

เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงเชื่อมต่อกิริตโดยใช้ชุดจำลองพลังงานลมเป็นต้นกำลัง  
WIND SIMULATOR BASED GRID CONNECTED DC GENERATOR



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2560

เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงเชื่อมต่อกิริตโดยใช้ชุดจำลองพลังงานลมเป็นต้นกำลัง  
WIND SIMULATOR BASED GRID CONNECTED DC GENERATOR



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# WIND SIMULATOR BASED GRID CONNECTED DC GENERATOR



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

2017

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2560

เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงเชื่อมต่อกิริตโดยใช้ชุดจำลองพลังงานลมเป็นต้นกำลัง

WIND SIMULATOR BASED GRID CONNECTED DC GENERATOR



อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ดร. วิจิตร กิณเรศ

รศ.ดร. เฉลิมชาติ มานพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2560

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงเชื่อมต่อกิริตโดยใช้ชุดจำลองพลังงานลมเป็นต้นกำลัง

ผู้จัดทำ



- |               |              |
|---------------|--------------|
| 1. นายทวีชัย  | แซ่แก้ว      |
| 2. นายธนวิทย์ | วิภามณีโรจน์ |
| 3. นายธนัช    | ชมภูศรี      |
| 4. นายธนากรณ  | วงศ์กาอินทร์ |

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(รองศาสตราจารย์ ดร. วิจิตร กิณเรศ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(รองศาสตราจารย์ ดร. เฉลิมชาติ มานพ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงเชื่อมต่อกรีตโดยใช้ชุดจำลองพลังงานลมเป็นต้นกำลัง

นายทวิชัย      แซ่แก้ว  
นายธนวิทย์      วิภามณีโรจน์  
นายธนัช      ชมภูศรี  
นายธนากรณ์      วงศ์กาอินทร์  
รศ.ดร.วิจิตร      กิณเรศ      อาจารย์ที่ปรึกษา  
รศ.ดร.เฉลิมชาติ      มานพ      อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม  
ปีการศึกษา 2560

## บทคัดย่อ

ปฏิญานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอการออกแบบระบบเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงเข้ากับกริดโดยมีชุดจำลองกังหันลมเป็นตัวต้นกำลังที่ใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงถูกควบคุมด้วยดีซีชี้อปเปอร์ (DC chopper) หนึ่งจตุภาค ชุดเชื่อมต่อกรีตใช้สัญญาณที่ได้จากการควบคุมกระแสแบบฮิสเตอร์ริซิสเพื่อควบคุมสวิตช์ไอจีบีทีในวงจรกำลังฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ การควบคุมในระบบใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ C2000 ในการเขียนอัลกอริทึมด้วยโปรแกรม Matlab2017a คอนเวอร์เตอร์เชื่อมต่อกรีตถูกควบคุมแรงดันไฟตรงเชื่อมโยงให้มีค่าแรงดันคงที่ที่ 110 โวลต์ การจำลองกังหันลมใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงถูกควบคุมด้วยดีซีชี้อปเปอร์ที่ควบคุมค่าแรงบิดได้ตามที่ต้องการโดยค่าแรงบิดที่ได้อ้างอิงจากกราฟของคุณลักษณะลม การเชื่อมต่อระหว่างชุดเชื่อมต่อกรีตและแบบจำลองจะส่งผลให้เกิดการทำงาน 2 โหมดคือ โหมด อินเวอร์ตติ้งและเรกติไฟอิง โหมด ซึ่งจะทำให้พลังงานสามารถจ่ายเข้าสู่กริด และออกจากกริดได้ โดยคอนเวอร์เตอร์ที่ใช้ในการทดลองมีค่าประสิทธิภาพสูงสุดที่ 88.82 เปอร์เซ็นต์ และชุดดีซีชี้อปเปอร์สามารถจ่ายกำลังทางไฟฟ้าได้สูงสุดที่ 417 วัตต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# WIND SIMULATOR BASED GRID CONNECTED DC GENERATOR

Mr.Tawichai

saekua

Mr.Thanawin

Wiphamaneeroj

Mr.Thanach

Chompusri

Mr.Tanakorn

Wongkain

Assoc.Prof. Vijit

Kinnares Supervisor

Assoc.Prof. Chalermchat Manop Co-Supervisor

Year 2017

## ABSTRACT

This thesis presents the design of a grid connected DC generator system using a wind turbine simulator acting as a prime mover driven by a DC motor controlled by a one quadrant DC chopper. The grid connected system employs PWM signals of hysteresis current control for switches (IGBTs) in a full bridge converter by microcontroller C2000(TMS320F28377S). The microcontroller C2000 uses Matlab Simulink 2017a to write algorithms of control system. The grid connected converter is controlled to keep dc voltage constant at 110 volt. The wind simulator uses the dc motor controlled by the one quadrant dc chopper with constant torque as required referred to characteristics of wind at each wind speeds. The connection between grid connect and wind simulator will cause power flow in this system. The power transfer in this system has 2 modes of operation namely rectifying and inverting modes. Therefore this system will be able to supply and draw power from the grid. The experimental maximum efficiency is 88.82%. The DC chopper is able to supply the maximum power at 417W.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์นี้จะไม่สำเร็จได้ถ้าไม่ได้รับการสนับสนุนด้านต่างๆ ผู้จัดทำรู้สึกทราบบ้างถึงความกรุณาที่ รศ.ดร.วิจิตร กิณเรศ และ รศ.ดร.เฉลิมชาติ มานพ อาจารย์ที่ปรึกษาที่ได้ให้ความรู้ คำแนะนำและความเมตตาให้โอกาส ตลอดจนแนวคิดที่ดีที่ใช้ในการทำงานจนการจัดทำปริญญาานิพนธ์เล่มนี้เสร็จสมบูรณ์ผู้จัดทำขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณอาจารย์พูนศรี วรรณการ ที่ให้คำปรึกษา คำแนะนำที่เป็นประโยชน์พร้อมทั้งเอื้อเฟื้ออุปกรณ์ชุดมอเตอร์ในการทดลอง ตลอดจนเสียสละเวลาอันมีค่าและสิ่งต่างๆ จนทำให้ปริญญาานิพนธ์เล่มนี้เสร็จสมบูรณ์ คณะผู้จัดทำจึงขอขอบคุณจากใจจริง ณ โอกาสนี้

ขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ ในห้องปฏิบัติการ Power Electronic and Machine Control ที่ช่วยแก้ปัญหาด้วยดีมาโดยตลอด

นอกจากนั้นผู้จัดทำต้องขอขอบคุณ คุณนครศักดิ์ แสงศรี เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการที่คอยอำนวยความสะดวกเกี่ยวกับอุปกรณ์และเครื่องมือวัดต่างๆ ตลอดจนเจ้าหน้าที่ห้องธุรการที่ให้คำแนะนำเกี่ยวกับการเบิกใบเสร็จของการจัดทำปริญญาานิพนธ์นี้

ท้ายที่สุดนี้คณะผู้จัดทำ ขอกราบขอบพระคุณ บิดามารดา และครอบครัวซึ่งให้การสนับสนุนในด้านการเงินและให้กำลังใจอีกทั้งเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ที่ให้ความช่วยเหลือในด้านการจัดหาอุปกรณ์ต่างๆ ในการจัดทำปริญญาานิพนธ์ครั้งนี้จนสำเร็จได้ด้วยดี ต้องกราบขอบพระคุณทุกท่านเป็นอย่างสูง

คณะผู้จัดทำ

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
ABSTRACT	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูป	VIII
สารบัญตาราง	XII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	2
1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงการ	2
1.4 วิธีการดำเนินโครงการ	2
1.5 แผนการดำเนินโครงการ	4
1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย	5
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับโครงการ	6
2.1 เครื่องจักรกลไฟฟ้ากระแสตรง	6
2.2 แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ	6
2.3 แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำและแรงบิดที่เกิดขึ้นในเครื่องจักรกลไฟฟ้ากระแสตรง	7
2.4 เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแบบขดลวดกระตุ้นแยก	8
2.5 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบขดลวดกระตุ้นแยก	8
2.6 พลังงานลม	9
2.6.1 หลักการทำงานของกังหันลม	9
2.7 การควบคุมแรงดันโดยใช้ DC-DC Converter	12
2.8 วงจรกำลังของระบบจำลองกังหันลมที่ควบคุมโดย Current Control	16
2.9 ระบบควบคุมกังหันลมที่ผลิตกระแสไฟฟ้าเพื่อเชื่อมต่อระบบไฟฟ้า	17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ(ต่อ)

### หน้า

2.9.1 ระบบควบคุมการทำงานของกังหันลม 1 เฟส	17
2.9.2 วงจรสมมูลของคอนเวอเตอร์ 1 เฟส	18
2.10 การควบคุมคอนเวอเตอร์ 1 เฟสที่เชื่อมต่อกิริต โดยวิธีควบคุมกระแสแบบฮิสเตอร์รีซิส	19
2.11 วงจรกำลังและหลักการของการควบคุมแบบฮิสเตอร์รีซิส	22
2.11.1 การทำงานในโหมดเรียงกระแส	22
2.11.2 การทำงานในโหมดอินเวอเตอร์	23
2.11.3 วงจรสมมูลของคอนเวอเตอร์ที่ควบคุมโดยชุดควบคุมกระแส	24
2.12 การออกแบบตัวควบคุม	25
2.12.1 การควบคุมแบบป้อนกลับ	25
2.12.1.1 การควบคุมแบบสัดส่วน	25
2.12.1.2 การควบคุมแบบอินทิเกรต	25
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการ	26
3.1 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของชุดเชื่อมต่อกิริต	26
3.1.1 บล็อกไดอะแกรมของคอนเวอเตอร์	26
3.1.2 บล็อกไดอะแกรมของชุดควบคุมกระแส	27
3.1.3 บล็อกไดอะแกรมของซีโรครอสซิง	27
3.2 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของชุดจำลองกังหันลม	28
3.2.1 บล็อกไดอะแกรมของแบบจำลองกังหันลม	28
3.2.2 บล็อกไดอะแกรมภายในของแบบจำลองกังหันลม	29
3.2.3 บล็อกไดอะแกรมของ $\lambda$	30
3.2.4 บล็อกไดอะแกรมของ $\lambda_i$	31
3.2.5 บล็อกไดอะแกรมของ $C_p$	32
3.3.1 การส่งผ่านกำลังไฟฟ้าที่กิริต	33
3.3.2 ค่าแรงดันไฟตรงที่กิริต DC LINK	34
3.4 ผลการจำลองการทำงานที่แบบจำลองกังหันลม	35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ(ต่อ)

### หน้า

3.4.1 คุณสมบัติของลม	35
<b>3.5 ผลการจำลองการทำงานของชุดจำลองกังหันลมเชื่อมต่อกิริต</b>	<b>36</b>
3.5.1 ผลการทดลองที่ค่าความเร็วลม 12 m/s	36
3.5.2 ผลการทดลองที่ค่าความเร็วลม 11 m/s	37
3.5.3 ผลการทดลองที่ค่าความเร็วลม 10 m/s	38
3.5.4 ผลการทดลองที่ค่าความเร็วลม 9 m/s	40
3.5.5 ผลการทดลองที่ค่าความเร็วลม 8 m/s	41
3.5.6 ผลการทดลองที่ค่าความเร็วลม 7 m/s	42
<b>3.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของกระแสและแรงดันที่ของคอนเวอเตอร์</b>	<b>44</b>
3.6.1 กราฟแสดงการถ่ายเทพลังงานของคอนเวอเตอร์ที่สภาวะชั่วคราว	44
3.6.1 กราฟแสดงการถ่ายเทพลังงานของคอนเวอเตอร์ที่สภาวะคงตัว	44
<b>บทที่ 4 ผลการทดลอง</b>	<b>45</b>
4.1 ผลการทดลอง	45
4.2 วงจรคอนเวอเตอร์หนึ่งเฟสชนิดเชื่อมต่อกิริต	45
4.2.1 โครงสร้างของวงจรคอนเวอเตอร์หนึ่งเฟสชนิดเชื่อมต่อกิริต	45
4.2.2 วงจรควบคุมคอนเวอเตอร์หนึ่งเฟสชนิดเชื่อมต่อกิริตด้วยวิธีฮิสเตอร์รีซิส	46
4.3 ชุดจำลองกังหันลม	47
4.3.1 แบบจำลองวงจรของชุดกังหันลมที่ต่อกับกิริตโดยใช้มอเตอร์แบบคัปปลิง	47
4.3.2 วงจรควบคุมคอนเวอเตอร์หนึ่งเฟสชนิดเชื่อมต่อกิริตด้วยวิธีฮิสเตอร์รีซิส	48
4.4 ผลการทดลอง	49
4.4.1 ผลการทดลองของคอนเวอเตอร์หนึ่งเฟสชนิดเชื่อมต่อกิริต	49
4.4.2 ผลการทดลองชุดจำลองกังหันลม	55
4.4.3 ผลการทดลองชุดต่อกิริตกับแบบจำลองกังหันลมขณะเปลี่ยนความเร็วลม	57
<b>บทที่ 5 สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง</b>	<b>69</b>
5.1 สรุปผลการทดลอง	69

## สารบัญ(ต่อ)

หน้า

5.2 วิจัยรณัผลการทดลอง	70
เอกสารอ้างอิง	71
ภาคผนวก	72
ภาคผนวก ก บทควมทางวิชาการ	73
ภาคผนวก ข poster ที่นำเสนอ	80
ภาคผนวก ค block diagram	82
ภาคผนวก ง datasheet ของอุปกรณ์	84
ประวัติผู้จัดทำ	108



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 เวลาการจัดทำโครงการ	4
2.1 การทำงานในโหมดต่างๆของอินเวอร์เตอร์ ( โหมดที่ 1 , โหมดที่ 2 )	19
2.2 การทำงานในโหมดต่างๆของอินเวอร์เตอร์ ( โหมดที่ 3 , โหมดที่ 4 )	20
2.3 การทำงานในโหมดต่างๆของอินเวอร์เตอร์ ( โหมดที่ 5 , โหมดที่ 6 )	20
2.4 การทำงานในโหมดต่างๆของอินเวอร์เตอร์ ( โหมดที่ 7 , โหมดที่ 8 )	21
4.1 พารามิเตอร์ของคอนเวอร์เตอร์เมื่อแรงดันกริดเท่ากับ 20 โวลต์ และแรงดันไฟตรงเท่ากับ 30 โวลต์	49
4.2 พารามิเตอร์ของคอนเวอร์เตอร์เมื่อแรงดันกริดเท่ากับ 25 โวลต์ และแรงดันไฟตรงเท่ากับ 50 โวลต์	50
4.3 พารามิเตอร์ของคอนเวอร์เตอร์เมื่อแรงดันกริดเท่ากับ 55 โวลต์ และแรงดันไฟตรงเท่ากับ 110 โวลต์	51
4.2 พารามิเตอร์ของคอนเวอร์เตอร์เมื่อแรงดันกริดเท่ากับ 65 โวลต์ และแรงดันไฟตรงเท่ากับ 150 โวลต์	52
4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ต่างๆของแบบจำลองคุณลักษณะ ของลมที่ความเร็วลม 5 m/s	55
4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ต่างๆของแบบจำลองคุณลักษณะ ของลมที่ความเร็วลม 6 m/s	55
4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ต่างๆของแบบจำลองคุณลักษณะ ของลมที่ความเร็วลม 7 m/s	56
4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ต่างๆของแบบจำลองคุณลักษณะ ของลมที่ความเร็วลม 8 m/s	56
4.9 พารามิเตอร์ของแบบจำลองกักกันลมขณะเปลี่ยนความเร็วลมที่ค่าความเร็วลม 4 m/s เป็นความเร็วลม 5 m/s	57
4.10 พารามิเตอร์ของแบบจำลองกักกันลมขณะเปลี่ยนความเร็วลมที่ค่าความเร็วลม 5 m/s เป็นความเร็วลม 6 m/s	57
4.11 พารามิเตอร์ของแบบจำลองกักกันลมขณะเปลี่ยนความเร็วลมที่ค่าความเร็วลม 6 m/s เป็นความเร็วลม 7 m/s	58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการ XII เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.12 พารามิเตอร์ของแบบจำลองกึ่งหั่นลมขณะเปลี่ยนความเร็วลมที่ค่าความเร็วลม 7m/s เป็นความเร็วลม 8 m/s	58
4.13 พารามิเตอร์ของแบบจำลองกึ่งหั่นลมขณะเปลี่ยนความเร็วลมที่ค่าความเร็วลม 8m/s เป็นความเร็วลม 9 m/s	59



## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำในขดลวดที่มีซีคอมมิวเตเตอร์ และแปรงถ่านทำหน้าที่ในการจัดเรียงกระแส	7
2.2 วงจรของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแบบกระตุ้นแยก	8
2.3 วงจรของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบกระตุ้นแยก	9
2.4 DC-DC คอนเวอร์เตอร์แบบลดทอนแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง	12
2.5 การทำงานของวงจรลดทอนแรงดัน	13
2.6 สัญญาณแรงดันที่ขดลวดฟิลด์และอามาเจอร์	13
2.7 สัญญาณกระแสและแรงดันในขดลวดอามาเจอร์ของมอเตอร์	14
2.8 บล็อกไดอะแกรมแสดงแบบจำลองของมอเตอร์แบบกระตุ้นแยก	16
2.9 วงจรกำลังของชุดจำลองกังหันลม	16
2.10 ระบบเชื่อมต่อระหว่างกริดกับแบบจำลองกังหันลม	17
2.11 วงจรสมมูลของคอนเวอร์เตอร์ 1 เฟส	18
2.12 การทำงานในโหมดเรียงกระแส	22
2.13 การทำงานในโหมดอินเวอร์เตอร์	23
2.14 วงจรกำลังของการควบคุมแบบฮิสเตอร์รีซิสของคอนเวอร์เตอร์	24
3.1 บล็อกไดอะแกรมของคอนเวอร์เตอร์	25
3.2 บล็อกไดอะแกรมของชุดควบคุมกระแส	25
3.3 บล็อกไดอะแกรมของซีโรครอสซิง	26
3.4 บล็อกไดอะแกรมของแบบจำลองกังหันลม	27
3.5 บล็อกไดอะแกรมภายในของแบบจำลองกังหันลม	28
3.6 บล็อกไดอะแกรมของ $\lambda$	29
3.7 บล็อกไดอะแกรมของ $\lambda_r$	30
3.8 บล็อกไดอะแกรมของ $C_p$	31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการ VIII เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันที่กริด(กราฟสี่เหลี่ยมแสดงกระแส ในหน่วย แอมแปร์ ,กราฟสี่น้ำเงินแสดงแรงดัน ในหน่วย โวลต์)	32
3.10 กราฟแสดงค่าแรงดัน DC LINK(กราฟสี่เหลี่ยมแสดงแรงดัน ในหน่วย โวลต์)	33
3.11 กราฟแสดงคุณลักษณะแรงบิดและความเร็วของแบบจำลองกังหันลม	34
3.12 กราฟแสดงคุณลักษณะกำลังและความเร็วของแบบจำลองกังหันลม	34
3.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันที่กริด(กราฟสี่มุมแสดงกระแสใน หน่วย แอมแปร์ ,กราฟสีดำแสดงแรงดัน ในหน่วย โวลต์)	35
3.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วโรเตอร์และเวลา	35
3.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดและเวลา	35
3.16 กราฟแสดงค่าแรงดัน DC LINK(แสดงแรงดัน ในหน่วย โวลต์)	36
3.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันที่กริด(กราฟสี่มุมแสดงกระแสใน หน่วย แอมแปร์ ,กราฟสีดำแสดงแรงดัน ในหน่วย โวลต์)	36
3.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วโรเตอร์และเวลา	36
3.19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดและเวลา	37
3.20 กราฟแสดงค่าแรงดัน DC LINK(แสดงแรงดัน ในหน่วย โวลต์)	37
3.21 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันที่กริด(กราฟสี่มุมแสดงกระแสใน หน่วย แอมแปร์ ,กราฟสีดำแสดงแรงดัน ในหน่วย โวลต์)	37
3.22 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วโรเตอร์และเวลา	38
3.23 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดและเวลา	38
3.24 กราฟแสดงค่าแรงดัน DC LINK(แสดงแรงดัน ในหน่วย โวลต์)	38
3.25 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันที่กริด(กราฟสี่มุมแสดงกระแสใน หน่วย แอมแปร์ ,กราฟสีดำแสดงแรงดัน ในหน่วย โวลต์)	39
3.26 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วโรเตอร์และเวลา	39
3.27 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดและเวลา	39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
3.28 กราฟแสดงค่าแรงดัน DC LINK(แสดงแรงดัน ในหน่วย โวลต์)	40
3.29 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันที่กริด(กราฟสีม่วงแสดงกระแสในหน่วย แอมแปร์ ,กราฟสีดำแสดงแรงดัน ในหน่วย โวลต์)	40
3.30 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วโรเตอร์และเวลา	40
3.31 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดและเวลา	41
3.32 กราฟแสดงค่าแรงดัน DC LINK(แสดงแรงดัน ในหน่วย โวลต์)	41
3.33 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันที่กริด(กราฟสีม่วงแสดงกระแสในหน่วย แอมแปร์ ,กราฟสีดำแสดงแรงดัน ในหน่วย โวลต์)	41
3.34 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วโรเตอร์และเวลา	42
3.35 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดและเวลา	42
3.36 กราฟแสดงค่าแรงดัน DC LINK(แสดงแรงดัน ในหน่วย โวลต์)	42
3.37 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันที่กริด(กราฟสีม่วงแสดงกระแสในหน่วย แอมแปร์ ,กราฟสีดำแสดงแรงดัน ในหน่วย โวลต์)	43
3.38 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันที่กริด(กราฟสีม่วงแสดงกระแสในหน่วย แอมแปร์ ,กราฟสีดำแสดงแรงดัน ในหน่วย โวลต์)	43
4.1 วงจรคอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟสชนิดเชื่อมต่อกกริด	45
4.2 โหมดการทำงานคอนเวอร์เตอร์เรียงกระแส	46
4.3 โหมดการทำงานอินเวอร์เตอร์	47
4.4 วงจรกำลังของระบบจำลองกังหันลม	47
4.5 สัญญาณกระแสและแรงดันในขดลวดอามาเจอร์ของมอเตอร์	48
4.6 สัญญาณกระแสและแรงดันในขดลวดฟิวของมอเตอร์	48
4.7 กราฟประสิทธิภาพของการทำงานโหมดเรกติไฟลิ่งแรงดันอ้างอิง 30 โวลต์	49
4.8 กราฟประสิทธิภาพของการทำงานโหมดเรกติไฟลิ่งแรงดันอ้างอิง 50 โวลต์	50
4.9 กราฟประสิทธิภาพของการทำงานโหมดเรกติไฟลิ่งแรงดันอ้างอิง 110 โวลต์	51
4.10 กราฟประสิทธิภาพของการทำงานโหมดเรกติไฟลิ่งแรงดันอ้างอิง 150 โวลต์	52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
4.11 การทำงานโหมตเรียงกระแส $V_{ac}=20\text{ V}$ , $V_{dc}=30\text{ V}$	53
4.12 การทำงานโหมตอินเวอร์เตอร์ $V_{ac}=20\text{ V}$ , $V_{dc}=30\text{ V}$	53
4.13 การทำงานโหมตเรียงกระแส $V_{ac}=25\text{ V}$ , $V_{dc}=50\text{ V}$	53
4.14 การทำงานโหมตอินเวอร์เตอร์ $V_{ac}=25\text{ V}$ , $V_{dc}=50\text{ V}$	53
4.15 การทำงานโหมตเรียงกระแส $V_{ac}=55\text{ V}$ , $V_{dc}=110\text{ V}$	54
4.16 การทำงานโหมตอินเวอร์เตอร์ $V_{ac}=55\text{ V}$ , $V_{dc}=110\text{ V}$	54
4.17 การทำงานโหมตเรียงกระแส $V_{ac}=65\text{ V}$ , $V_{dc}=150\text{ V}$	54
4.18 การทำงานโหมตอินเวอร์เตอร์ $V_{ac}=65\text{ V}$ , $V_{dc}=150\text{ V}$	54
4.19 การทำงานของแบบจำลองกึ่งหนึ่งลมที่ความเร็วลม $4\text{ m/s}$	60
4.20 การทำงานของแบบจำลองกึ่งหนึ่งลมที่ความเร็วลม $5\text{ m/s}$	60
4.21 การทำงานของแบบจำลองกึ่งหนึ่งลมจากความเร็วลม $4\text{ m/s}$ เป็น $5\text{ m/s}$	60
4.22 การทำงานของแบบจำลองกึ่งหนึ่งลมที่ความเร็วลม $5\text{ m/s}$	61
4.23 การทำงานของแบบจำลองกึ่งหนึ่งลมที่ความเร็วลม $6\text{ m/s}$	61
4.24 การทำงานของแบบจำลองกึ่งหนึ่งลมจากความเร็วลม $5\text{ m/s}$ เป็น $6\text{ m/s}$	61
4.25 การทำงานของแบบจำลองกึ่งหนึ่งลมที่ความเร็วลม $6\text{ m/s}$	62
4.26 การทำงานของแบบจำลองกึ่งหนึ่งลมที่ความเร็วลม $7\text{ m/s}$	62
4.27 การทำงานของแบบจำลองกึ่งหนึ่งลมจากความเร็วลม $6\text{ m/s}$ เป็น $7\text{ m/s}$	62
4.28 การทำงานของแบบจำลองกึ่งหนึ่งลมที่ความเร็วลม $7\text{ m/s}$	63
4.29 การทำงานของแบบจำลองกึ่งหนึ่งลมที่ความเร็วลม $8\text{ m/s}$	63
4.30 การทำงานของแบบจำลองกึ่งหนึ่งลมจากความเร็วลม $7\text{ m/s}$ เป็น $8\text{ m/s}$	63
4.31 การทำงานของแบบจำลองกึ่งหนึ่งลมที่ความเร็วลม $8\text{ m/s}$	64
4.32 การทำงานของแบบจำลองกึ่งหนึ่งลมที่ความเร็วลม $9\text{ m/s}$	64
4.33 การทำงานของแบบจำลองกึ่งหนึ่งลมจากความเร็วลม $8\text{ m/s}$ เป็น $9\text{ m/s}$	64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ในปัจจุบันการใช้พลังงานส่วนใหญ่ทั้งในด้าน อุตสาหกรรม คมนาคม และครัวเรือนของประเทศไทยมาจาก ถ่านหิน แก๊สธรรมชาติ น้ำมัน ซึ่งเชื้อเพลิงเหล่านี้ส่งผลกระทบต่อทั้งทางด้านเศรษฐกิจและสิ่งแวดล้อม ซึ่งยังมีราคานำเข้าและราคาขนส่งที่สูงและยังสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง การใช้เชื้อเพลิงจำพวก ก๊าซ พลังงานจากชีวมวล จะทำให้เกิดก๊าซเรือนกระจกซึ่งส่งผลทำให้เกิดภาวะโลกร้อน เป็นสาเหตุให้พลังงานทดแทนจึงมีความจำเป็นอย่างมากในปัจจุบัน

พลังงานทดแทนเป็นพลังงานที่ยั่งยืน และค่อนข้างส่งผลกระทบต่อเศรษฐกิจและสิ่งแวดล้อมน้อยกว่าการใช้พลังงานจากเชื้อเพลิง และหนึ่งในพลังงานทดแทนที่นำมาใช้ในปัจจุบันคือ พลังงานลม เนื่องจากพลังงานลมเป็นพลังงานที่มีต้นทุนต่อหน่วยต่ำเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ โดยพลังงานลมที่นำมาใช้มีหลักการคือ การเปลี่ยนจากพลังงานจลน์ไปเป็นพลังงานกลและนำพลังงานกลที่ได้ไปเป็นพลังงานไฟฟ้าโดยอาศัยชุดเชื่อมต่อระหว่างกังหันลมกับอินเวอร์เตอร์ (Inverter) ซึ่งอินเวอร์เตอร์ในปัจจุบันเป็นอุปกรณ์ที่จำเป็นต่อการเชื่อมต่อกังหันลมกับกริดเป็นอย่างมาก และอินเวอร์เตอร์ในปัจจุบันมีราคาที่สูงและยังต้องนำเข้าจากต่างประเทศ จึงมีความสำคัญและจำเป็นอย่างยิ่งในการศึกษาและพัฒนาชุดอินเวอร์เตอร์เพื่อให้มีประสิทธิภาพที่สูงและมีราคาไม่สูงจนเกินไปโดยการศึกษาและพัฒนาจะต้องสามารถนำไปใช้ได้มีประสิทธิภาพและเป็นไปตามมาตรฐานของกริดไฟฟ้า อีกทั้งยังส่งผลให้ประเทศไทยมีความน่าเชื่อถือทางระบบไฟฟ้าและยังสามารถทำให้ประเทศไทยเป็นแบบอย่างในด้านความมีเสถียรภาพของระบบไฟฟ้า[4]

ปัจจุบันในการผลิตพลังงานไฟฟ้าที่ได้มาจากพลังงานลมส่วนใหญ่ในประเทศไทยยังมีการวิจัยและพัฒนาที่น้อย เพราะวัสดุและอุปกรณ์สำหรับนำมาใช้ยังมีราคาที่สูงและการผลิตจำเป็นต้องผลิตให้ได้มาตรฐาน โดยการศึกษาโครงการวิจัยนี้จะเป็นส่วนหนึ่งให้เกิดการพัฒนาต่อระบบ เพื่อนอนาคตสืบไป

## 1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาและออกแบบ ชุดเชื่อมต่อระหว่างกริดกับกังหันลม
2. เพื่อนำความรู้พื้นฐานทางวิศวกรรมมาประยุกต์ใช้ในการศึกษาออกแบบชุดเชื่อมต่อระหว่างกริดกับกังหันลม
3. เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของชุดเชื่อมต่อระหว่างกริดกับกังหันลม
4. เพื่อลดต้นทุนการผลิตของชุดเชื่อมต่อระหว่างกริดกับกังหันลม
5. เพื่อทำการพัฒนาให้ชุดเชื่อมต่อระหว่างกริดกับกังหันลมสามารถใช้กับระบบไฟฟ้าของประเทศไทยได้อย่างมีประสิทธิภาพ

## 1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงการ

1. ได้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ของเครื่องจำลองกังหันลมและชุดเชื่อมต่อกริดบนโปรแกรม MATLAB/Simulink
2. ได้เครื่องต้นแบบของเครื่องจำลองกังหันลมและชุดเชื่อมต่อกริด
3. ได้ผลการทดสอบและวิเคราะห์เครื่องจำลองการทำงานกังหันลมและชุดเชื่อมต่อกริด
4. ได้ความรู้และประสบการณ์ในการสร้างชุดเชื่อมต่อกริดและการนำพลังงานเป็นพลังงานไฟฟ้าเพื่อจ่ายเข้าระบบการไฟฟ้า

## 1.4 วิธีการดำเนินงาน

ในการศึกษาและออกแบบเพื่อสร้างชุดเชื่อมต่อกริด ทีมวิจัยต้องดำเนินการดังนี้

1. ค้นคว้าศึกษาหาข้อมูลที่ใช้ในการออกแบบและพัฒนาระบบจำลองกังหันลม โดยศึกษาข้อมูลของวงจรควบคุมของระบบจำลองกังหันลมที่เขียนโปรแกรมจาก MATLAB เพื่อให้ได้ผลที่เป็นเสมือนกราฟของคุณลักษณะลมจริงๆ เพื่อที่จะนำไปใช้ต่อเข้ากับชุดเชื่อมต่อกริดได้
2. ทำการออกแบบและเขียนแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของแบบจำลองกังหันลมในโปรแกรม MATLAB และเมื่อเขียนโปรแกรมจำลองแล้ว จึงทำการสร้าง Hard ware ขึ้นมาเพื่อนำมาใช้ทดลอง
3. ค้นคว้าศึกษาหาข้อมูลที่ใช้ในการออกแบบและสร้างชุดเชื่อมต่อกริดโดยศึกษาข้อมูลของวงจร ควบคุมของระบบ ที่เขียนโปรแกรมจาก MATLAB เพื่อให้สามารถนำไปต่อเข้ากับระบบไฟฟ้าได้จริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ทำการออกแบบรายละเอียดแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของชุดเชื่อมต่อกิริตลงในโปรแกรม MATLAB Simulink และเมื่อได้ผลการทดลองแล้ว จึงทำการสร้าง Hard Ware ขึ้นมาเพื่อใช้ทดสอบ
5. ทำการทดสอบโดยนำวงจรของแบบจำลองกึ่งหน้ลมที่สร้างขึ้น มาเพื่อเป็นแหล่งจ่ายเพื่อต่อเข้ากับกิริตโดยมีชุดเชื่อมต่อกิริตเป็นตัวแปลงแรงดันเพื่อเชื่อมต่อกับกิริต
6. ศึกษาผลการทดลองเพื่อหาจุดบกพร่องและทำการแก้ไข



