

ชุดจำลองกังหันลม  
WIND TURBINE SIMULATOR

ไทย

อัฐิภาณ	บุญรวิชัย
สรศักดิ์	ถามระติษ
พีจนภา	วิวัฒน์
อุเทน	มณี

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา ๒๕๕๐

ชุดจำลองกังหันลม  
WIND TURBINE SIMULATOR

โดย

ณัฐภณ	บุญช่วย
สุรศักดิ์	อามระดิษ
สุจินดา	วัฒน์นะ
อุเทน	มีศรี

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2556

# WIND TURBINE SIMULATOR

NATTAPON	BOONCHUAY
SURASAK	AMARADIS
SUJINDA	WATANA
UTEN	MEESRI

THIS PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT  
FOR THE BACHELOR DEGREE IN ELECTRICAL ENGINEERING  
DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING FACULTY OF ENGINEERING  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2013

ปีการศึกษา 2556

ชุดจำลองกังหันลม  
WIND TURBINE SIMULATOR

โดย

นาย อนุรักษ์	บุญช่วย
นาย สุรศักดิ์	อามระดิษ
นาย สุจินดา	วัฒนะ
นาย อุเทน	มีศรี

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ดร.วิจิตร กิณเรศ

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2556

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ชุดจำลองกังหันลม

ผู้จัดทำ

- |                  |          |
|------------------|----------|
| 1. นาย ณัฐภณ     | บุญช่วย  |
| 2. นาย สุรศักดิ์ | อามระดิษ |
| 3. นาย สุจินดา   | วัฒนนะ   |
| 4. นาย อุเทน     | มีศรี    |

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

( รศ.ดร. วิจิตร กิณเรศ )

## ชุดจำลองกังหันลม

นาย อนุรักษ์ บุญช่วย  
นาย สุรศักดิ์ อามระดิษ  
นาย สุจินดา วัฒนนะ  
นาย อุเทน มีศรี  
รศ.ดร. วิจิตร กิณเรศ      อาจารย์ที่ปรึกษา  
ปีการศึกษา 2556

### บทคัดย่อ

ปฏิญานิพนธ์เล่มนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาการจำลองคุณลักษณะของลมที่ปะทะกับใบพัดของกังหันลมชนิดมุมใบพัดคงที่ และสร้างเครื่องจำลองกังหันลมให้เหมือนกับการทำงานของกังหันลมที่จำลองคุณลักษณะได้จากโปรแกรม MATLAB/Simulink โดยใช้ระบบการขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ด้วยวงจร ดีซี-ดีซี คอนเวอร์เตอร์ แบบวงจรทอนแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งจะอาศัยหลักการควบคุมแรงบิดของมอเตอร์ไฟฟ้า โดยการควบคุมกระแสไฟฟ้าที่ขั้วอาร์มาเจอร์ของมอเตอร์ทำได้ด้วยการควบคุมแรงดันที่จ่ายให้กับขดลวดอาร์มาเจอร์ในการสวิตช์ด้วยสัญญาณขับพีดีบีเบิลยูเอ็ม จากการเปรียบเทียบจากกระแสจริงที่วัดได้จากมอเตอร์ กับกระแสที่ได้จากการจำลองใน MATLAB/Simulink เพื่อใช้เป็นกระแสอ้างอิงในการทำให้แรงบิดของมอเตอร์เป็นไปในลักษณะเช่นเดียวกับแรงบิดที่เกิดจากกังหันลมจริง โดยคาดหวังว่าการจำลองนี้จะช่วยพัฒนาถึงศักยภาพของกังหันลม เนื่องจากการลงทุนในการจำลองจริงนั้นมีต้นทุน และเสียเวลาในการทดสอบนาน ดังนั้นการจำลองด้วยชุดจำลองกังหันลมนี้จึงเป็นตัวเลือกที่ดีในการนำมาศึกษา

## WIND TURBINE SIMULATOR

Mr. Nattapon Boonchuay  
Mr. Surasak Amaradis  
Mr. Sujinda Watana  
Mr. Uten Meesri  
Assoc.Prof.Vijit Kinares Supervisor  
Year 2013

### Abstract

This project aims to study the simulation of wind characteristics against the fixed blade wind turbine and to construct a wind simulator using a DC drive with dc chopper operating as wind turbine characteristics simulating MATLAB/Simulink by controlling torque of motor from armature current controlled. The armature current controlled is able to adjust voltage source supplying armature winding from switching with gate drive signal PWM was derived from actual current comparing with current simulating MATLAB/Simulink to be reference current and torque occurred as real wind turbine due to costly investment of actual simulation as well as time consuming experiment. Therefore, wind turbine simulator is the best alternative for studying of wind energy.

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์นี้สำเร็จลงได้ด้วยความรู้ ความกรุณาจากรองศาสตราจารย์ ดร.วิจิตร กิณเรศ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้ซึ่งให้ความรู้ คำแนะนำและความเมตตาที่ให้โอกาส ตลอดจนแนวคิดที่ดีที่ใช้ในการทำงานจนการจัดทำปริญญาานิพนธ์นี้เสร็จสมบูรณ์ คณะผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณอาจารย์พูนศรี วรรณการ ที่ให้คำปรึกษา คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ เอื้อเพื่ออุปกรณ์ชุดมอเตอร์ในการทดลอง ตลอดจนเสียสละเวลาอันมีค่าและสิ่งต่าง ๆ จนทำให้ปริญญาานิพนธ์นี้เสร็จสมบูรณ์ คณะผู้จัดทำจึงขอขอบคุณจากใจจริงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบคุณเพื่อนๆ น้องๆ ในห้องปฏิบัติการ Power Electronics and Machine Control ที่ช่วยแก้ปัญหาด้วยดีมาโดยตลอด

นอกจากนั้นผู้จัดทำต้องขอขอบคุณ คุณนครศักดิ์ เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการที่ให้เบิกใช้เครื่องมือ ตลอดจนคุณกมลวรรณเจ้าหน้าที่ห้องธุรการที่ให้คำแนะนำเกี่ยวกับการเบิกใบเสร็จของโครงการ

ท้ายนี้คณะผู้จัดทำ ขอกราบขอบพระคุณ บิดามารดา และครอบครัวซึ่งให้การสนับสนุนในด้านการเงินและให้กำลังใจอีกทั้งเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ที่ให้ความช่วยเหลือในด้านการจัดหาอุปกรณ์ต่างๆ ในการทำโครงการครั้งนี้จนสำเร็จได้ด้วยดี จึงขอขอบคุณไว้ ณ ที่นี้ด้วย

คณะผู้จัดทำ

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
ABSTRACT	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูป	VI
สารบัญตาราง	IX
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตงานวิจัย	2
1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน	2
1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	3
1.6 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 พลังงานลม	4
2.2 กังหันลม	5
2.3 การควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบกระตุ้นแยก	8
2.4 ดีซี-ดีซี คอนเวอร์เตอร์	15
บทที่ 3 การออกแบบและประกอบสร้าง	20
3.1 ฮาร์ดแวร์ที่ใช้ในชุดจำลองกังหันลม	20
3.2 แบบจำลองเครื่องจำลองกังหันลมชนิดมุมใบพัดคงที่	23
บทที่ 4 การทดสอบและประเมินผล	26
4.1 ไดอะแกรมและวงจรที่ใช้ในการทดลอง	26
4.2 แผนผังแสดงลำดับการทำงานไมโครคอนโทรลเลอร์	32
4.3 ขั้นตอนการทดลอง	34
4.4 ผลการทดลอง	34
4.5 อธิบายผลการทดลอง	53
บทที่ 5 สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง	54
5.1 สรุปผลการทดลอง	54
5.2 วิจารณ์ผลการทดลอง	56
เอกสารอ้างอิง	57

## สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
ภาคผนวก	58
ภาคผนวก ก บทความทางวิชาการ	59
ภาคผนวก ข บล็อกไดอะแกรมการจำลองในคอมพิวเตอร์	63
ภาคผนวก ค โปรแกรม Microcontroller PIC16F887	64
ภาคผนวก ง แผนภาพแสดงลำดับขั้นตอนการทำงานโปรแกรม	72
ภาคผนวก จ ข้อมูลอุปกรณ์	77
ประวัติผู้เขียน	134

## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1	4
2.2	5
2.3	5
2.4	6
2.5	9
2.6	10
2.7	11
2.8	12
2.9	13
2.10	13
2.11	14
2.12	15
2.13	15
2.14	16
2.15	16
2.16	17
3.1	18
3.2	18
3.3	19
3.4	20
3.5	20
3.6	21
3.7	23
3.8	23
3.9	24
3.10	24
3.11	25

## สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.1 โครงสร้างของชุดจำลองกังหันลมชนิดมุมใบพัดคงที่ โดยใช้ระบบขับเคลื่อนโดยตรง แบบวงจรถอนแรงดัน	26
4.2 วงจรถอนแรงดันมอเตอร์ด้วยสวิตช์กำลัง IGBT	27
4.3 วงจรขับ IGBT	27
4.4 ส่วนควบคุมชุดจำลองกังหันลม	28
4.5 วงจรสร้างสัญญาณ PWM และตัวแสดงผล LCD 20*4 จาก Microcontroller PIC16F887	29
4.6 LEM-LA25 NP	29
4.7 วงจร Supply $\pm 15V$ ของ LEM-LA25 NP	30
4.8 ชุดสวิตช์กำลังไอจีบีทีและวงจรควบคุม	30
4.9 อุปกรณ์การทดลองที่นำเสนอในงานวิจัย	31
4.10 แผนภาพกระบวนการทำงานของชุดจำลองกังหันลม	31
4.11 จำลองคุณลักษณะกำลังและความเร็วของกังหันที่ความเร็วลม 12m/s โดยชุดจำลองกังหันลมเปรียบเทียบกับแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์	35
4.12 จำลองคุณลักษณะแรงบิดและความเร็วของกังหันที่ความเร็วลม 12m/s โดยชุดจำลองกังหันลมเปรียบเทียบกับแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์	35
4.13 รูปคลื่นแรงดันและกระแสที่ความเร็วลม 12m/s ที่กำลังสูงสุด	36
4.14 จำลองคุณลักษณะกำลังและความเร็วของกังหันที่ความเร็วลม 11m/s โดยชุดจำลองกังหันลมเปรียบเทียบกับแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์	37
4.15 จำลองคุณลักษณะแรงบิดและความเร็วของกังหันที่ความเร็วลม 11m/s โดยชุดจำลองกังหันลมเปรียบเทียบกับแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์	37
4.16 รูปคลื่นแรงดันและกระแสที่ความเร็วลม 11m/s ที่กำลังสูงสุด	38
4.17 จำลองคุณลักษณะกำลังและความเร็วของกังหันที่ความเร็วลม 10m/s โดยชุดจำลองกังหันลมเปรียบเทียบกับแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์	39
4.18 จำลองคุณลักษณะแรงบิดและความเร็วของกังหันที่ความเร็วลม 10m/s โดยชุดจำลองกังหันลมเปรียบเทียบกับแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์	39
4.19 รูปคลื่นแรงดันและกระแสที่ความเร็วลม 10m/s ที่กำลังสูงสุด	40
4.20 จำลองคุณลักษณะกำลังและความเร็วของกังหันที่ความเร็วลม 9m/s โดยชุดจำลองกังหันลมเปรียบเทียบกับแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์	41
4.21 จำลองคุณลักษณะแรงบิดและความเร็วของกังหันที่ความเร็วลม 9m/s โดยชุดจำลองกังหันลมเปรียบเทียบกับแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์	41
4.22 รูปคลื่นแรงดันและกระแสที่ความเร็วลม 9m/s ที่กำลังสูงสุด	42
4.23 จำลองคุณลักษณะกำลังและความเร็วของกังหันที่ความเร็วลม 8m/s โดยชุดจำลองกังหันลมเปรียบเทียบกับแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์	43

## สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.24 จำลองคุณลักษณะแรงบิดและความเร็วของกังหันที่ความเร็วลม 8m/s โดยชุดจำลองกังหันลมเปรียบเทียบกับแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์	43
4.25 รูปคลื่นแรงดันและกระแสที่ความเร็วลม 8m/s ที่กำลังสูงสุด	44
4.26 จำลองคุณลักษณะกำลังและความเร็วของกังหันที่ความเร็วลม 7m/s โดยชุดจำลองกังหันลมเปรียบเทียบกับแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์	45
4.27 จำลองคุณลักษณะแรงบิดและความเร็วของกังหันที่ความเร็วลม 7m/s โดยชุดจำลองกังหันลมเปรียบเทียบกับแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์	45
4.28 รูปคลื่นแรงดันและกระแสที่ความเร็วลม 7m/s ที่กำลังสูงสุด	46
4.29 จำลองคุณลักษณะกำลังและความเร็วของกังหันที่ความเร็วลม 6m/s โดยชุดจำลองกังหันลมเปรียบเทียบกับแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์	47
4.30 จำลองคุณลักษณะแรงบิดและความเร็วของกังหันที่ความเร็วลม 6m/s โดยชุดจำลองกังหันลมเปรียบเทียบกับแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์	47
4.31 รูปคลื่นแรงดันและกระแสที่ความเร็วลม 6m/s ที่กำลังสูงสุด	48
4.32 จำลองคุณลักษณะกำลังและความเร็วของกังหันที่ความเร็วลม 5m/s โดยชุดจำลองกังหันลมเปรียบเทียบกับแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์	49
4.33 จำลองคุณลักษณะแรงบิดและความเร็วของกังหันที่ความเร็วลม 5m/s โดยชุดจำลองกังหันลมเปรียบเทียบกับแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์	49
4.34 รูปคลื่นแรงดันและกระแสที่ความเร็วลม 5m/s ที่กำลังสูงสุด	50
4.35 จำลองคุณลักษณะกำลังและความเร็วของกังหันที่ความเร็วลม 4m/s โดยชุดจำลองกังหันลมเปรียบเทียบกับแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์	51
4.36 จำลองคุณลักษณะแรงบิดและความเร็วของกังหันที่ความเร็วลม 4m/s โดยชุดจำลองกังหันลมเปรียบเทียบกับแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์	51
4.37 รูปคลื่นแรงดันและกระแสที่ความเร็วลม 4m/s ที่กำลังสูงสุด	52
5.1 ความสัมพันธ์ของกำลังทางกลกับความเร็วโรเตอร์ โดยเปรียบเทียบระหว่างแบบจำลองคอมพิวเตอร์และชุดจำลองกังหันลม	55
5.2 ความสัมพันธ์ของแรงบิดทางกลกับความเร็วโรเตอร์ โดยเปรียบเทียบระหว่างแบบจำลองคอมพิวเตอร์และชุดจำลองกังหันลม	55
ข.1 แบบจำลองเครื่องจำลองกังหันลมชนิดมุมใบพัดคงที่	63
ข.2 แบบจำลองเครื่องจำลองกังหันลมชนิดมุมใบพัดคงที่(ต่อ)	63

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 พิกัดการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง	21
3.2 พิกัดการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง	21
3.3 พิกัดการทำงานของเครื่องจำลองกังหันลมชนิดมุมใบพัดคงที่	23
4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าพารามิเตอร์ต่างๆของชุดจำลองกังหันลมที่ความเร็วลม 12m/s	36
4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าพารามิเตอร์ต่างๆของชุดจำลองกังหันลมที่ความเร็วลม 11m/s	38
4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าพารามิเตอร์ต่างๆของชุดจำลองกังหันลมที่ความเร็วลม 10m/s	40
4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าพารามิเตอร์ต่างๆของชุดจำลองกังหันลมที่ความเร็วลม 9m/s	42
4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าพารามิเตอร์ต่างๆของชุดจำลองกังหันลมที่ความเร็วลม 8m/s	44
4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าพารามิเตอร์ต่างๆของชุดจำลองกังหันลมที่ความเร็วลม 7m/s	46
4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าพารามิเตอร์ต่างๆของชุดจำลองกังหันลมที่ความเร็วลม 6m/s	48
4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าพารามิเตอร์ต่างๆของชุดจำลองกังหันลมที่ความเร็วลม 5m/s	50
4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าพารามิเตอร์ต่างๆของชุดจำลองกังหันลมที่ความเร็วลม 4m/s	52

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

การผลิตพลังงานไฟฟ้าของประเทศไทยนั้น ส่วนใหญ่มาจากการใช้เชื้อเพลิงจากซากดึกดำบรรพ์ซึ่งทุกวันนี้ทรัพยากรเชื้อเพลิงในส่วนนี้กำลังลดน้อยลง และอาจเข้าสู่สภาวะขาดแคลนเชื้อเพลิงทำให้เชื้อเพลิงมีราคาสูงขึ้น ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อผู้บริโภคทั้งทางตรงและทางอ้อม จากเหตุดังกล่าวพลังงานทางเลือกจึงเป็นทางเลือกในการผลิตพลังงานไฟฟ้าในรูปแบบใหม่ ซึ่งจะลดผลกระทบต่อปริมาณการใช้เชื้อเพลิงจากซากดึกดำบรรพ์ให้ลดน้อยลง และไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเหมือนกับการเผาไหม้เชื้อเพลิงจากซากดึกดำบรรพ์ซึ่งในตัวเลือกจากพลังงานทางเลือกที่น่าสนใจคือพลังงานลม ซึ่งสามารถผลิตพลังงานได้จากกังหันหรือใบพัดที่ต่ออยู่กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า โดยใช้พลังงานจลน์จากกระแสลมที่พัดผ่านปะทะกับใบพัดทำให้ใบพัดหมุน โดยเพลลาของใบพัดที่หมุนนั้นถูกต่อรวมอยู่กับเพลลาของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซึ่งทำการเปลี่ยนพลังงานจลน์เป็นพลังงานไฟฟ้าได้ในที่สุด โดยระบบที่ใช้กันอยู่ในทุกวันนี้มีอยู่ 2 แบบ คือแบบ Stand Alone และ Connected Grid

โดยระบบ Stand Alone นั้นมีหลักการในการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากการที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าผลิตกระแสไฟฟ้าถูกเก็บสะสมอยู่ในแบตเตอรี่ โดยต้องมีวงจรคอนเวอร์เตอร์ ในการแปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรง เพื่อเก็บพลังงานในแบตเตอรี่ เมื่อมีความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าจะต้องมีวงจรอินเวอร์เตอร์เพื่อแปลงไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับและ ในระบบ Connected Grid เป็นการต่อเข้ากับระบบโครงข่ายไฟฟ้าขนาดใหญ่ ในการผลิตพลังงานไฟฟ้าไม่จำเป็นต้องมีแบตเตอรี่เพื่อเก็บสะสมพลังงาน แต่จะทำการจ่ายโดยตรงเข้าสู่ระบบโครงข่ายไฟฟ้าโดยตรงโดยมีข้อดีกว่าแบบ Stand Alone ตรงที่ไม่มีแบตเตอรี่ในการเก็บพลังงาน ทำให้ลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากแบตเตอรี่ที่หมดอายุ และมีการบำรุงรักษาที่ง่ายกว่า แต่ยังมีการใช้งานกันอยู่เป็นส่วนใหญ่เนื่องจากมีราคาสูง

ในการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานลมผู้ผลิตส่วนใหญ่เป็นผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็ก (SPP) และผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมาก (VSPP) ในทางปฏิบัติยังไม่มีการลงทุนกับการผลิตไฟฟ้าโดยใช้พลังงานลมภายในประเทศไทยอย่างจริงจังเนื่องจากต้นทุนที่มีราคาสูง เพราะวัสดุส่วนใหญ่ต้องนำเข้าจากต่างประเทศ และในการผลิตพลังงานไฟฟ้าต้องผลิตให้ได้ตามมาตรฐานของการไฟฟ้า โดยในการเข้ามาศึกษาในส่วนนี้กันอย่างจริงจังจึงอาจทำให้แนวโน้มการผลิตพลังงานไฟฟ้าหันมาใช้พลังงานทดแทนกันมากขึ้น ซึ่งจะช่วยให้ลดการนำเข้าชิ้นส่วนจากต่างประเทศทำให้มีราคาถูกลงและเป็นทางเลือกที่ดีทางเลือกหนึ่งของการผลิตไฟฟ้าในอนาคตต่อไป

## 1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อทำการศึกษา วิจัย ออกแบบ และสร้างเครื่องจำลองกังหันลมชนิดมุมใบพัดคงที่ โดยใช้ระบบขับไฟฟ้ากระแสตรงแบบวงจรถอนแรงดัน (DC Chopper)
2. เพื่อนำหลักการทางวิศวกรรม มาประยุกต์ใช้ในการออกแบบสร้างระบบควบคุม และวิเคราะห์การทำงานของเครื่องจำลองกังหันลมสำหรับขับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ในเงื่อนไขการทำงานเหมือนกังหันลมจริง
3. เพื่อทำการทดสอบ สมรรถนะ ความทนทานในการทำงานของเครื่องจำลองกังหันลม โดยการใช้ระบบขับไฟฟ้ากระแสตรงแบบวงจรถอนแรงดันเป็นตัวขับเคลื่อนกำลัง

## 1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงการ

1. สร้างแบบจำลองเบื้องต้นของเครื่องจำลองกังหันลม โดยใช้โปรแกรม MATLAB/Simulink
2. ศึกษา วิจัย ออกแบบ และสร้างเครื่องต้นแบบ เครื่องจำลองกังหันลมโดยใช้ระบบขับไฟฟ้ากระแสตรงแบบวงจรถอนแรงดัน กับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ขนาด 2 kW
3. ศึกษา วิจัย ออกแบบ และวิเคราะห์เครื่องจำลองกังหันลม ให้มีการทำงาน เหมือนกับกังหันลมจริง โดยการใช้ระบบขับไฟฟ้ากระแสตรงแบบวงจรถอนแรงดัน
4. ศึกษา วิจัย ออกแบบ และทดสอบเครื่องจำลองกังหันลม เมื่อมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง สร้างแรงบิดเพื่อนำไปขับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ขนาด 1.2 kW ให้ผลิตพลังงานไฟฟ้าขณะมีโหลด

## 1.4 วิธีการที่ใช้ในโครงการ

ปริญญานิพนธ์นี้นำเสนอการออกแบบ สร้าง วิเคราะห์ และทดสอบสมรรถนะของเครื่องจำลองกังหันลมชนิดมุมใบพัดคงที่ โดยระบบขับไฟฟ้ากระแสตรงแบบวงจรถอนแรงดัน ซึ่งทำการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ MATLAB/Simulink ในการจำลองการทำงานของกังหันลมจริง เพื่อให้ได้กำลังงานของกังหันลมสูงสุดโดยพิจารณาในกรณีที่มุมใบพัดคงที่ จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างมุมบิดของใบพัดกับค่าสัมประสิทธิ์กำลังพบว่า ที่มุมใบพัดเท่ากับ 0 องศาจะให้ค่าสัมประสิทธิ์กำลังสูงสุด เพื่อนำไปใช้ในการออกแบบและสร้างเครื่องจำลองกังหันลม โดยเลือกใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงเนื่องจากมีคุณสมบัติในการตอบสนองต่อแรงบิดที่ดี และสามารถควบคุมได้ง่ายด้วยระบบขับไฟฟ้ากระแสตรงแบบวงจรถอนแรงดัน มาจำลองการทำงานของกังหันลมจริง

การทำงานของเครื่องจำลองกังหันลมนั้นจะประกอบด้วยวงจร 2 ส่วนใหญ่ ได้แก่

1. วงจรภาคกำลัง ประกอบไปด้วยวงจรไดโอดเรกติไฟ์เออร์ทำหน้าที่แปลงผันไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง เพื่อจ่ายให้กับวงจรคอนเวอร์เตอร์ทำหน้าที่แปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่สามารถควบคุมระดับแรงดันไฟฟ้าได้ แล้วนำไปจ่ายให้กับระบบขับไฟฟ้ากระแสตรงเพื่อควบคุมแรงบิดของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง
2. วงจรภาคควบคุมการทำงานของกังหันลม ซึ่งประกอบไปด้วยวงจรรย่อยสองส่วนคือ
  - 2.1 วงจรควบคุมการทำงานของกังหันลม โดยอาศัยคุณสมบัติของกังหันลม ที่สร้างจากแบบจำลองโปรแกรมในคอมพิวเตอร์ MATLAB/Simulink ซึ่งจำลองการทำงานของกังหันลมจริงโดยการกำหนดค่าความเร็วลมและรับค่าความเร็วรอบของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแทนการหมุนของกังหันลมจริง เครื่องจำลองกังหันลมออกมา และส่งสัญญาณไปควบคุมให้ชุดควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงเพื่อจำลองการควบคุมของกังหันลมจริง
  - 2.2 วงจรควบคุมความเร็วรอบของระบบขับไฟฟ้ากระแสตรงแบบวงจรทอนแรงดัน ซึ่งระบบการควบคุมทั้งสองส่วนจะต้องอาศัยการตรวจวัดกระแสไฟฟ้าและความเร็วรอบของระบบขับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

#### 1.5 แผนการดำเนินโครงการ

1. จำลองการทำงานของกังหันลมเมื่อมีลมมาปะทะ ด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink
2. สร้างวงจรเรียงกระแสเพื่อจ่ายให้กับขดลวดอาร์มาเจอร์และขดลวดสนาม
3. จำลองการทำงานของวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้กับขดลวดอาร์มาเจอร์ เพื่อทำหน้าที่ควบคุมกระแสที่ขดลวดอาร์มาเจอร์
4. สร้างชุดขับเครื่องจักรไฟฟ้ากระแสตรง
5. ทดสอบและดำเนินการเก็บผลการทดลองว่ามีคุณลักษณะของมอเตอร์เช่นเดียวกับกังหันลมหรือไม่

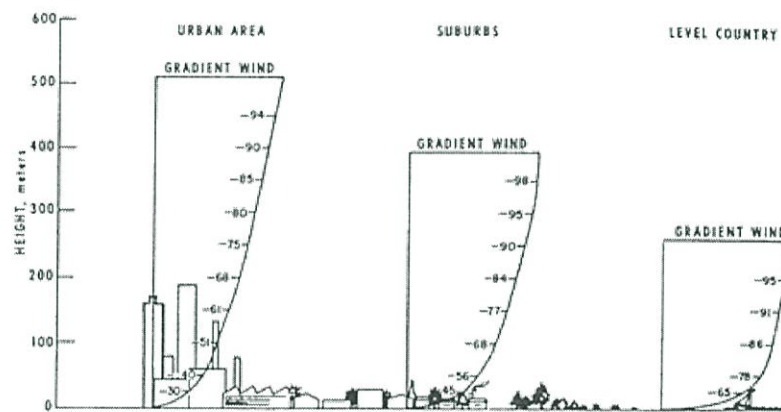
#### 1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

1. ได้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ของเครื่องจำลองกังหันลม โดยใช้ระบบขับไฟฟ้ากระแสตรงแบบวงจรทอนแรงดัน บนโปรแกรม MATLAB/Simulink
2. ได้เครื่องต้นแบบ เครื่องจำลองกังหันลมชนิดมุมใบพัดคงที่ โดยใช้ระบบขับไฟฟ้ากระแสตรงแบบวงจรทอนแรงดัน
3. ได้ผลการทดสอบและวิเคราะห์การทำงานของเครื่องจำลองกังหันลมชนิดมุมใบพัดคงที่

## บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 พลังงานลม

ลมเป็นการเคลื่อนที่ของมวลอากาศที่เกิดจากความแตกต่างของความกดอากาศระหว่างแต่ละพื้นที่ โดยอากาศจะไหลจากพื้นที่ที่มีความกดอากาศสูงไปสู่พื้นที่ที่มีความกดอากาศต่ำ นอกจากนี้ลมยังอาจเกิดขึ้นจากอิทธิพลใหญ่ของภูมิประเทศและความเปลี่ยนแปลงของภูมิอากาศในประเทศนั้นๆ ซึ่งเป็นที่มาของการนำพลังงานลมมาใช้ให้เกิดประโยชน์ โดยใช้เครื่องมือในการแปลงพลังงานจลน์จากลมเป็นพลังงานไฟฟ้า โดยคุณลักษณะของลมจะแตกต่างกันไปตามแต่ละพื้นที่ซึ่งจะแบ่งออกเป็น 3 โซน พบว่าความเร็วลมจะแปรผันตรงกับระดับความสูง ดังรูปต่อไปนี้



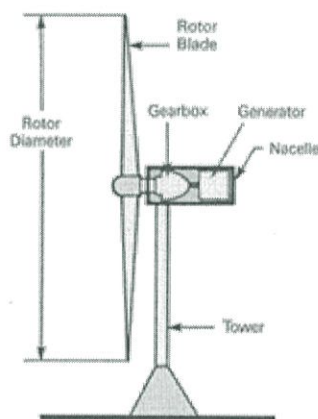
รูปที่ 2.1 เกรเดียนท์ของลมตามแต่ละพื้นที่

จากรูปสามารถแบ่งพื้นที่ออกได้เป็น 3 โซน

1. โซนในเมืองใหญ่ พบว่าจะมีแรงฝัดอันเนื่องมาจากการปะทะกับสิ่งกีดขวางร่วมกระทำค่อนข้างมาก เพราะภายในเมืองใหญ่มีสิ่งปลูกสร้างอยู่เป็นจำนวนมาก ทำให้ระดับความเร็วลมไม่สูงมากนัก
2. โซนชานเมือง พบว่าในชานเมืองมีสิ่งปลูกสร้างในระดับที่ไม่สูงเหมือนกับในเมืองใหญ่ ดังนั้นความเร็วลมจึงมากกว่าในระดับเดียวกับความสูงของชานเมืองใหญ่ เนื่องจากมีสิ่งปลูกสร้างน้อยและความสูงไม่มาก ทำให้ลมมีแรงต้านลดลง
3. โซนนอกเมือง พบว่าความเร็วลมจะมีความเร็วมากในระดับความสูงต่ำ เนื่องจากไม่มีสิ่งกีดขวางในการปะทะลม ทำให้ไม่มีแรงต้าน

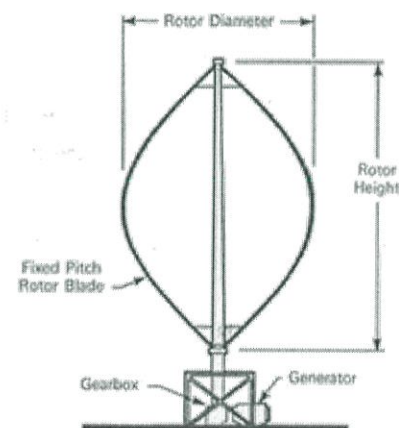
## 2.2 กังหันลม

2.2.1 กังหันลมแนวแกนนอน ( Horizontal Axis Wind Turbine ) เป็นกังหันลมที่มีแกนหมุนขนานกับทิศทางของลมโดยมีใบพัดเป็นตัวตั้งฉากรับแรง ลม มีอุปกรณ์ควบคุมกังหันให้หันไปตามทิศทางของกระแสลม เรียกว่า หางเสือ และมีอุปกรณ์ป้องกันกังหันชำรุดเสียหายขณะเกิดลมพัดแรง



รูปที่ 2.2 กังหันลมแนวแกนนอน (Horizontal Axis Wind Turbine)

2.2.2 กังหันลมแนวแกนตั้ง ( Vertical Axis Wind Turbine ) เป็นกังหันลมที่มีแกนหมุนและใบพัดตั้งฉากกับการเคลื่อนที่ของลมในแนวราบ ซึ่งทำให้สามารถรับลมในแนวราบได้ทุกทิศทาง

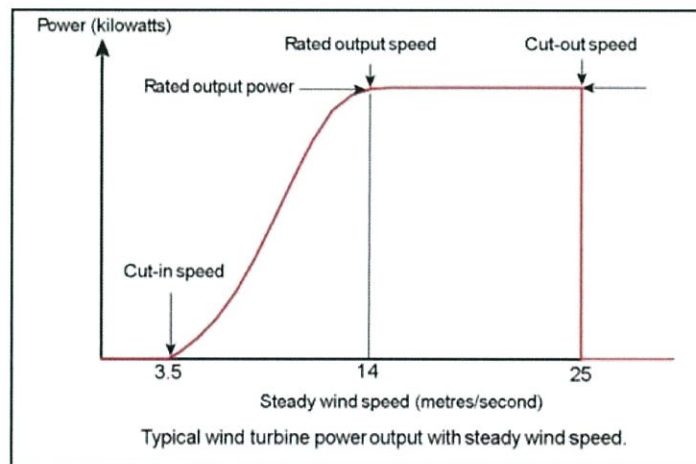


รูปที่ 2.3 กังหันลมแนวแกนตั้ง (Vertical Axis Wind Turbine)

2.2.3 จำนวนใบพัด ในการผลิตกำลังไฟฟ้าจากพลังงานลมถ้าต้องการผลิตไฟฟ้าที่ความเร็วรอบของกังหันสูง แรงบิดต่ำ ต้องใช้จำนวนใบพัดน้อย แต่ถ้าต้องการนำไปประยุกต์ใช้งานเพื่อการสูบน้ำ หรือสีข้าว กังหันจะต้องการแรงบิดสูง ความเร็วรอบต่ำ ต้องใช้จำนวนใบพัดมาก ในปัจจุบันกังหันแบบสามใบพัดเป็นที่นิยมใช้ เนื่องจากมีเสถียรภาพของการหมุนแกนกังหันที่ราบรื่น มีความสวยงาม มีเสียงดังรบกวนน้อย และมีการผลิตขายในตลาดมากกว่าชนิดอื่นๆ แต่ก็มีข้อเสียคือ ต้องการโครงสร้างการรองรับที่แข็งแรง และต้นทุนในการผลิตสูง

2.2.4 ระบบเกียร์ปรับความเร็ว ใช้ในการปรับความเร็วรอบของเพลาลูกหมุนให้สูงขึ้น หรือต่ำลง เพื่อควบคุมการส่งกำลังทางกลจากเพลาลูกหมุนให้มีความสัมพันธ์กับความเร็วรอบเพลาลูกของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

2.2.5 ความเร็วลมและกำลังของกังหันลม พิจารณากังหันลมชนิดมุมใบพัดคงที่ ทำให้ค่าสัมประสิทธิ์กำลังขึ้นอยู่กับค่าความเร็วลม และความความเร็วรอบของตัวกังหันลม จากกราฟจะพบว่ากังหันลมจะไม่ทำงานที่ความเร็วลมมีค่าต่ำกว่าค่าความเร็วลมตัดเข้า และที่ความเร็วลมมีค่าสูงกว่าค่าความเร็วลมสูงสุดเพราะจะทำให้กังหันลมเกิดความเสียหายต่อระบบทางกลจึงต้องทำให้กังหันลมหยุดทำงานทันที



รูปที่ 2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมกับกำลังงานของกังหันลม

กังหันลมจะทำงานเมื่อความเร็วลมอยู่ในช่วงระหว่างความเร็วลมตัดเข้าถึงความเร็วลมสูงสุดโดยในช่วงระหว่างความเร็วลมตัดเข้าถึงความเร็วลมพิกัดกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จะแปรผันตามความเร็วลมยกกำลังสามและในช่วงระหว่างความเร็วลมพิกัดถึงช่วงความเร็วลมสูงสุดกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จะมีค่าใกล้เคียงกับกำลังไฟฟ้าพิกัด

2.2.6 กำลังและแรงบิดของเครื่องจำลองกังหันลม กำลังทางกลที่เกิดขึ้นในตัวเพลลาของโรเตอร์ที่เกิดขึ้นจากการหมุนของใบพัดของกังหันลมสามารถจำลองได้ด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ดังนี้

$$P_m = \frac{1}{2} \pi \rho C_p(\lambda, \beta) r^2 v_w^3 \quad (2.1)$$

เมื่อ	$P_m$	คือ กำลังทางกลที่เกิดขึ้นบนกังหันลม (watt)
	$\rho$	คือ ค่าความหนาแน่นอากาศ มีค่าประมาณ 1.225 (kg/m <sup>3</sup> )
	$r$	คือ รัศมีของใบพัด (m)
	$v_w$	คือ ค่าความเร็วลม (m/s)
	$C_p(\lambda, \beta)$	คือ ค่าสัมประสิทธิ์กำลังไฟฟ้าของกังหันลม
	$\lambda$	คือ อัตราส่วนระหว่างความเร็วปลายใบพัด (m/s) ต่อความเร็ว (m/s)
	$\beta$	คือ มุมบิดของใบพัด (degree)

โดยที่ค่าสัมประสิทธิ์กำลังไฟฟ้าของกังหันลม  $C_p(\lambda, \beta)$  จะขึ้นอยู่กับอัตราส่วนระหว่างความเร็วปลายใบพัด  $\lambda$  และมุมบิดของใบพัด  $\beta$  ดังแสดงได้จาก

$$C_p(\lambda, \beta) = c_1 \left( \frac{c_2}{\lambda_i} - c_3 \beta - c_4 \right) e^{\frac{-c_5}{\lambda_i}} + c_6 \lambda \quad (2.2)$$

กำหนดให้  $c_1 = 0.5176$   $c_2 = 116$   $c_3 = 0.4$   $c_4 = 5$   $c_5 = 21$  และ  $c_6 = 0.0068$  ตามลำดับ ความสัมพันธ์ของ  $\lambda_i$  จะขึ้นอยู่กับ

$$\frac{1}{\lambda_i} = \frac{1}{\lambda + 0.08\beta} - \frac{0.035}{\beta^3 + 1} \quad (2.3)$$

จากสมการ (2.1) ค่าสัมประสิทธิ์กำลังไฟฟ้า  $C_p$  จะขึ้นอยู่กับารออกแบบลักษณะตัวใบพัดกังหันลม โดยที่จะถูกกำหนดได้จากค่าอัตราความเร็วเสริม  $\lambda$  และค่ามุมบิดของใบพัด  $\beta$  ซึ่งความสัมพันธ์ของค่าอัตราความเร็วเสริม  $\lambda$  กับความเร็วรอบของตัวกังหันลม  $\omega_t$  (Rotational speed of the wind turbine) และรัศมีของใบพัดกับค่าความเร็วลมสามารถหาได้จาก

$$\lambda = \frac{\omega_t r}{v_w} \quad (2.4)$$

ในส่วนของแรงบิดทางกล  $T_m$  ที่กังหันลมสร้างขึ้นนั้น จะพิจารณาได้จากกำลังทางกลในสมการ (2.1) ซึ่งสามารถนำมาอธิบายแรงบิดทางกล  $T_m$  ของกังหันลมในเทอมของสัมประสิทธิ์แรงบิด  $C_t$  (Torque coefficient) ได้คือ

$$T_m = \frac{P_m}{\omega_t} = \frac{1}{2} \pi \rho C_t(\lambda, \beta) r^3 v_w^3 \quad (2.5)$$

เมื่อความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์แรงบิด  $C_t$  และค่าสัมประสิทธิ์กำลังไฟฟ้า  $C_p$  สามารถแสดงได้จาก

$$C_p(\lambda, \beta) = \frac{P_m}{\frac{\pi \rho r^2 v_w^3}{2}} = \frac{\omega_t r}{v_w} C_t(\lambda, \beta) = \lambda C_t(\lambda, \beta) \quad (2.6)$$

### 2.3 การควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบกระตุ้นแยก

โครงสร้างของเครื่องจักรกลไฟฟ้าหมุนทั่วไปจะมีส่วนประกอบหลักอยู่ 2 ส่วน คือ ส่วนที่เคลื่อนที่ เรียกว่า โรเตอร์ (Rotor) และ ส่วนที่ไม่เคลื่อนที่ เรียกว่า สเตเตอร์ (Stator) ซึ่งจะมีช่องว่างระหว่างส่วนสเตเตอร์กับโรเตอร์ ซึ่งมีความห่างเท่าๆกัน เรียกว่า ช่องอากาศ (Air Gap)

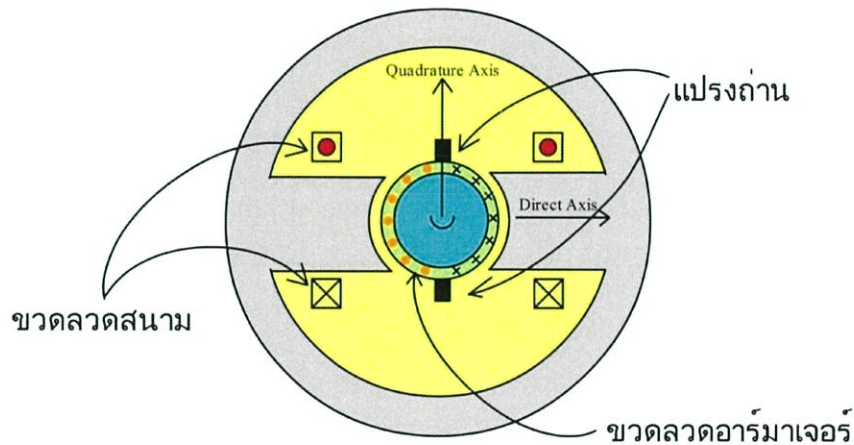
หลักการพื้นฐานของเครื่องจักรไฟฟ้ากระแสตรงประกอบด้วยขดลวดจำนวน 2 ชุดด้วยกัน ขดลวดชุดหนึ่งเคลื่อนที่ อีกชุดหนึ่งไม่เคลื่อนที่ โดยชุดที่เคลื่อนที่เป็นการเปลี่ยนแปลงพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานทางกล เรียกว่า ขดลวดอาร์มาเจอร์ (Armature Winding) ส่วนขดลวดที่ไม่เคลื่อนที่จะทำการสร้างสนามแม่เหล็ก (Field Winding) ในเครื่องจักรไฟฟ้ากระแสตรงขดลวดอาร์มาเจอร์ส่วนใหญ่จะวางอยู่ที่โรเตอร์

ในการทำงานของเครื่องจักรไฟฟ้ากระแสตรง พบว่าแรงดันและกระแสในเครื่องจักรจะเป็นกระแสสลับ แต่ที่ขั้วจะเป็นกระแสตรง โดยอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่แปลงกระแสสลับให้เป็นกระแสตรงคือ แปรงถ่าน (Brushes) และซีคอมมิวเตเตอร์ (Commutators) เรียกว่า กระบวนการคอมมิวเตชัน (Commutation) จึงมีชื่อเรียกเครื่องจักรกลไฟฟ้ากระแสตรงอีกชื่อหนึ่งว่า เครื่องจักรกลคอมมิวเตตติ้ง (Commutating Machines)

เครื่องจักรไฟฟ้ากระแสตรงแบ่งได้ 2 ชนิด กำหนดตามการกระตุ้นสนามแม่เหล็กที่ขดลวดสนาม (Field Winding) คือ

1. ชนิดกระตุ้นสนามแม่เหล็กแยกส่วน (Separately Excited) โดยขดลวดสนามจะรับแรงดันไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายแยกภายนอก โดยที่ไม่ต้องร่วมกับขดลวดอาร์มาเจอร์

2. ชนิดกระตุ้นสนามแม่เหล็กด้วยตัวเอง (Self-Excited) โดยไม่จำเป็นต้องใช้แหล่งจ่ายจากภายนอก ขดลวดสนามจะต้องจรร่วมกับขดลวดอาร์มาเจอร์แบบขนาน (Shunt) แบบอนุกรม (Series) และแบบผสมผสาน (Compound) โดยเครื่องจักรกลกระแสตรงที่ใช้ทดลองในโครงงานนี้เป็นชนิดกระตุ้นสนามแม่เหล็กแยกส่วน (Separately Excited)



รูปที่ 2.5 ภาพแสดงโครงสร้างของเครื่องจักรกลไฟฟ้ากระแสตรง

เมื่อกำหนดให้  $\omega_m$  เป็นค่าความเร็วเชิงมุมทางกล (Mechanical Angular Velocity) หน่วยเป็นเรเดียนต่อวินาที (rad/s) และจากความสัมพันธ์ของความเร็วรอบ  $n$  (rpm) จะได้

$$\omega_m = \frac{2\pi n}{60} \quad (2.7)$$

เมื่อพิจารณาแรงดันเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นที่แปรงถ่าน  $E_a$  จะมีค่าเท่ากับ

$$E_a = \frac{PZ}{2\pi a} \Phi \omega_m = K_a \Phi \omega_m \quad (2.8)$$

โดยที่ P คือ จำนวนขั้วแม่เหล็กของเครื่องจักรกล  
 Z คือ จำนวนแท่งตัวนำของอาร์มาเจอร์  
 a คือ จำนวนของวงจรรขนาน  
 $\Phi$  คือ ค่าฟลักซ์แม่เหล็กต่อขั้ว

และ  $K_a = \frac{PZ}{2\pi a}$  เป็นค่าคงที่ของการออกแบบอาร์มาเจอร์

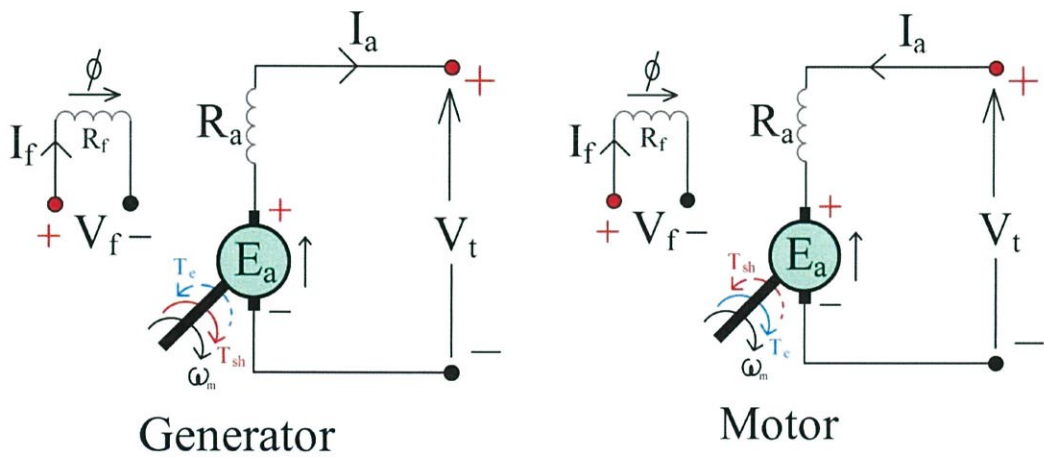
ค่ากำลังที่เกิดจากสนามแม่เหล็ก(Electromagnetic Power) จะพิจารณาได้จากค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้จากแรงดันเหนี่ยวนำกับกระแสอาร์มาเจอร์ หรือ จากค่ากำลังทางกลที่ได้จากแรงบิดทางแม่เหล็กไฟฟ้ากับค่าความเร็วเชิงมุมทางกล ดังนี้

$$E_a I_a = T_e \omega_m \tag{2.9}$$

และ

$$T_e = K_a \Phi I_a \tag{2.10}$$

ดังนั้นวงจรสมมูลของเครื่องจักรกลไฟฟ้ากระแสตรงสามารถแสดงได้ดังนี้



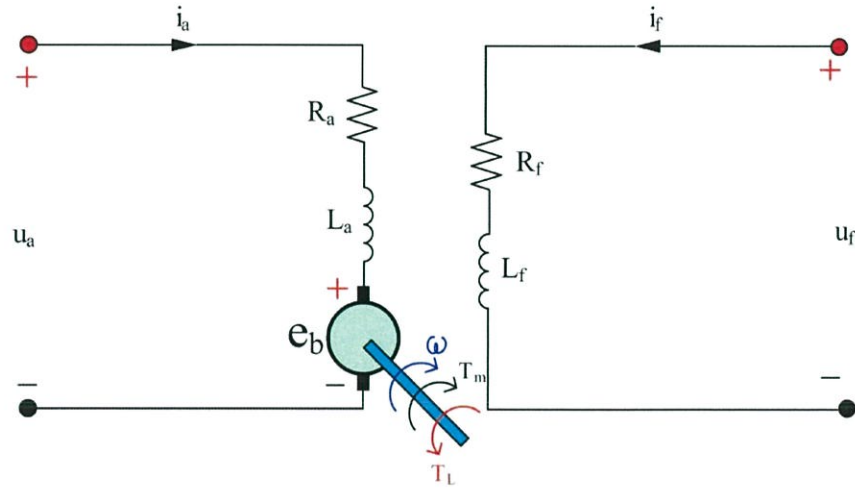
รูปที่ 2.6 วงจรสมมูลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงและมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบกระตุ้นแยก

- โดยที่
- $V_t$  คือ แรงดันที่ขั้วของเครื่องจักร(Terminal Voltage) ... V
  - $R_a$  คือ ความต้านทานของขดลวดอาร์มาเจอร์(Armature Winding Resistance) ...  $\Omega$
  - $V_f$  คือ แรงดันที่จ่ายให้กับขดลวดสนาม(Field Voltage) ... V
  - $I_f$  คือ กระแสที่จ่ายให้กับขดลวดสนาม(Field Current) ...A
  - $R_f$  คือ ความต้านทานของขดลวดสนาม(Field Winding Resistance) ...  $\Omega$
  - $T_{sh}$  คือ แรงบิดทางกลที่เพลลาของเครื่องจักร(Mechanical Torque) ... N - m

สามารถแสดงความสัมพันธ์ของแรงดันได้ดังนี้

- ขดลวดสนามแม่เหล็ก  $V_f = I_f R_f$
- เครื่องกำเนิดไฟฟ้า  $V_f = E_a - I_a R_a$
- มอเตอร์  $V_t = E_a - I_a R_a$

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงการวิเคราะห์ระบบขับเคลื่อนมอเตอร์กระแสตรงแบบกระตุ้นแยกส่วน โดยการควบคุมให้มอเตอร์กระแสตรงทำงานเป็นเครื่องจ่ายพลังงานกักเก็บพลังงานในขดลวดแม่เหล็กที่ และทำงานแบบสี่จุดภาค โดยควบคุมกระแสของมอเตอร์ให้สร้างแรงบิดเหมือนกับกังหันลม จากการควบคุมแรงดันด้วยชุด DC-DC Converter ด้วยเทคนิคการมอดดูเลตความกว้างพัลส์แบบยูนิโพลาร์ โดยใช้ระบบ PI Controller ควบคุมกระแสตรง



รูปที่ 2.7 วงจรสมมูลของมอเตอร์กระแสตรงแบบกระตุ้นแยกโดยคิดผลของความเหนี่ยวนำ

จากภาพวงจรสมมูลสามารถเขียนสมการอนุพันธ์ของแรงดันไฟฟ้าโดยใช้ Kirchoff's Voltage Law (KVL) ได้ดังนี้

วงจรอาร์มาเจอร์

$$u_a = R_a I_a + L_a \frac{di_a}{dt} + e_b \quad (2.11)$$

วงจรสร้างสนามแม่เหล็กหลัก

$$u_f = R_f I_f + L_f \frac{di_f}{dt} \quad (2.12)$$

โดย	$R_a$	คือ ความต้านทานในขดลวดอาร์มาเจอร์
	$L_a$	คือ ความเหนี่ยวนำในขดลวดอาร์มาเจอร์
	$e_b$	คือ แรงเคลื่อนเหนี่ยวนำไฟฟ้าต้านกลับ
	$R_f$	คือ ความต้านทานในขดลวดสนามแม่เหล็กหลัก
	$L_f$	คือ ความเหนี่ยวนำในขดลวดสนามแม่เหล็กหลัก

จากสมการที่ (2.11) ใช้ Laplace Transform ได้ดังนี้

$$u_a(s) = R_a I_a(s) + sL_a I_a(s) + E_b(s) \quad (2.13)$$

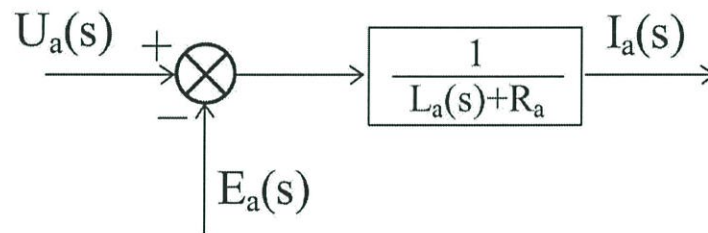
ดังนั้นสมการกระแสอาร์มาเจอร์ ( Armature Current ) คือ

$$I_a(s) = \frac{1}{L_a s + R_a} [U_a(s) - E_b(s)] \quad (2.14)$$

สามารถแทนค่าคงที่ของเวลา (Time Constant)  $\tau_a = \frac{L_a}{R_a}$

$$I_a(s) = \frac{\frac{1}{R_a}}{1 + \frac{s}{\frac{1}{\tau_a}}} [U_a(s) - E_b(s)] \quad (2.15)$$

จากสมการที่ 4 สามารถเขียนบล็อกไดอะแกรมได้ดังนี้



รูปที่ 2.8 บล็อกไดอะแกรมของกระแสอาร์มาเจอร์

เนื่องจากแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำ ( $e_b$ ) มีค่าแปรผันโดยตรงกับความเร็วเชิงมุมของโรเตอร์ ( $\omega$ ) และฟลักซ์แม่เหล็ก ( $\Phi$ ) ของขั้วแม่เหล็ก แต่ในกรณีนี้พิจารณาที่ฟลักซ์แม่เหล็กคงที่ ดังนั้น

$$e_b(t) = k_E \omega(t) \quad (2.16)$$

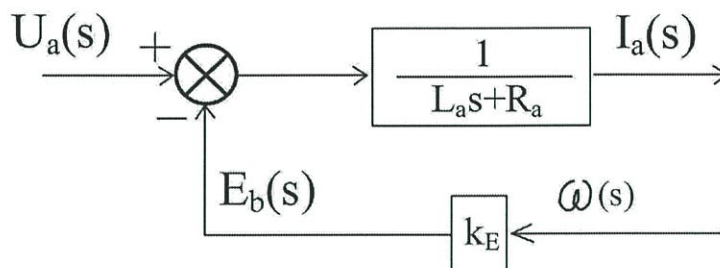
เมื่อ  $k_E$  คือ ค่าคงที่ของแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำ

