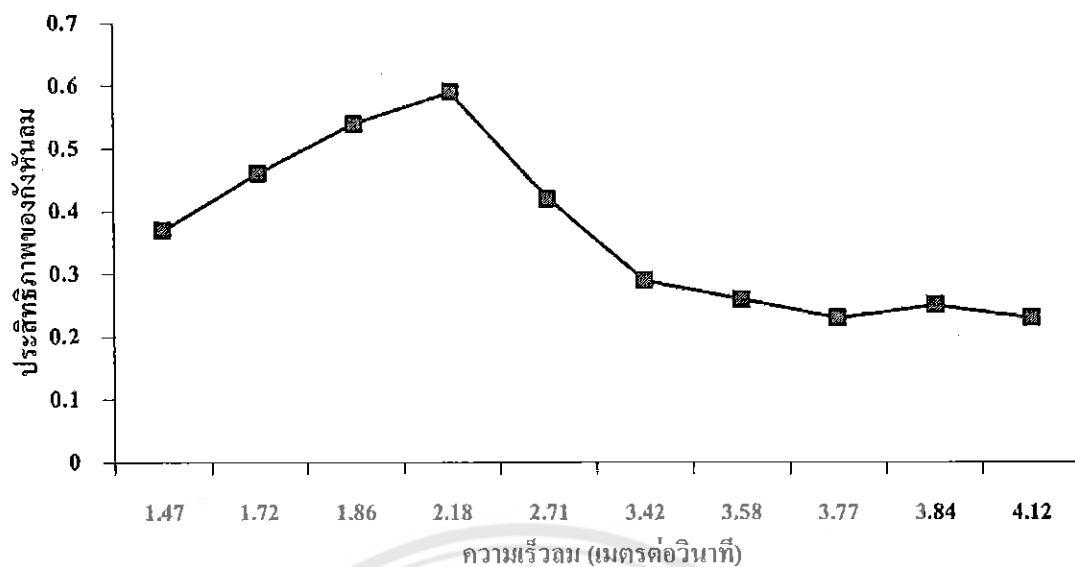
เมื่อ C_p คือ ประสิทธิภาพของกังหันลม

P_a คือ กำลังไฟฟ้าที่กังหันลมผลิตได้จริง (วัตต์)

จากการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของกังหันลมผลการวิเคราะห์แสดงได้ดังตารางที่ 4.7 และแสดงเป็นกราฟได้ดังรูปที่ 4.18

ตารางที่ 4.7 ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของกังหันลม

ความเร็วลม	กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้	กำลังลม	ประสิทธิภาพ
1.47	2.30	6.12	0.37
1.72	4.53	9.78	0.46
1.86	6.78	12.37	0.54
2.18	11.87	19.92	0.59
2.71	16.12	38.27	0.42
3.42	22.57	76.93	0.29
3.58	23.82	88.24	0.26
4.12	30.82	134.50	0.23



รูปที่ 4.18 กราฟแสดงประสิทธิภาพของกึ่งहनลม

จากรูปที่ 4.18 แสดงผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของกึ่งहनลม จากการวิเคราะห์พบว่า ในช่วงเริ่มต้นกึ่งहनลมมีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้นจนกระทั่งความเร็วลมเท่ากับ 2.18 เมตรต่อวินาที กึ่งहनลมมีประสิทธิภาพสูงสุดเท่ากับ 0.59 จากนั้นประสิทธิภาพกึ่งहनลมจะเริ่มลดลง ซึ่งผลการทดสอบที่ได้ต้องสอดคล้องกับการเลือกใบพัดของกึ่งहनลมชนิด NACA 4415 ที่มีประสิทธิภาพการรับลมได้ดีในช่วงความเร็วลมต่ำ

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการดำเนินงาน

โครงการนี้ได้ออกแบบและสร้างกังหันลมผลิตไฟฟ้า โดยการนำมอเตอร์เครื่องซักผ้ามาดัดแปลงขดลวดที่สเตเตอร์และประกบคู่ใช้เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เพื่ออัดประจุกำลังไฟฟ้าเก็บสะสมไว้ในแบตเตอรี่ขนาด 12 โวลต์ 45 แอมป์-ชั่วโมง โดยมีชุดวงจรควบคุมการอัดประจุแบบอัตโนมัติ เมื่อระดับแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่มีค่าสูงถึง 13 โวลต์ ชุดวงจรควบคุมจะสั่งให้รีเลย์เปลี่ยนหน้าสัมผัส เพื่อตัดกระแสอัดประจุแบตเตอรี่มาที่โหลดเทียมและเมื่อแรงดันแบตเตอรี่ต่ำกว่า 11.8 โวลต์ ชุดวงจรควบคุมจะสั่งให้รีเลย์เปลี่ยนหน้าสัมผัสเพื่อกลับมาอัดประจุแบตเตอรี่อีกครั้ง

จากการทดสอบการให้กำลังไฟฟ้าเอาต์พุตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าก่อนดัดแปลงขดลวดที่สเตเตอร์โดยใช้มอเตอร์กระแสตรงเป็นต้นกำลังในการขับ ซึ่งความเร็วรอบ 30 ถึง 150 รอบต่อนาที เครื่องกำเนิดไฟฟ้าให้แรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตอยู่ที่ระหว่าง 17 ถึง 86 โวลต์ ซึ่งเป็นระดับแรงดันไฟฟ้าที่สูงจึงไม่เหมาะสมกับชุดวงจรควบคุมการอัดประจุแบบอัตโนมัติและไม่เหมาะกับการอัดประจุแบตเตอรี่ขนาด 12 โวลต์ จากผลการทดสอบข้างต้นเป็นเช่นนี้เนื่องจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีการพันขดลวดที่สเตเตอร์เป็นแบบเวฟต่อกันแบบวาย มีขดลวดทั้งหมด 36 ขดลวดแบ่งเป็น 3 เฟส โดยแต่ละเฟสประกอบไปด้วย 12 ขดลวด จึงต้องทำการดัดแปลงขดลวดที่สเตเตอร์ให้ต่อแบบวาย 3 กลุ่มต่อขนานกัน โดยที่แต่ละกลุ่มมีขดลวดจำนวน 12 ขดลวด แบ่งเป็น 3 เฟส ในแต่ละเฟสมีขดลวดจำนวน 4 ขดลวด หลังจากดัดแปลงขดลวดที่สเตเตอร์แล้ว จึงทำการทดสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอีกครั้งโดยใช้มอเตอร์กระแสตรงเป็นต้นกำลังในการขับ พบว่าที่ความเร็วรอบ 30 ถึง 150 รอบต่อนาที เครื่องกำเนิดไฟฟ้าให้แรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตอยู่ที่ระหว่าง 6 ถึง 28 โวลต์ เมื่อเปรียบเทียบแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตก่อนและหลังดัดแปลงขดลวดที่สเตเตอร์ที่ความเร็วรอบเท่ากันพบว่าแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตหลังดัดแปลงขดลวดที่สเตเตอร์นั้นจะมีค่าที่ลดลงประมาณ 1 ใน 3 เท่าของแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตก่อนดัดแปลงขดลวดที่สเตเตอร์ ซึ่งเป็นระดับแรงดันที่เหมาะสมกับชุดวงจรควบคุมการอัดประจุแบบอัตโนมัติและแบตเตอรี่ขนาด 12 โวลต์

จากการทดสอบความเร็วลม ณ บ้านภูหนาวารีสอร์ท อำเภอเขาค้อ จังหวัดเพชรบูรณ์ ซึ่งเป็นสถานที่ใช้ในการติดตั้งกังหันลมและทำการวัดความเร็วลมตลอด 24 ชั่วโมง โดยในช่วงเวลา 1 ชั่วโมง จะสุ่มวัด 10 นาที ซึ่งใน 10 นาทีนี้จะแบ่งการวัดเป็นช่วงๆละ 30 วินาที จากการวัดพบว่าความเร็วลมเฉลี่ยใน 1 วัน อยู่ที่ 2.38 เมตรต่อวินาทีและมีความเร็วลมเฉลี่ยตลอดทั้งสัปดาห์อยู่ที่ 3.13 เมตรต่อวินาที จากข้อมูลความเร็วลมข้างต้นจึงต้องเลือกจำนวนใบพัดของกังหันลม 4 ใบพัด

ซึ่งเหมาะสมกับความเร็วลมในระดับ 2 ถึง 3 เมตรต่อวินาที และใช้ท่อน้ำพีวีซีเป็นวัสดุมาทำเป็นใบพัด เพราะมีน้ำหนักเบา หาง่ายและแข็งแรงทนทาน

การทดสอบกังหันลมผลิตไฟฟ้าจริงทั้งระบบ ณ บ้านภูหนาวารีสอร์ท อำเภอเขาค้อ จังหวัดเพชรบูรณ์พบว่ากังหันลมผลิตไฟฟ้ามีค่าประสิทธิภาพสูงสุดเท่ากับ 0.59 โดยที่ความเร็วลมนั้นมีค่าเท่ากับ 2.18 เมตรต่อวินาที และความเร็วลมต่ำสุดที่กังหันลมสามารถผลิตกำลังไฟฟ้าเพื่ออัดประจุลงแบตเตอรี่ 12 โวลต์ได้ คือ 1.47 เมตรต่อวินาที ซึ่งความเร็วลมระดับนี้จะสามารถสร้างความเร็วรอบได้ 75 รอบต่อนาที กำลังไฟฟ้าสร้างได้ 2.30 วัตต์ โดยจะสร้างแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตได้ประมาณ 13 โวลต์ กระแสเอาต์พุตประมาณ 0.2 แอมป์

เมื่อเปรียบเทียบราคาในด้านความคุ้มค่า พบว่ากังหันลมผลิตไฟฟ้าสำเร็จรูปที่มีขายตามท้องตลาดขนาดกำลังผลิตไม่เกิน 50 วัตต์ มีราคาอยู่ประมาณ 10,000 บาท แต่การสร้างกังหันลมผลิตไฟฟ้าขนาดกำลังผลิตไม่เกิน 50 วัตต์ ของโครงการนี้มีต้นทุนอยู่ที่ประมาณ 5,000 บาท จึงสรุปได้ว่าการสร้างกังหันลมผลิตไฟฟ้าใช้เองนั้นมีต้นทุนที่ต่ำกว่ากังหันลมผลิตไฟฟ้าสำเร็จรูปที่ขายตามท้องตลาดอยู่ถึง 50 เปอร์เซ็นต์

5.2 ปัญหาและแนวทางแก้ไข

1. การออกแบบโครงสร้างทางกลเมื่อประกอบโครงสร้างเข้าด้วยกันและทดสอบการทำงานพบว่า ระดับความเร็วลมสูงขึ้นใบพัดของกังหันจะเริ่มสั่นทำให้ห้องสายของใบพัดเปลี่ยนไปแนวทางแก้ไขคือต้องใช้แหวนรองน็อตมาช่วยในการยึดใบพัดกับแกนหมุนให้แน่นขึ้น ซึ่งสามารถช่วยลดปัญหาการสั่นของใบพัดลงได้

2. การทดสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและชุดวงจรควบคุมการอัดประจุแบบอัตโนมัติ โดยใช้มอเตอร์กระแสตรงเป็นต้นกำลังขับพบว่า เมื่อปรับความเร็วรอบของมอเตอร์กระแสตรงสูงมากเกินไป ส่งผลให้ความเร็วรอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสูงขึ้นทำให้กระแสไฟฟ้าเอาต์พุตสูงขึ้นตามไปด้วย การเลือกขนาดฟิวส์ไม่เหมาะสมทำให้อุปกรณ์ภายในวงจรควบคุมการอัดประจุเสียหายบางส่วน จึงแก้ไขโดยการเปลี่ยนฟิวส์และปรับความเร็วรอบของเครื่องต้นกำลังให้ต่ำลง

3. การทดสอบกังหันลมผลิตไฟฟ้าทั้งระบบเมื่อระดับความเร็วลมสูงมากเกินไปทำให้ตัวกังหันลมสั่น ส่งผลให้โครงสร้างบางส่วนเสียหายจึงทำการแก้ไขโดยเพิ่มจุดยึดที่ฐานของกังหันลม

5.3 ข้อเสนอแนะในการพัฒนา

1. การออกแบบโครงสร้างทางกลของกังหันลมผลิตไฟฟ้าต้องคำนึงถึงความแข็งแรงทนทานต่อระดับความเร็วลมที่สูง ดังนั้นฐานและเสาของกังหันลมควรออกแบบให้มีจุดยึดหลายๆจุด

2. เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของกังหันลมผลิตไฟฟ้าให้สูงขึ้น เสาของกังหันลมควรมีความสูงมากกว่า 5 เมตร

3. ก่อตั้งวงจรควบคุมควรเป็นกล่องชนิดกันน้ำและมีการติดตั้งพัดลมระบายความร้อน

4. มอเตอร์เครื่องซักผ้าที่นำมาเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ควรนำมาทำความสะอาดเดือนละครั้งเพราะอาจเกิดสนิมที่ตัวโรเตอร์ทำให้การสร้างความเร็วรอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีประสิทธิภาพต่ำลง