## 1.4 แผนการดำเนินงานโครงการ

ตารางที่ 1.1 ตารางเวลาการจัดทำโครงการ

การดำเนินงาน	การดำเนินงาน									
	ส.ค	ก.ย	ต.ค	พ.ย	ธ.ค	ม.ค	ก.พ	มี.ค	เม.ย	พ.ค
1.ศึกษา ค้นคว้า หาความรู้และข้อมูลเบื้องต้น เกี่ยวกับการทำงานของกังหันลม และคุณลักษณะเฉพาะของลม จากตำราทั้งในและต่างประเทศ										
2.พัฒนาชุดจำลองกังหันลมเพื่อให้ได้แรงดันที่เปรียบเสมือนแรงดันที่ได้จากกังหันลมจริงเพื่อต่อเข้ากับชุดเชื่อมต่องรีดด้วยโปรแกรม Matlab										
3.ศึกษา ค้นคว้า หาความรู้และข้อมูลเบื้องต้น เกี่ยวกับการทำงานของชุดคอนเวอร์เตอร์ระบบ 1 เฟส จากตำราทั้งในและต่างประเทศ										
4.สร้างชุดคอนเวอร์เตอร์ของชุดเชื่อมต่องรีดและทดสอบประสิทธิภาพและเสถียรภาพของชุดคอนเวอร์เตอร์เพื่อให้สามารถนำไปใช้ต่อกับระบบกริดได้										
5.ปรับปรุงและแก้ไขชุดคอนเวอร์เตอร์และชุดชอปเปอร์										
6.สรุปผลงานและเสนอโครงการ										

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

1. ได้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ของเครื่องจำลองกังหันลมและชุดเชื่อมต่อกิตบนโปรแกรม MATLAB/Simulink
2. ได้เครื่องต้นแบบของเครื่องจำลองกังหันลมและชุดเชื่อมต่อกิต
3. ได้ผลการทดสอบและวิเคราะห์เครื่องจำลองการทำงานกังหันลมและชุดเชื่อมต่อกิต
4. ได้นำความรู้พื้นฐานทางวิศวกรรมมาประยุกต์เพื่อใช้สร้างและพัฒนาระบบเชื่อมต่อกิตเพื่อต่อเข้ากับระบบที่เป็นมาตรฐานจริง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 เครื่องจักรกลไฟฟ้ากระแสตรง (DC Machines)

เครื่องจักรกลไฟฟ้ามี 2 ประเภท มีทั้งทำหน้าที่แปลงพลังงานกลไปเป็นพลังงานไฟฟ้ากระแสตรง เรียกว่า “เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง” และ ทำหน้าที่แปลงพลังงานไฟฟ้ากระแสตรงไปเป็นพลังงานกล เรียกว่า “มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง” เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง (Generator) มีหน้าที่เปลี่ยนพลังงานจากพลังงานกลเป็นพลังงานไฟฟ้ากระแสตรง โดยป้อนไฟฟ้ากระแสตรงเข้าส่วนของอามาเจอร์ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงโดยมีแปรงถ่าน (Brush) กับซีคอมมิวเตเตอร์ ทำหน้าที่จัดเรียงกระแสไฟฟ้าจากไฟฟ้ากระแสสลับ (AC Current) ในขดลวดอามาเจอร์มอเตอร์กระแสตรง และในส่วนของขั้วแม่เหล็กของเครื่องจักรกลไฟฟ้ากระแสตรง จะทำหน้าที่สร้างสนามแม่เหล็กขึ้น ซึ่งสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นนั้นสร้างมาจากขดลวดกระตุ้นสนามแม่เหล็ก (Field-excited coil) ซึ่งเป็นกระแสไฟฟ้าที่สร้างฟลักซ์แม่เหล็กและป้อนกระแสไฟฟ้าไปกระตุ้นให้เกิดสนามแม่เหล็ก

#### 2.2 แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ (Electromotive force)

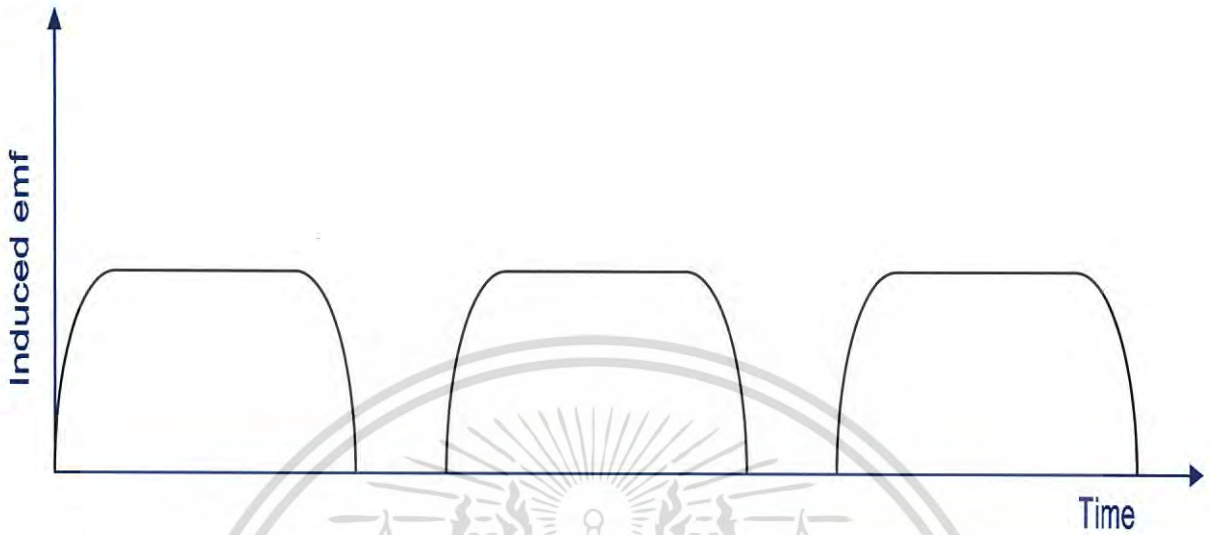
เครื่องจักรกลไฟฟ้ากระแสตรงเมื่อนำแท่งตัวนำเคลื่อนที่ตัดสนามแม่เหล็กจะเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ (Induced emf) ซึ่งค่าที่ได้จากการเหนี่ยวนำ สามารถคำนวณมาได้จาก  $e = U \times B$  ซึ่งโดยทั่วๆไปความเร็วจะตั้งฉากกับสนามแม่เหล็ก ทำให้ความเหนี่ยวนำเป็น  $e = UB$  โดยแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้น เมื่อโรเตอร์เคลื่อนที่ตัดสนามแม่เหล็กจะทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำกระแสสลับทำให้ต้องใช้แปรงถ่าน (Brush) กับซีคอมมิวเตเตอร์ (Commutator) ทำหน้าที่จัดเรียงกระแสไฟฟ้าจากไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง โดยการที่จะแปลงไฟฟ้ากระแสสลับ ในขดลวดให้ออกมาเป็นไฟฟ้ากระแสตรงต้องอาศัยการทำงานร่วมกันของซีคอมมิวเตเตอร์และแปรงถ่านโดยจะได้แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำออกมาเป็นไฟฟ้ากระแสตรงโดยไหลในทิศทางเดียวเสมอ

แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่อามาเจอร์ในเครื่องจักรกลไฟฟ้ากระแสตรง มีค่าเป็น

$$E_a = k\Phi\omega \quad (2.1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่ขดลวดอามาเจอร์จะมีลักษณะดังนี้



รูปที่ 2.1 แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำในขดลวดที่มีซี่คอมมิวเตเตอร์และแปรงถ่านทำหน้าที่ในการจัดเรียงกระแส[6]

### 2.3 แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำและแรงบิดที่เกิดขึ้นในเครื่องจักรกลไฟฟ้ากระแสตรง

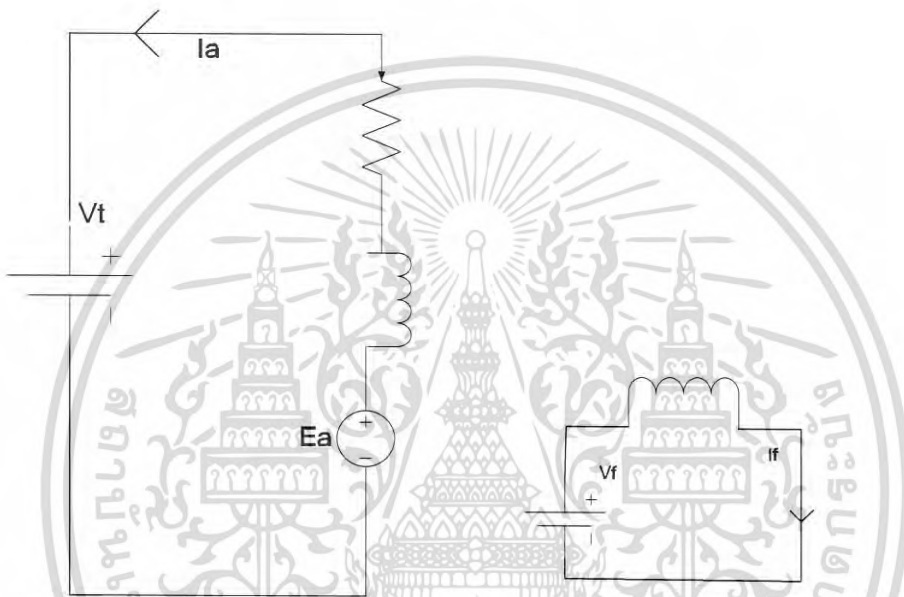
แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่ขดลวดอามาเจอร์  $E_a = k\Phi\omega$  จะเห็นว่าแรงดันที่เกิดขึ้นจะขึ้นกับฟลักซ์แม่เหล็กต่อขั้ว ( $\Phi$ ) และความเร็วโรเตอร์ ( $\omega$ ) โดยในส่วนของฟลักซ์แม่เหล็กนั้นจะขึ้นอยู่กับกระแสกระตุ้นสนามแม่เหล็ก ( $I_f$ ) ส่วนแรงบิดที่เกิดจากสนามแม่เหล็ก ( $T_e$ ) จะแปรผันตรงกับฟลักซ์แม่เหล็กเช่นกันโดยมีค่าเป็น

$$T_e = k\Phi I \quad (2.2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.4 เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแบบขดลวดกระตุ้นแยก(Excited Field DC Generator)

เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงจะมีทั้งส่วนวงจรที่เป็นวงจรรอมาเจอร์แยกกับส่วนที่เป็นส่วนสร้างสนามแม่เหล็กกระตุ้นแยก ซึ่งจะให้ให้สามารถควบคุมกระแส  $I_f$  ได้อย่างอิสระ ซึ่งต้องควบคุมให้กระแสกระตุ้นอยู่ในย่านที่ไม่อิ่มตัวเพราะอาจทำให้เครื่องจักรเกิดความสูญเสียในขดลวดตัวนำได้



รูปที่ 2.2 วงจรของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแบบกระตุ้นแยก[6]

แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่ขดลวดอามาเจอร์ จะมีค่าเป็น

$$E_a = V_t + I_a R_a \quad (2.3)$$

กำลังไฟฟ้าด้านออก จะมีค่าเป็น

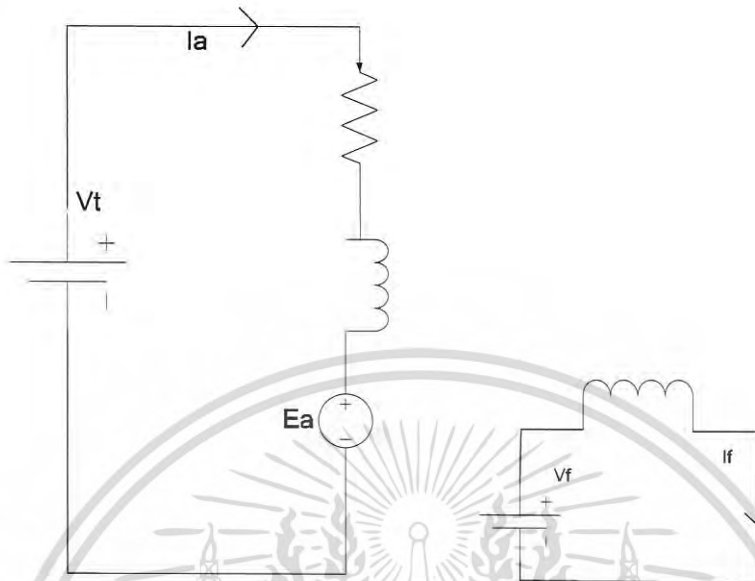
$$P_o = I^2 R_{load} \quad (2.4)$$

## 2.5 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบขดลวดกระตุ้นแยก(Excited Field DC Motor)

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงจะมีทั้งส่วนวงจรที่เป็นวงจรรอมาเจอร์แยกกับส่วนที่เป็นส่วนสร้างสนามแม่เหล็กกระตุ้นแยก ซึ่งจะให้ให้สามารถควบคุมกระแส  $I_f$  ได้อย่างอิสระ ซึ่งต้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ควบคุมให้กระแสกระตุ้นอยู่ในย่านที่ไม่อิ่มตัวเพราะอาจทำให้เครื่องจักรเกิดความสูญเสียในขดลวดตัวนำได้[6]



รูปที่ 2.3 วงจรของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบกระตุ้นแยก[6]

แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่ขดลวดอาามาเจอร์ จะมีค่าเป็น

$$V_t = E_a + I_a R_a \quad (2.5)$$

กำลังไฟฟ้าด้านออก จะมีค่าเป็น

$$P_o = T_L \omega \quad (2.6)$$

## 2.6 พลังงานลม

กังหันลม มีทั้งแบบแนวนอน และ แนวตั้ง โดยแนวแกนนอนเป็นกังหันลมที่แกนหมุนขนานกับทิศทางลมโดยมีใบพัดเป็นตัวตั้งฉากกับแรงลมและมีหางเสือเป็นตัวควบคุมกังหันให้หันไปตามทิศทางกระแสลม ส่วนกังหันลมแนวตั้ง เป็นกังหันลมที่มีแกนหมุนและใบพัดตั้งฉากกับการเคลื่อนที่ของลมในแนวราบ ซึ่งมีข้อดีคือสามารถรับลมในแนวราบได้ทุกทิศทาง

### 2.6.1 หลักการทำงานของกังหันลม

พลังงานลม คือพลังงานจลน์ซึ่งเป็นพลังงานที่มี มวล (m) ถูกทำให้เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว (v) และก่อให้เกิดพลังงานจลน์ [2]

และมีค่าพลังงานลม คือ

$$E_w = \frac{1}{2}mv^2 \quad (2.7)$$

และมีค่ากำลังที่ได้จากลม คือ

$$P_w = \frac{1}{2}\rho AV^3 \quad (2.8)$$

โดยที่ กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ของกังหันลมจะมีค่าแปรตามความเร็วลมยกกำลังสามโดยที่ในช่วงระหว่างความเร็วลมพิกัดถึงช่วงความเร็วลมสูงสุดกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จะมีค่าใกล้เคียงกับกำลังไฟฟ้าพิกัด โดยกำลังทางกลที่เกิดขึ้นในตัวเพลลาของโรเตอร์ที่เกิดขึ้นจากการหมุนของใบพัดของกังหันลมมีค่าเป็น

$$P_m = \frac{1}{2} \pi \rho C(\lambda, \beta) r^2 v_w^3 \quad (2.9)$$

โดย	$C(\lambda, \beta)$	คือ สัมประสิทธิ์กำลังไฟฟ้าของกังหันลม
	$\lambda$	คือ อัตราส่วนระหว่างความเร็วปลายใบพัดต่อความเร็ว
	$\beta$	คือ มุมบิดของใบพัด (degree)
	$P_m$	คือ กำลังทางกลของกังหันลม <i>Watt</i>
	$\rho$	คือ ความหนาแน่นของอากาศ $1.225 \text{ (kg/m}^3\text{)}$
	$r$	คือ รัศมีใบพัดของกังหันลม $m$
	$v_w$	คือ ความเร็วของลม $(m/s)$

โดยสัมประสิทธิ์กำลังไฟฟ้าของกังหันลมจะมีค่าเป็น[2]

$$C_p(\lambda, \beta) = C_1 \left( \frac{C_2}{\lambda_i} - C_3 \beta - C_4 \right) e^{-\frac{C_5}{\lambda_i}} + C_6 \lambda \quad (2.10)$$

โดยให้  $C_1 = 0.5176$   $C_2 = 116$   $C_3 = 0.4$   $C_4 = 5$   $C_5 = 21$   $C_6 = 0.0068$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะได้

$$\frac{1}{\lambda_i} = \frac{1}{0.08\beta + \lambda} - \frac{0.035}{\beta^3 + 1} \quad (2.11)$$

โดยที่

$$\lambda = \frac{\omega r}{v_w} \quad (2.12)$$

และสามารถหาค่าแรงบิดทางกลได้จาก

$$T_m = \frac{P_m}{\omega_t} = \frac{1}{2} \pi p C(\lambda, \beta) r^2 v_w^3 \quad (2.13)$$

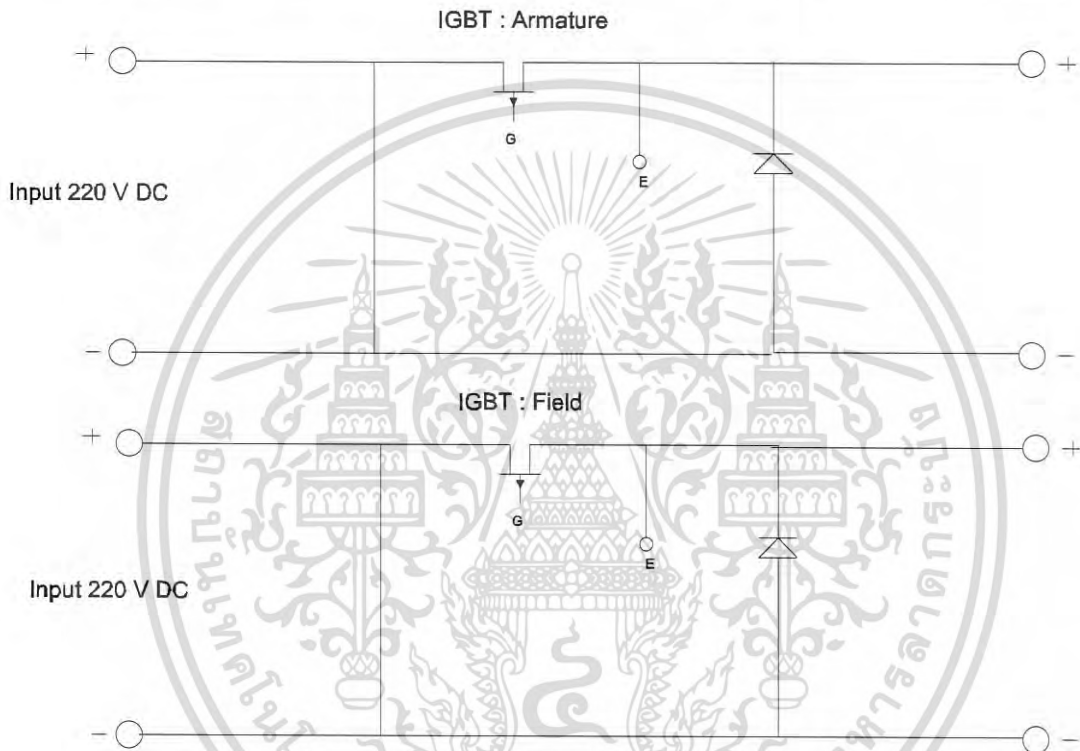
สามารถเขียนความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์แรงบิด  $C_t$  และสัมประสิทธิ์กำลังไฟฟ้า  $C$  ได้เป็น

$$C(\lambda, \beta) = \frac{P_m}{\frac{\pi p r^2 v_w^3}{2}} = \frac{\omega_t r}{v_w} C_t(\lambda, \beta) = \lambda C_t(\lambda, \beta) \quad (2.14)$$

การวิเคราะห์ระบบนี้จะเป็นการวิเคราะห์การขับเคลื่อนมอเตอร์กระแสตรงแบบกระตุ้นแยกโดยการควบคุมให้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงทำงานเป็นเครื่องจำลองกังหันลม และทำงานแบบหนึ่งจุดภาคโดยควบคุมกระแสของมอเตอร์ให้สร้างแรงบิดเหมือนกับกังหันลม จากการควบคุมแรงดันด้วยชุด DC-DC Converter ด้วยเทคนิคการมอดูเลตแบบยูนิโพลาร์ที่ดับบิวเอ็ม โดยการควบคุมกระแสจะควบคุมจากระบบพีไอคอนโทรลเลอร์ (PI Control)

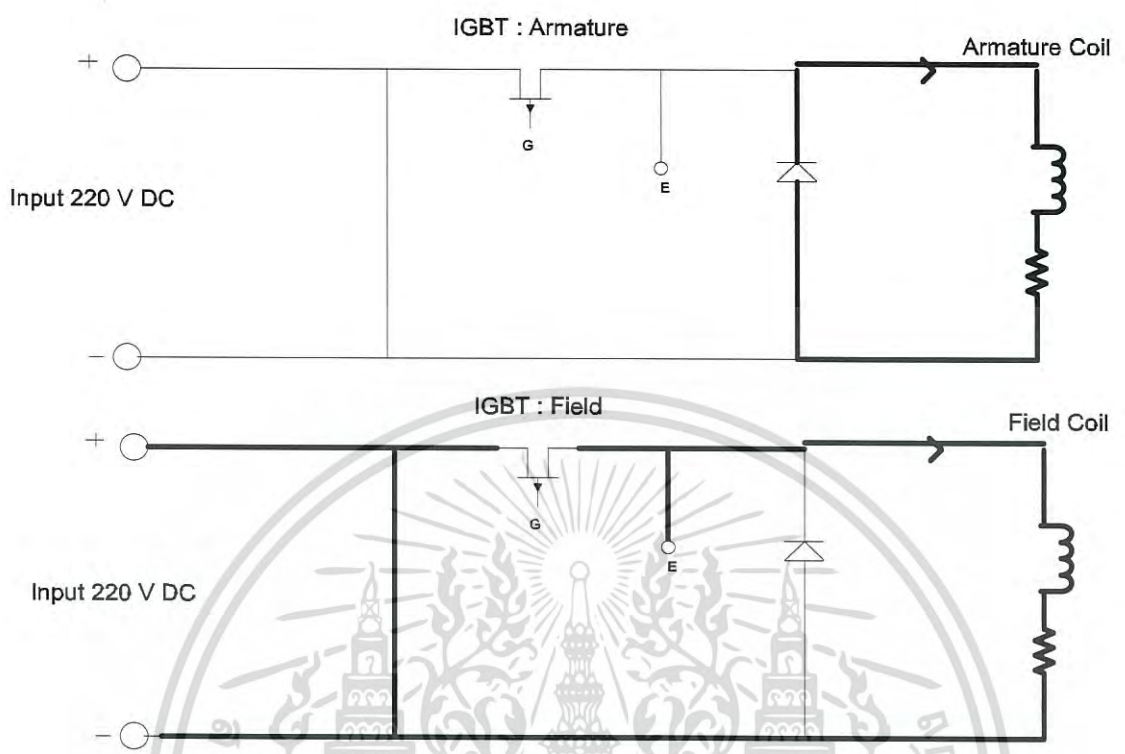
## 2.7 การควบคุมแรงดันโดยใช้ DC-DC Converter

การควบคุมแรงดันให้มีค่าคงที่หรือเปลี่ยนแปลงนั้นสามารถควบคุมสามารถควบคุมได้จากแหล่งจ่ายที่จ่ายไฟฟ้ากระแสตรงให้กับวงจรมอเตอร์โดยที่แรงดันที่จ่ายให้กับขดลวดอาามาเจอร์จะแปรผันตรงกับความเร็วมอเตอร์ทำให้ออเตอร์นั้นสามารถเพิ่ม-ลด ความเร็วได้จากการควบคุมแรงดันที่ขดลวดอาามาเจอร์โดยการควบคุมความกว้างของพัลส์ของสัญญาณพีดับลิวเอ็ม[1][8]

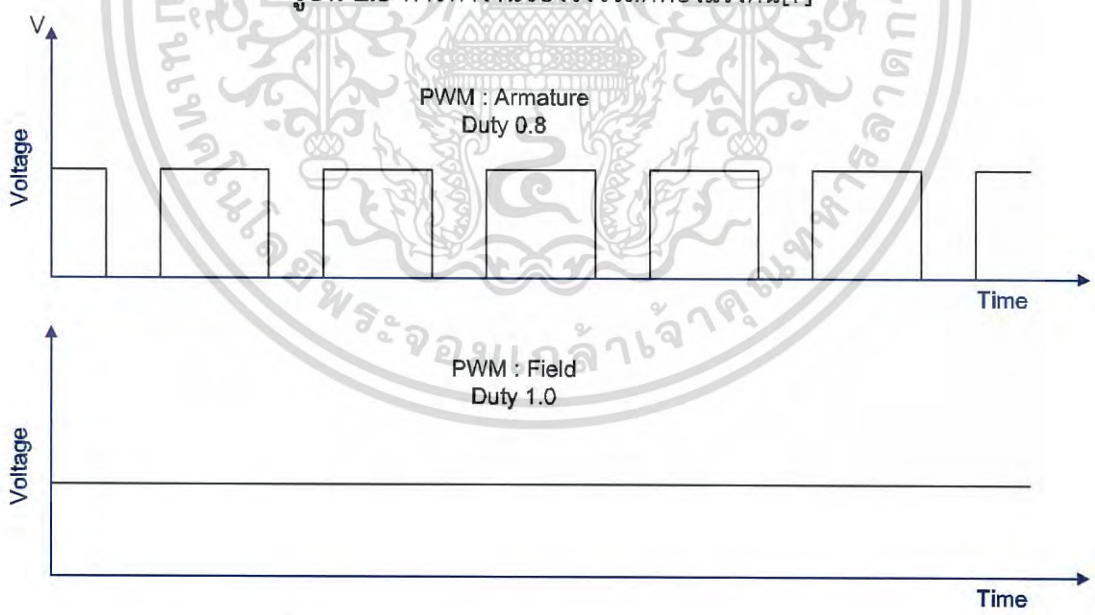


รูปที่ 2.4 DC-DC คอนเวอร์เตอร์แบบลทอนแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง[7]

เมื่อป้อนแรงดันที่พิกัดให้กับตัวมอเตอร์ การปรับเพิ่มหรือลดแรงดันสามารถทำได้โดยการปรับความกว้างพัลส์หรือค่าดิวตีไซเคิลของสัญญาณพีดับลิวเอ็ม ที่ความถี่ 20 กิโลเฮิร์ต ซึ่งในขณะที่สัญญาณพีดับลิวเอ็มมีค่าเป็น 5 โวลต์ ที่ออกจากขาไมโครคอนแรงดันที่จ่ายให้กับมอเตอร์จะมีค่า 0 โวลต์ ซึ่งในขณะนั้นจะมีกระแสไหลในวงจรมอเตอร์ ฟรี-วิลลิง ไดโอด ซึ่งต่อขนานอยู่กับมอเตอร์[7]



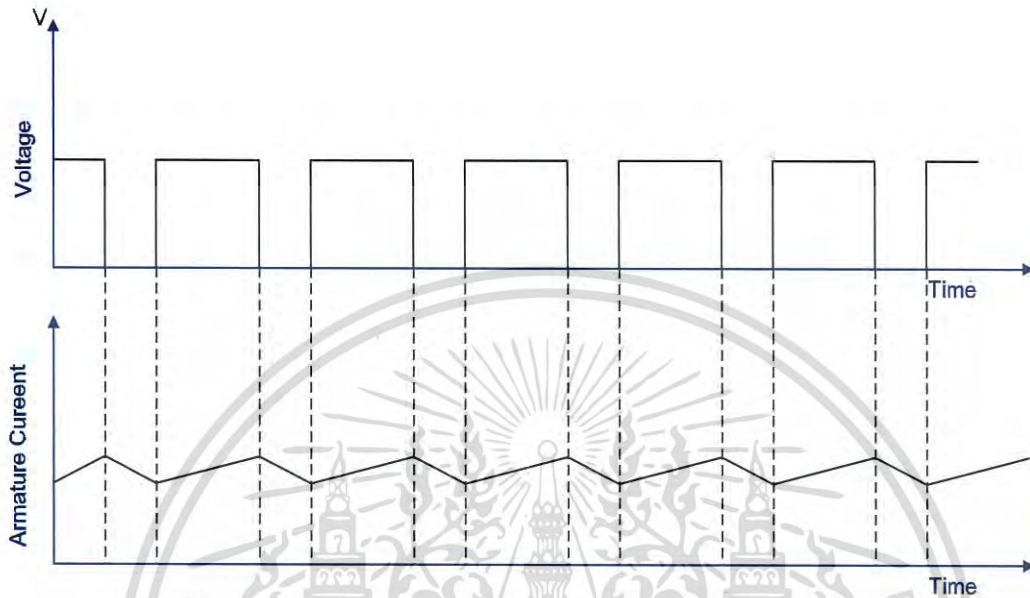
รูปที่ 2.5 การทำงานของวงจรลดทอนแรงดัน[7]



รูปที่ 2.6 สัญญาณแรงดันที่ขดลวดฟิลด์และอามาเจอร์[7]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงจะใช้หลักการควบคุมแรงดันที่ขดลวดอามาเจอร์เพียงขดลวดเดียว โดยให้แรงดันที่ขดลวดฟิลล์มีค่าคงที่ที่ค่าพิกัด ซึ่งการควบคุมแรงดันโดยการปรับค่าความกว้างพัลส์หรือค่าตัวดีของสัญญาณพัลส์บลิวเอ็มจะมีรูปตามรูปนี้



รูปที่ 2.7 สัญญาณกระแสและแรงดันในขดลวดอามาเจอร์ของมอเตอร์[7]

จากวงจรสมมูลทำให้เขียนสมการอนุพันธ์ได้ดังนี้

$$V_a = I_a R_a + L_a \frac{dI_a}{dt} + E_a \quad (2.15)$$

โดย  $\frac{L_a}{R_a} = T_a$  คือ ค่าคงที่ของเวลา (Time constant) จะสามารถเขียนสมการลาปลาซของกระแสได้ดังนี้

$$I_a(s) = \frac{1}{1 + \frac{T_a s}{1}} (U_a(s) - E_a(s)) \quad (2.16)$$

สามารถเขียนสมการลาปลาซของแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำได้ดังนี้ โดยที่

$K_e$  คือ ค่าคงที่ของแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ

$\omega$  คือ ค่าความเร็วของโรเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$E_a(s) = K_e \omega(s) \quad (2.17)$$

สามารถเขียนสมการลาปลาซของแรงบิดที่มอเตอร์สร้างขึ้นได้ โดยที่

$K_t$  คือ ค่าคงที่ของแรงบิดและแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ

$$T_m(s) = K_T I_a(s) \quad (2.18)$$

และยังสามารถเขียนสมการลาปลาซของแรงบิดที่มอเตอร์สร้างขึ้นได้ โดยที่

$T_L(t)$  คือ แรงบิดของภาระ

$T_{acc}(t)$  คือ แรงบิดที่เกิดจากการเร่ง

$$T_m(t) = T_L(t) + T_{acc}(t) \quad (2.19)$$

ซึ่งแรงบิดที่เกิดจากการเร่งสามารถคำนวณได้จาก

$$T_{acc}(t) = J \frac{d\omega(t)}{dt} \quad (2.20)$$

$J$  คือ ค่าโมเมนต์ความเฉื่อย

จะได้ว่า

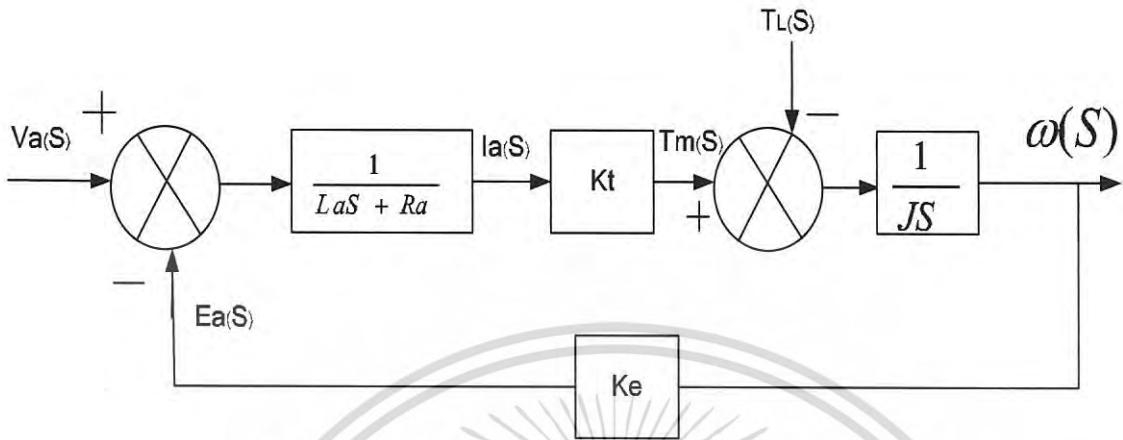
$$\frac{d\omega(t)}{dt} = \frac{T_m(t) - T_L(t)}{J} \quad (2.21)$$