$\omega(t)$  คือ ความเร็วเชิงมุมของโรเตอร์

จากสมการที่ (2.16) แสดงในรูปของการแปลงลาปลาซได้ดังสมการที่ (2.17)

$$E(s) = k_E \omega(s) \quad (2.17)$$

จากสมการที่ (2.17) จะพบว่าแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำมีค่าแปรผันโดยตรงกับความเร็วเชิงมุมโรเตอร์และสามารถแสดงด้วยบล็อกไดอะแกรมดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 บล็อกไดอะแกรมความสัมพันธ์ระหว่างแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำและความเร็วมอเตอร์

เมื่อพิจารณาให้ฟลักซ์แม่เหล็กมีค่าคงที่ แรงบิดที่มอเตอร์สร้างขึ้น ( $T_m$ ) จึงสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$T_m(t) = k_T i_a(t) \quad (2.18)$$

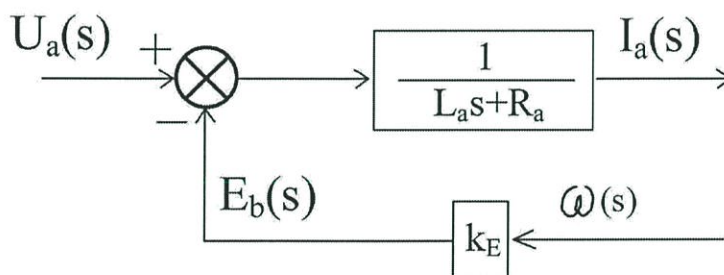
โดยที่  $T_m(t)$  คือ แรงบิดที่มอเตอร์สร้างขึ้น

$k_t$  คือ ค่าคงที่ของแรงบิดและแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำ

จากสมการที่ (2.18) แสดงในรูปของสมการลาปลาซได้ดังสมการที่ (2.19)

$$T_m(s) = k_T I_a(s) \quad (2.19)$$

จากสมการที่ (2.19) แสดงให้เห็นว่าแรงบิดของมอเตอร์แปรผันโดยตรงกับกระแสอาร์มาเจอร์เท่านั้น ซึ่งแสดงได้ด้วยบล็อกไดอะแกรม ดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 บล็อกไดอะแกรมความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดและกระแสอาร์มาเจอร์

โดยปกติแรงบิดที่มอเตอร์สร้างขึ้น  $T_m$  จะมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับแรงบิดของภาระ  $T_L$  ซึ่งแสดงได้ด้วยสมการแรงบิดที่เพลของมอเตอร์ได้ดังนี้

$$T_m(t) = T_L(t) + T_{ac}(t) \quad (2.20)$$

โดยที่  $T_m(t)$  คือ แรงบิดของภาระ

$T_{acc}(t)$  คือ แรงบิดจากการเร่ง

ซึ่งแรงบิดจากการเร่งสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$T_{acc}(t) = J \frac{d\omega(t)}{dt} \quad (2.21)$$

โดยที่  $J$  คือ ค่าโมเมนต์ความเฉื่อย  
เมื่อแทนสมการที่ (2.21) ลงในสมการที่ (2.20) จะได้

$$T_m(t) = T_L(t) + J \frac{d\omega(t)}{dt} \quad (2.22)$$

จากสมการที่ (2.22) สามารถเขียนใหม่ได้ดังสมการที่ (2.23)

$$\frac{d\omega(t)}{dt} = \frac{T_m(t) - T_L(t)}{J} \quad (2.23)$$

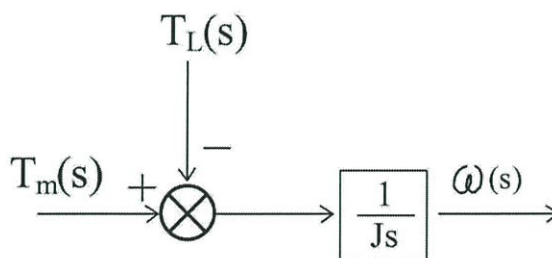
จากสมการที่ (2.23) แสดงในรูปของสมการลาปลาซได้ดังสมการที่ (2.24)

$$s\omega(s) = \frac{T_m(s) - T_L(s)}{J} \quad (2.24)$$

จากสมการที่ (2.24) สามารถเขียนใหม่ได้ดังสมการที่ (2.25)

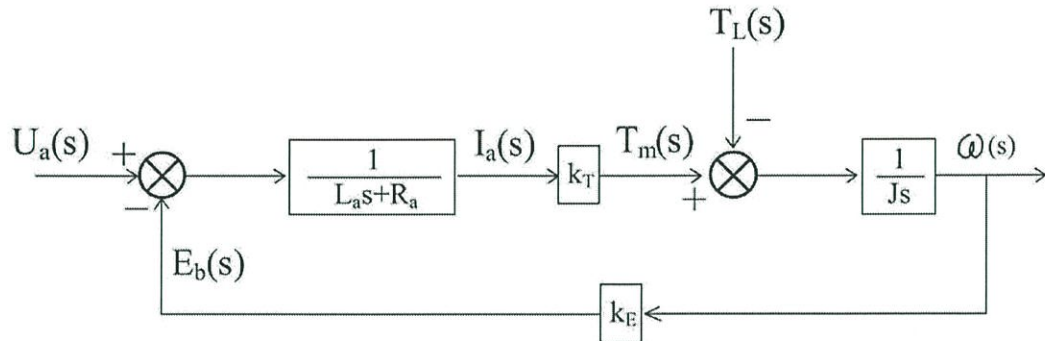
$$\omega(s) = \frac{1}{Js} [T_m(s) - T_L(s)] \quad (2.25)$$

จากสมการที่ (2.25) สามารถแสดงได้ด้วยบล็อกไดอะแกรมดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 บล็อกไดอะแกรมของความเร็วเชิงมุมของโรเตอร์

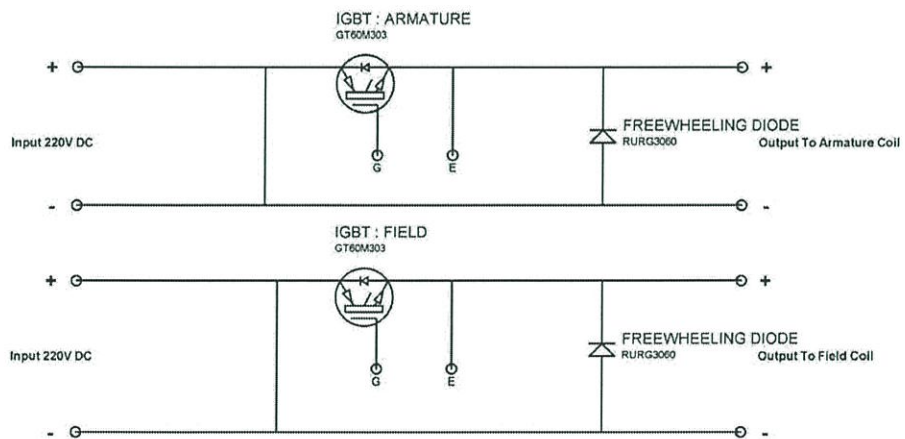
ดังนั้นจากสมการ (2.15) (2.17) (2.19) และ (2.25) แสดงได้ด้วยบล็อกไดอะแกรมซึ่งเป็นแบบจำลองในสถานะไดนามิกส์ของมอเตอร์กระแสตรงแบบกระตุ้นแยกดังในรูปที่ 2.12 เมื่อให้สัญญาณขาเข้าเป็นแรงดัน และสัญญาณขาออกเป็นความเร็วเชิงมุมของโรเตอร์



รูปที่ 2.12 บล็อกไดอะแกรมแบบจำลองไดนามิกส์ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบกระตุ้นแยก

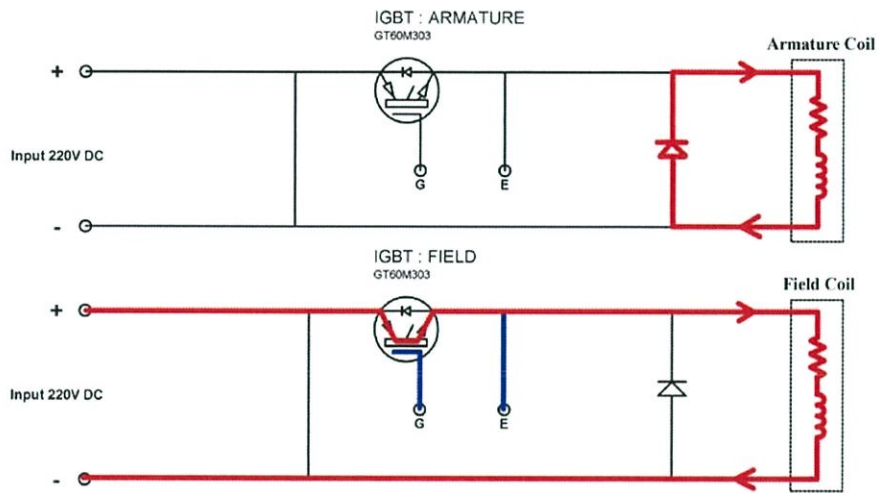
2.4 ดีซี-ดีซี คอนเวอร์เตอร์

การทำงานของ ดีซี-ดีซี คอนเวอร์เตอร์ เมื่อต้องการให้แรงดันที่ขดลวดอาร์มาเจอร์สามารถเปลี่ยนแปลงค่าได้จากศูนย์จนถึงพิกัดแรงดันโดยให้แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่จ่ายให้กับขดลวดสนามมีค่าคงที่ เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงค่าแรงดันที่จ่ายให้กับขดลวดอาร์มาเจอร์ทำให้มอเตอร์สามารถ เพิ่ม-ลดความเร็วได้ โดยความเร็วของมอเตอร์จะแปรผันตรงกับค่าแรงดันที่จ่ายให้กับขดลวดอาร์มาเจอร์ ซึ่งสามารถควบคุมแรงดันที่จ่ายให้กับขดลวดอาร์มาเจอร์โดยการควบคุมความกว้างของพัลส์ของสัญญาณพีดับบลิวเอ็ม

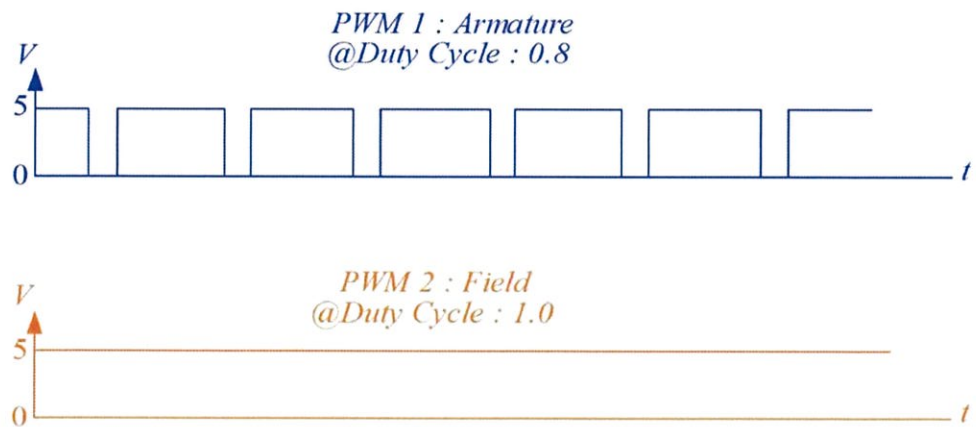


รูปที่ 2.13 ดีซี-ดีซี คอนเวอร์เตอร์แบบวงจรถอนแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง

จากรูปที่ 2.14 เมื่อป้อนแรงดันที่พิกัด 220 VDC ให้กับมอเตอร์ การปรับระดับแรงดันสามารถทำได้โดยการปรับความกว้างพัลส์หรือค่าดิวตี้ไซเคิลของสัญญาณ PWM ที่มีความถี่ 20kHz ซึ่งในขณะที่สัญญาณ PWM มีค่าเป็น 5V หรือ Logic 1 ที่ออกจากขาไมโครคอนโทรลเลอร์ แรงดันที่จ่ายให้กับมอเตอร์จะมีค่า 220 V และเมื่อสัญญาณ PWM มีค่าเป็น 0V หรือ Logic 0 แรงดันที่จ่ายให้กับมอเตอร์จะมีค่า 0 V ซึ่งในขณะนั้นจะมีกระแสไหลในวงจรผ่าน free-wheeling Diode ซึ่งต่อขนานอยู่กับมอเตอร์ไฟฟ้า

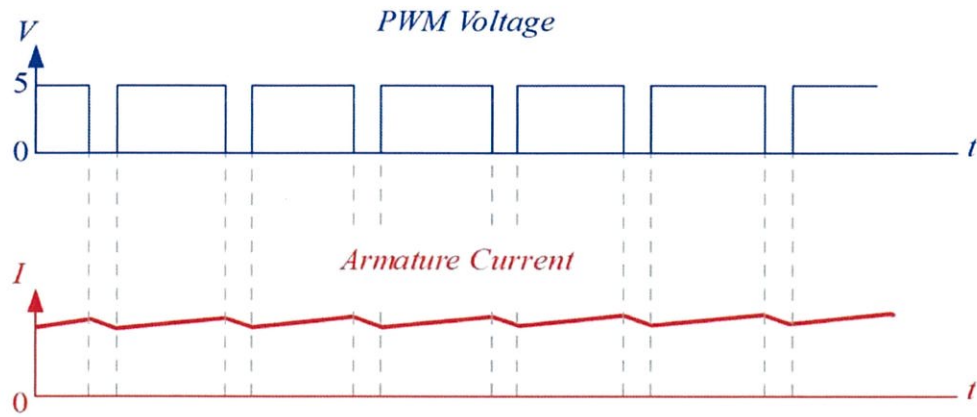


รูปที่ 2.14 การทำงานของวงจรทอนแรงดันไฟตรง



รูปที่ 2.15 สัญญาณแรงดันรูปคลื่น PWM ที่ขดอาร์มาเจอร์และขดฟิลด์ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

ในการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้าจะอาศัยการควบคุมแรงดันที่ขดลวดอาร์มาเจอร์เพียงขดเดียว โดยให้แรงดันที่ขดลวดสร้างสนามแม่เหล็กของมอเตอร์มีค่าคงที่ที่พิกัด ดังรูปที่ 2.15 ซึ่งการควบคุมแรงดันโดยการปรับค่าความกว้างพัลส์หรือค่าดิวตี้ไซเคิลของสัญญาณ PWM นั้นจะมีรูปคลื่นแรงดันและกระแสดังรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.16 รูปคลื่นสัญญาณแรงดันและกระแสในวงจรอาร์มาเจอร์ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

## บทที่ 3

### การออกแบบและประกอบสร้าง

#### 3.1 ฮาร์ดแวร์ที่ใช้ในชุดจำลองกังหันลม

3.1.1 ชุดจำลองกังหันลม ซึ่งประกอบไปด้วย DC Motor DC Generator เครื่องมือวัดความเร็วรอบมอเตอร์ และเครื่องมือวัดแรงบิด



รูปที่ 3.1 ชุดจำลองกังหันลม

#### 3.1.2 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

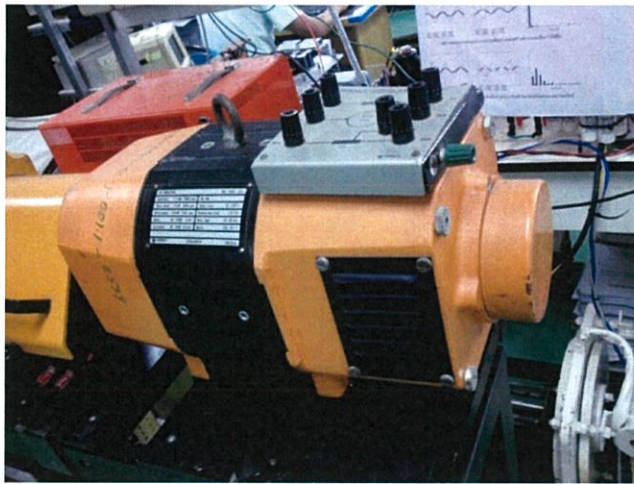


รูปที่ 3.2 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

ตารางที่ 3.1 พิกัดการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

พิกัดกำลัง	2 kW
ความเร็วพิกัด	1400 rpm
พิกัดแรงดันขดลวดอาร์มาเจอร์	220 VDC
พิกัดแรงดันขดลวดสนาม	220 VDC
พิกัดกระแสขดลวดอาร์มาเจอร์	12 A
พิกัดกระแสขดลวดสนาม	0.8 A

### 3.1.3 เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง



รูปที่ 3.3 เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง

ตารางที่ 3.2 พิกัดการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง

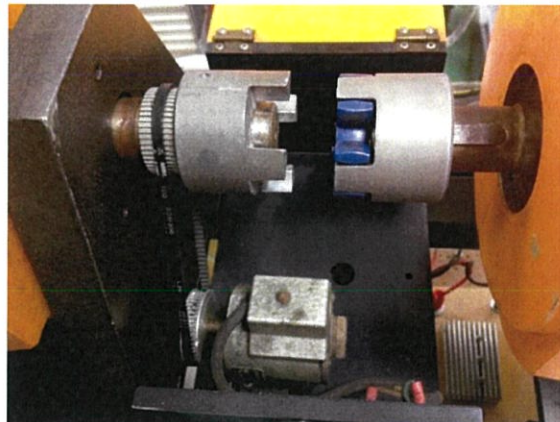
พิกัดกำลัง	1.2 kW
ความเร็วพิกัด	1400 rpm
พิกัดแรงดันขดลวดอาร์มาเจอร์	220 VDC
พิกัดแรงดันขดลวดสนาม	220 VDC
พิกัดกระแสขดลวดอาร์มาเจอร์	6 A
พิกัดกระแสขดลวดสนาม	0.55 A

### 3.1.4 เครื่องวัดแรงบิด



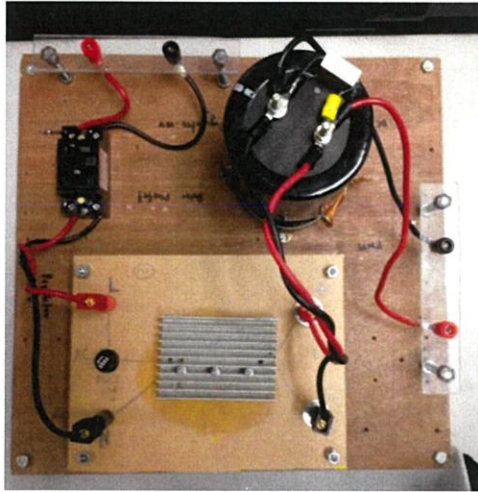
รูปที่ 3.4 เครื่องวัดแรงบิด

3.1.5 เครื่องมือวัดความเร็วรอบ ใช้การเปลี่ยนพลังงานทางกลจากการหมุนเป็นพลังงานไฟฟ้า เช่นเดียวกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง โดยความเร็วรอบจะแปรผันตรงกับแรงดันที่เกิดขึ้นที่ขั้ว



รูปที่ 3.5 เครื่องมือวัดความเร็วรอบ

### 3.1.6 ชุดวงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น



รูปที่ 3.6 ชุดวงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น

### 3.2 แบบจำลองเครื่องจำลองกังหันลมชนิดมุมใบพัดคงที่

จากทฤษฎีดังกล่าวเราสามารถออกแบบแบบจำลองเครื่องจำลองกังหันลมชนิดมุมใบพัดคงที่โดยใช้สมการ (2.1) โดยแสดงรายละเอียดของเครื่องจำลองกังหันลมชนิดมุมใบพัดคงที่ซึ่งมีค่าพารามิเตอร์ตามตารางที่ 3.3

#### 3.2.1 การออกแบบแบบจำลองเครื่องจำลองกังหันลม

การออกแบบแบบจำลองเครื่องจำลองกังหันลมชนิดมุมใบพัดคงที่ที่ใช้สมการ (2.1) โดยมีค่าพารามิเตอร์ตามตารางที่ 3.1 ทำการออกแบบให้เครื่องจำลองกังหันลมชนิดมุมใบพัดคงที่ผลิตกำลังงานทางกลได้สูงสุด 1.2 กิโลวัตต์ ใบพัดรัศมี 0.8 เมตร มีความเร็วรอบพิกัด 1400 รอบต่อนาที มีความเร็วลมที่ 4-12 เมตร/นาที กำลังทางกลของกังหันลมจะขึ้นอยู่กับค่าสัมประสิทธิ์กำลังของกังหันลมตามสมการ (2.2) และ (2.3) โดยค่าสัมประสิทธิ์กำลังของกังหันลมจะขึ้นอยู่กับการออกแบบลักษณะตัวใบพัดกังหันลม ถูกกำหนดได้จากค่าอัตราความเร็วเสริม  $\lambda = 8.07$  และค่ามุมบิดของใบพัด  $\beta = 0^\circ$  สามารถแสดงแบบจำลองได้ดังรูปที่ 3.7

#### ตารางที่ 3.3 พิกัดการทำงานของเครื่องจำลองกังหันลมชนิดมุมใบพัดคงที่

กำลังพิกัด (Power)	1.2 กิโลวัตต์
รัศมีใบพัด (Radius)	0.8 เมตร
ความเร็วรอบพิกัด (Rated rotational speed)	1400 รอบต่อนาที
ความเร็วลมตัดเข้า (Cut - in speed)	4 เมตร/วินาที
ความเร็วลมมากที่สุด (Maximum speed)	12 เมตร / วินาที

### 3.22 ผลการจำลองการทำงานเครื่องจำลองกังหันลมชนิดมุมใบพัดคงที่

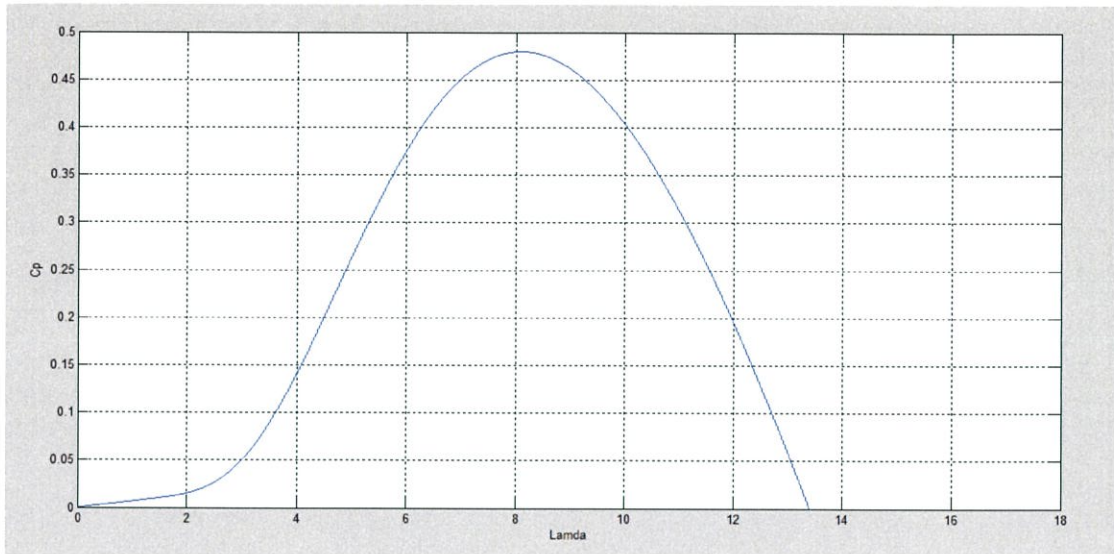
จากรูปที่ 3.7 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราความเร็วเสริม  $\lambda$  กับค่าสัมประสิทธิ์กำลังไฟฟ้า และ ในรูปที่ 3.8 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราความเร็วเสริม  $\lambda$  กับค่าสัมประสิทธิ์แรงบิด เมื่อกำหนดให้เครื่องจำลองกังหันลมมีพิสัยความเร็วรอบ 1400 รอบต่อนาที จะสามารถหาอัตราความเร็วเสริมได้ 8.07 ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์กำลังที่ 0.48 นอกจากค่าสัมประสิทธิ์กำลังจะมีความสัมพันธ์กับอัตราความเร็วเสริม  $\lambda$  ยังมีความสัมพันธ์กับค่าสัมประสิทธิ์แรงบิดอีกด้วย

จากรูปที่ 3.9 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างมุมบิดใบ พัด  $\beta$  กับค่าสัมประสิทธิ์กำลังเมื่อกำหนดให้มุมบิดใบพัด  $\beta$  มีค่า  $0^\circ$ ,  $1^\circ$ ,  $3^\circ$ ,  $5^\circ$ ,  $10^\circ$ ,  $15^\circ$  และ  $20^\circ$  ทำให้ได้คุณลักษณะที่มีความสัมพันธ์กับค่าสัมประสิทธิ์กำลังและอัตราความเร็วเสริม  $\lambda$  จะเห็นได้ว่าที่มุมบิดใบพัดที่  $\beta = 0^\circ$  จะให้ค่าสัมประสิทธิ์กำลังสูงสุด และเมื่อมุมบิดใบพัดมีค่าเพิ่มขึ้นค่าสัมประสิทธิ์กำลังก็จะลดลงตามลำดับ ดังนั้นในงานวิจัยจึงเลือกมุมบิดใบพัดมีค่า  $\beta = 0^\circ$  เพราะให้ค่าสัมประสิทธิ์กำลังมากที่สุด เมื่อกำหนดให้เครื่องจำลองกังหันลมมีพิสัยความเร็วรอบ 1400 รอบต่อนาที จะสามารถหาอัตราความเร็วเสริมได้ 8.07 ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์กำลังที่ 0.48

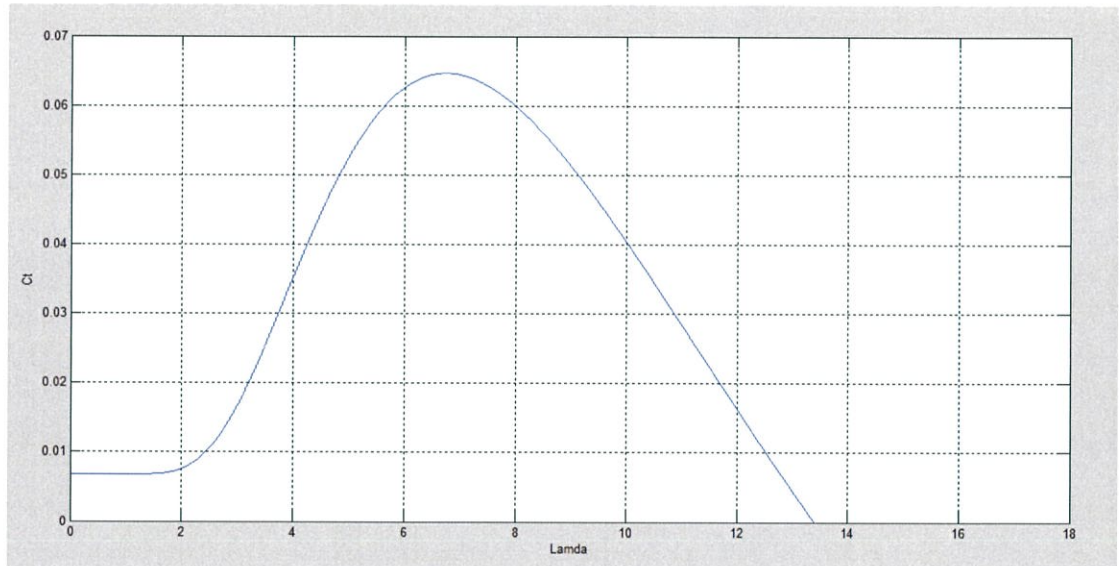
จากรูปที่ 3.10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบของกังหันลมกับกำลังงานที่ความเร็วระดับต่างๆ ตั้งแต่ 4-12 เมตรต่อวินาที ซึ่งจะสังเกตเห็นได้ว่าช่วงที่ความเร็วมีค่าเท่ากับ 12 เมตรต่อวินาที ในช่วงความเร็วรอบของกังหันลมเท่ากับ 1180 รอบต่อนาที จะได้พิสัยกำลังไฟฟ้าสูงสุดประมาณ 1 กิโลวัตต์

ในรูปที่ 3.11 ได้แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบของกังหันลมกับแรงบิดที่ความเร็วตั้งแต่ 4-12 เมตรต่อวินาที เมื่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีขนาดพิสัย 1.2 กิโลวัตต์ ทำงานหมุนที่ความเร็วรอบประมาณ 960 รอบต่อนาที ซึ่งจะได้ค่าแรงบิดตามพิสัย  $T_{rated}$  คือ 9.18 นิวตัน-เมตร

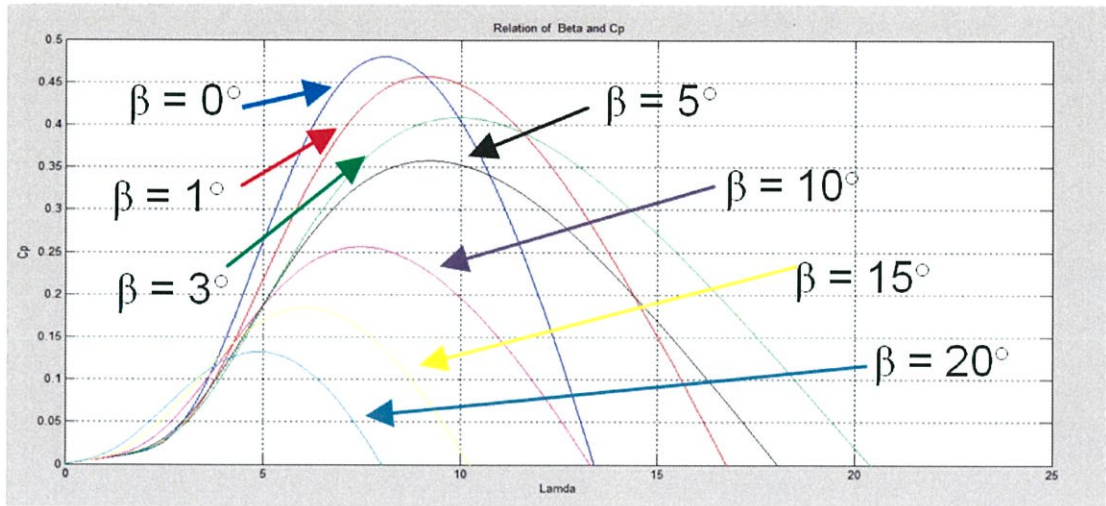
จากผลการจำลองการทำงานเครื่องจำลองกังหันลมชนิดมุมใบพัดคงที่แสดงให้เห็นแล้วว่าแบบจำลองเครื่องจำลองกังหันลมชนิดมุมใบพัดคงที่ที่สามารถทำงานตามคุณลักษณะของกังหันลมจริง



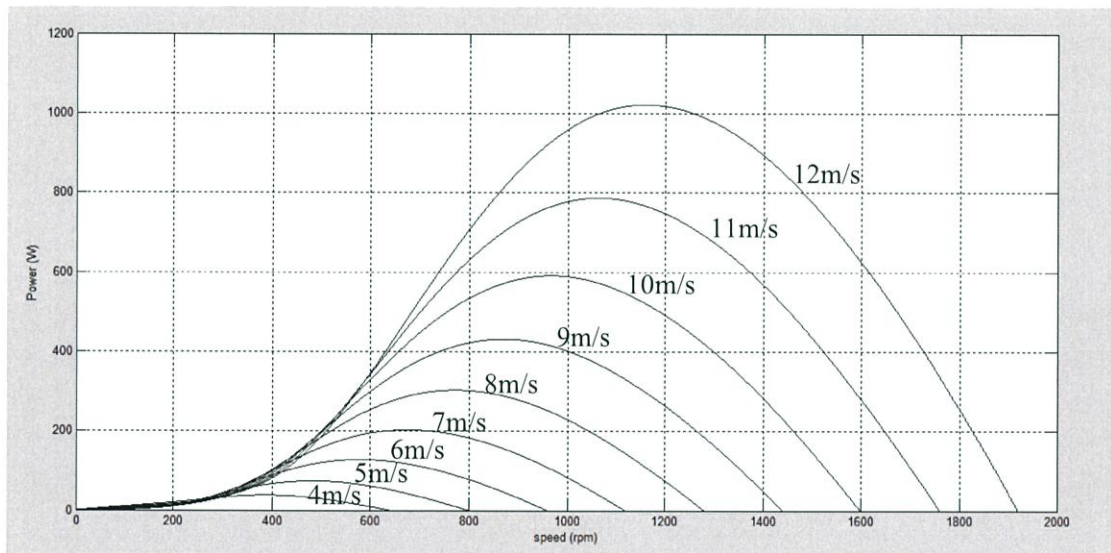
รูปที่ 3.7 ความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าความเร็วเสริม( $\lambda$ ) กับสัมประสิทธิ์กำลัง ( $C_p$ )



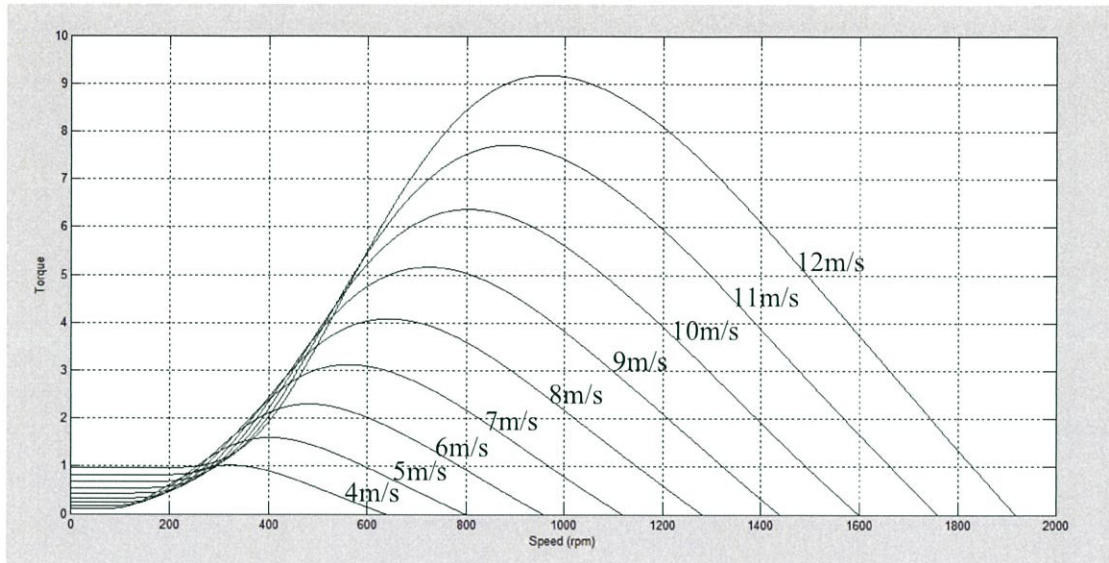
รูปที่ 3.8 ความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าความเร็วเสริม( $\lambda$ ) กับสัมประสิทธิ์แรงบิด ( $C_t$ )



รูปที่ 3.9 ความสัมพันธ์ระหว่าง ค่ามุมบิดใบพัด( $\beta$ ) กับสัมประสิทธิ์กำลัง ( $C_p$ )



รูปที่ 3.10 ความสัมพันธ์ระหว่าง ความเร็วรอบ ( $n$ ) กับกำลัง ( $P_m$ )



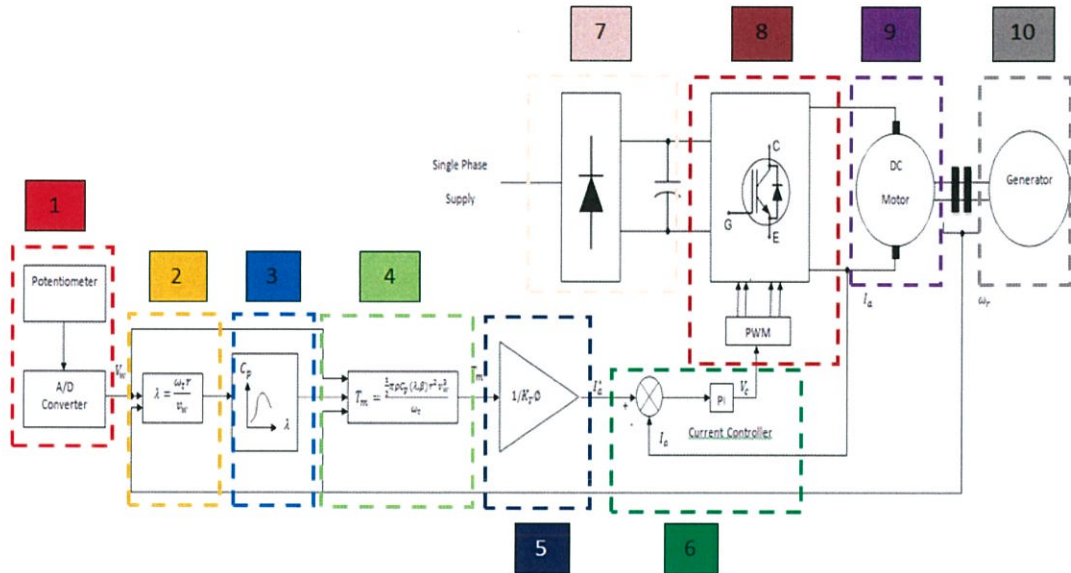
รูปที่ 3.11 ความสัมพันธ์ระหว่าง ความเร็วรอบ (n) กับแรงบิด ( $T_m$ )

### 3.24 สรุป

จากการวิเคราะห์การทำงานของแบบจำลองกังหันลมชนิดมุมใบพัดคงที่ทำให้ทราบว่ากำลังของแบบจำลองกังหันลมจะขึ้นอยู่กับค่าสัมประสิทธิ์กำลังซึ่งมีอัตราความเร็วเสริมและมุมใบพัดใบพัดเป็นตัวแปรสำคัญโดยค่าสัมประสิทธิ์กำลังมีค่าสูงสุดเมื่อมุมใบพัดมีค่า  $\beta = 0^\circ$  มีผลทำให้กำลังของแบบจำลองกังหันลมมีค่าสูงสุดและยังมีความสัมพันธ์กับค่าสัมประสิทธิ์แรงบิดทำให้แรงบิดของแบบจำลองกังหันลมมีค่าสูงตามไปด้วย และจากแบบจำลองกังหันลมชนิดมุมใบพัดคงที่สามารถแสดงการทำงานของกังหันลมได้ตามพิกัดดังตารางที่ 3.3 เพื่อนำแรงบิดของแบบจำลองกังหันลมชนิดมุมใบพัดคงที่ไปใช้ในการออกแบบระบบขับเคลื่อนให้กับมอเตอร์กระแสตรงแบบกระตุ้นแยกในบทถัดไป

## บทที่ 4 การทดสอบและประเมินผล

### 4.1 โดอะแกรมและวงจรที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 4.1 โครงสร้างของชุดจำลองกังหันลมชนิดมุมใบพัดคงที่โดยใช้ระบบขับกระแสตรง  
แบบวงจรทอนแรงดัน

#### 4.1.1 วงจรกำลังและวงจรควบคุมที่ใช้ในการทดสอบ

จากรูปที่ 4.1 จะแบ่งการทำงานออกได้เป็น 10 ส่วน ในส่วนที่ 1-6 จะเป็นส่วนของวงจรควบคุม และในส่วนที่ 7-10 จะเป็นส่วนของวงจรกำลัง ส่วนวงจรควบคุม (1-6)

ส่วนที่1 ส่วนที่ใช้ติดต่อชุดจำลองกังหันลมโดยผ่านการปรับตัวต้านทานปรับค่าได้โดยผ่านวงจรแปลงอะนาล็อกเป็นดิจิทัลเพื่อทำการป้อนค่าความเร็วลมที่ต้องการ ( $v_w$ )

ส่วนที่2 ส่วนในการคำนวณหาค่าความเร็วเสริมของกังหันลม  $\lambda$  ซึ่งมีสมการดังสมการที่2.4 โดยจะต้องมีการป้อนความเร็วโรเตอร์กลับมาเพื่อใช้ในการคำนวณ

ส่วนที่3 ส่วนในการ Look up-table เพื่อทำการหาค่าสัมประสิทธิ์กำลังจากค่าความเร็วเสริมที่คำนวณได้

ส่วนที่4 ส่วนในการคำนวณหาค่าแรงบิดที่ต้องส่งออกมาจากมอเตอร์เพื่อให้ประพุดเป็นไปตามกังหันที่ความเร็วรอบโรเตอร์นั้น

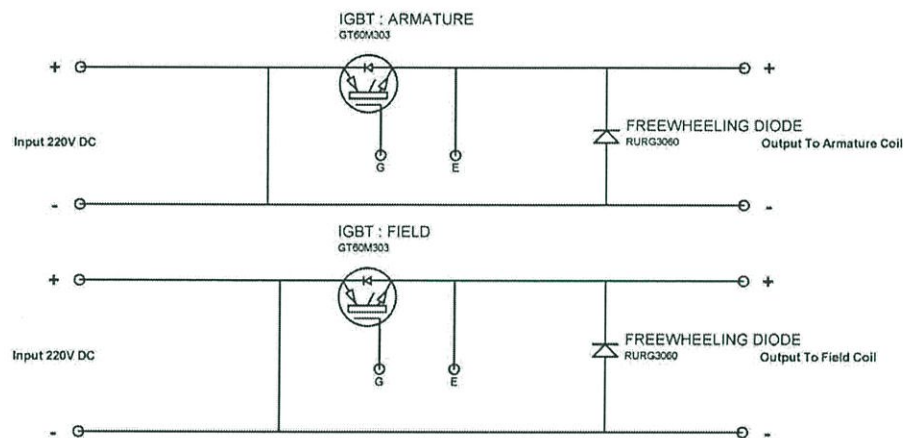
ส่วนที่5 ส่วนความสัมพันธ์ของกังหันลมกับมอเตอร์ที่ใช้ในการทดลองเนื่องจากต้องหาค่ากระแสที่ต้องป้อนให้กับมอเตอร์  $I_a^*$  ดังนั้นจึงต้องมีการหาค่าคงที่ของมอเตอร์  $K\Phi$  ก่อนจึงจะสามารถคำนวณหาค่ากระแสที่ต้องป้อนให้กับมอเตอร์ตามแรงบิดที่คำนวณได้จากใน ส่วนที่ 4

ส่วนที่6 ส่วนที่ใช้ระบบควบคุม PI Controller มาใช้ในการควบคุมกระแสจริง ( $I_a$ ) ที่วัดได้จากมอเตอร์ ต้องให้เท่ากับค่าที่คำนวณได้ ( $I_a^*$ )

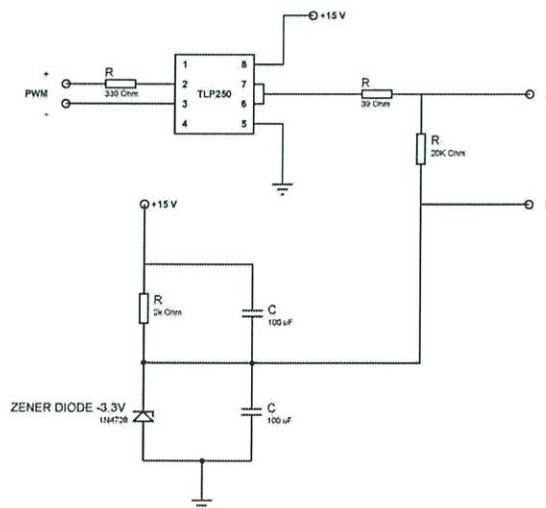
ส่วนวงจรกำลัง (7-10)

ส่วนที่7 ส่วนวงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่นทำหน้าที่เรียงกระแสเพื่อจ่ายไฟ 220 V ให้กับมอเตอร์

ส่วนที่8 ส่วนวงจรขับมอเตอร์ใช้ IGBT โดยรับสัญญาณขับ PWM มาจาก Microcontroller PIC16F887 เพื่อใช้ในการลดทอนแรงดัน 220 V (วงจรChopper) สำหรับใช้ในการควบคุมกระแสอาร์มาเจอร์  $I_a$  โดยจะต้องทำการใส่ Free-wheeling Diode ด้วยเพื่อให้กระแสไหลครบวงจรในขณะที่แรงดันรูปคลื่น PWM เป็นศูนย์ เนื่องจากสภาวะเมื่อไม่ได้ป้อนแรงดันให้กับมอเตอร์ แต่ตัวมอเตอร์ยังคงหมุนอยู่ก็จะมีแรงดันเกิดขึ้นที่ขั้วของมอเตอร์ทำให้กระแสยังคงไหลอยู่ได้ ดังรูปวงจรที่ 4.2 และชุดขับ IGBT ดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.2 วงจรทอนแรงดันมอเตอร์ด้วยสวิทช์กำลัง IGBT

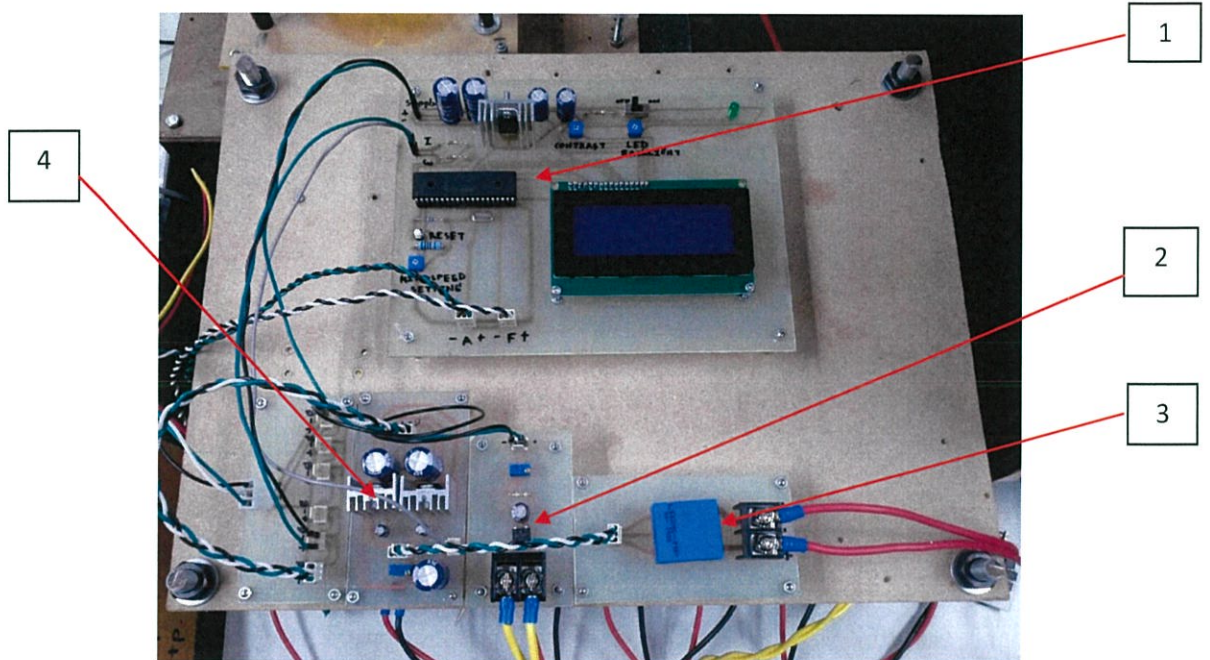


รูปที่ 4.3 วงจรขับ IGBT

ส่วนที่ 9 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงโดยจะเป็นตัวต้นกำลังที่ใช้แทนกังหันลมจริงที่มีคุณลักษณะดังตารางที่ 3.3

ส่วนที่ 10 เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงโดยใช้เป็นตัวจ่ายกำลังให้กับโหลดความต้านทานเพื่อสร้างแรงบิดต้านต้นกำลังซึ่งก็คือมอเตอร์ในส่วนที่ 9

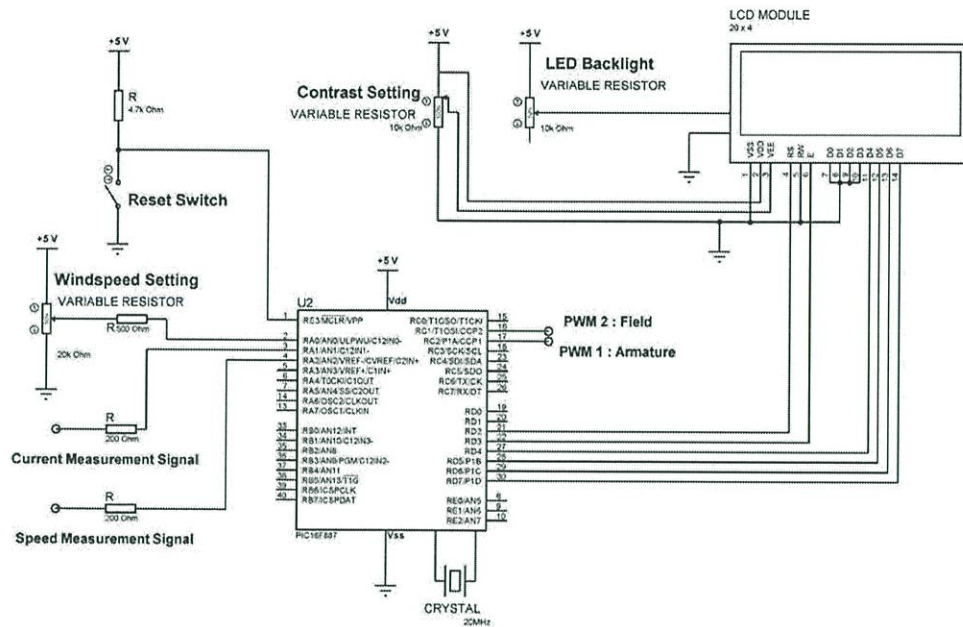
#### 4.1.2 วงจรในการสร้าง PWM จาก Microcontroller PIC16F887 และวงจรวัด



รูปที่ 4.4 ส่วนควบคุมชุดจำลองกังหันลม

ส่วนควบคุมชุดจำลองกังหันลมแบ่งออกได้เป็น 4 ส่วน

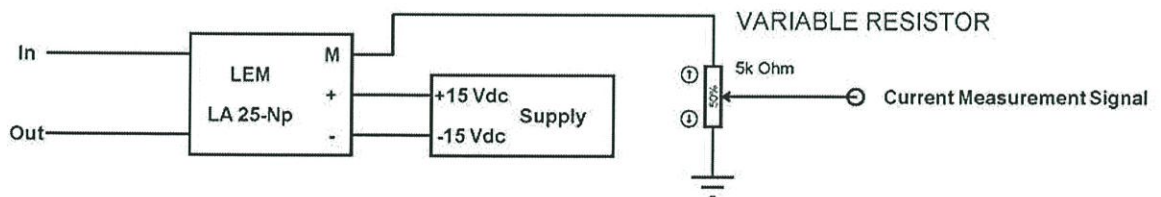
1. บอร์ดสร้างสัญญาณขับ PWM และอุปกรณ์แสดงผล LCD ทำหน้าที่สร้างสัญญาณขับ IGBT ด้วยสัญญาณ PWM และติดต่อกับอุปกรณ์แสดงผลเพื่อแสดงค่าความเร็วลมที่เลือก ความเร็วโรเตอร์สัมพันธ์กับกำลัง และค่ากระแสฮอลล์ในขณะนั้นซึ่งมีรูปวงจรตามรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 วงจรสร้างสัญญาณ PWM และตัวแสดงผล LCD 20\*4 จาก Microcontroller PIC16F887

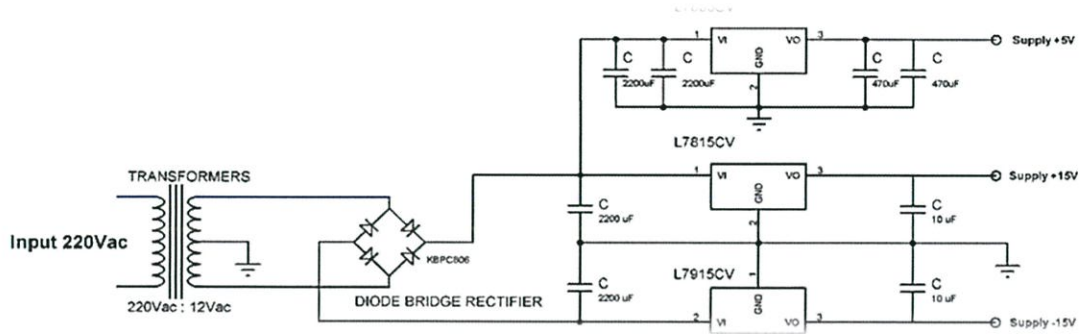
2. บอร์ดวัดความเร็วโรเตอร์โดยจะใช้วงจรแบ่งแรงดันจาก Tacho Generator โดยแรงดันที่เปลี่ยนไปตามความเร็วรอบของมอเตอร์ที่สูงขึ้นจาก Tacho Generator นั้นเป็นไฟฟ้ากระแสสลับจึงต้องมีการเรียงกระแสด้วยวงจรบริดจ์เรกติไฟเออร์และแบ่งแรงดันจากหลักการ Voltage Divider เพื่อให้แรงดันสูงสุดคร่อมตัวต้านทานที่ใช้วัดค่ามีค่าสูงสุดที่ 5V กระแสตรงเพื่อป้อนเข้าไมโครคอนโทรลเลอร์และใช้วงจร A/D ในการแปลงแรงดันเป็นความเร็วรอบโดยใช้ Tacho meter เป็นตัว Calibrate อุปกรณ์วัดความเร็วตัวนี้