เอกสารอ้างอิง

- [1] <http://www.marine.tmd.go.th>, ความเร็วลม สืบค้นเมื่อ 1 พฤษภาคม 2559
- [2] http://www3.egat.co.th/re/egat_wind/wind_technology.htm, ชนิดของกังหันลมผลิตไฟฟ้า สืบค้นเมื่อ 1 พฤษภาคม 2559
- [3] <http://www.thaitechnics.com>, ทฤษฎีใบพัด สืบค้นเมื่อ 1 พฤษภาคม 2559
- [4] ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นิพัทธ์ จันทรมินทร์ "อิเล็กทรอนิกส์กำลัง (Power Electronics)", เอกสารประกอบการสอน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร, 2555
- [5] www.micontechlab.com/product/1109/1x-mds150a-three-phase-power-bridge-rectifier-diode-150a-1600v-module, วงจรเรียงกระแสสามเฟสแบบบริดจ์ สืบค้นเมื่อ 1 พฤษภาคม 2559
- [6] <http://ceemankorn.blogspot.com>, วงจรทอนระดับแรงดัน สืบค้นเมื่อ 1 พฤษภาคม 2559
- [7] <http://www.micontechlab.com>, แผงวงจรทอนระดับแรงดัน สืบค้นเมื่อ 1 พฤษภาคม 2559
- [8] dtv.mcot.net/north/mant/passreport/home, ประเภทของเบตเตอร์ การอัดประจุและการเก็บรักษาเบตเตอร์ สืบค้นเมื่อ 1 พฤษภาคม 2559
- [9] <http://www.mpoweruk.com>, ช่วงเวลาขณะอัดประจุเบตเตอร์ สืบค้นเมื่อ 1 พฤษภาคม 2559
- [10] <http://lecture.esy.es/lessons/generator>, เครื่องกำเนิดไฟฟ้า สืบค้นเมื่อ 1 พฤษภาคม 2559
- [11] <http://justflyitpe111.blogspot.com/2013/12/8th.html>, หลักการทำงานของมอเตอร์ สืบค้นเมื่อ 1 พฤษภาคม 2559
- [12] <http://www.mmv.ac.th/supphapong/sci%20617.htm>, หลักการสนามแม่เหล็กตัดผ่านขดลวด สืบค้นเมื่อ 1 พฤษภาคม 2559
- [13] <http://ienergyguru.com>, การเกิดสนามแม่เหล็กหมุน สืบค้นเมื่อ 1 พฤษภาคม 2559



ภาคผนวก ก

รายละเอียดข้อมูลของความเร็วลมใน 1 สัปดาห์

ข้อมูลความเร็วลม วันที่ 11 เมษายน พ.ศ. 2559 ณ บ้านภูหนาวรีสอร์ท อำเภอเขาค้อ
จังหวัดเพชรบูรณ์

ช่วงเวลา 15.00-15.10 (นาฬิกา)	ความเร็วลม (เมตรต่อวินาที)
15.00.00	2.36
15.00.30	2.54
15.01.00	2.18
15.01.30	2.89
15.02.00	3.24
15.02.30	3.42
15.03.00	3.77
15.03.30	2.71
15.04.00	3.06
15.04.30	3.24
15.05.00	2.36
15.05.30	2.71
15.06.00	2.89
15.06.30	1.43
15.07.00	1.54
15.07.30	2.18
15.08.00	2.89
15.08.30	3.06
15.09.00	3.24
15.09.30	3.97
ค่าเฉลี่ย	2.78

ข้อมูลความเร็วลม วันที่ 12 เมษายน พ.ศ. 2559 ณ บ้านภูหนาวรีสอร์ท อำเภอเขาค้อ
จังหวัดเพชรบูรณ์

ช่วงเวลา 13.00-13.10 (นาฬิกา)	ความเร็วลม (เมตรต่อวินาที)
13.00.00	2.89
13.00.30	2.42
13.01.00	3.59
13.01.30	3.77
13.02.00	4.30
13.02.30	2.18
13.03.00	2.36
13.03.30	2.71
13.04.00	3.59
13.04.30	1.86
13.05.00	2.45
13.05.30	2.89
13.06.00	1.43
13.06.30	1.57
13.07.00	2.00
13.07.30	2.71
13.08.00	2.89
13.08.30	3.77
13.09.00	3.94
13.09.30	4.12
ค่าเฉลี่ย	2.87

ข้อมูลความเร็วลม วันที่ 13 เมษายน พ.ศ. 2559 ณ บ้านภูหนาวรีสอร์ท อำเภอเขาค้อ
จังหวัดเพชรบูรณ์

ช่วงเวลา 18.00-18.10 (นาฬิกา)	ความเร็วลม (เมตรต่อวินาที)
18.00.00	2.36
18.00.30	1.86
18.01.00	1.42
18.01.30	2.36
18.02.00	2.54
18.02.30	3.06
18.03.00	2.71
18.03.30	2.89
18.04.00	2.36
18.04.30	2.71
18.05.00	1.29
18.05.30	1.43
18.06.00	2.18
18.06.30	2.54
18.07.00	2.71
18.07.30	2.54
18.08.00	2.18
18.08.30	1.15
18.09.00	3.42
18.09.30	3.06
ค่าเฉลี่ย	2.34

ข้อมูลความเร็วลม วันที่ 14 เมษายน พ.ศ. 2559 ณ บ้านภูหนาวรีสอร์ท อำเภอเขาค้อ
จังหวัดเพชรบูรณ์

ช่วงเวลา 21.00-21.10 (นาฬิกา)	ความเร็วลม (เมตรต่อวินาที)
21.00.00	2.89
21.00.30	2.00
21.01.00	1.86
21.01.30	1.15
21.02.00	0.80
21.02.30	2.89
21.03.00	3.24
21.03.30	3.42
21.04.00	2.71
21.04.30	5.18
21.05.00	4.36
21.05.30	3.97
21.06.00	4.30
21.06.30	2.89
21.07.00	1.72
21.07.30	2.18
21.08.00	2.36
21.08.30	2.54
21.09.00	1.57
21.09.30	1.29
ค่าเฉลี่ย	2.67

ข้อมูลความเร็วลม วันที่ 15 เมษายน พ.ศ. 2559 ณ บ้านภูหนาวรีสอร์ท อำเภอเขาค้อ
จังหวัดเพชรบูรณ์

ช่วงเวลา 24.00-24.10 (นาฬิกา)	ความเร็วลม (เมตรต่อวินาที)
24.00.00	4.47
24.00.30	5.90
24.01.00	7.76
24.01.30	8.97
24.02.00	7.94
24.02.30	8.28
24.03.00	7.42
24.03.30	8.62
24.04.00	5.53
24.04.30	6.22
24.05.00	7.42
24.05.30	4.82
24.06.00	5.18
24.06.30	7.25
24.07.00	7.42
24.07.30	6.73
24.08.00	6.39
24.08.30	6.90
24.09.00	6.22
24.09.30	6.56
ค่าเฉลี่ย	6.80

ข้อมูลความเร็วลม วันที่ 16 เมษายน พ.ศ. 2559 ณ บ้านภูหนาวรีสอร์ท อำเภอเขาค้อ
จังหวัดเพชรบูรณ์

ช่วงเวลา 08.00-08.10 (นาฬิกา)	ความเร็วลม (เมตรต่อวินาที)
08.00.00	1.43
08.00.30	1.72
08.01.00	2.00
08.01.30	2.36
08.02.00	1.29
08.02.30	1.43
08.03.00	1.57
08.03.30	1.86
08.04.00	2.18
08.04.30	2.71
08.05.00	2.89
08.05.30	1.43
08.06.00	2.00
08.06.30	1.86
08.07.00	2.34
08.07.30	2.71
08.08.00	2.89
08.08.30	3.06
08.09.00	4.21
08.09.30	1.24
ค่าเฉลี่ย	2.16

ข้อมูลความเร็วลม วันที่ 17 เมษายน พ.ศ. 2559 ณ บ้านภูหนาวรีสอร์ท อำเภอเขาค้อ
จังหวัดเพชรบูรณ์

ช่วงเวลา 11.00-11.10 (นาฬิกา)	ความเร็วลม (เมตรต่อวินาที)
11.00.00	2.18
11.00.30	1.57
11.01.00	2.54
11.01.30	1.43
11.02.00	2.18
11.02.30	2.56
11.03.00	3.24
11.03.30	3.56
11.04.00	2.89
11.04.30	1.15
11.05.00	3.06
11.05.30	2.18
11.06.00	3.77
11.06.30	3.06
11.07.00	2.54
11.07.30	1.72
11.08.00	1.15
11.08.30	1.06
11.09.00	2.00
11.09.30	2.18
ค่าเฉลี่ย	2.30



ภาคผนวก ข

รายละเอียดข้อมูลของทรานซิสเตอร์หมายเลข BD139



BD135
BD139

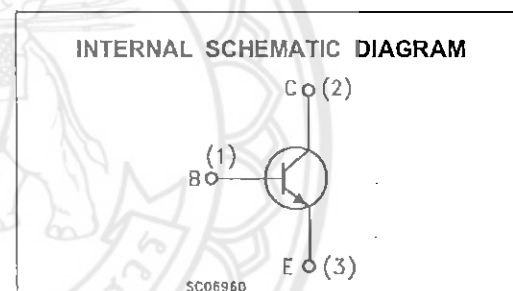
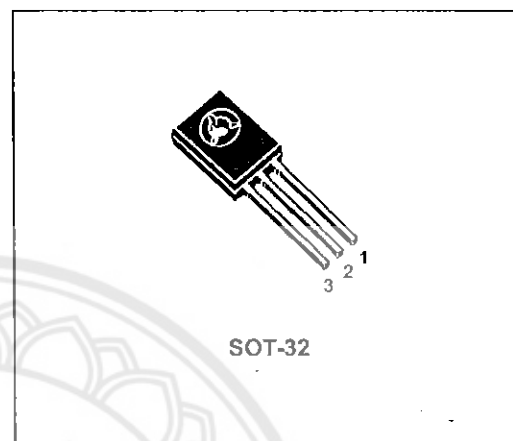
NPN SILICON TRANSISTORS

- STMicroelectronics PREFERRED SALESTYPES

DESCRIPTION

The BD135 and BD139 are silicon epitaxial planar NPN transistors in Jedec SOT-32 plastic package, designed for audio amplifiers and drivers utilizing complementary or quasi complementary circuits.

The complementary PNP types are BD136 and BD140 respectively.



ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Symbol	Parameter	Value		Unit
		BD135	BD139	
V_{CBO}	Collector-Base Voltage ($I_E = 0$)	45	80	V
V_{CEO}	Collector-Emitter Voltage ($I_B = 0$)	45	80	V
V_{EBO}	Emitter-Base Voltage ($I_C = 0$)	5		V
I_C	Collector Current	1.5		A
I_{CM}	Collector Peak Current	3		A
I_B	Base Current	0.5		A
P_{tot}	Total Dissipation at $T_c \leq 25^\circ\text{C}$	12.5		W
P_{tot}	Total Dissipation at $T_{amb} \leq 25^\circ\text{C}$	1.25		W
T_{stg}	Storage Temperature	-65 to 150		$^\circ\text{C}$
T_j	Max. Operating Junction Temperature	150		$^\circ\text{C}$

BD135 / BD139

THERMAL DATA

$R_{th(jc)}$	Thermal Resistance Junction-case	Max	10	$^{\circ}\text{C/W}$
--------------	----------------------------------	-----	----	----------------------

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($T_{case} = 25^{\circ}\text{C}$ unless otherwise specified)