และสามารถเขียนสมการลาปลาซของความเร็วได้

$$\omega(s) = \frac{1}{Js} (T_m(s) - T_L(s)) \quad (2.22)$$

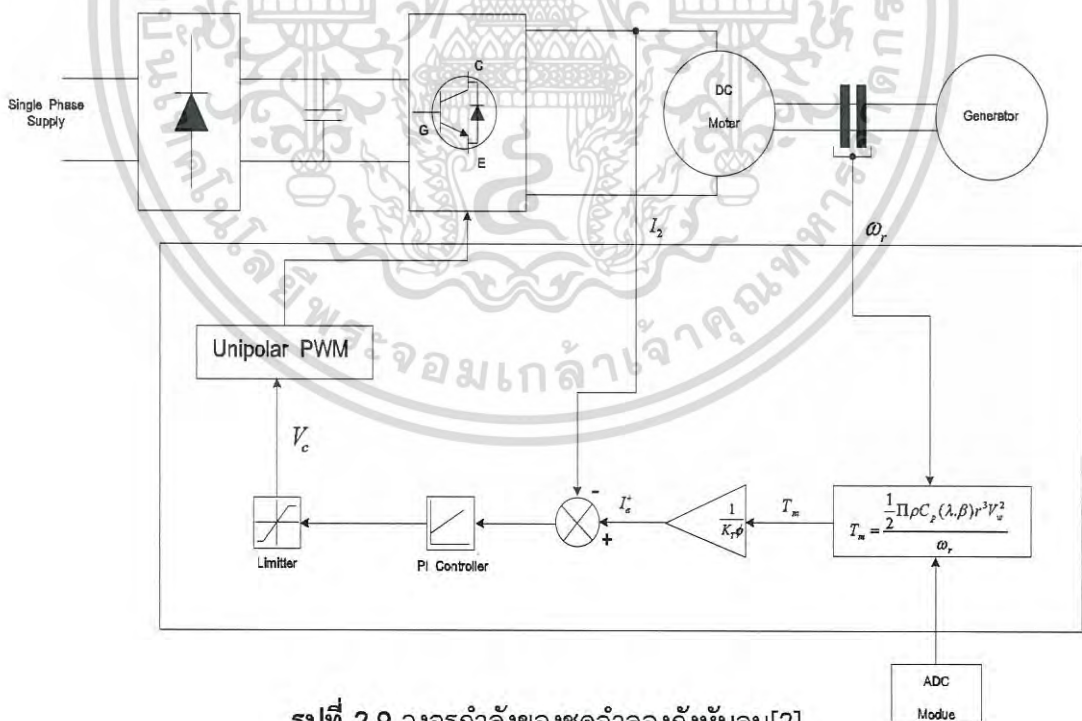
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการ (2.16) (2.17) (2.18) (2.22) สามารถแสดงด้วยบล็อกไดอะแกรมซึ่งเป็นแบบจำลองของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบขดลวดกระตุ้นแยก ได้ดังนี้



รูปที่ 2.8 บล็อกไดอะแกรมแสดงแบบจำลองของมอเตอร์แบบกระตุ้นแยก[2]

### 2.8 วงจรกำลังของระบบจำลองกังหันลมที่ควบคุมโดย Current Control



รูปที่ 2.9 วงจรกำลังของชุดจำลองกังหันลม[2]

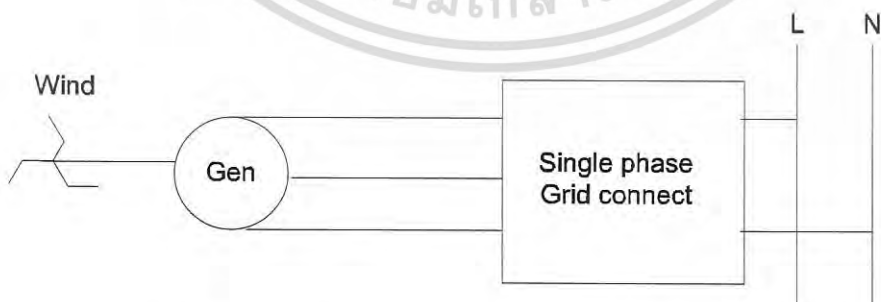
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.9 ระบบควบคุมกังหันลมที่ผลิตกระแสไฟฟ้าเพื่อเชื่อมต่อบระบบไฟฟ้า

พลังงานที่ได้จากแบบจำลองกังหันลมจะนำพลังงานเหล่านั้นนำมาต่อเข้าระบบเชื่อมต่อกับกริด (Grid connected) โดยระบบนี้จะนำพลังงานไฟฟ้า ที่ได้จากกังหันลมจ่ายเข้าสู่กริดโดยตรง ซึ่งในส่วนของข้อดีนี้จะเป็นการบำรุงรักษาอุปกรณ์จะน้อยกว่าเมื่อเทียบกับระบบที่ต้องนำพลังงานที่ได้ไปเก็บไว้ แต่มีข้อเสีย คือระบบนี้จะใช้ได้เฉพาะพื้นที่ที่ไฟฟ้าเข้าถึงเท่านั้น ซึ่งวิธีการนี้มีเป็นวิธีการที่นำมาซึ่งการศึกษาี้ ระบบควบคุมกังหันลมขนาดเล็กโดยทั่วไปแล้วจะประกอบด้วยเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 3 เฟสแบบเปอร์มาเนนแมกเนตซึ่ง ต่ออยู่กับวงจรเร็คติไฟเออร์ 3 เฟส เพื่อที่จะสามารถแปลงแรงดัน จากกระแสสลับสามเฟสเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเพื่อทำการชาร์จแบตเตอรี่ และจากแบตเตอรี่ ซึ่งโดยทั่วไปแล้วอาจจะมีการต่อไปใช้งานโดยตรงหรืออาจจะต่อกับอินเวอร์เตอร์ เพื่อแปลงพลังงานจาก ไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ โดยส่วนมากแล้วอินเวอร์เตอร์จะเป็นแบบ Stand alone และใน บางกรณีก็อาจจะมีการใช้อินเวอร์เตอร์เพื่อทำการเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้า (Grid connected inverter) เพื่อทำการป้อนพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากพลังงานลมเข้าสู่ระบบจำหน่าย[3]

### 2.9.1 ระบบควบคุมการทำงานของกังหันลม 1 เฟส

ระบบควบคุมการทำงานของกังหันลม ซึ่งจะเห็นว่าจะมีแบบจำลองกังหันลมต่ออยู่กับอินเวอร์เตอร์ที่ใช้ในการเชื่อมต่อกับระบบจำหน่าย 1 เฟส (Single phase grid connected) โดยด้านอินพุตของบล็อกนี้รับแรงดันกระแสตรงจากวงจรเร็คติไฟเออร์เพื่อขยายระดับ แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงให้สูงขึ้น เพื่อส่งต่อไปให้กับอินเวอร์เตอร์ 1 เฟสซึ่งมีหน้าที่ แปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่รับมาเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่มีขนาดแรงดันและความถี่เท่ากับ ระบบจำหน่าย เพื่อถ่ายโอนพลังงานที่สร้างขึ้นเข้าสู่ระบบ

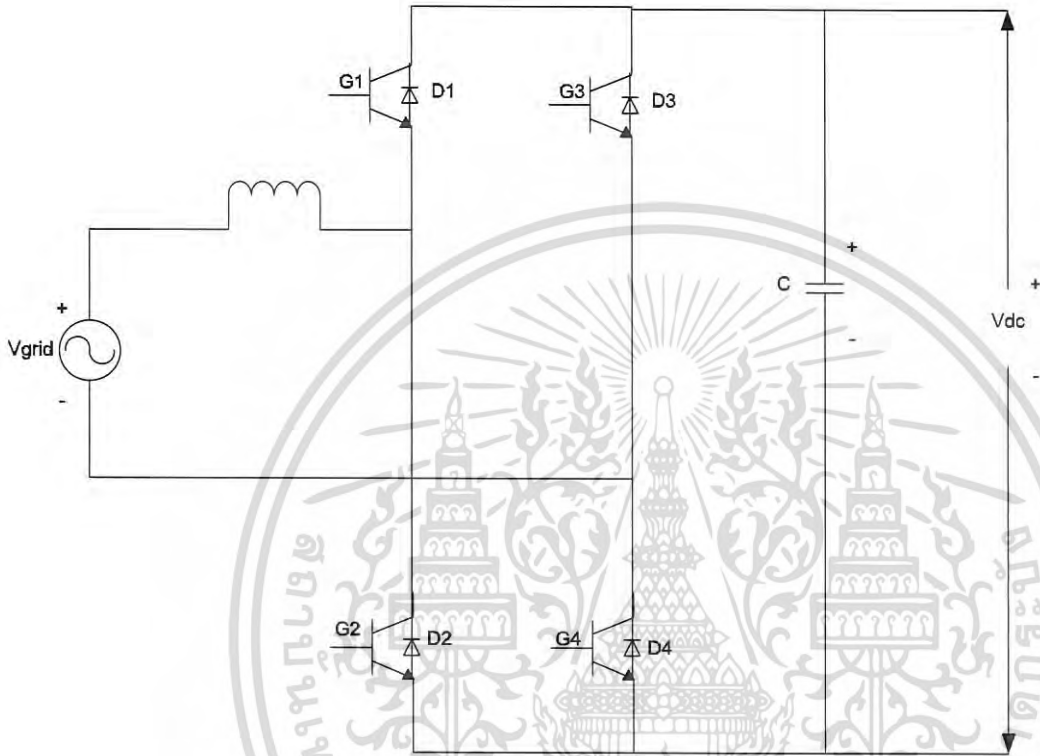


รูปที่ 2.10 ระบบเชื่อมต่อบระหว่างกริดกับแบบจำลองกังหันลม[3]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.9.2 วงจรสมมูลของคอนเวอร์เตอร์ 1 เฟส

วงจรคอนเวอร์เตอร์ 1 เฟสที่เชื่อมต่อกับกริด ประกอบด้วย 1.แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ(AC source) 2.ตัวเหนี่ยวนำ 3.ตัวเก็บประจุ 4.สวิตช์ IGBT 4 ตัว



รูปที่ 2.11 วงจรสมมูลของคอนเวอร์เตอร์ 1 เฟส[3]

โดยการทำงานของคอนเวอร์เตอร์มีการทำงานทั้งในโหมดเรียงกระแสและในโหมดอินเวอร์เตอร์ โดยในกรณีของโหมดเรียงกระแสจะมีเงื่อนไขคือกระแสที่ไหลจากแหล่งจ่ายจะมีมุมทางไฟฟ้าตรงกันกับแรงดันไฟฟ้าที่กริด และค่ากำลังไฟฟ้าจะมีค่าเป็นบวก กระแสไฟฟ้าจะไหลจากกริดไปยังบัสของคอนเวอร์เตอร์ และถ้าเป็นกรณีของการทำงานแบบอินเวอร์เตอร์ กระแสไฟฟ้าที่ไหลจากกริดจะมีมุมทางไฟฟ้าตรงข้ามกับแรงดันไฟฟ้าที่กริด และค่ากำลังไฟฟ้าจะมีค่าเป็นลบ กระแสไฟฟ้าจากกริดที่กริดไหลจากบัสคอนเวอร์เตอร์ไปยังที่กริด

## 2.10 การควบคุมคอนเวอร์เตอร์ 1 เฟสที่เชื่อมต่อกรีดโดยวิธีควบคุมกระแสแบบฮิสเทรีซิส

วงจรกำลังคอนเวอร์เตอร์ใช้สวิตช์ไอจีบีที 4 ตัวโดยใช้การควบคุมฮิสเทรีซิสโดยมีหลักการควบคุมคือใช้กระแสอ้างอิงมาเป็นขอบเขตโดยการบวกความกว้างฮิสเทรีซิสกับกระแสอ้างอิงและสร้างขอบเขตล่างด้วยการนำกระแสอ้างอิงลบด้วยความกว้างฮิสเทรีซิส โดยกระแสอ้างอิงเป็นรูปคลื่นไซน์ และนำกระแสจริงที่ได้มาเปรียบเทียบกับขอบเขตฮิสเทรีซิสบนและล่างโดยถ้ากระแสจริงเท่ากับขอบเขตฮิสเทรีซิสล่างสวิตช์ D1 D4 จะมีสถานะเป็นลอจิก 1 (ON) แต่ถ้ากระแสจริงเท่ากับขอบเขตบนสวิตช์ D1 D4 จะมีสถานะเป็นลอจิก 0 (OFF) แต่หากยังไม่ชนทั้งขอบบนขอบล่างกระแสก็จะยังคงเป็น ลอจิก 1 ค้างไว้ และจากการทำงานดังกล่าวจะได้สัญญาณ PWM ไปควบคุมการทำงานของสวิตช์ IGBT ทั้ง 4 ตัว โดยแบ่งการทำงานของคอนเวอร์เตอร์เป็น 8 โหมด ดังนี้

ตารางที่ 2.1 โหมดการทำงานของคอนเวอร์เตอร์ที่ 1 และ 2

โหมดที่ 1	โหมดที่ 2
กระแสไหลผ่าน : D1 D4	กระแสไหลผ่าน : G2 G3
มุมของกระแส : $\theta$	ทิศทางกระแส : $\theta$
อัตรากระแสที่กริด : $-dls/dt$	อัตรากระแสที่กริด : $+dls/dt$
มุมแรงดันที่กริด : $\theta$	แรงดันที่กริด : $\theta$
การทำงานของ V I:(0-180)	การทำงานของ V I:(0-180)
กระแสและแรงดัน : อินเฟส	กระแสและแรงดัน : อินเฟส
โหมด : เรียงกระแส(Rectifier)	โหมด : เรียงกระแส(Rectifier)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 โหมดการทำงานของคอนเวอเตอร์ที่ 3 และ 4

โหมดที่ 3	โหมดที่ 4
กระแสไหลผ่าน : D2 D3 ทิศทางกระแส : $\theta$ อัตรากระแสที่กริด : $-dls/dt$ แรงดันที่กริด : $\theta$ การทำงานของ VI : (180-360) กระแสและแรงดัน : อินเฟส โหมด : เรียงกระแส(Rectifier)	กระแสไหลผ่าน : D1 D4 ทิศทางกระแส $\theta$ อัตรากระแสที่กริด : $+dls/dt$ แรงดันที่กริด : $\theta$ การทำงานของ VI : (180-360) กระแสและแรงดัน : อินเฟส โหมด : เรียงกระแส(Rectifier)

ตารางที่ 2.3 โหมดการทำงานของคอนเวอเตอร์ที่ 5 และ 6

โหมดที่ 5	โหมดที่ 6
กระแสไหลผ่าน : D2 D3 ทิศทางกระแส : $\theta$ อัตรากระแสที่กริด : $-dls/dt$ แรงดันที่กริด : $\theta$ การทำงานของ VI : (0-180) กระแสและแรงดัน : เอาท์ออฟเฟส โหมด : อินเวอร์เตอร์(Inverter)	กระแสไหลผ่าน : G1 G4 ทิศทางกระแส $\theta$ อัตรากระแสที่กริด : $+dls/dt$ แรงดันที่กริด : $\theta$ การทำงานของ VI : (0-180) กระแสและแรงดัน : เอาท์ออฟเฟส โหมด : อินเวอร์เตอร์(Inverter)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.4 โหมดการทำงานของคอนเวอเตอร์ที่ 7 และ 8

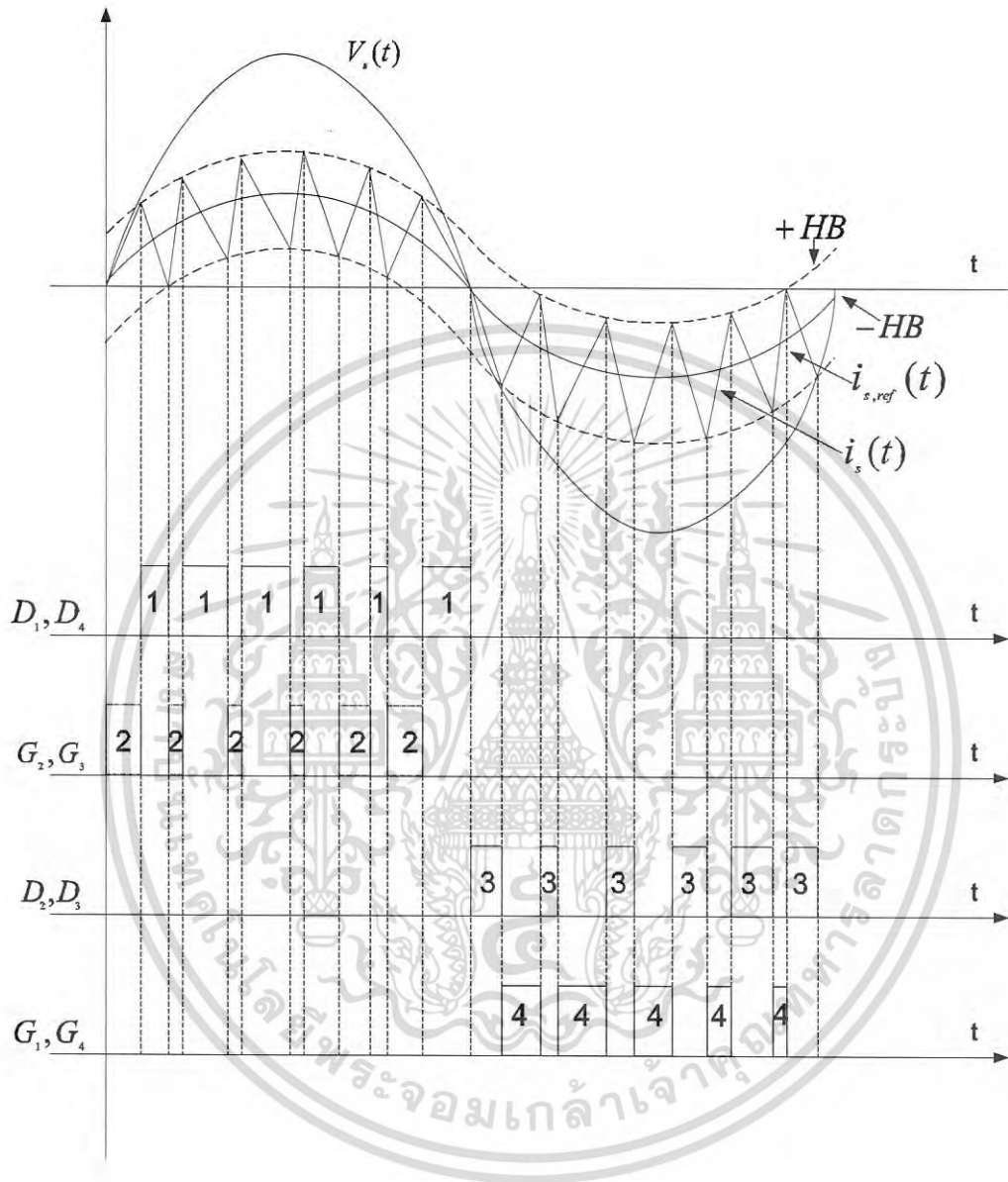
โหมดที่ 7	โหมดที่ 8
กระแสไหลผ่าน : D1 D4 ทิศทางกระแส : $\theta$ อัตรากระแสที่กริด : $-dI_s/dt$ แรงดันที่กริด : $\theta$ การทำงานของ VI : (180-360) กระแสและแรงดัน : เอาท์ออฟเฟส โหมด : อินเวอร์เตอร์(Inverter)	กระแสไหลผ่าน : G2 G3 ทิศทางกระแส $\theta$ อัตรากระแสที่กริด : $+dI_s/dt$ แรงดันที่กริด : $\theta$ การทำงานของ VI : (180-360) กระแสและแรงดัน : เอาท์ออฟเฟส โหมด : อินเวอร์เตอร์(Inverter)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.11 วงจรกำลังและหลักการของการควบคุมแบบฮิสเตอร์รีซิส

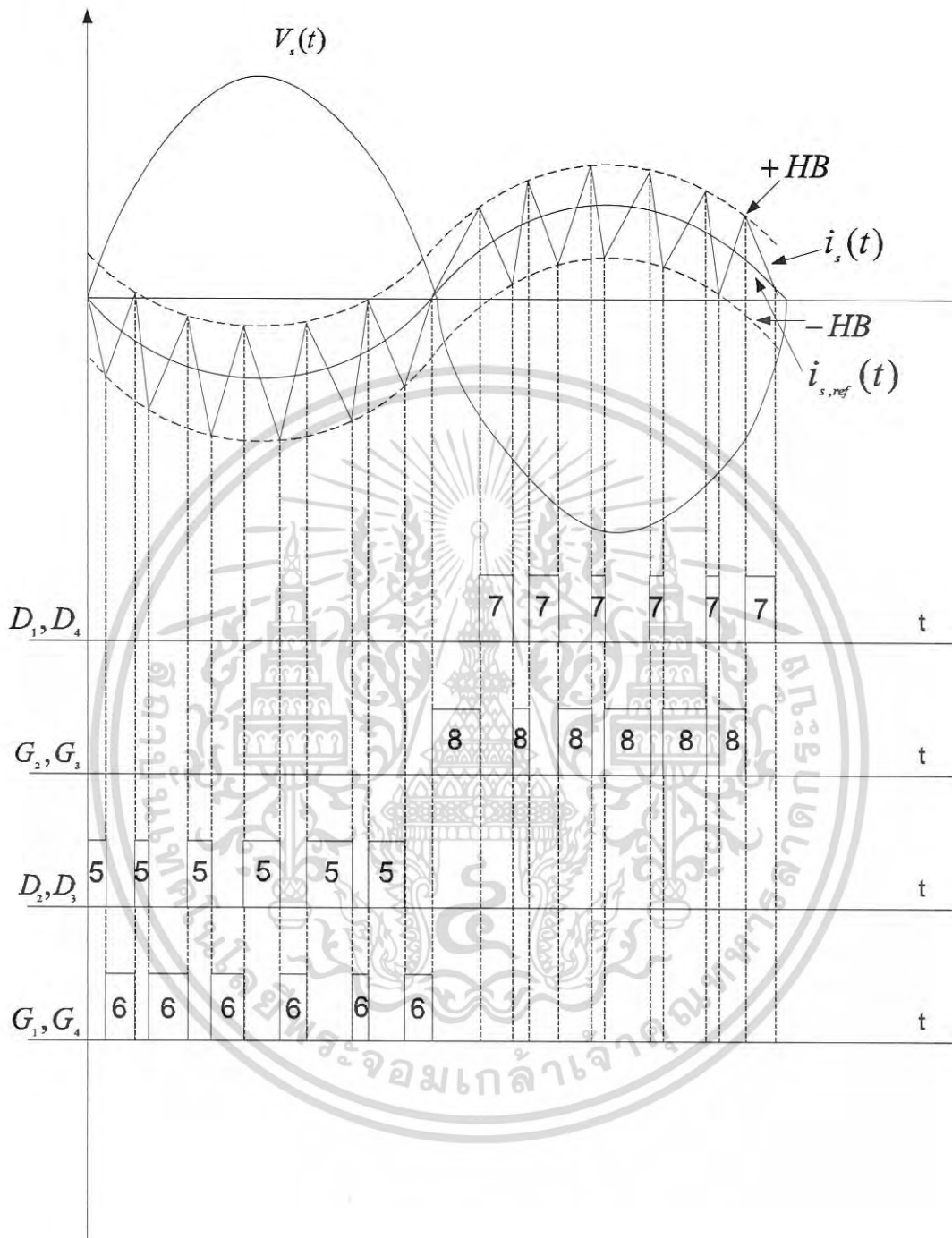
### 2.11.1 การทำงานในโหมดเรียงกระแส



รูปที่ 2.12 การทำงานในโหมดเรียงกระแส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

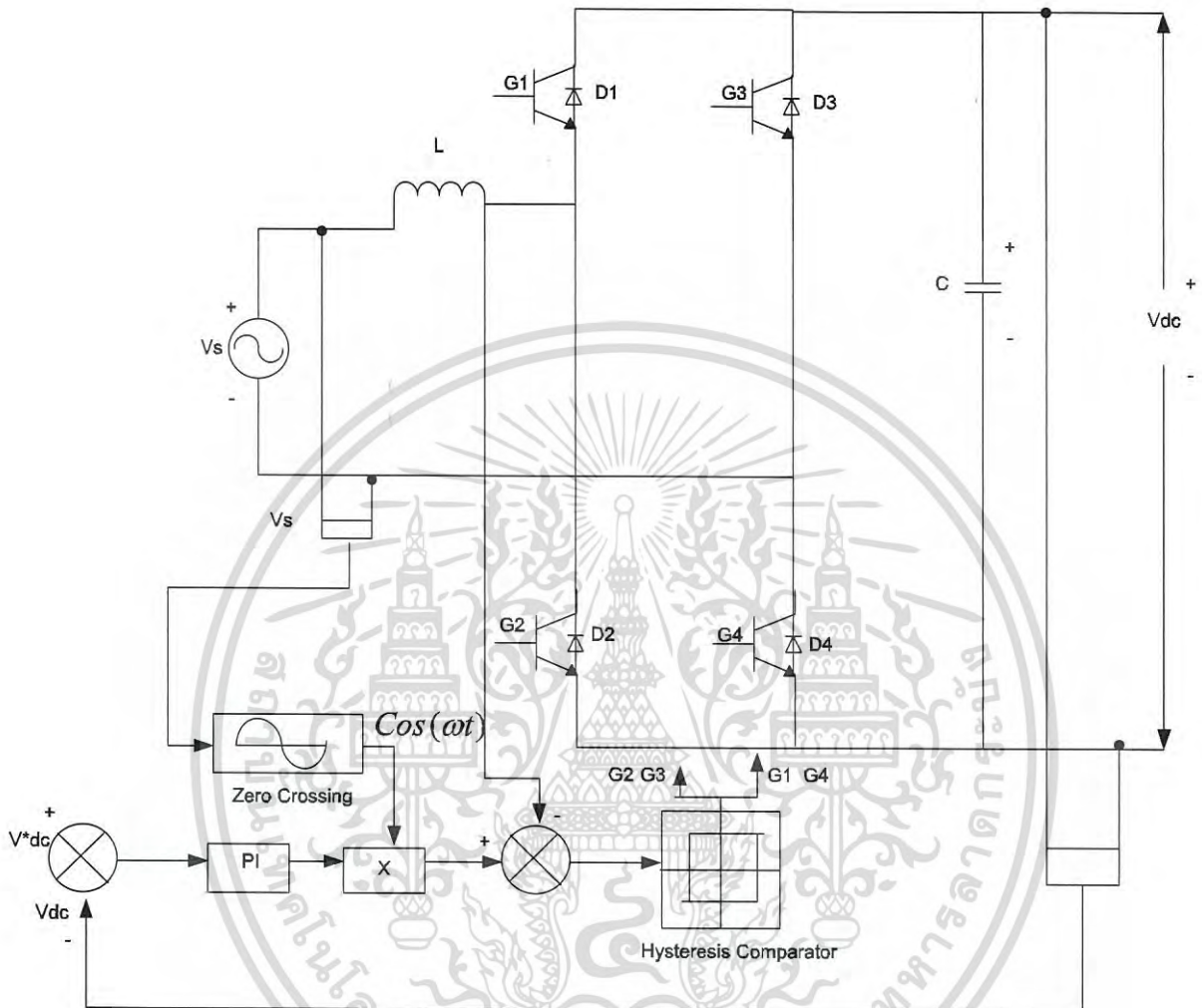
## 2.11.2 การทำงานในโหมดอินเวอร์เตอร์



รูปที่ 2.13 การทำงานในโหมดอินเวอร์เตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.11.3 วงจรสมมูลของคอนเวอเตอร์ที่ควบคุมโดยชุดควบคุมกระแส



รูปที่ 2.14 วงจรกำลังของการควบคุมแบบฮิสเตอร์ริซิสของคอนเวอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.12 การออกแบบตัวควบคุม

จุดประสงค์ในการควบคุมคอนเวอร์เตอร์ คือการควบคุมแรงดันที่ตีซิปส์ให้คงที่โดยจาก คอนเวอร์เตอร์ มีส่วนของแรงดันเชื่อมร่วม ทำให้ไม่สามารถควบคุมแรงดันที่ตีซิปส์ได้อย่างอิสระต่อกัน ดังนั้นตัวควบคุมจึงต้องทำการแยก การเชื่อมร่วม โดยกำจัดผลของ แรงดันเชื่อมร่วมออกไป จึงสามารถที่จะควบคุมแรงดันที่ตีซิปส์ได้อย่างอิสระต่อกัน โดยในส่วนของแรงดัน เชื่อมร่วม จะสามารถควบคุมได้จากกระแสสองส่วนด้วยกัน โดยในส่วนของกระแสจะใช้ตัวควบคุมแบบพีไอในการควบคุมกระแส ซึ่งไม่มีผลต่อ การสร้างแรงดันที่ตีซิปส์จึงกำหนดค่าให้มีความเป็นศูนย์และกระแสในส่วนที่สองจะมีผล ต่อการสร้างแรงดันที่ตีซิปส์ ดังนั้นการควบคุมแรงดันที่ตีซิปส์จึงต้องทำการควบคุมกระแสในส่วนที่ไม่มีผล โดยใช้ตัวควบคุมแบบ พีไอคอนโทรล[3]

### 2.12.1 การควบคุมแบบป้อนกลับ

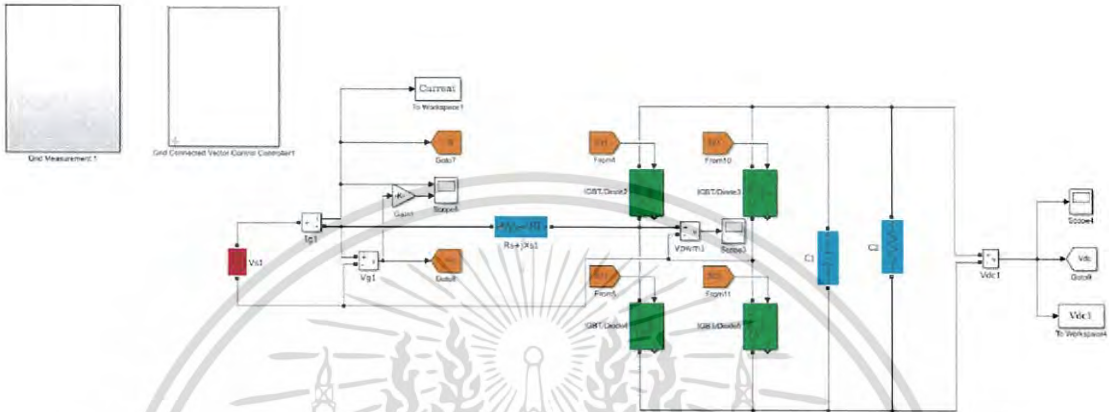
2.12.1.1 การควบคุมแบบสัดส่วน (Proportional Controller) การควบคุมแบบป้อนกลับโดยใช้ตัวควบคุมแบบสัดส่วน สัญญาณควบคุมจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับค่า Error ที่เกิดจากผลต่างระหว่างสัญญาณ Reference กับสัญญาณ Output และจะมีอัตราขยายของการควบคุมคือเกน  $K_p$  โดยผลของการควบคุมแบบ P คือทำให้ความผิดพลาดมีค่าลดลง