3. บอร์ดวัดกระแสฮามาเจอร์ ใช้ LEM-LA25 NP ในการวัดกระแสฮามาเจอร์ซึ่งกำหนดย่านวัดไว้ที่ 12A โดยสัญญาณที่ออกจาก LEM นั้นเป็นกระแสโดยกระแสสูงสุดที่ 24mA ซึ่งต้องทำการต่อตัวต้านทาน 5kΩ แบบ Variable เพื่อให้เกิดแรงดันคร่อมที่ตัวต้านทานนี้ให้ได้สูงสุดที่ 5V เพื่อเข้าไมโครคอนโทรลเลอร์และเข้าวงจร A/D ในการแปลงแรงดันให้เป็นกระแสฮามาเจอร์ที่วัดได้ต่อไป ดังรูปที่ 4.6

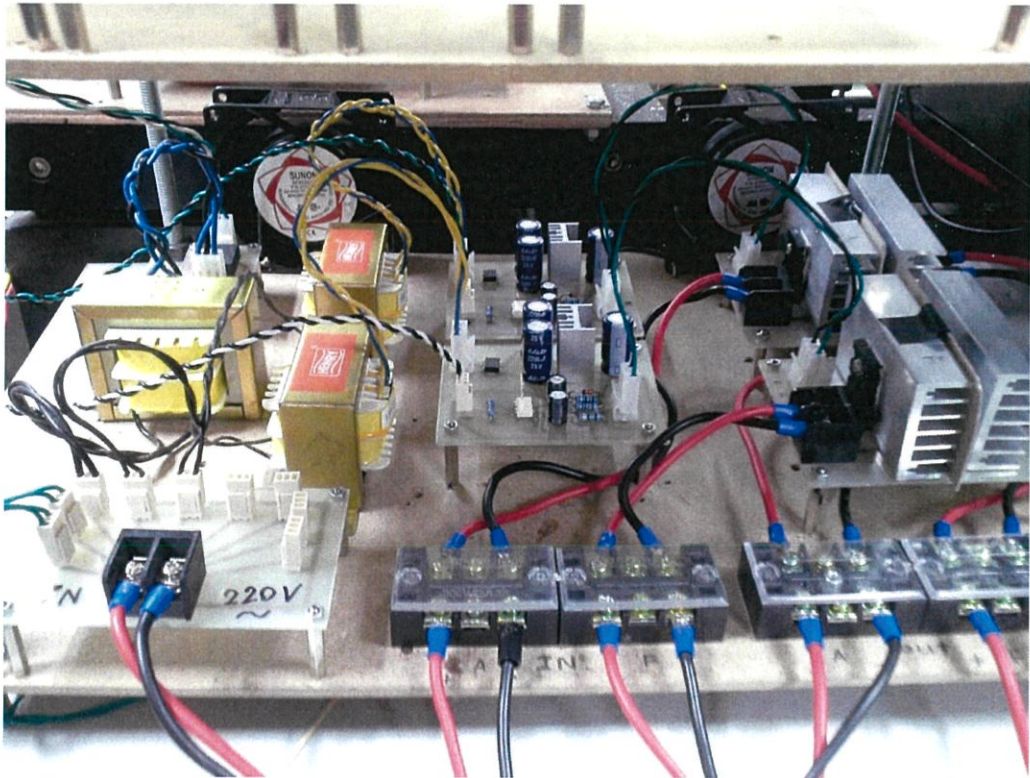


รูปที่ 4.6 LEM-LA25 NP

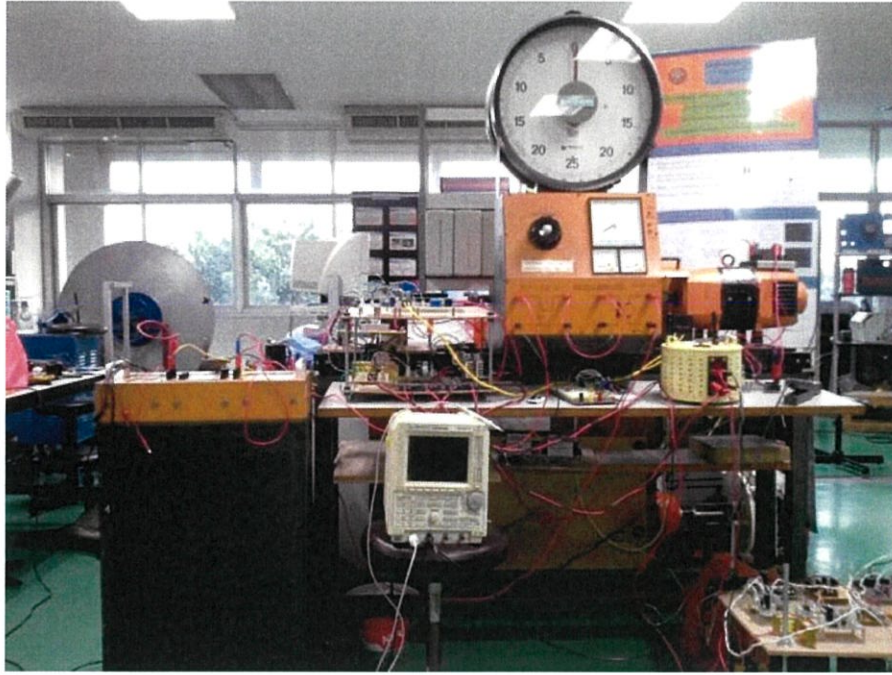
4. บอร์ดแหล่งจ่ายไฟให้กับ LEM-LA25 NP ซึ่งสร้างแรงดัน  $\pm 15V$  เพื่อป้อนให้แก่ LEM



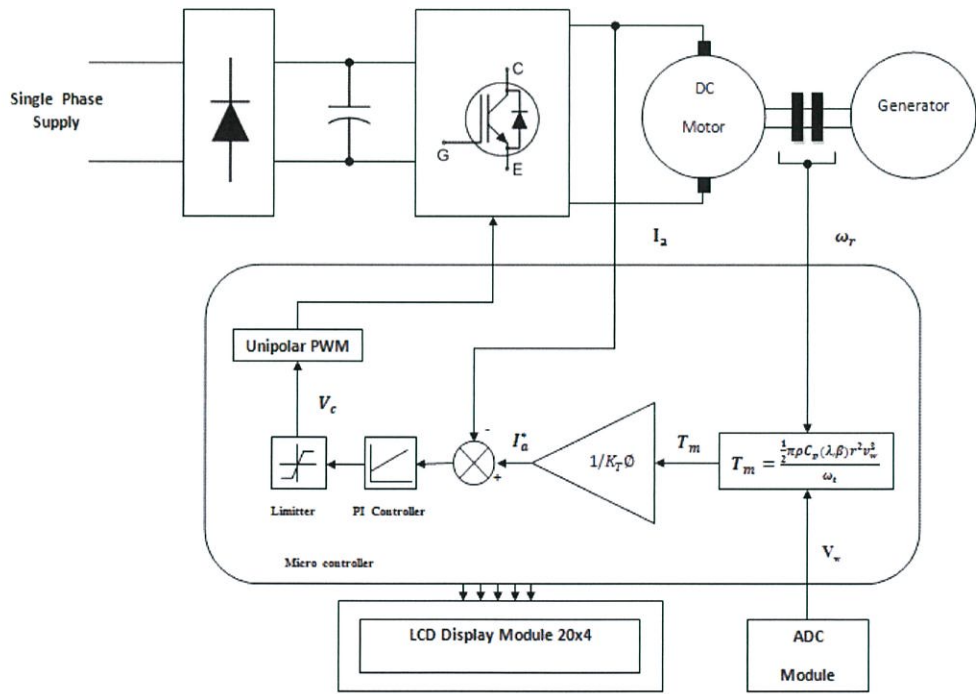
รูปที่ 4.7 วงจร Supply  $\pm 15V$  ของ LEM-LA25 NP



รูปที่ 4.8 ชุดสวิตช์กำลังไอจีบีทีและวงจรควบคุม

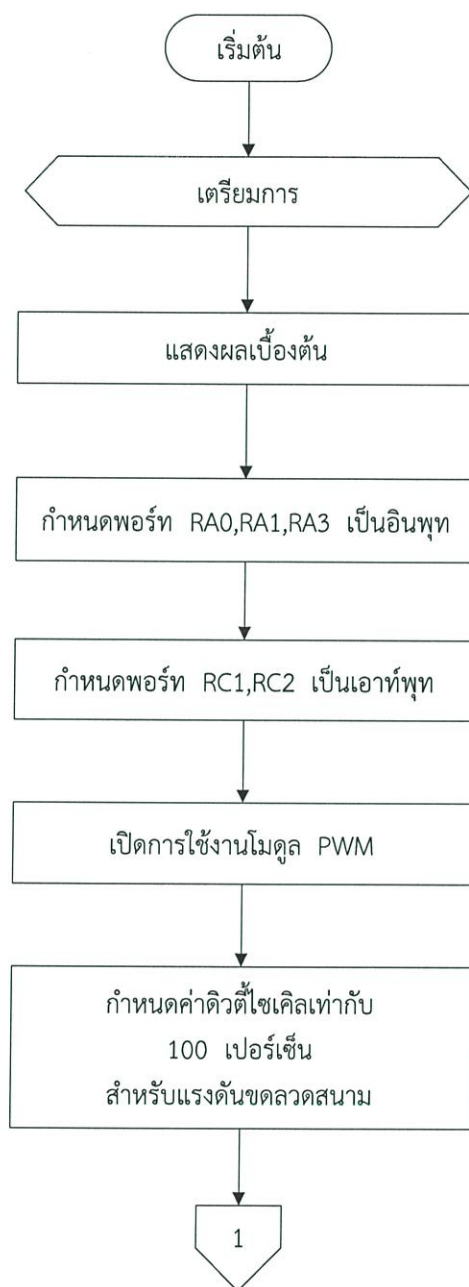


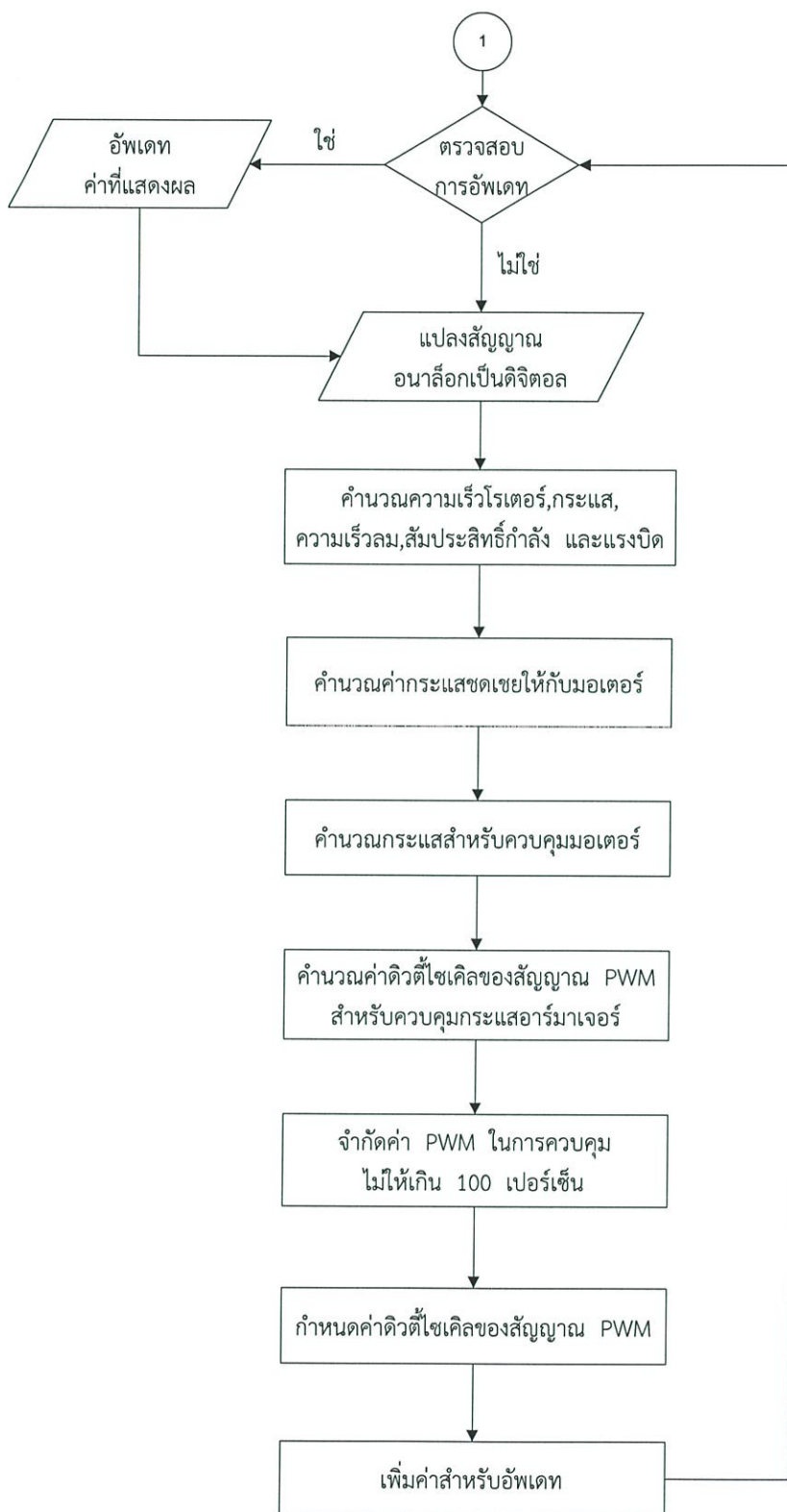
รูปที่ 4.9 อุปกรณ์การทดลองที่นำเสนอในงานวิจัย



รูปที่ 4.10 แผนภาพกระบวนการทำงานของชุดจำลองกังหันลม

## 4.2 แผนผังแสดงลำดับการทำงานไมโครคอนโทรลเลอร์





เริ่มต้นไมโครคอนโทรลเลอร์จะประกาศตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณ เรียกใช้ฟังก์ชันย่อยต่างๆ และเปิดการใช้งานจอแสดงผล LCD เพื่อเตรียมที่จะเข้าสู่ขั้นตอนต่อไป ต่อมาเปิดการใช้งานโมดูล PWM สำหรับใช้เป็นสัญญาณในการขับเคลื่อนมอเตอร์ โดยขั้นตอนแรกจะทำการค่อยๆ เพิ่มดิวตี้ไซเคิลของขดลวดสร้างสนามแม่เหล็กของมอเตอร์จนถึงที่พิกัดแรงดัน และแสดงค่ากระแสอาร์มาเจอร์อ้างอิงที่ได้จากการคำนวณ กระแสอาร์มาเจอร์ที่วัดได้ ค่าความเร็วเสริม สัมประสิทธิ์กำลัง

ความเร็วโรเตอร์ และรับค่าความเร็วลมที่เลือก ซึ่งขั้นตอนทั้งหมดจะมีการแสดงผลบนหน้าจอทั้งหมดต่อไปเป็นขั้นตอนของการควบคุมมอเตอร์ให้มีลักษณะเป็นกึ่งหันลม โดยจะมีการตรวจสอบการอัปเดตค่า ค่ากระแสอาามาเจอร์อ้างอิงที่ได้จากการคำนวณ กระแสอาร์มาเจอร์ที่วัดได้ ค่าความเร็ว เสริม สัมประสิทธิ์กำลัง ความเร็วโรเตอร์ และรับค่าความเร็วลมที่เลือก ให้ผู้ใช้ได้ทราบตลอดเวลา โดยใช้หลักการแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัล ในการคำนวณความเร็วโรเตอร์ กระแส ความเร็ว ลม สัมประสิทธิ์กำลัง และแรงบิด โดยจะมีการคำนวณกระแสชดเชย ความสูญเสียของมอเตอร์ร่วมด้วย จากนั้นจะเป็นการกำหนดค่าดีวตี้ไซเคิลของสัญญาณ PWM ที่ควบคุมแรงดันอาามาเจอร์ ให้ สอดคล้องกับคุณลักษณะของกึ่งหันลม

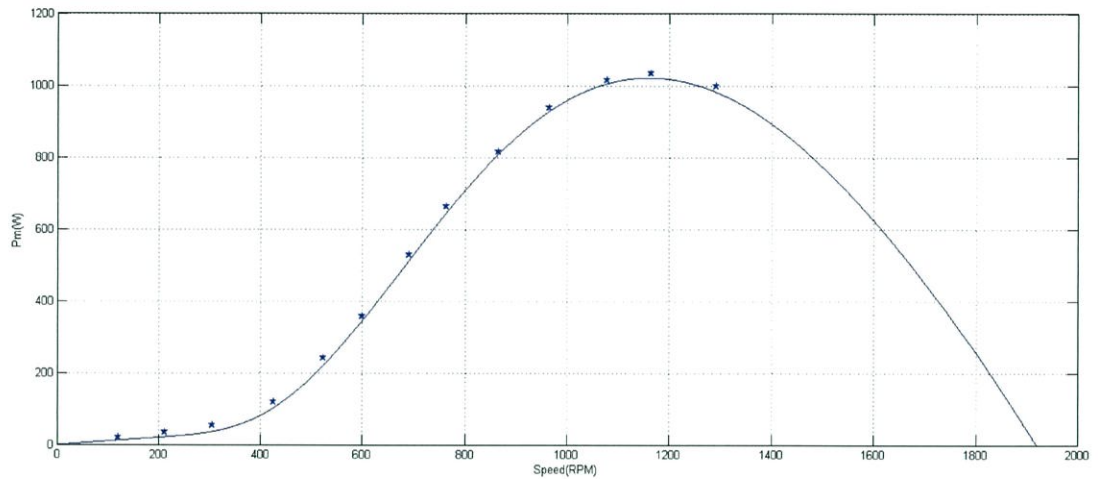
#### 4.3 ขั้นตอนการทดลอง

1. ขึ้นแรงดันอาามาเจอร์ไปที่แรงดันพิกัด 220 V จากนั้นเปิดสวิตซ์ที่บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ กระแสพิวส์จะค่อยๆขึ้นเองจากตัวควบคุมพิวส์แบบวงจรถอนแรงดันเหมือนที่ใช้ในวงจรอาามาเจอร์ เลือกความเร็วลมที่ต้องการทดสอบจาก Variable Resistance ที่แผงคอนโทรลเลอร์ เมื่อได้ความเร็วลมที่ต้องการทดสอบแล้ว จากนั้นมอเตอร์จะค่อยๆหมุนเองตามสมการคุณลักษณะของมอเตอร์
2. จากนั้นเลือกค่าความเร็วรอบของโรเตอร์โดยปรับโพลดความต้านทานที่ต่ออยู่กับเจนเนอเรเตอร์ ให้เท่ากับแรงบิดในขณะความเร็วรอบนั้น ซึ่งสามารถสังเกตได้จากกระแสที่อาร์มาเจอร์ ต้องเท่ากับกระแสที่คำนวณได้ ซึ่งแสดงบนหน้าจอ LCD
3. เมื่อได้ความเร็วรอบที่ต้องการทดสอบแล้วและแรงบิดด้านของโพลดเท่ากับแรงบิดจากต้นกำลัง มอเตอร์จะหมุนที่ความเร็ว ณ จุดๆนั้นโดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงความเร็ว
4. อ่านค่าแรงบิดและความเร็วที่ได้จากหน้าจอ LCD เพื่อใช้ในการวิเคราะห์และพล็อตกราฟเทียบกับที่จำลองได้ในคอมพิวเตอร์ต่อไปและบันทึกรูปคลื่นแรงดันและกระแสที่วงจรถอนอาามาเจอร์ของมอเตอร์ไฟฟ้าที่ทำหน้าที่เป็นต้นกำลัง จากนั้นจึงทำไปวิเคราะห์ผล

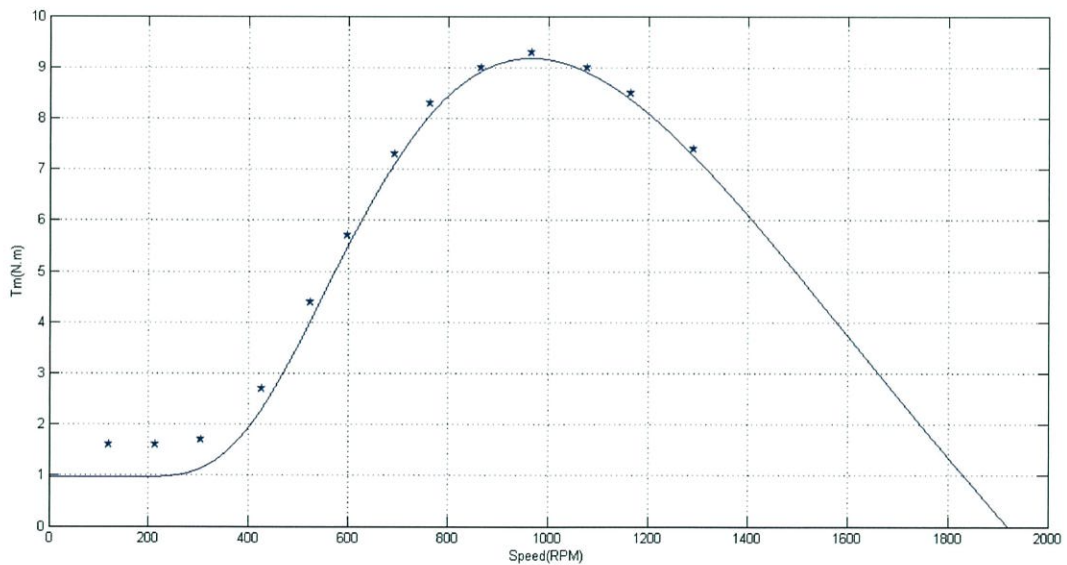
#### 4.4 ผลการทดลอง

การทดลองจะทำการจำลองคุณลักษณะของกึ่งหันลมตามที่จำลองได้โดยโปรแกรม MATLAB/Simulink เปรียบเทียบกับที่จำลองได้โดยใช้ชุดจำลองกึ่งหันลมจริง ซึ่งการทดลองจะทำการทดลองที่ความเร็วลมเป็นจำนวนเต็มที่ความเร็ว 4-12 m/s โดยค่ากำลังทางกลที่ออกจากมอเตอร์ แรงบิดทางกลที่ออกจากมอเตอร์ แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ถูกป้อนให้กับมอเตอร์ จะถูกพล็อตเทียบกับความเร็วรอบของโรเตอร์ ดังตารางที่ 4.1-4.9 และทำการพล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบโรเตอร์(ความเร็วของกึ่งหัน) กับกำลังทางทางกล แรงบิด จากชุดจำลองกึ่งหันลมและรูปคลื่นแรงดันและกระแสที่พิกัด ที่ความเร็วลม 4-12m/s โดยการทดสอบที่ความเร็วลมค่าหนึ่งจะให้มอเตอร์ทำการจ่ายโพลดที่โพลดต่างๆแตกต่างกัน 13 ค่า เพื่อดูแนวโน้มและเปรียบเทียบระหว่างแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์และชุดจำลองกึ่งหันลม

- ที่ความเร็วลม 12 m/s



รูปที่ 4.11 จำลองคุณลักษณะกำลังและความเร็วของกังหันที่ความเร็วลม 12 m/s โดยชุดจำลองกังหันลมเปรียบเทียบกับแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ ( เส้นสีน้ำเงิน จำลองโดยใช้ MATLAB/Simulink จุดสีน้ำเงิน จำลองโดยใช้ชุดจำลองกังหันลม )



รูปที่ 4.12 จำลองคุณลักษณะแรงบิดและความเร็วของกังหันที่ความเร็วลม 12 m/s โดยชุดจำลองกังหันลมเปรียบเทียบกับแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ ( เส้นสีน้ำเงิน จำลองโดยใช้ MATLAB/Simulink จุดสีน้ำเงิน จำลองโดยใช้ชุดจำลองกังหันลม )

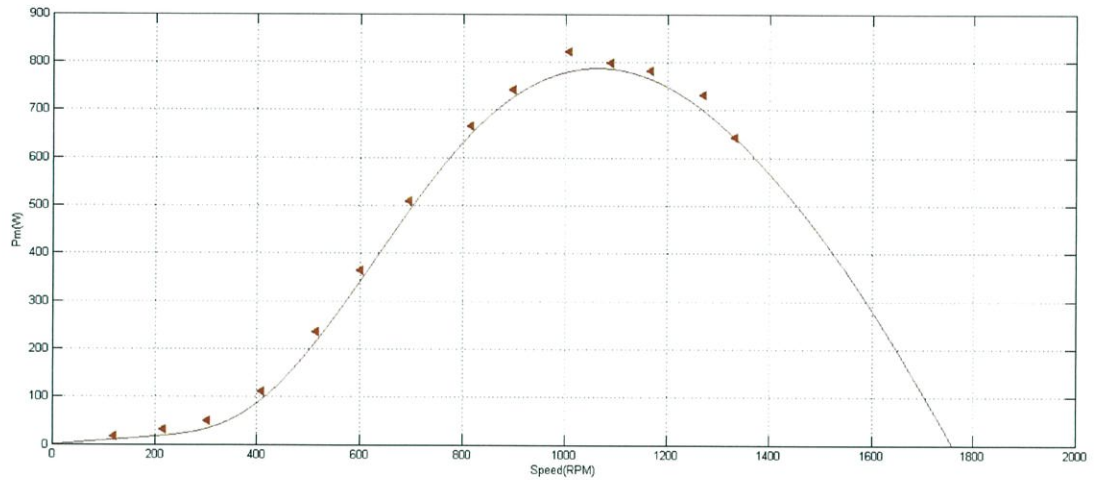


รูปที่ 4.13 รูปคลื่นแรงดันและกระแสที่ความเร็วลม 12m/s ที่กำลังสูงสุด (เส้นสีเหลือง) แรงดัน 100V/Div (เส้นสีฟ้า) กระแส 5A/Div (บน) Time/Div = 20 us (ล่าง) Time/Div = 1 us

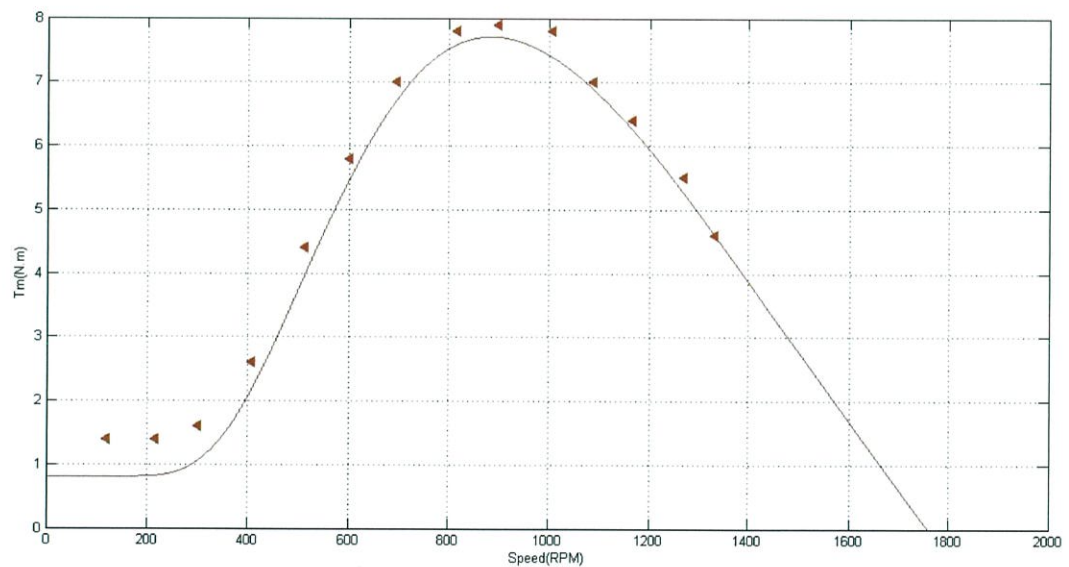
ตารางที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าพารามิเตอร์ต่างๆของชุดจำลองกังหันลมที่ความเร็ว 12 m/s

Speed (rpm)	Torque (N-m)	Power (Watt)	แรงดัน (V)	กระแส (A)
213	1.60	35.67	46	1.25
305	1.70	54.27	58	1.36
426	2.70	120.39	78	2.05
524	4.40	241.32	92	2.98
599	5.70	357.36	105	3.86
691	7.30	527.97	120	4.73
763	8.30	662.84	132	5.35
865	9.00	814.83	146	5.85
965	9.30	939.33	162	6.00
1078	9.00	1015.48	177	5.82
1164	8.50	1035.57	185	5.55
1290	7.40	999.15	201	4.90

- ที่ความเร็วลม 11 m/s



รูปที่ 4.14 จำลองคุณลักษณะกำลังและความเร็วของกังหันที่ความเร็วลม 11 m/s โดยชุดจำลองกังหันลมเปรียบเทียบกับแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ ( เส้นสีน้ำตาล จำลองโดยใช้ MATLAB/Simulink จุดสีน้ำตาล จำลองโดยใช้ชุดจำลองกังหันลม )



รูปที่ 4.15 จำลองคุณลักษณะแรงบิดและความเร็วของกังหันที่ความเร็วลม 11 m/s โดยชุดจำลองกังหันลมเปรียบเทียบกับแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ ( เส้นสีน้ำตาล จำลองโดยใช้ MATLAB/Simulink จุดสีน้ำตาล จำลองโดยใช้ชุดจำลองกังหันลม )

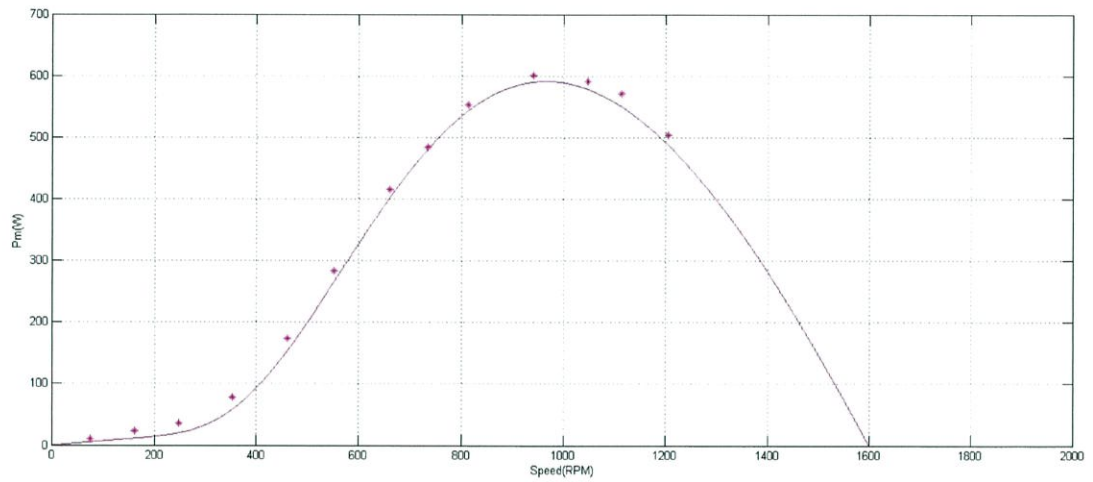


รูปที่ 4.16 รูปคลื่นแรงดันและกระแสที่ความเร็วลม 11m/s ที่กำลังสูงสุด (เส้นสีเหลือง) แรงดัน 100V/Div (เส้นสีฟ้า) กระแส 5A/Div (บน) Time/Div = 20 us (ล่าง) Time/Div = 2 us

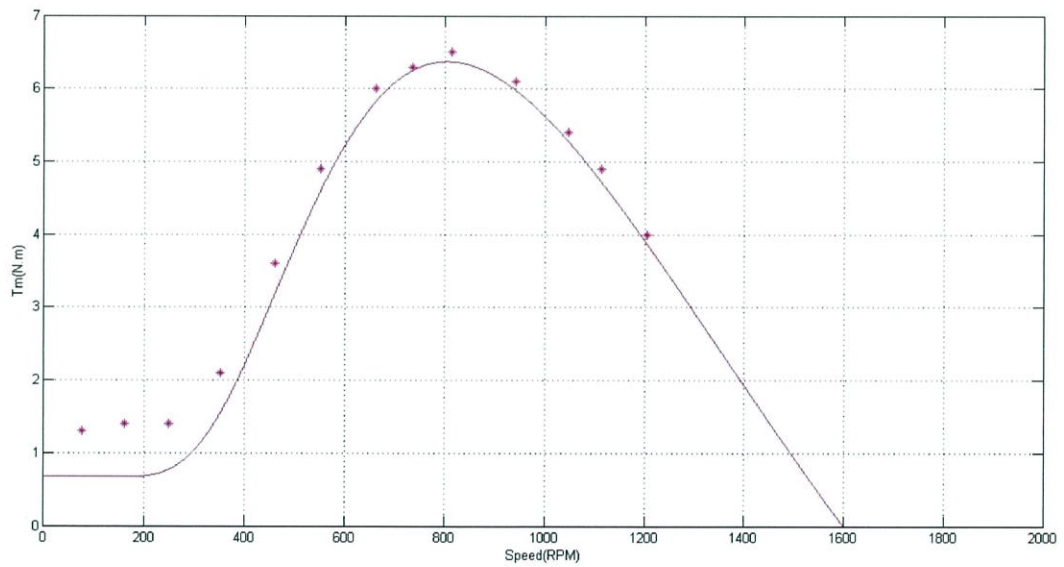
ตารางที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าพารามิเตอร์ต่างๆของชุดจำลองกังหันลมที่ความเร็ว 11 m/s

Speed (rpm)	Torque (N-m)	Power (Watt)	แรงดัน (V)	กระแส (A)
119	1.40	17.44	32.00	1.16
215	1.40	31.50	43.00	1.17
301	1.60	50.41	57.00	1.31
409	2.60	111.30	74.00	1.96
514	4.40	236.71	90.00	3.03
600	5.80	364.24	106.00	3.85
694	7.00	508.47	121.00	4.55
816	7.80	666.18	137.00	5.03
898	7.90	742.53	149.00	5.15
1006	7.60	800.24	163.00	4.97
1088	7.00	797.14	173.00	4.67
1166	6.40	781.06	183.00	4.31

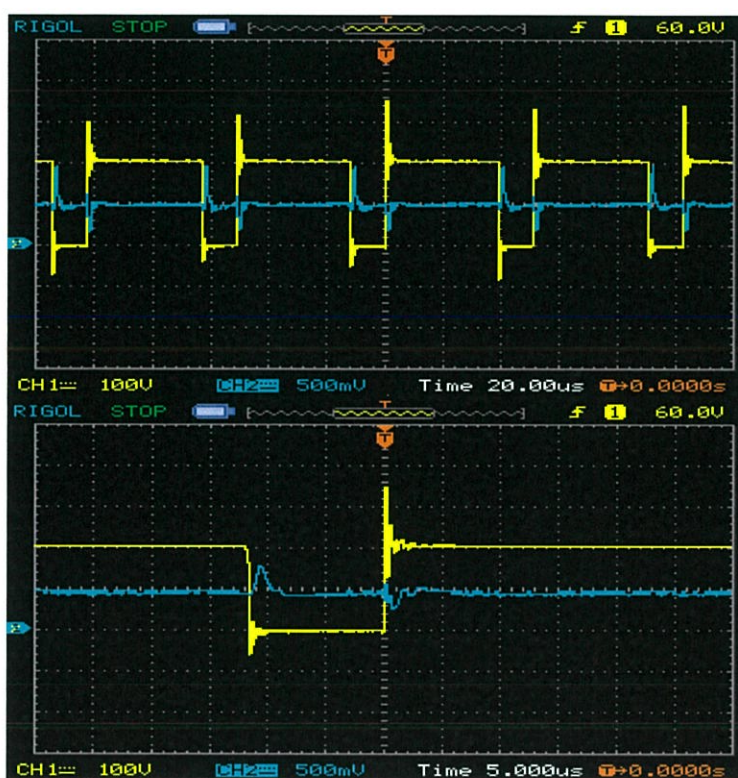
- ที่ความเร็วลม 10m/s



รูปที่ 4.17 จำลองคุณลักษณะกำลังและความเร็วของกังหันที่ความเร็วลม 10 m/s โดยชุดจำลองกังหันลมเปรียบเทียบกับแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ (เส้นสีม่วง จำลองโดยใช้ MATLAB/Simulink จุดสีม่วง จำลองโดยใช้ชุดจำลองกังหันลม)



รูปที่ 4.18 จำลองคุณลักษณะแรงบิดและความเร็วของกังหันที่ความเร็วลม 10 m/s โดยชุดจำลองกังหันลมเปรียบเทียบกับแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ (เส้นสีม่วง จำลองโดยใช้ MATLAB/Simulink จุดสีม่วง จำลองโดยใช้ชุดจำลองกังหันลม)

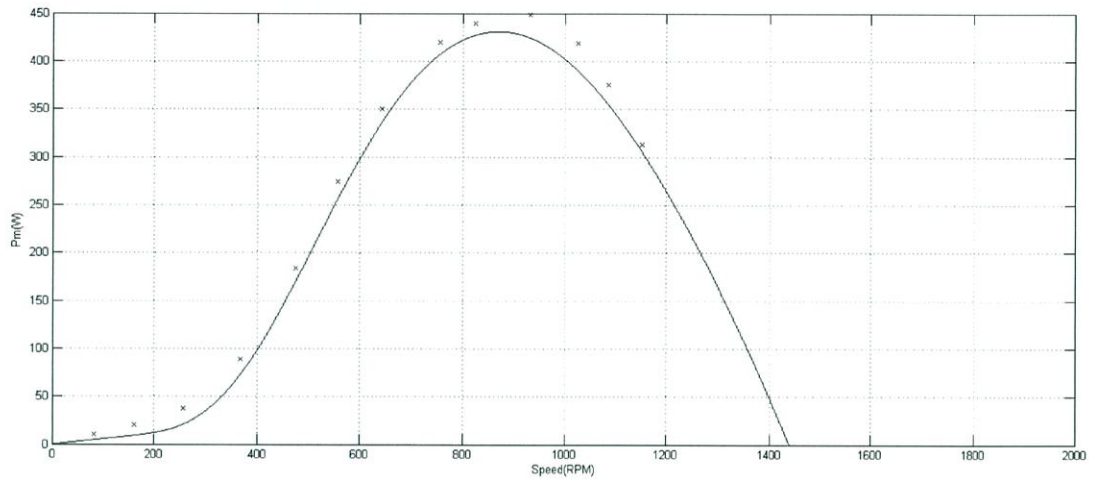


รูปที่ 4.19 รูปคลื่นแรงดันและกระแสที่ความเร็วลม 10m/s ที่กำลังสูงสุด  
(เส้นสีเหลือง) แรงดัน 100V/Div (เส้นสีฟ้า) กระแส 5A/Div  
(บน) Time/Div = 20 us (ล่าง) Time/Div = 5 us

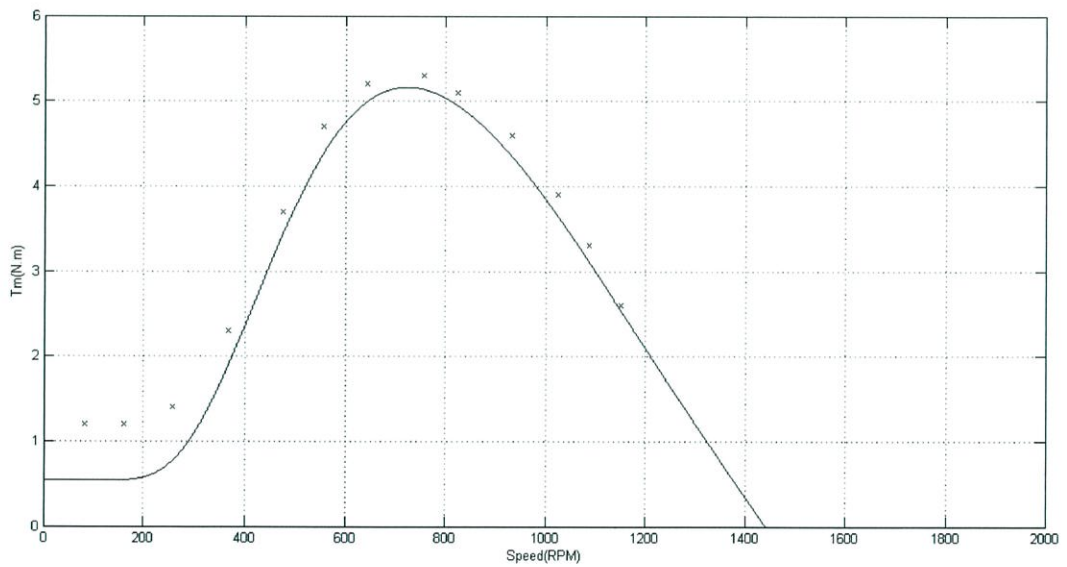
ตารางที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าพารามิเตอร์ต่างๆของชุดจำลองกังหันลมที่  
ความเร็ว 10 m/s

Speed (rpm)	Torque (N-m)	Power (Watt)	แรงดัน (V)	กระแส (A)
76	1.30	10.34	27	1.09
162	1.40	23.74	39	1.09
248	1.40	36.34	51	1.13
352	2.10	77.37	67	1.58
461	3.60	173.70	83	2.54
552	4.90	283.10	99	3.33
661	6.00	415.11	114	4.05
734	6.30	484.00	126	4.29
814	6.50	553.79	134	4.37
941	6.10	600.80	151	4.15
1047	5.40	591.76	165	3.75
1113	4.90	570.82	172	3.41

- ที่ความเร็วลม 9m/s



รูปที่ 4.20 จำลองคุณลักษณะกำลังและความเร็วของกังหันที่ความเร็วลม 9 m/s โดยชุดจำลอง กังหันลมเปรียบเทียบกับแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ (เส้นสีดำ จำลองโดยใช้ MATLAB/Simulink จุดสีดำ จำลองโดยใช้ชุดจำลองกังหันลม)



รูปที่ 4.21 จำลองคุณลักษณะแรงบิดและความเร็วของกังหันที่ความเร็วลม 9 m/s โดยชุดจำลอง กังหันลมเปรียบเทียบกับแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ (เส้นสีดำ จำลองโดยใช้ MATLAB/Simulink จุดสีดำ จำลองโดยใช้ชุดจำลองกังหันลม)

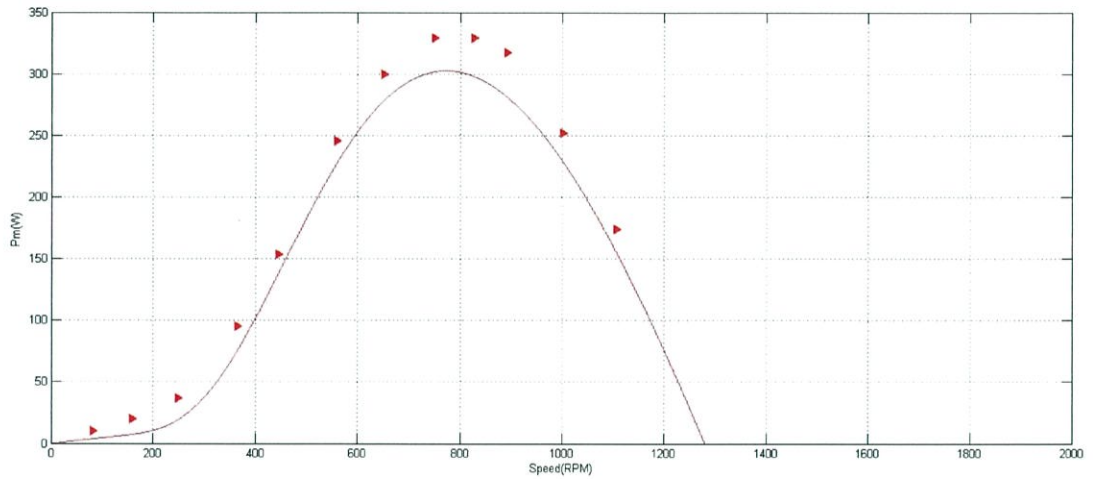


รูปที่ 4.22 รูปคลื่นแรงดันและกระแสที่ความเร็วลม 9m/s ที่กำลังสูงสุด (เส้นสีเหลือง) แรงดัน 100V/Div (เส้นสีฟ้า) กระแส 5A/Div (บน) Time/Div = 20 us (ล่าง) Time/Div = 5 us

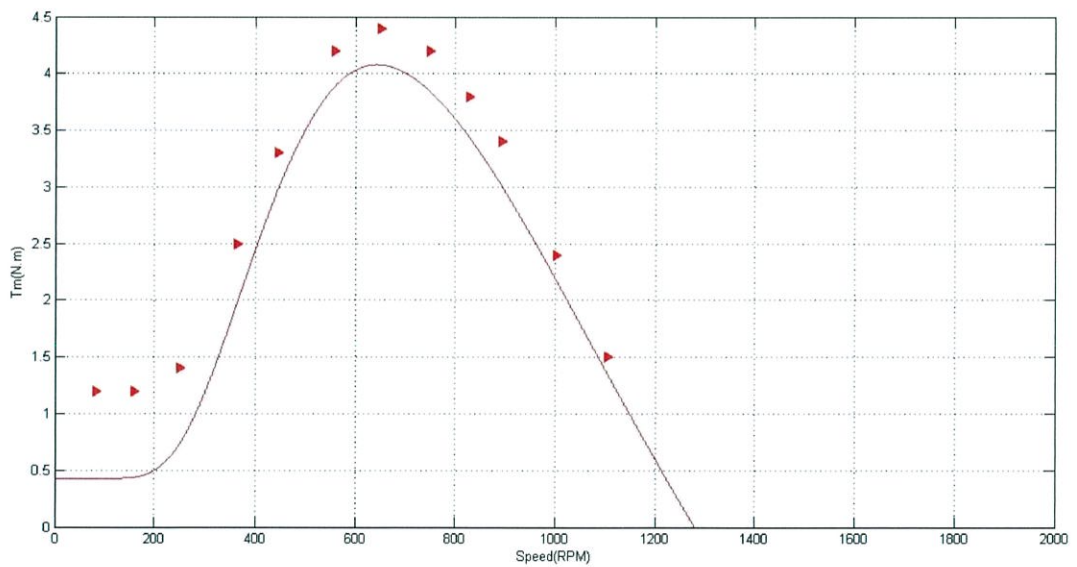
ตารางที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าพารามิเตอร์ต่างๆของชุดจำลองกังหันลมที่ความเร็ว 9 m/s

Speed (rpm)	Torque (N-m)	Power (Watt)	แรงดัน (V)	กระแส (A)
82	1.20	10.30	28	1.01
162	1.20	20.35	39	1.02
258	1.40	37.81	52	1.15
368	2.30	88.59	69	1.77
475	3.70	183.95	85	2.66
557	4.70	274.01	98	3.24
644	5.20	350.51	111	3.58
757	5.30	419.93	125	3.65
824	5.10	439.85	134	3.56
931	4.60	448.25	147	3.21
1025	3.90	418.41	158	2.80
1087	3.30	375.45	176	2.36

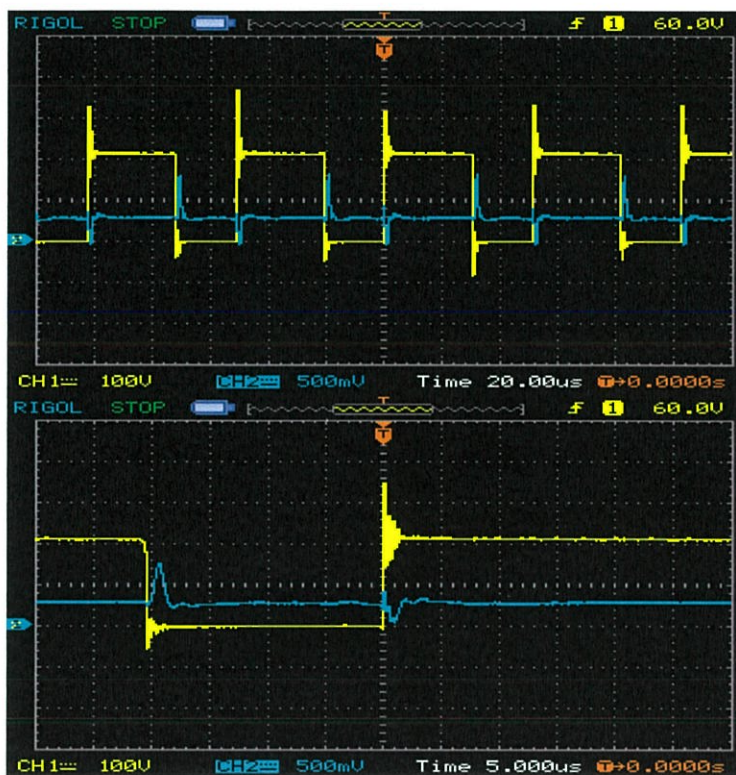
- ที่ความเร็วลม 8m/s



รูปที่ 4.23 จำลองคุณลักษณะกำลังและความเร็วของกังหันที่ความเร็วลม 8 m/s โดยชุดจำลอง กังหันลมเปรียบเทียบกับแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ ( เส้นสีแดง จำลองโดยใช้ MATLAB/Simulink จุดสีแดง จำลองโดยใช้ชุดจำลองกังหันลม )



รูปที่ 4.24 จำลองคุณลักษณะแรงบิดและความเร็วของกังหันที่ความเร็วลม 8 m/s โดยชุดจำลอง กังหันลมเปรียบเทียบกับแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ ( เส้นสีแดง จำลองโดยใช้ MATLAB/Simulink จุดสีแดง จำลองโดยใช้ชุดจำลองกังหันลม )

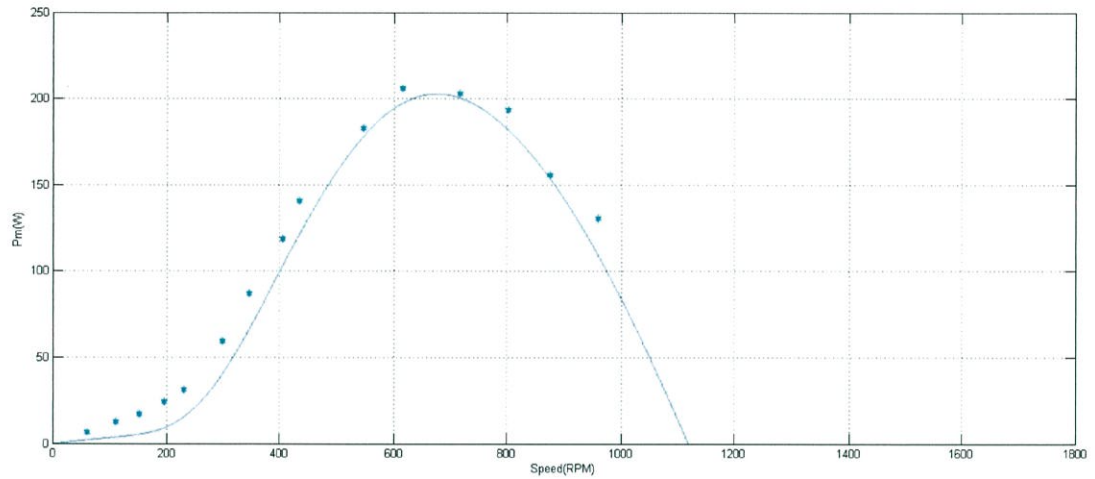


รูปที่ 4.25 รูปคลื่นแรงดันและกระแสที่ความเร็วลม 8m/s ที่กำลังสูงสุด  
(เส้นสีเหลือง) แรงดัน 100V/Div (เส้นสีฟ้า) กระแส 5A/Div  
(บน) Time/Div = 20 us (ล่าง) Time/Div = 5 us

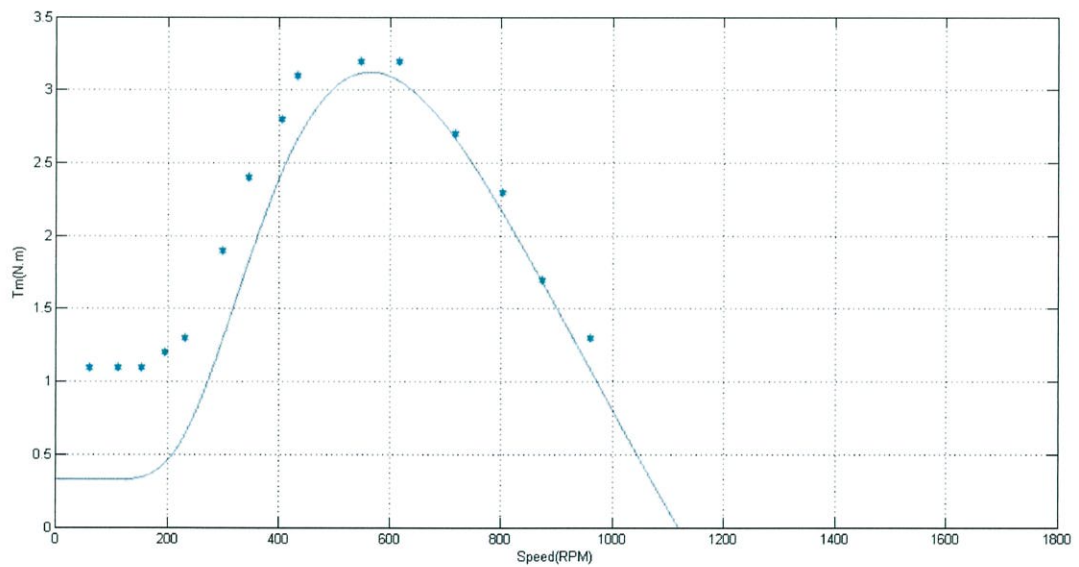
ตารางที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าพารามิเตอร์ต่างๆของชุดจำลองกังหันลมที่  
ความเร็ว 8 m/s