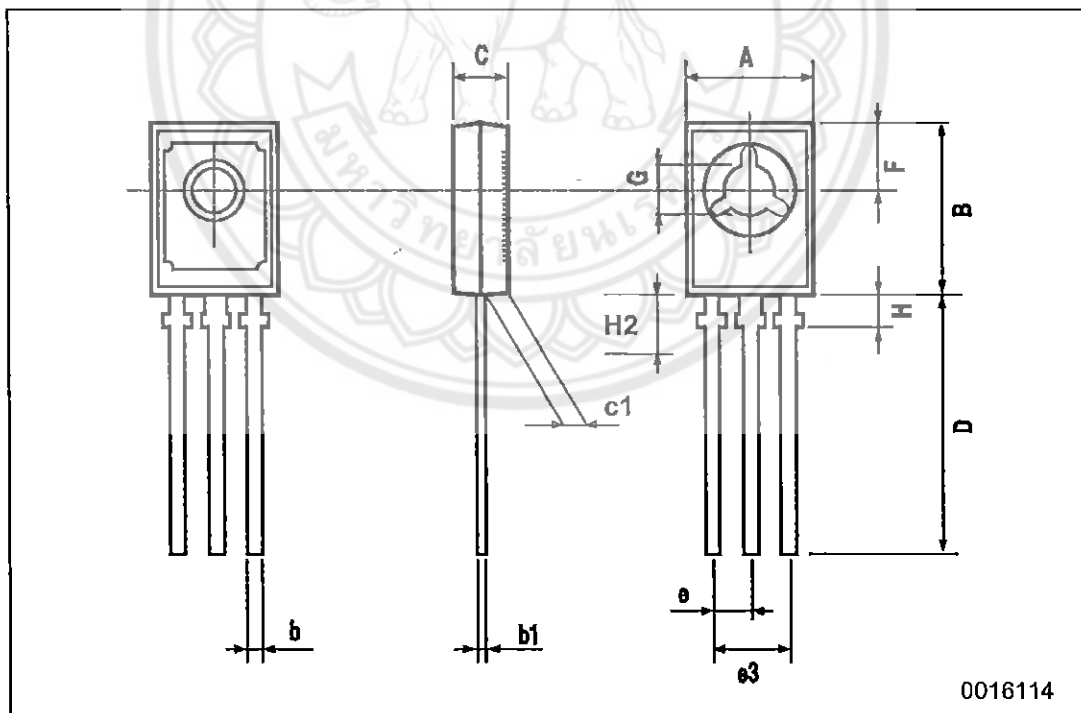
Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
I_{CBO}	Collector Cut-off Current ($I_E = 0$)	$V_{CB} = 30\text{ V}$ $V_{CB} = 30\text{ V}$ $T_C = 125^{\circ}\text{C}$			0.1 10	μA μA
I_{EBO}	Emitter Cut-off Current ($I_C = 0$)	$V_{EB} = 5\text{ V}$			10	μA
$V_{CE(sus)}^*$	Collector-Emitter Sustaining Voltage	$I_C = 30\text{ mA}$ for BD135 for BD139	45 80			V V
$V_{CE(sat)}^*$	Collector-Emitter Saturation Voltage	$I_C = 0.5\text{ A}$ $I_B = 0.05\text{ A}$			0.5	V
V_{BE}^*	Base-Emitter Voltage	$I_C = 0.5\text{ A}$ $V_{CE} = 2\text{ V}$			1	V
h_{FE}^*	DC Current Gain	$I_C = 5\text{ mA}$ $V_{CE} = 2\text{ V}$ $I_C = 0.5\text{ A}$ $V_{CE} = 2\text{ V}$ $I_C = 150\text{ mA}$ $V_{CE} = 2\text{ V}$	25 25 40		250	
h_{FE}	h_{FE} Groups	$I_C = 150\text{ mA}$ $V_{CE} = 2\text{ V}$ for BD139 group 10	63		160	

* Pulsed: Pulse duration = 300 μs , duty cycle 1.5 %



SOT-32 (TO-126) MECHANICAL DATA

DIM.	mm			inch		
	MIN.	TYP.	MAX.	MIN.	TYP.	MAX.
A	7.4		7.8	0.291		0.307
B	10.5		10.8	0.413		0.445
b	0.7		0.9	0.028		0.035
b1	0.49		0.75	0.019		0.030
C	2.4		2.7	0.040		0.106
c1	1.0		1.3	0.039		0.050
D	15.4		16.0	0.606		0.629
e		2.2		0.087		
e3	4.15		4.65	0.163		0.183
F		3.8		0.150		
G	3		3.2	0.118		0.126
H			2.54			0.100





รายละเอียดข้อมูลของไอซีคิวมค่าแรงดันหมายเลข LM7808

UTC LM78XX LINEAR INTEGRATED CIRCUIT

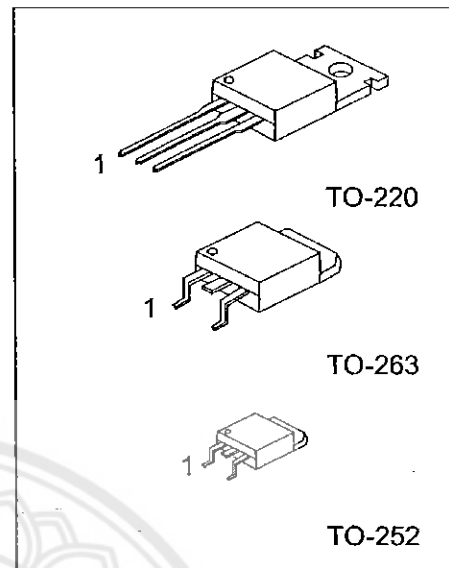
3-TERMINAL 1A POSITIVE VOLTAGE REGULATOR

DESCRIPTION

The UTC 78XX family is monolithic fixed voltage regulator integrated circuit. They are suitable for applications that require supply current up to 1 A.

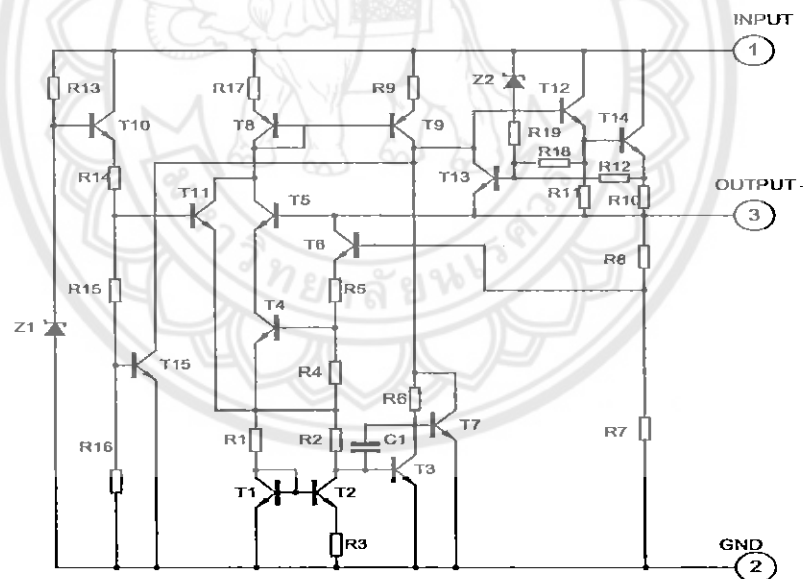
FEATURES

- *Output current up to 1.5 A
- *Fixed output voltage of 5V, 6V, 8V, 9V, 10V, 12V, 15V, 18V and 24V available
- *Thermal overload shutdown protection
- *Short circuit current limiting
- *Output transistor SOA protection



1: Input 2: GND 3: Output

TEST CIRCUIT



UTC LM78XX LINEAR INTEGRATED CIRCUIT

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

(Operating temperature range applies unless otherwise specified)

PARAMETER	SYMBOL	RATING	UNIT
Input voltage(for $V_o=5\sim 18V$) (for $V_o=24V$)	V_i	35	V
		40	V
Output Current	I_o	1	A
Power Dissipation	PD	Internally Limited	W
Operating Junction Temperature Range	T_{OPR}	-20 +150	°C
Storage Temperature Range	T_{STG}	-55 +150	°C

UTC LM7805 ELECTRICAL CHARACTERISTICS

($V_i=10V$, $I_o=0.5A$, $T_j=0^\circ C - 125^\circ C$, $C_1=0.33\mu F$, $C_o=0.1\mu F$, unless otherwise specified)(Note 1)

PARAMETER	SYMBOL	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT
Output Voltage	V_o	$T_j=25^\circ C$, $I_o=5mA - 1.0A$	4.80	5.0	5.20	V
		$V_i=7.5V$ to $20V$, $I_o=5mA - 1.0A$, $PD<15W$	4.75		5.25	V
Load Regulation	ΔV_o	$T_j=25^\circ C$, $I_o=5mA - 1.5A$			50	mV
		$T_j=25^\circ C$, $I_o=0.25A - 0.75A$			25	mV
Line regulation	ΔV_o	$V_i=7V$ to $25V$, $T_j=25^\circ C$			50	mV
		$V_i=7.5V$ to $20V$, $T_j=25^\circ C$, $I_o=1A$			50	mV
Quiescent Current	I_q	$T_j=25^\circ C$, $I_o<1A$			8.0	mA
Quiescent Current Change	ΔI_q	$V_i=7.5V$ to $20V$			1.0	mA
		$I_o=5mA - 1.0A$			0.5	mA
Output Noise Voltage	V_N	$10Hz \leq f \leq 100kHz$		40		μV
Temperature coefficient of V_o	$\Delta V_o/\Delta T$	$I_o=5mA$		-0.6		$mV/^\circ C$
Ripple Rejection	RR	$V_i=8V - 18V$, $f=120Hz$, $T_j=25^\circ C$	62	80		dB
Peak Output Current	I_{PK}	$T_j=25^\circ C$		1.8		A
Short-Circuit Current	I_{SC}	$V_i=35V$, $T_j=25^\circ C$		250		mA
Dropout Voltage	V_d	$T_j=25^\circ C$		2.0		V

UTC LM7806 ELECTRICAL CHARACTERISTICS

($V_i=11V$, $I_o=0.5A$, $T_j=0^\circ C - 125^\circ C$, $C_1=0.33\mu F$, $C_o=0.1\mu F$, unless otherwise specified)(Note 1)

PARAMETER	SYMBOL	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT
Output Voltage	V_o	$T_j=25^\circ C$, $I_o=5mA - 1.0A$	5.76	6.0	6.24	V
		$V_i=8.5V$ to $21V$, $I_o=5mA - 1.0A$, $PD<15W$	5.70		6.30	V
Load Regulation	ΔV_o	$T_j=25^\circ C$, $I_o=5mA - 1.5A$			60	mV
		$T_j=25^\circ C$, $I_o=0.25A - 0.75A$			30	mV
Line regulation	ΔV_o	$V_i=8V$ to $25V$, $T_j=25^\circ C$			60	mV
		$V_i=8.5V$ to $21V$, $T_j=25^\circ C$, $I_o=1A$			60	mV
Quiescent Current	I_q	$T_j=25^\circ C$, $I_o<1A$			8.0	mA
Quiescent Current Change	ΔI_q	$V_i=8.5V$ to $21V$			1.0	mA
		$I_o=5mA - 1.0A$			0.5	mA
Output Noise Voltage	V_N	$10Hz \leq f \leq 100kHz$		45		μV
Temperature coefficient of V_o	$\Delta V_o/\Delta T$	$I_o=5mA$		-0.7		$mV/^\circ C$
Ripple Rejection	RR	$V_i=9V - 19V$, $f=120Hz$, $T_j=25^\circ C$	59	75		dB

UTC LM78XX LINEAR INTEGRATED CIRCUIT

PARAMETER	SYMBOL	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT
Peak Output Current	I_{PK}	$T_J=25^\circ\text{C}$		1.8		A
Short-Circuit Current	I_{SC}	$V_I=35\text{V}, T_J=25^\circ\text{C}$		250		mA
Dropout Voltage	V_d	$T_J=25^\circ\text{C}$		2.0		V

UTC LM7808 ELECTRICAL CHARACTERISTICS

($V_I=14\text{V}, I_o=0.5\text{A}, T_J=0^\circ\text{C} - 125^\circ\text{C}, C_1=0.33\mu\text{F}, C_o=0.1\mu\text{F}$, unless otherwise specified)(Note 1)

PARAMETER	SYMBOL	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT
Output Voltage	V_o	$T_J=25^\circ\text{C}, I_o=5\text{mA} - 1.0\text{A}$	7.68	8.0	8.32	V
		$V_I=10.5\text{V to } 23\text{V},$ $I_o=5\text{mA} - 1.0\text{A}, PD<15\text{W}$	7.60		8.40	V
Load Regulation	ΔV_o	$T_J=25^\circ\text{C}, I_o=5\text{mA} - 1.5\text{A}$			80	mV
		$T_J=25^\circ\text{C}, I_o=0.25\text{A} - 0.75\text{A}$			40	mV
Line regulation	ΔV_o	$V_I=10.5\text{V to } 25\text{V}, T_J=25^\circ\text{C}$			80	mV
		$V_I=10.5\text{V to } 23\text{V}, T_J=25^\circ\text{C}, I_o=1\text{A}$			80	mV
Quiescent Current	I_q	$T_J=25^\circ\text{C}, I_o<1\text{A}$			8.0	mA
Quiescent Current Change	ΔI_q	$V_I=10.5\text{V to } 23\text{V}$			1.0	mA
	ΔI_q	$I_o=5\text{mA} - 1.0\text{A}$			0.5	mA
Output Noise Voltage	V_N	$10\text{Hz} \leq f \leq 100\text{kHz}$		58		μV
Temperature coefficient of V_o	$\Delta V_o/\Delta T$	$I_o=5\text{mA}$		-0.9		$\text{mV}/^\circ\text{C}$
Ripple Rejection	RR	$V_I=11.5\text{V to } 21.5\text{V},$ $f=120\text{Hz}, T_J=25^\circ\text{C}$	56	72		dB
Peak Output Current	I_{PK}	$T_J=25^\circ\text{C}$		1.8		A
Short-Circuit Current	I_{SC}	$V_I=35\text{V}, T_J=25^\circ\text{C}$		250		mA
Dropout Voltage	V_d	$T_J=25^\circ\text{C}$		2.0		V