2.12.1.2 การควบคุมแบบอินทิเกรต (Integral Control) การควบคุมแบบอินทิเกรตจะเห็นว่าสัญญาณ Error จะมีค่าเป็น 0 ที่สถานะอยู่ตัว เนื่องจากการควบคุมแบบนี้ขึ้นอยู่กับ past value และจะทำให้ระบบมีความมีเสถียรภาพมากขึ้น

# บทที่ 3

## วิธีการดำเนินงาน

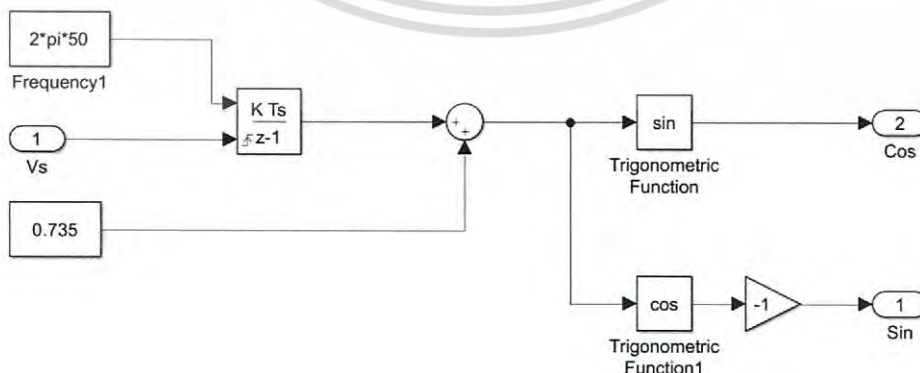
### 3.1 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของชุดเชื่อมต่อกรีด



รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมของคอนเวอร์เตอร์

#### 3.1.1 บล็อกไดอะแกรมของคอนเวอร์เตอร์

แบบจำลองของคอนเวอร์เตอร์ฝั่งกริดประกอบไปด้วยบล็อกไดอะแกรมต่างๆที่แสดงการเชื่อมต่อกันระหว่างกันแบบจำลองโดยจะมีแรงดันไฟตรง DC link มีค่า 200 V โดยต่อผ่านวงจรกรอง RC Filter เข้ากับชุดเชื่อมต่อกรีดคอนเวอร์เตอร์ประกอบไปด้วยสวิตช์ IGBT 4 ชุดโดยที่ขาเกตของสวิตช์ทั้ง 4 ตัวรับสัญญาณ PWM จากบล็อกไดอะแกรมที่ควบคุมโดยชุดคอนโทรลเลอร์แบบควบคุมกระแสดังแสดงในบล็อกไดอะแกรมดังรูปที่ 3.1

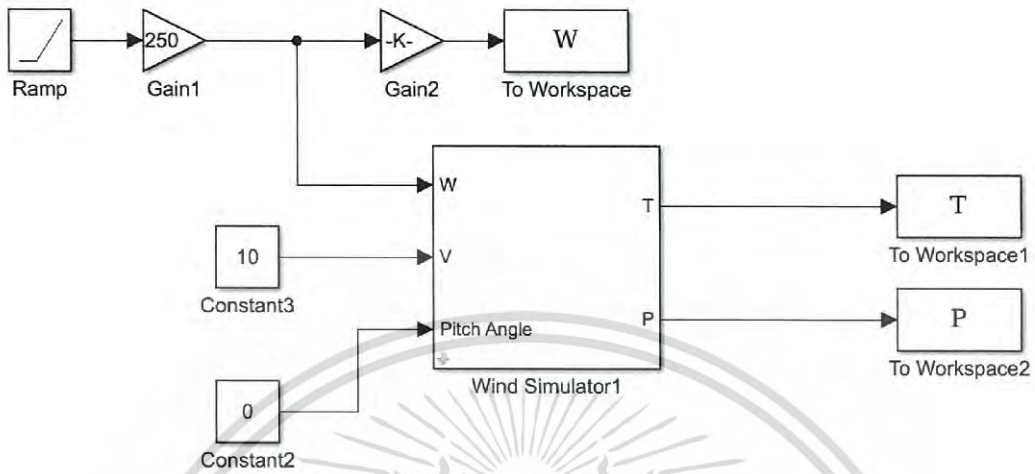


รูปที่ 3.2 บล็อกไดอะแกรมของชุดควบคุมกระแส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



### 3.2 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของชุดจำลองกังหันลม



รูปที่ 3.4 บล็อกไดอะแกรมของแบบจำลองกังหันลม

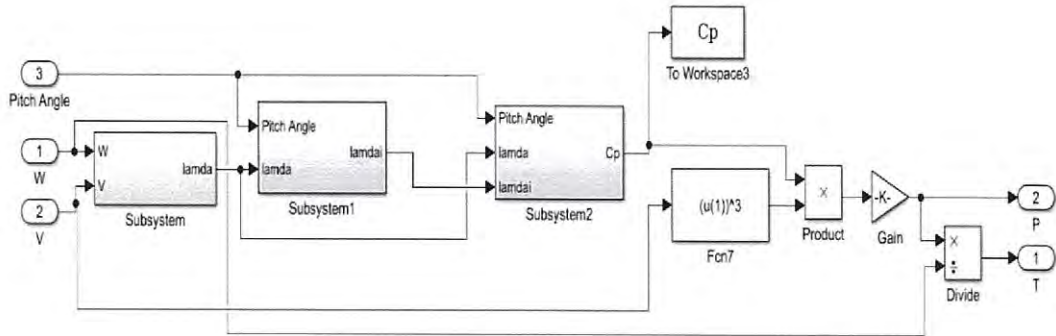
#### 3.2.1 บล็อกไดอะแกรมของแบบจำลองกังหันลม

จากรูปที่ 3.4 เป็นบล็อกไดอะแกรมของ Wind Simulator โดยมีสัญญาณอินพุตคือ ความเร็วของโรเตอร์(rad/s) และความเร็วลม(m/s) และมีสัญญาณเอาต์พุตคือ ค่ากำลังทางกล P(Watt) และ ค่าทอร์ก T(NM) เพื่อจะนำค่าที่ได้ไปคูณกับแฟคเตอร์เพื่อนำไปเทียบกับกระแสคอมมานด์และนำสัญญาณกระแสไปขับขาเกต โดยบล็อกไดอะแกรมดังกล่าวข้างต้นมาจากสมการดังนี้

$$P_m = \frac{1}{2} \pi \rho C(\lambda, \beta) r^3 v_w^2 \quad (3.1)$$

$$T_m = \frac{P_m}{\omega_t} \quad (3.2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



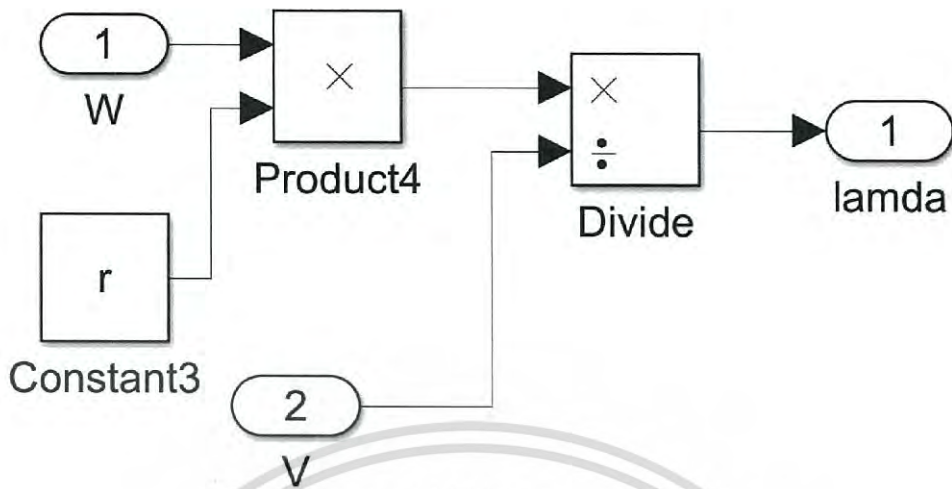
รูปที่ 3.5 บล็อกไดอะแกรมภายในของแบบจำลองกังหันลม

### 3.2.2 บล็อกไดอะแกรมภายในของแบบจำลองกังหันลม

จากรูปที่ 3.5 เป็นบล็อกไดอะแกรมของชุดจำลองกังหันลมเพื่อหาค่าแรงบิดและกำลังทางกลโดยจะใช้ Subsystem ทั้งหมด 3 ชุด โดยชุดที่ 1. บล็อกไดอะแกรมของ  $(\lambda)$  2. บล็อกไดอะแกรมของ  $(\lambda_i)$  3.บล็อกไดอะแกรมของ  $C_p$  โดยมีสัญญาณอินพุตคือ ความเร็วของโรเตอร์(rad/s) และความเร็วลม(m/s) และนำค่า  $C_p$  ที่ได้ไปหาค่าแรงบิดจากสมการ ดังกล่าว

$$T_m = \frac{P_m}{\omega_t} = \frac{1}{2} \pi \rho C(\lambda, \beta) r^2 v_w^3 \quad (3.3)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



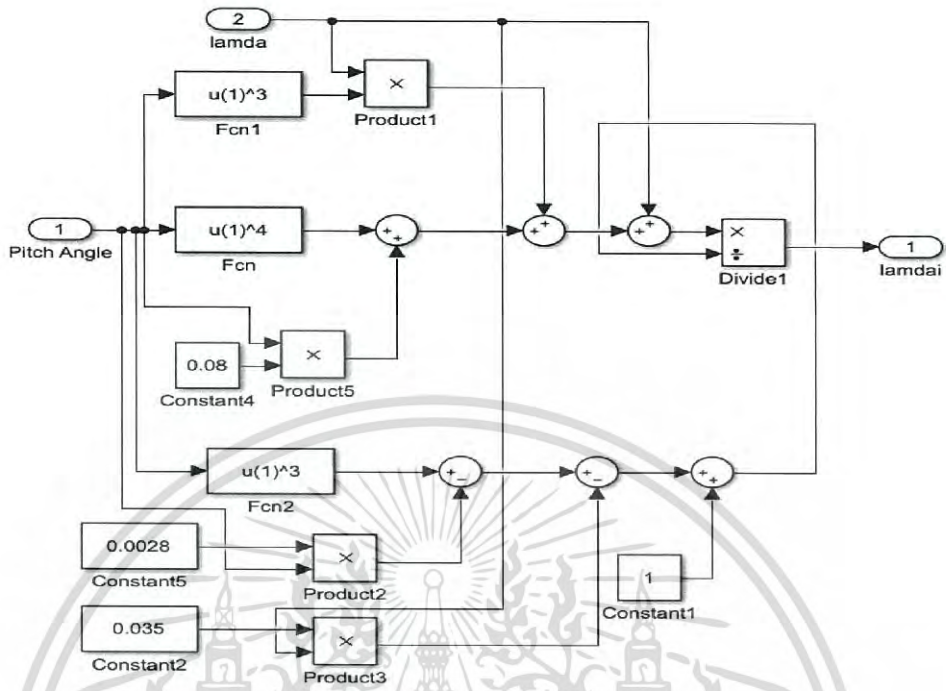
รูปที่ 3.6 บล็อกไดอะแกรมของ  $\lambda$

### 3.2.3 บล็อกไดอะแกรมของ $\lambda$

รูปแสดงบล็อกไดอะแกรมของการหาค่า  $\lambda$  โดยค่าอินพุตคือความเร็วของโรเตอร์ (rad/s) และความเร็วลม(m/s) โดยแสดงดังสมการ

$$\lambda = \frac{\omega r}{v_w}$$

(3.4)



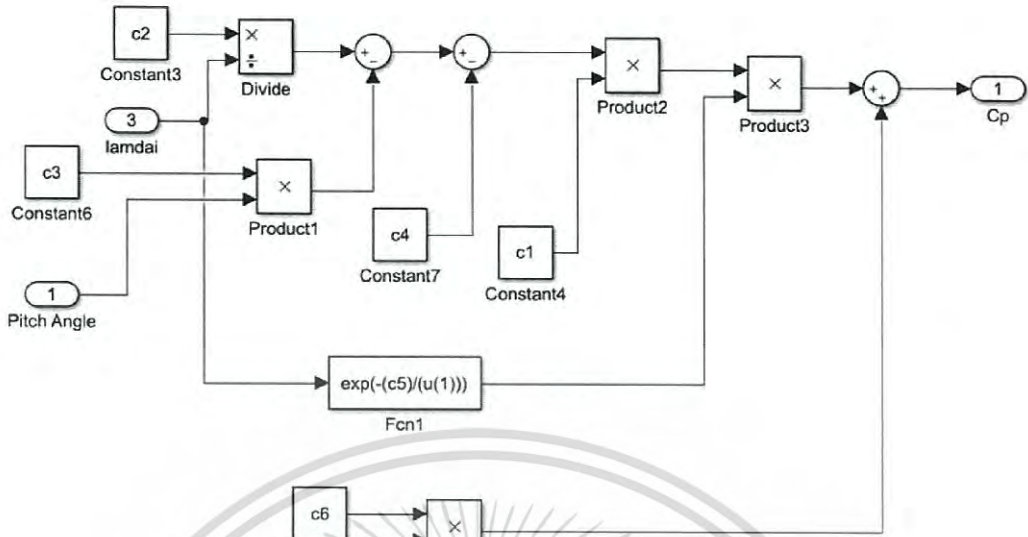
รูปที่ 3.7 บล็อกไดอะแกรมของ  $\lambda_i$

### 3.2.4 บล็อกไดอะแกรมของ $\lambda_i$

รูปแสดงบล็อกไดอะแกรมของการหาค่า  $\lambda_i$  โดยค่าอินพุตคือความเร็วของโรเตอร์ (rad/s) และความเร็วลม(m/s) โดยแสดงดังสมการ

$$\frac{1}{\lambda_i} = \frac{1}{0.08\beta + \lambda} - \frac{0.035}{\beta^3 + 1} \quad (3.5)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.8 บล็อกไดอะแกรมของ  $C_p$

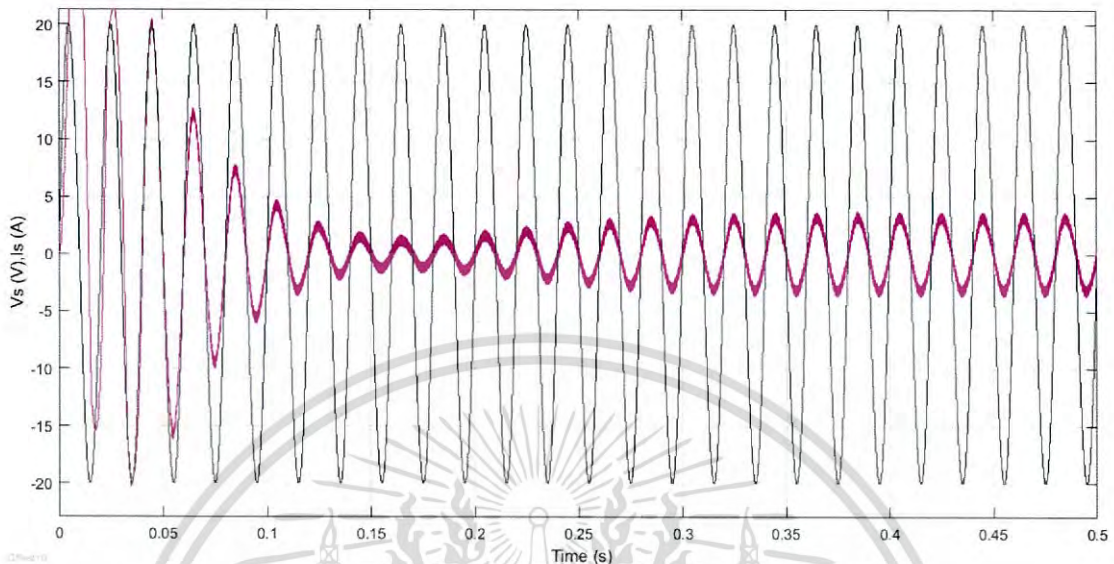
### 3.2.5 บล็อกไดอะแกรมของ $C_p$

รูปแสดงบล็อกไดอะแกรมของการหาค่า  $C_p$  โดยแสดงดังสมการ

$$C_p(\lambda, \beta) = C_1 \left( \frac{C_2}{\lambda_i} - C_3\beta - C_4 \right) e^{-\frac{C_5}{\lambda_i}} + C_6\lambda \quad (3.6)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

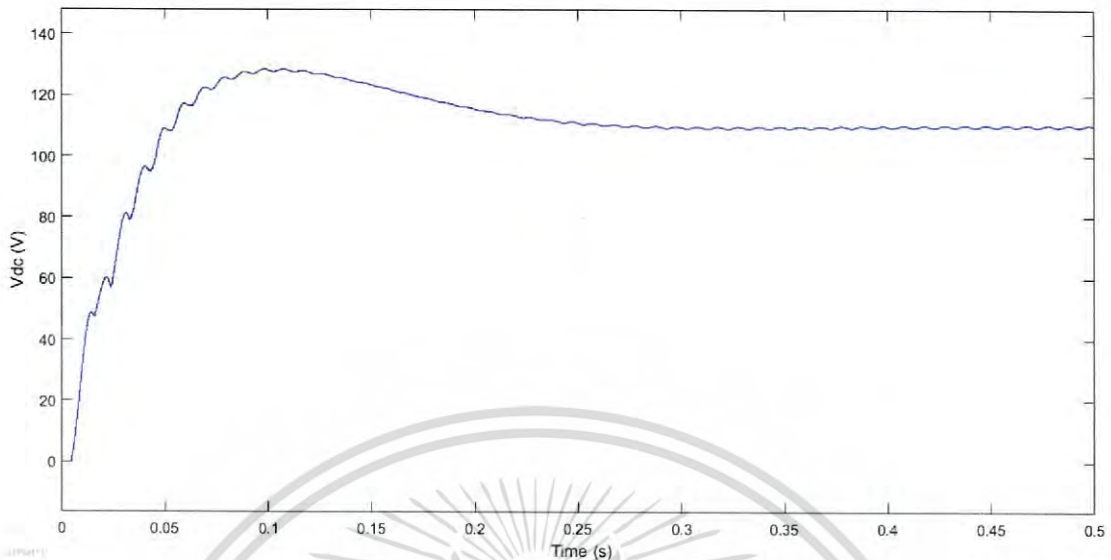
### 3.3 ผลการจำลองการทำงานที่กริด



รูปที่ 3.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันที่กริด(กราฟสีเหลืองแสดงกระแส ในหน่วย แอมแปร์ ,กราฟสีน้ำเงินแสดงแรงดัน ในหน่วย โวลต์)

#### 3.3.1 การส่งผ่านกำลังไฟฟ้าที่กริด

จากรูปกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันที่กริดโดยจะเห็นว่ากราฟของกระแสและแรงดันมีเฟสตรงกัน(Inphase) แสดงถึงค่าการส่งผ่านกำลังที่กริดมีค่ากำลังเป็นบวก คือมีการถ่ายโอนพลังงานออกจากกริดเข้าสู่โหลด

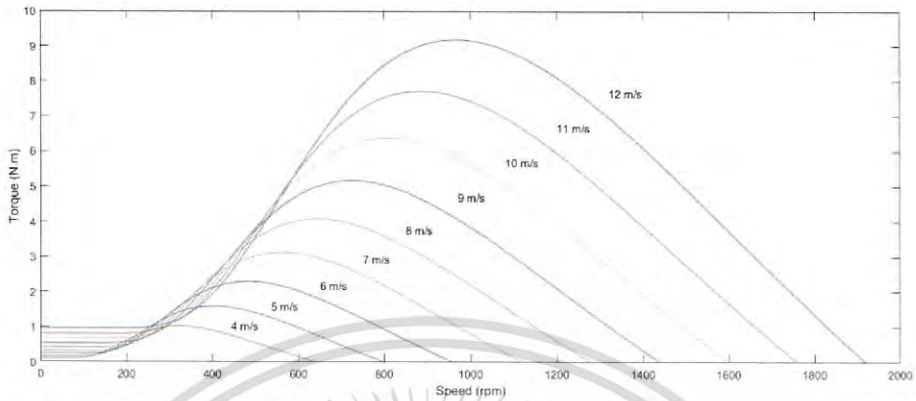


รูปที่ 3.10 กราฟแสดงค่าแรงดัน DC LINK(กราฟสีเหลืองแสดงแรงดัน ในหน่วย โวลต์)

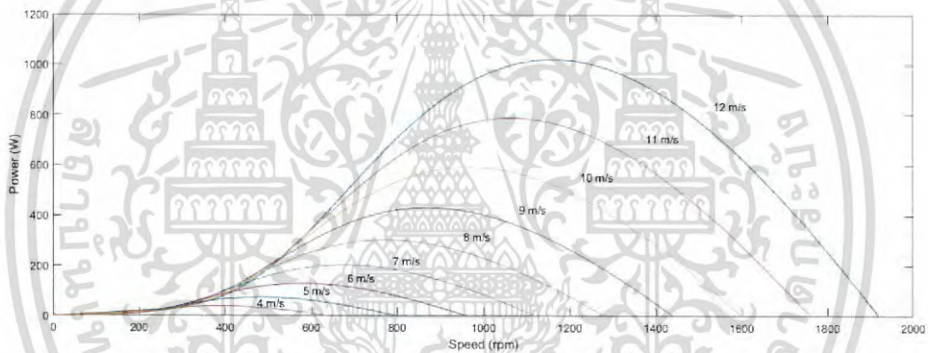
### 3.3.2 ค่าแรงดันไฟตรงที่กริด DC LINK

จากรูปกราฟแสดงค่าแรงดันไฟตรงที่กริด DC LINK ขนาด 110 โวลต์ โดยควบคุมจาก PI Controller เพื่อให้แรงดันมีค่าคงที่ที่ 110 โวลต์ แล้วจะทำให้ค่าแรงดันของเจนเนอเรเตอร์ของชุดจำลองที่กักเก็บลมมีค่าคงที่ที่ 110 โวลต์ และทำให้แบบจำลองกักเก็บลมผลิตแรงดันจากการหมุนของโรเตอร์ที่ความเร็วต่างๆเพื่อให้ได้แรงดันที่ 110 โวลต์

### 3.4 ผลการจำลองการทำงานที่แบบจำลองกังหันลม



รูปที่ 3.11 กราฟแสดงคุณลักษณะแรงบิดและความเร็วของแบบจำลองกังหันลม



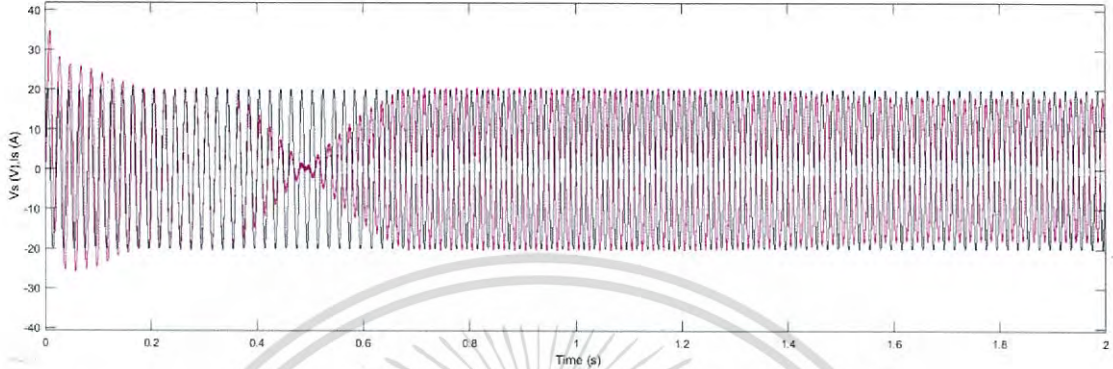
รูปที่ 3.12 กราฟแสดงคุณลักษณะกำลังและความเร็วของแบบจำลองกังหันลม

#### 3.4.1 คุณลักษณะของลม

จากรูปเป็นกราฟที่แสดงการจำลองคุณลักษณะของกังหันลมจากโปรแกรม MATLAB/Simulink โดยทำการทดลองที่ความเร็วลม 4-12 m/s โดยค่าแรงบิดของมอเตอร์และกำลังทางกลจะถูกนำมาพลอตเทียบความเร็วของโรเตอร์

### 3.5 ผลการจำลองการทำงานของชุดจำลองกังหันลมเชื่อมต่อกริด

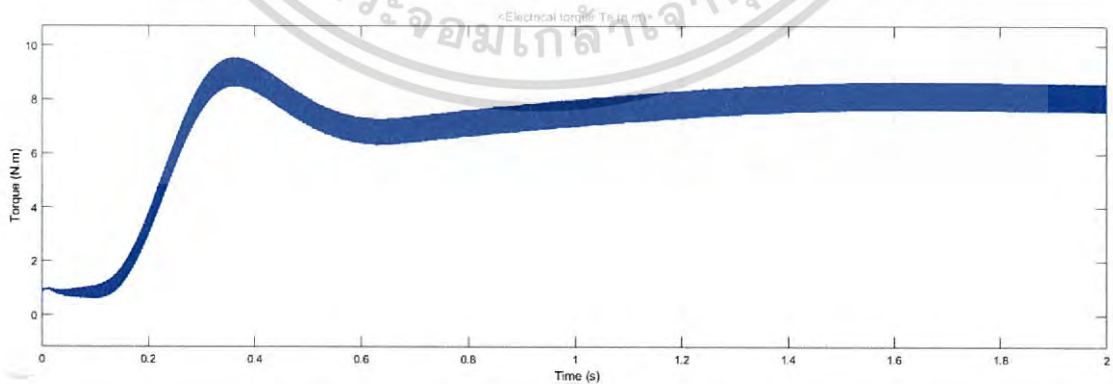
#### 3.5.1 ผลการทดลองที่ค่าความเร็วลม 12 m/s



รูปที่ 3.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันที่กริด(กราฟสีม่วงแสดงกระแสในหน่วย แอมแปร์ ,กราฟสีดำแสดงแรงดัน ในหน่วย โวลต์)

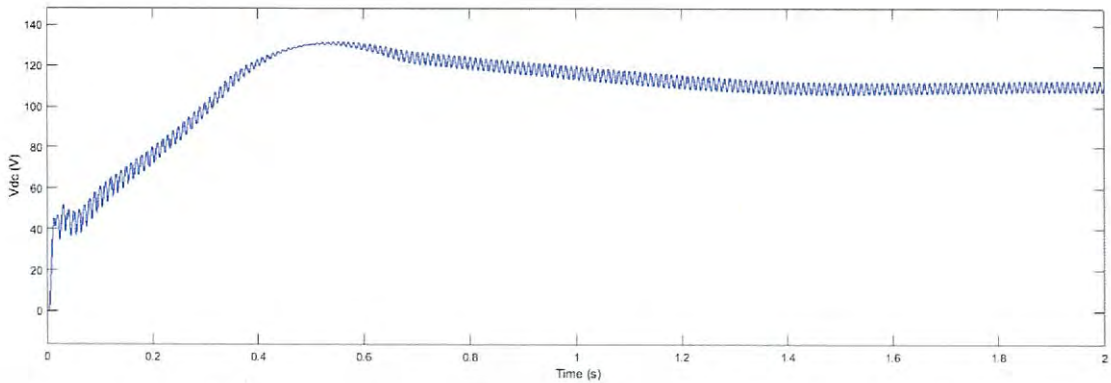


รูปที่ 3.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วโรเตอร์และเวลา



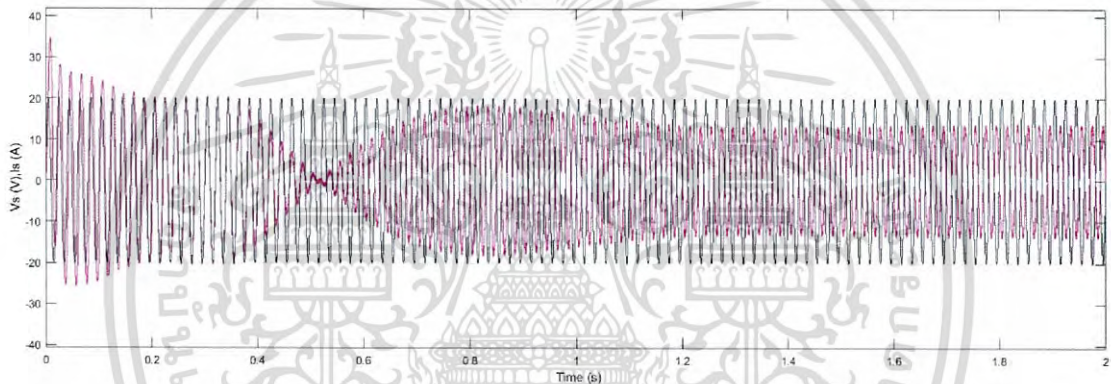
รูปที่ 3.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดและเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

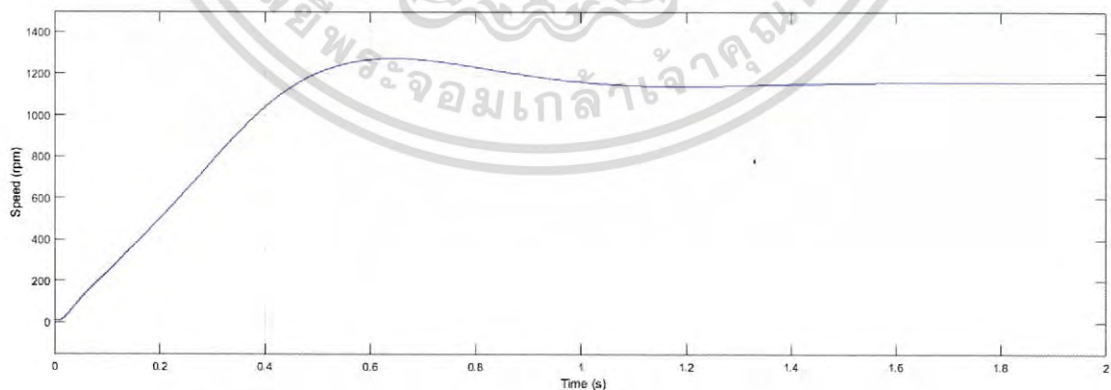


รูปที่ 3.16 กราฟแสดงค่าแรงดัน DC LINK(แสดงแรงดัน ในหน่วย โวลต์)

### 3.5.2 ผลการทดลองที่ค่าความเร็วลม 11 m/s

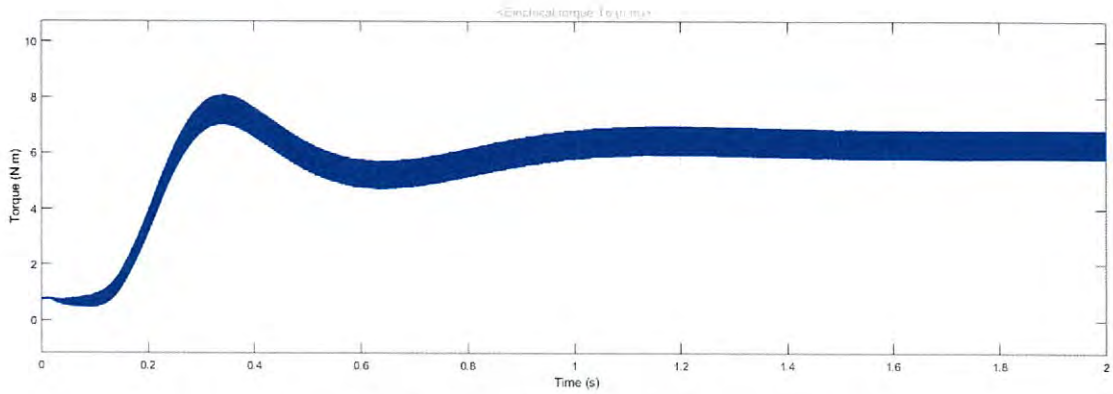


รูปที่ 3.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันที่กริด(กราฟสีม่วงแสดงกระแสในหน่วย แอมแปร์ ,กราฟสีดำแสดงแรงดัน ในหน่วย โวลต์)