Speed (rpm)	Torque (N-m)	Power (Watt)	แรงดัน (V)	กระแส (A)
82	1.20	10.30	26	0.96
160	1.20	20.10	38	0.93
250	1.40	36.63	49	1.11
364	2.50	95.25	67	1.84
444	3.30	153.36	80	2.41
559	4.20	245.74	97	2.94
651	4.40	299.81	108	3.05
749	4.20	329.26	123	2.92
828	3.80	329.32	130	2.70
892	3.40	317.43	140	2.44
1002	2.40	251.70	155	1.81
1106	1.50	173.64	181	1.15

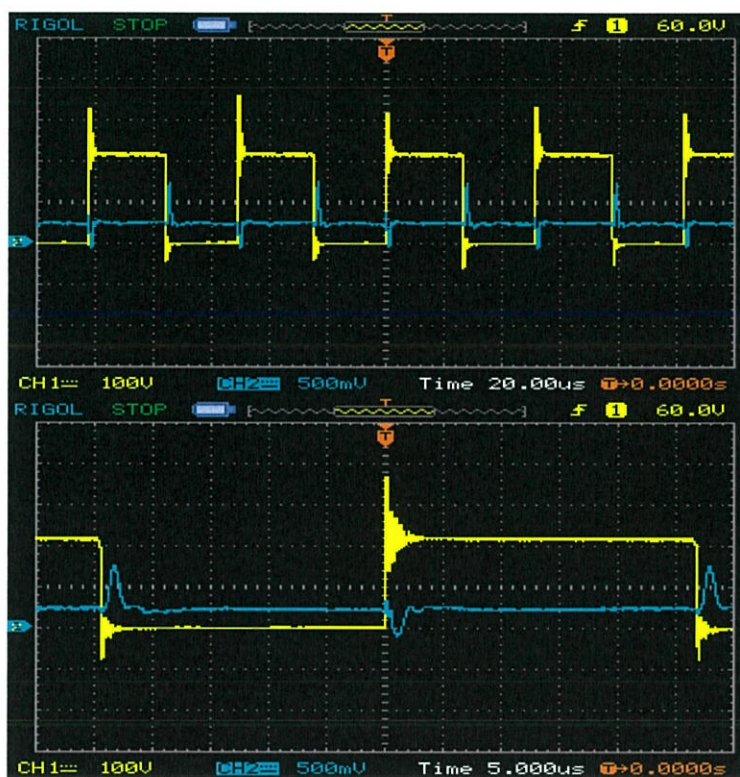
- ที่ความเร็วลม 7m/s



รูปที่ 4.26 จำลองคุณลักษณะกำลังและความเร็วของกังหันที่ความเร็วลม 7 m/s โดยชุดจำลองกังหันลมเปรียบเทียบกับแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ ( เส้นสีฟ้า จำลองโดยใช้ MATLAB/Simulink จุดสีฟ้า จำลองโดยใช้ชุดจำลองกังหันลม )



รูปที่ 4.27 จำลองคุณลักษณะแรงบิดและความเร็วของกังหันที่ความเร็วลม 7 m/s โดยชุดจำลองกังหันลมเปรียบเทียบกับแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ ( เส้นสีฟ้า จำลองโดยใช้ MATLAB/Simulink จุดสีฟ้า จำลองโดยใช้ชุดจำลองกังหันลม )

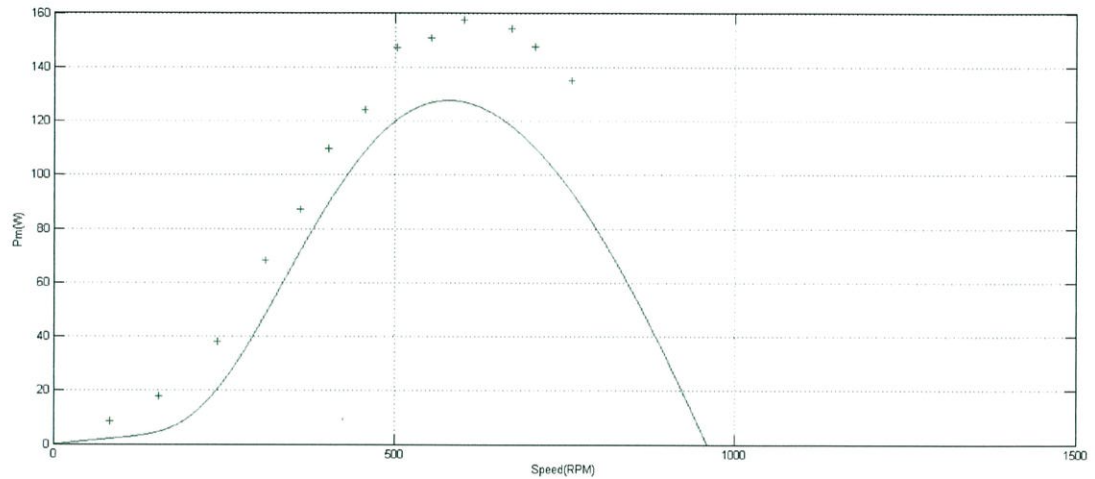


รูปที่ 4.28 รูปคลื่นแรงดันและกระแสที่ความเร็วลม 7m/s ที่กำลังสูงสุด (เส้นสีเหลือง) แรงดัน 100V/Div (เส้นสีฟ้า) กระแส 5A/Div (บน) Time/Div = 20 us (ล่าง) Time/Div = 5 us

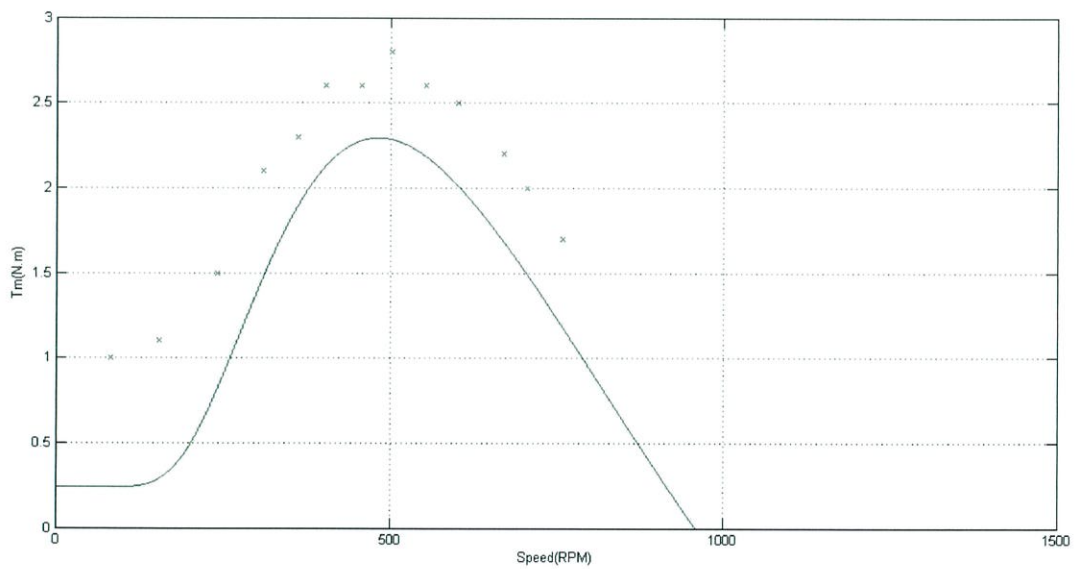
ตารางที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าพารามิเตอร์ต่างๆของชุดจำลองกังหันลมที่ความเร็ว 7 m/s

Speed (rpm)	Torque (N-m)	Power (Watt)	แรงดัน (V)	กระแส (A)
60	1.10	6.91	23	0.89
111	1.10	12.78	31	0.88
152	1.10	17.50	38	0.88
195	1.20	24.49	42	0.96
230	1.30	31.30	52	1.06
299	1.90	59.46	58	1.46
346	2.40	86.92	66	1.76
405	2.80	118.69	74	2.11
434	3.10	140.82	80	2.25
546	3.20	182.87	93	2.31
616	3.20	206.32	103	2.34
718	2.70	202.91	115	2.02

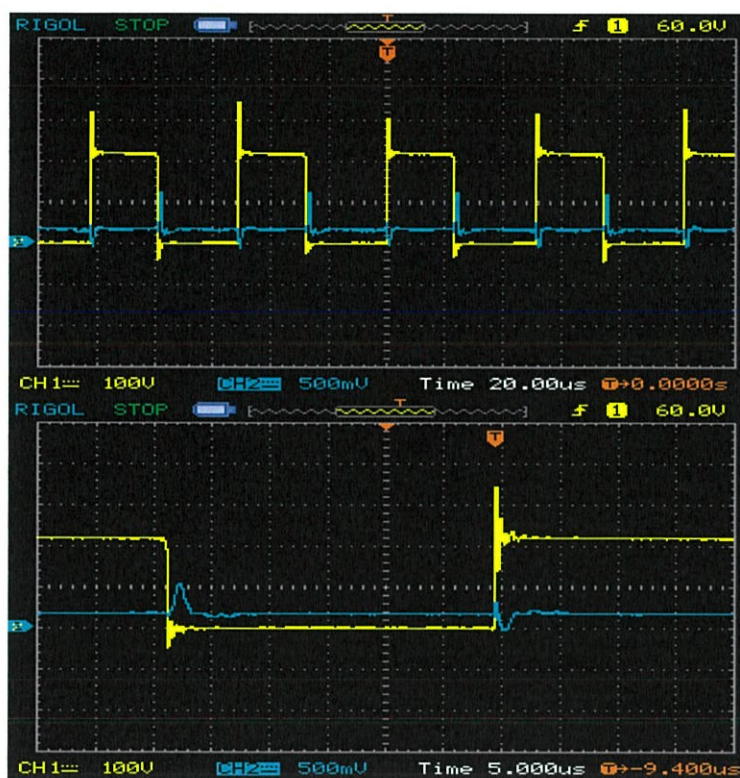
- ที่ความเร็วลม 6m/s



รูปที่ 4.29 จำลองคุณลักษณะกำลังและความเร็วของกังหันที่ความเร็วลม 6 m/s โดยชุดจำลองกังหันลมเปรียบเทียบกับแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ ( เส้นสีเขียว จำลองโดยใช้ MATLAB/Simulink จุดสีเขียว จำลองโดยใช้ชุดจำลองกังหันลม )



รูปที่ 4.30 จำลองคุณลักษณะแรงบิดและความเร็วของกังหันที่ความเร็วลม 6 m/s โดยชุดจำลองกังหันลมเปรียบเทียบกับแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ ( เส้นสีเขียว จำลองโดยใช้ MATLAB/Simulink จุดสีเขียว จำลองโดยใช้ชุดจำลองกังหันลม )

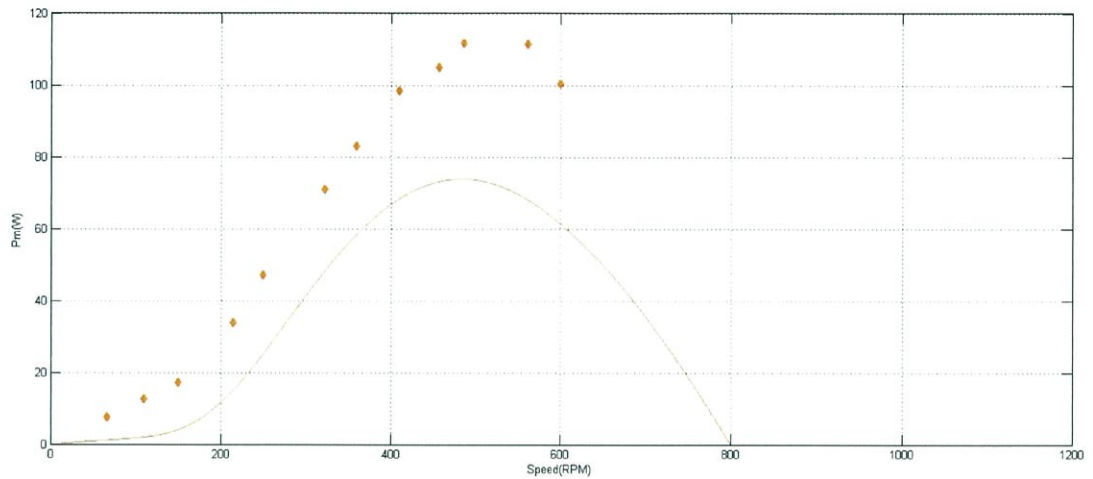


รูปที่ 4.31 รูปคลื่นแรงดันและกระแสที่ความเร็วลม 6m/s ที่กำลังสูงสุด (เส้นสีเหลือง) แรงดัน 100V/Div (เส้นสีฟ้า) กระแส 5A/Div (บน) Time/Div = 20 us (ล่าง) Time/Div = 5 us

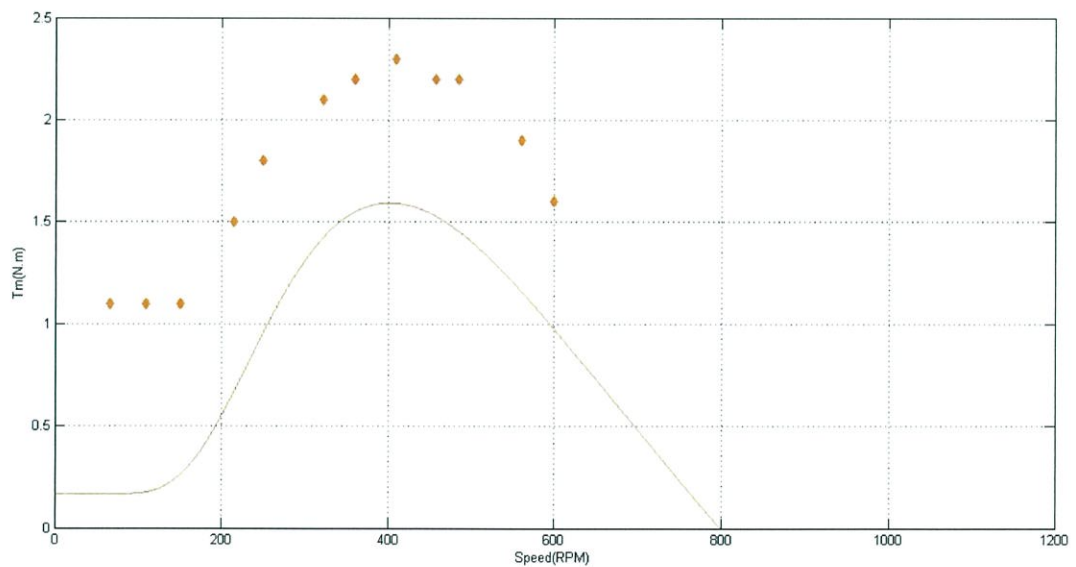
ตารางที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าพารามิเตอร์ต่างๆของชุดจำลองกังหันลมที่ความเร็ว 6 m/s

Speed (rpm)	Torque (N-m)	Power (Watt)	แรงดัน (V)	กระแส (A)
82	1.00	8.58	27	0.83
154	1.10	17.73	36	0.86
242	1.50	37.99	52	1.17
311	2.10	68.36	57	1.54
362	2.30	87.15	67	1.79
403	2.60	109.67	71	1.92
456	2.60	124.09	80	2.01
503	2.80	147.41	85	2.03
554	2.60	150.76	93	1.95
602	2.50	157.52	99	1.85
671	2.20	154.51	105	1.67
706	2.00	147.79	110	1.57

- ที่ความเร็วลม 5m/s



รูปที่ 4.32 จำลองคุณลักษณะกำลังและความเร็วของกังหันที่ความเร็วลม 5 m/s โดยชุดจำลองกังหันลมเปรียบเทียบกับแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ (เส้นสีเขียว จำลองโดยใช้ MATLAB/Simulink จุดสีส้ม จำลองโดยใช้ชุดจำลองกังหันลม )



รูปที่ 4.33 จำลองคุณลักษณะแรงบิดและความเร็วของกังหันที่ความเร็วลม 5 m/s โดยชุดจำลองกังหันลมเปรียบเทียบกับแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ (เส้นสีเขียว จำลองโดยใช้ MATLAB/Simulink จุดสีส้ม จำลองโดยใช้ชุดจำลองกังหันลม )

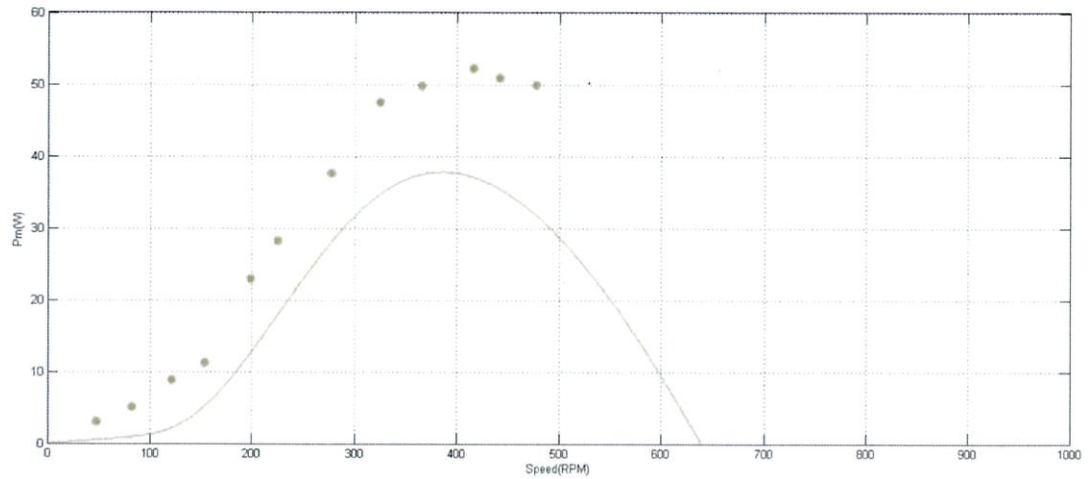


รูปที่ 4.34 รูปคลื่นแรงดันและกระแสที่ความเร็วลม 5m/s ที่กำลังสูงสุด (เส้นสีเหลือง) แรงดัน 100V/Div (เส้นสีฟ้า) กระแส 5A/Div (บน) Time/Div = 20 us (ล่าง) Time/Div = 5 us

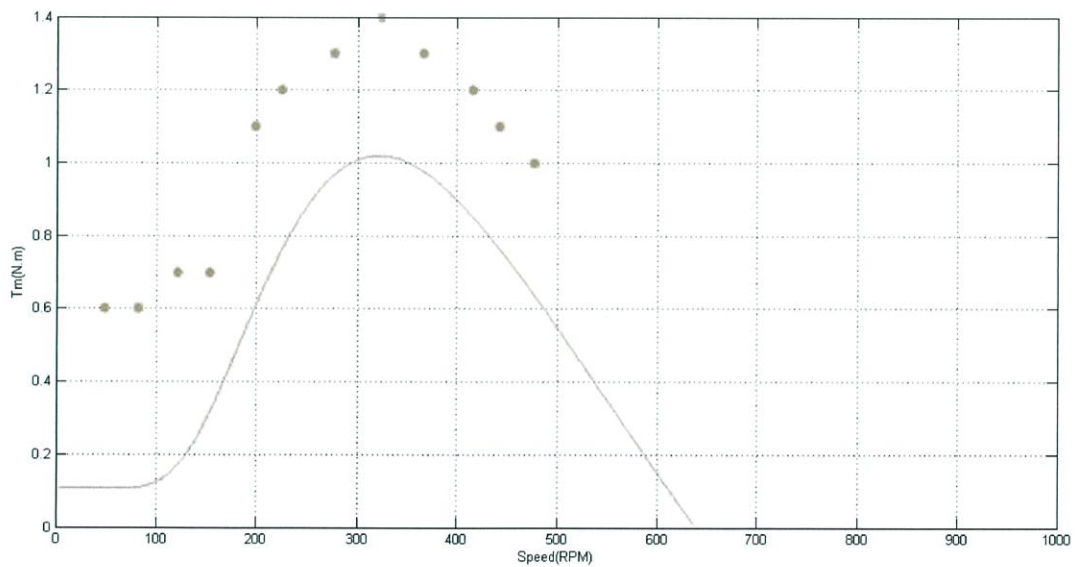
ตารางที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าพารามิเตอร์ต่างๆของชุดจำลองกังหันลมที่ความเร็ว 5 m/s

Speed (rpm)	Torque (N-m)	Power (Watt)	แรงดัน (V)	กระแส (A)
66	1.10	7.60	23	0.78
109	1.10	12.55	31	0.79
150	1.10	17.27	36	0.85
215	1.50	33.76	45	1.07
250	1.80	47.10	51	1.25
323	2.10	71.00	60	1.52
360	2.20	82.90	65	1.59
409	2.30	98.46	74	1.62
456	2.20	105.00	78	1.57
485	2.20	111.68	84	1.54
561	1.90	111.56	91	1.36
600	1.60	100.48	95	1.21

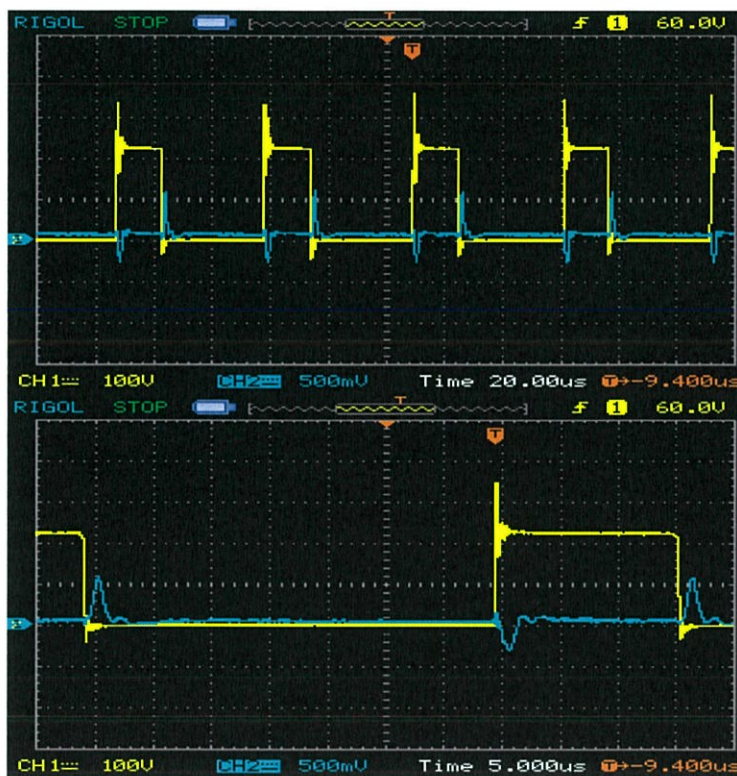
- ที่ความเร็วลม 4m/s



รูปที่ 4.35 จำลองคุณลักษณะกำลังและความเร็วของกังหันที่ความเร็วลม 4 m/s โดยชุดจำลองกังหันลมเปรียบเทียบกับแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ ( เส้นสีเทา จำลองโดยใช้ MATLAB/Simulink จุดสีเทา จำลองโดยใช้ชุดจำลองกังหันลม )



รูปที่ 4.36 จำลองคุณลักษณะแรงบิดและความเร็วของกังหันที่ความเร็วลม 4 m/s โดยชุดจำลองกังหันลมเปรียบเทียบกับแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ ( เส้นสีเทา จำลองโดยใช้ MATLAB/Simulink จุดสีเทา จำลองโดยใช้ชุดจำลองกังหันลม )



รูปที่ 4.37 รูปคลื่นแรงดันและกระแสที่ความเร็วลม 4m/s ที่กำลังสูงสุด (เส้นสีเหลือง) แรงดัน 100V/Div (เส้นสีฟ้า) กระแส 5A/Div (บน) Time/Div = 20 us (ล่าง) Time/Div = 5 us

ตารางที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าพารามิเตอร์ต่างๆของชุดจำลองกังหันลมที่ความเร็ว 4 m/s

Speed (rpm)	Torque (N-m)	Power (Watt)	แรงดัน (V)	กระแส (A)
48	0.60	3.01	20	0.76
82	0.60	5.15	26	0.76
121	0.70	8.87	32	0.78
154	0.70	11.28	37	0.88
199	1.10	22.91	46	1.04
225	1.20	28.26	47	1.13
277	1.30	37.69	55	1.25
324	1.40	47.48	60	1.27
366	1.30	49.80	65	1.26
416	1.20	52.25	71	1.19
442	1.10	50.89	75	1.13
477	1.00	49.93	79	1.04

#### 4.5 อธิบายผลการทดลอง

จากการทดลองเมื่อความเร็วลมมีค่าอยู่ในช่วง 4-7 m/s ความคลาดเคลื่อนของค่าที่ได้จากการจำลองในคอมพิวเตอร์โดยโปรแกรม MATLAB/Simulink กับค่าที่ได้จากชุดจำลองกักหั้นลมมีค่าความต่างค่อนข้างมาก ทั้งนี้เป็นผลมาจากที่มอเตอร์จะมีความผิดพลาดและมีการสั่นเกิดขึ้นที่ความเร็วต่ำ ทำให้มีกำลังสูญเสียเนื่องจากความผิดพลาดความเสียหายมาก และจากการชดเชยกำลังสูญเสียให้กับมอเตอร์ที่ความเร็วต่ำมีความคลาดเคลื่อนสูง

จากรูปคลื่นแรงดันและกระแสที่กำลังสูงสุดแต่ละความเร็วลม จะสามารถสังเกตเห็นได้ว่าดีซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์แบบวงจรถอนแรงดันทำงานในโหมดกระแสต่อเนื่อง ในช่วงที่มีพัลส์แรงดันกระแสอาร์เมเจอร์จะมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น และในช่วงที่ไม่มีพัลส์แรงดันกระแสอาร์เมเจอร์จะมีแนวโน้มลดลง ทั้งนี้เป็นผลมาจากในช่วงที่มีพัลส์แรงดันกระแสจะไหลจะแหล่งจ่ายมาสู่มอเตอร์ และในช่วงที่ไม่มีพัลส์แรงดันจะไม่มีการไหลจากแหล่งจ่ายมาสู่มอเตอร์ แต่กระแสสามารถไหลได้อยู่ในรูปของมอเตอร์ที่ต่อขนานอยู่กับ Free-wheeling Diode ซึ่งแนวโน้มของกระแสมีลักษณะค่อนข้างเรียบ ทั้งนี้เป็นผลมาจากค่าความเหนี่ยวนำของมอเตอร์ที่มีค่าสูง กระแสจึงช้าต่อการเปลี่ยนแปลงของระดับแรงดันทำให้รูปคลื่นกระแสมีลักษณะค่อนข้างเรียบ

เมื่อขยายรูปคลื่นแรงดันและกระแสออกมาจะสามารถสังเกตเห็นได้ถึง Ringing Voltage ที่เกิดขึ้นจาก  $dv/dt$  จากการสวิตช์ของสวิตช์กำลังมีค่าสูง และจากรูปคลื่นกระแสจะสามารถสังเกตเห็นได้ว่าในช่วงแรงดันขอบขาขึ้นจะเกิด Ringing Voltage พุ่งขึ้น เมื่อกำลังคงที่ กระแสที่ไหลจึงต้องลดลง ซึ่งสามารถสังเกตเห็นได้จากรูปคลื่นกระแสมีลักษณะพุ่งลงในช่วงที่แรงดันมีการพุ่งขึ้น และกระแสมีการพุ่งขึ้นในช่วงที่แรงดันพุ่งลงในช่วงขอบขาลงของแรงดัน แต่ลักษณะของกระแสจะมีการพุ่งขึ้นและพุ่งลงไม่เหมือนกับลักษณะของแรงดัน เนื่องจากค่าความเหนี่ยวนำที่มีอยู่ในตัวมอเตอร์ทำให้กระแสช้าต่อการเปลี่ยนแปลงของแรงดัน

## บทที่ 5

### สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

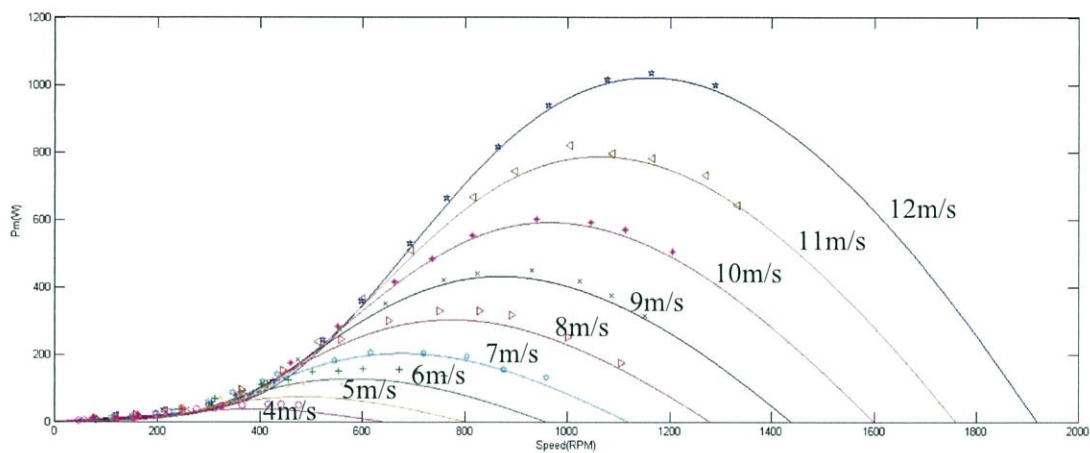
#### 5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองจะสามารถสังเกตเห็นได้ว่าเมื่อแรงบิดจากต้นกำลังของมอเตอร์และแรงบิดต้านจากโหลดสมดุลกัน มอเตอร์จะหมุนที่ความเร็วความเร็วนั้นตลอดโดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงความเร็ว ซึ่งจากผลการทดลองในหลายๆจุดความเร็วโรเตอร์นั้น ทั้งที่ความเร็วลม 4-12m/s จะมีแนวโน้มเหมือนในทางทฤษฎี

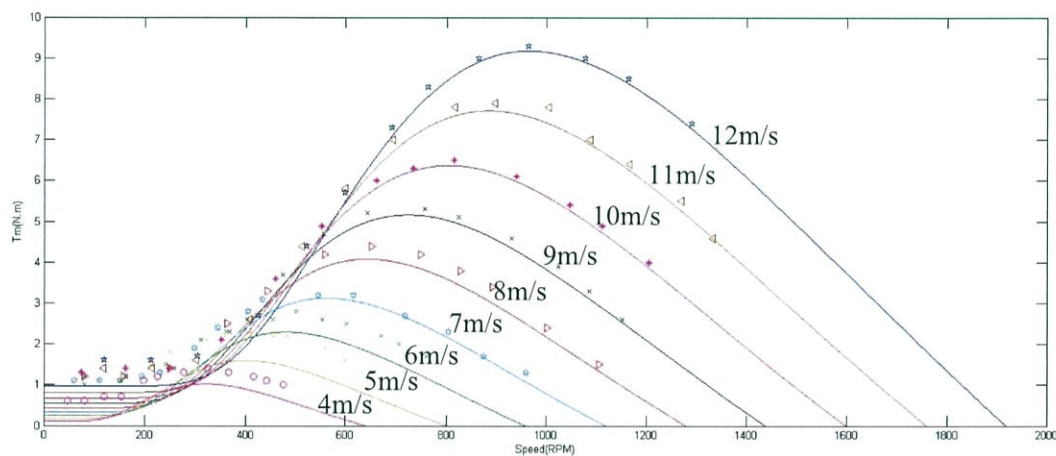
เมื่อสังเกตรูปคลื่นแรงดันและกระแสที่วงจรถาเมอร์เจอร์ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงสามารถสังเกตเห็นได้ว่า ที่ความเร็วรอบสูงๆของมอเตอร์นั้น ค่าดีวีดีไซเคิล ที่ใช้ขับมอเตอร์ไฟฟ้านั้นมีค่าค่อนข้างมากกว่าที่ความเร็วมอเตอร์ต่ำๆ ทั้งนี้เป็นผลมาจากที่ความเร็วรอบสูงๆนั้น มอเตอร์จะต้องสร้างแรงบิดออกมาตามสมการคุณลักษณะของกังหันลม ซึ่งจะเห็นได้ว่ามีค่ากำลังสูงสุดและแรงบิดสูงสุดปรากฏขึ้นที่ค่าความเร็วมอเตอร์ความเร็วหนึ่ง โดยที่ค่าความเร็วมอเตอร์ความเร็วนั้น ค่าดีวีดีไซเคิลจะมากที่สุดที่ย่านความเร็วลมที่เลือก โดยไมโครคอนโทรลเลอร์จะพยายามปรับค่าดีวีดีไซเคิล เพื่อควบคุมกระแสอาเมอร์เจอร์ให้เป็นไปตามที่คำนวณได้ และเมื่อกระแสอาร์เมเจอร์เป็นไปตามที่คำนวณได้ ก็จะได้กราฟแรงบิดและกำลังทางกลเป็นไปในลักษณะเดียวกับกราฟที่จำลองได้ในโปรแกรม MATLAB/Simulink

เมื่อสังเกตรูปคลื่นกระแสอาเมอร์เจอร์จะพบว่ากระแสมีการพุ่งขึ้นในช่วงที่สัญญาณ PWM เป็น Logic 1 หรือช่วงขาขึ้น และกระแสมีการลดลงในช่วงที่สัญญาณ PWM มี Logic เป็น 0 ทั้งนี้เนื่องจากในช่วงที่สัญญาณ PWM เป็น Logic 1 นั้นเป็นช่วงที่จ่ายกำลังให้กับมอเตอร์ไฟฟ้า กระแสจะต้องพุ่งสูงขึ้น และในช่วงที่สัญญาณ PWM มี Logic เป็น 0 กระแสค่อยๆลดลงแต่ยังสามารถไหลได้ เนื่องจากเป็นช่วงที่ไม่มีกำลังไฟฟ้าจ่ายให้กับมอเตอร์ไฟฟ้า แต่มอเตอร์ยังคงหมุนอยู่จึงเกิดการจ่ายพลังงานย้อนกลับเกิดขึ้น โดยผ่านตัว Free Wheeling Diode ที่ต่อขนานเป็นลูปอยู่ที่วงจรถาเมอร์เจอร์

การเปรียบเทียบค่ากำลังทางกลและแรงบิดที่ออกจากมอเตอร์ระหว่างแบบจำลองโดยโปรแกรม MATLAB/Simulink และชุดจำลองกังหันลมจริง จะเห็นได้ว่าเมื่อให้มอเตอร์ทำการจ่ายโหลดที่ความเร็วลมค่าใดๆในความเร็วลม 4-12m/s โดยที่ความเร็วลมเป็นจำนวนเต็ม (9ความเร็วลม) กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังทางกลและแรงบิดที่ออกจากมอเตอร์จะมีแนวโน้มเป็นไปเช่นเดียวกับแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ ที่ความเร็วลมทดสอบค่าเดียวกัน ดังรูปที่ 5.1และรูปที่ 5.2 โดยเส้นกราฟแสดงถึงกำลังและแรงบิดที่ความเร็วลม 4-12m/s จากแบบจำลองคอมพิวเตอร์ และจุดแสดงถึงกำลังและแรงบิดที่ความเร็วลม 4-12m/s จากชุดจำลองกังหันลม จึงสามารถสรุปได้ว่าชุดจำลองกังหันลม สามารถทำงานเหมือนกังหันลมจริงได้



รูปที่ 5.1 ความสัมพันธ์ของกำลังทางกลกับความเร็วโรเตอร์โดยเปรียบเทียบระหว่างแบบจำลอง คอมพิวเตอร์และชุดจำลองกังหันลม



รูปที่ 5.2 ความสัมพันธ์ของแรงบิดทางกลกับความเร็วโรเตอร์โดยเปรียบเทียบระหว่างแบบจำลอง คอมพิวเตอร์และชุดจำลองกังหันลม

## 5.2 วิจารณ์ผลการทดลอง

จากการทดลองจะเห็นได้ว่าที่ความเร็วลดลง แนวโน้มของค่าที่ได้จากการจำลอง โดยแบบจำลองคอมพิวเตอร์ผ่านโปรแกรม MATLAB/Simulink กับค่าที่ได้จากชุดจำลองกึ่งหุ่นยนต์จริงนั้น ค่าที่ได้ค่อนข้างต่างกันมากขึ้นตามความเร็วที่ลดลง เนื่องจากกำลังและแรงบิดที่ได้จากมอเตอร์จะมีค่าน้อยตามความเร็วที่ต่ำ จึงสามารถสังเกตเห็นความแตกต่างของค่าที่ได้จากแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์และชุดจำลองกึ่งหุ่นยนต์จริงมากขึ้น

การบันทึกผลการทดลองนั้นค่าแรงบิดที่อ่านได้จากเครื่องวัดแรงบิดซึ่งเป็นแบบสปริง ในการทดสอบชุดจำลองกึ่งหุ่นยนต์ที่ความเร็วต่างๆ เมื่อต้องการทดสอบที่ความเร็วค่าใหม่ จะต้องทำการตั้งเครื่องวัดแรงบิดไปที่จุดศูนย์เสมอ ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากความล้าของสปริงทำให้ค่าที่อ่านได้จากเครื่องวัดแรงบิดอาจมีความคลาดเคลื่อนจากค่าจริง ทั้งนี้อาจจะเป็นผลมาจากปัจจัยอื่นๆ เช่น ปัจจัยทางด้านบุคคล ซึ่งต้องในการอ่านค่าแรงบิดต้องคาดคะเนด้วยสายตา และค่าการส่งข้อมูลใหม่มายังหน้าจอแสดงผล LCD ค่อนข้างล่าช้า ซึ่งถ้าใช้ตัวประมวลผลที่มีความเร็วมากยิ่งขึ้น ค่าที่ส่งมายังอุปกรณ์แสดงผลก็จะยิ่งมีความรวดเร็วและทันต่อการเปลี่ยนแปลงของมอเตอร์ได้มากยิ่งขึ้น

## เอกสารอ้างอิง

- [1] J. F. Manwell, J. G. McGowan and A. L. Rogers, **Wind Energy Explained, Theory, Design and Application**, Chichester, John Wiley & Sons Ltd, 2002
- [2] B. Neammanee, S. Sirisumrannukul and S. Chatratana, “Development of a Wind Turbine Simulator for Wind Generator Testing,” **International Energy Journal.**, vol.8, 2007, pp. 21-28.
- [3] A. Masmoudi, L. Krichen and A. Ouali, “Voltage control of a variable speed wind turbine connected to an isolated load,” **Energy Conversion and Management.**, vol.59, 2012 , pp. 19-26
- [4] P. Jansuya and Y. Kumsuwan, “Design of MATLAB/Simulink Modelink of Fixed Pitch Angle Winturbine Simulator,” **Energy Procedia.**, vol.34, 2013, pp. 362-370
- [5] H.M. Kojabadi, L. Chang, and T. Boutot, “Development of a Novel Windturbine Simulator for Wind Energy Conversion System Using an Inverter-Controlled Induction Motor,” **IEEE Transactions on Energy Conversion**, vol. 19, no. 3, pp. 547-552, 2004
- [6] เพลิน จันทร์สุขะ, “เครื่องจำลองกังหันลมชนิดมุมใบพัดคงที่โดยใช้ระบบขับเคลื่อนไฟฟ้า กระแสตรงแบบสี่จุดภาค,” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2556.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก  
บทความทางวิชาการ  
ชุดจำลองกังหันลม

**Wind Turbine Simulator**

ณัฐภณ บุญช่วย สุจินดา วัฒนะ สุรศักดิ์ อามระดิษ และอุเทน มีศรี  
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
1 ซอย ถลองกรุง 1 ลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520 โทรศัพท์ 02-329-8000 ต่อ 3925

E-mail: ice\_co-admin@hotmail.com , kpn3344@gmail.com , surasak\_2534@hotmail.com , uten.ms1951@gmail.com

**บทคัดย่อ**

บทความนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาการจำลองคุณลักษณะของลมที่ปะทะกับใบพัดของกังหันลมชนิดมุมใบพัดคงที่ และสร้างเครื่องจำลองกังหันลมให้เหมือนกับการทำงานของกังหันลมที่จำลองคุณลักษณะได้จากโปรแกรม MATLAB/Simulink โดยใช้ระบบการขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ด้วยวงจร ดิซี-ดิซี คอนเวอร์เตอร์ แบบวงจรถอนแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งจะอาศัยหลักการควบคุมแรงบิดของมอเตอร์ไฟฟ้า โดยการควบคุมกระแสไฟฟ้าที่ขั้วอาร์มาเจอร์ของมอเตอร์ทำได้ด้วยการควบคุมแรงดันที่จ่ายให้กับขดลวดอาร์มาเจอร์ในการสวิตช์ด้วยสัญญาณขับที่ดับเบิลยูเอ็ม จากการเปรียบเทียบจากกระแสจริงที่วัดได้จากมอเตอร์ กับกระแสที่ได้จากการจำลองใน MATLAB/Simulink เพื่อใช้เป็นกระแสอ้างอิงในการทำให้แรงบิดของมอเตอร์เป็นไปในลักษณะเช่นเดียวกับแรงบิดที่เกิดจากกังหันลมจริง โดยคาดหวังว่าการจำลองนี้จะช่วยพัฒนาถึงศักยภาพของกังหันลม เนื่องจากการลงทุนในการจำลองจริงนั้นมีต้นทุน และเสียเวลาในการทดสอบนาน ดังนั้นการจำลองด้วยชุดจำลองกังหันลมนี้จึงเป็นตัวเลือกที่ดีในการนำมาศึกษา

**คำสำคัญ:** เครื่องจำลองกังหันลม , พัลส์วิดมอดูเลชั่น , มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

**Abstract**

This paper aims to study the simulation of wind characteristics against the fixed blade wind turbine and to construct a wind simulator using a DC drive with dc chopper operating as wind turbine characteristics simulating MATLAB/Simulink by controlling torque of motor from armature current controlled. The armature current controlled is able to adjust voltage source supplying armature winding from switching with gate drive signal PWM was derived from actual current comparing with current simulating MATLAB/Simulink to be reference current and torque occurred as real wind turbine due to costly investment of actual simulation as well as time consuming experiment. Therefore, wind turbine simulator is the best alternative for studying of wind energy.

**Keywords:** Wind Turbine Simulator , Pulse Width Modulation , DC Motor

**1. บทนำ**

การผลิตไฟฟ้าในปัจจุบันส่วนใหญ่จะใช้เชื้อเพลิงจากซากดึกดำบรรพ์ ซึ่งเชื้อเพลิงชนิดนี้นับวันจะมีปริมาณลดลงเรื่อย ๆ จึงมีแนวคิดที่จะใช้พลังงานทดแทนมาใช้ในการผลิตไฟฟ้า พลังงานลมเป็นพลังงานทดแทนที่น่าสนใจที่จะนำมาใช้ในการผลิตไฟฟ้า เพราะไม่ต้องเสียค่าเชื้อเพลิง และเป็นพลังงานหมุนเวียนจากธรรมชาติที่ใช้ได้ไม่มีวันหมด เนื่องจากประเทศไทยยังไม่มีการลงทุนให้กับการผลิตไฟฟ้าด้วยกังหันลมอย่างจริงจังเนื่องจากอุปกรณ์มีราคาแพง ต้องการพื้นที่ในการติดตั้ง และความเร็วลมเฉลี่ยภายในประเทศไทยมีค่าไม่สูงมากนัก ดังนั้นการที่จะทดสอบกำลังการผลิตไฟฟ้าด้วยกังหันลมควรจะใช้เครื่องจำลองกังหันลมมากกว่า เนื่องจากมีความสะดวก และต้นทุนที่ถูกกว่า

**2. คุณลักษณะของกังหันลม**

กำลังและแรงบิดของเครื่องจำลองกังหันลม กำลังทางกลที่เกิดขึ้นในตัวเพลลาของโรเตอร์ที่เกิดขึ้นจากการหมุนของใบพัดของกังหันลมสามารถจำลองได้ด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ดังนี้

$$P_m = \frac{1}{2} \rho C_p (\lambda, \beta) r^2 v_w^3 \quad (1)$$

เมื่อ

$P_m$  คือ กำลังทางกลที่เกิดขึ้นบนกังหันลม (วัตต์)

$\rho$  คือ ค่าความหนาแน่นอากาศ มีค่าประมาณ 1.225 (กิโลกรัม/เมตร<sup>3</sup>)

$r$  คือ รัศมีของใบพัด (เมตร)

$v_w$  คือ ค่าความเร็วลม (เมตร/วินาที)

$C_p (\lambda, \beta)$  คือ ค่าสัมประสิทธิ์กำลังไฟฟ้าของกังหันลม

$\lambda$  คือ อัตราส่วนระหว่างความเร็วปลายใบ (เมตร/วินาที)

ต่อความเร็ว (เมตร/วินาที)

$\beta$  คือ มุมบิดของใบพัด (องศา)

โดยที่ค่าสัมประสิทธิ์กำลังไฟฟ้าของกังหันลม  $C_p(\lambda, \beta)$  จะขึ้นอยู่กับอัตราส่วนระหว่างความเร็วปลายใบพัด  $\lambda$  และมุมบิดของใบพัด  $\beta$  ดังแสดงได้จาก

$$C_p(\lambda, \beta) = c_1 \left( \frac{c_2}{\lambda_i} - c_3 \beta - c_4 \right) e^{\frac{-c_5}{\lambda_i}} + c_6 \lambda \quad (2)$$

กำหนดให้  $c_1 = 0.5176$   $c_2 = 116$   $c_3 = 0.4$   $c_4 = 5$   $c_5 = 21$  และ  $c_6 = 0.0068$  ตามลำดับ ความสัมพันธ์ของ  $\lambda_i$  จะขึ้นอยู่กับ

$$\frac{1}{\lambda_i} = \frac{1}{\lambda + 0.08\beta} - \frac{0.035}{\beta^3 + 1} \quad (3)$$

จากสมการ (1) ค่าสัมประสิทธิ์กำลังไฟฟ้า  $C_p$  จะขึ้นอยู่กับการออกแบบลักษณะตัวใบพัดกังหันลม โดยที่จะถูกกำหนดได้จากค่าอัตราความเร็วเสริม  $\lambda$  และค่ามุมบิดของใบพัด  $\beta$  ซึ่งความสัมพันธ์ของค่าอัตราความเร็วเสริม  $\lambda$  กับความเร็วรอบของตัวกังหันลม  $\omega_i$  (Rotational speed of the wind turbine) และรัศมีของใบพัดกับค่าความเร็วลมสามารถหาได้จาก

$$\lambda = \frac{\omega_i r}{v_w} \quad (4)$$

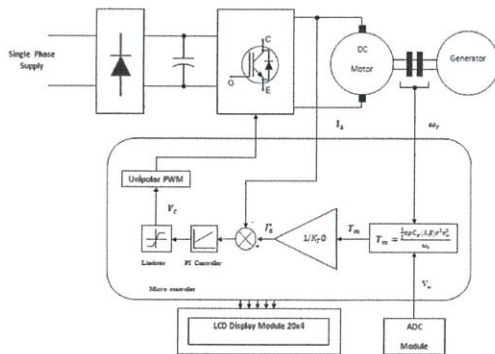
ในส่วนของแรงบิดทางกล  $T_m$  ที่กังหันลมสร้างขึ้นนั้น จะพิจารณาได้จากกำลังทางกลในสมการ (1) ซึ่งสามารถนำมาอธิบายแรงบิดทางกล  $T_m$  ของกังหันลมในเทอมของสัมประสิทธิ์แรงบิด  $C_t$  (Torque coefficient) ได้คือ

$$T_m = \frac{P_m}{\omega_i} = \frac{1}{2} \pi \rho C_t(\lambda, \beta) r^3 v_w^2 \quad (5)$$

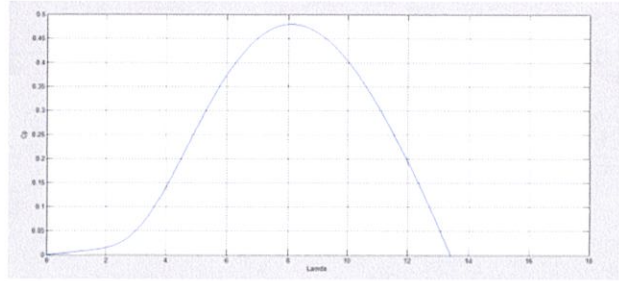
เมื่อความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์แรงบิด  $C_t$  และค่าสัมประสิทธิ์กำลังไฟฟ้า  $C_p$  สามารถแสดงได้จาก

$$C_p(\lambda, \beta) = \frac{P_m}{\pi \rho r^2 v_w^3} = \frac{\omega_i r}{v_w} C_t(\lambda, \beta) = \lambda C_t(\lambda, \beta) \quad (6)$$

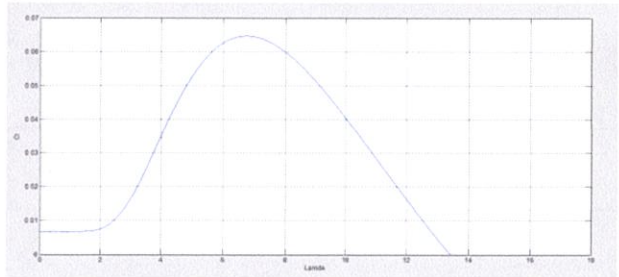
3. บล็อกไดอะแกรม และ ผลการจำลอง



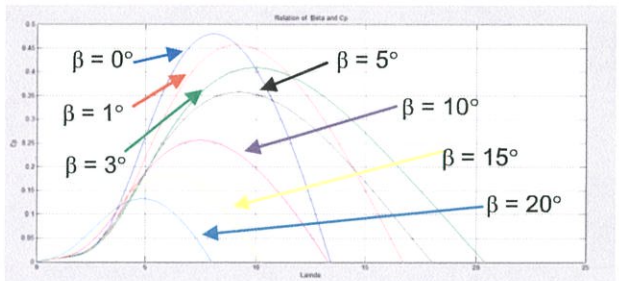
รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมของเครื่องจำลองกังหันลมชนิดมุมใบพัดคงที่



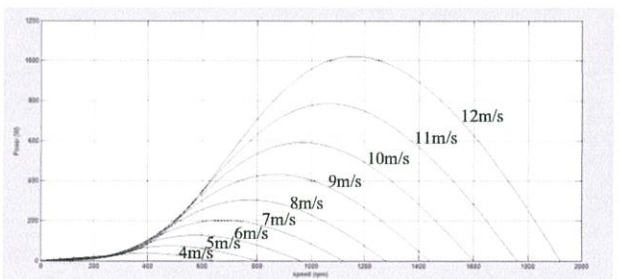
รูปที่ 3.2 ความสัมพันธ์ของความเร็วเสริม( $\lambda$ ) กับสัมประสิทธิ์กำลัง( $C_p$ )



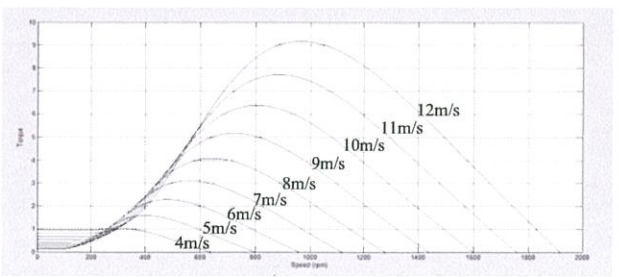
รูปที่ 3.3 ความสัมพันธ์ของความเร็วเสริม( $\lambda$ ) กับสัมประสิทธิ์แรงบิด( $C_t$ )



รูปที่ 3.4 ความสัมพันธ์ของค่ามุมบิดใบพัด( $\beta$ ) กับสัมประสิทธิ์กำลัง( $C_p$ )



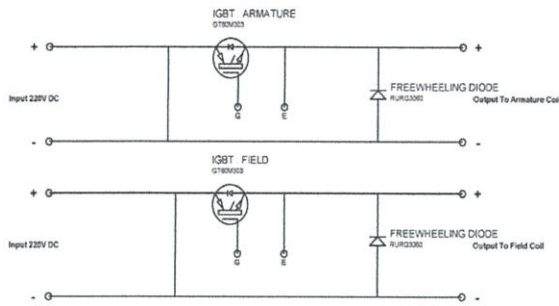
รูปที่ 3.5 ความสัมพันธ์ของความเร็วรอบ ( $n$ ) กับกำลังทางกล ( $P_m$ )



รูปที่ 3.6 ความสัมพันธ์ระหว่าง ความเร็วรอบ ( $n$ ) กับแรงบิด ( $T_m$ )

4. วงจรทอนแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง

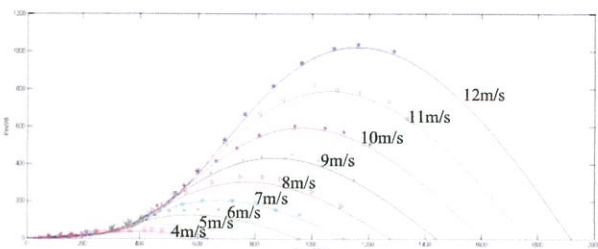
เมื่อป้อนแรงดันที่พิกัด 220 VDC ให้กับมอเตอร์ การปรับระดับแรงดันสามารถทำได้โดยการปรับความกว้างพัลส์หรือค่าความถี่ของสัญญาณ PWM ที่มีความถี่ 20kHz ซึ่งในขณะที่สัญญาณ PWM มีค่าเป็น 5V หรือ Logic 1 ที่ออกจากขาไมโครคอนโทรลเลอร์แรงดันที่จ่ายให้กับมอเตอร์จะมีค่า 220 V และเมื่อสัญญาณ PWM มีค่าเป็น 0V หรือ Logic 0 แรงดันที่จ่ายให้กับมอเตอร์จะมีค่า 0 V ซึ่งในขณะนั้นจะมีกระแสไหลในวงจรผ่าน free-wheeling Diode ซึ่งค่อนข้างนานอยู่กับมอเตอร์ไฟฟ้า ทำให้มอเตอร์สามารถเพิ่ม-ลดความเร็วได้ โดยความเร็วของมอเตอร์จะแปรผันตรงกับค่าแรงดันที่จ่ายให้กับขดลวดอาร์มาเจอร์