UTC LM7809 ELECTRICAL CHARACTERISTICS

($V_I=15\text{V}, I_o=0.5\text{A}, T_J=0^\circ\text{C} - 125^\circ\text{C}, C_1=0.33\mu\text{F}, C_o=0.1\mu\text{F}$, unless otherwise specified)(Note 1)

PARAMETER	SYMBOL	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT
Output Voltage	V_o	$T_J=25^\circ\text{C}, I_o=5\text{mA} - 1.0\text{A}$	8.64	9.0	9.36	V
		$V_I=11.5\text{V to } 24\text{V},$ $I_o=5\text{mA} - 1.0\text{A}, PD<15\text{W}$	8.55		9.45	V
Load Regulation	ΔV_o	$T_J=25^\circ\text{C}, I_o=5\text{mA} - 1.5\text{A}$			90	mV
		$T_J=25^\circ\text{C}, I_o=0.25\text{A} - 0.75\text{A}$			45	mV
Line regulation	ΔV_o	$V_I=11.5\text{V to } 25\text{V},$ $T_J=25^\circ\text{C}, PD<15\text{W}$			90	mV
		$V_I=11.5\text{V to } 24\text{V}, T_J=25^\circ\text{C},$ $I_o \leq 1\text{A}$			90	mV
Quiescent Current	I_q	$T_J=25^\circ\text{C}, I_o<1\text{A}$			8.0	mA
Quiescent Current Change	ΔI_q	$V_I=11.5\text{V to } 24\text{V}$			1.0	mA
	ΔI_q	$I_o=5\text{mA} - 1.0\text{A}$			0.5	mA
Output Noise Voltage	V_N	$10\text{Hz} \leq f \leq 100\text{kHz}$		58		μV
Temperature coefficient of V_o	$\Delta V_o/\Delta T$	$I_o=5\text{mA}$		-1.1		$\text{mV}/^\circ\text{C}$
Ripple Rejection	RR	$V_I=12.5\text{V to } 22.5\text{V},$ $f=120\text{Hz}, T_J=25^\circ\text{C}$	56	72		dB
Peak Output Current	I_{PK}	$T_J=25^\circ\text{C}$		1.8		A
Short-Circuit Current	I_{SC}	$V_I=35\text{V}, T_J=25^\circ\text{C}$		250		mA
Dropout Voltage	V_d	$T_J=25^\circ\text{C}$		2.0		V

UTC LM78XX LINEAR INTEGRATED CIRCUIT

UTC LM7810 ELECTRICAL CHARACTERISTICS

($V_I=16V$, $I_o=0.5A$, $T_j=0^\circ C - 125^\circ C$, $C_1=0.33\mu F$, $C_o=0.1\mu F$, unless otherwise specified)(Note 1)

PARAMETER	SYMBOL	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT
Output Voltage	V_o	$T_j=25^\circ C$, $I_o=5mA - 1.0A$	9.60	10.0	10.40	V
		$V_I=12.5V$ to $25V$, $I_o=5mA - 1.0A$, $PD \leq 15W$	9.50		10.50	V
Load Regulation	ΔV_o	$T_j=25^\circ C$, $I_o=5mA - 1.5A$			100	mV
		$T_j=25^\circ C$, $I_o=0.25A - 0.75A$			50	mV
Line regulation	ΔV_o	$V_I=13V$ to $25V$, $T_j=25^\circ C$			100	mV
		$V_I=13V$ to $25V$, $T_j=25^\circ C$, $I_o \leq 1A$			100	mV
Quiescent Current	I_q	$T_j=25^\circ C$, $I_o < 1A$			8.0	mA
Quiescent Current Change	ΔI_q	$V_I=12.6V$ to $25V$			1.0	mA
	ΔI_q	$I_o=5mA - 1.0A$			0.5	mA
Output Noise Voltage	V_N	$10Hz \leq f \leq 100kHz$		58		μV
Temperature coefficient of V_o	$\Delta V_o/\Delta T$	$I_o=5mA$		-1.1		$mV/^\circ C$
Ripple Rejection	RR	$V_I=13V - 23V$, $f=120Hz$, $T_j=25^\circ C$	56	72		dB
Peak Output Current	I_{PK}	$T_j=25^\circ C$		1.8		A
Short-Circuit Current	I_{SC}	$V_I=35V$, $T_j=25^\circ C$		250		mA
Dropout Voltage	V_d	$T_j=25^\circ C$		2.0		V

UTC LM7812 ELECTRICAL CHARACTERISTICS

($V_I=19V$, $I_o=0.5A$, $T_j=0^\circ C - 125^\circ C$, $C_1=0.33\mu F$, $C_o=0.1\mu F$, unless otherwise specified)(Note 1)

PARAMETER	SYMBOL	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT
Output Voltage	V_o	$T_j=25^\circ C$, $I_o=5mA - 1.0A$	11.52	12.0	12.48	V
		$V_I=14.5V$ to $27V$, $I_o=5mA - 1.0A$, $PD \leq 15W$	11.40		12.60	V
Load Regulation	ΔV_o	$T_j=25^\circ C$, $I_o=5mA - 1.5A$			120	mV
		$T_j=25^\circ C$, $I_o=0.25A - 0.75A$			60	mV
Line regulation	ΔV_o	$V_I=14.5V$ to $30V$, $T_j=25^\circ C$			120	mV
		$V_I=14.6V$ to $27V$, $T_j=25^\circ C$, $I_o=1A$			120	mV
Quiescent Current	I_q	$T_j=25^\circ C$, $I_o < 1A$			8.0	mA
Quiescent Current Change	ΔI_q	$V_I=14.5V$ to $30V$			1.0	mA
	ΔI_q	$I_o=5mA - 1.0A$			0.5	mA
Output Noise Voltage	V_N	$10Hz \leq f \leq 100kHz$		75		μV
Temperature coefficient of V_o	$\Delta V_o/\Delta T$	$I_o=5mA$		-1.5		$mV/^\circ C$
Ripple Rejection	RR	$V_I=15V - 25V$, $f=120Hz$, $T_j=25^\circ C$	55	72		dB
Peak Output Current	I_{PK}	$T_j=25^\circ C$		1.8		A
Short-Circuit Current	I_{SC}	$V_I=35V$, $T_j=25^\circ C$		250		mA
Dropout Voltage	V_d	$T_j=25^\circ C$		2.0		V

UTCLM78XX LINEAR INTEGRATED CIRCUIT

UTC LM7815 ELECTRICAL CHARACTERISTICS

($V_I=23V$, $I_o=0.5A$, $T_j=0^\circ C - 125^\circ C$, $C_1=0.33\mu F$, $C_o=0.1\mu F$, unless otherwise specified)(Note 1)

PARAMETER	SYMBOL	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT
Output Voltage	V_o	$T_j=25^\circ C$, $I_o=5mA - 1.0A$	14.40	15.0	15.60	V
		$V_I=17.5V$ to $30V$, $I_o=5mA - 1.0A$, $P_D<15W$	14.25		15.75	V
Load Regulation	ΔV_o	$T_j=25^\circ C$, $I_o=5mA - 1.5A$			150	mV
		$T_j=25^\circ C$, $I_o=0.25A - 0.75A$			75	mV
Line regulation	ΔV_o	$V_I=18.5V$ to $30V$, $T_j=25^\circ C$			150	mV
		$V_I=17.7V$ to $30V$, $T_j=25^\circ C$, $I_o=1A$			150	mV
Quiescent Current	I_q	$T_j=25^\circ C$, $I_o<1A$			8.0	mA
Quiescent Current Change	ΔI_q	$V_I=17.5V$ to $30V$			1.0	mA
	ΔI_q	$I_o=5mA - 1.0A$			0.5	mA
Output Noise Voltage	V_N	$10Hz \leq f \leq 100kHz$		90		μV
Temperature coefficient of V_o	$\Delta V_o/\Delta T$	$I_o=5mA$		-1.8		$mV/^\circ C$
Ripple Rejection	RR	$V_I=18.5V$ to $28.5V$ $f=120Hz$, $T_j=25^\circ C$	54	70		dB
Peak Output Current	I_{PK}	$T_j=25^\circ C$		1.8		A
Short-Circuit Current	I_{SC}	$V_I=35V$, $T_j=25^\circ C$		250		mA
Dropout Voltage	V_d	$T_j=25^\circ C$		2.0		V

UTC LM7818 ELECTRICAL CHARACTERISTICS

($V_I=27V$, $I_o=0.5A$, $T_j=0^\circ C - 125^\circ C$, $C_1=0.33\mu F$, $C_o=0.1\mu F$, unless otherwise specified)(Note 1)

PARAMETER	SYMBOL	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT
Output Voltage	V_o	$T_j=25^\circ C$, $I_o=5mA - 1.0A$	17.28	18.0	18.72	V
		$V_I=21V$ to $33V$, $I_o=5mA - 1.0A$	17.10		18.90	V
Load Regulation	ΔV_o	$T_j=25^\circ C$, $I_o=5mA - 1.5A$			180	mV
		$T_j=25^\circ C$, $I_o=0.25A - 0.75A$			90	mV
Line regulation	ΔV_o	$V_I=21V$ to $33V$, $T_j=25^\circ C$			180	mV
		$V_I=21V$ to $33V$, $T_j=25^\circ C$, $I_o<1A$, $P_D<15W$			180	mV
Quiescent Current	I_q	$T_j=25^\circ C$, $I_o<1A$			8.0	mA
Quiescent Current Change	ΔI_q	$V_I=21.5V$ to $33V$			1.0	mA
	ΔI_q	$I_o=5mA - 1.0A$			0.5	mA
Output Noise Voltage	V_N	$10Hz \leq f \leq 100kHz$		110		μV
Temperature coefficient of V_o	$\Delta V_o/\Delta T$	$I_o=5mA$		-2.2		$mV/^\circ C$
Ripple Rejection	RR	$V_I=22V - 32V$, $f=120Hz$, $T_j=25^\circ C$	53	69		dB
Peak Output Current	I_{PK}	$T_j=25^\circ C$		1.8		A
Short-Circuit Current	I_{SC}	$V_I=35V$, $T_j=25^\circ C$		250		mA
Dropout Voltage	V_d	$T_j=25^\circ C$		2.0		V

UTC LM78XX LINEAR INTEGRATED CIRCUIT

UTC LM7824 ELECTRICAL CHARACTERISTICS

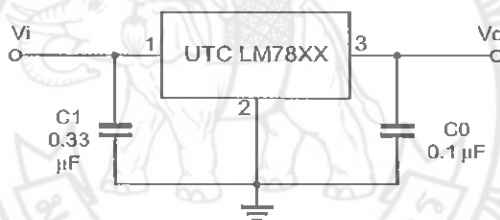
($V_i=33V$, $I_o=0.5A$, $T_j=0^\circ C - 12^\circ C$, $C_1=0.33\mu F$, $C_o=0.1\mu F$, unless otherwise specified)(Note 1)

PARAMETER	SYMBOL	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT
Output Voltage	V_o	$T_j=25^\circ C$, $I_o=5mA - 1.0A$	23.04	24.0	24.96	V
		$V_i=27V$ to $38V$, $I_o=5mA - 1.0A$	22.80		25.20	V
Load Regulation	ΔV_o	$T_j=25^\circ C$, $I_o=5mA - 1.5A$			240	mV
		$T_j=25^\circ C$, $I_o=0.25A - 0.75A$			120	mV
Line regulation	ΔV_o	$V_i=27V$ to $38V$, $T_j=25^\circ C$			240	mV
		$V_i=27V$ to $38V$, $T_j=25^\circ C$, $I_o=1A$			240	mV
Quiescent Current	I_q	$T_j=25^\circ C$, $I_o < 1A$			8.0	mA
Quiescent Current Change	ΔI_q	$V_i=28V$ to $38V$			1.0	mA
		$I_o=5mA - 1.0A$			0.5	mA
Output Noise Voltage	V_N	$10Hz \leq f \leq 100kHz$		170		μV
Temperature coefficient of V_o	$\Delta V_o/\Delta T$	$I_o=5mA$		-2.8		mV/ $^\circ C$
Ripple Rejection	RR	$V_i=28V - 38V$, $f=120Hz$, $T_j=25^\circ C$	50	66		dB
Peak Output Current	I_{pk}	$T_j=25^\circ C$		1.8		A
Short-Circuit Current	I_{sc}	$V_i=35V$, $T_j=25^\circ C$		250		mA
Dropout Voltage	V_d	$T_j=25^\circ C$		2.0		V

Note 1: The Maximum steady state usable output current are dependent on Input voltage, heat sinking, lead length of the package and copper pattern of PCB. The data above represents pulse test conditions with junction temperatures specified at the initiation of test.