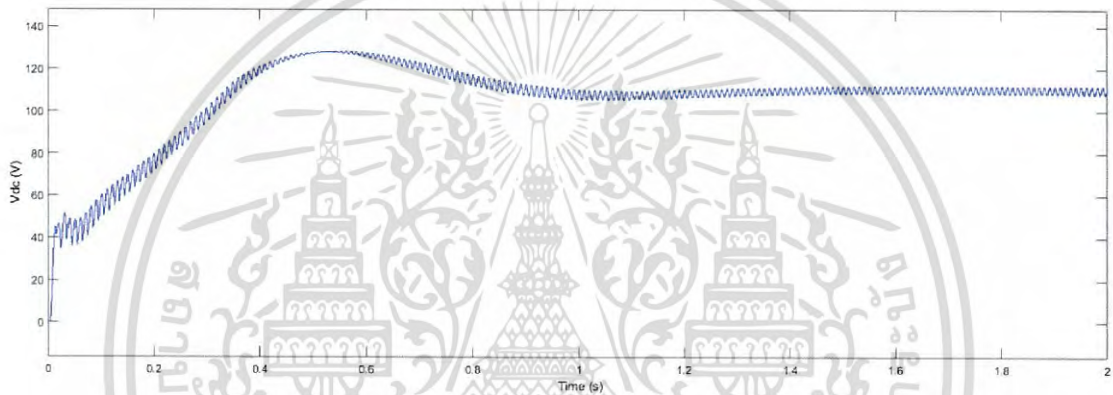


รูปที่ 3.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วโรเตอร์และเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

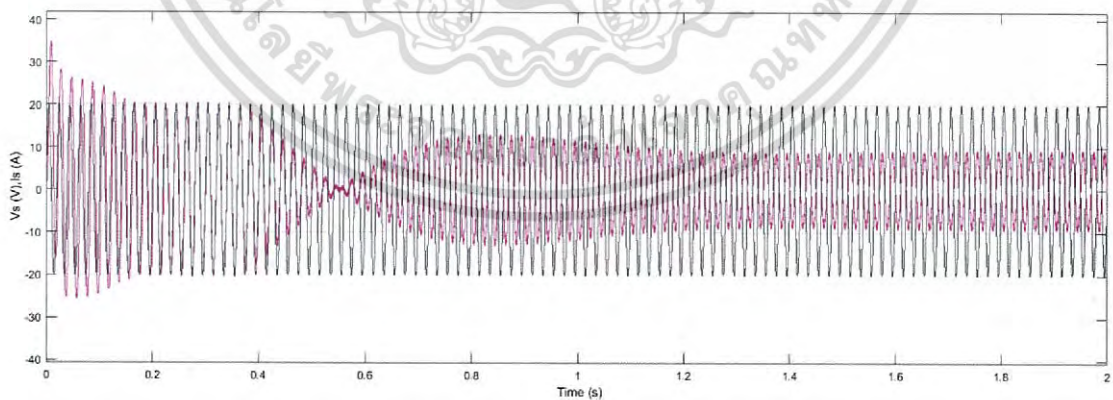


รูปที่ 3.19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดและเวลา



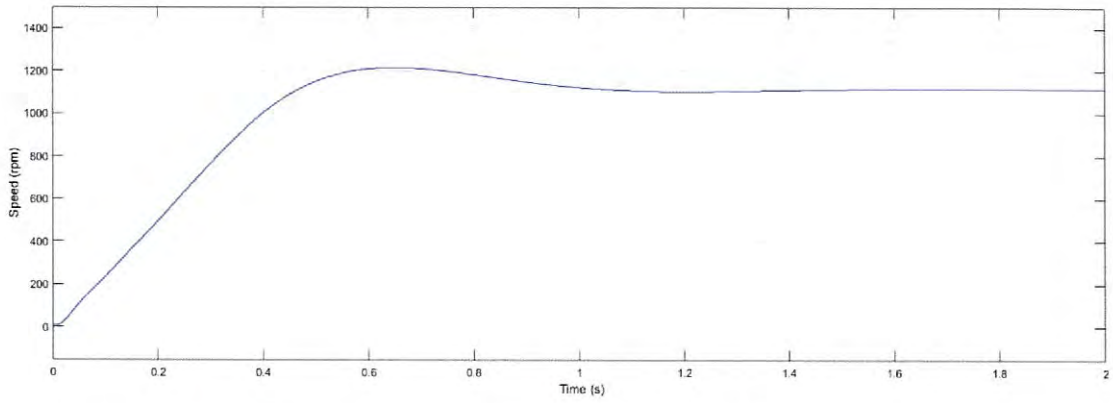
รูปที่ 3.20 กราฟแสดงค่าแรงดัน DC LINK(แสดงแรงดัน ในหน่วย โวลต์)

### 3.5.3 ผลการทดลองที่ค่าความเร็วลม 10 m/s

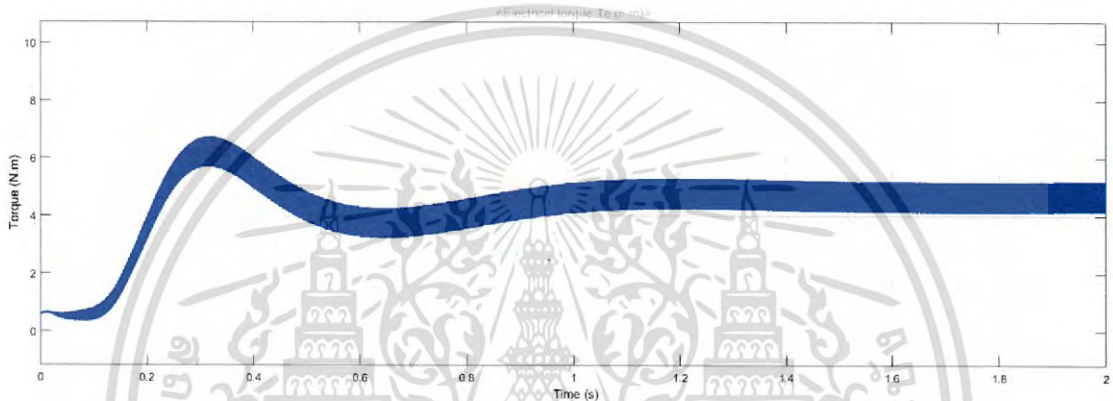


รูปที่ 3.21 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันที่กริด(กราฟสีม่วงแสดงกระแสในหน่วย แอมแปร์ ,กราฟสีดำแสดงแรงดัน ในหน่วย โวลต์)

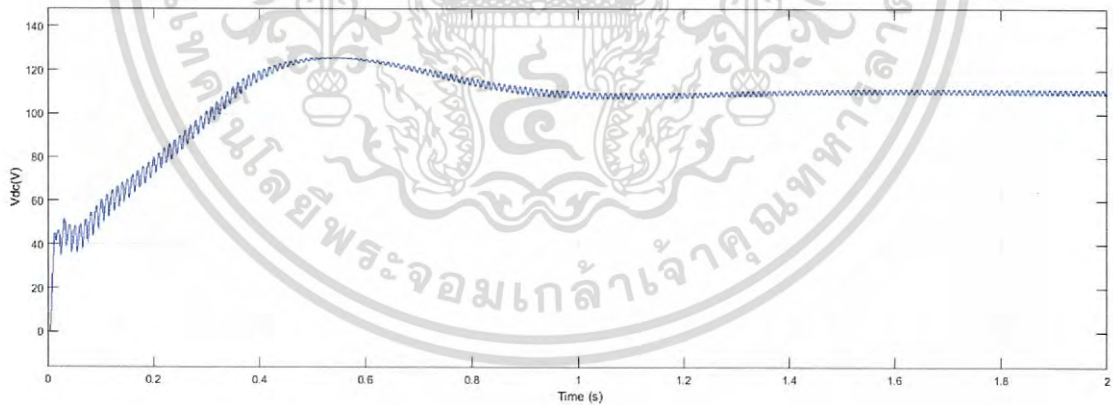
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.22 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วโรเตอร์และเวลา



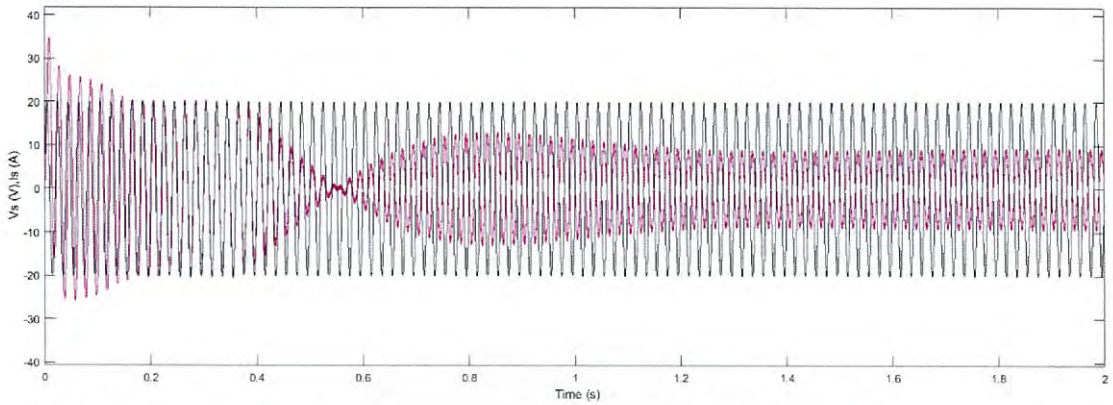
รูปที่ 3.23 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดและเวลา



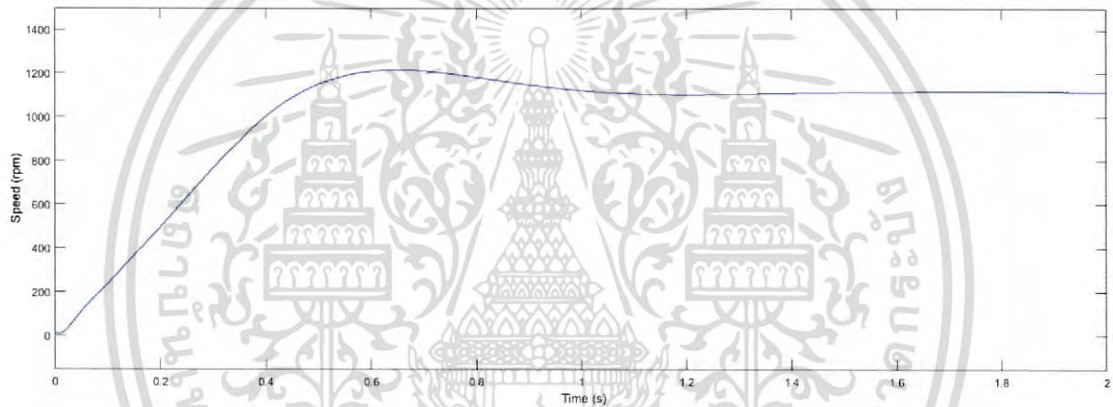
รูปที่ 3.24 กราฟแสดงค่าแรงดัน DC LINK(แสดงแรงดัน ในหน่วย โวลต์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

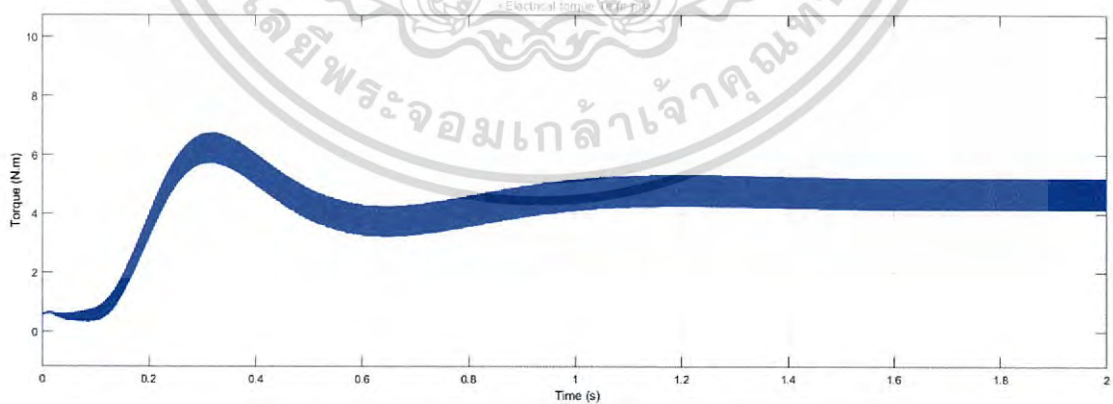
### 3.5.4 ผลการทดลองที่ค่าความเร็วลม 9 m/s



รูปที่ 3.25 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันที่กริด(กราฟสีม่วงแสดงกระแสในหน่วย แอมแปร์ ,กราฟสีดำแสดงแรงดัน ในหน่วย โวลต์)

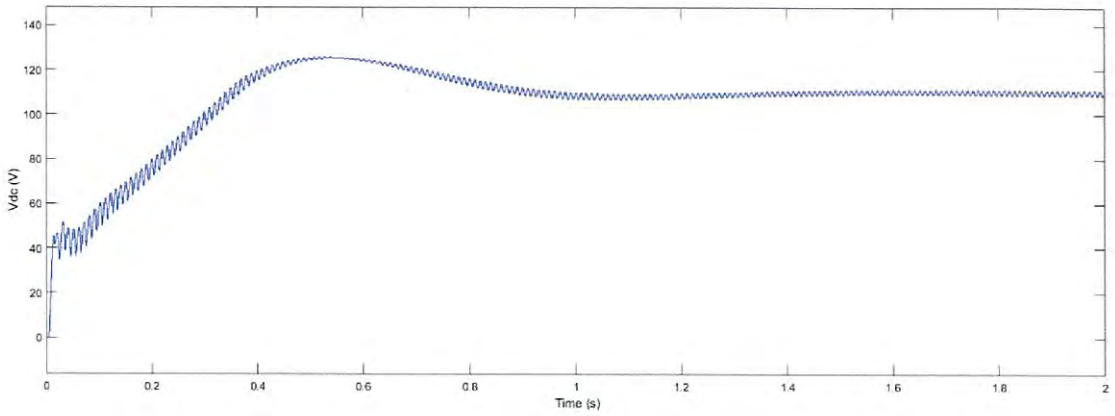


รูปที่ 3.26 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วโรเตอร์และเวลา



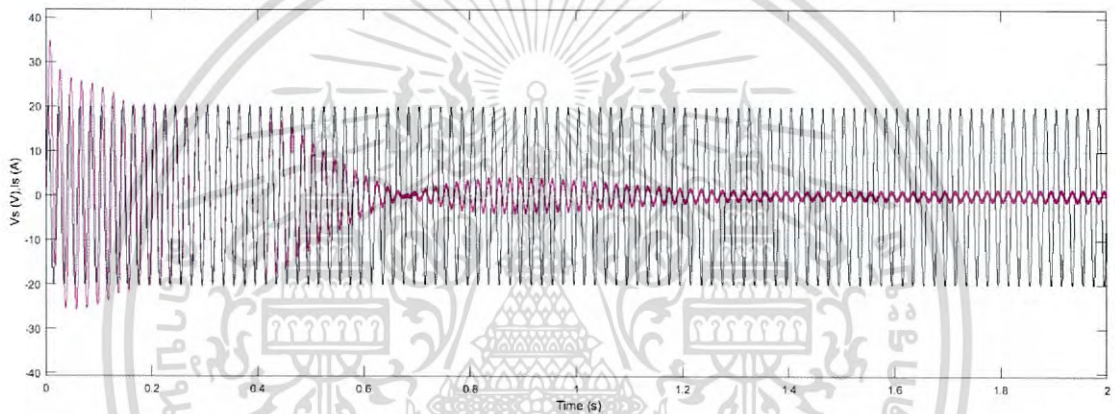
รูปที่ 3.27 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดและเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

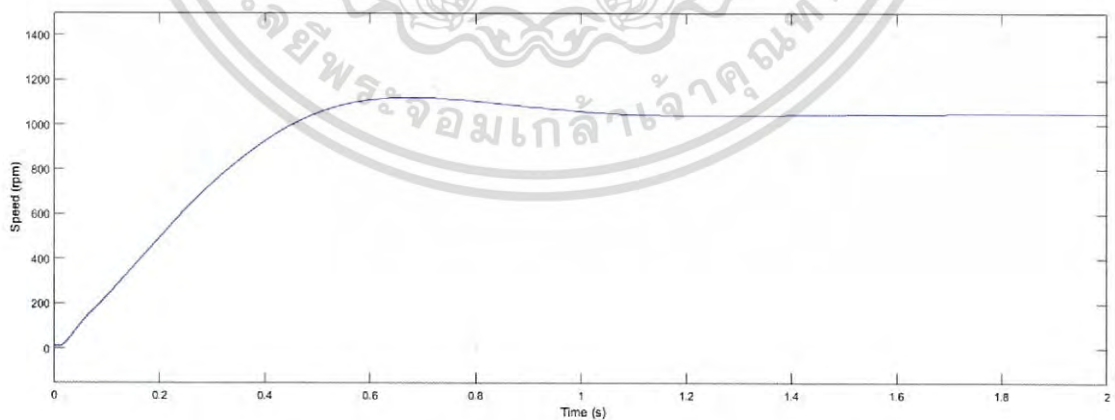


รูปที่ 3.28 กราฟแสดงค่าแรงดัน DC LINK(แสดงแรงดัน ในหน่วย โวลต์)

### 3.5.5 ผลการทดลองที่ค่าความเร็วลม 8 m/s

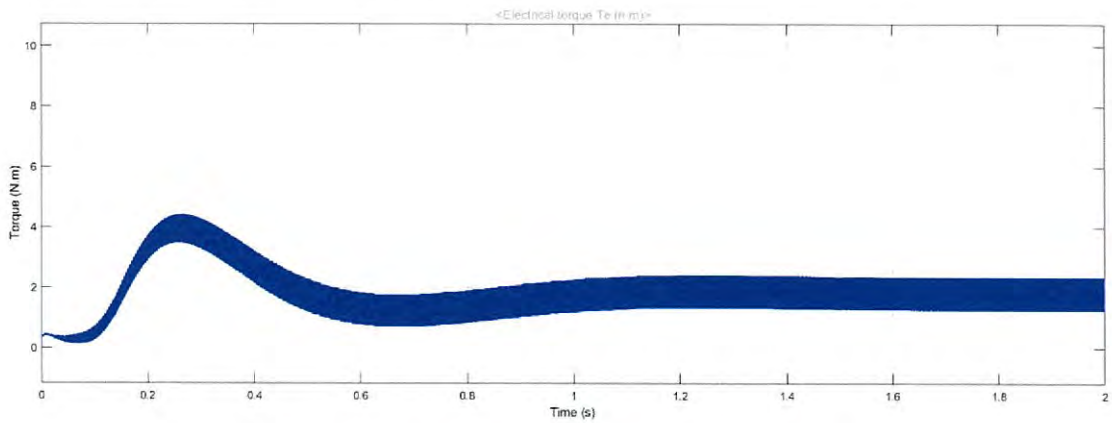


รูปที่ 3.29 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันที่กริด(กราฟสีม่วงแสดงกระแสในหน่วย แอมแปร์ ,กราฟสีดำแสดงแรงดัน ในหน่วย โวลต์)

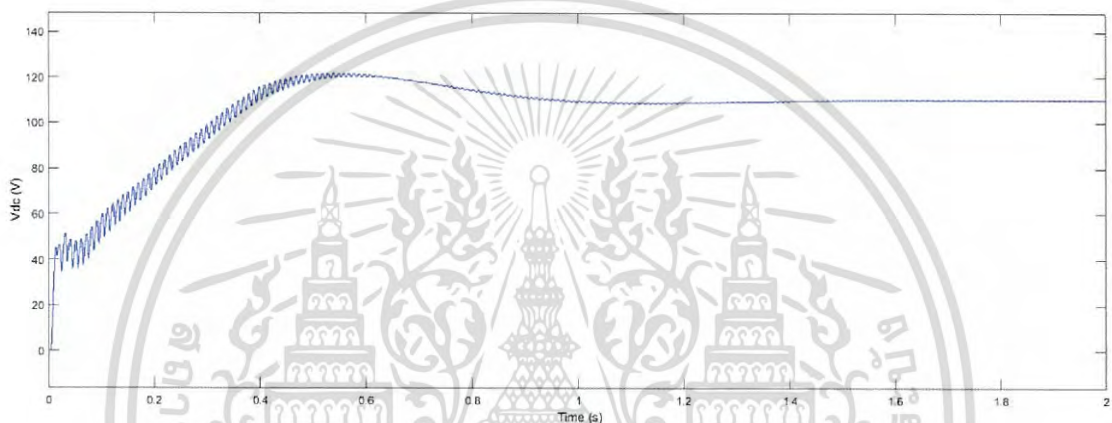


รูปที่ 3.30 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วโรเตอร์และเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

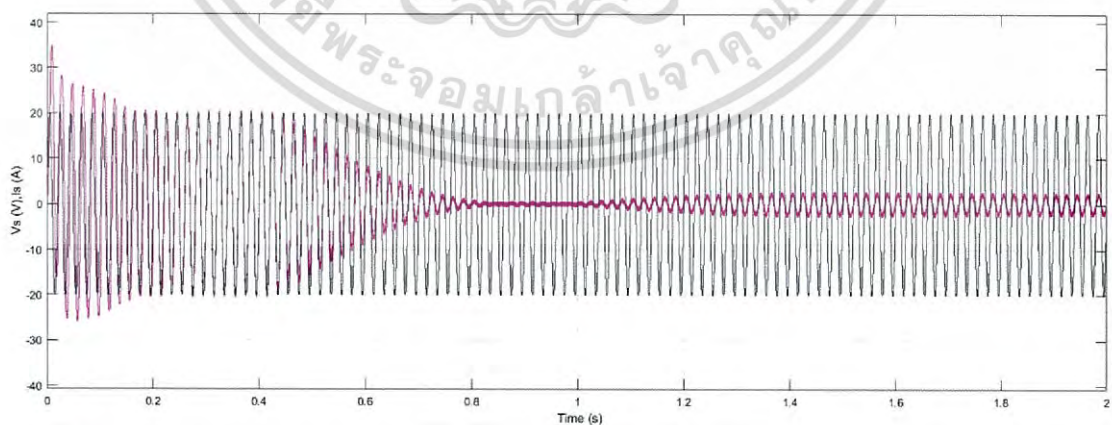


รูปที่ 3.31 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดและเวลา



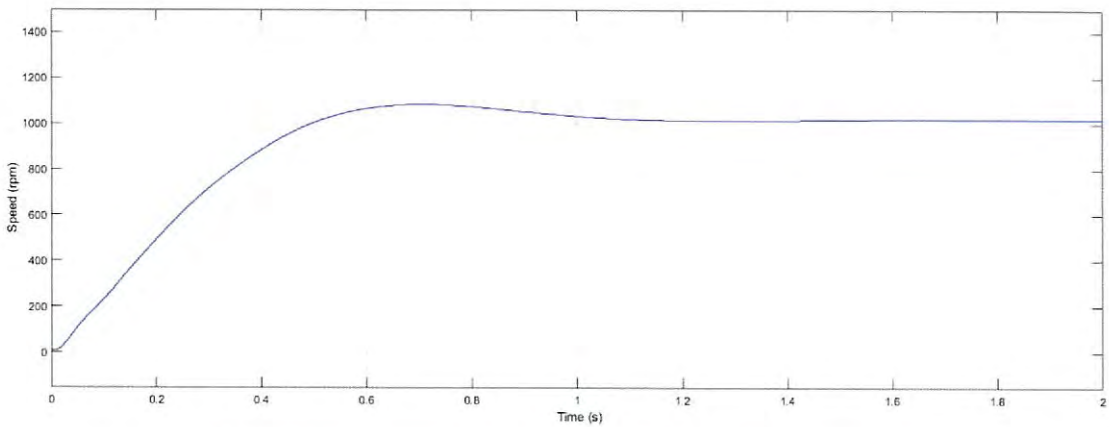
รูปที่ 3.32 กราฟแสดงค่าแรงดัน DC LINK(แสดงแรงดัน ในหน่วย โวลต์)

### 3.5.6 ผลการทดลองที่ค่าความเร็วลม 7 m/s

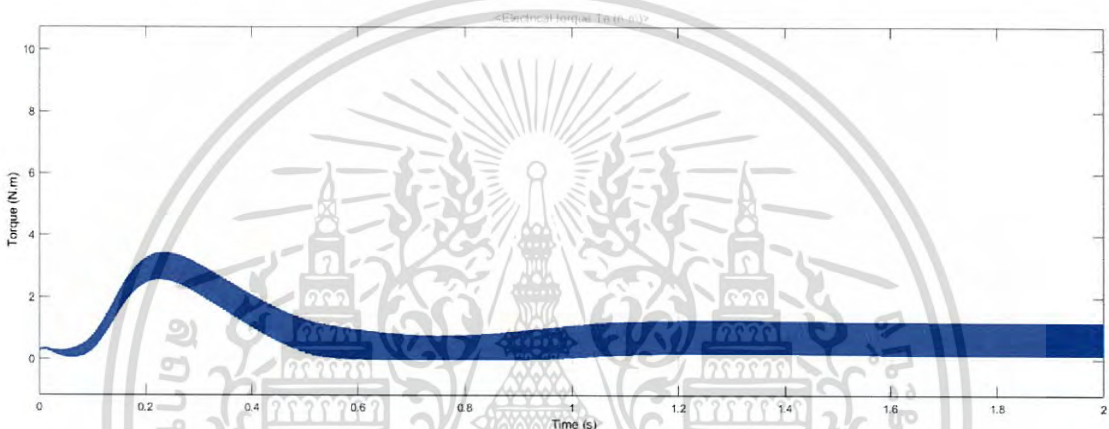


รูปที่ 3.33 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันที่กริด(กราฟสีม่วงแสดงกระแสในหน่วย แอมแปร์ ,กราฟสีดำแสดงแรงดัน ในหน่วย โวลต์)

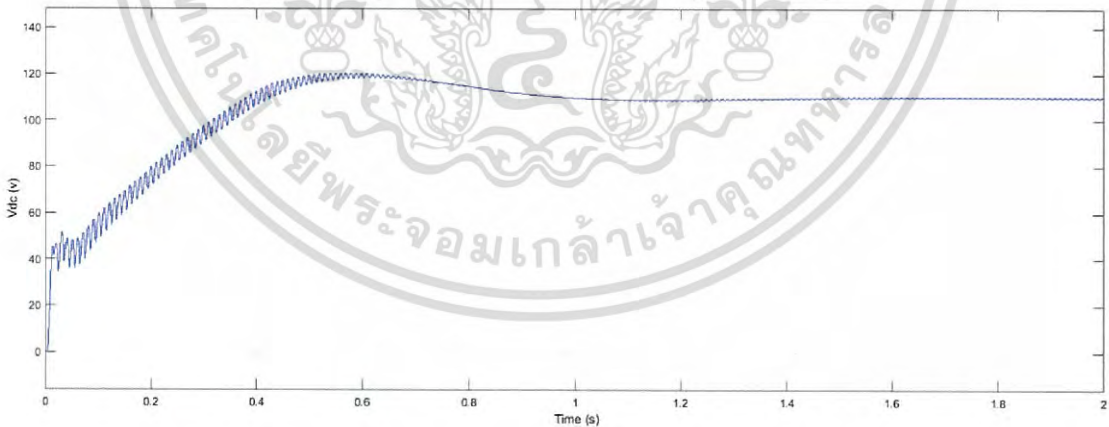
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.34 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วโรเตอร์และเวลา



รูปที่ 3.35 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดและเวลา



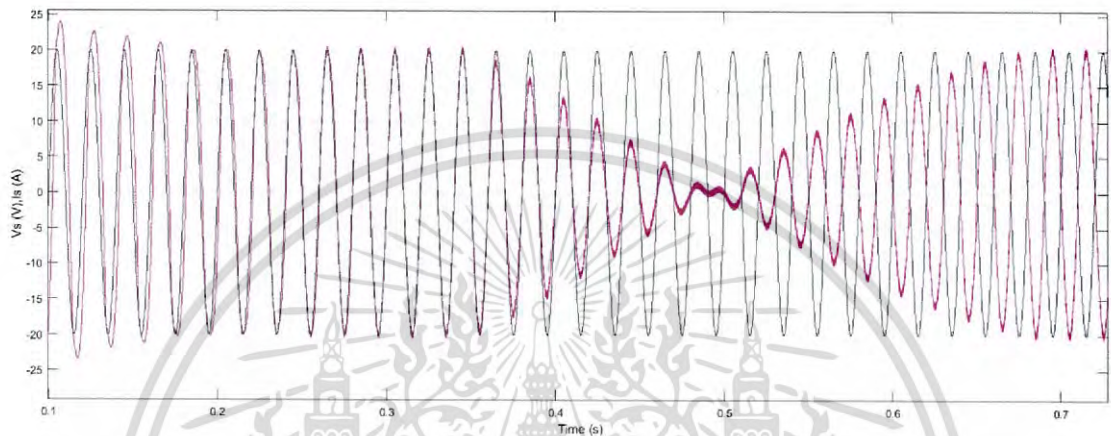
รูปที่ 3.36 กราฟแสดงค่าแรงดัน DC LINK(แสดงแรงดัน ในหน่วย โวลต์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของกระแสและแรงดันที่ของคอนเวอเตอร์

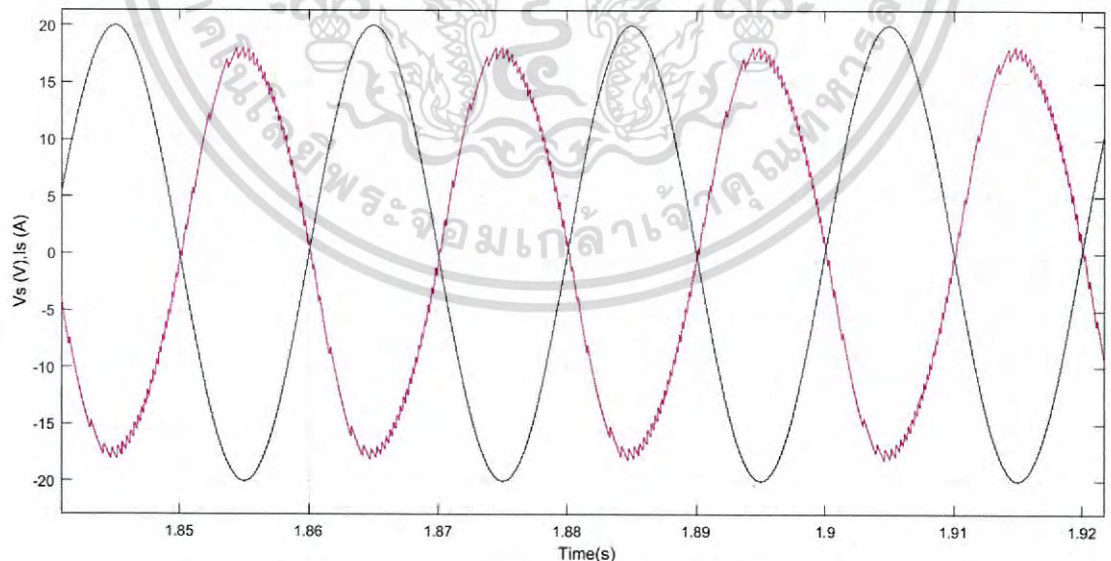
#### 3.6.1 กราฟแสดงการถ่ายเทพลังงานของคอนเวอเตอร์ที่สภาวะชั่วคราว

การถ่ายเทพลังงานของคอนเวอเตอร์จากโหมดเรียงกระแสเป็นโหมดอินเวอร์เตอร์



รูปที่ 3.37 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันที่กริด(กราฟสีม่วงแสดงกระแสในหน่วย แอมแปร์ ,กราฟสีดำแสดงแรงดัน ในหน่วย โวลต์)

#### 3.6.1 กราฟแสดงการถ่ายเทพลังงานของคอนเวอเตอร์ที่สภาวะคงตัว



รูปที่ 3.38 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันที่กริด(กราฟสีม่วงแสดงกระแสในหน่วย แอมแปร์ ,กราฟสีดำแสดงแรงดัน ในหน่วย โวลต์)

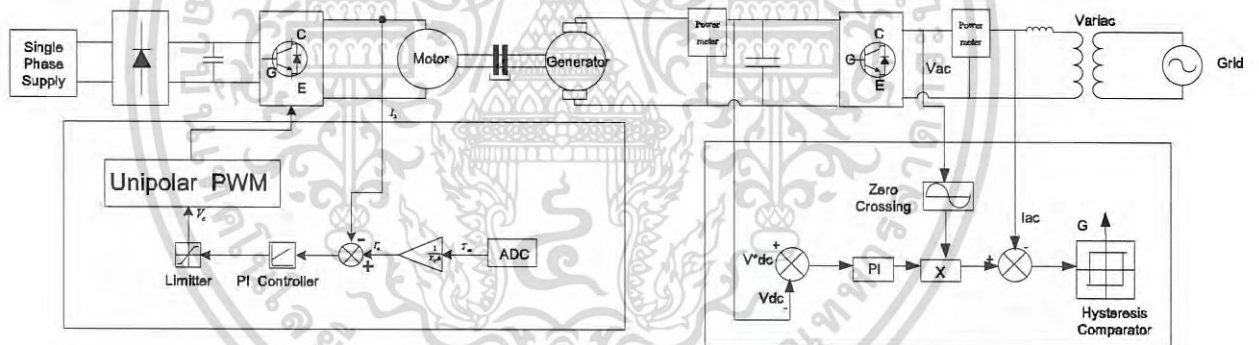
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### ผลการทดลอง