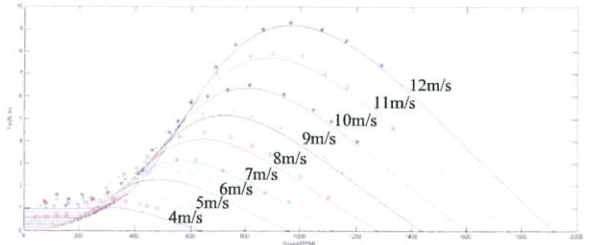
รูปที่ 4.1 วงจรทอนแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงด้วยสวิตซ์กำลัง IGBT

5. ผลการทดสอบ

การทดลองจะทำการจำลองคุณลักษณะของกังหันลมตามที่จำลองได้โดยโปรแกรม MATLAB/Simulink เปรียบเทียบกับที่จำลองได้โดยใช้ชุดจำลองกังหันลมจริง ซึ่งการทดลองจะทำการทดลองที่ความเร็วลมเป็นจำนวนเต็มที่มีความเร็ว 4-12 m/s โดยค่ากำลังทางกลที่ออกมาจากมอเตอร์แรงบิดทางกลที่ออกมาจากมอเตอร์ แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ถูกป้อนให้กับมอเตอร์ จะถูกบันทึกค่าเทียบกับความเร็วรอบของโรเตอร์ ดังตารางที่ 5.1 และทำการพล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบโรเตอร์กับกำลังทางกล แรงบิด จากชุดจำลองกังหันลมและรูปคลื่นแรงดันและกระแสที่พิกัด ที่ความเร็วลม 4-12m/s โดยการทดสอบที่ความเร็วลมค่าหนึ่งจะให้มอเตอร์ทำการจ่ายโหลดที่โหลดต่างๆแตกต่างกัน 13 ค่า เพื่อดูแนวโน้มและเปรียบเทียบระหว่างแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์และชุดจำลองกังหันลม



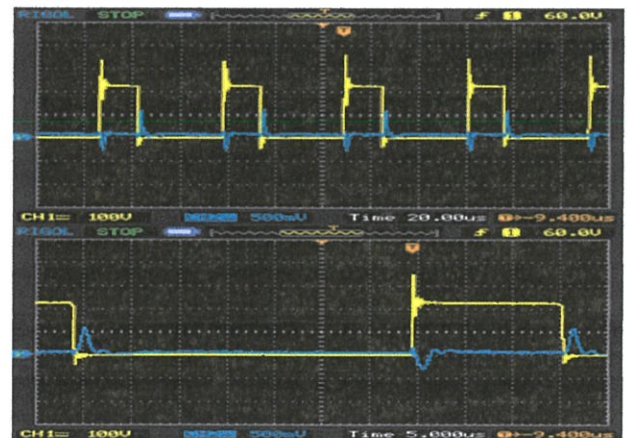
รูปที่ 5.1 ความสัมพันธ์ของกำลังทางกลกับความเร็วโรเตอร์โดยเปรียบเทียบระหว่างแบบจำลองคอมพิวเตอร์และชุดจำลองกังหันลม



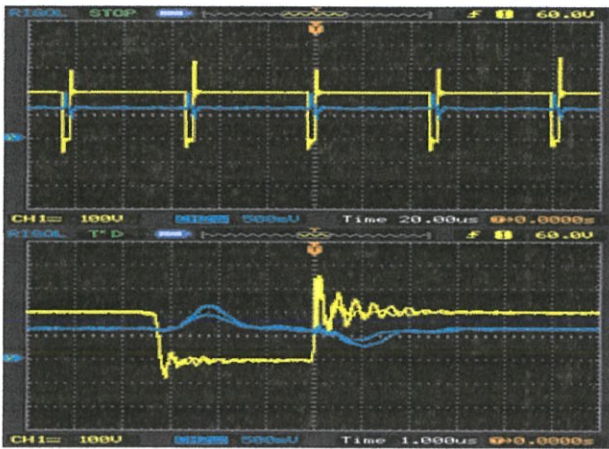
รูปที่ 5.2 ความสัมพันธ์ของแรงบิดทางกลกับความเร็วโรเตอร์โดยเปรียบเทียบระหว่างแบบจำลองคอมพิวเตอร์และชุดจำลองกังหันลม

ตารางที่ 5.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าพารามิเตอร์ต่างๆของชุดจำลองกังหันลมที่ 4-12 m/s ที่กำลังสูงสุดของแต่ละความเร็วลม

WindSpeed (m/s)	Speed (RPM)	Torque (N-m)	OutputPower (watt)	V (V)	I (A)
4	366	1.3	49.80	65	1.26
5	485	2.2	111.68	84	1.54
6	554	2.6	150.76	93	1.95
7	718	2.7	202.91	115	2.02
8	749	4.2	329.26	123	2.92
9	824	5.1	439.85	134	3.56
10	941	6.1	600.80	151	4.15
11	1088	7	797.14	173	4.67
12	1164	8.5	1035.57	185	5.55



รูปที่ 5.3 รูปคลื่นแรงดันและกระแสที่ความเร็วลม 4m/s ที่กำลังสูงสุด (เส้นสีเขียว) แรงดัน 100V/Div (เส้นสีฟ้า) กระแส 5A/Div (บน) Time/Div = 20 us (ล่าง) Time/Div = 1 us



รูปที่ 5.4 รูปคลื่นแรงดันและกระแสที่ความเร็วลม 12m/s ที่กำลังสูงสุด (เส้นสีเหลือง) แรงดัน 100V/Div (เส้นสีฟ้า) กระแส 5A/Div (บน) Time/Div = 20 us (ล่าง) Time/Div = 1 us

## 6.สรุป

จากการทดลองจะสามารถสังเกตเห็นได้ว่าเมื่อแรงบิดจากต้นกำลังของมอเตอร์และแรงบิดต้านจากโหลดสมดุลกัน มอเตอร์จะหมุนที่ความเร็ว ความเร็วที่นั้นตลอดโดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงความเร็ว ซึ่งจากผลการทดลอง ในหลายๆจุดความเร็วโรเตอร์นั้น ทั้งที่ความเร็วลม 4-12m/s จะมีแนวโน้ม เหมือนในทางทฤษฎี

เมื่อสังเกตรูปคลื่นแรงดันและกระแสที่วงจรมอเตอร์ของมอเตอร์ ไฟฟ้ากระแสตรง สามารถสังเกตเห็นได้ว่า ที่ความเร็วรอบต่างๆของมอเตอร์ นั้น ค่าคิวดีไซน์เกิล ที่ใช้ขับมอเตอร์ไฟฟ้านั้นมีค่าค่อนข้างมากกว่าที่ความเร็ว มอเตอร์ต่ำๆ ทั้งนี้เป็นผลมาจากที่ความเร็วรอบสูงๆนั้น มอเตอร์จะต้อง สร้างแรงบิดออกมาตามสมการคุณลักษณะของกังหันลม ซึ่งจะเห็นได้ว่า มีกำลังสูงสุด และแรงบิดสูงสุดปรากฏขึ้นที่ค่าความเร็วมอเตอร์ความเร็ว หนึ่ง โดยที่ค่าความเร็วมอเตอร์ความเร็วที่นั้น ค่าคิวดีไซน์เกิลจะมากที่สุดในช่วง ความเร็วลมที่เลือก โดยไมโครคอนโทรลเลอร์จะพยายามปรับค่าคิวดีไซน์เกิล เพื่อควบคุมกระแสอาเมอร์เจอร์ให้เป็นไปตามที่คำนวณได้ และเมื่อกระแสอาเมอร์เจอร์เป็นไปตามที่คำนวณได้ ก็จะได้กราฟแรงบิดและกำลังทางกลเป็นไปในลักษณะเดียวกับกราฟที่จำลองได้ในโปรแกรม MATLAB/Simulink

เมื่อสังเกตรูปคลื่นกระแสอาเมอร์เจอร์จะพบว่ากระแสมีการพุ่งขึ้น ในช่วงที่สัญญาณ PWM เป็น Logic 1 หรือช่วงขาขึ้น และกระแสมีการลดลง ในช่วงที่สัญญาณ PWM มี Logic เป็น 0 ทั้งนี้เนื่องจากในช่วงที่สัญญาณ PWM เป็น Logic 1 นั้นเป็นช่วงที่จ่ายกำลังให้กับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแส ะต้องพุ่งสูงขึ้น และในช่วงที่สัญญาณ PWM มี Logic เป็น 0 กระแสค่อยๆ ลดลงแต่ยังสามารถไหลได้ เนื่องจากเป็นช่วงที่ไม่มีกำลังไฟฟ้าจ่ายให้กับ มอเตอร์ไฟฟ้า แต่มอเตอร์ยังคงหมุนอยู่จึงเกิดการจ่ายพลังงานย้อนกลับ กิดขึ้น โดยผ่านตัว Free Wheeling Diode ที่ต่อขนานเป็นลูปอยู่ที่วงจรรี มเจอร์

## 7.กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ รศ.ดร.วิจิตร กิณเรศ ผู้ซึ่งให้ความรู้ คำแนะนำและ ความเมตตาที่ให้โอกาส ตลอดจนแนวคิดที่ดีที่ใช้ในการทำงานจนการจัดทำ บทความนี้จนเสร็จสมบูรณ์ คณะผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง

## เอกสารอ้างอิง

- [1] B. Neammanee, S. Sirisumrannukul and S. Chatratana, "Development of a Wind Turbine Simulator for Wind Generator Testing," *International Energy Journal.*, vol.8, 2007, pp. 21-28.
- [2] H.M. Kojabadi, L. Chang, and T. Boutot, "Development of a Novel Windturbine Simulator for Wind Energy Conversion System Using an Inverter - Controlled Induction Motor," *IEEE Transactions on Energy Conversion*, vol. 19, no. 3, pp. 547-552, 2004
- [3] เฟลิน จันทรสุยะ, "เครื่องจำลองกังหันลมชนิดมุมใบพัดคงที่ โดยใช้ระบบขับเคลื่อนไฟฟ้ากระแสตรงแบบสี่จุดภาค," *วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า, มหาวิทยาลัย เชียงใหม่* 2556.



นายณัฐภณ บุญช่วย สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนสวนกุหลาบวิทยาลัย รังสิต ปริญญาตรีวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



นายสุรศักดิ์ อามระดิษ สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนบดินทรเดชา (สิงห์ สิงหเสนี4) ปริญญาตรีวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



นายสุจินดา วัฒนนะ สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนกาญจนาภิเษก วิทยาลัยนครปฐม ปริญญาตรีวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



นายอุเทน มีศรี สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนนวมินทราชินูทิศ ศศรีวิทยา๒ ปริญญาตรีวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ภาคผนวก ก  
บทความทางวิชาการ  
ชุดจำลองกังหันลม

**Wind Turbine Simulator**

ณัฐภณ บุญช่วย สุจินดา วัฒนะ สุรศักดิ์ อามระดิษ และอุเทน มีศรี  
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
1 ซอย ถลองกรุง 1 ลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520 โทรศัพท์ 02-329-8000 ต่อ 3925

E-mail: ice\_co-admin@hotmail.com , kpn3344@gmail.com , surasak\_2534@hotmail.com , uten.ms1951@gmail.com

**บทคัดย่อ**

บทความนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาการจำลองคุณลักษณะของลมที่ปะทะกับใบพัดของกังหันลมชนิดมุมใบพัดคงที่ และสร้างเครื่องจำลองกังหันลมให้เหมือนกับการทำงานของกังหันลมที่จำลองคุณลักษณะได้จากโปรแกรม MATLAB/Simulink โดยใช้ระบบการขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ด้วยวงจร ดิซี-ดิซี คอนเวอร์เตอร์ แบบวงจรถอนแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งจะอาศัยหลักการควบคุมแรงบิดของมอเตอร์ไฟฟ้า โดยการควบคุมกระแสไฟฟ้าที่ขั้วอาร์มาเจอร์ของมอเตอร์ทำได้ด้วยการควบคุมแรงดันที่จ่ายให้กับขดลวดอาร์มาเจอร์ในการสวิตซ์ด้วยสัญญาณขับที่ดับเบิลยูเอ็ม จากการเปรียบเทียบจากกระแสจริงที่วัดได้จากมอเตอร์ กับกระแสที่ได้จากการจำลองใน MATLAB/Simulink เพื่อใช้เป็นกระแสอ้างอิงในการทำให้แรงบิดของมอเตอร์เป็นไปในลักษณะเช่นเดียวกับแรงบิดที่เกิดจากกังหันลมจริง โดยคาดหวังว่าการจำลองนี้จะช่วยพัฒนาถึงศักยภาพของกังหันลม เนื่องจากการลงทุนในการจำลองจริงนั้นมีต้นทุน และเสียเวลาในการทดสอบนาน ดังนั้นการจำลองด้วยชุดจำลองกังหันลมนี้จึงเป็นตัวเลือกที่ดีในการนำมาศึกษา

**คำสำคัญ:** เครื่องจำลองกังหันลม , พัลส์วิดมอดูเลชัน , มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

**Abstract**

This paper aims to study the simulation of wind characteristics against the fixed blade wind turbine and to construct a wind simulator using a DC drive with dc chopper operating as wind turbine characteristics simulating MATLAB/Simulink by controlling torque of motor from armature current controlled. The armature current controlled is able to adjust voltage source supplying armature winding from switching with gate drive signal PWM was derived from actual current comparing with current simulating MATLAB/Simulink to be reference current and torque occurred as real wind turbine due to costly investment of actual simulation as well as time consuming experiment. Therefore, wind turbine simulator is the best alternative for studying of wind energy.

**Keywords:** Wind Turbine Simulator , Pulse Width Modulation , DC Motor

**1. บทนำ**

การผลิตไฟฟ้าในปัจจุบันส่วนใหญ่จะใช้เชื้อเพลิงจากซากดึกดำบรรพ์ ซึ่งเชื้อเพลิงชนิดนี้นับวันจะมีปริมาณลดลงเรื่อย ๆ จึงมีแนวคิดที่จะใช้พลังงานทดแทนมาใช้ในการผลิตไฟฟ้า พลังงานลมเป็นพลังงานทดแทนที่น่าสนใจที่จะนำมาใช้ในการผลิตไฟฟ้า เพราะไม่ต้องเสียค่าเชื้อเพลิง และเป็นพลังงานหมุนเวียนจากธรรมชาติที่ใช้ได้ไม่มีวันหมด เนื่องจากประเทศไทยยังไม่มีการลงทุนให้กับการผลิตไฟฟ้าด้วยกังหันลมอย่างจริงจังเนื่องจากอุปกรณ์มีราคาแพง ต้องการพื้นที่ในการติดตั้ง และความเร็วลมเฉลี่ยภายในประเทศไทยมีค่าไม่สูงมากนัก ดังนั้นการที่จะทดสอบกำลังการผลิตไฟฟ้าด้วยกังหันลมควรจะใช้เครื่องจำลองกังหันลมมากกว่า เนื่องจากมีความสะดวก และต้นทุนที่ถูกกว่า

**2. คุณลักษณะของกังหันลม**

กำลังและแรงบิดของเครื่องจำลองกังหันลม กำลังทางกลที่เกิดขึ้นในตัวเพลลาของโรเตอร์ที่เกิดขึ้นจากการหมุนของใบพัดของกังหันลมสามารถจำลองได้ด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ดังนี้

$$P_m = \frac{1}{2} \rho C_p (\lambda, \beta) r^2 v_w^3 \quad (1)$$

เมื่อ

$P_m$  คือ กำลังทางกลที่เกิดขึ้นบนกังหันลม (วัตต์)

$\rho$  คือ ค่าความหนาแน่นอากาศ มีค่าประมาณ 1.225 (กิโลกรัม/เมตร<sup>3</sup>)

$r$  คือ รัศมีของใบพัด (เมตร)

$v_w$  คือ ค่าความเร็วลม (เมตร/วินาที)

$C_p (\lambda, \beta)$  คือ ค่าสัมประสิทธิ์กำลังไฟฟ้าของกังหันลม

$\lambda$  คือ อัตราส่วนระหว่างความเร็วปลายใบ (เมตร/วินาที)

ต่อความเร็ว (เมตร/วินาที)

$\beta$  คือ มุมบิดของใบพัด (องศา)

โดยที่ค่าสัมประสิทธิ์กำลังไฟฟ้าของกังหันลม  $C_p(\lambda, \beta)$  จะขึ้นอยู่กับอัตราส่วนระหว่างความเร็วปลายใบพัด  $\lambda$  และมุมบิดของใบพัด  $\beta$  ดังแสดงได้จาก

$$C_p(\lambda, \beta) = c_1 \left( \frac{c_2}{\lambda_i} - c_3 \beta - c_4 \right) e^{\frac{-c_5}{\lambda_i}} + c_6 \lambda \quad (2)$$

กำหนดให้  $c_1 = 0.5176$   $c_2 = 116$   $c_3 = 0.4$   $c_4 = 5$   $c_5 = 21$  และ  $c_6 = 0.0068$  ตามลำดับ ความสัมพันธ์ของ  $\lambda_i$  จะขึ้นอยู่กับ

$$\frac{1}{\lambda_i} = \frac{1}{\lambda + 0.08\beta} - \frac{0.035}{\beta^3 + 1} \quad (3)$$

จากสมการ (1) ค่าสัมประสิทธิ์กำลังไฟฟ้า  $C_p$  จะขึ้นอยู่กับารออกแบบลักษณะตัวใบพัดกังหันลม โดยที่จะถูกกำหนดได้จากค่าอัตราความเร็วเสริม  $\lambda$  และค่ามุมบิดของใบพัด  $\beta$  ซึ่งความสัมพันธ์ของค่าอัตราความเร็วเสริม  $\lambda$  กับความเร็วรอบของตัวกังหันลม  $\omega_i$  (Rotational speed of the wind turbine) และรัศมีของใบพัดกับค่าความเร็วลมสามารถหาได้จาก

$$\lambda = \frac{\omega_i r}{v_w} \quad (4)$$

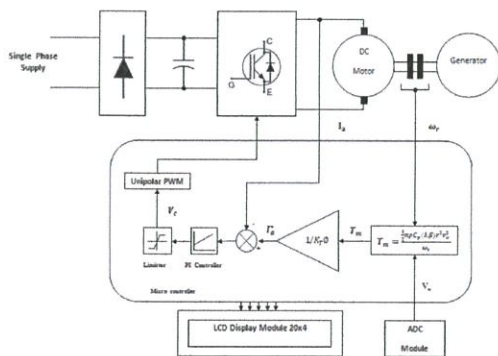
ในส่วนของแรงบิดทางกล  $T_m$  ที่กังหันลมสร้างขึ้นนั้น จะพิจารณาได้จากกำลังทางกลในสมการ (1) ซึ่งสามารถนำมาอธิบายแรงบิดทางกล  $T_m$  ของกังหันลมในเทอมของสัมประสิทธิ์แรงบิด  $C_t$  (Torque coefficient) ได้คือ

$$T_m = \frac{P_m}{\omega_i} = \frac{1}{2} \pi \rho C_t(\lambda, \beta) r^3 v_w^2 \quad (5)$$

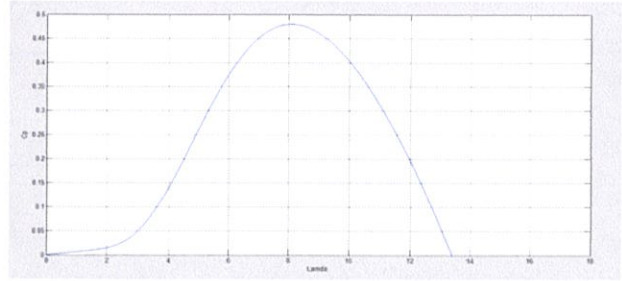
เมื่อความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์แรงบิด  $C_t$  และค่าสัมประสิทธิ์กำลังไฟฟ้า  $C_p$  สามารถแสดงได้จาก

$$C_p(\lambda, \beta) = \frac{P_m}{\frac{1}{2} \pi \rho r^2 v_w^3} = \frac{\omega_i r}{v_w} C_t(\lambda, \beta) = \lambda C_t(\lambda, \beta) \quad (6)$$

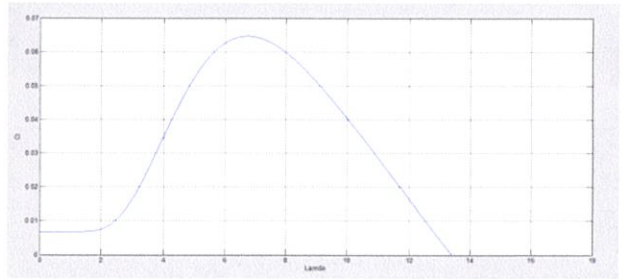
3. บล็อกไดอะแกรม และ ผลการจำลอง



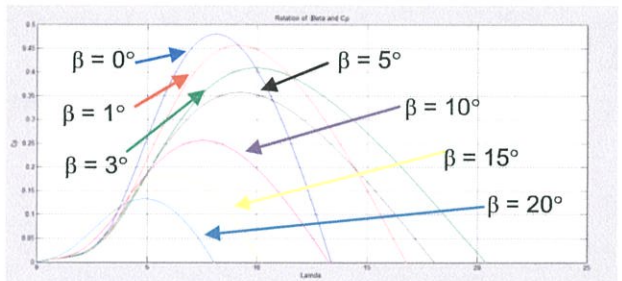
รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมของเครื่องจำลองกังหันลมชนิดมุมใบพัดคงที่



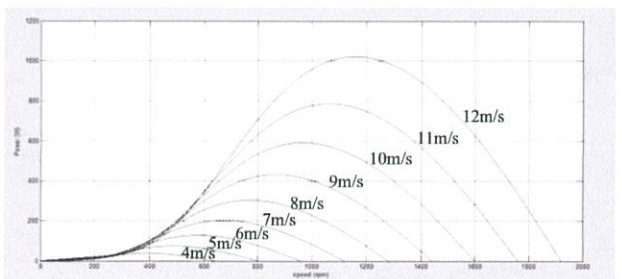
รูปที่ 3.2 ความสัมพันธ์ของความเร็วเสริม( $\lambda$ ) กับสัมประสิทธิ์กำลัง( $C_p$ )



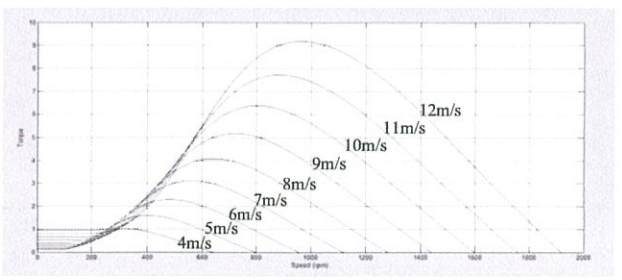
รูปที่ 3.3 ความสัมพันธ์ของความเร็วเสริม( $\lambda$ ) กับสัมประสิทธิ์แรงบิด( $C_t$ )



รูปที่ 3.4 ความสัมพันธ์ของค่ามุมบิดใบพัด( $\beta$ ) กับสัมประสิทธิ์กำลัง ( $C_p$ )



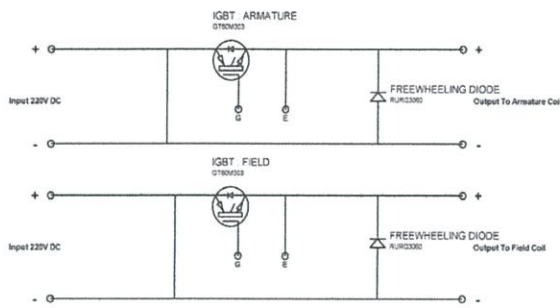
รูปที่ 3.5 ความสัมพันธ์ของความเร็วรอบ (n) กับกำลังทางกล ( $P_m$ )



รูปที่ 3.6 ความสัมพันธ์ระหว่าง ความเร็วรอบ (n) กับแรงบิด ( $T_m$ )

4. วงจรทอนแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง

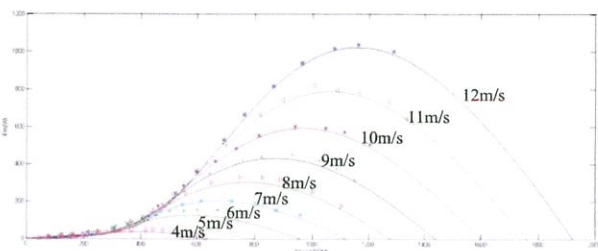
เมื่อป้อนแรงดันที่พิกัด 220 VDC ให้กับมอเตอร์ การปรับระดับแรงดันสามารถทำได้โดยการปรับความกว้างพัลส์หรือค่าความถี่ของสัญญาณ PWM ที่มีความถี่ 20kHz ซึ่งในขณะที่สัญญาณ PWM มีค่าเป็น 5V หรือ Logic 1 ที่ออกจากขาไมโครคอนโทรลเลอร์แรงดันที่จ่ายให้กับมอเตอร์จะมีค่า 220 V และเมื่อสัญญาณ PWM มีค่าเป็น 0V หรือ Logic 0 แรงดันที่จ่ายให้กับมอเตอร์จะมีค่า 0 V ซึ่งในขณะนั้นจะมีกระแสไหลในวงจรผ่าน free-wheeling Diode ซึ่งต่อขนานอยู่กับมอเตอร์ไฟฟ้า ทำให้มอเตอร์สามารถเพิ่ม-ลดความเร็วได้ โดยความเร็วของมอเตอร์จะแปรผันตรงกับค่าแรงดันที่จ่ายให้กับขดลวดอาร์มาเจอร์



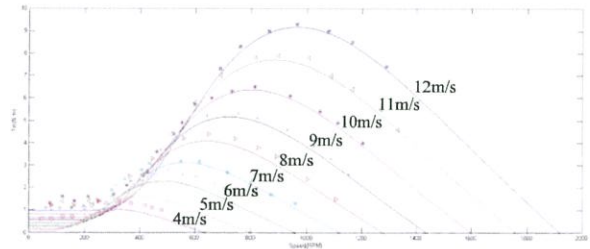
รูปที่ 4.1 วงจรทอนแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงด้วยสวิตช์กำลัง IGBT

5. ผลการทดสอบ

การทดลองจะทำการจำลองคุณลักษณะของกังหันลมตามที่จำลองได้โดยโปรแกรม MATLAB/Simulink เปรียบเทียบกับที่จำลองได้โดยใช้ชุดจำลองกังหันลมจริง ซึ่งการทดลองจะทำการทดลองที่ความเร็วลมเป็นจำนวนเต็มที่มีความเร็ว 4-12 m/s โดยค่ากำลังทางกลที่ออกจากมอเตอร์แรงบิดทางกลที่ออกจากมอเตอร์ แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ถูกป้อนให้กับมอเตอร์ จะถูกบันทึกค่าเทียบกับความเร็วรอบของโรเตอร์ ดังตารางที่ 5.1 และทำการพล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบโรเตอร์กับกำลังทางกล แรงบิด จากชุดจำลองกังหันลมและรูปคลื่นแรงดันและกระแสที่พิกัด ที่ความเร็วลม 4-12m/s โดยการทดสอบที่ความเร็วลมค่าหนึ่งจะให้มอเตอร์ทำการจ่ายโหลดที่โหลดต่างๆแตกต่างกัน 13 ค่า เพื่อดูแนวโน้มและเปรียบเทียบระหว่างแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์และชุดจำลองกังหันลม



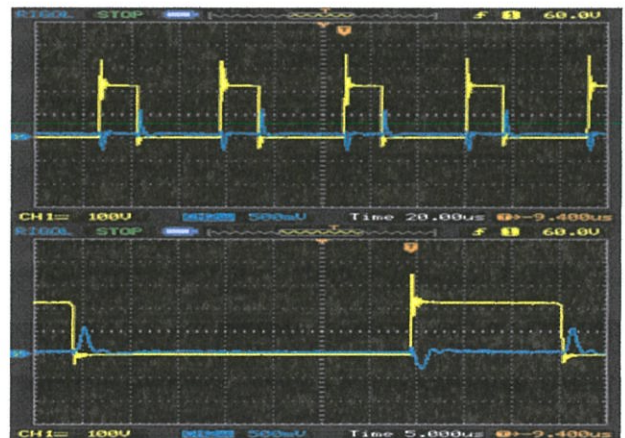
รูปที่ 5.1 ความสัมพันธ์ของกำลังทางกลกับความเร็วโรเตอร์โดยเปรียบเทียบระหว่างแบบจำลองคอมพิวเตอร์และชุดจำลองกังหันลม



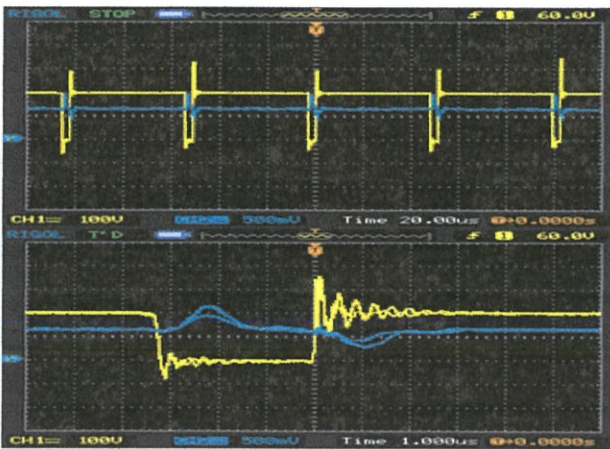
รูปที่ 5.2 ความสัมพันธ์ของแรงบิดทางกลกับความเร็วโรเตอร์โดยเปรียบเทียบระหว่างแบบจำลองคอมพิวเตอร์และชุดจำลองกังหันลม

ตารางที่ 5.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าพารามิเตอร์ต่างๆของชุดจำลองกังหันลมที่ 4-12 m/s ที่กำลังสูงสุดของแต่ละความเร็วลม

WindSpeed (m/s)	Speed (RPM)	Torque (N-m)	OutputPower (watt)	V (V)	I (A)
4	366	1.3	49.80	65	1.26
5	485	2.2	111.68	84	1.54
6	554	2.6	150.76	93	1.95
7	718	2.7	202.91	115	2.02
8	749	4.2	329.26	123	2.92
9	824	5.1	439.85	134	3.56
10	941	6.1	600.80	151	4.15
11	1088	7	797.14	173	4.67
12	1164	8.5	1035.57	185	5.55



รูปที่ 5.3 รูปคลื่นแรงดันและกระแสที่ความเร็วลม 4m/s ที่กำลังสูงสุด (เส้นสีเหลือง) แรงดัน 100V/Div (เส้นสีฟ้า) กระแส 5A/Div (บน) Time/Div = 20 us (ล่าง) Time/Div = 1 us



รูปที่ 5.4 รูปคลื่นแรงดันและกระแสที่ความเร็วลม 12m/s ที่กำลังสูงสุด (เส้นสีเหลือง) แรงดัน 100V/Div (เส้นสีฟ้า) กระแส 5A/Div (บน) Time/Div = 20 us (ล่าง) Time/Div = 1 us

## 6.สรุป

จากการทดลองจะสามารถสังเกตเห็นได้ว่าเมื่อแรงบิดจากต้นกำลังของมอเตอร์และแรงบิดต้านจากโหลดสมดุลกัน มอเตอร์จะหมุนที่ความเร็วความเร็วที่แน่นอนตลอดโดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงความเร็ว ซึ่งจากผลการทดลองในหลายๆจุดความเร็วโรเตอร์นั้น ทั้งที่ความเร็วลม 4-12m/s จะมีแนวโน้มเหมือนในทางทฤษฎี

เมื่อสังเกตรูปคลื่นแรงดันและกระแสที่วงจรแอมป์เจอร์ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง สามารถสังเกตเห็นได้ว่า ที่ความเร็วรอบสูงๆของมอเตอร์นั้น ค่าคิวดีไซเคิล ที่ใช้ขับมอเตอร์ไฟฟ้านั้นมีค่าค่อนข้างมากกว่าที่ความเร็วมอเตอร์ต่ำๆ ทั้งนี้เป็นผลมาจากที่ความเร็วรอบสูงๆนั้น มอเตอร์จะต้องสร้างแรงบิดออกมาตามสมการคุณลักษณะของกังหันลม ซึ่งจะเห็นได้ว่ามีค่ากำลังสูงสุด และแรงบิดสูงสุดปรากฏขึ้นที่ค่าความเร็วมอเตอร์ความเร็วหนึ่ง โดยที่ค่าความเร็วมอเตอร์ความเร็วนั้น ค่าคิวดีไซเคิลจะมากที่สุดในช่วงความเร็วลมที่เลือก โดยไมโครคอนโทรลเลอร์จะพยายามปรับค่าคิวดีไซเคิลเพื่อควบคุมกระแสแอมป์เจอร์ให้เป็นไปตามที่คำนวณได้ และเมื่อกระแสแอมป์เจอร์เป็นไปตามที่คำนวณได้ ก็จะได้กราฟแรงบิดและกำลังทางกลเป็นไปในลักษณะเดียวกับกราฟที่จำลองได้ในโปรแกรม MATLAB/Simulink

เมื่อสังเกตรูปคลื่นกระแสแอมป์เจอร์จะพบว่ากระแสมีการพุ่งขึ้นในช่วงที่สัญญาณ PWM เป็น Logic 1 หรือช่วงขาขึ้น และกระแสมีการลดลงในช่วงที่สัญญาณ PWM มี Logic เป็น 0 ทั้งนี้เนื่องจากในช่วงที่สัญญาณ PWM เป็น Logic 1 นั้นเป็นช่วงที่จ่ายกำลังให้กับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงจะต้องพุ่งสูงขึ้น และในช่วงที่สัญญาณ PWM มี Logic เป็น 0 กระแสค่อยๆลดลงแต่ยังสามารถไหลได้ เนื่องจากเป็นช่วงที่ไม่มีกำลังไฟฟ้าจ่ายให้กับมอเตอร์ไฟฟ้า แต่มอเตอร์ยังคงหมุนอยู่จึงเกิดการจ่ายพลังงานย้อนกลับเกิดขึ้น โดยผ่านตัว Free Wheeling Diode ที่ต่อขนานเป็นลูปอยู่ที่วงจรรีแมเจอร์

## 7.กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ รศ.ดร.วิจิตร กิมเรศ ผู้ซึ่งให้ความรู้ คำแนะนำและความเมตตาที่ให้โอกาส ตลอดจนแนวคิดที่ดีที่ใช้ในการทำงานจนการจัดทำบทความนี้จนเสร็จสมบูรณ์ คณะผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

## เอกสารอ้างอิง

- [1] B. Neammanee, S. Sirisumrannukul and S. Chatratana, "Development of a Wind Turbine Simulator for Wind Generator Testing," *International Energy Journal*, vol.8, 2007, pp. 21-28.
- [2] H.M. Kojabadi, L. Chang, and T. Boutot, "Development of a Novel Windturbine Simulator for Wind Energy Conversion System Using an Inverter - Controlled Induction Motor," *IEEE Transactions on Energy Conversion*, vol. 19, no. 3, pp. 547-552, 2004
- [3] เฟลีน จันทรสุขะ, "เครื่องจำลองกังหันลมชนิดมุมใบพัดคงที่ โดยใช้ระบบขับเคลื่อนไฟฟ้ากระแสตรงแบบสี่จุดภาค," *วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า, มหาวิทยาลัย เชียงใหม่* 2556.



นายณัฐภณ บุญช่วย สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนสวนกุหลาบวิทยาลัย รังสิต  
ปริญญาตรีวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



นายสุรศักดิ์ อามระดิษ สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนบดินทรเดชา (สิงห์ สิงหเสนี4)  
ปริญญาตรีวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

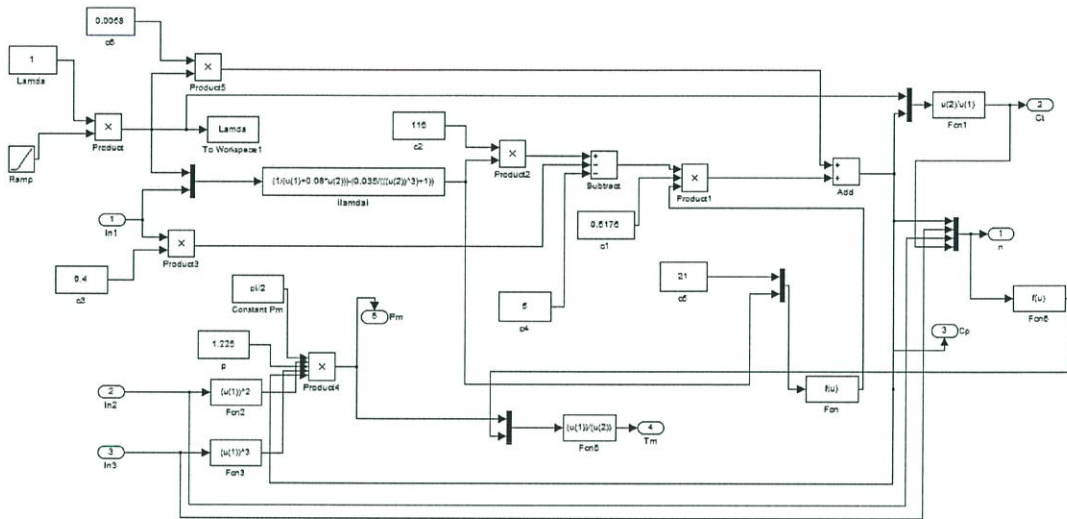


นายสุจินดา วัฒนนะ สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนกาญจนาภิเษก วิทยาลัยนครปฐม  
ปริญญาตรีวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

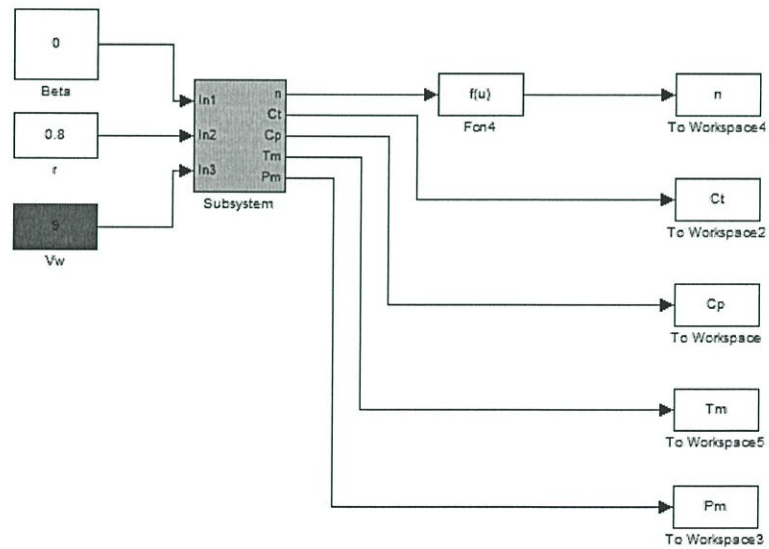


นายอุเทน มีศรี สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนนวมินทราชินูทิศ ศศรีวิทยา๒  
ปริญญาตรีวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ภาคผนวก ข  
บล็อกไดอะแกรมการจำลองในคอมพิวเตอร์



รูปที่ ข.1 แบบจำลองเครื่องจำลองก้านลมชนิดมุมใบพัดคงที่



รูปที่ ข.2 แบบจำลองเครื่องจำลองก้านลมชนิดมุมใบพัดคงที่(ต่อ)

ภาคผนวก ค  
โปรแกรม Microcontroller PIC16F887

```

#include <pic.h> // Include header file for MCU
#include <math.h> // Include Math Function
#include <lcd887.h> // Include LCD function
#include <ftoa.h> // Include Float to String
#define _XTAL_FREQ 20000000 // Define Frequency 20.0 MHz for function __delay_ms
__CONFIG(HS & WDTDIS & LVPDIS); // Config. High speed clock,Disable watchdog and
Disable LVP
//////////For ADC//////////
int adcwindspeed=0;
int adcspd=0;
int adccurrent=0;
////////////////////////////////////
//////////For Solution////////
int windspeed=0;
float pwm1=0;
float pwm2=0;
float spd=0;
float current=0;
float setcurrent=0;
float sumo1=0;
float sumo3=0;
int g=0;
int roly=0;
float startfield=0;
float supportcurrent=0;
int conversestartfield=0;
////////////////////////////////////
//////////For CP Cal////////
float lambda=0;
float lambdai=0;
float r=0.8;
float omega=0;

```

```

float Tm=0;
float Cp=0.47;
float KFlux=1.76;
////////////////////
//////////For PI//////////
//Armature//
float error1=0;
float integral1=0;
float dt1=0.0005;
float Kp1=1.2;
float Ki1=25;
float output1=0;
//Field//
float error3=0;
float integral3=0;
float dt3=0.0005;
float Kp3=1.2;
float Ki3=25;
float output3=0;
////////////////////
//////////For ftoa//////////
int i;
char *sc;
////////////////////
void Delay_ms(unsigned int tick)
{
while(tick--) // Loop counter delay time
{
__delay_ms(1); // Delay 1 ms
}
}
void Cpcalculate()
{
Cp=((0.5176*((116/lambdai)-5)*exp(-21/lambdai)));
Cp=Cp+(0.0068*lambda);

```

```

if(Cp<=0){Cp=0;}
}
void Lamdaicalculate()
{
lambdai=(lambda/(1-(lambda*0.035)));
}
void Tmcalculate()
{
Tm=(((0.5*3.14)*(1.225*Cp)*(r*r)*(windspeed*windspeed*windspeed))/omega);
}
void ADCREAD()
{
//SUB1 : WindSpeed Setting//
ADCON0 = 0b11000001; // Select RC Mode,ANS0 active,ADON=1 ;;; PIN 2;;;
__delay_us(20); // Wait GODONE = 1; // Start conversion while(GODONE); // Wait until
conversion success adcwindspeed = (ADRESH<<2)+(ADRESL>>6); // Get ADC value
//END of Duty Cycle Setting//
//SUB2 : Current Sensing//
ADCON0 = 0b11000101; // Select RC Mode,ANS1 active,ADON=1 ;;; PIN 3;;;
__delay_us(20); // Wait GODONE = 1; // Start conversion while(GODONE); // Wait until
conversion success adccurrent = (ADRESH<<2)+(ADRESL>>6); // Get ADC value
//END of Current Sensing//
//SUB3 : Speed Sensing//
ADCON0 = 0b11001001; // Select RC Mode,ANS2 active,ADON=1 ;;; PIN 4;;;
__delay_us(20); // Wait GODONE = 1; // Start conversion while(GODONE); // Wait until
conversion success adcpspd = (ADRESH<<2)+(ADRESL>>6); // Get ADC value
//END of Speed Sensing//
}
void piarmature()
{
error1=setcurrent-current;
integral1=integral1+(error1*dt1);
output1=(Kp1*error1)+(Ki1*integral1);
}

```

```

void pifield()
{
error3=current-setcurrent;
integral3=integral3+(error3*dt3);
output3=(Kp3*error3)+(Ki3*integral3);
}
void limitvalue()
{
if(pwm1>=255.25){pwm1=255.25;}
if(pwm1<=0){pwm1=-0.75;}
if(pwm2>=255.25){pwm2=255.25;}
if(pwm2<=160){pwm2=160;}
}
void initialtextonlcd()
{
lcd_puts(0x80,"Windspeed:");
lcd_puts(0x8E,"m/s");
lcd_puts(0xC0,"Cp:");
lcd_puts(0xC8,"Lambda:");
lcd_puts(0x94,"Is*");
lcd_puts(0x9C,"A");
lcd_puts(0x9E,"Is");
lcd_puts(0xA5,"A");
lcd_puts(0xD4,"RotorSpeed:");
lcd_puts(0xE5,"RPM");
}
void checkupdate()
{
if(roly>=100)
{
lcd_puts(0x8B," ");
inttolcd(0x8B,windspeed);
sc=__ftoa(Cp,&i);
lcd_puts(0xC3," ");
lcd_putss(0xC3,sc);
}
}

```

```
sc=__ftoa(lambda,&i);
lcd_puts(0xCF," ");
lcd_putss(0xCF,sc);
sc=__ftoa(setcurrent,&i);
lcd_puts(0x98," ");
lcd_putss(0x98,sc);
sc=__ftoa(current,&i);
lcd_puts(0xA1," ");
lcd_putss(0xA1,sc);
lcd_puts(0xE0," ");
inttolcd(0xE0,spd);
roly=0;
}
}
void sayhello()
{
lcd_puts(0x80,"WindTurbineSimulator");
lcd_puts(0x9A,"PMC_LAB");
lcd_puts(0xDB,"KMITL");
Delay_ms(2000);
lcd_puts(0x80," ");
lcd_puts(0xC0," ");
lcd_puts(0x94," ");
lcd_puts(0xD4," ");
Delay_ms(500);
lcd_puts(0x80,"Input Armature");
lcd_puts(0xC0,"And Field Voltage");
lcd_puts(0x94,"at least 220V(DC)");
lcd_puts(0xD4,"Start In: Seconds");
lcd_puts(0xDD,"5");
Delay_ms(1000);
lcd_puts(0xDD,"4");
Delay_ms(1000);
lcd_puts(0xDD,"3");
Delay_ms(1000);
```

```

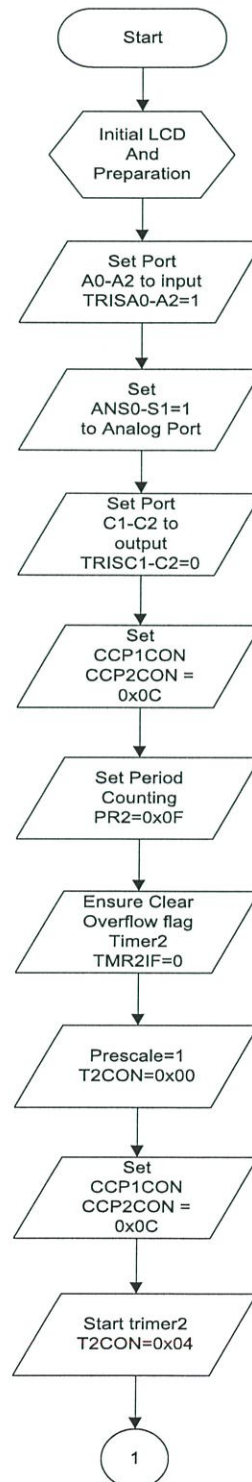
lcd_puts(0xDD,"2");
Delay_ms(1000);
lcd_puts(0xDD,"1");
Delay_ms(1000);
lcd_puts(0x80," ");
lcd_puts(0xC0," ");
lcd_puts(0x94," ");
lcd_puts(0xD4," ");
}
void fieldstart()
{
lcd_puts(0x80,"Waiting for Field");
lcd_puts(0xC0,"Current...");
for(g=0;g<=255;g+=5)
{
startfield=g;
Delay_ms(80);
if(startfield>255.25){startfield=255.25;}
CCPR2L= startfield ;
conversestartfield=(startfield/2.55);
inttolcd(0xCB,conversestartfield);
lcd_puts(0xCE,"%");
}
Delay_ms(1000);
lcd_puts(0x80," ");
lcd_puts(0xC0," ");
lcd_puts(0x94," ");
lcd_puts(0xD4," ");
pwm2=255.2500;
CCPR2L = pwm2;
lcd_puts(0x80,"Turbine Starting.");
Delay_ms(1000);
lcd_puts(0x91,".");
Delay_ms(1000);
lcd_puts(0x92,".");

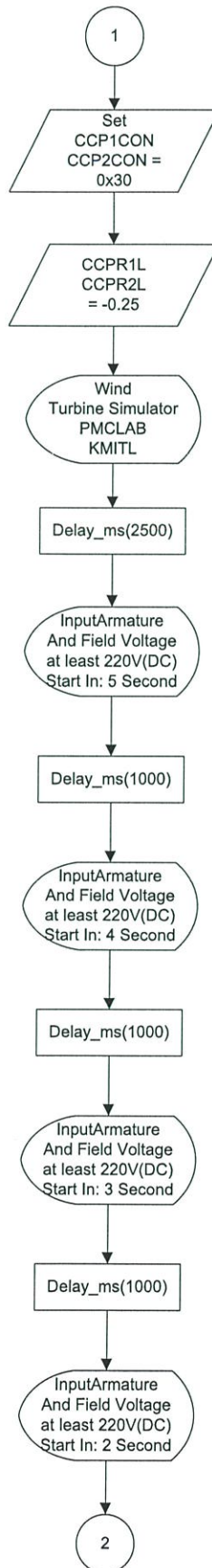
```

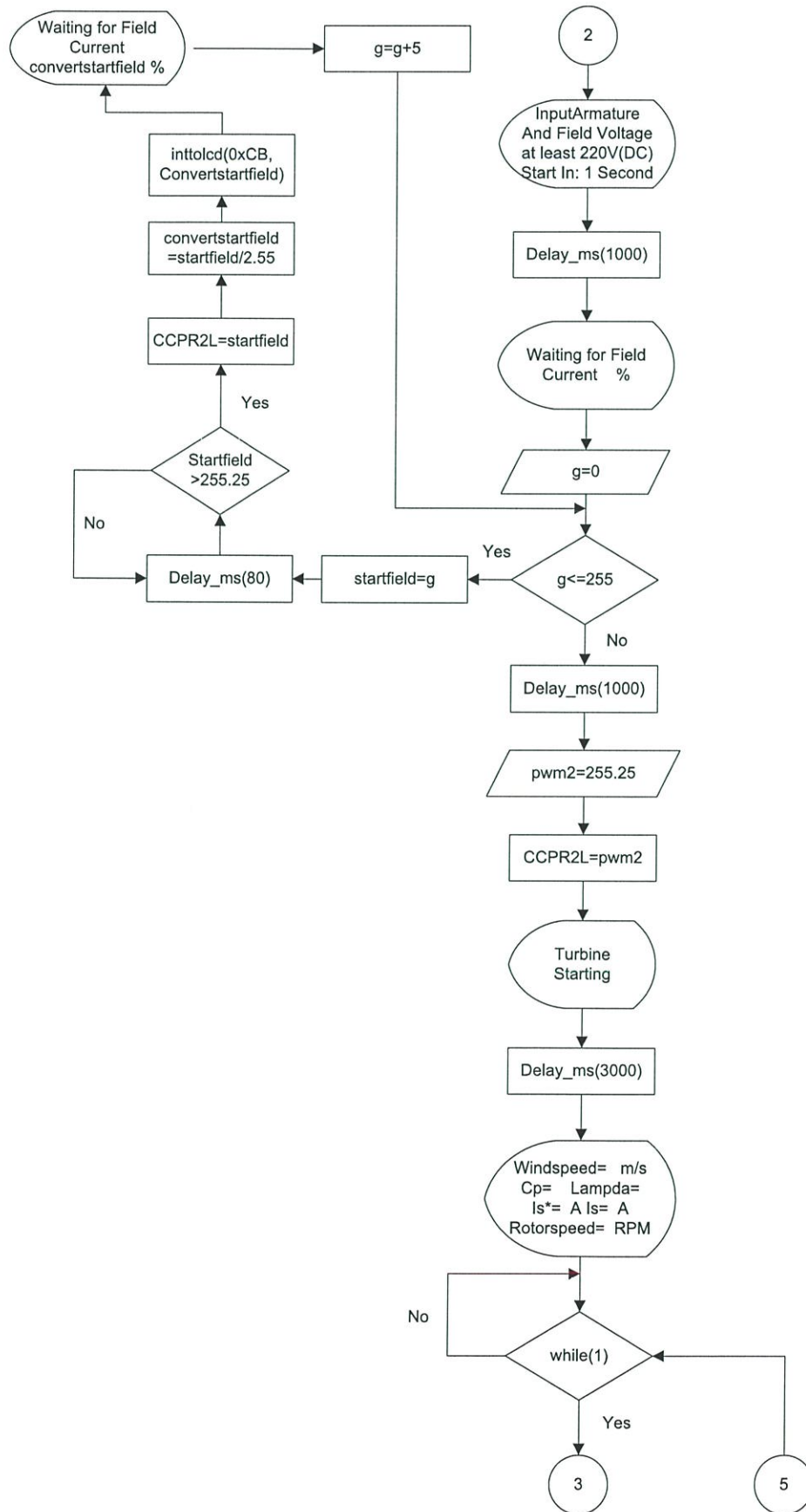
```
Delay_ms(1000);
lcd_puts(0x80, " ");
lcd_puts(0x94, " ");
}
void main()
{
lcd_init();
TRISA0 = 1; // Set RA0 input mode
TRISA1 = 1; // Set RA1 input mode
TRISA2 = 1; // Set RA2 input mode
ANS0 = 1; // Set RA0 analog port
ANS1 = 1; // Set RA1 analog port
ANS2 = 1; // Set RA2 analog port
TRISC1 = 0; // Set RC1 output mode
TRISC2 = 0; // Set RC2 output mode
CCP1CON = 0x0C; // CCP1 PWM mode
CCP2CON = 0x0C; // CCP2 PWM mode
PR2 = 0xFF; // Set Period counting
TMR2IF =0; // Ensure Clear overflow flag timer2
T2CON |= 0x00; // Prescaler 1
T2CON |= 0x04; // Start timer2
CCP1CON |= 0x30; // CCP1 PWM mode
CCP2CON |= 0x30; // CCP2 PWM mode
CCPR1L = -0.25;
CCPR2L = -0.25;
sayhello();
fieldstart();
initialtextonlcd();
while(1){
checkupdate();
ADCREAD();
spd=adcspd*1.95758;
current=adccurrent/84.55;
windspeed=4+(adcwindspeed/127);
omega=(spd/60)*(2*3.14);
```

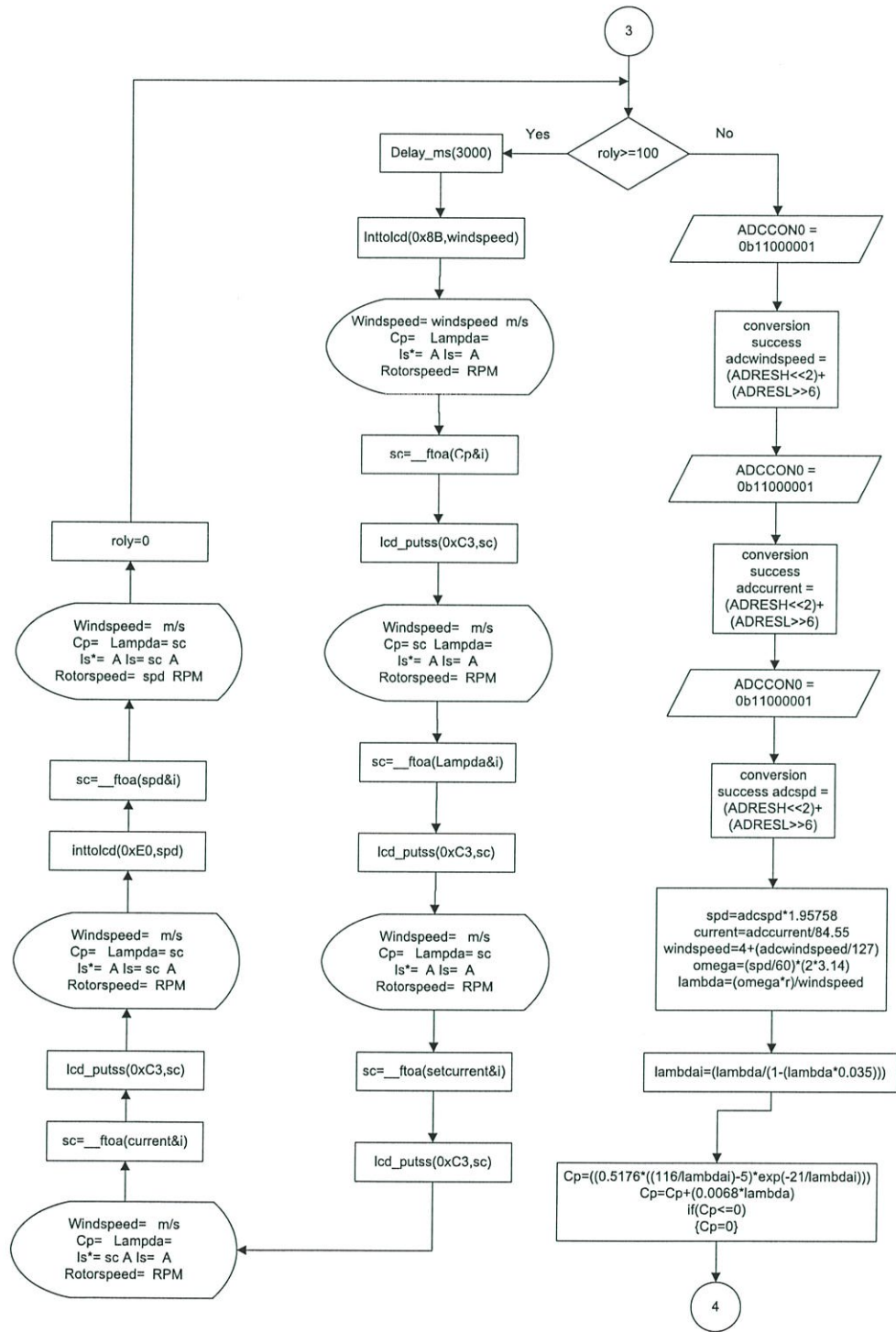
```
lambda=(omega*r)/windspeed;
Lamdaicalculate();
Cpcalculate();
Tmcalculate();
supportcurrent=0.7+(0.01*Tm);
setcurrent=(Tm/KFlux)+supportcurrent;
piarmature();
sumo1=output1;
pwm1=sumo1;
limitvalue();
///PWM Setting///
CCPR1L = pwm1;
//END//
roly++;
}
}
```

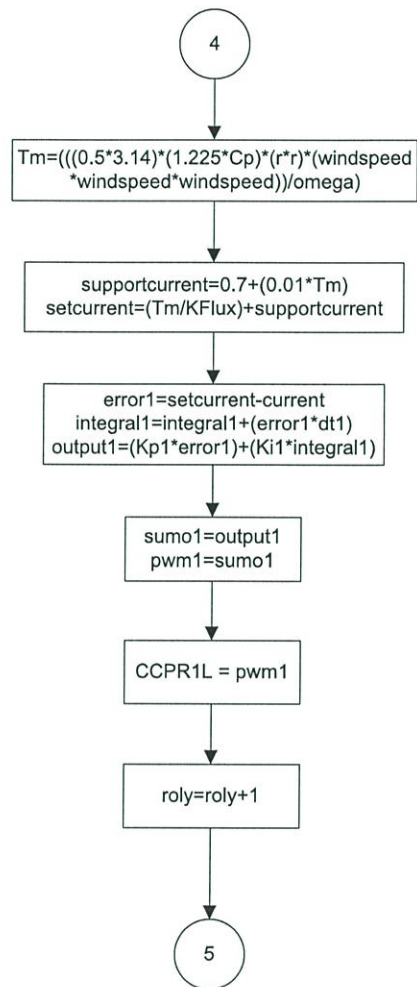
ภาคผนวก ง  
แผนภาพแสดงลำดับขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม











ภาคผนวก จ  
ข้อมูลอุปกรณ์



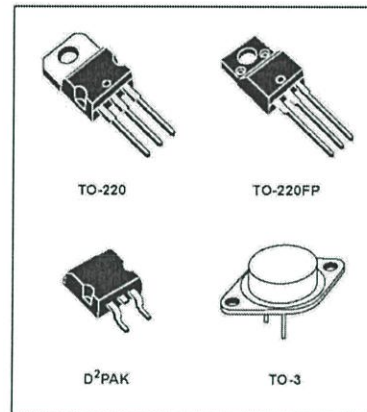
**L7800  
SERIES**

**POSITIVE VOLTAGE REGULATORS**

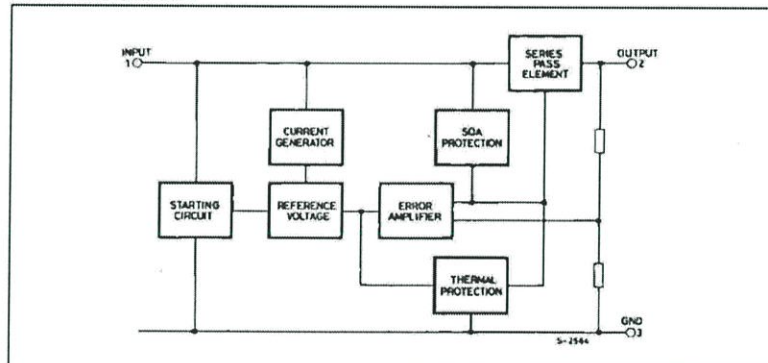
- OUTPUT CURRENT TO 1.5A
- OUTPUT VOLTAGES OF 5, 5.2, 6, 8, 8.5, 9, 12, 15, 18, 24V
- THERMAL OVERLOAD PROTECTION
- SHORT CIRCUIT PROTECTION
- OUTPUT TRANSITION SOA PROTECTION

**DESCRIPTION**

The L7800 series of three-terminal positive regulators is available in TO-220, TO-220FP, TO-3 and D<sup>2</sup>PAK packages and several fixed output voltages, making it useful in a wide range of applications. These regulators can provide local on-card regulation, eliminating the distribution problems associated with single point regulation. Each type employs internal current limiting, thermal shut-down and safe area protection, making it essentially indestructible. If adequate heat sinking is provided, they can deliver over 1A output current. Although designed primarily as fixed voltage regulators, these devices can be used with external components to obtain adjustable voltage and currents.