Note 2: Power dissipation $< 0.5W$

APPLICATION CIRCUIT



Note 1: To specify an output voltage, substitute voltage value for "XX".

Note 2: Bypass capacitors are recommended for optimum stability and transient response and should be located as close as possible to the regulators.



ภาคผนวก ง

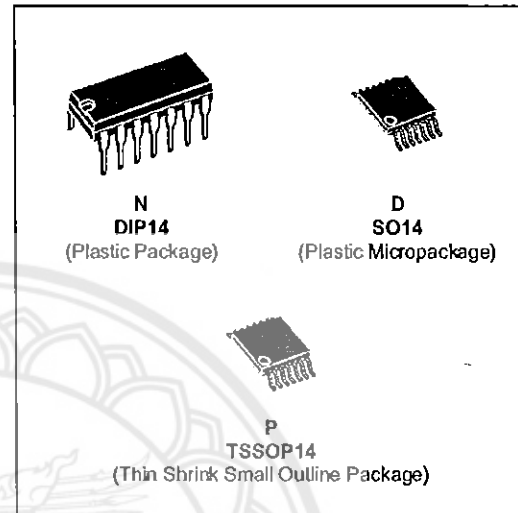
รายละเอียดข้อมูลของไอซีออปแอมป์หมายเลข TL084



TL084 TL084A - TL084B

GENERAL PURPOSE J-FET QUAD OPERATIONAL AMPLIFIERS

- WIDE COMMON-MODE (UP TO V_{CC}^+) AND DIFFERENTIAL VOLTAGE RANGE
- LOW INPUT BIAS AND OFFSET CURRENT
- OUTPUT SHORT-CIRCUIT PROTECTION
- HIGH INPUT IMPEDANCE J-FET INPUT STAGE
- INTERNAL FREQUENCY COMPENSATION
- LATCH UP FREE OPERATION
- HIGH SLEW RATE : $16V/\mu s$ (typ)



DESCRIPTION

The TL084, TL084A and TL084B are high speed J-FET input quad operational amplifiers incorporating well matched, high voltage J-FET and bipolar transistors in a monolithic integrated circuit.

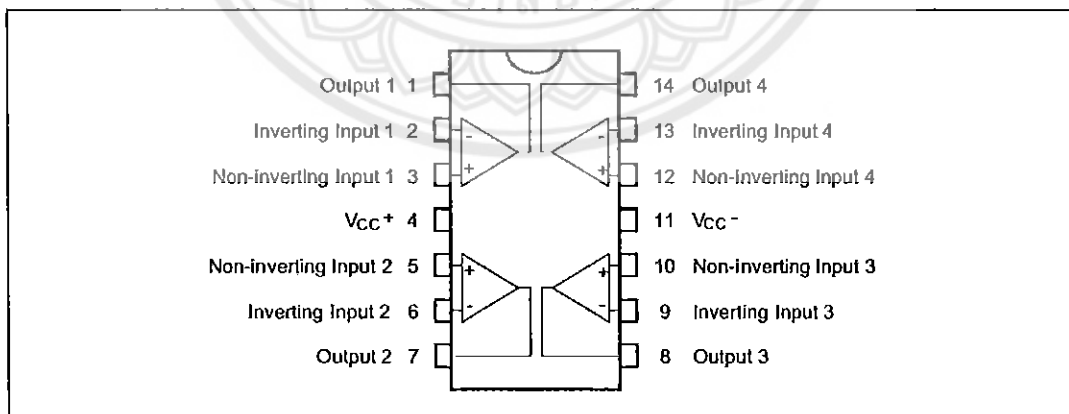
The devices feature high slew rates, low input bias and offset currents, and low offset voltage temperature coefficient.

ORDER CODES

Part Number	Temperature Range	Package		
		N	D	P
TL084M/AM/BM	-55°C, +125°C	•	•	•
TL084I/AI/BI	-40°C, +105°C	•	•	•
TL084C/AC/BC	0°C, +70°C	•	•	•

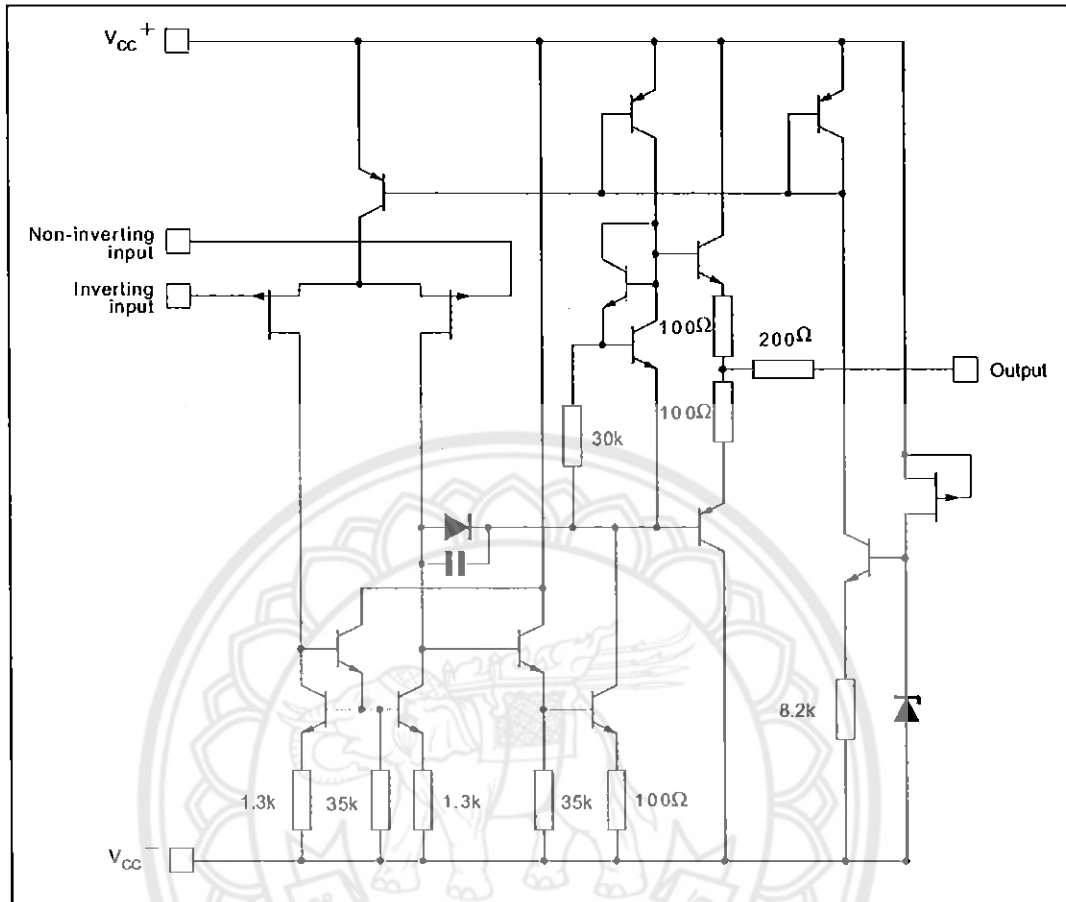
Examples : TL084CN, TL084CD

PIN CONNECTIONS (top view)



TL084 - TL084A - TL084B

SCHEMATIC DIAGRAM (each amplifier)



ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Symbol	Parameter	Value	Unit
V_{CC}	Supply Voltage - (note 1)	± 18	V
V_i	Input Voltage - (note 3)	± 15	V
V_{id}	Differential Input Voltage - (note 2)	± 30	V
P_{tot}	Power Dissipation	680	mW
	Output Short-circuit Duration - (note 4)	Infinite	
T_{oper}	Operating Free Air Temperature Range	TL084C, AC, BC 0 to 70 TL084I, AI, BI -40 to 105 TL084M, AM, BM -55 to 125	$^{\circ}\text{C}$
T_{stg}	Storage Temperature Range	-65 to 150	$^{\circ}\text{C}$

- Notes:
1. All voltage values, except differential voltage, are with respect to the zero reference level (ground) of the supply voltages where the zero reference level is the midpoint between V_{CC}^+ and V_{CC}^- .
 2. Differential voltages are at the non-inverting input terminal with respect to the inverting input terminal.
 3. The magnitude of the input voltage must never exceed the magnitude of the supply voltage or 15 volts, whichever is less.
 4. The output may be shorted to ground or to either supply. Temperature and/or supply voltages must be limited to ensure that the dissipation rating is not exceeded.

TL084 - TL084A - TL084B

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

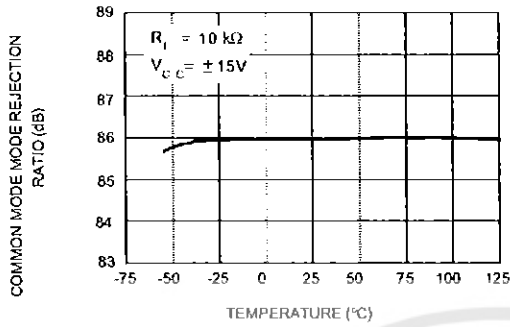
$V_{CC} = \pm 15V$, $T_{amb} = 25^{\circ}C$ (unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	TL084I,M,AC,AI, AM,BC,BI,BM			TL084C			Unit
		Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.	
V_{io}	Input Offset Voltage ($R_S = 50\Omega$) $T_{amb} = 25^{\circ}C$ $T_{min.} \leq T_{amb} \leq T_{max.}$ TL084 TL084A TL084B TL084 TL084A TL084B		3 3 1	10 6 3 13 7 5		3	10 13	mV
DV_{io}	Input Offset Voltage Drift		10			10		$\mu V/^{\circ}C$
I_{io}	Input Offset Current * $T_{amb} = 25^{\circ}C$ $T_{min.} \leq T_{amb} \leq T_{max.}$		5	100 4		5	100 4	pA nA
I_{ib}	Input Bias Current * $T_{amb} = 25^{\circ}C$ $T_{min.} \leq T_{amb} \leq T_{max.}$		20	200 20		30	400 20	pA nA
A_{vd}	Large Signal Voltage Gain ($R_L = 2k\Omega$, $V_O = \pm 10V$) $T_{amb} = 25^{\circ}C$ $T_{min.} \leq T_{amb} \leq T_{max.}$	50 25	200		25 15	200		V/mV
SVR	Supply Voltage Rejection Ratio ($R_S = 50\Omega$) $T_{amb} = 25^{\circ}C$ $T_{min.} \leq T_{amb} \leq T_{max.}$	80 80	86		70 70	86		dB
I_{cc}	Supply Current, per Amp, no Load $T_{amb} = 25^{\circ}C$ $T_{min.} \leq T_{amb} \leq T_{max.}$		1.4	2.5 2.5		1.4	2.5 2.5	mA
V_{icm}	Input Common Mode Voltage Range	± 11	+15 -12		± 11	+15 -12		V
CMR	Common Mode Rejection Ratio ($R_S = 50\Omega$) $T_{amb} = 25^{\circ}C$ $T_{min.} \leq T_{amb} \leq T_{max.}$	80 80	86		70 70	86		dB
I_{os}	Output Short-circuit Current $T_{amb} = 25^{\circ}C$ $T_{min.} \leq T_{amb} \leq T_{max.}$	10 10	40	60 60	10 10	40	60 60	mA
$\pm V_{OPP}$	Output Voltage Swing $T_{amb} = 25^{\circ}C$ $T_{min.} \leq T_{amb} \leq T_{max.}$ $R_L = 2k\Omega$ $R_L = 10k\Omega$ $R_L = 2k\Omega$ $R_L = 10k\Omega$	10 12 10 12	12 13.5		10 12 10 12	12 13.5		V
SR	Slew Rate ($V_{in} = 10V$, $R_L = 2k\Omega$, $C_L = 100pF$, $T_{amb} = 25^{\circ}C$, unity gain)	8	16		8	16		V/ μs
t_r	Rise Time ($V_{in} = 20mV$, $R_L = 2k\Omega$, $C_L = 100pF$, $T_{amb} = 25^{\circ}C$, unity gain)		0.1			0.1		μs
K_{OV}	Overshoot ($V_{in} = 20mV$, $R_L = 2k\Omega$, $C_L = 100pF$, $T_{amb} = 25^{\circ}C$, unity gain)		10			10		%
GBP	Gain Bandwidth Product ($f = 100kHz$, $T_{amb} = 25^{\circ}C$, $V_{in} = 10mV$, $R_L = 2k\Omega$, $C_L = 100pF$)	2.5	4		2.5	4		MHz
R_i	Input Resistance		10^{12}			10^{12}		Ω
THD	Total Harmonic Distortion ($f = 1kHz$, $A_v = 20dB$, $R_L = 2k\Omega$, $C_L = 100pF$, $T_{amb} = 25^{\circ}C$, $V_O = 2V_{PP}$)		0.01			0.01		%
e_n	Equivalent Input Noise Voltage ($f = 1kHz$, $R_S = 100\Omega$)		15			15		$\frac{nV}{\sqrt{Hz}}$
ϕ_m	Phase Margin		45			45		Degrees
V_{O1}/V_{O2}	Channel Separation ($A_v = 100$)		120			120		dB

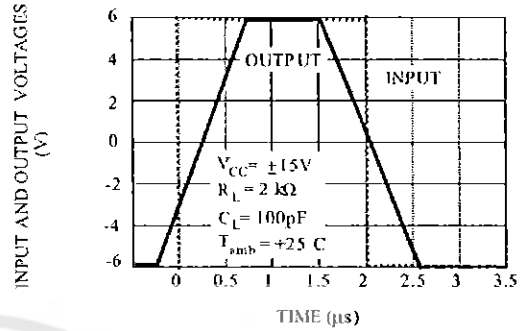
* The input bias currents are junction leakage currents which approximately double for every $10^{\circ}C$ increase in the junction temperature.