#### 4.1 บทนำ

ในบทนี้จะเป็นการกล่าวถึงการทำงานและผลของคอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟสชนิดเชื่อมต่อกกริดที่เชื่อมต่อกับชุดจำลองกังหันลม คอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟสชนิดเชื่อมต่อกกริดได้ใช้การควบคุมไฟตรงเชื่อมโยงให้มีค่าคงโดยการควบคุมแบบพีไอพร้อมทั้งยังสามารถควบคุมความถี่ได้ การสวิตช์ของคอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟสชนิดเชื่อมต่อกกริดนั้นใช้หลักการสวิตช์แบบฮิสเตอร์รีซิส และในส่วนของชุดจำลองกังหันลมที่จำลองโดยใช้เครื่องจักรกลไฟฟ้ากระแสตรงนั้นเป็นการจำลองให้มอเตอร์มีพฤติกรรมคล้ายกับคุณลักษณะของกังหันลมโดยที่มอเตอร์จะเชื่อมต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงเพื่อที่จะสร้างกระแสไฟฟ้า (ไฟตรง) ในการควบคุมมอเตอร์ให้มีพฤติกรรมขึ้นไปตามคุณลักษณะของลมนั้นใช้การควบคุมสวิตช์แบบ chopper one quadrant ในการควบคุมการจ่ายแรงดันไฟตรงให้กับอามาเจอร์ของมอเตอร์ โดยรายละเอียดต่างๆจะกล่าวถึงในหัวข้อถัดไป

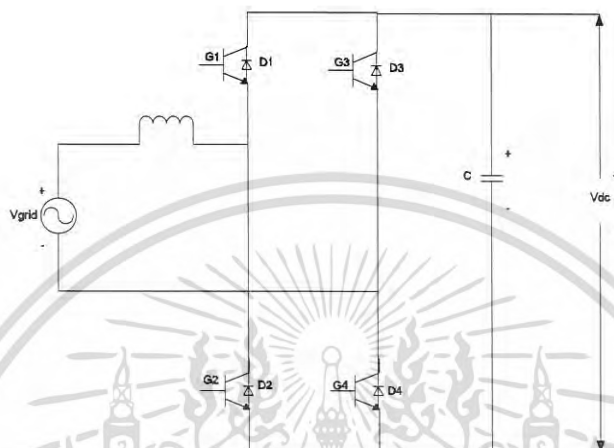


รูปที่ 4.1 วงจรคอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟสเชื่อมต่อกับชุดจำลองกังหันลม

## 4.2 วงจรคอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟสชนิดเชื่อมต่อกริด

### 4.2.1 โครงสร้างของวงจรคอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟส

วงจรคอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟสมีส่วนประกอบคือ แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ, ตัวเก็บประจุ, ตัวเหนี่ยวนำ และ สวิตช์ไอจีบีที 4 ตัว แสดงดังรูป 4.1



รูปที่ 4.2 วงจรคอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟสชนิดเชื่อมต่อกริด

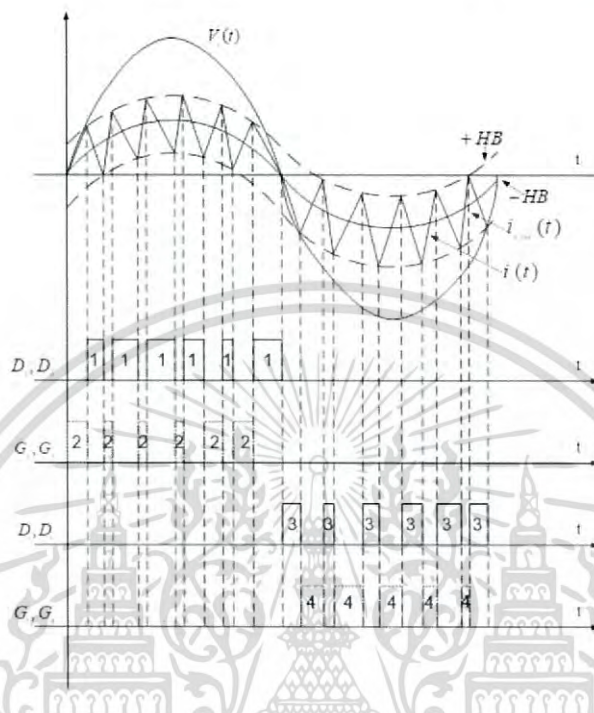
### 4.2.2 วงจรควบคุมคอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟสชนิดเชื่อมต่อกริดด้วยวิธีฮิสเตอร์รีซิส

ในการควบคุมการทำงานของสวิตช์แบบฮิสเตอร์รีซิสของคอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟสชนิดเชื่อมต่อกริดนั้น มีหลักการการทำงานโดยใช้การเปรียบเทียบกระแสจริงกับค่ากระแสคำสั่งโดยการนำค่าความคลาดเคลื่อนมาผ่านตัวฮิสเตอร์รีซิส โดยกำหนดให้ค่าความคลาดเคลื่อนไม่เกินค่าขอบเขตบนและขอบเขตล่างเพื่อที่จะใช้ค่าดังกล่าวเป็นสัญญาณไปขับสวิตช์ไอจีบีทีของคอนเวอร์เตอร์ โดยหลักการเปรียบเทียบนั้นจะเป็นไปดังนี้ ถ้าหากค่าความคลาดเคลื่อนน้อยกว่าขอบเขตบนสัญญาณของการสวิตช์ก็จะมีค่าลอจิกเป็น 1 (Switch on) และเมื่อค่าความคลาดเคลื่อนเท่ากับขอบเขตบนสัญญาณสวิตช์ก็จะมีลอจิกเป็น 0 (Switch off) และสวิตช์จะ on อีกครั้งก็ต่อเมื่อค่าความคลาดเคลื่อนมีค่าเท่ากับขอบเขตล่างของฮิสเตอร์รีซิส และจะเป็นเช่นนั้นสลับๆไปเรื่อยๆ

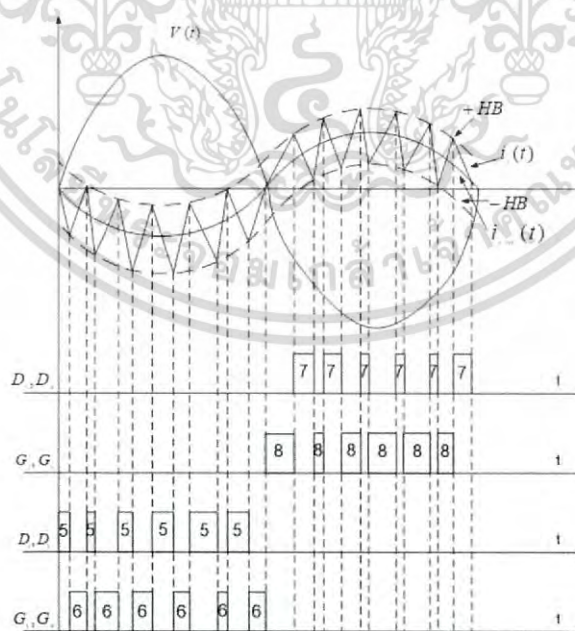
การทำงานของคอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟสชนิดเชื่อมต่อกริดนั้นสามารถแบ่งโหมดการทำงานได้เป็นสองโหมดโดยใช้การส่งผ่านกำลังไฟฟ้าเป็นเกณฑ์ ซึ่งสองโหมดการทำงานนั้นได้แก่ โหมดที่ 1 โหมดการทำงานคอนเวอร์เตอร์เรียงกระแส เป็นโหมดที่กระแสและแรงดันมีเฟสตรงกันจึงทำให้กำลังไฟฟ้ามีค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นบวก และกระแสไหลออกจากกริด โดยในโหมดนี้การควบคุมโดยฮิสเตอร์รีซีตถูกแสดงในรูปที่ 4.2 โหมดที่ 2 โหมดการทำงานอินเวอร์เตอร์ เป็นโหมดที่กระแสแรงและแรงดันจะมีเฟสตรงข้ามกันจึงทำให้กำลังไฟฟ้าเป็นลบ และกระแสไหลเข้าสู่กริด โดยในโหมดนี้การควบคุมโดยฮิสเตอร์รีซีตถูกแสดงในรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 โหมดการทำงานคอนเวอร์เตอร์เรียงกระแส



รูปที่ 4.4 โหมดการทำงานอินเวอร์เตอร์

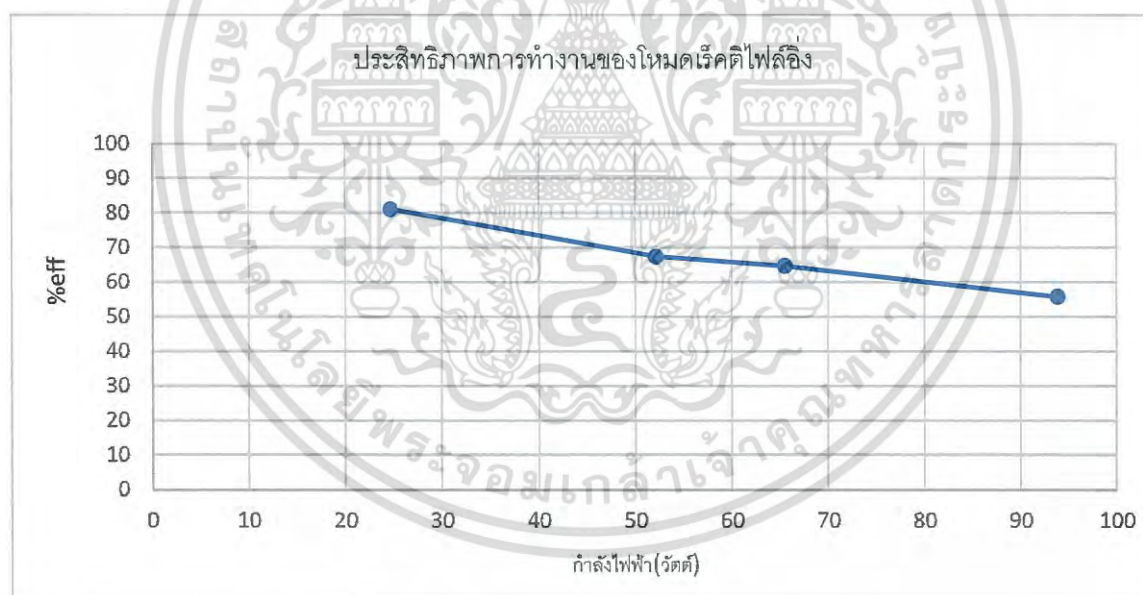
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



คอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟสที่แรงดันกระแสสลับ(Vac)เท่ากับ 20 โวลต์ และแรงดันไฟตรง  
เชื่อมโยงเท่ากับ 30 โวลต์ ที่โหลดค่าต่างๆ

ตารางที่4.1 พารามิเตอร์ของคอนเวอร์เตอร์เมื่อแรงดันกระแสสลับ(Vac)20 โวลต์และแรงดันไฟตรงเท่ากับ  
30 โวลต์

Iac(A)	1.28	2.61	3.33	4.67
Vac(V)	20.90	20.80	20.50	20.50
Power factor	0.92	0.96	0.96	0.98
Power(grid)	24.61	52.12	65.53	93.82
Idc(A)	0.64	1.12	1.35	1.64
Vdc(V)	31.20	31.33	31.40	31.92
Power	19.97	35.09	42.39	52.35
%eff.	81.13	67.32	64.68	55.80



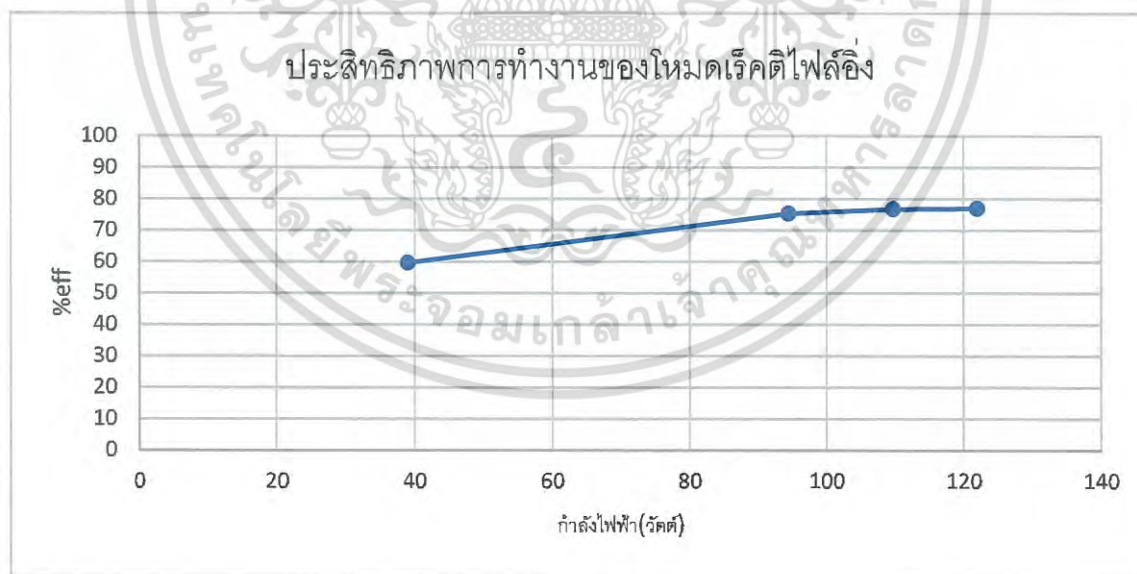
รูปที่4.6 กราฟประสิทธิภาพของการทำงานโหมตเรกติไฟลิ่งแรงดันอ้างอิง 30 โวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟสแรงดันกระแสสลับ(Vac) เท่ากับ 25 โวลต์ และแรงดันไฟตรง  
เชื่อมโยงเท่ากับ 50 โวลต์ ที่โหลดค่าต่างๆ

ตารางที่ 4.2 พารามิเตอร์ของคอนเวอร์เตอร์เมื่อแรงดันกระแสสลับ(Vac)เท่ากับ 25 โวลต์และแรงดันไฟ  
ตรงเท่ากับ 50 โวลต์

Iac(A)	1.95	3.78	4.96	6.32
Vac(V)	27.70	26.20	25.90	25.60
Power factor	0.72	0.96	0.86	0.76
Power(grid)	38.95	94.40	109.70	121.90
Idc(A)	0.44	1.35	1.60	1.78
Vdc(V)	52.70	52.70	52.70	52.70
Power	23.19	71.14	84.32	93.81
%eff.	59.54	75.36	76.86	76.95



รูปที่ 4.7 กราฟประสิทธิภาพของการทำงานของโหมตเรกติไฟลิ่งแรงดันอ้างอิง 50 โวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟสแรงดันกระแสสลับ(Vac)เท่ากับ 55 โวลต์ และแรงดันไฟตรง  
เชื่อมโยงเท่ากับ 110 โวลต์ ที่โหลดค่าต่างๆ

ตารางที่4.3 พารามิเตอร์ของคอนเวอร์เตอร์เมื่อแรงดันกระแสสลับ(Vac)เท่ากับ 55 โวลต์และแรงดันไฟ  
ตรงเท่ากับ 110 โวลต์

Iac(A)	1.52	2.34	3.25	4.41
Vac(V)	56.40	55.20	54.00	52.60
Power factor	0.75	0.75	0.80	0.85
Power(grid)	64.72	96.88	140.40	197.17
Idc(A)	0.45	0.82	1.15	1.68
Vdc(V)	110.70	110.10	111.00	111.20
Power	49.50	90.28	127.68	186.82
%eff.	76.48	93.19	90.94	94.74



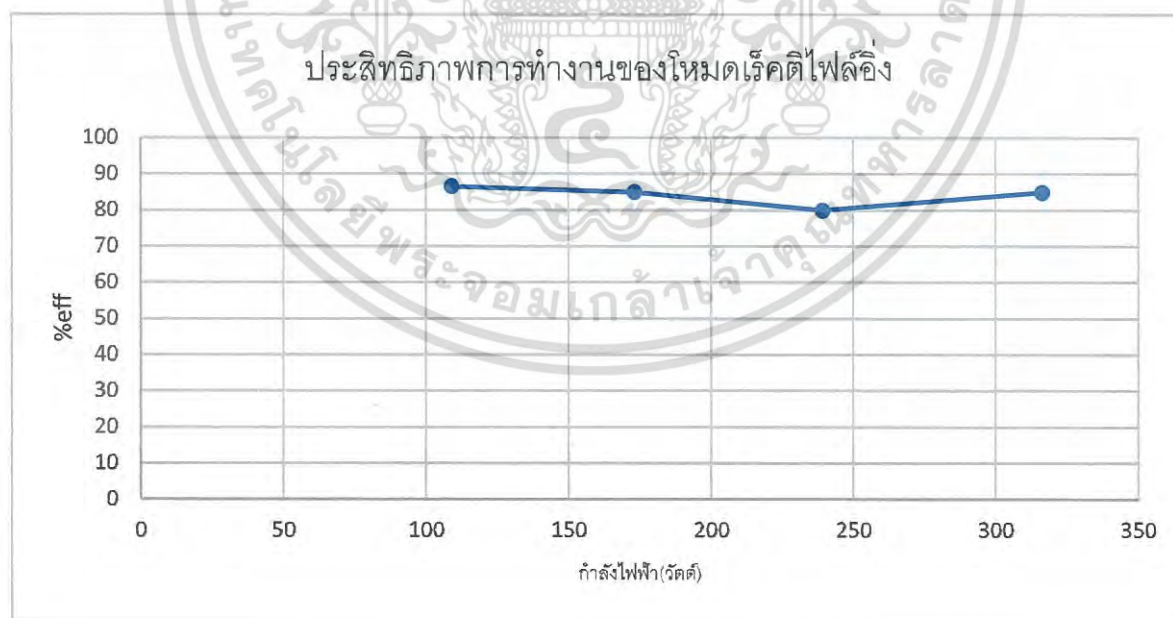
รูปที่4.8 กราฟประสิทธิภาพของการทำงานโหมตเร็คติไฟลิ่งแรงดันอ้างอิง 110 โวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟสแรงดันกระแสสลับ(Vac)เท่ากับ 65 โวลต์ และแรงดันไฟตรง  
เชื่อมโยงเท่ากับ 150 โวลต์ ที่โหลดค่าต่างๆ

ตารางที่4.4 พารามิเตอร์ของคอนเวอร์เตอร์เมื่อแรงดันกระแสสลับ(Vac)เท่ากับ 65 โวลต์และแรงดันไฟ  
ตรงเท่ากับ 150 โวลต์

Iac(A)	2.38	3.48	4.48	5.72
Vac(V)	64.60	64.60	64.30	64.30
Power factor	0.71	0.77	0.83	0.86
Power(grid)	109.16	173.10	239.09	316.30
Idc(A)	0.63	0.98	1.27	1.78
Vdc(V)	149.90	150.10	150.40	150.60
Power	94.44	147.10	191.00	268.07
%eff.	86.51	84.97	79.88	84.83



รูปที่4.9 กราฟประสิทธิภาพของการทำงานของโหมดเร็คตีไฟ์ลิ่งแรงดันอ้างอิง 150 โวลต์

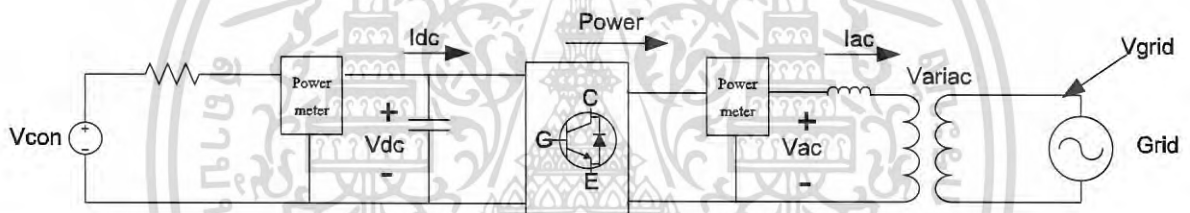
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.4.2 การทำงานของคอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟสทั้งสองโหมด

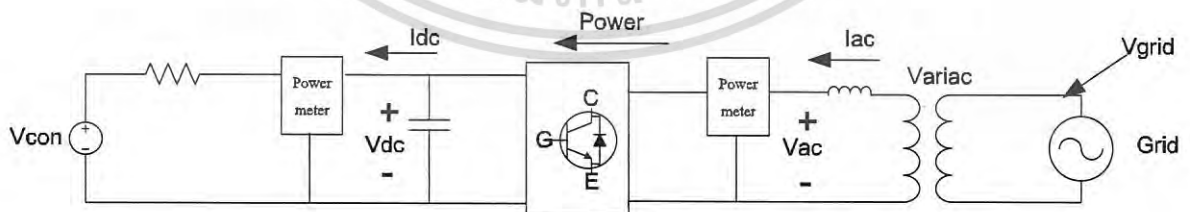
ผลของการทำงานของคอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟสแบ่งการทำงานออกเป็นสองโหมดคือโหมดเรียงกระแสและโหมดอินเวอร์เตอร์ที่แรงดันกริดและแรงดันไฟตรงเชื่อมโยงที่ค่าต่างๆ

วิธีการทดลอง

1. ต้องจรรยาตามรูปที่4.10 และควบคุมค่าแรงดันไฟตรงเชื่อมโยงเท่ากับ 30, 50, 110, และ 150 โวลต์ ตามลำดับ โดยจ่ายแรงดันกระแสสลับ(Vac) เท่ากับ 20, 25, 55, 65 โวลต์ ตามลำดับ(แรงดันกระแสสลับVac ได้จากหม้อแปลงแรงดัน(Variac))
2. การทำงานของคอนเวอร์เตอร์จะอยู่ในโหมดเรียงกระแสตามวงจรในรูปที่4.10(ก) ทำให้กำลังไหลออกจากกริด(หม้อแปลงแรงดัน)
3. เพิ่มแรงดันฝั่งคอนเวอร์เตอร์(Vcon) ให้มากกว่าแรงดันไฟตรงเชื่อมโยงจะทำให้การทำงานของคอนเวอร์เตอร์เป็นโหมดอินเวอร์เตอร์ตามวงจรในรูปที่ 4.10(ข)



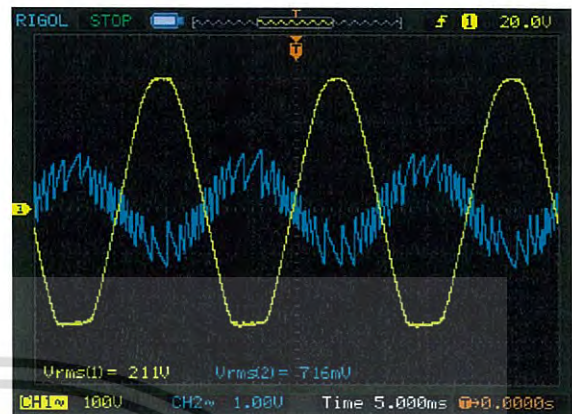
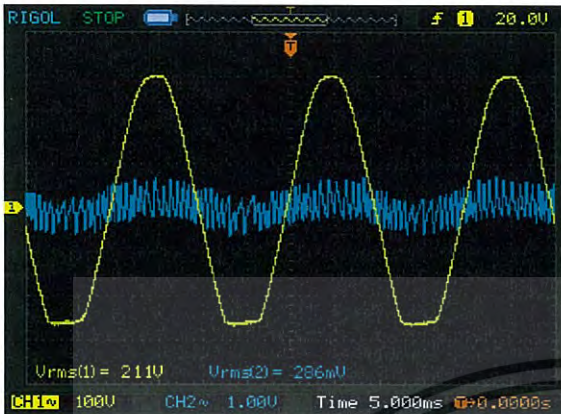
รูปที่4.10(ก) วงจรคอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟสในโหมดเรียงกระแส



รูปที่4.10(ข) วงจรคอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟสในโหมดอินเวอร์เตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- แรงดันกระแสสลับ(Vac)เท่ากับ 20 โวลต์ และแรงดันไฟตรงเชื่อมโยงเท่ากับ 30 โวลต์



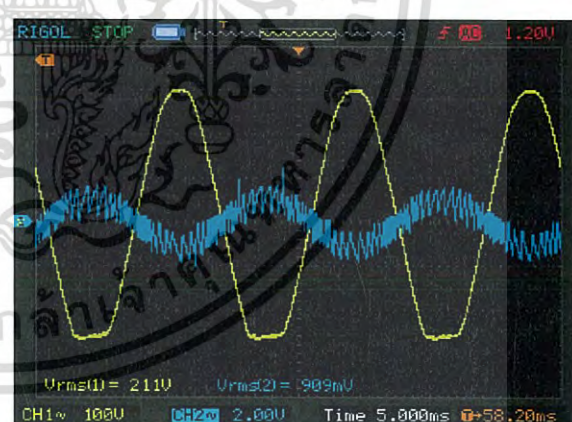
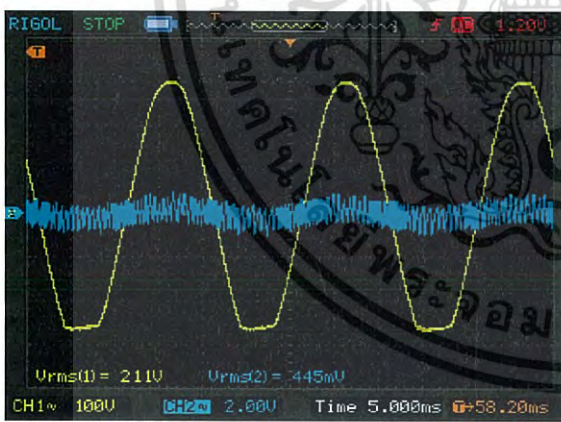
รูปที่4.11 การทำงานโหมตเรียงกระแส

Vac= 20 V, Vdc=30 V

รูปที่4.12 การทำงานโหมตอินเวอร์เตอร์

Vac= 20 V, Vdc=30 V

- แรงดันกระแสสลับ(Vac)เท่ากับ 25 โวลต์ และแรงดันไฟตรงเชื่อมโยงเท่ากับ 50 โวลต์



รูปที่4.13 การทำงานโหมตเรียงกระแส

Vac= 25 V, Vdc=50 V

รูปที่4.14 การทำงานโหมตอินเวอร์เตอร์

Vac= 25 V, Vdc=50 V

หมายเหตุ กราฟสีเหลืองแสดงแรงดันกริด (100 Vo/div)

กราฟสีฟ้าแสดงกระแสกริด (2 Vo/div)

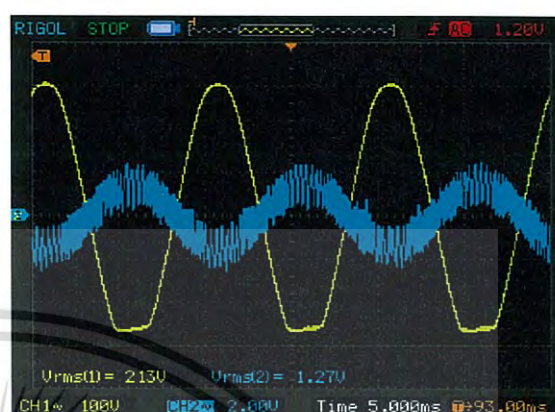
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- แรงดันกระแสสลับ(Vac)เท่ากับ 55 โวลต์ และแรงดันไฟตรงเชื่อมโยงเท่ากับ 110 โวลต์



รูปที่4.15 การทำงานโหมดเรียงกระแส

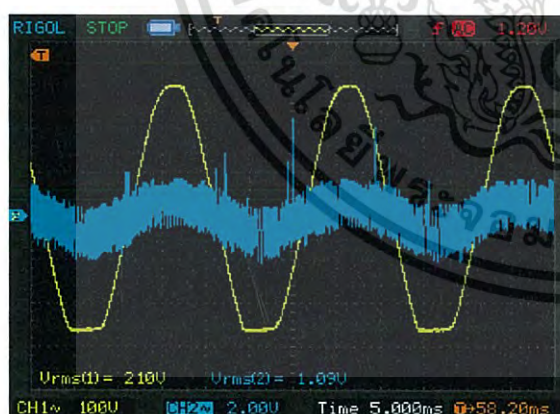
Vac=55 V, Vdc=110 V



รูปที่4.16 การทำงานโหมดอินเวอร์เตอร์

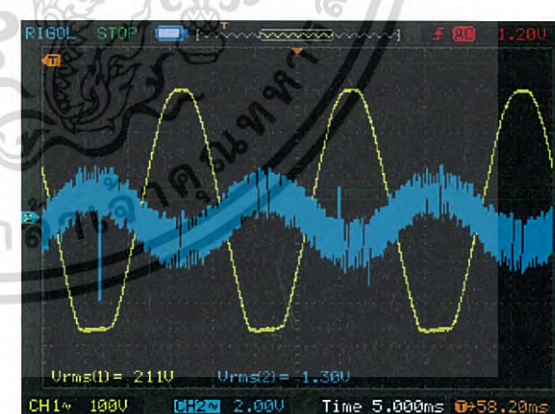
Vac= 55 V, Vdc=110 V

- แรงดันกระแสสลับ(Vac)เท่ากับ 65 โวลต์ และแรงดันไฟตรงเชื่อมโยงเท่ากับ 150 โวลต์



รูปที่4.17 การทำงานโหมดเรียงกระแส

Vac= 65 V, Vdc=150 V



รูปที่4.18 การทำงานโหมดอินเวอร์เตอร์

Vac= 65 V, Vdc=150 V

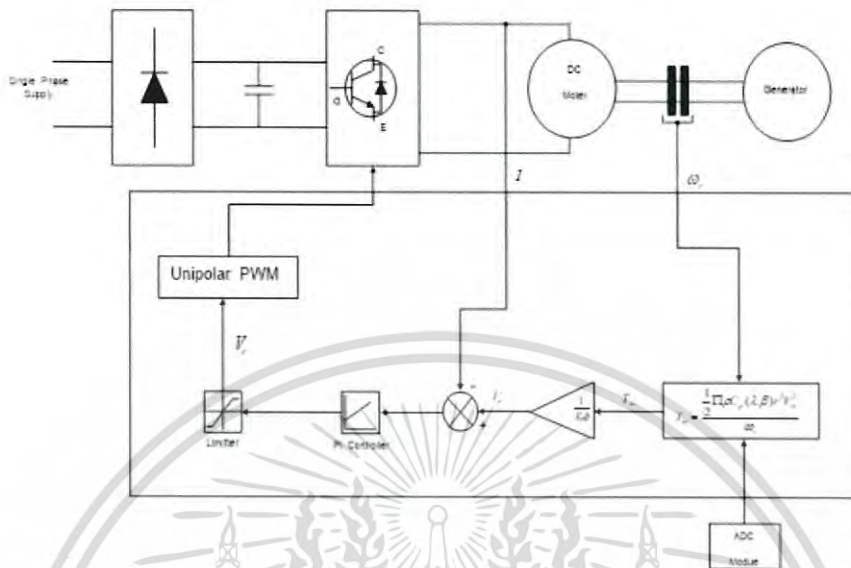
หมายเหตุ กราฟสีเหลืองแสดงแรงดันกริด (100 Vo/div)

กราฟสีฟ้าแสดงกระแสกริด (2 Vo/div)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.3 ชุดจำลองกังหันลม

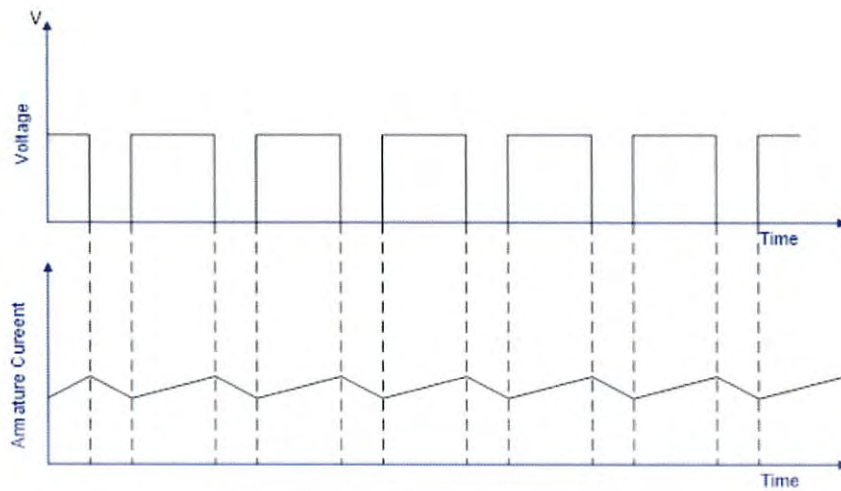
#### 4.3.1 แบบจำลองวงจรของชุดกังหันลมที่ต่อกับกริดโดยใช้มอเตอร์แบบคัปปลิ่ง