**SCHEMATIC DIAGRAM**



L7800 SERIES

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

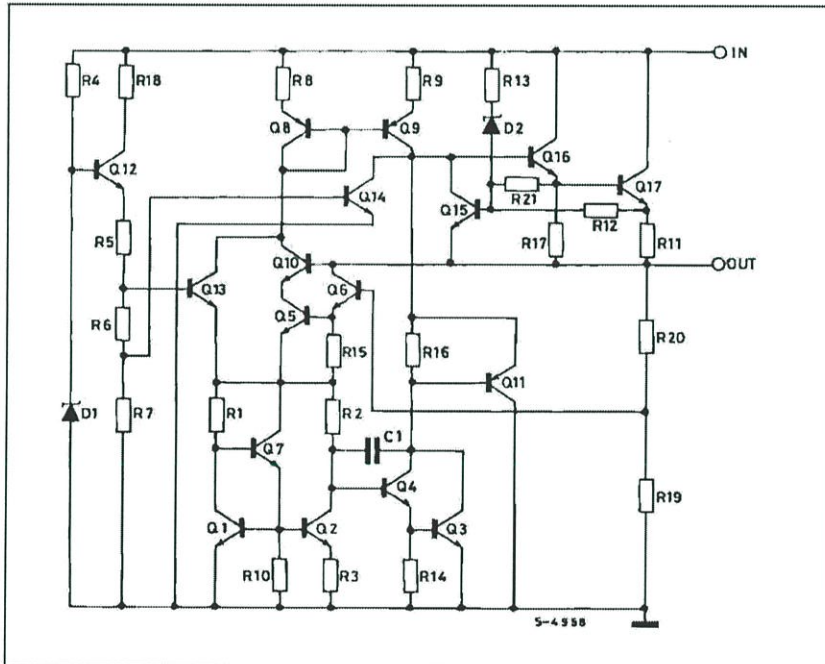
Symbol	Parameter <sup>2</sup>	Value	Unit
V <sub>I</sub>	DC Input Voltage	for V <sub>O</sub> = 5 to 18V	35
		for V <sub>O</sub> = 20, 24V	40
I <sub>O</sub>	Output Current	Internally Limited	
P <sub>tot</sub>	Power Dissipation	Internally Limited	
T <sub>stg</sub>	Storage Temperature Range	-65 to 150	°C
T <sub>op</sub>	Operating Junction Temperature Range	for L7800	-55 to 150
		for L7800C	0 to 150

Absolute Maximum Ratings are those values beyond which damage to the device may occur. Functional operation under these condition is not implied.

THERMAL DATA

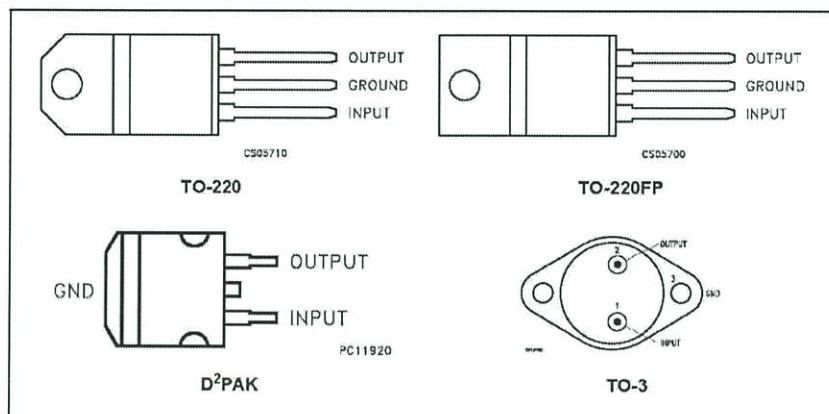
Symbol	Parameter	D <sup>2</sup> PAK	TO-220	TO-220FP	TO-3	Unit
R <sub>thj-case</sub>	Thermal Resistance Junction-case Max	3	5	5	4	°C/W
R <sub>thj-amb</sub>	Thermal Resistance Junction-ambient Max	62.5	50	60	35	°C/W

SCHEMATIC DIAGRAM



## L7800 SERIES

## CONNECTION DIAGRAM (top view)



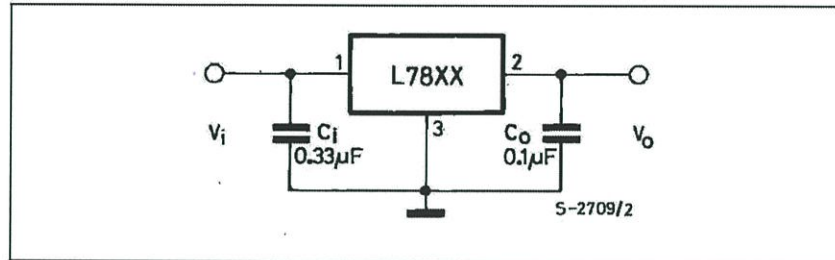
## ORDERING CODES

TYPE	TO-220	D <sup>2</sup> PAK (*)	TO-220FP	TO-3	OUTPUT VOLTAGE
L7805				L7805T	5 V
L7805C	L7805CV	L7805CD2T	L7805CP	L7805CT	5 V
L7852C	L7852CV	L7852CD2T	L7852CP	L7852CT	5.2 V
L7806				L7806T	6 V
L7806C	L7806CV	L7806CD2T	L7806CP	L7806CT	6 V
L7808				L7808T	8 V
L7808C	L7808CV	L7808CD2T	L7808CP	L7808CT	8 V
L7885C	L7885CV	L7885CD2T	L7885CP	L7885CT	8.5 V
L7809C	L7809CV	L7809CD2T	L7809CP	L7809CT	9 V
L7812				L7812T	12 V
L7812C	L7812CV	L7812CD2T	L7812CP	L7812CT	12 V
L7815				L7815T	15 V
L7815C	L7815CV	L7815CD2T	L7815CP	L7815CT	15 V
L7818				L7818T	18 V
L7818C	L7818CV	L7818CD2T	L7818CP	L7818CT	18 V
L7820				L7820T	20 V
L7820C	L7820CV	L7820CD2T	L7820CP	L7820CT	20 V
L7824				L7824T	24 V
L7824C	L7824CV	L7824CD2T	L7824CP	L7824CT	24 V

(\*) Available in Tape &amp; Reel with the suffix "-TR".

L7800 SERIES

APPLICATION CIRCUITS



TEST CIRCUITS

Figure 1 : DC Parameter

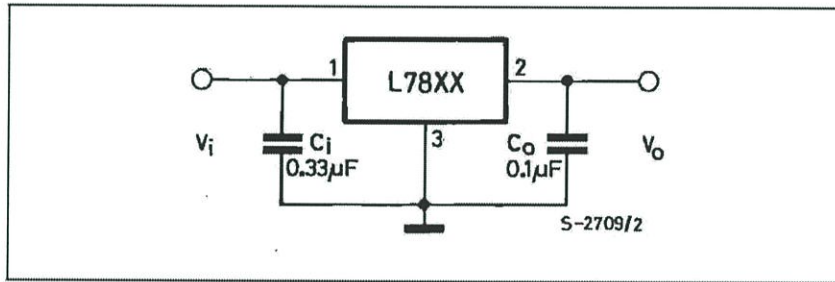
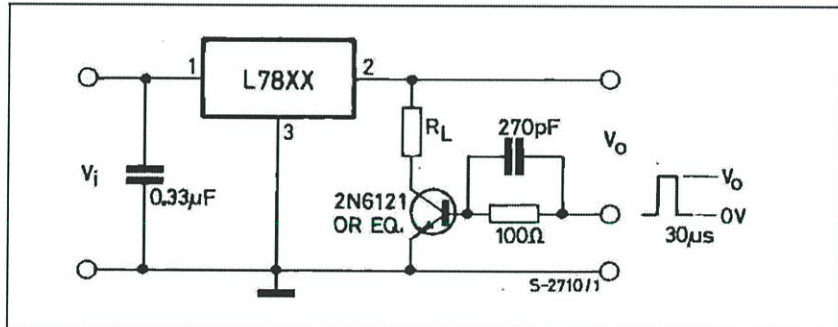
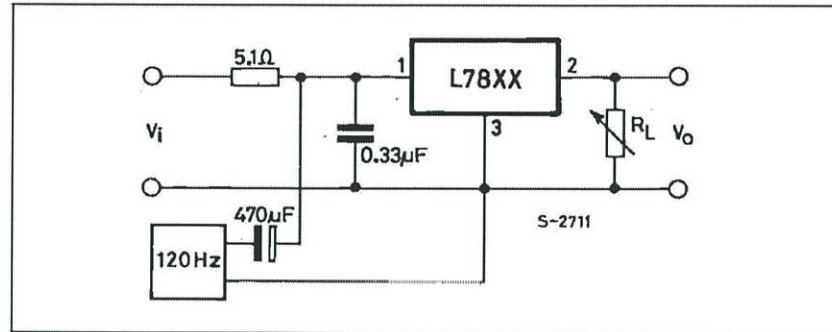


Figure 2 : Load Regulation



## L7800 SERIES

Figure 3 : Ripple Rejection



**ELECTRICAL CHARACTERISTICS OF L7805** (refer to the test circuits,  $T_J = -55$  to  $150^\circ\text{C}$ ,  $V_I = 10\text{V}$ ,  $I_O = 500\text{ mA}$ ,  $C_I = 0.33\ \mu\text{F}$ ,  $C_O = 0.1\ \mu\text{F}$  unless otherwise specified).

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
$V_O$	Output Voltage	$T_J = 25^\circ\text{C}$	4.8	5	5.2	V
$V_O$	Output Voltage	$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$ $P_O \leq 15\text{W}$ $V_I = 8\text{ to }20\text{ V}$	4.65	5	5.35	V
$\Delta V_O(\%)$	Line Regulation	$V_I = 7\text{ to }25\text{ V}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$		3	50	mV
		$V_I = 8\text{ to }12\text{ V}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$		1	25	
$\Delta V_O(\%)$	Load Regulation	$I_O = 5\text{ mA to }1.5\text{ A}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$ $I_O = 250\text{ to }750\text{ mA}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$			100	mV
					25	
$I_d$	Quiescent Current	$T_J = 25^\circ\text{C}$			6	mA
$\Delta I_d$	Quiescent Current Change	$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$ $V_I = 8\text{ to }25\text{ V}$			0.5	mA
					0.8	
$\Delta V_O/\Delta T$	Output Voltage Drift	$I_O = 5\text{ mA}$		0.6		mV/°C
eN	Output Noise Voltage	$B = 10\text{Hz to }100\text{KHz}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$			40	$\mu\text{V}/V_O$
SVR	Supply Voltage Rejection	$V_I = 8\text{ to }18\text{ V}$ $f = 120\text{Hz}$	68			dB
$V_d$	Dropout Voltage	$I_O = 1\text{ A}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$		2	2.5	V
$R_O$	Output Resistance	$f = 1\text{ KHz}$		17		m $\Omega$
$I_{sc}$	Short Circuit Current	$V_I = 35\text{ V}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$		0.75	1.2	A
$I_{scp}$	Short Circuit Peak Current	$T_J = 25^\circ\text{C}$	1.3	2.2	3.3	A

(\*) Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in  $V_O$  due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty cycle is used.

## L7800 SERIES

**ELECTRICAL CHARACTERISTICS OF L7806** (refer to the test circuits,  $T_J = -55$  to  $150^\circ\text{C}$ ,  $V_I = 11\text{V}$ ,  $I_O = 500\text{ mA}$ ,  $C_I = 0.33\text{ }\mu\text{F}$ ,  $C_O = 0.1\text{ }\mu\text{F}$  unless otherwise specified).

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
$V_O$	Output Voltage	$T_J = 25^\circ\text{C}$	5.75	6	6.25	V
$V_O$	Output Voltage	$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$ $P_O \leq 15\text{W}$ $V_I = 9\text{ to }21\text{ V}$	5.65	6	6.35	V
$\Delta V_O(^{\circ})$	Line Regulation	$V_I = 8\text{ to }25\text{ V}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$ $V_I = 9\text{ to }13\text{ V}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$			60 30	mV
$\Delta V_O(^{\circ})$	Load Regulation	$I_O = 5\text{ mA to }1.5\text{ A}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$ $I_O = 250\text{ to }750\text{ mA}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$			100 30	mV
$I_d$	Quiescent Current	$T_J = 25^\circ\text{C}$			6	mA
$\Delta I_d$	Quiescent Current Change	$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$ $V_I = 9\text{ to }25\text{ V}$			0.5 0.8	mA
$\Delta V_O/\Delta T$	Output Voltage Drift	$I_O = 5\text{ mA}$		0.7		mV/ $^\circ\text{C}$
eN	Output Noise Voltage	$B = 10\text{Hz to }100\text{KHz}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$			40	$\mu\text{V}/\sqrt{V_O}$
SVR	Supply Voltage Rejection	$V_I = 9\text{ to }19\text{ V}$ $f = 120\text{Hz}$	65			dB
$V_d$	Dropout Voltage	$I_O = 1\text{ A}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$		2	2.5	V
$R_O$	Output Resistance	$f = 1\text{ KHz}$		19		m $\Omega$
$I_{sc}$	Short Circuit Current	$V_I = 35\text{ V}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$		0.75	1.2	A
$I_{scp}$	Short Circuit Peak Current	$T_J = 25^\circ\text{C}$	1.3	2.2	3.3	A

(\*) Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in  $V_O$  due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty cycle is used.

**ELECTRICAL CHARACTERISTICS OF L7808** (refer to the test circuits,  $T_J = -55$  to  $150^\circ\text{C}$ ,  $V_I = 14\text{V}$ ,  $I_O = 500\text{ mA}$ ,  $C_I = 0.33\text{ }\mu\text{F}$ ,  $C_O = 0.1\text{ }\mu\text{F}$  unless otherwise specified).

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
$V_O$	Output Voltage	$T_J = 25^\circ\text{C}$	7.7	8	8.3	V
$V_O$	Output Voltage	$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$ $P_O \leq 15\text{W}$ $V_I = 11.5\text{ to }23\text{ V}$	7.6	8	8.4	V
$\Delta V_O(^{\circ})$	Line Regulation	$V_I = 10.5\text{ to }25\text{ V}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$ $V_I = 11\text{ to }17\text{ V}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$			80 40	mV
$\Delta V_O(^{\circ})$	Load Regulation	$I_O = 5\text{ mA to }1.5\text{ A}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$ $I_O = 250\text{ to }750\text{ mA}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$			100 40	mV
$I_d$	Quiescent Current	$T_J = 25^\circ\text{C}$			6	mA
$\Delta I_d$	Quiescent Current Change	$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$ $V_I = 11.5\text{ to }25\text{ V}$			0.5 0.8	mA
$\Delta V_O/\Delta T$	Output Voltage Drift	$I_O = 5\text{ mA}$		1		mV/ $^\circ\text{C}$
eN	Output Noise Voltage	$B = 10\text{Hz to }100\text{KHz}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$			40	$\mu\text{V}/\sqrt{V_O}$
SVR	Supply Voltage Rejection	$V_I = 11.5\text{ to }21.5\text{ V}$ $f = 120\text{Hz}$	62			dB
$V_d$	Dropout Voltage	$I_O = 1\text{ A}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$		2	2.5	V
$R_O$	Output Resistance	$f = 1\text{ KHz}$		16		m $\Omega$
$I_{sc}$	Short Circuit Current	$V_I = 35\text{ V}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$		0.75	1.2	A
$I_{scp}$	Short Circuit Peak Current	$T_J = 25^\circ\text{C}$	1.3	2.2	3.3	A

(\*) Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in  $V_O$  due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty cycle is used.

## L7800 SERIES

**ELECTRICAL CHARACTERISTICS OF L7812** (refer to the test circuits,  $T_J = -55$  to  $150^\circ\text{C}$ ,  $V_I = 19\text{V}$ ,  $I_O = 500\text{ mA}$ ,  $C_I = 0.33\text{ }\mu\text{F}$ ,  $C_O = 0.1\text{ }\mu\text{F}$  unless otherwise specified).

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
$V_O$	Output Voltage	$T_J = 25^\circ\text{C}$	11.5	12	12.5	V
$V_O$	Output Voltage	$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$ $P_O \leq 15\text{ W}$ $V_I = 15.5\text{ to }27\text{ V}$	11.4	12	12.6	V
$\Delta V_O(^{\circ})$	Line Regulation	$V_I = 14.5\text{ to }30\text{ V}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$ $V_I = 16\text{ to }22\text{ V}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$			120 60	mV
$\Delta V_O(^{\circ})$	Load Regulation	$I_O = 5\text{ mA to }1.5\text{ A}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$ $I_O = 250\text{ to }750\text{ mA}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$			100 60	mV
$I_d$	Quiescent Current	$T_J = 25^\circ\text{C}$			6	mA
$\Delta I_d$	Quiescent Current Change	$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$ $V_I = 15\text{ to }30\text{ V}$			0.5 0.8	mA
$\Delta V_O/\Delta T$	Output Voltage Drift	$I_O = 5\text{ mA}$		1.5		mV/ $^\circ\text{C}$
eN	Output Noise Voltage	$B = 10\text{ Hz to }100\text{ KHz}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$			40	$\mu\text{V}/\sqrt{f}$
SVR	Supply Voltage Rejection	$V_I = 15\text{ to }25\text{ V}$ $f = 120\text{ Hz}$	61			dB
$V_d$	Dropout Voltage	$I_O = 1\text{ A}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$		2	2.5	V
$R_O$	Output Resistance	$f = 1\text{ KHz}$		18		m $\Omega$
$I_{sc}$	Short Circuit Current	$V_I = 35\text{ V}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$		0.75	1.2	A
$I_{scp}$	Short Circuit Peak Current	$T_J = 25^\circ\text{C}$	1.3	2.2	3.3	A

(\*) Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in  $V_O$  due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty cycle is used.

**ELECTRICAL CHARACTERISTICS OF L7815** (refer to the test circuits,  $T_J = -55$  to  $150^\circ\text{C}$ ,  $V_I = 23\text{V}$ ,  $I_O = 500\text{ mA}$ ,  $C_I = 0.33\text{ }\mu\text{F}$ ,  $C_O = 0.1\text{ }\mu\text{F}$  unless otherwise specified).

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
$V_O$	Output Voltage	$T_J = 25^\circ\text{C}$	14.4	15	15.6	V
$V_O$	Output Voltage	$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$ $P_O \leq 15\text{ W}$ $V_I = 18.5\text{ to }30\text{ V}$	14.25	15	15.75	V
$\Delta V_O(^{\circ})$	Line Regulation	$V_I = 17.5\text{ to }30\text{ V}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$ $V_I = 20\text{ to }26\text{ V}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$			150 75	mV
$\Delta V_O(^{\circ})$	Load Regulation	$I_O = 5\text{ mA to }1.5\text{ A}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$ $I_O = 250\text{ to }750\text{ mA}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$			150 75	mV
$I_d$	Quiescent Current	$T_J = 25^\circ\text{C}$			6	mA
$\Delta I_d$	Quiescent Current Change	$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$ $V_I = 18.5\text{ to }30\text{ V}$			0.5 0.8	mA
$\Delta V_O/\Delta T$	Output Voltage Drift	$I_O = 5\text{ mA}$		1.8		mV/ $^\circ\text{C}$
eN	Output Noise Voltage	$B = 10\text{ Hz to }100\text{ KHz}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$			40	$\mu\text{V}/\sqrt{f}$
SVR	Supply Voltage Rejection	$V_I = 18.5\text{ to }28.5\text{ V}$ $f = 120\text{ Hz}$	60			dB
$V_d$	Dropout Voltage	$I_O = 1\text{ A}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$		2	2.5	V
$R_O$	Output Resistance	$f = 1\text{ KHz}$		19		m $\Omega$
$I_{sc}$	Short Circuit Current	$V_I = 35\text{ V}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$		0.75	1.2	A
$I_{scp}$	Short Circuit Peak Current	$T_J = 25^\circ\text{C}$	1.3	2.2	3.3	A

(\*) Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in  $V_O$  due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty cycle is used.



## L7800 SERIES

**ELECTRICAL CHARACTERISTICS OF L7818** (refer to the test circuits,  $T_J = -55$  to  $150^\circ\text{C}$ ,  $V_I = 26\text{V}$ ,  $I_O = 500\text{ mA}$ ,  $C_I = 0.33\text{ }\mu\text{F}$ ,  $C_O = 0.1\text{ }\mu\text{F}$  unless otherwise specified).

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
$V_O$	Output Voltage	$T_J = 25^\circ\text{C}$	17.3	18	18.7	V
$V_O$	Output Voltage	$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$ $P_O \leq 15\text{ W}$ $V_I = 22\text{ to }33\text{ V}$	17.1	18	18.9	V
$\Delta V_O(^*)$	Line Regulation	$V_I = 21\text{ to }33\text{ V}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$ $V_I = 24\text{ to }30\text{ V}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$			180	mV
$\Delta V_O(^*)$	Load Regulation	$I_O = 5\text{ mA to }1.5\text{ A}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$ $I_O = 250\text{ to }750\text{ mA}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$			180	mV
$I_d$	Quiescent Current	$T_J = 25^\circ\text{C}$			6	mA
$\Delta I_d$	Quiescent Current Change	$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$ $V_I = 22\text{ to }33\text{ V}$			0.5	mA
$\Delta V_O/\Delta T$	Output Voltage Drift	$I_O = 5\text{ mA}$		2.3		mV/ $^\circ\text{C}$
eN	Output Noise Voltage	$B = 10\text{ Hz to }100\text{ KHz}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$			40	$\mu\text{V}/\sqrt{V_O}$
SVR	Supply Voltage Rejection	$V_I = 22\text{ to }32\text{ V}$ $f = 120\text{ Hz}$	59			dB
$V_d$	Dropout Voltage	$I_O = 1\text{ A}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$		2	2.5	V
$R_O$	Output Resistance	$f = 1\text{ KHz}$		22		m $\Omega$
$I_{sc}$	Short Circuit Current	$V_I = 35\text{ V}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$		0.75	1.2	A
$I_{scp}$	Short Circuit Peak Current	$T_J = 25^\circ\text{C}$	1.3	2.2	3.3	A

(\*) Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in  $V_O$  due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty cycle is used.

**ELECTRICAL CHARACTERISTICS OF L7820** (refer to the test circuits,  $T_J = -55$  to  $150^\circ\text{C}$ ,  $V_I = 28\text{V}$ ,  $I_O = 500\text{ mA}$ ,  $C_I = 0.33\text{ }\mu\text{F}$ ,  $C_O = 0.1\text{ }\mu\text{F}$  unless otherwise specified).

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
$V_O$	Output Voltage	$T_J = 25^\circ\text{C}$	19.2	20	20.8	V
$V_O$	Output Voltage	$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$ $P_O \leq 15\text{ W}$ $V_I = 24\text{ to }35\text{ V}$	19	20	21	V
$\Delta V_O(^*)$	Line Regulation	$V_I = 22.5\text{ to }35\text{ V}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$ $V_I = 26\text{ to }32\text{ V}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$			200	mV
$\Delta V_O(^*)$	Load Regulation	$I_O = 5\text{ mA to }1.5\text{ A}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$ $I_O = 250\text{ to }750\text{ mA}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$			200	mV
$I_d$	Quiescent Current	$T_J = 25^\circ\text{C}$			6	mA
$\Delta I_d$	Quiescent Current Change	$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$ $V_I = 24\text{ to }35\text{ V}$			0.5	mA
$\Delta V_O/\Delta T$	Output Voltage Drift	$I_O = 5\text{ mA}$		2.5		mV/ $^\circ\text{C}$
eN	Output Noise Voltage	$B = 10\text{ Hz to }100\text{ KHz}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$			40	$\mu\text{V}/\sqrt{V_O}$
SVR	Supply Voltage Rejection	$V_I = 24\text{ to }35\text{ V}$ $f = 120\text{ Hz}$	58			dB
$V_d$	Dropout Voltage	$I_O = 1\text{ A}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$		2	2.5	V
$R_O$	Output Resistance	$f = 1\text{ KHz}$		24		m $\Omega$
$I_{sc}$	Short Circuit Current	$V_I = 35\text{ V}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$		0.75	1.2	A
$I_{scp}$	Short Circuit Peak Current	$T_J = 25^\circ\text{C}$	1.3	2.2	3.3	A

(\*) Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in  $V_O$  due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty cycle is used.

## L7800 SERIES

**ELECTRICAL CHARACTERISTICS OF L7824** (refer to the test circuits,  $T_J = -55$  to  $150^\circ\text{C}$ ,  $V_I = 33\text{V}$ ,  $I_O = 500\text{ mA}$ ,  $C_I = 0.33\text{ }\mu\text{F}$ ,  $C_O = 0.1\text{ }\mu\text{F}$  unless otherwise specified).

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
$V_O$	Output Voltage	$T_J = 25^\circ\text{C}$	23	24	25	V
$V_O$	Output Voltage	$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$ $P_O \leq 15\text{W}$ $V_I = 28\text{ to }38\text{ V}$	22.8	24	25.2	V
$\Delta V_O(^{\circ})$	Line Regulation	$V_I = 27\text{ to }38\text{ V}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$ $V_I = 30\text{ to }36\text{ V}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$			240	mV
$\Delta V_O(^{\circ})$	Load Regulation	$I_O = 5\text{ mA to }1.5\text{ A}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$ $I_O = 250\text{ to }750\text{ mA}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$			240	mV
$I_d$	Quiescent Current	$T_J = 25^\circ\text{C}$			6	mA
$\Delta I_d$	Quiescent Current Change	$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$ $V_I = 28\text{ to }38\text{ V}$			0.5	mA
$\Delta V_O/\Delta T$	Output Voltage Drift	$I_O = 5\text{ mA}$		3		mV/ $^\circ\text{C}$
eN	Output Noise Voltage	$B = 10\text{Hz to }100\text{KHz}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$		40		$\mu\text{V}/\sqrt{V_O}$
SVR	Supply Voltage Rejection	$V_I = 28\text{ to }38\text{ V}$ $f = 120\text{Hz}$	56			dB
$V_d$	Dropout Voltage	$I_O = 1\text{ A}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$		2	2.5	V
$R_O$	Output Resistance	$f = 1\text{ KHz}$		28		m $\Omega$
$I_{sc}$	Short Circuit Current	$V_I = 35\text{ V}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$		0.75	1.2	A
$I_{scp}$	Short Circuit Peak Current	$T_J = 25^\circ\text{C}$	1.3	2.2	3.3	A

(\*) Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in  $V_O$  due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty cycle is used.

**ELECTRICAL CHARACTERISTICS OF L7805C** (refer to the test circuits,  $T_J = -55$  to  $150^\circ\text{C}$ ,  $V_I = 10\text{V}$ ,  $I_O = 500\text{ mA}$ ,  $C_I = 0.33\text{ }\mu\text{F}$ ,  $C_O = 0.1\text{ }\mu\text{F}$  unless otherwise specified).

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
$V_O$	Output Voltage	$T_J = 25^\circ\text{C}$	4.8	5	5.2	V
$V_O$	Output Voltage	$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$ $P_O \leq 15\text{W}$ $V_I = 7\text{ to }20\text{ V}$	4.75	5	5.25	V
$\Delta V_O(^{\circ})$	Line Regulation	$V_I = 7\text{ to }25\text{ V}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$ $V_I = 8\text{ to }12\text{ V}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$		3	100	mV
$\Delta V_O(^{\circ})$	Load Regulation	$I_O = 5\text{ mA to }1.5\text{ A}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$ $I_O = 250\text{ to }750\text{ mA}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$			100	mV
$I_d$	Quiescent Current	$T_J = 25^\circ\text{C}$			8	mA
$\Delta I_d$	Quiescent Current Change	$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$ $V_I = 7\text{ to }25\text{ V}$			0.5	mA
$\Delta V_O/\Delta T$	Output Voltage Drift	$I_O = 5\text{ mA}$		-1.1		mV/ $^\circ\text{C}$
eN	Output Noise Voltage	$B = 10\text{Hz to }100\text{KHz}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$		40		$\mu\text{V}/\sqrt{V_O}$
SVR	Supply Voltage Rejection	$V_I = 8\text{ to }18\text{ V}$ $f = 120\text{Hz}$	62			dB
$V_d$	Dropout Voltage	$I_O = 1\text{ A}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$		2		V
$R_O$	Output Resistance	$f = 1\text{ KHz}$		17		m $\Omega$
$I_{sc}$	Short Circuit Current	$V_I = 35\text{ V}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$		0.75		A
$I_{scp}$	Short Circuit Peak Current	$T_J = 25^\circ\text{C}$		2.2		A

(\*) Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in  $V_O$  due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty cycle is used.



## L7800 SERIES

**ELECTRICAL CHARACTERISTICS OF L7852C** (refer to the test circuits,  $T_J = -55$  to  $150^\circ\text{C}$ ,  $V_I = 10\text{V}$ ,  $I_O = 500\text{ mA}$ ,  $C_I = 0.33\text{ }\mu\text{F}$ ,  $C_O = 0.1\text{ }\mu\text{F}$  unless otherwise specified).

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
$V_O$	Output Voltage	$T_J = 25^\circ\text{C}$	5.0	5.2	5.4	V
$V_O$	Output Voltage	$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$ $P_O \leq 15\text{W}$ $V_I = 8\text{ to }20\text{ V}$	4.95	5.2	5.45	V
$\Delta V_O(^*)$	Line Regulation	$V_I = 7\text{ to }25\text{ V}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$ $V_I = 8\text{ to }12\text{ V}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$		3	105	mV
$\Delta V_O(^*)$	Load Regulation	$I_O = 5\text{ mA to }1.5\text{ A}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$ $I_O = 250\text{ to }750\text{ mA}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$			105	mV
$I_d$	Quiescent Current	$T_J = 25^\circ\text{C}$			8	mA
$\Delta I_d$	Quiescent Current Change	$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$ $V_I = 7\text{ to }25\text{ V}$			0.5	mA
$\Delta V_O/\Delta T$	Output Voltage Drift	$I_O = 5\text{ mA}$		-1		mV/°C
eN	Output Noise Voltage	$B = 10\text{Hz to }100\text{KHz}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$		42		$\mu\text{VV}_O$
SVR	Supply Voltage Rejection	$V_I = 8\text{ to }18\text{ V}$ $f = 120\text{Hz}$	61			dB
$V_d$	Dropout Voltage	$I_O = 1\text{ A}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$		2		V
$R_O$	Output Resistance	$f = 1\text{ KHz}$		17		m $\Omega$
$I_{sc}$	Short Circuit Current	$V_I = 35\text{ V}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$		0.75		A
$I_{scp}$	Short Circuit Peak Current	$T_J = 25^\circ\text{C}$		2.2		A

(\*) Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in  $V_O$  due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty cycle is used.

**ELECTRICAL CHARACTERISTICS OF L7806C** (refer to the test circuits,  $T_J = -55$  to  $150^\circ\text{C}$ ,  $V_I = 11\text{V}$ ,  $I_O = 500\text{ mA}$ ,  $C_I = 0.33\text{ }\mu\text{F}$ ,  $C_O = 0.1\text{ }\mu\text{F}$  unless otherwise specified).

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
$V_O$	Output Voltage	$T_J = 25^\circ\text{C}$	5.75	6	6.25	V
$V_O$	Output Voltage	$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$ $P_O \leq 15\text{W}$ $V_I = 8\text{ to }21\text{ V}$	5.7	6	6.3	V
$\Delta V_O(^*)$	Line Regulation	$V_I = 8\text{ to }25\text{ V}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$ $V_I = 9\text{ to }13\text{ V}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$			120	mV
$\Delta V_O(^*)$	Load Regulation	$I_O = 5\text{ mA to }1.5\text{ A}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$ $I_O = 250\text{ to }750\text{ mA}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$			120	mV
$I_d$	Quiescent Current	$T_J = 25^\circ\text{C}$			8	mA
$\Delta I_d$	Quiescent Current Change	$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$ $V_I = 8\text{ to }25\text{ V}$			0.5	mA
$\Delta V_O/\Delta T$	Output Voltage Drift	$I_O = 5\text{ mA}$		-0.8		mV/°C
eN	Output Noise Voltage	$B = 10\text{Hz to }100\text{KHz}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$		45		$\mu\text{VV}_O$
SVR	Supply Voltage Rejection	$V_I = 9\text{ to }19\text{ V}$ $f = 120\text{Hz}$	59			dB
$V_d$	Dropout Voltage	$I_O = 1\text{ A}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$		2		V
$R_O$	Output Resistance	$f = 1\text{ KHz}$		19		m $\Omega$
$I_{sc}$	Short Circuit Current	$V_I = 35\text{ V}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$		0.55		A
$I_{scp}$	Short Circuit Peak Current	$T_J = 25^\circ\text{C}$		2.2		A

(\*) Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in  $V_O$  due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty cycle is used.

## L7800 SERIES

**ELECTRICAL CHARACTERISTICS OF L7808C** (refer to the test circuits,  $T_J = -55$  to  $150^\circ\text{C}$ ,  $V_I = 14\text{V}$ ,  $I_O = 500\text{ mA}$ ,  $C_I = 0.33\text{ }\mu\text{F}$ ,  $C_O = 0.1\text{ }\mu\text{F}$  unless otherwise specified).

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
$V_O$	Output Voltage	$T_J = 25^\circ\text{C}$	7.7	8	8.3	V
$V_O$	Output Voltage	$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$ $P_O \leq 15\text{W}$ $V_I = 10.5\text{ to }25\text{ V}$	7.6	8	8.4	V
$\Delta V_O(*)$	Line Regulation	$V_I = 10.5\text{ to }25\text{ V}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$			160	mV
		$V_I = 11\text{ to }17\text{ V}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$			80	
$\Delta V_O(*)$	Load Regulation	$I_O = 5\text{ mA to }1.5\text{ A}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$			160	mV
		$I_O = 250\text{ to }750\text{ mA}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$			80	
$I_d$	Quiescent Current	$T_J = 25^\circ\text{C}$			8	mA
$\Delta I_d$	Quiescent Current Change	$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$			0.5	mA
		$V_I = 10.5\text{ to }25\text{ V}$			1	
$\Delta V_O/\Delta T$	Output Voltage Drift	$I_O = 5\text{ mA}$		-0.8		mV/ $^\circ\text{C}$
eN	Output Noise Voltage	$B = 10\text{Hz to }100\text{KHz}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$		52		$\mu\text{VV}_O$
SVR	Supply Voltage Rejection	$V_I = 11.5\text{ to }21.5\text{ V}$ $f = 120\text{Hz}$	56			dB
$V_d$	Dropout Voltage	$I_O = 1\text{ A}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$		2		V
$R_O$	Output Resistance	$f = 1\text{ KHz}$		16		m $\Omega$
$I_{sc}$	Short Circuit Current	$V_I = 35\text{ V}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$		0.45		A
$I_{scp}$	Short Circuit Peak Current	$T_J = 25^\circ\text{C}$		2.2		A

(\*) Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in  $V_O$  due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty cycle is used.

**ELECTRICAL CHARACTERISTICS OF L7885C** (refer to the test circuits,  $T_J = -55$  to  $150^\circ\text{C}$ ,  $V_I = 14.5\text{V}$ ,  $I_O = 500\text{ mA}$ ,  $C_I = 0.33\text{ }\mu\text{F}$ ,  $C_O = 0.1\text{ }\mu\text{F}$  unless otherwise specified).

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
$V_O$	Output Voltage	$T_J = 25^\circ\text{C}$	8.2	8.5	8.8	V
$V_O$	Output Voltage	$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$ $P_O \leq 15\text{W}$ $V_I = 11\text{ to }26\text{ V}$	8.1	8.5	8.9	V
$\Delta V_O(*)$	Line Regulation	$V_I = 11\text{ to }27\text{ V}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$			160	mV
		$V_I = 11.5\text{ to }17.5\text{ V}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$			80	
$\Delta V_O(*)$	Load Regulation	$I_O = 5\text{ mA to }1.5\text{ A}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$			160	mV
		$I_O = 250\text{ to }750\text{ mA}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$			80	
$I_d$	Quiescent Current	$T_J = 25^\circ\text{C}$			8	mA
$\Delta I_d$	Quiescent Current Change	$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$			0.5	mA
		$V_I = 11\text{ to }27\text{ V}$			1	
$\Delta V_O/\Delta T$	Output Voltage Drift	$I_O = 5\text{ mA}$		-0.8		mV/ $^\circ\text{C}$
eN	Output Noise Voltage	$B = 10\text{Hz to }100\text{KHz}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$		55		$\mu\text{VV}_O$
SVR	Supply Voltage Rejection	$V_I = 12\text{ to }22\text{ V}$ $f = 120\text{Hz}$	56			dB
$V_d$	Dropout Voltage	$I_O = 1\text{ A}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$		2		V
$R_O$	Output Resistance	$f = 1\text{ KHz}$		16		m $\Omega$
$I_{sc}$	Short Circuit Current	$V_I = 35\text{ V}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$		0.45		A
$I_{scp}$	Short Circuit Peak Current	$T_J = 25^\circ\text{C}$		2.2		A

(\*) Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in  $V_O$  due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty cycle is used.

## L7800 SERIES

**ELECTRICAL CHARACTERISTICS OF L7809C** (refer to the test circuits,  $T_J = -55$  to  $150^\circ\text{C}$ ,  $V_I = 15\text{V}$ ,  $I_O = 500\text{ mA}$ ,  $C_I = 0.33\text{ }\mu\text{F}$ ,  $C_O = 0.1\text{ }\mu\text{F}$  unless otherwise specified).

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
$V_O$	Output Voltage	$T_J = 25^\circ\text{C}$	8.65	9	9.35	V
$V_O$	Output Voltage	$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$ $P_O \leq 15\text{W}$ $V_I = 11.5\text{ to }26\text{ V}$	8.55	9	9.45	V
$\Delta V_O$ (*)	Line Regulation	$V_I = 11.5\text{ to }26\text{ V}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$ $V_I = 12\text{ to }18\text{ V}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$			180	mV
$\Delta V_O$ (*)	Load Regulation	$I_O = 5\text{ mA to }1.5\text{ A}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$ $I_O = 250\text{ to }750\text{ mA}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$			180	mV
$I_d$	Quiescent Current	$T_J = 25^\circ\text{C}$			8	mA
$\Delta I_d$	Quiescent Current Change	$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$ $V_I = 11.5\text{ to }26\text{ V}$			0.5	mA
$\Delta V_O/\Delta T$	Output Voltage Drift	$I_O = 5\text{ mA}$		-1		mV/°C
eN	Output Noise Voltage	$B = 10\text{Hz to }100\text{KHz}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$		70		$\mu\text{V}/\sqrt{V_O}$
SVR	Supply Voltage Rejection	$V_I = 12\text{ to }23\text{ V}$ $f = 120\text{Hz}$	55			dB
$V_d$	Dropout Voltage	$I_O = 1\text{ A}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$		2		V
$R_O$	Output Resistance	$f = 1\text{ KHz}$		17		m $\Omega$
$I_{sc}$	Short Circuit Current	$V_I = 35\text{ V}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$		0.40		A
$I_{scp}$	Short Circuit Peak Current	$T_J = 25^\circ\text{C}$		2.2		A

(\*) Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in  $V_O$  due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty cycle is used.

**ELECTRICAL CHARACTERISTICS OF L7812C** (refer to the test circuits,  $T_J = -55$  to  $150^\circ\text{C}$ ,  $V_I = 19\text{V}$ ,  $I_O = 500\text{ mA}$ ,  $C_I = 0.33\text{ }\mu\text{F}$ ,  $C_O = 0.1\text{ }\mu\text{F}$  unless otherwise specified).

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
$V_O$	Output Voltage	$T_J = 25^\circ\text{C}$	11.5	12	12.5	V
$V_O$	Output Voltage	$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$ $P_O \leq 15\text{W}$ $V_I = 14.5\text{ to }27\text{ V}$	11.4	12	12.6	V
$\Delta V_O$ (*)	Line Regulation	$V_I = 14.5\text{ to }30\text{ V}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$ $V_I = 16\text{ to }22\text{ V}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$			240	mV
$\Delta V_O$ (*)	Load Regulation	$I_O = 5\text{ mA to }1.5\text{ A}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$ $I_O = 250\text{ to }750\text{ mA}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$			240	mV
$I_d$	Quiescent Current	$T_J = 25^\circ\text{C}$			8	mA
$\Delta I_d$	Quiescent Current Change	$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$ $V_I = 14.5\text{ to }30\text{ V}$			0.5	mA
$\Delta V_O/\Delta T$	Output Voltage Drift	$I_O = 5\text{ mA}$		-1		mV/°C
eN	Output Noise Voltage	$B = 10\text{Hz to }100\text{KHz}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$		75		$\mu\text{V}/\sqrt{V_O}$
SVR	Supply Voltage Rejection	$V_I = 15\text{ to }25\text{ V}$ $f = 120\text{Hz}$	55			dB
$V_d$	Dropout Voltage	$I_O = 1\text{ A}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$		2		V
$R_O$	Output Resistance	$f = 1\text{ KHz}$		18		m $\Omega$
$I_{sc}$	Short Circuit Current	$V_I = 35\text{ V}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$		0.35		A
$I_{scp}$	Short Circuit Peak Current	$T_J = 25^\circ\text{C}$		2.2		A

(\*) Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in  $V_O$  due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty cycle is used.

## L7800 SERIES

**ELECTRICAL CHARACTERISTICS OF L7815C** (refer to the test circuits,  $T_J = -55$  to  $150^\circ\text{C}$ ,  $V_I = 23\text{V}$ ,  $I_O = 500\text{ mA}$ ,  $C_I = 0.33\text{ }\mu\text{F}$ ,  $C_O = 0.1\text{ }\mu\text{F}$  unless otherwise specified).

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
$V_O$	Output Voltage	$T_J = 25^\circ\text{C}$	14.5	15	15.6	V
$V_O$	Output Voltage	$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$ $P_O \leq 15\text{W}$ $V_I = 17.5\text{ to }30\text{ V}$	14.25	15	15.75	V
$\Delta V_O$ (*)	Line Regulation	$V_I = 17.5\text{ to }30\text{ V}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$ $V_I = 20\text{ to }26\text{ V}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$			300	mV
$\Delta V_O$ (*)	Load Regulation	$I_O = 5\text{ mA to }1.5\text{ A}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$ $I_O = 250\text{ to }750\text{ mA}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$			300	mV
$I_d$	Quiescent Current	$T_J = 25^\circ\text{C}$			8	mA
$\Delta I_d$	Quiescent Current Change	$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$ $V_I = 17.5\text{ to }30\text{ V}$			0.5	mA
$\Delta V_O/\Delta T$	Output Voltage Drift	$I_O = 5\text{ mA}$		-1		mV/°C
eN	Output Noise Voltage	$B = 10\text{Hz to }100\text{KHz}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$		90		$\mu\text{V}/\sqrt{V_O}$
SVR	Supply Voltage Rejection	$V_I = 18.5\text{ to }28.5\text{ V}$ $f = 120\text{Hz}$	54			dB
$V_d$	Dropout Voltage	$I_O = 1\text{ A}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$		2		V
$R_O$	Output Resistance	$f = 1\text{ KHz}$		19		m $\Omega$
$I_{sc}$	Short Circuit Current	$V_I = 35\text{ V}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$		0.23		A
$I_{scp}$	Short Circuit Peak Current	$T_J = 25^\circ\text{C}$		2.2		A

(\*) Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in  $V_O$  due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty cycle is used.

**ELECTRICAL CHARACTERISTICS OF L7818C** (refer to the test circuits,  $T_J = -55$  to  $150^\circ\text{C}$ ,  $V_I = 26\text{V}$ ,  $I_O = 500\text{ mA}$ ,  $C_I = 0.33\text{ }\mu\text{F}$ ,  $C_O = 0.1\text{ }\mu\text{F}$  unless otherwise specified).

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
$V_O$	Output Voltage	$T_J = 25^\circ\text{C}$	17.3	18	18.7	V
$V_O$	Output Voltage	$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$ $P_O \leq 15\text{W}$ $V_I = 21\text{ to }33\text{ V}$	17.1	18	18.9	V
$\Delta V_O$ (*)	Line Regulation	$V_I = 21\text{ to }33\text{ V}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$ $V_I = 24\text{ to }30\text{ V}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$			360	mV
$\Delta V_O$ (*)	Load Regulation	$I_O = 5\text{ mA to }1.5\text{ A}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$ $I_O = 250\text{ to }750\text{ mA}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$			360	mV
$I_d$	Quiescent Current	$T_J = 25^\circ\text{C}$			8	mA
$\Delta I_d$	Quiescent Current Change	$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$ $V_I = 21\text{ to }33\text{ V}$			0.5	mA
$\Delta V_O/\Delta T$	Output Voltage Drift	$I_O = 5\text{ mA}$		-1		mV/°C
eN	Output Noise Voltage	$B = 10\text{Hz to }100\text{KHz}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$		110		$\mu\text{V}/\sqrt{V_O}$
SVR	Supply Voltage Rejection	$V_I = 22\text{ to }32\text{ V}$ $f = 120\text{Hz}$	53			dB
$V_d$	Dropout Voltage	$I_O = 1\text{ A}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$		2		V
$R_O$	Output Resistance	$f = 1\text{ KHz}$		22		m $\Omega$
$I_{sc}$	Short Circuit Current	$V_I = 35\text{ V}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$		0.20		A
$I_{scp}$	Short Circuit Peak Current	$T_J = 25^\circ\text{C}$		2.1		A

(\*) Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in  $V_O$  due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty cycle is used.

## L7800 SERIES

**ELECTRICAL CHARACTERISTICS OF L7820G** (refer to the test circuits,  $T_J = -55$  to  $150^\circ\text{C}$ ,  $V_I = 28\text{V}$ ,  $I_O = 500\text{ mA}$ ,  $C_I = 0.33\ \mu\text{F}$ ,  $C_O = 0.1\ \mu\text{F}$  unless otherwise specified).