TL084 - TL084A - TL084B

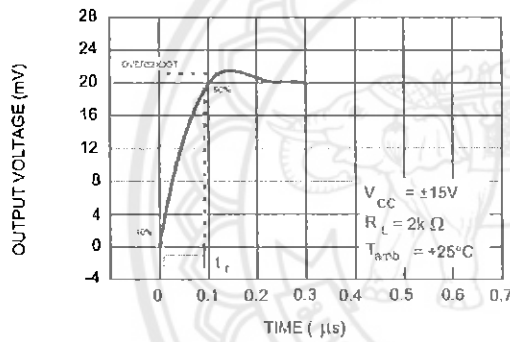
COMMON MODE REJECTION RATIO
VERSUS FREE AIR TEMPERATURE



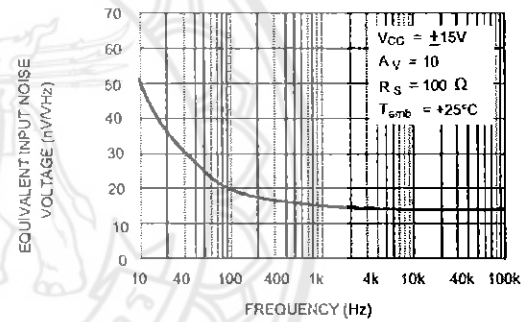
VOLTAGE FOLLOWER LARGE SIGNAL
PULSE RESPONSE



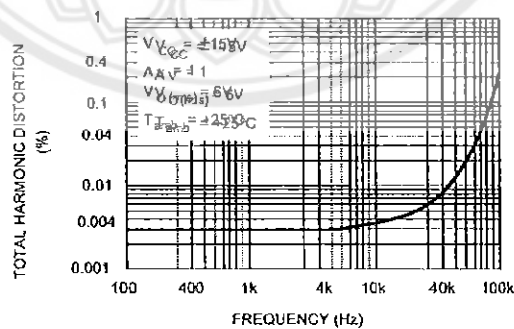
OUTPUT VOLTAGE VERSUS
ELAPSED TIME



EQUIVALENT INPUT NOISE VOLTAGE
VERSUS FREQUENCY



TOTAL HARMONIC DISTORTION VERSUS
FREQUENCY





ภาคผนวก จ

รายละเอียดข้อมูลของรีเลย์ยี่ห้อ BOSCH

Explanatory Notes on Parameters

Overview

Relay applications

This catalog contains the technical information which a design engineer requires in order to select a relay for his particular requirements. Bosch DC relays were originally designed for automotive applications. We recommend prior technical clarification for all other applications, especially where requirements, loading or ambient conditions differ from those applying to automotive applications.

Bosch DC relays are able to withstand exposure to extreme conditions and must comply with the following requirements: They must

- switch high powers
- function efficiently and reliably in a broad temperature range
- be extremely resistant to vibration
- have a long service life, and
- be highly climate-proof.

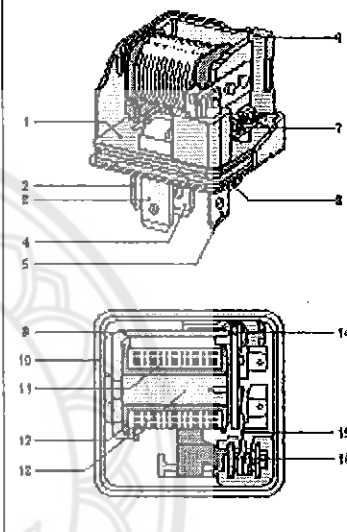
Bosch DC relays are used to switch electrical devices featuring high power levels or which are sensitive to voltage loss. Relays relieve the load on control switches and make for small voltage drops with economical conductor cross-sections. And relays make simple interlock circuits possible.

Mini-relays and micro-relays are ideal for use where the available space is restricted. Multiple connectors, together with pre-tested wiring harnesses, ensure simple assembly and the lowest possible error rate. This applies in particular to OEM, but also to customer service. The following versions of mini-relays and micro-relays are available:

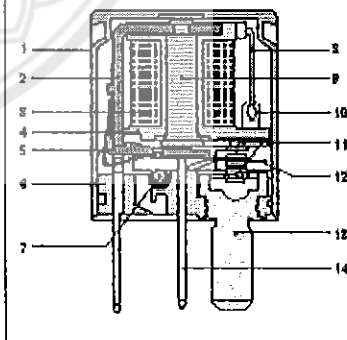
- Relays without mounting bracket. Easily plugged into buttable socket housings for screwing to mounting surface.
- Relays with mounting bracket. Connected using a 5-pole socket housing.
- Relays with solder terminals for soldering into PC boards.

Power relays can switch a nominal current of 50 A and more, and are suitable for switching motors, starting motors and other devices.

Mini-relay 1 Baseplate, 2 Term. 86, 3 Term. 87, 4 Term. 87a, 5 Term. 85, 6 Clamping piece, 7 Coil connection bracket, 8 Term. 30, 9 Magnet bracket, 10 Cap, 11 Coil, 12 Bobbin, 13 Core, 14 Armature, 15 Spring, 16 Contact.



Micro-relay 1 Cap, 2 Magnet bracket and term. 3, 3 Coil, 4 Bobbin, 5 Armature, 6 Baseplate, 7 Damping resistor or diode, 8 Connecting wire, 9 Core, 10 Term. 1/2, 11 Contact, 12 Spring, 13 Term. 4, 14 Term. 5.





Operating Modes

Switching operations

Response is the operation by which a relay is switched from its normal position to its operated position.

Opening is an operation which results in the electrical contact being opened.

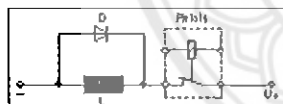
Release (dropout) is the operation by which a relay is switched from its operated position to its normal position.

A switching cycle comprises the single response and release of a relay.

The number of switching operations comprises the total number of switching cycles.

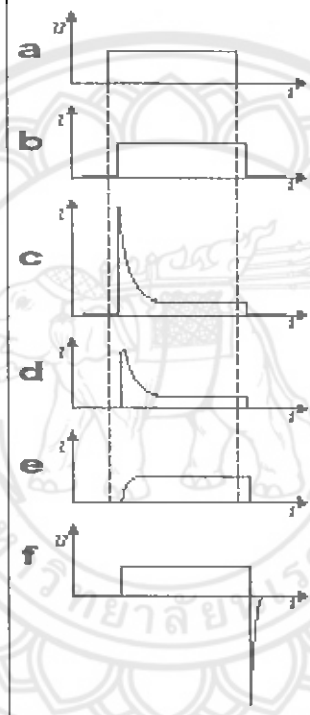
Closing is an operation which results in contact closure.

With inductive loads and motors, a suppressor circuit, which can be set up parallel to the load with a free-wheeling diode, is required (see circuit).



L Inductive Load, D Free-wheeling diode, U Supply voltage

- Typical load characteristics**
- 1 Excitation voltage for relay coil
 - 2 Current characteristic for resistive load
 - 3 Current characteristic for lamp load
 - 4 Current characteristic for motor load
 - 5 Current characteristic for inductive load
 - 6 Voltage characteristic for inductive load



Service life

The mechanical service life is defined as the number of switching cycles, without electrical loading of the contacts, during which the relay remains operational.

The contact service life is defined as the number of switching cycles, with electrical loading of the contacts, during which the relay remains operational.

Switching contacts

The NO (Normally Open) contact is a relay contact which is open in the relay's normal position and closes as the relay changes to its operated position.

The NC (Normally Closed) contact is a relay contact which is closed in the relay's normal position and opens as the relay changes to its operated position.

The changeover contact is a contact assembly with three electrically isolated connections consisting of an NO contact, an NC contact, and a common contact spring. When the switch position changes, the closed contacts open first, followed by the closing of the other contacts (which up to that point were open).

High Capacity 50 Amp Mini Relays

All are dust proof: all 12V relays have a resistor in parallel to the coil to limit EMI

PART NUMBER	DESCRIPTION and Details # 4 terminal relay	Illustration and Dimensions, Drawing	Terminal diagram, Circuit Diag	VOLTAGE Operating Voltage Nominal - Max.	CONTACT MATERIAL T 87	MAXIMUM N.O. RESISTIVE LOAD Amps - Life Cycles	OTHER LOADS: See Group # in LOAD TABLE
0 332 019 103	SPST, resistor, #	a	A 3 S 7	12V - 15V	STO	50A - 150,000	1
0 332 019 110	SPST, resistor, bracket, #	b	A 3 S 7	12V - 15V	STO	50A - 150,000	1
0 332 209 137	SPDT, resistor	a	A 2 S 5	12V - 15V	STO	50A - 150,000	2
0 332 209 138	SPDT, resistor, bracket	b	A 2 S 5	12V - 15V	STO	50A - 150,000	2
0 332 019 203	SPST, bracket	b	A 1 S 1	24V - 30V	STO	20A - 250,000	3
0 332 209 203	SPDT, bracket	b	A 2 S 4	24V - 30V	STO	20A - 250,000	4
0 332 209 204	SPDT, diode P	a	A 2 S 6	24V - 30V	STO	20A - 250,000	4
0 332 209 211	SPDT	a	A 2 S 4	24V - 30V	STO	20A - 250,000	4

PART NUMBER	PULL-IN VOLTAGE	DROP-OUT VOLTAGE	RESISTANCE		Nominal Operating Current
			No resistor, or with diode	With resistor	
0 332 019 103	≤ 8.0 V	1.2 - 5.0 V		75 ± 5 ohm	160 mA
0 332 019 110	≤ 8.0 V	1.2 - 5.0 V		75 ± 5 ohm	160 mA
0 332 209 137	≤ 8.0 V	1.2 - 5.0 V		75 ± 5 ohm	160 mA
0 332 209 138	≤ 8.0 V	1.2 - 5.0 V		75 ± 5 ohm	160 mA
0 332 019 203	≤ 16.0 V	2.4 - 10.0 V	255 ± 15 ohm		95 mA
0 332 209 203	≤ 16.0 V	2.4 - 10.0 V	255 ± 15 ohm		95 mA
0 332 209 204	≤ 16.0 V	2.4 - 10.0 V	255 ± 15 ohm		95 mA
0 332 209 211	≤ 16.0 V	2.4 - 10.0 V	255 ± 15 ohm		95 mA

LOAD and LIFE CYCLE TEST DATA for HIGH CAPACITY MINI RELAYS

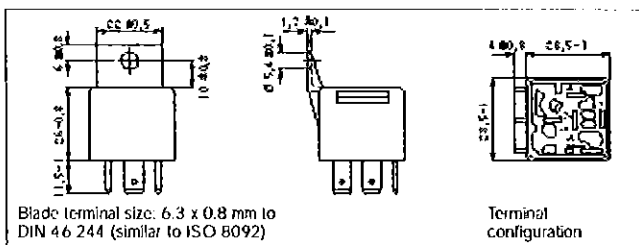
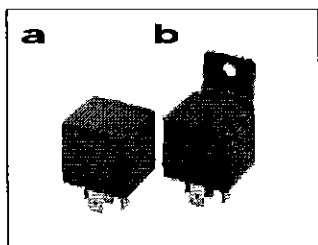
Contact testing conditions	Test Temp.	Relay Type	Load	Switching cycle
For STO (Silver Tin Oxide) contacts: Life cycles tested at 85°C, 13.5V (27V for 24V relays)	85°C	High capacity	Lamp Resistive Motor	1 Sec ON, 9 Sec OFF 2 Sec ON, 2 Sec OFF 5 Sec ON, 5 Sec OFF