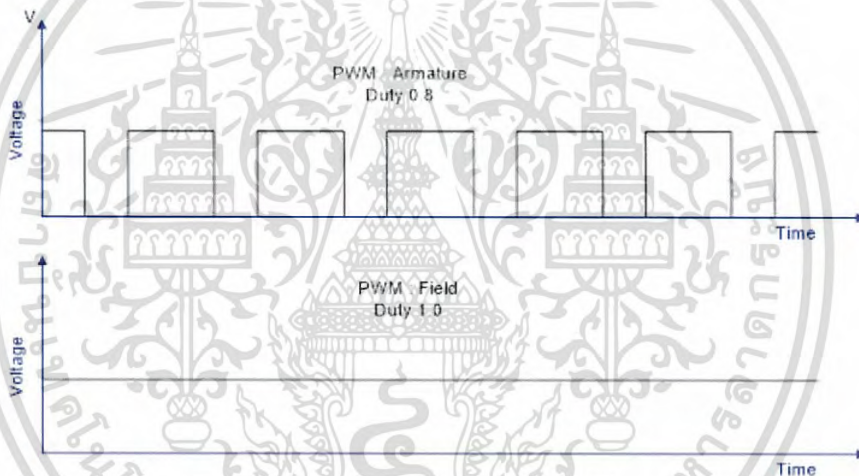
รูปที่ 4.19 วงจรกำลังของระบบจำลองกังหันลม

#### 4.3.2 การควบคุมแรงดันแบบ chopper one quadrant

การควบคุมแรงดันให้มีค่าคงที่หรือเปลี่ยนแปลงนั้นสามารถควบคุมสามารถควบคุมได้จากแหล่งจ่ายที่จ่ายไฟฟ้ากระแสตรงให้กับวงจรมอเตอร์โดยที่แรงดันที่จ่ายให้กับขดลวดอาามาเจอร์จะแปรผันตรงกับความเร็วมอเตอร์ทำให้มอเตอร์นั้นสามารถเพิ่ม-ลด ความเร็วได้จากการควบคุมแรงดันที่ขดลวดอาามาเจอร์โดยการควบคุมความกว้างของพัลส์ของสัญญาณพีดับบลิวเอ็มในการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงจะใช้หลักการควบคุมแรงดันที่ขดลวดอาามาเจอร์เพียงขดลวดเดียว โดยให้แรงดันที่ขดลวดฟิลล์มีค่าคงที่ที่ค่าพิกัด ซึ่งการควบคุมแรงดันโดยการปรับค่าความกว้างพัลส์หรือค่าดีวตี้ของสัญญาณพีดับบลิวเอ็ม



รูปที่4.20 สัญญาณกระแสและแรงดันในขดลวดอามาเจอร์ของมอเตอร์



รูปที่4.21 สัญญาณกระแสและแรงดันในขดลวดฟิวของมอเตอร์

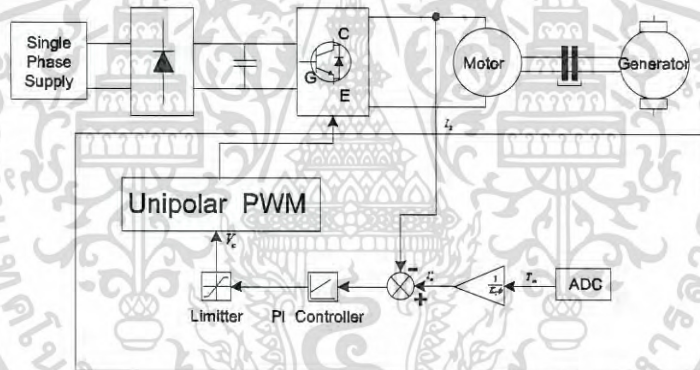
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.4 ผลการทดลองของชุด Chopper one quadrant

ขั้นตอนการทดลอง

- 1.จ่ายแรงดันคงที่ให้กับขดลวดฟیلต์ 220 โวลต์
- 2.จ่ายแรงดันที่ออกมาเจอร์โดยผ่านชุด Chopper one quadrant เพื่อควบคุมกระแสให้ได้ค่าทอกตามที่ต้องการ
- 3.ปรับค่าแรงดันที่ออกมาเจอร์เพื่อให้ได้ความเร็วมอเตอร์ตามที่ต้องการที่ทุกๆค่าความเร็ว
- 4.เก็บค่ากระแสและแรงดันที่ได้เพื่อหาประสิทธิภาพของมอเตอร์

ผลการทดลองการจำลองคุณลักษณะของแบบจำลองกึ่งหนึ่งขั้วโดยการทดลองที่ความเร็วลมแต่ละความเร็วลม



รูปที่ 4.22 วงจรซอฟต์แวร์ควบคุมความเร็วลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ต่างๆของแบบจำลองคุณลักษณะของลมที่ความเร็วลม

5 m/s

Speed(rpm)	Torque(Nm)	Vout(V)	Iload(A)	Pin(Watt)	Pout(Watt)
246.3	1.2	40.1	0.548	30.95097	22.1
275.4	1.0	42.7	0.358	28.83982	15.2
418.1	1.6	67.6	0.683	70.05333	46.8
581.1	1.2	98.8	2.538	73.02318	53.7
605.1	1.0	45.5	0.346	63.36592	33.1

ตารางที่4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ต่างๆของแบบจำลองคุณลักษณะของลมที่ความเร็วลม

6 m/s

Speed(rpm)	Torque(Nm)	Vout(V)	Iload(A)	Pin(Watt)	Pout(Watt)
258.6	1.0	38.5	0.380	27.08	15.0
390.6	1.9	52.4	0.897	77.71	51.5
524.9	2.2	77.4	1.18	120.92	91.3
615.3	2.0	92.7	1.04	128.86	96.7
803.5	1.0	125.4	0.382	84.14	48.3

ตารางที่4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ต่างๆของแบบจำลองคุณลักษณะของลมที่ความเร็วลม

7 m/s

Speed(rpm)	Torque(Nm)	Vout(V)	Iload(A)	Pin(Watt)	Pout(Watt)
315.3	1.0	49.5	0.379	33.01	19.2
366.3	2.0	53.8	0.971	76.71	53.4
601.3	3.1	86.4	1.84	195.20	159.7
828.7	2.0	126.6	0.998	173.56	125.0
981.3	1.0	155.0	0.330	102.76	52.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### ตารางที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ต่างๆของแบบจำลองคุณลักษณะของลมที่ความเร็วลม

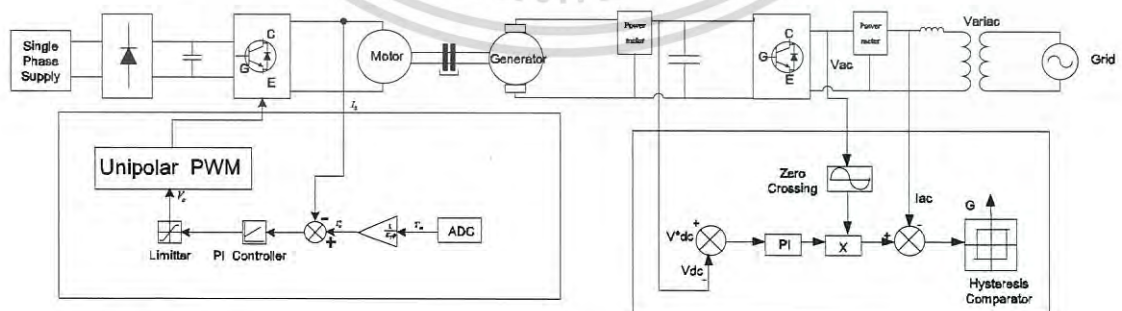
8 m/s

Speed(rpm)	Torque(Nm)	Vout(V)	Iload(A)	Pin(Watt)	Pout(Watt)
377.1	2.0	55.3	1.018	78.97	56.9
433.8	3.0	61.5	1.691	136.28	104.8
600.0	4.0	83.0	2.46	251.32	207.2
881.0	3.0	130.6	1.702	276.77	223.0
1014	1.9	154.2	0.955	201.75	147.1

#### 4.4.3 ผลการทดลองชุดต่อกริดกับชุด Chopper one quadrant ขณะเปลี่ยนความเร็วลม

ขั้นตอนการทดลอง

- 1.จ่ายแรงดันคงที่ให้กับขดลวดฟิลต์ 220 โวลต์
- 2.ต้องวงจรตามรูปที่ และเพิ่มแรงดันกระแสสลับ(Vac)เพื่อให้ได้แรงดันไฟตรงเชื่อมโยงตามที่ต้องการ
- 3.เพิ่มแรงดันที่ออกมาเจอร์ของมอเตอร์เพื่อให้ได้ค่าแรงบิดตามที่ต้องการ
- 4.ทำการ on สวิตซ์ที่ต่อกับตัวต้านทานปรับค่าได้ที่อินพุต(D/A)ก่อนเข้าไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อให้ค่าแรงบิดเปลี่ยนตามที่กำหนดไว้
- 5.วัดค่ากระแสและแรงดันทางฝั่งกระแสสลับและกระแสตรง



รูปที่ 4.23 วงจรของชุดคอนเวอเตอร์หนึ่งเฟสเชื่อมกับชุดชอปเปอร์วันควอดแรนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อมีการเปลี่ยนความเร็วลมจะทำให้ค่าแรงบิดทางกลและค่ากระแสที่ออกมาเจอร์มีการเปลี่ยนแปลงโดยตารางที่ 4.9-4.13 จะแสดงพารามิเตอร์ต่างๆเมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงขึ้น

ตารางที่4.9 พารามิเตอร์ของแบบจำลองกังหันลมขณะเปลี่ยนความเร็วลมที่ค่าความเร็วลม 4 m/s เป็นความเร็วลม 5 m/s

	T=0.8 (Nm)	T=1.7 (Nm)
Speed(rpm)	401	412
Iac(A)	0.571	1.540
Vac(V)	32.660	33.80
PF	0.670	0.92
Pgrid(W)	12.495	47.880
Idc(A)	0.27	0.95
Vdc(V)	65.10	64.50
Pdc(W)	17.570	61.27

ตารางที่4.10 พารามิเตอร์ของแบบจำลองกังหันลมขณะเปลี่ยนความเร็วลมที่ค่าความเร็วลม 5 m/s เป็นความเร็วลม 6 m/s

	T=1.4 (Nm)	T=2.3 (Nm)
Speed(rpm)	554	572
Iac(A)	1.47	2.45
Vac(V)	42.3	43.7
PF	0.83	0.93
Pgrid(W)	51.61	99.57
Idc(A)	0.65	1.22
Vdc(V)	81.9	84.1
Pdc(W)	53.23	102.60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่4.11 พารามิเตอร์ของแบบจำลองกังหันลมขณะเปลี่ยนความเร็วลมที่ค่าความเร็วลม 6 m/s เป็นความเร็วลม 7 m/s

	T=2.2 (Nm)	T=3.0 (Nm)
Speed(rpm)	623	654
Iac(A)	2.3	2.9
Vac(V)	53.3	54.4
PF	0.90	0.94
Pgrid(W)	110.33	148.29
Idc(A)	1.19	1.84
Vdc(V)	95.9	95.6
Pdc(W)	114.12	175.90

ตารางที่4.12 พารามิเตอร์ของแบบจำลองกังหันลมขณะเปลี่ยนความเร็วลมที่ค่าความเร็วลม 7 m/s เป็นความเร็วลม 8 m/s

	T=3.2 (Nm)	T=4.0 (Nm)
Speed(rpm)	659	658
Iac(A)	3.06	4.04
Vac(V)	54.3	55.4
PF	0.93	0.97
Pgrid(W)	154.52	217.10
Idc(A)	1.92	2.53
Vdc(V)	97.6	99.3
Pdc(W)	187.39	251.30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.13 พารามิเตอร์ของแบบจำลองกังหันลมขณะเปลี่ยนความเร็วลมที่ค่าความเร็วลม 8 m/s เป็นความเร็วลม 9 m/s

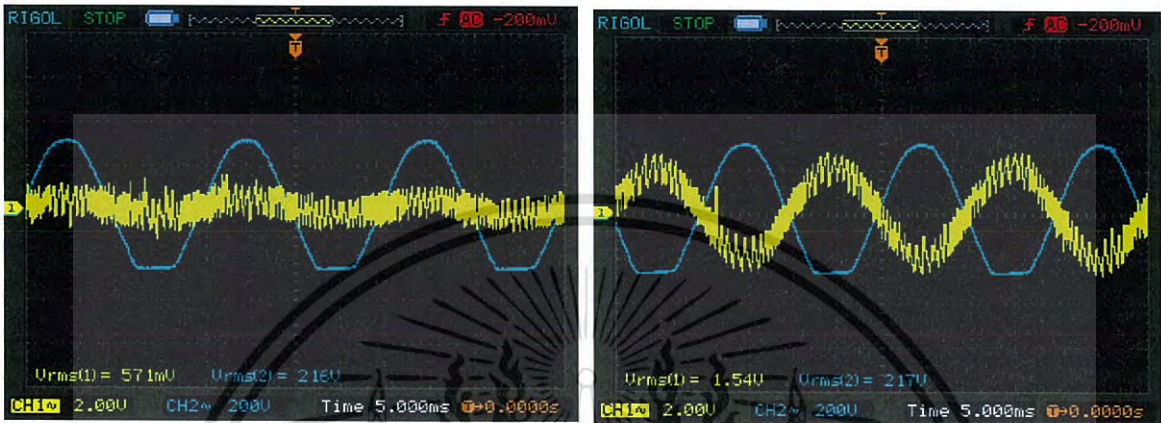
	T=3.6 (Nm)	T=5.0 (Nm)
Speed(rpm)	801	947
Iac(A)	3.80	5.71
Vac(V)	60.1	63.2
PF	0.95	0.97
Pgrid(W)	216.96	350.04
Idc(A)	2.19	3.11
Vdc(V)	117.8	134.1
Pdc(W)	257.98	417.01

หมายเหตุ Vac คือแรงดันกระแสสลับ(หม้อแปลงแรงดัน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทำงานของชุดจำลองกังหันลมเมื่อมีการเปลี่ยนความเร็วลม

ผลการทดลองแสดงค่ากระแสเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงแรงบิดจาก 0.8 Nm เป็น 1.7 Nm



รูปที่ 4.24 การทำงานของแบบจำลองกังหันลมที่ ความเร็วลม 4 m/s

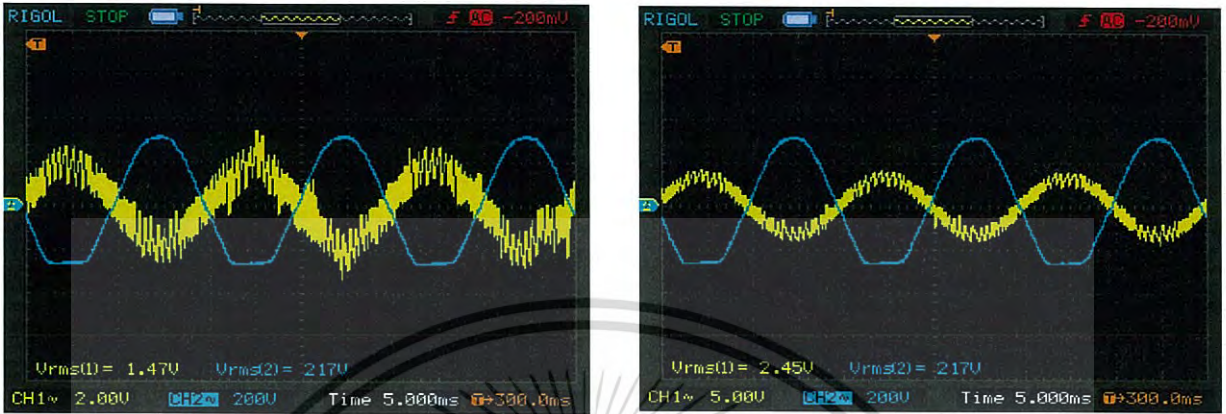
รูปที่ 4.25 การทำงานของแบบจำลองกังหันลมที่ ความเร็วลม 5 m/s



รูปที่ 4.26 การทำงานของแบบจำลองกังหันลมจากความเร็วลม 4 m/s เป็น 5 m/s

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองแสดงค่ากระแสเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงแรงบิดจาก 1.4 Nm เป็น 2.3 Nm



รูปที่ 4.27 การทำงานของแบบจำลองกังหันลมที่ความเร็วลม 5 m/s

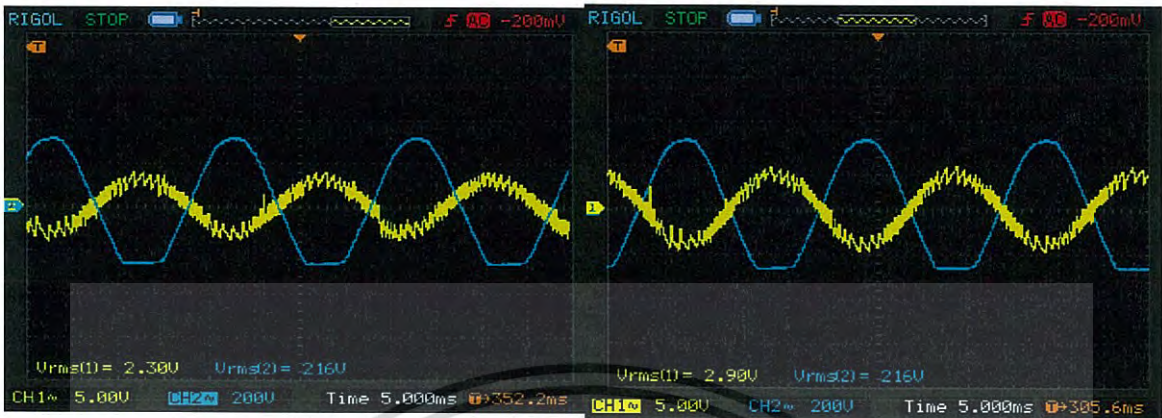
รูปที่ 4.28 การทำงานของแบบจำลองกังหันลมที่ความเร็วลม 6 m/s



รูปที่ 4.29 การทำงานของแบบจำลองกังหันลมจากความเร็วลม 5m/s เป็น 6 m/s

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองแสดงค่ากระแสเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงแรงบิดจาก 2.2 Nm เป็น 3.0 Nm



รูปที่4.30 การทำงานของแบบจำลองกังหันลมที่  
ความเร็วลม 6 m/s

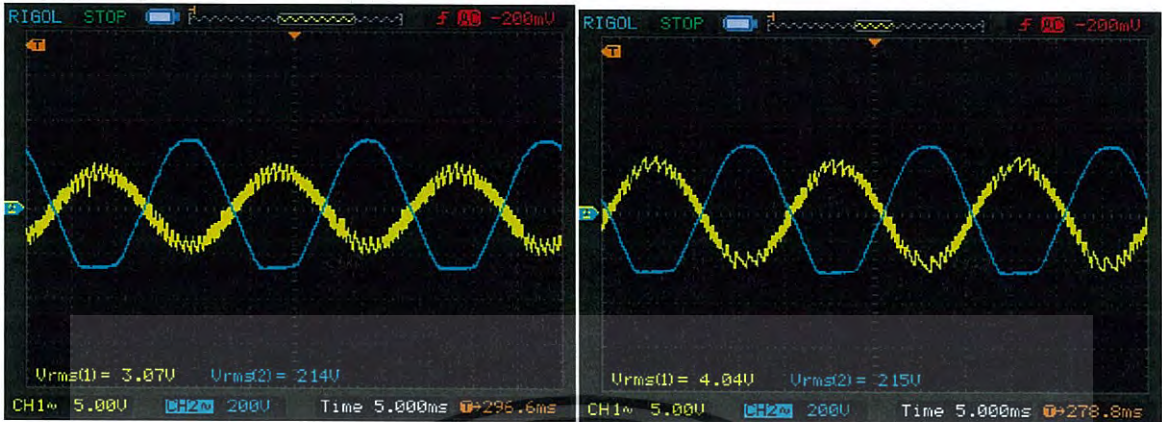
รูปที่4.31 การทำงานของแบบจำลองกังหันลมที่  
ความเร็วลม 7 m/s



รูปที่4.32 การทำงานของแบบจำลองกังหันลมจากความเร็วลม 6m/s เป็น 7 m/s

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองแสดงค่ากระแสเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงแรงบิดจาก 3.2 Nm เป็น 4.0 Nm



รูปที่ 4.33 การทำงานของแบบจำลองกังหันลมที่ ความเร็วลม 7 m/s

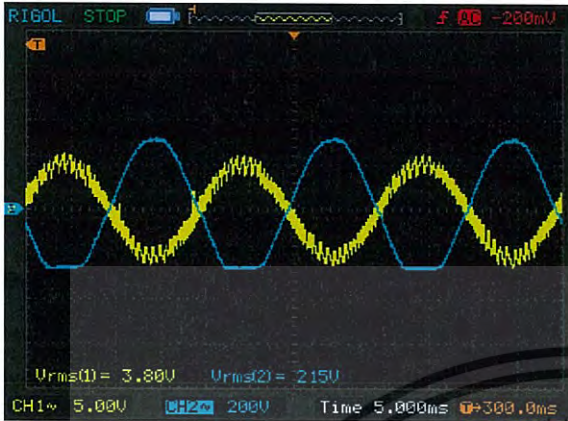
รูปที่ 4.34 การทำงานของแบบจำลองกังหันลมที่ ความเร็วลม 8 m/s



รูปที่ 4.35 การทำงานของแบบจำลองกังหันลมจากความเร็วลม 7m/s เป็น 8 m/s

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองแสดงค่ากระแสเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงแรงบิดจาก 3.6 Nm เป็น 5.0 Nm



รูปที่4.36 การทำงานของแบบจำลองกังหันลมที่  
ความเร็วลม 8 m/s

รูปที่4.37 การทำงานของแบบจำลองกังหันลมที่  
ความเร็วลม 9 m/s



รูปที่4.38 การทำงานของแบบจำลองกังหันลมจากความเร็วลม 8m/s เป็น 9 m/s

หมายเหตุ กราฟสีเหลืองแสดงกระแสกริด (5 Vol/div)

กราฟสีฟ้าแสดงแรงดันกริด (200 Vol/div)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

#### 5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองการจำลองคุณลักษณะลมด้วยแบบจำลองกึ่งหิ้นลมที่ความเร็วลม 5-8 m/s จะพบว่าที่แต่ละค่าความเร็วลมเมื่อทำการควบคุมแรงดันที่ขดลวดฟลัดให้มีค่าคงที่ที่ 220 โวลต์ และแรงดันที่ออกมาเจอร์ที่ถูกควบคุมแบบ Chopper one quadrant จะทำให้ความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงบิดทางกลและค่าความเร็วของมอเตอร์มีแนวโน้มตามคุณลักษณะลมของที่แต่ละความเร็วลม และเมื่อต้องการเปลี่ยนค่าความเร็วลมไปที่ค่าความเร็วลมต่างๆจะสามารถทำได้โดยควบคุมค่าแรงบิดให้มีค่าเปลี่ยนแปลงที่ค่าความเร็วมอเตอร์ค่าเดิมโดยการควบคุมค่าแรงบิดสามารถควบคุมโดยการควบคุมแรงดันที่ความต้านทานปรับค่าได้ที่อินพุต(A/D)ของไมโครคอนโทรลเลอร์ C2000 เพื่อให้ได้ค่าแรงบิดที่ต้องการ

ในการทดลองคอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟสชนิดเชื่อมต่อกริดได้ทดลองใช้ค่าแรงดันไฟตรงเชื่อมโยงหลายค่าได้แก่ 30, 50, 110 และ 150 โวลต์ตามลำดับ จากการทดลองการทำงานของคอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟสชนิดเชื่อมต่อกริดเพื่อดูการทำงานของคอนเวอร์เตอร์ในโหมดเรียงกระแสและโหมดอินเวอร์เตอร์ลาประสิทธิภาพของคอนเวอร์เตอร์ จากการทดลองพบว่าคอนเวอร์เตอร์สามารถทำงานได้ดีทั้งสองโหมดเมื่อแรงดันไฟตรงที่คอนเวอร์เตอร์น้อยกว่าค่าแรงดันไฟตรงเชื่อมโยงจะทำให้พลังงานไหลออกจากกริด กราฟของกระแสและแรงดันมีเฟสตรงกัน และเมื่อแรงดันไฟตรงที่คอนเวอร์เตอร์มากกว่าแรงดันไฟตรงเชื่อมโยงจะทำให้กราฟกระแสและแรงดันเฟสตรงกันข้ามกัน ในส่วนของประสิทธิภาพของคอนเวอร์เตอร์เท่ากับ 67.23, 72.17, 88.82, 84.05 เปอร์เซ็นต์เมื่อแรงดันไฟตรงเชื่อมโยงเท่ากับ 30, 50, 110 และ 150 โวลต์ตามลำดับ จะเห็นว่าประสิทธิภาพของคอนเวอร์เตอร์ที่แรงดันไฟตรงเท่ากับ 110 โวลต์จะมีประสิทธิภาพดีที่สุดเนื่องจากค่าพารามิเตอร์ต่างๆถูกออกแบบมาสำหรับแรงดันไฟตรงเชื่อมโยงเท่ากับ 110 โวลต์

การนำแบบจำลองกึ่งหิ้นลมต่อเข้ากับชุดเชื่อมต่อกริดที่มีการควบคุมกระแสแบบฮิสเตอร์ริซิสเพื่อควบคุมค่าแรงดันไฟตรงเชื่อมโยงให้มีค่าคงที่ เพื่อให้เกิดการถ่ายโอนของพลังงานระหว่างกริดและแบบจำลองกึ่งหิ้นลม จะพบว่าหากชุดจำลองกึ่งหิ้นลมสามารถผลิตพลังงานที่มีค่าโวลต์ที่ผลิตได้ มากกว่าค่าแรงดันไฟตรงเชื่อมโยง จะทำให้เกิดการถ่ายโอนพลังงานจากชุดจำลองกึ่งหิ้นลมเข้าสู่กริด โดยผลที่ได้จากกราฟ คือ กราฟของแรงดันและกระแสจากกริดจะมีเฟสตรงข้ามกัน และหากชุดจำลองกึ่งหิ้นลมไม่สามารถผลิตพลังงานที่มีค่าโวลต์ที่ผลิตมากกว่าค่าแรงดันไฟตรงเชื่อมโยง ก็จะทำให้เกิดการถ่ายโอนพลังงานจากกริดเข้ากลับไปยังชุดจำลองกึ่งหิ้นลมโดยผลที่ได้จากกราฟ คือ กราฟของแรงดันและกระแสจากกริดจะมีเฟสตรงกัน ดังนั้นจะเห็นว่าการเชื่อมต่อกันของ

ชุดจำลองกึ่งหิ้นลมและชุดเชื่อมต่อกริดนั้นสามารถทำการถ่ายโอนพลังงานให้แก่กันได้อย่างมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประสิทธิภาพ โดยจะสังเกตได้ว่าการที่จะถ่ายโอนพลังงานให้ถ่ายโอนจากชุดจำลองกันหันลมเข้าสู่กริดนั้นจะเกิดได้ก็ต่อเมื่อค่ากำลังทางไฟฟ้าที่ชุดจำลองกันหันลมผลิตนั้นมีค่าสูงๆ ซึ่งจะเกิดที่ความเร็วลมสูงๆ

## 5.2 วิจารณ์ผลการทดลอง

จากการทดลองจะเห็นว่าการควบคุมแรงดันไฟตรงเชื่อมโยงนั้นจะทำการควบคุมที่ค่าแรงดันไฟตรงเชื่อมโยง ต่ำๆ เนื่องจากข้อจำกัดของพิกัดของมอเตอร์และประสิทธิภาพที่ใช้ในการทดลองนั้นไม่สามารถที่จะผลิตแรงดันไฟตรงที่อามาเจอร์ได้เกิน 220 โวลต์ จึงเป็นสาเหตุให้ต้องควบคุมแรงดันที่แรงดันไฟตรงเชื่อมโยงให้ต่ำๆเพื่อที่จะสามารถทำให้เกิดการถ่ายโอนพลังงานระหว่างชุดจำลองกังลมและชุดเชื่อมต่อกกริดได้ ซึ่งในความเป็นจริงค่าแรงดันกระแสสลับที่ได้จากกริดนั้นจะมีค่าสูงถึง 220 โวลต์ (ค่าแรงดันไฟตรงเชื่อมโยง 400 โวลต์) ถ้าหากมีการนำชุดจำลองกันหันลมไปใช้งานจริงเพื่อเชื่อมต่อกับกริดการไฟฟ้า จะต้องมีการใช้วงจรเพิ่มแรงดันเพื่อให้แรงดันไฟตรงที่อามาเจอร์มีค่ามากกว่า 400 โวลต์ และจะทำให้เกิดการถ่ายโอนพลังงานเข้าสู่กริดการไฟฟ้าได้



## เอกสารอ้างอิง

- [1] Dianguo Xu, Wei Zhang, and Hongfei Ma, “**Research on Wind Turbine Emulation based on DC Motor**”, IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications, pp.2589-2593, May 2007.
- [2] J. Zaragoza, J. Pou, A. Arias, and C. Spiteri, E. Robles and S. Ceballos, “**Study and experimental verification of control tuning strategies in a variable speed wind energy conversion system**”, Int. J. of Renewable Energy, vol. 36, no. 5, pp. 1421-1430, May 2011 .
- [3] LIU Min-dan, Shen Luocheng, “**Simulation of the characteristic of Wind Turbine Based on DC Machine**”, IEEE Transactions on Electrical Industrial Electron., Vol. 48, No.6, 2001, pp.3581-3591.
- [4] Ravita D.Prasad, R. C. Bansal, and M. Sauturaga, “**Wind Energy Analysis for Vadravadra**,” IEEE Transactions on Energy Conversion, vol. 24, no. 3, pp. 750-757, September 2003.
- [5] Vijit Kinnares, Narongchai Thodsaporn, Chaiwut Choorak, “**Wind Turbine Simulator Based Grid Connected Asymmetrical Two-Phase Induction**”, **Electrical Machines and system (ICEMS), 2015 18<sup>th</sup> International Conference on**
- [6] พิชิต ล้ายอง, **เครื่องจักรกลไฟฟ้า**, กรุงเทพมหานคร, ปีที่พิมพ์ 2540
- [7] เพลิน จันทรสุยะ, **เครื่องจำลองกังหันลมชนิดมุมใบพัดคงที่ โดยใช้ระบบขับเคลื่อนไฟฟ้า กระแสตรงแบบสี่จุดภาค**, วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2556
- [8] รศ.ดร. วีระเชษฐ์ ชันเงิน และ ดร.วุฒิพล ธาราธิระเศรษฐ์, **อิเล็กทรอนิกส์กำลัง**, พิมพ์ครั้งที่ 14, กรุงเทพมหานคร, ห้างหุ้นส่วนจำกัด วี.เจ. พรินต์ติ้ง, ปีที่พิมพ์ 2557

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงเชื่อมต่อกกริดโดยใช้ชุดจำลองพลังงานลมเป็นต้นกำลัง

## WIND SIMULATOR BASED GRID CONNECTED DC GENERATOR

ทวีชัย แซ่กัว ธนวินท์ วิกามณีโรจน์ ธนัช ชมภูศรี ธนากรณ์ วงศ์กาอินทร์

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

1 ซอย ฉลองกรุง1 ลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520 โทรศัพท์ 02-329-8000 ต่อ3925 Email: Tanakornbenz@hotmail.com

### บทคัดย่อ

ปัญญานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอการออกแบบชุดเชื่อมต่อกกริดที่ควบคุมกระแสแบบฮิสเตอร์ริซิส เพื่อเชื่อมต่อเข้ากับชุดจำลองกังหันลม ชุดเชื่อมต่อกกริดใช้สัญญาณที่ได้จากการควบคุมกระแสแบบฮิสเตอร์ริซิสเพื่อควบคุมสวิตซ์ไอจีบีที การคอนโทรลเลอร์ในระบบใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ C2000 ในการเขียนอัลกอริทึมด้วยโปรแกรม Matlab2017a คอนเวอร์เตอร์ควบคุมแรงดันไฟตรงเชื่อมโยงให้มีค่าแรงดันคงที่ที่ 110 โวลต์ การจำลองกังหันลมใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงที่ควบคุมโดย Dc chopper one quadrant เพื่อให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงมีกราฟคุณลักษณะของลมแต่ละความเร็วลม การเชื่อมต่อระหว่างชุดเชื่อมต่อกกริดและแบบจำลองลมจะส่งผลให้เกิดการทำงาน 2 โหมดคือโหมด อินเวอร์ตติ้งและเรกติไฟอิง โหมด ซึ่งจะช่วยให้พลังงานสามารถจ่ายเข้าสู่กริด และออกจากกริดได้

คำสำคัญ: กริด,อินเวอร์ตติ้ง,เรกติไฟอิง

### ABSTRACT

This paper present the design of grid connected by hysteresis current control to be able connect wind simulator(dc generator). System of grid connect control by signal of hysteresis current control for switchs (igbt). The controller in this project is microcontroller C2000(TMS320F28377S). The microcontroller C2000 use Matlab Simulink 2017a to write algorithms of control system. The converter control dc voltage at dc link as constant 110 volt. The Wind simulator use dc generator by one quadrant dc chopper control to simulation characteristics of wind each wind speeds. The connection between grid connect and wind simulator will cause power flow in this system. The power transfer in this system have 2

### 2. ชุดจำลองกังหันลม

แบบจำลองวงจรกำลังของชุดกังหันลมที่ต่อกับกริด

โดยใช้อินเวอร์ตติ้งแบบคัปปลิงเพื่อจำลองให้มีลักษณะคล้ายลม

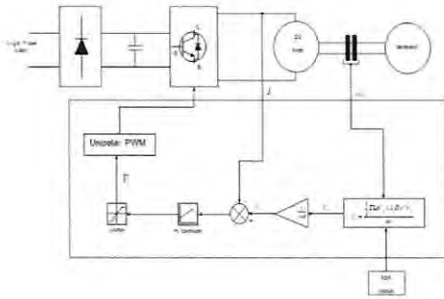
mode. Rectifying and Inverting Mode. Therefore this system will be able to generate and regenerate power.