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
$V_O$	Output Voltage	$T_J = 25^\circ\text{C}$	19.2	20	20.8	V
$V_O$	Output Voltage	$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$ $P_O \leq 15\text{W}$ $V_I = 23\text{ to }35\text{ V}$	19	20	21	V
$\Delta V_O$ (*)	Line Regulation	$V_I = 22.5\text{ to }35\text{ V}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$ $V_I = 26\text{ to }32\text{ V}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$			400	mV
$\Delta V_O$ (*)	Load Regulation	$I_O = 5\text{ mA to }1.5\text{ A}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$ $I_O = 250\text{ to }750\text{ mA}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$			400	mV
$I_d$	Quiescent Current	$T_J = 25^\circ\text{C}$			8	mA
$\Delta I_d$	Quiescent Current Change	$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$ $V_I = 23\text{ to }35\text{ V}$			0.5	mA
$\Delta V_O/\Delta T$	Output Voltage Drift	$I_O = 5\text{ mA}$		-1		mV/°C
eN	Output Noise Voltage	$B = 10\text{Hz to }100\text{KHz}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$		150		$\mu\text{VV}_O$
SVR	Supply Voltage Rejection	$V_I = 24\text{ to }35\text{ V}$ $f = 120\text{Hz}$	52			dB
$V_d$	Dropout Voltage	$I_O = 1\text{ A}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$		2		V
$R_O$	Output Resistance	$f = 1\text{ KHz}$		24		m $\Omega$
$I_{sc}$	Short Circuit Current	$V_I = 35\text{ V}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$		0.18		A
$I_{scp}$	Short Circuit Peak Current	$T_J = 25^\circ\text{C}$		2.1		A

(\*) Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in  $V_O$  due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty cycle is used.

**ELECTRICAL CHARACTERISTICS OF L7824C** (refer to the test circuits,  $T_J = -55$  to  $150^\circ\text{C}$ ,  $V_I = 33\text{V}$ ,  $I_O = 500\text{ mA}$ ,  $C_I = 0.33\ \mu\text{F}$ ,  $C_O = 0.1\ \mu\text{F}$  unless otherwise specified).

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
$V_O$	Output Voltage	$T_J = 25^\circ\text{C}$	23	24	25	V
$V_O$	Output Voltage	$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$ $P_O \leq 15\text{W}$ $V_I = 27\text{ to }38\text{ V}$	22.8	24	25.2	V
$\Delta V_O$ (*)	Line Regulation	$V_I = 27\text{ to }38\text{ V}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$ $V_I = 30\text{ to }36\text{ V}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$			480	mV
$\Delta V_O$ (*)	Load Regulation	$I_O = 5\text{ mA to }1.5\text{ A}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$ $I_O = 250\text{ to }750\text{ mA}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$			480	mV
$I_d$	Quiescent Current	$T_J = 25^\circ\text{C}$			8	mA
$\Delta I_d$	Quiescent Current Change	$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$ $V_I = 27\text{ to }38\text{ V}$			0.5	mA
$\Delta V_O/\Delta T$	Output Voltage Drift	$I_O = 5\text{ mA}$		-1.5		mV/°C
eN	Output Noise Voltage	$B = 10\text{Hz to }100\text{KHz}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$		170		$\mu\text{VV}_O$
SVR	Supply Voltage Rejection	$V_I = 28\text{ to }38\text{ V}$ $f = 120\text{Hz}$	50			dB
$V_d$	Dropout Voltage	$I_O = 1\text{ A}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$		2		V
$R_O$	Output Resistance	$f = 1\text{ KHz}$		28		m $\Omega$
$I_{sc}$	Short Circuit Current	$V_I = 35\text{ V}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$		0.15		A
$I_{scp}$	Short Circuit Peak Current	$T_J = 25^\circ\text{C}$		2.1		A

(\*) Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in  $V_O$  due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty cycle is used.

L7800 SERIES

Figure 4 : Dropout Voltage vs Junction Temperature

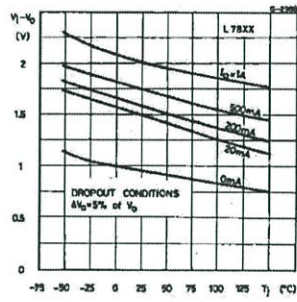


Figure 7 : Output Voltage vs Junction Temperature

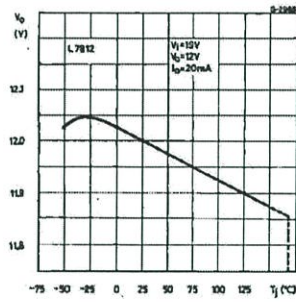


Figure 5 : Peak Output Current vs Input/output Differential Voltage

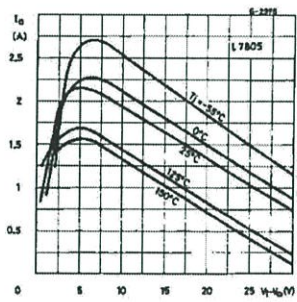


Figure 8 : Output Impedance vs Frequency

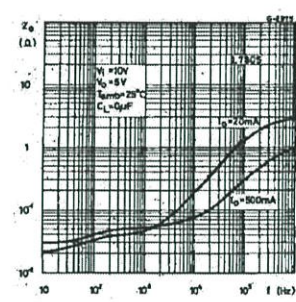


Figure 6 : Supply Voltage Rejection vs Frequency

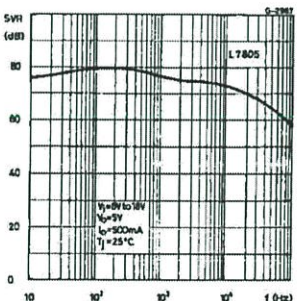
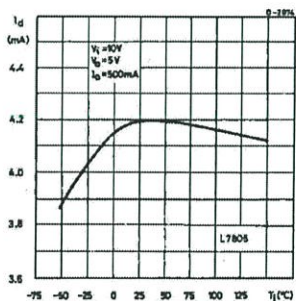


Figure 9 : Quiescent Current vs Junction Temperature



L7800 SERIES

Figure 10 : Load Transient Response

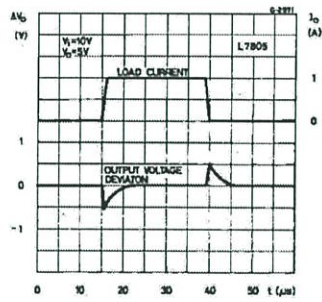


Figure 12 : Quiescent Current vs Input Voltage

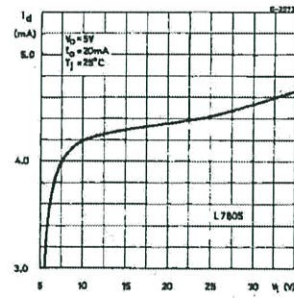


Figure 11 : Line Transient Response

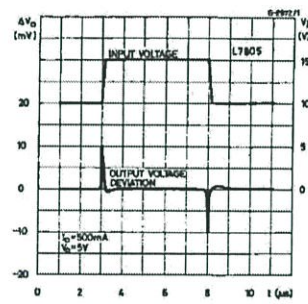
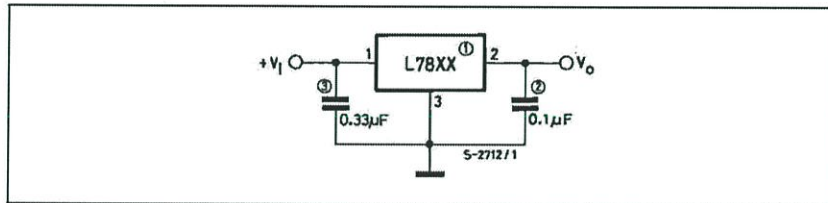


Figure 13 : Fixed Output Regulator



- NOTE:
1. To specify an output voltage, substitute voltage value for "XX".
  2. Although no output capacitor is needed for stability, it does improve transient response.
  3. Required if regulator is located an appreciable distance from power supply filter.



## L7900 SERIES

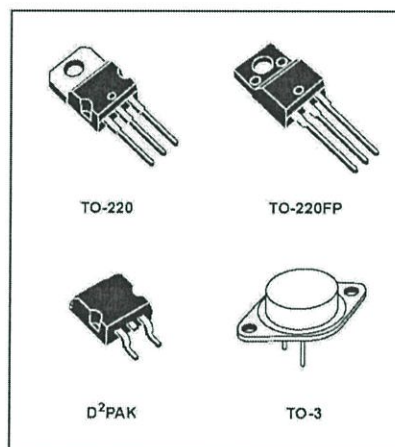
### NEGATIVE VOLTAGE REGULATORS

- OUTPUT CURRENT UP TO 1.5A
- OUTPUT VOLTAGES OF -5; -5.2; -6; -8; -9; -12; -15; -18; -20; -22; -24V
- THERMAL OVERLOAD PROTECTION
- SHORT CIRCUIT PROTECTION
- OUTPUT TRANSITION SOA PROTECTION

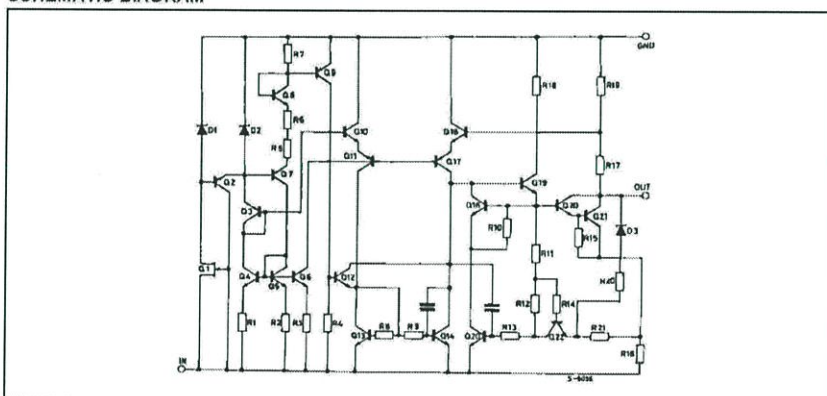
#### DESCRIPTION

The L7900 series of three-terminal negative regulators is available in TO-220, TO-220FP, TO-3 and D<sup>2</sup>PAK packages and several fixed output voltages, making it useful in a wide range of applications. These regulators can provide local on-card regulation, eliminating the distribution problems associated with single point regulation; furthermore, having the same voltage option as the L7800 positive standard series, they are particularly suited for split power supplies. In addition, the -5.2V is also available for ECL system. If adequate heat sinking is provided, they can deliver over 1.5A output current.

Although designed primarily as fixed voltage regulators, these devices can be used with external components to obtain adjustable voltages and currents.



#### SCHEMATIC DIAGRAM



## L7900 SERIES

## ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

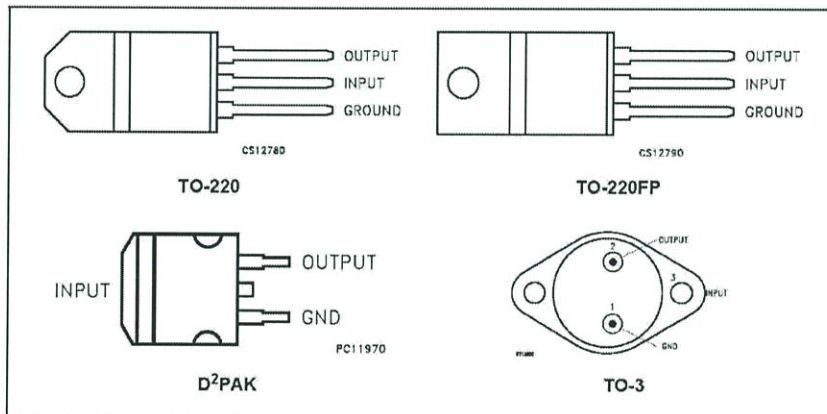
Symbol	Parameter <sup>2</sup>		Value	Unit
$V_i$	DC Input Voltage	for $V_O = 5$ to $18V$	-35	V
		for $V_O = 20, 24V$	-40	
$I_O$	Output Current		Internally Limited	
$P_{tot}$	Power Dissipation		Internally Limited	
$T_{stg}$	Storage Temperature Range		-65 to 150	$^{\circ}C$
$T_{op}$	Operating Junction Temperature Range		0 to 150	$^{\circ}C$

Absolute Maximum Ratings are those values beyond which damage to the device may occur. Functional operation under these condition is not implied.

## THERMAL DATA

Symbol	Parameter		D <sup>2</sup> PAK	TO-220	TO-220FP	TO-3	Unit
$R_{thj-case}$	Thermal Resistance Junction-case	Max	3	3	5	4	$^{\circ}C/W$
$R_{thj-amb}$	Thermal Resistance Junction-ambient	Max	62.5	50	60	35	$^{\circ}C/W$

## CONNECTION DIAGRAM (top view)



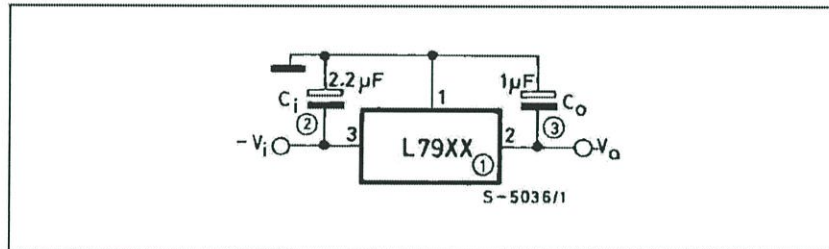
## L7900 SERIES

## ORDERING CODES

TYPE	TO-220	D <sup>2</sup> PAK (*)	TO-220FP	TO-3	OUTPUT VOLTAGE
L7905C	L7905CV	L7905ACD2T	L7905CP	L7905CT	-5 V
L7952C	L7952CV	L7952ACD2T		L7952CT	-5.2 V
L7906C	L7906CV	L7906ACD2T	L7906CP	L7906CT	-6 V
L7908C	L7908CV	L7908ACD2T	L7908CP	L7908CT	-8 V
L7912C	L7912CV	L7912ACD2T	L7912CP	L7912CT	-12 V
L7915C	L7915CV	L7915ACD2T	L7915CP	L7915CT	-15 V
L7918C	L7918CV	L7918ACD2T	L7918CP	L7918CT	-18 V
L7920C	L7920CV	L7920ACD2T	L7920CP	L7920CT	-20 V
L7922C	L7922CV	L7922ACD2T		L7922CT	-22 V
L7924C	L7924CV	L7924ACD2T	L7924CP	L7924CT	-24 V

(\*) Available in Tape & Reel with the suffix "-TR".

## TEST CIRCUIT



**ELECTRICAL CHARACTERISTICS OF L7905C** (refer to the test circuits,  $T_J = 0$  to  $125^\circ\text{C}$ ,  $V_i = -10\text{V}$ ,  $I_O = 500$  mA,  $C_i = 2.2$   $\mu\text{F}$ ,  $C_o = 1$   $\mu\text{F}$  unless otherwise specified).

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
$V_O$	Output Voltage	$T_J = 25^\circ\text{C}$	-4.8	-5	-5.2	V
$V_O$	Output Voltage	$I_O = -5$ mA to $-1$ A $P_O \leq 15$ W $V_i = 8$ to $20$ V	-4.75	-5	-5.25	V
$\Delta V_O$ (*)	Line Regulation	$V_i = -7$ to $-25$ V $T_J = 25^\circ\text{C}$ $V_i = -8$ to $-12$ V $T_J = 25^\circ\text{C}$			100	mV
$\Delta V_O$ (*)	Load Regulation	$I_O = 5$ mA to $1.5$ A $T_J = 25^\circ\text{C}$ $I_O = 250$ to $750$ mA $T_J = 25^\circ\text{C}$			100	mV
$I_d$	Quiescent Current	$T_J = 25^\circ\text{C}$			3	mA
$\Delta I_d$	Quiescent Current Change	$I_O = 5$ mA to $1$ A $V_i = -8$ to $-25$ V			0.5	mA
$\Delta V_O/\Delta T$	Output Voltage Drift	$I_O = 5$ mA		-0.4		mV/ $^\circ\text{C}$
eN	Output Noise Voltage	$B = 10\text{Hz}$ to $100\text{KHz}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$		100		$\mu\text{V}$
SVR	Supply Voltage Rejection	$\Delta V_i = 10$ V $f = 120\text{Hz}$	54	60		dB
$V_d$	Dropout Voltage	$I_O = 1$ A $T_J = 25^\circ\text{C}$ $\Delta V_O = 100$ mV		1.4		V
$I_{sc}$	Short Circuit Current			2.1		A

(\*) Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in  $V_O$  due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty cycle is used.

## L7900 SERIES

**ELECTRICAL CHARACTERISTICS OF L7952C** (refer to the test circuits,  $T_J = 0$  to  $125^\circ\text{C}$ ,  $V_I = -10\text{V}$ ,  $I_O = 500\text{ mA}$ ,  $C_I = 2.2\ \mu\text{F}$ ,  $C_O = 1\ \mu\text{F}$  unless otherwise specified).

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
$V_O$	Output Voltage	$T_J = 25^\circ\text{C}$	-5.0	-5.2	-5.4	V
$V_O$	Output Voltage	$I_O = -5\text{ mA to } -1\text{ A}$ $P_O \leq 15\text{ W}$ $V_I = -9\text{ to } -21\text{ V}$	-4.95	-5.2	-5.45	V
$\Delta V_O(^*)$	Line Regulation	$V_I = -8\text{ to } -25\text{ V}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$			105	mV
		$V_I = -9\text{ to } -12\text{ V}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$			52	
$\Delta V_O(^*)$	Load Regulation	$I_O = 5\text{ mA to } 1.5\text{ A}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$			105	mV
		$I_O = 250\text{ to } 750\text{ mA}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$			52	
$I_d$	Quiescent Current	$T_J = 25^\circ\text{C}$			3	mA
$\Delta I_d$	Quiescent Current Change	$I_O = 5\text{ mA to } 1\text{ A}$			0.5	mA
		$V_I = -9\text{ to } -25\text{ V}$			1.3	
$\Delta V_O/\Delta T$	Output Voltage Drift	$I_O = 5\text{ mA}$		-0.5		mV/°C
eN	Output Noise Voltage	$B = 10\text{ Hz to } 100\text{ kHz}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$		125		$\mu\text{V}$
SVR	Supply Voltage Rejection	$\Delta V_I = 10\text{ V}$ $f = 120\text{ Hz}$	54	60		dB
$V_d$	Dropout Voltage	$I_O = 1\text{ A}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$ $\Delta V_O = 100\text{ mV}$		1.4		V
$I_{sc}$	Short Circuit Current			2		A

(\*) Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in  $V_O$  due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty cycle is used.

**ELECTRICAL CHARACTERISTICS OF L7906C** (refer to the test circuits,  $T_J = 0$  to  $125^\circ\text{C}$ ,  $V_I = -11\text{V}$ ,  $I_O = 500\text{ mA}$ ,  $C_I = 2.2\ \mu\text{F}$ ,  $C_O = 1\ \mu\text{F}$  unless otherwise specified).

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
$V_O$	Output Voltage	$T_J = 25^\circ\text{C}$	-5.75	-6	-6.25	V
$V_O$	Output Voltage	$I_O = -5\text{ mA to } -1\text{ A}$ $P_O \leq 15\text{ W}$ $V_I = -9.5\text{ to } -21.5\text{ V}$	-5.7	-6	-6.3	V
$\Delta V_O(^*)$	Line Regulation	$V_I = -8.5\text{ to } -25\text{ V}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$			120	mV
		$V_I = -9\text{ to } -15\text{ V}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$			60	
$\Delta V_O(^*)$	Load Regulation	$I_O = 5\text{ mA to } 1.5\text{ A}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$			120	mV
		$I_O = 250\text{ to } 750\text{ mA}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$			60	
$I_d$	Quiescent Current	$T_J = 25^\circ\text{C}$			3	mA
$\Delta I_d$	Quiescent Current Change	$I_O = 5\text{ mA to } 1\text{ A}$			0.5	mA
		$V_I = -9.5\text{ to } -25\text{ V}$			1.3	
$\Delta V_O/\Delta T$	Output Voltage Drift	$I_O = 5\text{ mA}$		-0.6		mV/°C
eN	Output Noise Voltage	$B = 10\text{ Hz to } 100\text{ kHz}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$		144		$\mu\text{V}$
SVR	Supply Voltage Rejection	$\Delta V_I = 10\text{ V}$ $f = 120\text{ Hz}$	54	60		dB
$V_d$	Dropout Voltage	$I_O = 1\text{ A}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$ $\Delta V_O = 100\text{ mV}$		1.4		V
$I_{sc}$	Short Circuit Current			2		A

(\*) Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in  $V_O$  due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty cycle is used.

## L7900 SERIES

**ELECTRICAL CHARACTERISTICS OF L7908C** (refer to the test circuits,  $T_J = 0$  to  $125^\circ\text{C}$ ,  $V_I = -14\text{V}$ ,  $I_O = 500\text{ mA}$ ,  $C_I = 2.2\ \mu\text{F}$ ,  $C_O = 1\ \mu\text{F}$  unless otherwise specified).

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
$V_O$	Output Voltage	$T_J = 25^\circ\text{C}$	-7.7	-8	-8.3	V
$V_O$	Output Voltage	$I_O = -5\text{ mA to } -1\text{ A}$ $P_O \leq 15\text{ W}$ $V_I = -11.5\text{ to } -23\text{ V}$	-7.6	-8	-8.4	V
$\Delta V_O(^*)$	Line Regulation	$V_I = -10.5\text{ to } -25\text{ V}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$			160	mV
		$V_I = -11\text{ to } -17\text{ V}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$			80	
$\Delta V_O(^*)$	Load Regulation	$I_O = 5\text{ mA to } 1.5\text{ A}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$			160	mV
		$I_O = 250\text{ to } 750\text{ mA}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$			80	
$I_d$	Quiescent Current	$T_J = 25^\circ\text{C}$			3	mA
$\Delta I_d$	Quiescent Current Change	$I_O = 5\text{ mA to } 1\text{ A}$			0.5	mA
		$V_I = -11.5\text{ to } -25\text{ V}$			1	
$\Delta V_O/\Delta T$	Output Voltage Drift	$I_O = 5\text{ mA}$		-0.6		mV/ $^\circ\text{C}$
eN	Output Noise Voltage	$B = 10\text{Hz to } 100\text{KHz}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$		175		$\mu\text{V}$
SVR	Supply Voltage Rejection	$\Delta V_I = 10\text{ V}$ $f = 120\text{Hz}$	54	60		dB
$V_d$	Dropout Voltage	$I_O = 1\text{ A}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$ $\Delta V_O = 100\text{ mV}$		1.1		V
$I_{sc}$	Short Circuit Current			1.5		A

(\*) Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in  $V_O$  due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty cycle is used.

**ELECTRICAL CHARACTERISTICS OF L7912C** (refer to the test circuits,  $T_J = 0$  to  $125^\circ\text{C}$ ,  $V_I = -19\text{V}$ ,  $I_O = 500\text{ mA}$ ,  $C_I = 2.2\ \mu\text{F}$ ,  $C_O = 1\ \mu\text{F}$  unless otherwise specified).

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
$V_O$	Output Voltage	$T_J = 25^\circ\text{C}$	-11.5	-12	-12.5	V
$V_O$	Output Voltage	$I_O = -5\text{ mA to } -1\text{ A}$ $P_O \leq 15\text{ W}$ $V_I = -15.5\text{ to } -27\text{ V}$	-11.4	-12	-12.6	V
$\Delta V_O(^*)$	Line Regulation	$V_I = -14.5\text{ to } -30\text{ V}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$			240	mV
		$V_I = -16\text{ to } -22\text{ V}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$			120	
$\Delta V_O(^*)$	Load Regulation	$I_O = 5\text{ mA to } 1.5\text{ A}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$			240	mV
		$I_O = 250\text{ to } 750\text{ mA}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$			120	
$I_d$	Quiescent Current	$T_J = 25^\circ\text{C}$			3	mA
$\Delta I_d$	Quiescent Current Change	$I_O = 5\text{ mA to } 1\text{ A}$			0.5	mA
		$V_I = -15\text{ to } -30\text{ V}$			1	
$\Delta V_O/\Delta T$	Output Voltage Drift	$I_O = 5\text{ mA}$		-0.8		mV/ $^\circ\text{C}$
eN	Output Noise Voltage	$B = 10\text{Hz to } 100\text{KHz}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$		200		$\mu\text{V}$
SVR	Supply Voltage Rejection	$\Delta V_I = 10\text{ V}$ $f = 120\text{Hz}$	54	60		dB
$V_d$	Dropout Voltage	$I_O = 1\text{ A}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$ $\Delta V_O = 100\text{ mV}$		1.1		V
$I_{sc}$	Short Circuit Current			1.5		A

(\*) Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in  $V_O$  due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty cycle is used.

## L7900 SERIES

**ELECTRICAL CHARACTERISTICS OF L7915C** (refer to the test circuits,  $T_J = 0$  to  $125^\circ\text{C}$ ,  $V_I = -23\text{V}$ ,  $I_O = 500\text{ mA}$ ,  $C_I = 2.2\ \mu\text{F}$ ,  $C_O = 1\ \mu\text{F}$  unless otherwise specified).

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
$V_O$	Output Voltage	$T_J = 25^\circ\text{C}$	-14.4	-15	-15.6	V
$V_O$	Output Voltage	$I_O = -5\text{ mA to } -1\text{ A}$ $P_O \leq 15\text{ W}$ $V_I = -18.5\text{ to } -30\text{ V}$	-14.3	-15	-15.7	V
$\Delta V_O(^*)$	Line Regulation	$V_I = -17.5\text{ to } -30\text{ V}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$ $V_I = -20\text{ to } -26\text{ V}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$			300 150	mV
$\Delta V_O(^*)$	Load Regulation	$I_O = 5\text{ mA to } 1.5\text{ A}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$ $I_O = 250\text{ to } 750\text{ mA}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$			300 150	mV
$I_d$	Quiescent Current	$T_J = 25^\circ\text{C}$			3	mA
$\Delta I_d$	Quiescent Current Change	$I_O = 5\text{ mA to } 1\text{ A}$ $V_I = -18.6\text{ to } -30\text{ V}$			0.5 1	mA
$\Delta V_O/\Delta T$	Output Voltage Drift	$I_O = 5\text{ mA}$		-0.9		mV/°C
eN	Output Noise Voltage	$B = 10\text{Hz to } 100\text{KHz}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$		250		$\mu\text{V}$
SVR	Supply Voltage Rejection	$\Delta V_I = 10\text{ V}$ $f = 120\text{Hz}$	54	60		dB
$V_d$	Dropout Voltage	$I_O = 1\text{ A}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$ $\Delta V_O = 100\text{ mV}$		1.1		V
$I_{sc}$	Short Circuit Current			1.3		A

(\* ) Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in  $V_O$  due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty cycle is used.

**ELECTRICAL CHARACTERISTICS OF L7918C** (refer to the test circuits,  $T_J = 0$  to  $125^\circ\text{C}$ ,  $V_I = -27\text{V}$ ,  $I_O = 500\text{ mA}$ ,  $C_I = 2.2\ \mu\text{F}$ ,  $C_O = 1\ \mu\text{F}$  unless otherwise specified).

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
$V_O$	Output Voltage	$T_J = 25^\circ\text{C}$	-17.3	-18	-18.7	V
$V_O$	Output Voltage	$I_O = -5\text{ mA to } -1\text{ A}$ $P_O \leq 15\text{ W}$ $V_I = -22\text{ to } -33\text{ V}$	-17.1	-18	-18.9	V
$\Delta V_O(^*)$	Line Regulation	$V_I = -21\text{ to } -33\text{ V}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$ $V_I = -24\text{ to } -30\text{ V}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$			360 180	mV
$\Delta V_O(^*)$	Load Regulation	$I_O = 5\text{ mA to } 1.5\text{ A}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$ $I_O = 250\text{ to } 750\text{ mA}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$			360 180	mV
$I_d$	Quiescent Current	$T_J = 25^\circ\text{C}$			3	mA
$\Delta I_d$	Quiescent Current Change	$I_O = 5\text{ mA to } 1\text{ A}$ $V_I = -22\text{ to } -33\text{ V}$			0.5 1	mA
$\Delta V_O/\Delta T$	Output Voltage Drift	$I_O = 5\text{ mA}$		-1		mV/°C
eN	Output Noise Voltage	$B = 10\text{Hz to } 100\text{KHz}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$		300		$\mu\text{V}$
SVR	Supply Voltage Rejection	$\Delta V_I = 10\text{ V}$ $f = 120\text{Hz}$	54	60		dB
$V_d$	Dropout Voltage	$I_O = 1\text{ A}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$ $\Delta V_O = 100\text{ mV}$		1.1		V
$I_{sc}$	Short Circuit Current			1.1		A

(\* ) Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in  $V_O$  due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty cycle is used.

## L7900 SERIES

**ELECTRICAL CHARACTERISTICS OF L7920C** (refer to the test circuits,  $T_J = 0$  to  $125^\circ\text{C}$ ,  $V_I = -29\text{V}$ ,  $I_O = 500\text{ mA}$ ,  $C_I = 2.2\ \mu\text{F}$ ,  $C_O = 1\ \mu\text{F}$  unless otherwise specified).

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
$V_O$	Output Voltage	$T_J = 25^\circ\text{C}$	-19.2	-20	-20.8	V
$V_O$	Output Voltage	$I_O = -5\text{ mA to } -1\text{ A}$ $P_O \leq 15\text{ W}$ $V_I = -24\text{ to } -35\text{ V}$	-19	-20	-21	V
$\Delta V_O(^*)$	Line Regulation	$V_I = -23\text{ to } -35\text{ V}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$ $V_I = -26\text{ to } -32\text{ V}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$			400 200	mV
$\Delta V_O(^*)$	Load Regulation	$I_O = 5\text{ mA to } 1.5\text{ A}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$ $I_O = 250\text{ to } 750\text{ mA}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$			400 200	mV
$I_d$	Quiescent Current	$T_J = 25^\circ\text{C}$			3	mA
$\Delta I_d$	Quiescent Current Change	$I_O = 5\text{ mA to } 1\text{ A}$ $V_I = -24\text{ to } -35\text{ V}$			0.5 1	mA
$\Delta V_O/\Delta T$	Output Voltage Drift	$I_O = 5\text{ mA}$		-1.1		mV/ $^\circ\text{C}$
eN	Output Noise Voltage	$B = 10\text{Hz to } 100\text{KHz}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$		350		$\mu\text{V}$
SVR	Supply Voltage Rejection	$\Delta V_I = 10\text{ V}$ $f = 120\text{Hz}$	54	60		dB
$V_d$	Dropout Voltage	$I_O = 1\text{ A}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$ $\Delta V_O = 100\text{ mV}$		1.1		V
$I_{sc}$	Short Circuit Current			0.9		A

(\*) Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in  $V_O$  due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty cycle is used.

**ELECTRICAL CHARACTERISTICS OF L7922C** (refer to the test circuits,  $T_J = 0$  to  $125^\circ\text{C}$ ,  $V_I = -31\text{V}$ ,  $I_O = 500\text{ mA}$ ,  $C_I = 2.2\ \mu\text{F}$ ,  $C_O = 1\ \mu\text{F}$  unless otherwise specified).

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
$V_O$	Output Voltage	$T_J = 25^\circ\text{C}$	-21.1	-22	-22.9	V
$V_O$	Output Voltage	$I_O = -5\text{ mA to } -1\text{ A}$ $P_O \leq 15\text{ W}$ $V_I = -26\text{ to } -37\text{ V}$	-20.9	-22	-23.1	V
$\Delta V_O(^*)$	Line Regulation	$V_I = -25\text{ to } -37\text{ V}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$ $V_I = -28\text{ to } -34\text{ V}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$			440 220	mV
$\Delta V_O(^*)$	Load Regulation	$I_O = 5\text{ mA to } 1.5\text{ A}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$ $I_O = 250\text{ to } 750\text{ mA}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$			440 220	mV
$I_d$	Quiescent Current	$T_J = 25^\circ\text{C}$			3	mA
$\Delta I_d$	Quiescent Current Change	$I_O = 5\text{ mA to } 1\text{ A}$ $V_I = -26\text{ to } -37\text{ V}$			0.5 1	mA
$\Delta V_O/\Delta T$	Output Voltage Drift	$I_O = 5\text{ mA}$		-1.1		mV/ $^\circ\text{C}$
eN	Output Noise Voltage	$B = 10\text{Hz to } 100\text{KHz}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$		375		$\mu\text{V}$
SVR	Supply Voltage Rejection	$\Delta V_I = 10\text{ V}$ $f = 120\text{Hz}$	54	60		dB
$V_d$	Dropout Voltage	$I_O = 1\text{ A}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$ $\Delta V_O = 100\text{ mV}$		1.1		V
$I_{sc}$	Short Circuit Current			1.1		A

(\*) Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in  $V_O$  due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty cycle is used.

## L7900 SERIES

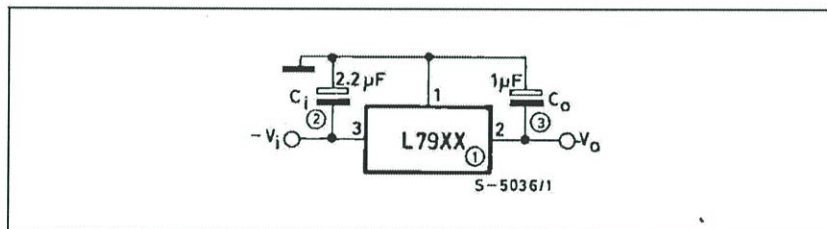
**ELECTRICAL CHARACTERISTICS OF L7924C** (refer to the test circuits,  $T_J = 0$  to  $125^\circ\text{C}$ ,  $V_I = -33\text{V}$ ,  $I_O = 500\text{ mA}$ ,  $C_I = 2.2\ \mu\text{F}$ ,  $C_O = 1\ \mu\text{F}$  unless otherwise specified).

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
$V_O$	Output Voltage	$T_J = 25^\circ\text{C}$	-23	-24	-24.5	V
$V_O$	Output Voltage	$I_O = -5\text{ mA to } -1\text{ A}$ $P_O \leq 15\text{ W}$ $V_I = -27\text{ to } -38\text{ V}$	-22.8	-24	-25.2	V
$\Delta V_O(^{\circ})$	Line Regulation	$V_I = -27\text{ to } -38\text{ V}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$ $V_I = -30\text{ to } -36\text{ V}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$			480	mV
$\Delta V_O(^{\circ})$	Load Regulation	$I_O = 5\text{ mA to } 1.5\text{ A}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$ $I_O = 250\text{ to } 750\text{ mA}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$			480	mV
$I_d$	Quiescent Current	$T_J = 25^\circ\text{C}$			3	mA
$\Delta I_d$	Quiescent Current Change	$I_O = 5\text{ mA to } 1\text{ A}$ $V_I = -27\text{ to } -38\text{ V}$			0.5	mA
$\Delta V_O/\Delta T$	Output Voltage Drift	$I_O = 5\text{ mA}$		-1		mV/°C
eN	Output Noise Voltage	$B = 10\text{ Hz to } 100\text{ KHz}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$		400		$\mu\text{V}$
SVR	Supply Voltage Rejection	$\Delta V_I = 10\text{ V}$ $f = 120\text{ Hz}$	54	60		dB
$V_d$	Dropout Voltage	$I_O = 1\text{ A}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$ $\Delta V_O = 100\text{ mV}$		1.1		V
$I_{sc}$	Short Circuit Current			1.1		A

(\*) Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in  $V_O$  due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty cycle is used.

## APPLICATIONS INFORMATION

Figure 1 : Fixed Output Regulator



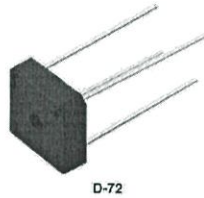
## NOTE:

1. To specify an output voltage, substitute voltage value for "XX".
2. Required for stability. For value given, capacitor must be solid tantalum. If aluminium electrolytics are used, at least ten times value should be selected.  $C_I$  is required if regulator is located an appreciable distance from power supply filter.
3. To improve transient response. If large capacitors are used, a high current diode from input to output (1N4001 or similar) should be introduced to protect the device from momentary input short circuit.



**KBPC8 Series**  
Vishay High Power Products

## Single Phase Rectifier Bridge, 8 A



### FEATURES

- Suitable for printed circuit board or chassis mounting
- Compact construction
- High surge current capability
- Fully characterised data
- Wide temperature range
- RoHS compliant



PRODUCT SUMMARY	
$I_{O(M)}$	8.0 A
$V_{RRM}$	50 to 1000 V

### DESCRIPTION

The KBPC series of single phase rectifier bridge consists of four silicon junctions connected as a full bridge. These devices are intended for general use in industrial and consumer equipment.

MAJOR RATINGS AND CHARACTERISTICS			
SYMBOL	CHARACTERISTICS	VALUES	UNITS
$I_O$	$T_C = 50^\circ\text{C}$ , resistive load	8	A
	$T_C = 50^\circ\text{C}$ , capacitive load	6.4	
$I_{FSM}$	50 Hz	125	A
	60 Hz	137	
$I^2t$	50 Hz	110	$\text{A}^2\text{s}$
	60 Hz	100	
$V_{RRM}$	Range	50 to 1000	V
$T_J$		- 55 to 150	$^\circ\text{C}$

### ELECTRICAL SPECIFICATIONS

VOLTAGE RATINGS		
PART NUMBER	$V_{RRM}$ , MAXIMUM REPETITIVE PEAK REVERSE VOLTAGE V	$V_{RSM}$ , MAXIMUM NON-REPETITIVE PEAK REVERSE VOLTAGE V
KBPC8005	50	80
KBPC801	100	150
KBPC802	200	300
KBPC804	400	500
KBPC806	600	700
KBPC808	800	900
KBPC810	1000	1100

**KBPC8 Series**

Vishay High Power Products Single Phase Rectifier Bridge, 8 A



FORWARD CONDUCTION				
PARAMETER	SYMBOL	TEST CONDITIONS	VALUES	UNITS
Maximum DC output current	$I_O$	$T_C = 50\text{ }^\circ\text{C}$ , resistive or inductive load	8.0	A
		$T_C = 50\text{ }^\circ\text{C}$ , capacitive load	6.4	
Maximum peak one cycle, non-repetitive surge current	$I_{FSM}$	$t = 10\text{ ms}$ , $20\text{ ms}$	125	A
		$t = 8.3\text{ ms}$ , $16.7\text{ ms}$	137	
Maximum $I^2t$ capability for fusing	$I^2t$	$t = 10\text{ ms}$	78	$\text{A}^2\text{s}$
		$t = 8.3\text{ ms}$	71	
		$t = 10\text{ ms}$	110	
		$t = 8.3\text{ ms}$	1000	
Maximum $I^2\text{-}t$ capability for fusing	$I^2\text{-}t$	$t = 0.1\text{ to }10\text{ ms}$ , no voltage reapplied	1105	$\text{A}^2\text{-}s$
Maximum peak forward voltage per diode	$V_{FM}$	$I_{FM} = 3.0\text{ A}$ , $T_J = 25\text{ }^\circ\text{C}$	1.0	V
Typical peak reverse leakage per diode	$I_{RM}$	$T_J = 25\text{ }^\circ\text{C}$ , $100\% V_{RRM}$	10	mA
		$T_J = 150\text{ }^\circ\text{C}$ , $100\% V_{RRM}$	100	
Operating frequency range	$f$		400 to 1000	Hz
Maximum repetitive peak reverse voltage range	$V_{RRM}$		50 to 1000	V

THERMAL AND MECHANICAL SPECIFICATIONS			
PARAMETER	SYMBOL	VALUES	UNITS
Operating and storage temperature range	$T_J, T_{STG}$	- 55 to 150	$^\circ\text{C}$
Thermal resistance, junction to case	$R_{\theta(JC)}$	6	K/W
Approximate weight		6	g
		0.21	oz.

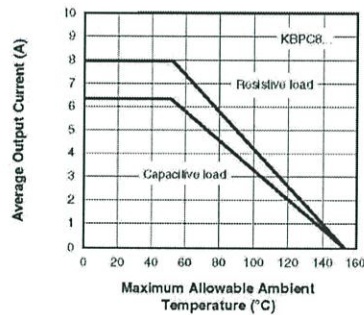


Fig. 1 - Current Ratings

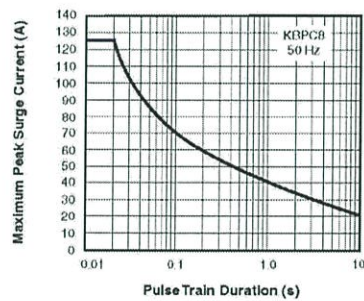


Fig. 2 - Non-Repetitive Surge Ratings

LINKS TO RELATED DOCUMENTS	
Dimensions	<a href="http://www.vishay.com/doc?95250">http://www.vishay.com/doc?95250</a>

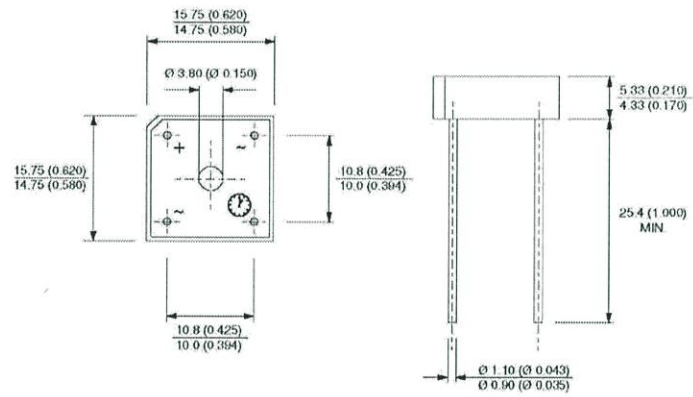



## Outline Dimensions

Vishay Semiconductors

### D-72

**DIMENSIONS** in millimeters (inches)



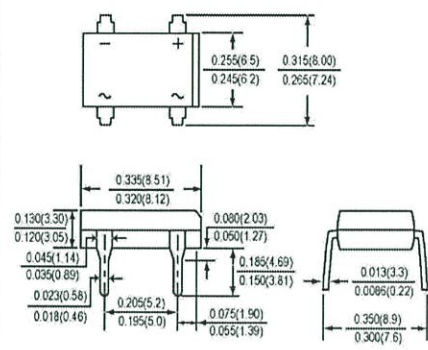


### DB101G THRU DB107G


GLASS PASSIVATED SINGLE-PHASE BRIDGE RECTIFIER

Reverse Voltage - 50 to 1000 Volts      Forward Current - 1.0 Ampere

**DFM**



\*Dimensions in inches and (millimeters)



**FEATURES**

- \* This series is UL listed under the Recognized Component Index, file number E-96005
- \* Surge overload rating of 50 Amperes peak
- \* Ideal for printed circuit board
- \* Reliable low cost construction utilizing molded plastic technique
- \* High temperature soldering guaranteed: 260°C/10 seconds, 0.375" (9.5mm) lead length, 5lbs. (2.3 kg) tension
- \* Plastic package has Underwriters Laboratory Flammability Classification 94V-0

**MECHANICAL DATA**

**Case :** JEDEC DFM molded plastic body over passivated junction  
**Terminals :** Plated leads solderable per MIL-STD-750, Method 2026  
**Polarity :** Color band denotes cathode end  
**Mounting Position :** Any  
**Weight :** 0.04 ounces , 1.0 gram

**MAXIMUM RATINGS AND ELECTRICAL CHARACTERISTICS**

Ratings at 25 °C ambient temperature unless otherwise specified.	SYMBOLS	DB							UNITS
		101G	102G	103G	104G	105G	106G	107G	
Maximum repetitive peak reverse voltage	VRRM	50	100	200	400	600	800	1000	Volts
Maximum RMS voltage	VRMS	35	70	140	280	420	560	700	Volts
Maximum DC blocking voltage	VDC	50	100	200	400	600	800	1000	Volts
Maximum average forward rectified current @TA=40°C	I(AV)	1.0							Amps
Peak forward surge current 8.3ms single half sine-wave superimposed on rated load (JEDEC Method)	IFSM	50							Amps
Maximum instantaneous forward voltage at 1.0 A	VF	1.1							Volts
Maximum reverse current @TA=25°C at rated DC blocking voltage per element @TA=125°C	IR	10 500							µA
Typical junction capacitance (NOTE 1)	CJ	25							pF
Typical thermal resistance (NOTE 2)	R θJA	40							°C / W
	R θJL	15							
Operating junction and storage temperature range	TJ, TSTG	-55 to +150							°C

NOTES : (1) Measured at 1.0 MHz and applied reverse voltage of 4.0 Volts  
 (2) Thermal resistance from junction to ambient and from junction to lead mounted on P.C.B. with 0.5 X0.5" (13 X 13mm) copper pads

RATINGS AND CHARACTERISTIC CURVES DB101G THRU DB107G

FIG.1 - FORWARD CURRENT DERATING CURVE

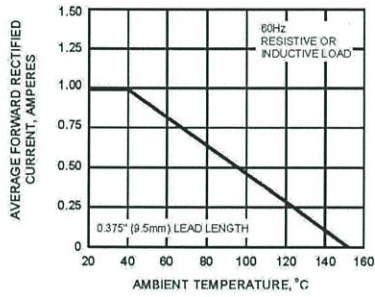


FIG.2 - MAXIMUM NON-REPETITIVE PEAK FORWARD SURGE CURRENT

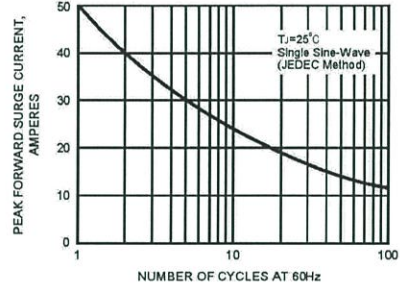


FIG.3 - TYPICAL INSTANTANEOUS FORWARD CHARACTERISTICS

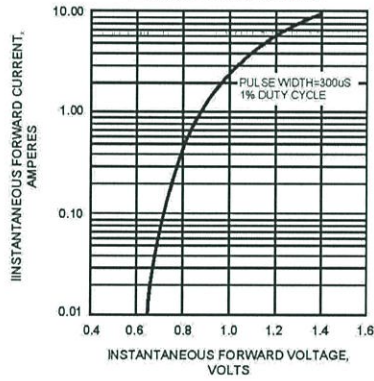


FIG.4 - TYPICAL REVERSE CHARACTERISTICS PER BRIDGE ELEMENT

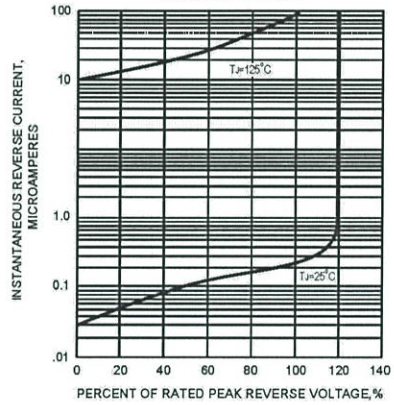
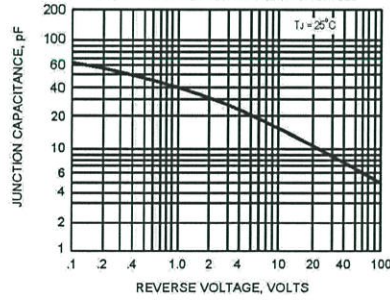


FIG.5 - TYPICAL JUNCTION CAPACITANCE



**TOSHIBA**

GT60M303

TOSHIBA INSULATED GATE BIPOLAR TRANSISTOR SILICON N CHANNEL IGBT

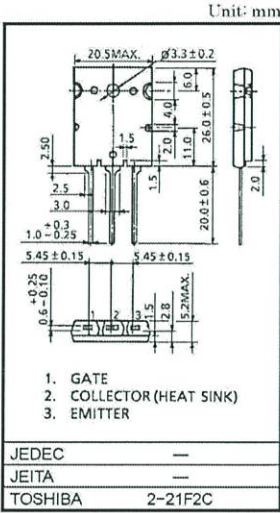
# GT60M303

**HIGH POWER SWITCHING APPLICATIONS**

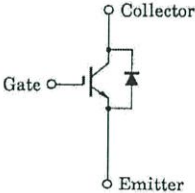
- The 4th Generation
- FRD Included Between Emitter and Collector
- Enhancement-Mode
- High Speed IGBT :  $t_f = 0.25\mu s$  (TYP.)  
FRD :  $t_{rr} = 0.7\mu s$  (TYP.)
- Low Saturation Voltage :  $V_{CE(sat)} = 2.1V$  (TYP.)

**MAXIMUM RATINGS (Ta = 25°C)**

CHARACTERISTIC	SYMBOL	RATING	UNIT
Collector-Emitter Voltage	$V_{CES}$	900	V
Gate-Emitter Voltage	$V_{GES}$	$\pm 25$	V
Collector Current	DC	$I_C$	60
	1ms	$I_{CP}$	120
Emitter-Collector Forward Current	DC	$I_{ECF}$	15
	1ms	$I_{ECFP}$	120
Collector Power Dissipation (Tc = 25°C)	$P_C$	170	W
Junction Temperature	$T_j$	150	°C
Storage Temperature Range	$T_{slg}$	-55-150	°C
Screw Torque	—	0.8	N·m



**EQUIVALENT CIRCUIT**

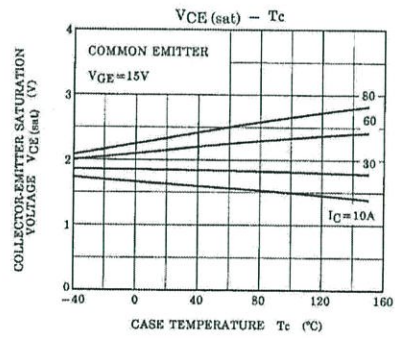
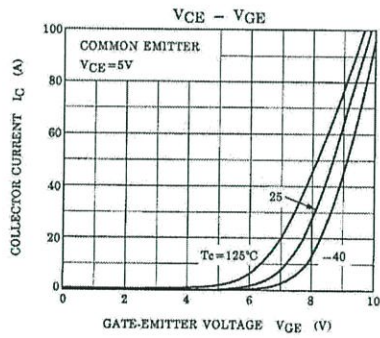
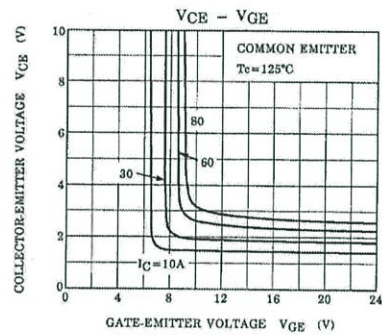
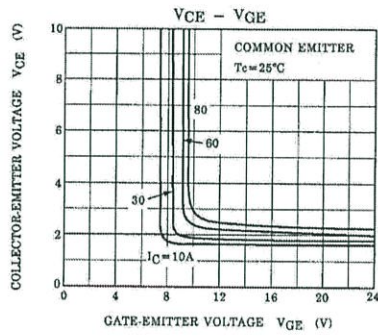
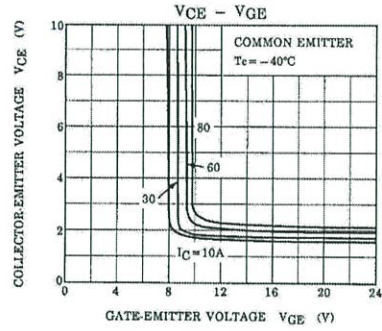
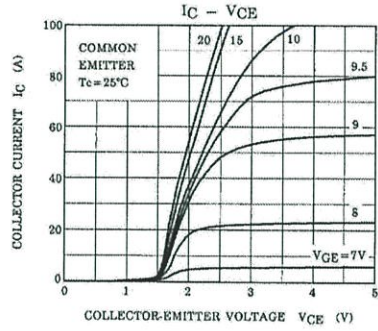


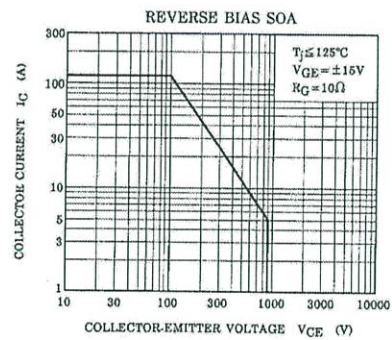
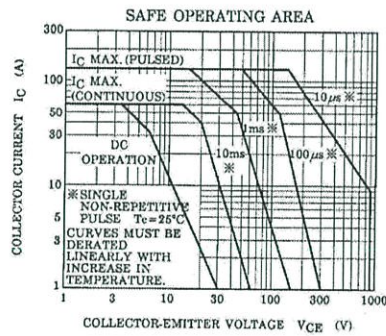
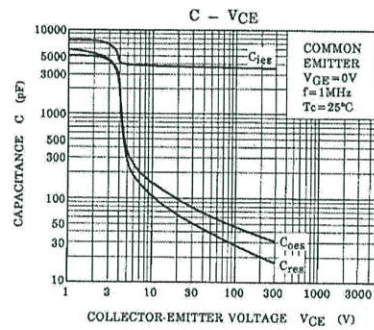
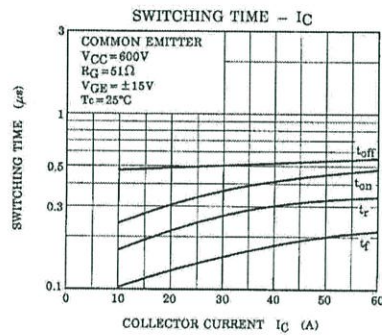
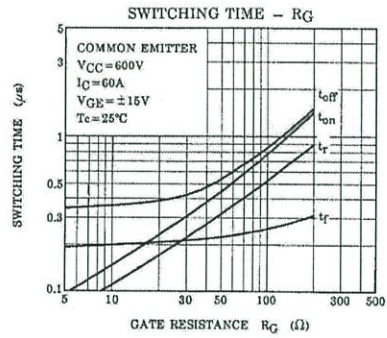
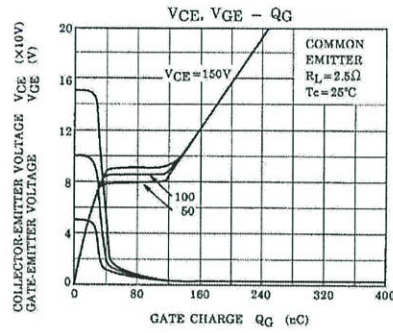
**TOSHIBA**

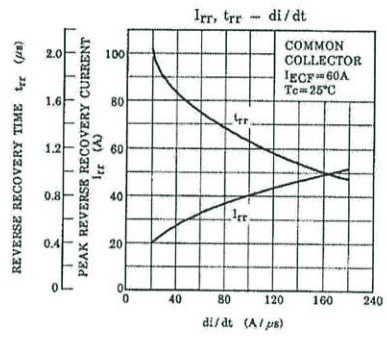
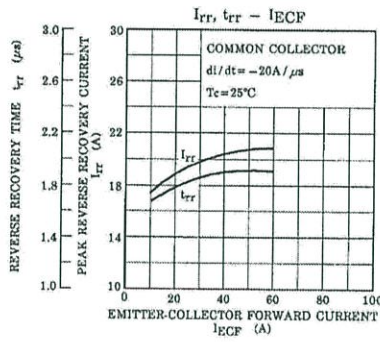
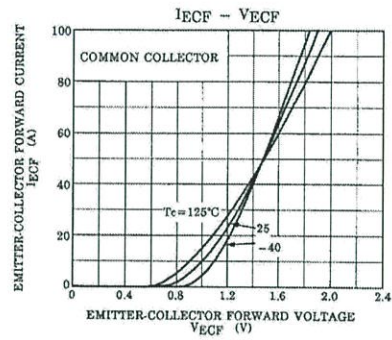
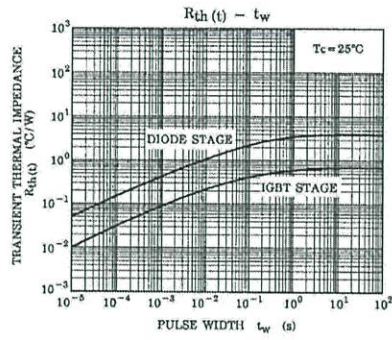
GT60M303

**ELECTRICAL CHARACTERISTICS (Ta = 25°C)**

CHARACTERISTIC		SYMBOL	TEST CONDITION	MIN	TYP.	MAX	UNIT
Gate Leakage Current		$I_{GES}$	$V_{GE} = \pm 25V, V_{CE} = 0$	—	—	$\pm 500$	nA
Collector Cut-off Current		$I_{CES}$	$V_{CE} = 900V, V_{GE} = 0$	—	—	1.0	mA
Gate-Emitter Cut-off Voltage		$V_{GE(OFF)}$	$I_C = 60mA, V_{CE} = 5V$	3.0	—	6.0	V
Collector-Emitter Saturation Voltage		$V_{CE(sat)}(1)$	$I_C = 10A, V_{GE} = 15V$	—	1.6	2.2	V
Collector-Emitter Saturation Voltage		$V_{CE(sat)}(2)$	$I_C = 60A, V_{GE} = 15V$	—	2.1	2.7	V
Input Capacitance		$C_{ies}$	$V_{CE} = 10V, V_{GE} = 0, f = 1MHz$	—	3800	—	pF
Switching Time	Rise Time	$t_r$		—	0.35	0.60	μs
	Turn-On Time	$t_{on}$		—	0.46	0.75	
	Fall Time	$t_f$		—	0.25	0.40	
	Turn-Off Time	$t_{off}$		—	0.60	0.70	
Emitter-Collector Forward Voltage		$V_{ECF}$	$I_{EC} = 15A, V_{GE} = 0$	—	1.5	2.0	V
Reverse Recovery Time		$t_{rr}$	$I_F = 15A, V_{GE} = 0$ $di/dt = -20A/\mu s$	—	0.7	2.5	μs
Thermal Resistance		$R_{th(j-c)}$	IGBT	—	—	0.74	°C/W
Thermal Resistance		$R_{th(j-e)}$	Diode	—	—	4.0	°C/W









**Vishay Dale Electronics, Inc.**  
**Information Display Products**  
**LCD Product Data Sheet**

**SPECIFICATION**

**Module #:** LCD-020N004B-TMI-ET

**Vishay Global p/n:** L020N004BTMIETO000

<p style="text-align: center;"><b>APPROVED BY:</b></p> <p>( FOR CUSTOMER USE ONLY )</p>	<p>PCB VERSION:                      DATA:</p>
---	--

SALES BY	APPROVED BY	CHECKED BY	PREPARED BY

VERSION	DATE	REVISED PAGE NO.	SUMMARY
B	2008.11.06	22	Modify backlight information.