HIGH CAPACITY MINI RELAY LOAD TABLE

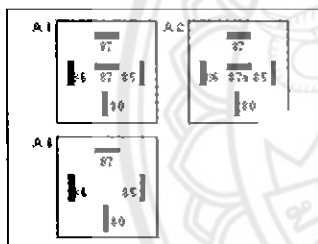
LOAD GROUP	VOLTAGE	CONTACT POSITION	RESISTIVE LOAD		MOTOR LOAD		LAMP LOAD		INDUCTIVE LOAD	
			Continuous	Life Cycles	In rush/Continuous	Life Cycles	Continuous	Life Cycles	Continuous/Inductivity	Life Cycles
1	12V	NO	50A	150,000	90/40A	150,000	30A	150,000	N/A	N/A
			40A	250,000	75/30A	250,000	20A	250,000		
			30A	500,000	50/20A	300,000	10A	500,000		
2	12V	NO	50A	150,000	90/40A	150,000	30A	150,000	N/A	N/A
			40A	250,000	75/30A	250,000	20A	250,000		
			30A	500,000	50/20A	300,000	10A	500,000		
		NC	20A	100,000	35/15A	75,000	15A	50,000	N/A	N/A
			15A	150,000	25/10A	150,000	10A	50,000		
			10A	300,000	15/5A	300,000	5A	600,000		
3	24V	NO	20A	250,000	40/16A	250,000	16A	250,000	16A/4mH	100,000
			20A	250,000	40/16A	250,000	16A	250,000	N/A	N/A
4	24V	NC	10A	250,000	N/A	N/A	5A	150,000	N/A	N/A

OPERATING CHARACTERISTICS		MECHANICAL CHARACTERISTICS		ENVIRONMENTAL CHARACTERISTICS	
Response Time	≤ 10 mS	Random Vibration Test	10 Hz ... 1000Hz for 4 h	Operating Temperature	-40°C to +85°C
Response Time, with Diode	≤ 15 mS	Sine Wave Vibration Test	10 Hz ... 200Hz, 2.5 G's for 4 h	Humidity Test	95% for 7 days
Contact Voltage Drop - New, at 10A (12 V, at 10 A)	≤ 50 mV	Drop Test - All sides	1 meter	Salt Spray Test - All sides	144 hours
- After life test	≤ 60 mV	Terminal Retention Force	> 110 N	Dust Test	8 hours
(24 V, at 10 A) - After life test	≤ 100 mV	Cover Retention Force	> 220 N		
Mechanical Life	> 1,000,000	Cover Crush Force	> 220 N		
Coil Inductance	≤ 250 mH				

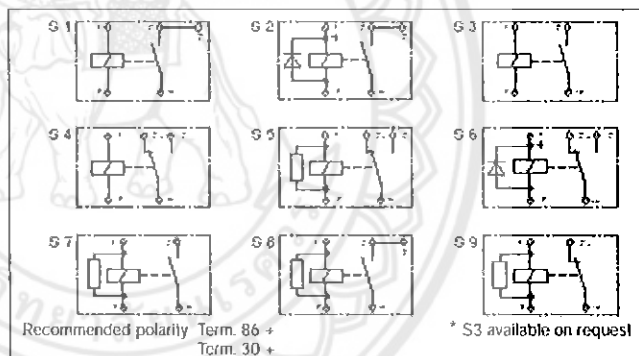
Illustrations and Dimension Drawings



Terminal Diagrams



Circuit Diagrams





ภาคผนวก ก

รายละเอียดข้อมูลของ LM2596

LM2596 SIMPLE SWITCHER[®] Power Converter 150 kHz 3A Step-Down Voltage Regulator

Check for Samples: LM2596

FEATURES

- 3.3V, 5V, 12V, and Adjustable Output Versions
- Adjustable Version Output Voltage Range, 1.2V to 37V \pm 4% Max Over Line and Load Conditions
- Available in TO-220 and TO-263 Packages
- Ensured 3A Output Load Current
- Input Voltage Range Up to 40V
- Requires Only 4 External Components
- Excellent Line and Load Regulation Specifications
- 150 kHz Fixed Frequency Internal Oscillator
- TTL Shutdown Capability
- Low Power Standby Mode, I_Q Typically 80 μ A
- High Efficiency
- Uses Readily Available Standard Inductors
- Thermal Shutdown and Current Limit Protection

APPLICATIONS

- Simple High-Efficiency Step-Down (Buck) Regulator
- On-Card Switching Regulators
- Positive to Negative Converter

DESCRIPTION

The LM2596 series of regulators are monolithic integrated circuits that provide all the active functions for a step-down (buck) switching regulator, capable of driving a 3A load with excellent line and load regulation. These devices are available in fixed output voltages of 3.3V, 5V, 12V, and an adjustable output version.

Requiring a minimum number of external components, these regulators are simple to use and include internal frequency compensation, and a fixed-frequency oscillator.

The LM2596 series operates at a switching frequency of 150 kHz thus allowing smaller sized filter components than what would be needed with lower frequency switching regulators. Available in a standard 5-lead TO-220 package with several different lead bend options, and a 5-lead TO-263 surface mount package.

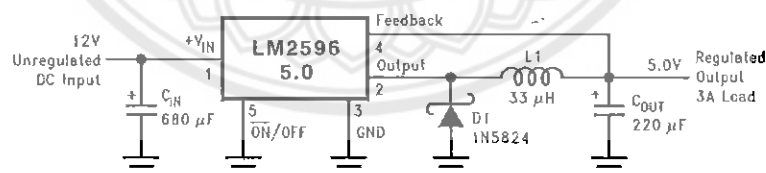
A standard series of inductors are available from several different manufacturers optimized for use with the LM2596 series. This feature greatly simplifies the design of switch-mode power supplies.

Other features include an ensured \pm 4% tolerance on output voltage under specified input voltage and output load conditions, and \pm 15% on the oscillator frequency. External shutdown is included, featuring typically 80 μ A standby current. Self protection features include a two stage frequency reducing current limit for the output switch and an over temperature shutdown for complete protection under fault conditions. (1)

(1) † Patent Number 5,382,918.

Typical Application

(Fixed Output Voltage Versions)



LM2596



SNVS124C – NOVEMBER 1999 – REVISED APRIL 2013

www.ti.com

Connection Diagrams

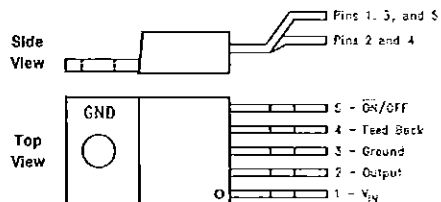


Figure 1. 5-Lead Bent and Staggered Leads, Through Hole TO-220 (T) Package
See Package Number NDH0005D

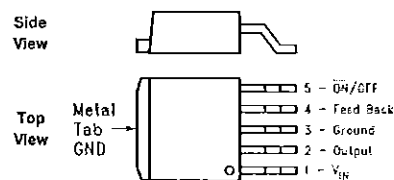


Figure 2. 5-Lead DDPAK/TO-263 (S) Package
See Package Number KTT0005B



These devices have limited built-in ESD protection. The leads should be shorted together or the device placed in conductive foam during storage or handling to prevent electrostatic damage to the MOS gates.

Absolute Maximum Ratings ⁽¹⁾⁽²⁾

Maximum Supply Voltage	45V
ON/OFF Pin Input Voltage	$-0.3 \leq V \leq +25V$
Feedback Pin Voltage	$-0.3 \leq V \leq +25V$
Output Voltage to Ground (Steady State)	-1V
Power Dissipation	Internally limited
Storage Temperature Range	-65°C to $+150^{\circ}\text{C}$
ESD Susceptibility	
Human Body Model ⁽³⁾	2 kV
Lead Temperature	
DDPAK/TO-263 Package	
Vapor Phase (60 sec.)	$+215^{\circ}\text{C}$
Infrared (10 sec.)	$+245^{\circ}\text{C}$
TO-220 Package (Soldering, 10 sec.)	$+260^{\circ}\text{C}$
Maximum Junction Temperature	$+150^{\circ}\text{C}$

- (1) Absolute Maximum Ratings indicate limits beyond which damage to the device may occur. Operating Ratings indicate conditions for which the device is intended to be functional, but do not ensure specific performance limits. For ensured specifications and test conditions, see the Electrical Characteristics.
- (2) If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the Texas Instruments Sales Office/ Distributors for availability and specifications.
- (3) The human body model is a 100 pF capacitor discharged through a 1.5k resistor into each pin.

Operating Conditions

Temperature Range	$-40^{\circ}\text{C} \leq T_J \leq +125^{\circ}\text{C}$
Supply Voltage	4.5V to 40V

LM2596-3.3 Electrical Characteristics

Specifications with standard type face are for $T_J = 25^\circ\text{C}$, and those with boldface type apply over full Operating Temperature Range

Symbol	Parameter	Conditions	LM2596-3.3		Units (Limits)
			Typ (1)	Limit (2)	
SYSTEM PARAMETERS ⁽³⁾ Test Circuit Figure 20					
V_{OUT}	Output Voltage	$4.75\text{V} \leq V_{IN} \leq 40\text{V}$, $0.2\text{A} \leq I_{LOAD} \leq 3\text{A}$	3.3	3.168/3.135 3.432/3.465	V V(min) V(max)
η	Efficiency	$V_{IN} = 12\text{V}$, $I_{LOAD} = 3\text{A}$	73		%

- (1) Typical numbers are at 25°C and represent the most likely norm.
- (2) All limits specified at room temperature (standard type face) and at temperature extremes (bold type face). All room temperature limits are 100% production tested. All limits at temperature extremes are ensured via correlation using standard Statistical Quality Control (SQC) methods. All limits are used to calculate Average Outgoing Quality Level (AOQL).
- (3) External components such as the catch diode, inductor, input and output capacitors, and voltage programming resistors can affect switching regulator system performance. When the LM2596 is used as shown in the Figure 20 test circuit, system performance will be as shown in system parameters of Electrical Characteristics section.

LM2596-5.0 Electrical Characteristics

Specifications with standard type face are for $T_J = 25^\circ\text{C}$, and those with boldface type apply over full Operating Temperature Range

Symbol	Parameter	Conditions	LM2596-5.0		Units (Limits)
			Typ (1)	Limit (2)	
SYSTEM PARAMETERS ⁽³⁾ Test Circuit Figure 20					
V_{OUT}	Output Voltage	$7\text{V} \leq V_{IN} \leq 40\text{V}$, $0.2\text{A} \leq I_{LOAD} \leq 3\text{A}$	5.0	4.800/4.750 5.200/5.250	V V(min) V(max)
η	Efficiency	$V_{IN} = 12\text{V}$, $I_{LOAD} = 3\text{A}$	80		%

- (1) Typical numbers are at 25°C and represent the most likely norm.
- (2) All limits specified at room temperature (standard type face) and at temperature extremes (bold type face). All room temperature limits are 100% production tested. All limits at temperature extremes are ensured via correlation using standard Statistical Quality Control (SQC) methods. All limits are used to calculate Average Outgoing Quality Level (AOQL).
- (3) External components such as the catch diode, inductor, input and output capacitors, and voltage programming resistors can affect switching regulator system performance. When the LM2596 is used as shown in the Figure 20 test circuit, system performance will be as shown in system parameters of Electrical Characteristics section.

LM2596-12 Electrical Characteristics

Specifications with standard type face are for $T_J = 25^\circ\text{C}$, and those with boldface type apply over full Operating Temperature Range

Symbol	Parameter	Conditions	LM2596-12		Units (Limits)
			Typ (1)	Limit (2)	
SYSTEM PARAMETERS ⁽³⁾ Test Circuit Figure 20					
V_{OUT}	Output Voltage	$15\text{V} \leq V_{IN} \leq 40\text{V}$, $0.2\text{A} \leq I_{LOAD} \leq 3\text{A}$	12.0	11.52/11.40 12.48/12.60	V V(min) V(max)
η	Efficiency	$V_{IN} = 25\text{V}$, $I_{LOAD} = 3\text{A}$	90		%

- (1) Typical numbers are at 25°C and represent the most likely norm.
- (2) All limits specified at room temperature (standard type face) and at temperature extremes (bold type face). All room temperature limits are 100% production tested. All limits at temperature extremes are ensured via correlation using standard Statistical Quality Control (SQC) methods. All limits are used to calculate Average Outgoing Quality Level (AOQL).
- (3) External components such as the catch diode, inductor, input and output capacitors, and voltage programming resistors can affect switching regulator system performance. When the LM2596 is used as shown in the Figure 20 test circuit, system performance will be as shown in system parameters of Electrical Characteristics section.

LM2596



SNVS124C – NOVEMBER 1999 – REVISED APRIL 2013

www.ti.com

LM2596-ADJ Electrical Characteristics

Specifications with standard type face are for $T_J = 25^\circ\text{C}$, and those with boldface type apply over full Operating Temperature Range

Symbol	Parameter	Conditions	LM2596-ADJ		Units (Limits)
			Typ (1)	Limit (2)	
SYSTEM PARAMETERS ⁽³⁾ Test Circuit Figure 20					
V_{FB}	Feedback Voltage	$4.5\text{V} \leq V_{IN} \leq 40\text{V}$, $0.2\text{A} \leq I_{LOAD} \leq 3\text{A}$ V_{OUT} programmed for 3V. Circuit of Figure 20	1.230	1.193/1.180 1.267/1.280	V V(min) V(max)
η	Efficiency	$V_{IN} = 12\text{V}$, $V_{OUT} = 3\text{V}$, $I_{LOAD} = 3\text{A}$	73		%

- (1) Typical numbers are at 25°C and represent the most likely norm.
- (2) All limits specified at room temperature (standard type face) and at temperature extremes (bold type face). All room temperature limits are 100% production tested. All limits at temperature extremes are ensured via correlation using standard Statistical Quality Control (SQC) methods. All limits are used to calculate Average Outgoing Quality Level (AOQL).
- (3) External components such as the catch diode, inductor, input and output capacitors, and voltage programming resistors can affect switching regulator system performance. When the LM2596 is used as shown in the Figure 20 test circuit, system performance will be as shown in system parameters of Electrical Characteristics section.

All Output Voltage Versions Electrical Characteristics

Specifications with standard type face are for $T_J = 25^\circ\text{C}$, and those with boldface type apply over full Operating Temperature Range. Unless otherwise specified, $V_{IN} = 12\text{V}$ for the 3.3V, 5V, and Adjustable version and $V_{IN} = 24\text{V}$ for the 12V version. $I_{LOAD} = 500\text{mA}$

Symbol	Parameter	Conditions	LM2596-XX		Units (Limits)
			Typ (1)	Limit (2)	
DEVICE PARAMETERS					
I_b	Feedback Bias Current	Adjustable Version Only, $V_{FB} = 1.3\text{V}$	10	50/100	nA nA (max)
f_o	Oscillator Frequency	See ⁽³⁾	150	127/110 173/173	kHz kHz(min) kHz(max)
V_{SAT}	Saturation Voltage	$I_{OUT} = 3\text{A}$ ⁽⁴⁾ ⁽⁵⁾	1.16	1.4/1.5	V V(max)
DC	Max Duty Cycle (ON)	See ⁽⁵⁾	100		%
	Min Duty Cycle (OFF)	See ⁽⁶⁾	0		
I_{CL}	Current Limit	Peak Current ⁽⁴⁾ ⁽⁵⁾	4.5	3.6/3.4 6.9/7.5	A A(min) A(max)
I_L	Output Leakage Current	Output = 0V ⁽⁴⁾ ⁽⁶⁾		50	μA (max)
		Output = -1V ⁽⁷⁾	2	30	mA(max)
I_Q	Quiescent Current	See ⁽⁶⁾	5		mA
				10	mA(max)

- (1) Typical numbers are at 25°C and represent the most likely norm.
- (2) All limits specified at room temperature (standard type face) and at temperature extremes (bold type face). All room temperature limits are 100% production tested. All limits at temperature extremes are ensured via correlation using standard Statistical Quality Control (SQC) methods. All limits are used to calculate Average Outgoing Quality Level (AOQL).
- (3) The switching frequency is reduced when the second stage current limit is activated.
- (4) No diode, inductor or capacitor connected to output pin.
- (5) Feedback pin removed from output and connected to 0V to force the output transistor switch ON.
- (6) Feedback pin removed from output and connected to 12V for the 3.3V, 5V, and the ADJ. version, and 15V for the 12V version, to force the output transistor switch OFF.
- (7) $V_{IN} = 40\text{V}$.

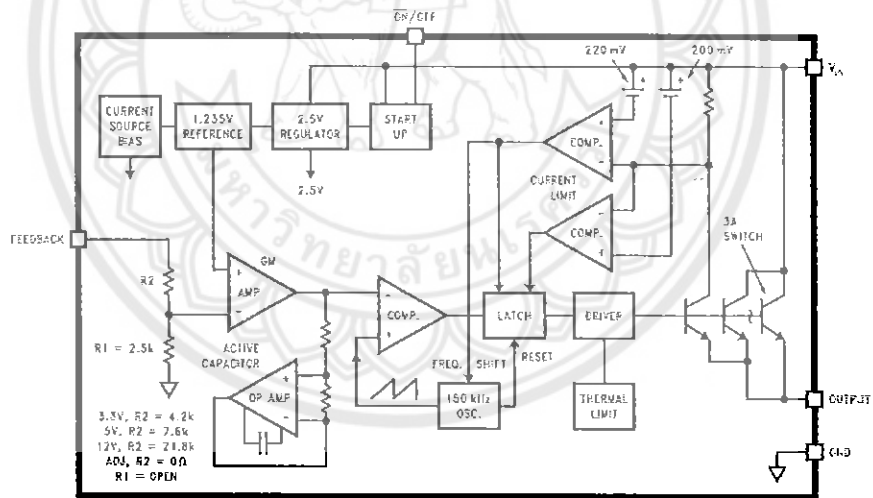
Table 5. Capacitor Manufacturers Phone Numbers (continued)

AVX Corp.	Phone	(803) 448-9411
	FAX	(803) 448-1943
Sprague/Vishay	Phone	(207) 324-4140
	FAX	(207) 324-7223

Table 6. Diode Selection Table

VR	3A Diodes				4A-6A Diodes			
	Surface Mount		Through Hole		Surface Mount		Through Hole	
	Schottky	Ultra Fast	Schottky	Ultra Fast	Schottky	Ultra Fast	Schottky	Ultra Fast
		Recovery		Recovery		Recovery		Recovery
20V	SK32	All of these diodes are rated to at least 50V.	1N5820	All of these diodes are rated to at least 50V.		All of these diodes are rated to at least 50V.	SR502	All of these diodes are rated to at least 50V.
			SR302				1N5823	
MBR320			SB520					
1N5821								
30V	30WQ03		1N5821		50WQ03		SR503	
	SK33		MBR330				1N5824	
			31DQ03				SB530	
			1N5822				SR504	
40V	SK34		SR304		50WQ04			
	MBRS340		MBR340				1N5825	
	30WQ04	MURS320	31DQ04	MUR320		MURS620	SB540	MUR620
50V	SK35	30WF10	SR305			50WF10		HER601
or	MBRS360		MBR350		50WQ05		SB550	
More	30WQ05		31DQ05				50SQ080	

Block Diagram



ประวัติผู้ดำเนินโครงการ



ชื่อ นายภัทรพงษ์ พลังช้างสาร
 ภูมิลำเนา 85 หมู่ 5 ต. บ้านม่วง อ. เชียงม่วน จ. พะเยา
 ประวัติการศึกษา
 - จบระดับมัธยมศึกษาจาก โรงเรียนเชียงม่วนวิทยาคม
 - ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรี ชั้นปีที่ 4
 สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
 มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail: pattarapongp55@email.nu.ac.th



ชื่อ นายวสันต์ น้อยรักษา
 ภูมิลำเนา 163/1 หมู่ 8 ต. แม่ท้อ อ. เมือง จ. ตาก
 ประวัติการศึกษา
 - จบระดับมัธยมศึกษาจาก โรงเรียนเทศบาล1 กิตติขจร
 - ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรี ชั้นปีที่ 4
 สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
 มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail: wasann55@email.nu.ac.th



ชื่อ นายศิริสิทธิ์ เพชรจีน
 ภูมิลำเนา 8 หมู่ 10 ต. แคมป์สน อ. เขาค้อ จ. เพชรบูรณ์
 ประวัติการศึกษา
 - จบระดับมัธยมศึกษาจาก โรงเรียนแคมป์สนวิทยาคม
 - ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรี ชั้นปีที่ 4
 สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
 มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail: sirasitp55@email.nu.ac.th

ประวัติผู้ดำเนินโครงการ (ต่อ)



- ชื่อ นายทวีวุฒิ เจียวไทร
- ภูมิลำเนา 199 หมู่ 1 ต. ท้อแท้ อ. วัดโบสถ์ จ. พิจิตร โลก
- ประวัติการศึกษา
- จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนพิจิตรโลกพิทยาคม
 - ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรี ชั้นปีที่ 4 สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail: taweewutk55@email.nu.ac.th



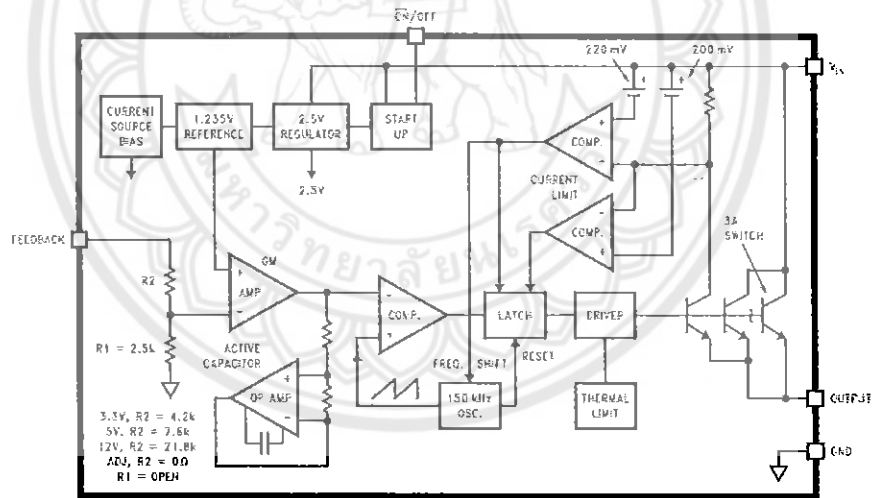
Table 5. Capacitor Manufacturers Phone Numbers (continued)

AVX Corp.	Phone	(803) 448-9411
	FAX	(803) 448-1943
Sprague/Vishay	Phone	(207) 324-4140
	FAX	(207) 324-7223

Table 6. Diode Selection Table

VR	3A Diodes				4A-6A Diodes			
	Surface Mount		Through Hole		Surface Mount		Through Hole	
	Schottky	Ultra Fast Recovery	Schottky	Ultra Fast Recovery	Schottky	Ultra Fast Recovery	Schottky	Ultra Fast Recovery
20V	SK32	All of these diodes are rated to at least 50V.	1N5820	All of these diodes are rated to at least 50V.		All of these diodes are rated to at least 50V.	SR502	All of these diodes are rated to at least 50V.
			SR302				1N5823	
30V	30WQ03 SK33	All of these diodes are rated to at least 50V.	MBR320	All of these diodes are rated to at least 50V.	50WQ03	All of these diodes are rated to at least 50V.	SB520	All of these diodes are rated to at least 50V.
			1N5821				SR503	
			MBR330				1N5824	
40V	SK34 MBRS340	All of these diodes are rated to at least 50V.	31DQ03	All of these diodes are rated to at least 50V.	50WQ04	All of these diodes are rated to at least 50V.	SB530	All of these diodes are rated to at least 50V.
			1N5822				SR504	
50V	SK35 or MBRS360	All of these diodes are rated to at least 50V.	SR304	All of these diodes are rated to at least 50V.	50WQ04	All of these diodes are rated to at least 50V.	SR504	All of these diodes are rated to at least 50V.
			SR305				1N5825	
More	30WQ05	All of these diodes are rated to at least 50V.	MURS320	All of these diodes are rated to at least 50V.	50WQ05	All of these diodes are rated to at least 50V.	SB540	All of these diodes are rated to at least 50V.
			31DQ04				MUR320	
			30WF10				50WF10	
			MBR350				SB550	
			31DQ05				50SQ080	

Block Diagram



ประวัติผู้ดำเนินโครงการ



ชื่อ นายภัทรพงษ์ พลังช้างสาร
 ภูมิลำเนา 85 หมู่ 5 ต. บ้านม่วง อ. เชียงม่วน จ. พะเยา
 ประวัติการศึกษา
 - จบระดับมัธยมศึกษาจาก โรงเรียนเชียงม่วนวิทยาคม
 - ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรี ชั้นปีที่ 4
 สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
 มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail: pattarapongp55@email.nu.ac.th



ชื่อ นายวสันต์ น้อยรักษา
 ภูมิลำเนา 163/1 หมู่ 8 ต. แม่ท้อ อ. เมือง จ. ตาก
 ประวัติการศึกษา
 - จบระดับมัธยมศึกษาจาก โรงเรียนเทศบาล1 กิตติจักร
 - ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรี ชั้นปีที่ 4
 สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
 มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail: wasann55@email.nu.ac.th



ชื่อ นายศิริสิทธิ์ เพชรชื่น
 ภูมิลำเนา 8 หมู่ 10 ต. แคมป์สน อ. เขาค้อ จ. เพชรบูรณ์
 ประวัติการศึกษา
 - จบระดับมัธยมศึกษาจาก โรงเรียนแคมป์สนวิทยาคม
 - ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรี ชั้นปีที่ 4
 สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
 มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail: sirasitp55@email.nu.ac.th

ประวัติผู้ดำเนินโครงการ (ต่อ)



ชื่อ นายทวีวุฒิ เขียวไทร
 ภูมิลำเนา 199 หมู่ 1 ต. ท้อแท้ อ. วัดโบสถ์ จ. พิษณุโลก
 ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจาก โรงเรียนพิษณุโลกพิทยาคม
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรี ชั้นปีที่ 4 สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail: tawcewutk55@email.nu.ac.th