## **1.Module Classification Information**

**LCD -020 N 004 B -T M I -ET**

- |  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|--|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
|  | ① | ② | ③ | ④ | ⑤ | ⑥ | ⑦ | ⑧ | ⑨ |
|--|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
1. Brand: Vishay Intertechnology, Inc.
  2. Horizontal Format: 20 characters
  3. Display Type : N→Character Type (RoHS), H→Graphic Type (RoHS)
  4. Vertical Format: 4 lines
  5. Model serials no.: B
  6. Backlight Type :
 

N→Without backlight	
B→EL, Blue green	A→LED, Amber
D→EL, Green	R→LED, Red
W→EL, White	O→LED, Orange
F→CCFL, White	G→LED, Green
Y→LED, Yellow Green	T→LED, White
  7. LCD Mode :
 

B→TN Positive, Gray	T→FSTN Negative
N→TN Negative,	
G→STN Positive, Gray	
Y→STN Positive, Yellow Green	
M→STN Negative, Blue	
F→FSTN Positive	
  8. LCD Polarizer Type/ Temperature range/ View direction
 

A→Reflective, N.T, 6:00	H→Transflective, W.T,6:00
D→Reflective, N.T, 12:00	K→Transflective, W.T,12:00
G→Reflective, W. T, 6:00	C→Transmissive, N.T,6:00
J→Reflective, W. T, 12:00	F→Transmissive, N.T,12:00
B→Transflective, N.T,6:00	I→Transmissive, W. T, 6:00
E→Transflective, N.T.12:00	L→Transmissive, W.T,12:00
  9. Special Code ET: English and European standard font  
Fits in with the ROHS Directions and regulations

## **2.Precautions in use of LCD Modules**

- (1) Avoid applying excessive shocks to the module or making any alterations or modifications to it.
- (2) Don't make extra holes on the printed circuit board, modify its shape or change the components of LCD module.
- (3) Don't disassemble the LCM.
- (4) Don't operate it above the absolute maximum rating.
- (5) Don't drop, bend or twist LCM.
- (6) Soldering: only to the I/O terminals.
- (7) Storage: please storage in anti-static electricity container and clean environment.
- (8) Supplier has the right to change the passive components
- (9) Supplier has the right to change the PCB Rev.

## **3.General Specification**

Item	Dimension	Unit
Number of Characters	20 characters x 4Lines	—
Module dimension	98.0 x 60.0 x 13.6(MAX)	mm
View area	77.0 x 25.2	mm
Active area	70.4 x 20.8	mm
Dot size	0.55 x 0.55	mm
Dot pitch	0.60 x 0.60	mm
Character size	2.95 x 4.75	mm
Character pitch	3.55 x 5.35	mm
LCD type	STN Negative, Blue Transmissive,, (In LCD production, It will occur slightly color difference. We can only guarantee the same color in the same batch.)	
Duty	1/16	
View direction	6 o'clock	
Backlight Type	LED White	

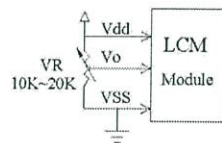
## 4. Absolute Maximum Ratings

Item	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
Operating Temperature	$T_{OP}$	-20	—	+70	$^{\circ}C$
Storage Temperature	$T_{ST}$	-30	—	+80	$^{\circ}C$
Input Voltage	$V_I$	$V_{SS}$	—	$V_{DD}$	V
Supply Voltage For Logic	$V_{DD}-V_{SS}$	-0.3	—	7	V
Supply Voltage For LCD	$V_{DD}-V_0$	-0.3	—	5.5	V

## 5. Electrical Characteristics

Item	Symbol	Condition	Min	Typ	Max	Unit
Supply Voltage For Logic	$V_{DD}-V_{SS}$	—	4.5	5.0	5.5	V
Supply Voltage For LCD	$V_{DD}-V_0$	$T_a=-20^{\circ}C$	—	—	5.7	V
*Note		$T_a=25^{\circ}C$	—	4.5	—	V
		$T_a=70^{\circ}C$	3.5	—	—	V
Input High Volt.	$V_{IH}$	—	$0.7 V_{DD}$	—	$V_{DD}$	V
Input Low Volt.	$V_{IL}$	—	$V_{SS}$	—	0.6	V
Output High Volt.	$V_{OH}$	—	3.9	—	—	V
Output Low Volt.	$V_{OL}$	—	—	—	0.4	V
Supply Current	$I_{DD}$	$V_{DD}=5V$	1.2	1.6	2.0	mA

\* Note: Please design the VOP adjustment circuit on customer's main board

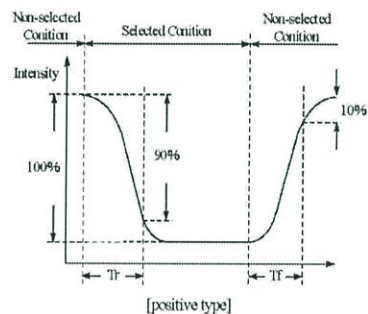
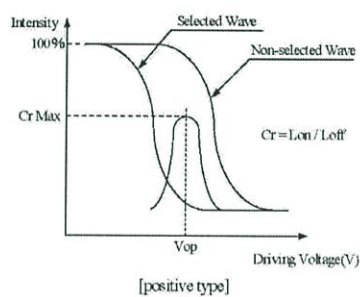


## 6.Optical Characteristics

Item	Symbol	Condition	Min	Typ	Max	Unit
View Angle	(V) $\theta$	$CR \geq 2$	20	—	40	deg
	(H) $\varphi$	$CR \geq 2$	-30	—	30	deg
Contrast Ratio	CR	—	—	3	—	—
Response Time	T rise	—	—	100	150	ms
	T fall	—	—	100	150	ms

Definition of Operation Voltage (Vop)

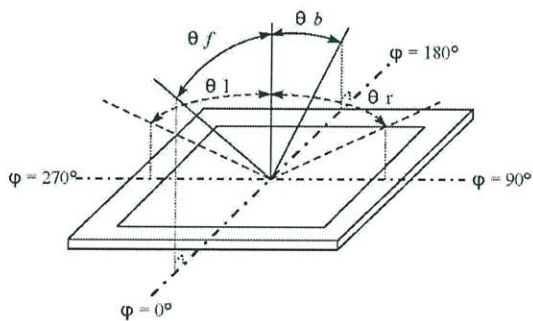
Definition of Response Time (Tr, Tf)



Conditions :

Operating Voltage : Vop      Viewing Angle( $\theta$  ,  $\varphi$ ) :  $0^\circ$  ,  $0^\circ$   
 Frame Frequency : 64 HZ      Driving Waveform : 1/N duty , 1/a bias

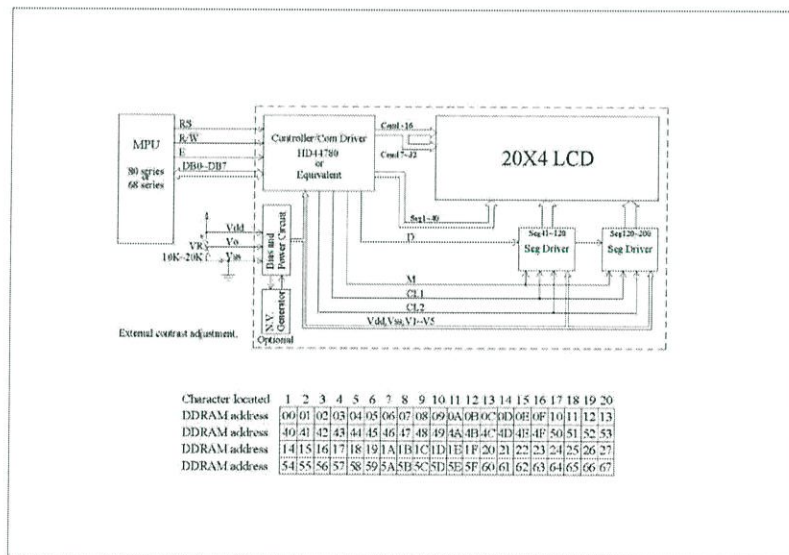
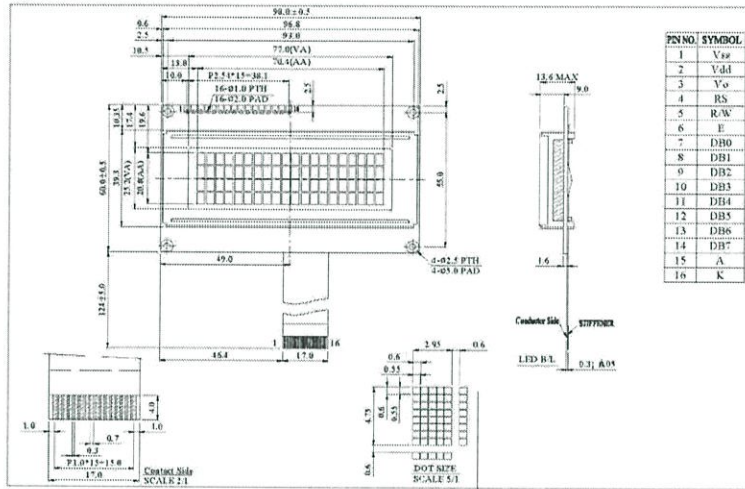
Definition of viewing angle( $CR \geq 2$ )



## **7.Interface Pin Function**

Pin No.	Symbol	Level	Description
1	V <sub>SS</sub>	0V	GND
2	V <sub>DD</sub>	5.0V	Supply Voltage for logic
3	VO	(Variable)	Contrast Adjustment
4	RS	H/L	Register select signal
5	R/W	H/L	H: Read(MPU→Module) L: Write(MPU→Module)
6	E	H,H→L	Chip enable signal
7	DB0	H/L	Data bus line
8	DB1	H/L	Data bus line
9	DB2	H/L	Data bus line
10	DB3	H/L	Data bus line
11	DB4	H/L	Data bus line
12	DB5	H/L	Data bus line
13	DB6	H/L	Data bus line
14	DB7	H/L	Data bus line
15	A	—	LED+
16	K	—	LED-

### 8. Contour Drawing & Block Diagram

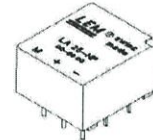




## Current Transducer LA 25-NP

For the electronic measurement of currents : DC, AC, pulsed, mixed, with a galvanic isolation between the primary circuit (high power) and the secondary circuit (electronic circuit).

$I_{PN} = 5-6-8-12-25 \text{ A}$



### Electrical data

$I_{PN}$	Primary nominal r.m.s. current	25	At
$I_P$	Primary current, measuring range	0 .. $\pm 36$	At
$R_M$	Measuring resistance with $\pm 15 \text{ V}$		$R_{M \min}$ $R_{M \max}$
		@ $\pm 25 \text{ At}_{max}$	100 320 $\Omega$
		@ $\pm 36 \text{ At}_{max}$	100 190 $\Omega$
$I_{SN}$	Secondary nominal r.m.s. current	25	mA
$K_N$	Conversion ratio	1-2-3-4-5	: 1000
$V_C$	Supply voltage ( $\pm 5\%$ )	$\pm 15$	V
$I_C$	Current consumption	$10 + I_{sc}$	mA
$V_{di}$	R.m.s. voltage for AC isolation test, 50 Hz, 1 mn	2.5	kV
$V_{di}$	R.m.s. rated voltage <sup>1)</sup> , safe separation basic isolation	800	V
		1700	V

### Accuracy - Dynamic performance data

X	Accuracy @ $I_{PN}$ , $T_A = 25^\circ\text{C}$	$\pm 0.5$	%
$\epsilon_L$	Linearity	< 0.2	%
$I_{0}$	Offset current <sup>2)</sup> @ $I_P = 0$ , $T_A = 25^\circ\text{C}$	Typ   Max	mA
$I_{0NT}$	Residual current <sup>2)</sup> @ $I_P = 0$ , after an overload of $3 \times I_{PN}$	$\pm 0.05$   $\pm 0.15$	mA
$I_{DT}$	Thermal drift of $I_0$	0°C .. + 25°C	$\pm 0.06$   $\pm 0.25$ mA
		+ 25°C .. + 70°C	$\pm 0.10$   $\pm 0.35$ mA
$t_r$	Response time <sup>4)</sup> @ 90 % of $I_{P \max}$	< 1	$\mu\text{s}$
$di/dt$	$di/dt$ accurately followed	> 50	A/ $\mu\text{s}$
f	Frequency bandwidth (-1 dB)	DC .. 150	kHz

### General data

$T_A$	Ambient operating temperature	0 .. + 70	$^\circ\text{C}$
$T_S$	Ambient storage temperature	- 25 .. + 85	$^\circ\text{C}$
$R_p$	Primary resistance per turn @ $T_A = 25^\circ\text{C}$	< 1.25	m $\Omega$
$R_s$	Secondary coil resistance @ $T_A = 70^\circ\text{C}$	110	$\Omega$
$R_{di}$	Isolation resistance @ 500 V, $T_A = 25^\circ\text{C}$	> 1500	M $\Omega$
m	Mass	22	g
	Standards <sup>5)</sup>	EN 50178	

**Notes :** <sup>1)</sup> Pollution class 2

<sup>2)</sup> Measurement carried out after 15 mn functioning

<sup>3)</sup> The result of the coercive field of the magnetic circuit

<sup>4)</sup> With a  $di/dt$  of 100 A/ $\mu\text{s}$

<sup>5)</sup> A list of corresponding tests is available

### Features

- Closed loop (compensated) multi-range current transducer using the Hall effect
- Insulated plastic case recognized according to UL 94-V0.

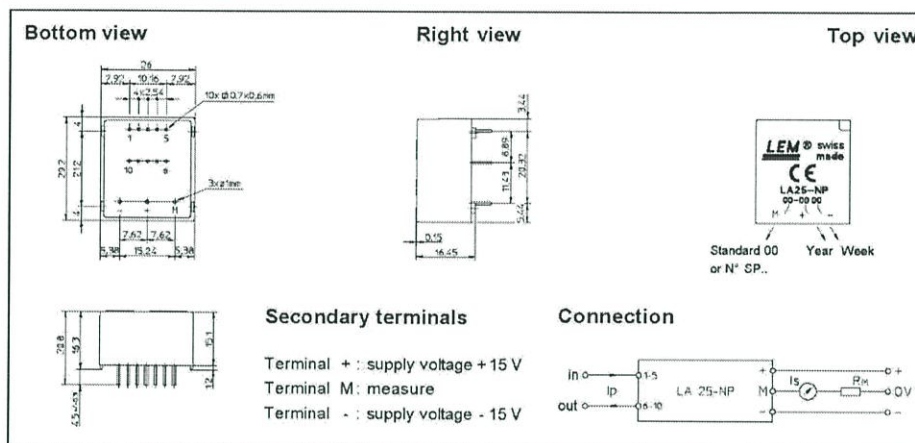
### Advantages

- Excellent accuracy
- Very good linearity
- Low temperature drift
- Optimized response time
- Wide frequency bandwidth
- No insertion losses
- High immunity to external interference
- Current overload capability.

### Applications

- AC variable speed drives and servo motor drives
- Static converters for DC motor drives
- Battery supplied applications
- Uninterruptible Power Supplies (UPS)
- Switched Mode Power Supplies (SMPS)
- Power supplies for welding applications.

980909/8


**Dimensions LA 25-NP** (in mm. 1 mm = 0.0394 inch)


Number of primary turns	Primary current		Nominal output current $I_{OH}$ [mA]	Turns ratio $K_N$	Primary resistance $R_p$ [m $\Omega$ ]	Primary insertion inductance $L_p$ [ $\mu$ H]	Recommended connections
	nominal $I_{PN}$ [A]	maximum $I_p$ [A]					
1	25	36	25	1/1000	0.3	0.023	IN 5 4 3 2 1 O-O-O-O-O OUT 6 7 8 9 10
2	12	18	24	2/1000	1.1	0.09	IN 5 4 3 2 1 O-O-O-O-O OUT 6 7 8 9 10
3	8	12	24	3/1000	2.5	0.21	IN 5 4 3 2 1 O-O-O-O-O OUT 6 7 8 9 10
4	6	9	24	4/1000	4.4	0.37	IN 5 4 3 2 1 O-O-O-O-O OUT 6 7 8 9 10
5	5	7	25	5/1000	6.3	0.58	IN 5 4 3 2 1 O-O-O-O-O OUT 6 7 8 9 10

**Mechanical characteristics**

- General tolerance  $\pm 0.2$  mm
- Fastening & connection of primary 10 pins 0.7 x 0.6 mm
- Fastening & connection of secondary 3 pins  $\varnothing 1$  mm
- Recommended PCB hole 1.2 mm

**Remarks**

- $I_o$  is positive when  $I_p$  flows from terminals 1, 2, 3, 4, 5 to terminals 10, 9, 8, 7, 6
- This is a standard model. For different versions (supply voltages, turns ratios, unidirectional measurements...), please contact us.

LEM reserves the right to carry out modifications on its transducers, in order to improve them, without previous notice.



## PIC16F882/883/884/886/887

### 28/40/44-Pin Flash-Based, 8-Bit CMOS Microcontrollers with nanoWatt Technology

#### High-Performance RISC CPU:

- Only 35 Instructions to Learn:
  - All single-cycle instructions except branches
- Operating Speed:
  - DC – 20 MHz oscillator/clock input
  - DC – 200 ns instruction cycle
- Interrupt Capability
- 8-Level Deep Hardware Stack
- Direct, Indirect and Relative Addressing modes

#### Special Microcontroller Features:

- Precision Internal Oscillator:
  - Factory calibrated to  $\pm 1\%$
  - Software selectable frequency range of 8 MHz to 31 kHz
  - Software tunable
  - Two-Speed Start-up mode
  - Crystal fail detect for critical applications
  - Clock mode switching during operation for power savings
- Power-Saving Sleep mode
- Wide Operating Voltage Range (2.0V-5.5V)
- Industrial and Extended Temperature Range
- Power-on Reset (POR)
- Power-up Timer (PWRT) and Oscillator Start-up Timer (OST)
- Brown-out Reset (BOR) with Software Control Option
- Enhanced Low-Current Watchdog Timer (WDT) with On-Chip Oscillator (software selectable nominal 268 seconds with full prescaler) with software enable
- Multiplexed Master Clear with Pull-up/Input Pin
- Programmable Code Protection
- High Endurance Flash/EEPROM Cell:
  - 100,000 write Flash endurance
  - 1,000,000 write EEPROM endurance
  - Flash/Data EEPROM retention: > 40 years
  - Program Memory Read/Write during run time
- In-Circuit Debugger (on board)

#### Low-Power Features:

- Standby Current:
  - 50 nA @ 2.0V, typical
- Operating Current:
  - 11  $\mu$ A @ 32 kHz, 2.0V, typical
  - 220  $\mu$ A @ 4 MHz, 2.0V, typical
- Watchdog Timer Current:
  - 1  $\mu$ A @ 2.0V, typical

#### Peripheral Features:

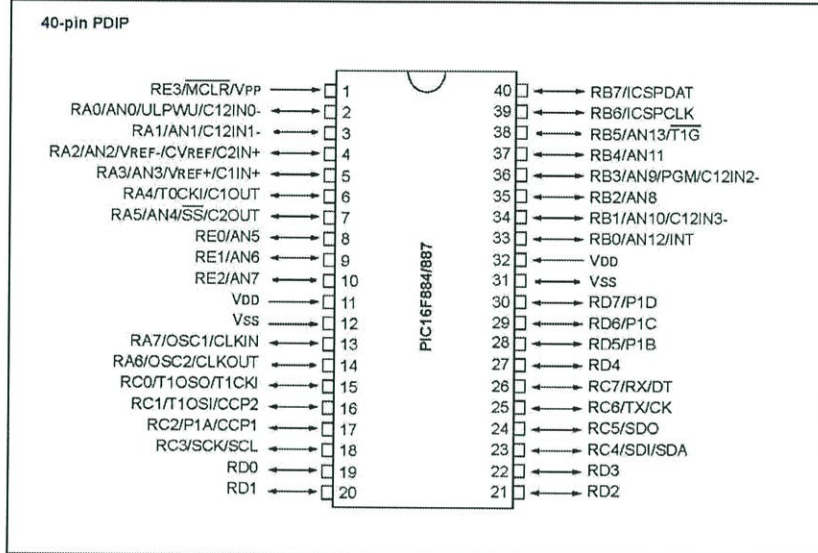
- 24/35 I/O Pins with Individual Direction Control:
  - High current source/sink for direct LED drive
  - Interrupt-on-Change pin
  - Individually programmable weak pull-ups
  - Ultra Low-Power Wake-up (ULPWU)
- Analog Comparator Module with:
  - Two analog comparators
  - Programmable on-chip voltage reference (CVREF) module (% of  $V_{DD}$ )
  - Fixed voltage reference (0.6V)
  - Comparator inputs and outputs externally accessible
  - SR Latch mode
  - External Timer1 Gate (count enable)
- A/D Converter:
  - 10-bit resolution and 11/14 channels
- Timer0: 8-bit Timer/Counter with 8-bit Programmable Prescaler
- Enhanced Timer1:
  - 16-bit timer/counter with prescaler
  - External Gate Input mode
  - Dedicated low-power 32 kHz oscillator
- Timer2: 8-bit Timer/Counter with 8-bit Period Register, Prescaler and Postscaler
- Enhanced Capture, Compare, PWM+ Module:
  - 16-bit Capture, max. resolution 12.5 ns
  - Compare, max. resolution 200 ns
  - 10-bit PWM with 1, 2 or 4 output channels, programmable "dead time", max. frequency 20 kHz
  - PWM output steering control
- Capture, Compare, PWM Module:
  - 16-bit Capture, max. resolution 12.5 ns
  - 16-bit Compare, max. resolution 200 ns
  - 10-bit PWM, max. frequency 20 kHz
- Enhanced USART Module:
  - Supports RS-485, RS-232, and LIN 2.0
  - Auto-Baud Detect
  - Auto-Wake-Up on Start bit
- In-Circuit Serial Programming™ (ICSP™) via Two Pins
- Master Synchronous Serial Port (MSSP) Module supporting 3-wire SPI (all 4 modes) and I<sup>2</sup>C™ Master and Slave Modes with I<sup>2</sup>C Address Mask

## PIC16F882/883/884/886/887

Device	Program Memory	Data Memory		I/O	10-bit A/D (ch)	ECCP/ CCP	EUSART	MSSP	Comparators	Timers 8/16-bit
	Flash (words)	SRAM (bytes)	EEPROM (bytes)							
PIC16F882	2048	128	128	24	11	1/1	1	1	2	2/1
PIC16F883	4096	256	256	24	11	1/1	1	1	2	2/1
PIC16F884	4096	256	256	35	14	1/1	1	1	2	2/1
PIC16F886	8192	368	256	24	11	1/1	1	1	2	2/1
PIC16F887	8192	368	256	35	14	1/1	1	1	2	2/1

## PIC16F882/883/884/886/887

### Pin Diagrams – PIC16F884/887, 40-Pin PDIP



## PIC16F882/883/884/886/887

**TABLE 3: PIC16F884/887 40-PIN SUMMARY (PDIP)**

I/O	Pin	Analog	Comparators	Timers	ECCP	EUSART	MSSP	Interrupt	Pull-up	Basic
RA0	2	AN0/ULPWU	C12IN0-	—	—	—	—	—	—	—
RA1	3	AN1	C12IN1-	—	—	—	—	—	—	—
RA2	4	AN2	C2IN+	—	—	—	—	—	—	VREF-/CVREF
RA3	5	AN3	C1IN+	—	—	—	—	—	—	VREF+
RA4	6	—	C1OUT	T0CKI	—	—	—	—	—	—
RA5	7	AN4	C2OUT	—	—	—	SS	—	—	—
RA6	14	—	—	—	—	—	—	—	—	OSC2/CLKOUT
RA7	13	—	—	—	—	—	—	—	—	OSC1/CLKIN
RB0	33	AN12	—	—	—	—	—	IOC/INT	Y	—
RB1	34	AN10	C12IN3-	—	—	—	—	IOC	Y	—
RB2	35	AN8	—	—	—	—	—	IOC	Y	—
RB3	36	AN9	C12IN2-	—	—	—	—	IOC	Y	PGM
RB4	37	AN11	—	—	—	—	—	IOC	Y	—
RB5	38	AN13	—	T1G	—	—	—	IOC	Y	—
RB6	39	—	—	—	—	—	—	IOC	Y	ICSPCLK
RB7	40	—	—	—	—	—	—	IOC	Y	ICSPDAT
RC0	15	—	—	T1OSO/T1CKI	—	—	—	—	—	—
RC1	16	—	—	T1OSI	CCP2	—	—	—	—	—
RC2	17	—	—	—	CCP1/P1A	—	—	—	—	—
RC3	18	—	—	—	—	—	SCK/SCL	—	—	—
RC4	23	—	—	—	—	—	SDI/SDA	—	—	—
RC5	24	—	—	—	—	—	SDO	—	—	—
RC6	25	—	—	—	—	TXCK	—	—	—	—
RC7	26	—	—	—	—	RXDT	—	—	—	—
RD0	19	—	—	—	—	—	—	—	—	—
RD1	20	—	—	—	—	—	—	—	—	—
RD2	21	—	—	—	—	—	—	—	—	—
RD3	22	—	—	—	—	—	—	—	—	—
RD4	27	—	—	—	—	—	—	—	—	—
RD5	28	—	—	—	P1B	—	—	—	—	—
RD6	29	—	—	—	P1C	—	—	—	—	—
RD7	30	—	—	—	P1D	—	—	—	—	—
RE0	8	AN5	—	—	—	—	—	—	—	—
RE1	9	AN6	—	—	—	—	—	—	—	—
RE2	10	AN7	—	—	—	—	—	—	—	—
RE3	1	—	—	—	—	—	—	—	Y <sup>(1)</sup>	MCLR/VPP
—	11	—	—	—	—	—	—	—	—	VDD
—	32	—	—	—	—	—	—	—	—	VDD
—	12	—	—	—	—	—	—	—	—	VSS
—	31	—	—	—	—	—	—	—	—	VSS

Note 1: Pull-up activated only with external MCLR configuration.

# TLP250

Transistor Inverter  
 Inverter For Air Conditionor  
 IGBT Gate Drive  
 Power MOS FET Gate Drive

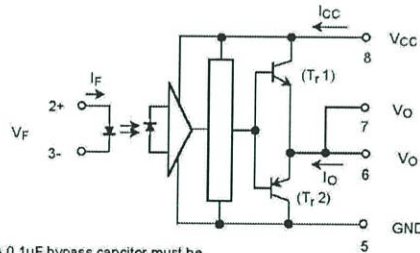
The TOSHIBA TLP250 consists of a GaAlAs light emitting diode and a integrated photodetector.  
 This unit is 8-lead DIP package.  
 TLP250 is suitable for gate driving circuit of IGBT or power MOS FET.

- Input threshold current:  $I_F=5\text{mA}(\text{max.})$
- Supply current ( $I_{CC}$ ):  $11\text{mA}(\text{max.})$
- Supply voltage ( $V_{CC}$ ):  $10\text{--}35\text{V}$
- Output current ( $I_O$ ):  $\pm 1.5\text{A}(\text{max.})$
- Switching time ( $t_{pLH}/t_{pHL}$ ):  $1.5\mu\text{s}(\text{max.})$
- Isolation voltage:  $2500\text{V}_{\text{rms}}(\text{min.})$
- UL recognized: UL1577, file No.E67349
- Option (D4) type
  - VDE approved: DIN VDE0884/06.92,certificate No.76823
  - Maximum operating insulation voltage:  $630\text{V}_{\text{PK}}$
  - Highest permissible over voltage:  $4000\text{V}_{\text{PK}}$

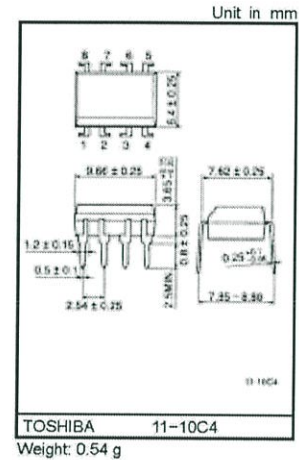
(Note) When a VDE0884 approved type is needed, please designate the "option (D4)"

- Creepage distance:  $6.4\text{mm}(\text{min.})$
- Clearance:  $6.4\text{mm}(\text{min.})$

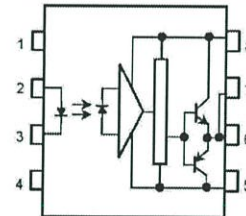
**Schematic**



A 0.1 $\mu\text{F}$  bypass capacitor must be connected between pin 8 and 5 (See Note 5).



**Pin Configuration (top view)**



- 1: N.C.
- 2: Anode
- 3: Cathode
- 4: N.C.
- 5: GND
- 6:  $V_O$  (Output)
- 7:  $V_O$
- 8:  $V_{CC}$

**Truth Table**

Input LED		Tr1	Tr2
On		On	Off
Off		Off	On

**TOSHIBA**

TLP250

**Absolute Maximum Ratings (Ta = 25°C)**

Characteristic		Symbol	Rating	Unit	
LED	Forward current	$I_F$	20	mA	
	Forward current derating (Ta ≥ 70°C)	$\Delta I_F / \Delta T_a$	-0.36	mA / °C	
	Peak transient forward current (Note 1)	$I_{FPT}$	1	A	
	Reverse voltage	$V_R$	5	V	
	Junction temperature	$T_J$	125	°C	
Detector	'H' peak output current ( $P_W \leq 2.5\mu s, f \leq 15kHz$ ) (Note 2)	$I_{OPH}$	-1.5	A	
	'L' peak output current ( $P_W \leq 2.5\mu s, f \leq 15kHz$ ) (Note 2)	$I_{OPL}$	+1.5	A	
	Output voltage	(Ta ≤ 70°C)	$V_O$	35	V
		(Ta = 85°C)		24	
	Supply voltage	(Ta ≤ 70°C)	$V_{CC}$	35	V
		(Ta = 85°C)		24	
	Output voltage derating (Ta ≥ 70°C)	$\Delta V_O / \Delta T_a$	-0.73	V / °C	
	Supply voltage derating (Ta ≥ 70°C)	$\Delta V_{CC} / \Delta T_a$	-0.73	V / °C	
	Junction temperature	$T_J$	125	°C	
	Operating frequency (Note 3)	$f$	25	kHz	
Operating temperature range	$T_{opr}$	-20~85	°C		
Storage temperature range	$T_{stg}$	-55~125	°C		
Lead soldering temperature (10 s) (Note 4)	$T_{sol}$	260	°C		
Isolation voltage (AC, 1 min., R.H. ≤ 60%) (Note 5)	$BV_S$	2500	Vrms		

Note 1: Pulse width  $P_W \leq 1\mu s$ , 300pps

Note 2: Exponential waveform

Note 3: Exponential waveform,  $I_{OPH} \leq -1.0A$  ( $\leq 2.5\mu s$ ),  $I_{OPL} \leq +1.0A$  ( $\leq 2.5\mu s$ )

Note 4: It is 2 mm or more from a lead root.

Note 5: Device considered a two terminal device: Pins 1, 2, 3 and 4 shorted together, and pins 5, 6, 7 and 8 shorted together.

Note 6: A ceramic capacitor(0.1μF) should be connected from pin 8 to pin 5 to stabilize the operation of the high gain linear amplifier. Failure to provide the bypassing may impair the switching property. The total lead length between capacitor and coupler should not exceed 1cm.

**Recommended Operating Conditions**

Characteristic	Symbol	Min.	Typ.	Max.	Unit
Input current, on (Note 7)	$I_{F(ON)}$	7	8	10	mA
Input voltage, off	$V_{F(OFF)}$	0	—	0.8	V
Supply voltage	$V_{CC}$	15	—	30   20	V
Peak output current	$I_{OPH}/I_{OPL}$	—	—	±0.5	A
Operating temperature	$T_{opr}$	-20	25	70   85	°C

Note 7: Input signal rise time (fall time) &lt; 0.5 μs.

**TOSHIBA**

TLP250

**Electrical Characteristics (Ta = -20~70°C, unless otherwise specified)**

Characteristic	Symbol	Test Cir-cult	Test Condition	Min.	Typ.*	Max.	Unit	
Input forward voltage	V <sub>F</sub>	—	I <sub>F</sub> = 10 mA, Ta = 25°C		1.6	1.8	V	
Temperature coefficient of forward voltage	ΔV <sub>F</sub> / ΔTa	—	I <sub>F</sub> = 10 mA	—	-2.0	—	mV / °C	
Input reverse current	I <sub>R</sub>	—	V <sub>R</sub> = 5V, Ta = 25°C		—	10	μA	
Input capacitance	C <sub>T</sub>	—	V = 0, f = 1MHz, Ta = 25°C	—	45	250	pF	
Output current	*H* level	I <sub>OPH</sub>	3	V <sub>CC</sub> = 30V (*1) I <sub>F</sub> = 10 mA V <sub>B-6</sub> = 4V I <sub>F</sub> = 0 V <sub>B-5</sub> = 2.5V	-0.5	-1.5	—	A
	*L* level	I <sub>OPL</sub>	2		0.5	2	—	
Output voltage	*H* level	V <sub>OH</sub>	4	V <sub>CC1</sub> = +15V, V <sub>EE1</sub> = -15V R <sub>L</sub> = 200Ω, I <sub>F</sub> = 5mA	11	12.8	—	V
	*L* level	V <sub>OL</sub>	5	V <sub>CC1</sub> = +15V, V <sub>EE1</sub> = -15V R <sub>L</sub> = 200Ω, V <sub>F</sub> = 0.8V	—	-14.2	-12.5	
Supply current	*H* level	I <sub>CCH</sub>	—	V <sub>CC</sub> = 30V, I <sub>F</sub> = 10mA Ta = 25°C	—	7	—	mA
				V <sub>CC</sub> = 30V, I <sub>F</sub> = 10mA	—	—	11	
	*L* level	I <sub>CCL</sub>	—	V <sub>CC</sub> = 30V, I <sub>F</sub> = 0mA Ta = 25°C	—	7.5	—	
Threshold input current	*Output L→H*	I <sub>FLH</sub>	—	V <sub>CC1</sub> = +15V, V <sub>EE1</sub> = -15V R <sub>L</sub> = 200Ω, V <sub>O</sub> > 0V	—	1.2	5	mA
Threshold input voltage	*Output H→L*	I <sub>FHL</sub>	—	V <sub>CC1</sub> = +15V, V <sub>EE1</sub> = -15V R <sub>L</sub> = 200Ω, V <sub>O</sub> < 0V	0.8	—	—	V
Supply voltage	V <sub>CC</sub>	—		10	—	35	V	
Capacitance (input-output)	C <sub>S</sub>	—	V <sub>S</sub> = 0, f = 1MHz Ta = 25°C	—	1.0	2.0	pF	
Resistance(input-output)	R <sub>S</sub>	—	V <sub>S</sub> = 500V, Ta = 25°C R.H. ≤ 60%	1×10 <sup>12</sup>	10 <sup>14</sup>	—	Ω	

\* All typical values are at Ta = 25°C (\*1): Duration of I<sub>O</sub> time ≤ 50μs

**TOSHIBA**

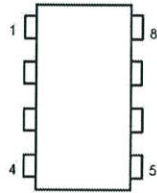
TLP250

**Switching Characteristics (Ta = -20~70°C , unless otherwise specified)**

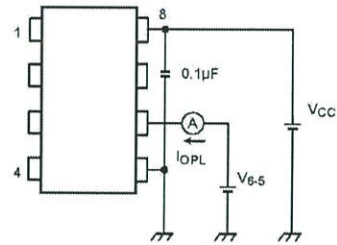
Characteristic	Symbol	Test Circuit	Test Condition	Min.	Typ.*	Max.	Unit
Propagation delay time	L→H	$t_{pLH}$	6 $I_F = 8\text{mA}$ (Note 7) $V_{CC1} = +15\text{V}$ , $V_{EE1} = -15\text{V}$ $R_L = 200\Omega$	—	0.15	0.5	$\mu\text{s}$
	H→L	$t_{pHL}$		—	0.15	0.5	
Output rise time	$t_r$			—	—	—	
Output fall time	$t_f$			—	—	—	
Common mode transient immunity at high level output	$C_{MH}$	7	$V_{CM} = 600\text{V}$ , $I_F = 8\text{mA}$ $V_{CC} = 30\text{V}$ , $T_a = 25^\circ\text{C}$	-5000	—	—	V / $\mu\text{s}$
Common mode transient immunity at low level output	$C_{ML}$	7	$V_{CM} = 600\text{V}$ , $I_F = 0\text{mA}$ $V_{CC} = 30\text{V}$ , $T_a = 25^\circ\text{C}$	5000	—	—	V / $\mu\text{s}$

\* All typical values are at  $T_a = 25^\circ\text{C}$ Note 7: Input signal rise time (fall time) < 0.5  $\mu\text{s}$ .

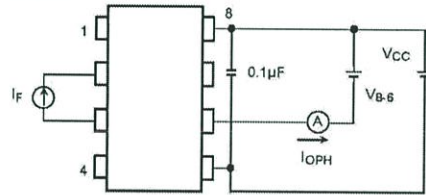
Test Circuit 1 :



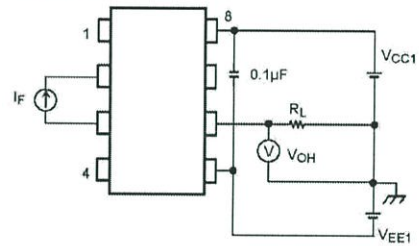
Test Circuit 2 : IOPL



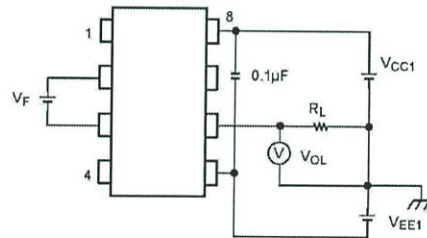
Test Circuit 3 : IOPH



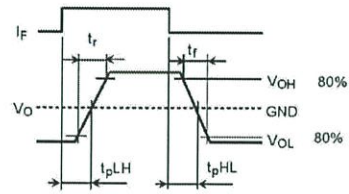
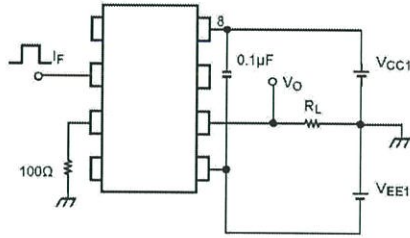
Test Circuit 4 : VOH



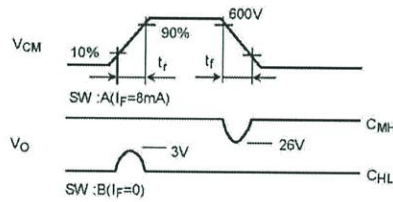
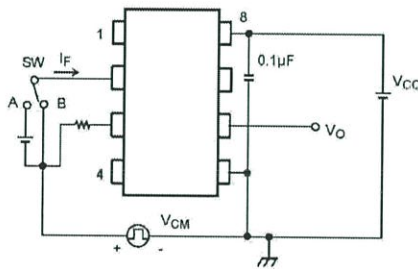
Test Circuit 5 : VOL



Test Circuit 6:  $t_{pLH}$ ,  $t_{pHL}$ ,  $t_r$ ,  $t_f$



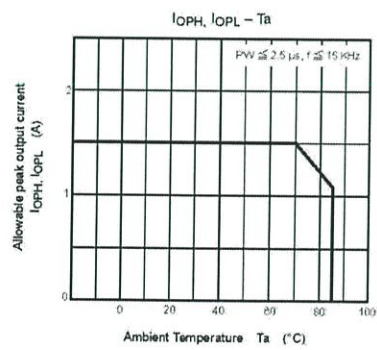
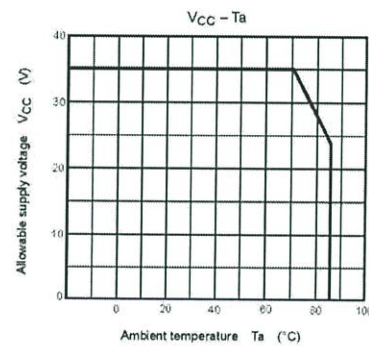
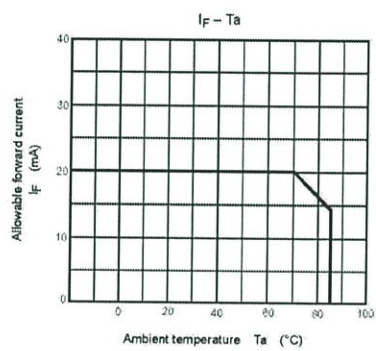
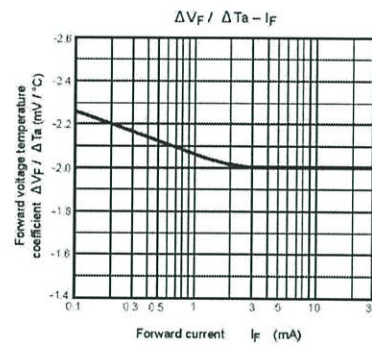
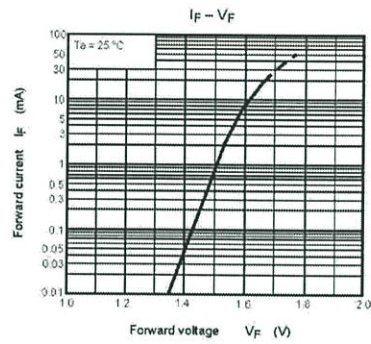
Test Circuit 7:  $C_{MH}$ ,  $C_{ML}$



$$C_{ML} = \frac{480 (V)}{t_r (\mu s)}$$

$$C_{MH} = \frac{480 (V)}{t_f (\mu s)}$$

$C_{ML}(C_{MH})$  is the maximum rate of rise (fall) of the common mode voltage that can be sustained with the output voltage in the low (high) state.



**CE**

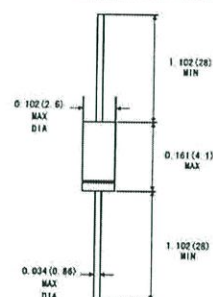
CHENYI ELECTRONICS

**1N4728 THRU 1N4764****1W SILICON PLANAR ZENER DIODES****FEATURES**

- Silicon planar power zener diodes
- For use in stabilizing and clipping circuits with high power rating.
- Standards Zener voltage tolerance is: ± 10%
- Add suffix "A" for: ± 5% tolerance Other tolerance available upon request

**MECHANICAL DATA**

- Case: DO-41 glass case
- weight: Approx. 0.35 gram

**DO-41(GLASS)**

Dimensions in inches and (millimeters)

**ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS(LIMITING VALUES)(TA=25°C)**

	Symbols	Value	Units
Zener current see table "Characteristics"			
Power dissipation at TA=25°C	P <sub>tot</sub>	1 1)	mW
Junction temperature	T <sub>J</sub>	175	°C
Storage temperature range	T <sub>STG</sub>	-65 to +175	°C

1) Valid provided that a distance of 8mm from case are kept at ambient temperature

**ELECTRICAL CHARACTERISTICS(TA=25°C)**

	Symbols	Min	Typ	Max	Units
Thermal resistance junction to ambient	R <sub>thA</sub>			170 1)	°C/W
Forward voltage at IF=200mA	V <sub>F</sub>			1.2	V

1) Valid provided that a distance of 8mm from case are kept at ambient temperature



CHENYI ELECTRONICS

1N4728 THRU 1N4764

1W SILICON PLANAR ZENER DIODES

1N4728..1N4764 SILICON PLANAR ZENER DIODES

Type	Nominal Zener Voltage <sup>3)</sup>	Test Current	Maximum Zener Impedance <sup>1)</sup>			Maximum reverse leakage current		Surge current	Maximum regulator Current <sup>2)</sup>
	at I <sub>ZT</sub> V <sub>Z</sub> : V	I <sub>ZT</sub> mA	at I <sub>ZT</sub> Z <sub>ZT</sub> Ω	Z <sub>ZK</sub> Ω	at I <sub>ZK</sub> mA	I <sub>R</sub> μA	at V <sub>R</sub> V	at T <sub>A</sub> =0.25 I <sub>R</sub> mA	I <sub>ZM</sub> mA
1N4728	3.3	76	10	400	1.0	100	1.0	1380	276
1N4729	3.6	69	10				1.0	1260	252
1N4730	3.9	64	9			1.0	1190	234	
1N4731	4.3	58	9	500		10	1.0	1070	217
1N4732	4.7	53	8				1.0	970	193
1N4733	5.1	49	7				1.0	890	178
1N4734	5.6	45	5		2.0		810	162	
1N4735	6.2	41	2		3.0		730	146	
1N4736	6.8	37	3.5		4.0		660	133	
1N4737	7.5	34	4.0	700	5.0	5.0	605	121	
1N4738	8.2	31	4.5			6.0	550	110	
1N4739	9.1	28	5.0			7.0	500	100	
1N4740	10	25	7			7.6	454	91	
1N4741	11	23	8			8.4	414	83	
1N4742	12	21	9			9.1	380	76	
1N4743	13	19	10	9.9	344	69			
1N4744	15	17	14	11.4	304	61			
1N4745	16	15.5	16	12.2	285	57			
1N4746	18	14	20	13.7	250	50			
1N4747	20	12.5	22	15.2	225	45			
1N4748	22	11.5	23	16.7	205	41			
1N4749	24	10.5	25	18.2	190	38			
1N4750	27	9.5	35	20.6	170	34			
1N4751	30	8.5	40	22.8	150	30			
1N4752	33	7.5	45	25.1	135	27			
1N4753	36	7.0	50	27.4	125	25			
1N4754	39	6.5	60	29.7	115	23			
1N4755	43	6.0	70	32.7	110	22			
1N4756	47	5.5	80	35.8	95	19			
1N4757	51	5.0	95	38.8	90	18			
1N4758	56	4.5	110	42.6	80	16			
1N4759	62	4.0	125	47.1	70	14			
1N4760	68	3.7	150	51.7	65	13			
1N4761	75	3.3	175	56.0	60	12			
1N4762	82	3.0	200	62.2	55	11			
1N4763	91	2.8	250	69.2	50	10			
1N4764	100	2.5	350	76.0	45	9			

Notes:1) The Zener impedance is derived from the 1KHz AC voltage which results when an AC current having an RMS value equal to 10% of the Zener current(I<sub>ZT</sub> or I<sub>ZK</sub>) is superimposed on I<sub>ZT</sub> or I<sub>ZK</sub>. Zener impedance is measured at two points to insure a sharp knee on the breakdown curve and to eliminate unstable units.

2)Valid provided that electrodes at a distance of 10mm from case are kept at ambient temperature

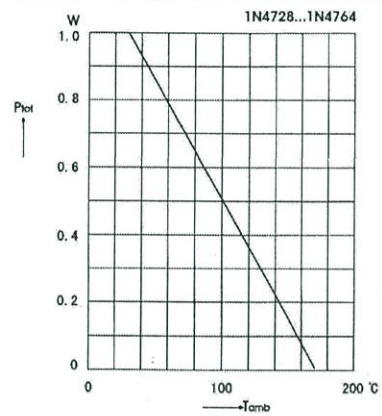
3)Measured under thermal equilibrium and DC test conditions.

**CE**

CHENYI ELECTRONICS

**1N4728 THRU 1N4764****1W SILICON PLANAR ZENER DIODES****RATINGS AND CHARACTERISTIC CURVES 1N4728 THRU 1N4764**

Admissible power dissipation versus ambient temperature  
(Valid provided that leads at a distance of 10mm from case  
are kept at ambient temperature)



## ประวัติผู้เขียน



นายณัฐภณ บุญช่วย เกิดวันที่ 14 สิงหาคม พ.ศ. 2535 สำเร็จการศึกษาชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนสวนกุหลาบวิทยาลัย รังสิต  
ปริญญาตรีวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
งานวิจัยที่สนใจ เครื่องจักรกลไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์กำลัง



นายสุรศักดิ์ อามระดิษ เกิดวันที่ 27 ตุลาคม พ.ศ. 2534 สำเร็จการศึกษาชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนบดินทรเดชา (สิงห์ สิงหเสนี4)  
ปริญญาตรีวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
งานวิจัยที่สนใจ การออกแบบระบบไฟฟ้าและระบบไฟฟ้ากำลัง



นายสุจินดา วัฒนะ เกิดวันที่ 9 พฤศจิกายน พ.ศ. 2534 สำเร็จการศึกษาชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนกาญจนาภิเษกวิทยาลัยนครปฐม  
ปริญญาตรีวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
งานวิจัยที่สนใจ ไมโครคอนโทรลเลอร์และไมโครโปรเซสเซอร์



นายอุเทน มีศรี เกิดวันที่ 28 ธันวาคม พ.ศ. 2534 สำเร็จการศึกษาชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนนวมินทราชินูทิศ สตรีวิทยา๒  
ปริญญาตรีวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
งานวิจัยที่สนใจ เครื่องจักรกลไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์กำลัง