Keyword: Grid connected, Rectifying, Inverting

### 1. บทนำ

ในปัจจุบันการใช้พลังงานส่วนใหญ่ทั้งในด้านอุตสาหกรรม คมนาคม และครัวเรือน ของประเทศไทยมาจาก ถ่านหิน แก๊สธรรมชาติ น้ำมัน ซึ่งเชื้อเพลิงเหล่านี้ส่งผลกระทบต่อตรงทั้งทางด้านเศรษฐกิจและสิ่งแวดล้อม ซึ่งยังมีราคา นำเข้าและราคาขนส่งที่สูงและยังสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง การใช้เชื้อเพลิงจำพวก แก๊ส พลังงานจากชีวมวล จะทำให้เกิดแก๊สเรือนกระจกซึ่งส่งผลทำให้เกิดสภาวะโลกร้อน เป็นสาเหตุให้พลังงานทดแทนจึงมีความจำเป็นอย่างมากในปัจจุบันพลังงานทดแทนเป็นพลังงานที่ยั่งยืน และค่อนข้างส่งผลกระทบต่อเศรษฐกิจและสิ่งแวดล้อมน้อยกว่าการใช้พลังงานจากเชื้อเพลิง และหนึ่งในพลังงานทดแทนที่นำมาใช้ในปัจจุบันคือ พลังงานลม เนื่องจากพลังงานลมเป็นพลังงานที่มีต้นทุนต่อหน่วยต่ำเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ โดยพลังงานลมที่นำมาใช้มีหลักการคือ การเปลี่ยนจากพลังงานจากพลังงานลมไปเป็นพลังงานกลและนำพลังงานกลที่ได้ไปเป็นพลังงานไฟฟ้าโดยอาศัยชุดเชื่อมต่อกระหว่างกังหันลมกับกริด(Inverter) ซึ่งอินเวอร์ตติ้งในปัจจุบันเป็นอุปกรณ์ที่จำเป็นต่อการเชื่อมต่อกกริดเป็นอย่างมาก และอินเวอร์ตติ้งในปัจจุบันมีราคาที่สูงและยังต้องนำเข้าจากต่างประเทศ จึงมีความสำคัญและจำเป็นอย่างยิ่งในการศึกษาและพัฒนาชุดอินเวอร์ตติ้งเพื่อให้มีประสิทธิภาพที่สูงและมีราคาไม่สูงจนเกินไปโดยการศึกษาและพัฒนาจะต้องสามารถนำไปใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพและเป็นไปตามมาตรฐานของการไฟฟ้า อีกทั้งยังส่งผลให้ประเทศไทยมีความน่าเชื่อถือทางระบบไฟฟ้าและยังสามารถทำให้ประเทศไทยเป็นแบบอย่างในด้านความมีเสถียรภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



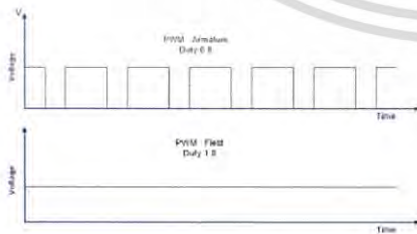
รูปที่ 2.1 วงจรกำลังของระบบจำลองกึ่งหุ่นยนต์

2.1 การควบคุมแรงดันแบบ chopper one quadrant

การควบคุมแรงดันให้มีค่าคงที่หรือเปลี่ยนแปลงนั้นสามารถควบคุมสามารถควบคุมได้จากแหล่งจ่ายที่จ่ายไฟฟ้ากระแสตรงให้กับวงจรมอเตอร์โดยที่แรงดันที่จ่ายให้กับขดลวดอามาเจอร์จะแปรผันตรงกับความเร็วของมอเตอร์ทำให้มอเตอร์นั้นสามารถเพิ่ม-ลด ความเร็วได้จากการควบคุมแรงดันที่ขดลวดอามาเจอร์โดยการควบคุมความกว้างพัลส์ของสัญญาณที่ดับบลิวเอ็มในการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงจะใช้หลักการควบคุมแรงดันที่ขดลวดอามาเจอร์เพียงขดลวดเดียว โดยให้แรงดันที่ขดลวดพัลส์มีค่าคงที่ที่ค่าพิกัด ซึ่งการควบคุมแรงดันโดยการปรับค่าความกว้างพัลส์หรือค่าดิวตีของสัญญาณที่ดับบลิวเอ็ม



รูปที่ 2.2 สัญญาณกระแสและแรงดันในขดลวดอามาเจอร์ของมอเตอร์

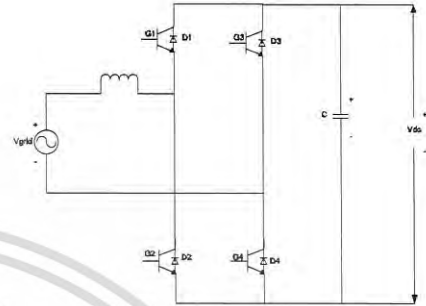


รูปที่ 2.3 สัญญาณกระแสและแรงดันในขดลวดฟิลด์ของมอเตอร์

2.2 วงจรคอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟสชนิดเชื่อมต่อกรีด

โครงสร้างของวงจรคอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟสชนิดเชื่อมต่อกรีด

วงจรคอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟสชนิดเชื่อมต่อกรีดนั้นมี ส่วนประกอบคือ แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ, ตัวเก็บประจุ, ตัวเหนี่ยวนำ และ สวิตซ์ไอจีบีที 4 ตัว แสดงดังรูป 2.4



รูปที่ 2.4 วงจรคอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟสชนิดเชื่อมต่อกรีด

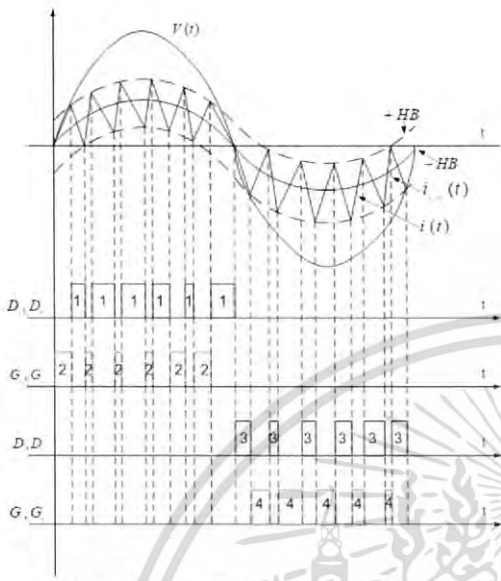
2.3 วงจรควบคุมคอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟสชนิดเชื่อมต่อกรีดด้วยวิธีฮิสเตอร์รีซิส

ในการควบคุมการทำงานของสวิตซ์แบบฮิสเตอร์รีซิสของคอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟสชนิดเชื่อมต่อกรีดนั้นมีหลักการการทำงานโดยใช้การเปรียบเทียบกระแสจริงกับค่ากระแสคำสั่งโดยการนำค่าความคลาดเคลื่อนมาผ่านตัวฮิสเตอร์รีซิส โดยกำหนดให้ค่าความคลาดเคลื่อนไม่เกินค่าขอบเขตบนและขอบเขตล่างเพื่อที่จะใช้ค่าดังกล่าวเป็นสัญญาณไปขับสวิตซ์ไอจีบีทีของคอนเวอร์เตอร์ โดยหลักการเปรียบเทียบนั้นจะเป็นไปดังนี้ ถ้าหากค่าความคลาดเคลื่อนน้อยกว่าขอบเขตบนสัญญาณของการสวิตซ์ก็จะมีค่าลอจิกเป็น 1 (Switch on) และเมื่อค่าความคลาดเคลื่อนเท่ากับขอบบนสัญญาณสวิตซ์ก็จะมีลอจิกเป็น 0 (Switch off) และสวิตซ์จะ on อีกครั้งก็ต่อเมื่อค่าความคลาดเคลื่อนมีค่าเท่ากับขอบเขตล่างของฮิสเตอร์รีซิส และจะเป็นเช่นนั้นสลับๆไปเรื่อยๆ

การทำงานของคอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟสชนิดเชื่อมต่อกรีดนั้นสามารถแบ่งโหมดการทำงานได้เป็นสองโหมดโดยใช้การส่งผ่านกำลังไฟฟ้าเป็นเกณฑ์ ซึ่งสองโหมดการทำงานนั้นได้แก่ โหมดที่ 1 โหมดการทำงานคอนเวอร์เตอร์เรียงกระแสเป็นโหมดที่กระแสและแรงดันมีเฟสตรงกันจึงทำให้กำลังไฟฟ้ามีค่าเป็นบวก และกระแสไหลออกจากกริด โดยในโหมดนี้กรควบคุมโดยฮิสเตอร์รีซิสถูกแสดงในรูปที่ 4.2 โหมดที่ 2 โหมดการทำงานอินเวอร์เตอร์ เป็นโหมดที่กระแสแรงและแรงดันจะมี

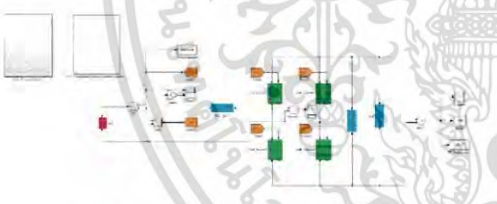
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เฟสตรงข้ามกันจึงทำให้กำลังไฟฟ้าเป็นลบ และกระแสไหลเข้าสู่กริด โดยในโหมดนี้การควบคุมโดยฮิสเตอร์รีซีตถูกแสดงในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 โหมดการทำงานคอนเวอร์เตอร์เรียงกระแส

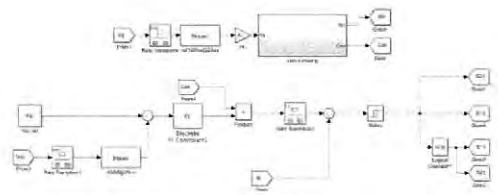
3. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของชุดเชื่อมต่อกังหันลม



รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมของชุดเชื่อมต่อกังหันลม

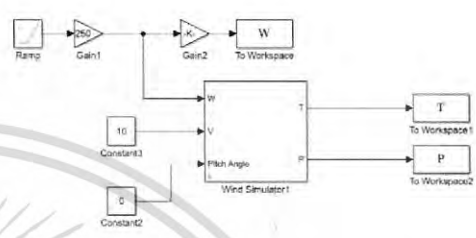
3.1 บล็อกไดอะแกรมของชุดควบคุมกระแส

โดยบล็อกไดอะแกรมในรูปที่ 3.2 ดังกล่าวนี้นี้ที่จะนำสัญญาณเอาต์พุตที่ได้ไปเป็นสัญญาณสำหรับขับขาเกตของสวิตช์ IGBT ทั้ง 4 ชุด โดยจะประกอบไปด้วยบล็อกไดอะแกรมของ PI Controller และบล็อกไดอะแกรมของ Sine ที่ผ่าน Zero crossing เพื่อนำมาคูณกันแล้วจะได้เป็นค่ากระแส เพื่อนำไปลบกับค่ากระแสคอมมานด์เพื่อให้ได้ค่าผลต่างและนำไปเข้าบล็อกไดอะแกรมคอนโทรลกระแส เพื่อให้ได้สัญญาณขับขาเกตของสวิตช์ IGBT ทั้ง 4



รูปที่ 3.2 บล็อกไดอะแกรมของชุดควบคุมกระแส

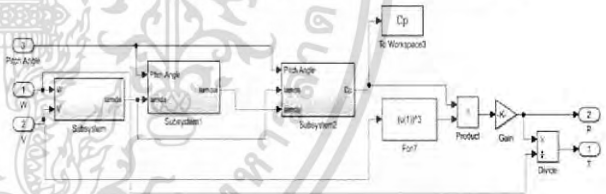
3.2 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของชุดจำลองกังหันลม



รูปที่ 3.3 บล็อกไดอะแกรมของแบบจำลองกังหันลม

3.3 บล็อกไดอะแกรมของแบบจำลองกังหันลม

จากรูปที่ 3.4 เป็นบล็อกไดอะแกรมของ Wind Simulator โดยมีสัญญาณอินพุตคือ ความเร็วของโรเตอร์ (rad/s) และความเร็วมวล (m/s) และมีสัญญาณเอาต์พุตคือ ค่ากำลังทางกล P(Watt) และ ค่าทอร์ก T(NM) เพื่อนำค่าที่ได้ไป



คูณกับแฟคเตอร์เพื่อนำไปเทียบกับกระแสคอมมานด์และนำสัญญาณกระแสไปขับขาเกต โดยบล็อกไดอะแกรมดังกล่าวข้างต้นมาจากสมการดังนี้

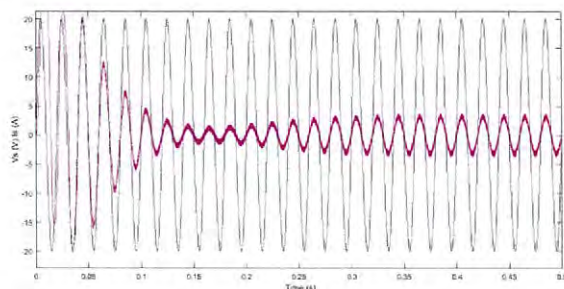
$$P_m = \frac{1}{2} \pi \rho C(\lambda, \beta) r^3 v_w^2$$

$$T_m = \frac{P_m}{\omega_t}$$

รูปที่ 3.4 บล็อกไดอะแกรมภายในของแบบจำลองกังหันลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

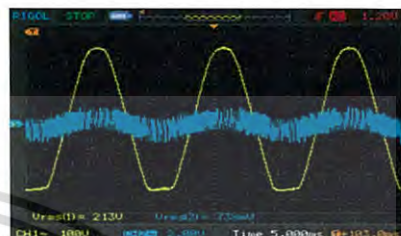
### 3.4 ผลการจำลองการทำงานที่กริด



รูปที่ 3.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันที่กริด(กราฟสีเหลืองแสดงกระแส ในหน่วย แอมแปร์ ,กราฟสีน้ำเงินแสดงแรงดัน ในหน่วย โวลต์)

Vdc(V)	31.2	31.33	31.40	31.92
Power	19.97	35.09	42.39	52.35
%eff.	81.13	67.32	64.68	55.80

แรงดันกริดเท่ากับ 55 โวลต์ และแรงดันไฟตรงเท่ากับ 110 โวลต์



รูปที่ 4.1 การทำงานโหมดเรียงกระแส  
(Yel=100V/div,Blu=2V/div)

### 3.5 ผลการจำลองการทำงานที่แบบจำลองกังหันลม



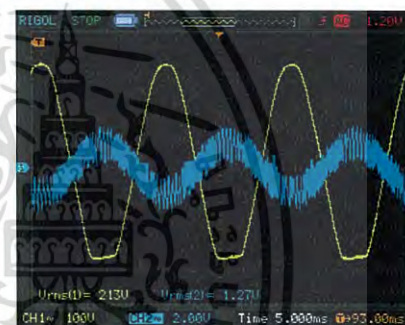
รูปที่ 3.6 กราฟแสดงคุณลักษณะแรงบิดและความเร็วของแบบจำลองกังหันลม

### 4. ผลการทดลอง

4.1 ผลการทดลองของคอนเวอร์เตอร์ คอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟสชนิดเชื่อมต่อกิตผลของการทดลองคอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟสชนิดเชื่อมต่อกิตเพื่อหาประสิทธิภาพของคอนเวอร์เตอร์และการทำงานของคอนเวอร์เตอร์ทั้งโหมดเรียงกระแสและโหมดอินเวอร์เตอร์

ตารางที่ 4.1 พารามิเตอร์ของคอนเวอร์เตอร์เมื่อแรงดันกริดเท่ากับ 20 โวลต์และแรงดันไฟตรงเท่ากับ 30 โวลต์

Iac(A)	1.28	2.61	3.33	4.67
Vac(V)	20.90	20.80	20.50	20.50
Power factor	0.92	0.96	0.96	0.98
Power(grid)	24.61	52.12	65.53	93.82
Idc(A)	0.64	1.12	1.35	1.64



รูปที่ 4.2 การทำงานโหมดอินเวอร์เตอร์

### 4.2 ผลการทดลองชุดจำลองกังหันลม

ตารางที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ต่างๆของแบบจำลองคุณลักษณะของลมที่ความเร็วลม 8 m/s

Speed (rpm)	Torque (Nm)	Pin(Watt)	Pout(Watt)
377.1	2.0	78.97	56.9
433.8	3.0	136.28	104.8
600.0	4.0	251.32	207.2
881.0	3.0	276.77	223.0
1014	1.9	201.75	147.1

#### 4.3 ผลการทดลองชุดเชื่อมต้อกริดกับแบบจำลองกังหันลม ขณะเปลี่ยนความเร็วลม

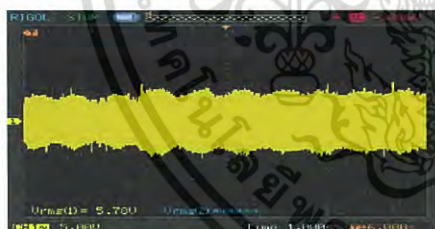
ผลการทดลองแสดงค่ากระแสเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงแรงบิดจาก 3.2 Nm เป็น 4.0 Nm



รูปที่ 4.3 การทำงานของแบบจำลองกังหันลมที่ความเร็วลม 7 m/s (Yel=5V/div,Blu=200V/div)



รูปที่ 4.4 การทำงานของแบบจำลองกังหันลมที่ความเร็วลม 8 m/s (Yel=5V/div,Blu=200V/div)



รูปที่ 4.5 การทำงานของแบบจำลองกังหันลมจากความเร็วลม 7m/s เป็น 8 m/s (Yel=5V/div)

#### 5.สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองการจำลองคุณลักษณะลมด้วยแบบจำลองกังหันลมที่ความเร็วลม 5-8 m/s จะพบว่าที่แต่ละค่าความเร็วลมเมื่อทำการควบคุมแรงดันที่ขดลวดผลิตให้มีค่าคงที่ที่ 220 โวลต์ และแรงดันที่อามาเจอร์ที่ถูกควบคุมแบบ Chopper one quadrant จะทำให้ความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงบิดทางกลและค่าความเร็วของมอเตอร์มีแนวโน้มตามคุณลักษณะลมของแต่ละความเร็วลม และเมื่อต้องการเปลี่ยนค่าความเร็วลมไปที่ค่าความเร็วลมต่างๆจะสามารถทำได้โดย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ควบคุมค่าแรงบิดให้มีค่าเปลี่ยนแปลงที่ค่าความเร็วมอเตอร์ค่าเดิมโดยการควบคุมค่าแรงบิดสามารถควบคุมโดยการควบคุมแรงดันที่ความต้านทานปรับค่าได้ที่อินพุต (A/D) ของไมโครคอนโทรลเลอร์ C2000 เพื่อให้ได้ค่าแรงบิดที่ต้องการ

ในการทดลองคอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟสชนิดเชื่อมต้อกริดได้ทดลองใช้ค่าแรงดันไฟตรงเชื่อมโยงหลายค่าได้แก่ 30, 50, 110 และ 150 โวลต์ตามลำดับ จากการทดลองการทำงานของคอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟสชนิดเชื่อมต้อกริดเพื่อดูการทำงานของคอนเวอร์เตอร์ในโหมดเรียงกระแสและโหมดอินเวอร์เตอร์ประสิทธิภาพของคอนเวอร์เตอร์ จากการทดลองพบว่าคอนเวอร์เตอร์สามารถทำงานได้ดีทั้งสองโหมดเมื่อแรงดันไฟตรงที่คอนเวอร์เตอร์น้อยกว่าค่าแรงดันไฟตรงเชื่อมโยงจะทำให้พลังงานไหลออกจากกริด กราฟของกระแสและแรงดันมีเฟสตรงกัน และเมื่อแรงดันไฟตรงที่คอนเวอร์เตอร์มากกว่าแรงดันไฟตรงเชื่อมโยงจะทำให้กราฟกระแสและแรงดันเฟสตรงกันข้ามกัน ในส่วนของประสิทธิภาพของคอนเวอร์เตอร์เท่ากับ 67.23, 72.17, 88.82, 84.05 เปอร์เซ็นต์เมื่อแรงดันไฟตรงเชื่อมโยงเท่ากับ 30, 50, 110 และ 150 โวลต์ตามลำดับ จะเห็นว่าประสิทธิภาพของคอนเวอร์เตอร์ที่แรงดันไฟตรงเท่ากับ 110 โวลต์จะมีประสิทธิภาพดีที่สุดในเรื่องค่าพารามิเตอร์ต่างๆถูกออกแบบมาสำหรับแรงดันไฟตรงเชื่อมโยงเท่ากับ 110 โวลต์

การนำแบบจำลองกังหันลมต่อเข้ากับชุดเชื่อมต้อกริดที่มีการควบคุมกระแสแบบฮิสเตอร์รีซิสเพื่อควบคุมค่าแรงดันไฟตรงเชื่อมโยงให้มีค่าคงที่ เพื่อให้เกิดการถ่ายโอนของพลังงานระหว่างกริดและแบบจำลองกังหันลม จะพบว่าหากชุดจำลองกังหันลมสามารถผลิตพลังงานที่มีค่าโวลต์ที่ผลิตได้ มากกว่าค่าแรงดันไฟตรงเชื่อมโยง จะทำให้เกิดการถ่ายโอนพลังงานจากชุดจำลองกังหันลมเข้าสู่กริด โดยผลที่ได้จากกราฟ คือ กราฟของแรงดันและกระแสจากกริดจะมีเฟสตรงข้ามกัน และหากชุดจำลองกังหันลมไม่สามารถผลิตพลังงานที่มีค่าโวลต์ที่ผลิตมากกว่าค่าแรงดันไฟตรงเชื่อมโยง ก็จะทำให้เกิดการถ่ายโอนพลังงานจากกริดเข้าสู่ขั้วไปยังชุดจำลองกังหันลมโดยผลที่ได้จากกราฟ คือ กราฟของแรงดันและกระแสจากกริดจะมีเฟสตรงกัน ดังนั้นจะเห็นว่าการเชื่อมต่อกันของชุดจำลองกังหันลมและชุดเชื่อมต้อกริดนั้นสามารถทำการถ่ายโอนพลังงานให้กันได้ได้อย่างมี

## 6.กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์นี้จะไม่สำเร็จได้ถ้าไม่ได้รับการสนับสนุนด้านต่างๆ ผู้จัดทำรู้สึกทราบบ้างถึงความกรุณาที่ รศ.ดร.วิจิตร กิณเรศ และ รศ.ดร.เฉลิมชาติ มานพ อาจารย์ที่ปรึกษาที่ได้ให้ความรู้ คำแนะนำและความเมตตาให้โอกาสตลอดจนแนวคิดที่ดีที่ใช้ในการทำงานจนการจัดทำปริญญาานิพนธ์เล่มนี้เสร็จสมบูรณ์ผู้จัดทำขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง ขอขอบคุณอาจารย์พูนศรี วรรณการ ที่ได้คำปรึกษา คำแนะนำที่เป็นประโยชน์พร้อมทั้งเอื้อเฟื้ออุปกรณ์ชุดมอเตอร์ในการทดลอง ตลอดจนเสียสละเวลาอันมีค่าและสิ่งต่างๆ จนทำให้ปริญญาานิพนธ์เล่มนี้เสร็จสมบูรณ์ คณะผู้จัดทำจึงขอขอบคุณจากใจจริง ณ โอกาสนี้ ขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ ในห้องปฏิบัติการ Power Electronic and Machine Control ที่ช่วยแก้ปัญหาด้วยดีมาโดยตลอด นอกจากนั้นผู้จัดทำต้องขอขอบคุณ คุณนคร สักดิ์ แสงศรี เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการที่คอยอำนวยความสะดวกเกี่ยวกับอุปกรณ์และเครื่องมือวัดต่างๆ ตลอดจนเจ้าหน้าที่ห้องธุรการที่ให้คำแนะนำเกี่ยวกับการเบิกใบเสร็จของการจัดทำปริญญาานิพนธ์นี้ท้ายที่สุดนี้คณะผู้จัดทำ ขอกราบขอบพระคุณ บิดามารดา และครอบครัวซึ่งให้การสนับสนุนในด้านการเงินและให้กำลังใจอีกทั้งเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ที่ให้ความช่วยเหลือในด้านการจัดหาอุปกรณ์ต่างๆ ในการจัดทำปริญญาานิพนธ์ครั้งนี้จนสำเร็จได้ด้วยดี ต้องกราบขอบพระคุณทุกท่านเป็นอย่างสูง

## 7.เอกสารอ้างอิง

- [1]Vijit Kinnares,Narongchai Thodsaporn,Chaiwut Choorak, "Wind Turbine Simulator Based Grid Connected Asymmetrical Two-Phase Induction Generator",IEEE Transactions on Electrical Industrial Electron.,Vol. 136, No.6, 2015
- [2]เพลิน จันทรสุยะ,เครื่องจำลองกังหันลมชนิดมุมใบพัดคงที่ โดยใช้ระบบขับเคลื่อนไฟฟ้ากระแสตรงแบบสี่จุดภาค, วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต,วิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัย เชียงใหม่,2556
- [2]รศ.ดร. วีระเชษฐ์ ชันเงิน และ ดร.วุฒิพล ธาราธิ์เรชษฐ์ ,อิเล็กทรอนิกส์กำลัง,พิมพ์ครั้งที่14,กรุงเทพมหานคร,ห้างหุ้นส่วนจำกัด วี.เจ. พรินติ้ง,ปีที่พิมพ์ 2557

## 8.ประวัติผู้เขียน



นายวิชัย แซ่กัว รหัสนักศึกษา 57010508  
เกิดวันที่ 15 สิงหาคม 2538 ที่จังหวัดชลบุรี  
ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรี  
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะ  
วิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอม  
เกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



นายธนวิทย์ วิภาณณ์โรจน์ รหัสนักศึกษา  
57010570 เกิดวันที่ 18 พฤษภาคม 2539  
ที่จังหวัดตาก ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับ  
ปริญญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะ  
วิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระ  
จอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



นายธนิช ชมภูศรี รหัสนักศึกษา 57010573  
เกิดวันที่ 9 พฤศจิกายน 2538 ที่จังหวัด  
กำแพงเพชร ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับ  
ปริญญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะ  
วิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอม  
เกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



นายธนากรณ วงศ์อินทร์รหัสนักศึกษา  
57010584 เกิดวันที่ 20 ธันวาคม 2538 ที่  
จังหวัดเพชรบูรณ์ ปัจจุบันกำลังศึกษาใน  
ระดับปริญญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า  
คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยี  
พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## WIND SIMULATOR BASED GRID CONNECTED DC GENERATOR

T. Saekua, T. Wiphamaneeroj, T. Chompusri, T. Wongkain and W. Kinnares

### Abstract

This paper present the design of grid connected by hysteresis current control to be able connect wind simulator(dc generator). System of grid connect control by signal of hysteresis current control for switches (IGBT). The controller in this project is microcontroller C2000(TMS320F28377S). The microcontroller C2000 use Matlab Simulink 2017a to write algorithms of control system. The converter control de voltage at de link as constant 110 volt. The wind simulator use de generator by one quadrant dc chopper control to simulation characteristics of wind each wind speeds. The connection between grid connect and wind simulator will cause power flow in this system. The power transfer in this system have 2 mode, Rectifying and Inverting Mode. Therefore this system will be able to generate and regenerate power.

### Introduction

Nowadays, most of the energy used in Thailand's transportation, industry and household comes from natural gas and coal. These energy impact on the environment and the economy. Therefore, renewable energy such as wind power is very influential today. The advantage of wind energy is that it is clean and free of charge.

This paper designed wind simulator by used DC motor coupling with generator and connected with converter for transfer energy to grid. For Wind simulator use One quadrant dc chopper for control torque of dc motor according to the characteristics of wind turbine and designed converter for transfer energy form Wind simulator to grid. This converter is designed de link 110 volt and switches(IGBT) are control by hysteresis current control. Therefore this converter can transfer energy 2 mode rectifying mode and inverting mode.

### Methodology

- Designed converter to transfer energy at de link 110 volt and use MATLAB/Simulink for simulate.
- This converter use hysteresis current control to control switches(IGBT) for 2 modes rectifying mode and inverting mode. Fig.2 represent hysteresis current control in rectifying mode.
- Wind simulator use One quadrant dc chopper for control torque of dc motor.

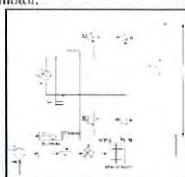


Fig1. Power and control circuit

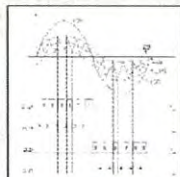


Fig2. Hysteresis current control in rectifying mode

### Results

The result of this experiment

- Fig3. Represent graph of grid voltage that in phase with graph of grid current in rectifying mode.
- Fig4. Represent graph of grid voltage that out of phase with graph of grid current in inverting mode.
- Fig5. Represent de link equal to 110 volt that was controlled by hysteresis current control.
- Fig6. Graphs of wind characteristics 4-12 m/s.

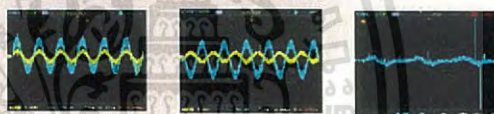
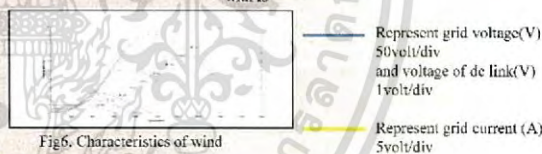


Fig3. Vg in phase with Is Fig4. Vg out of phase with Is Fig5. DC link 110 Volt



### Conclusion

From the experiment, it was clearly that

1. Wind simulator is controlled torque by one quadrant dc chopper according to the characteristics of wind turbine.
2. Converter is controlled de link 110 volt by hysteresis current control in two modes and transfer energy in rectifying and inverting mode
  - When Vdc more than DC link(110V) power transfer form wind simulator to grid (Inverting mode :Graph of voltage out of phase with graph of current)
  - When Vdc less than DC link(110V) power transfer form grid to wind simulator (Rectifying mode :Graph of voltage in phase with graph of current)

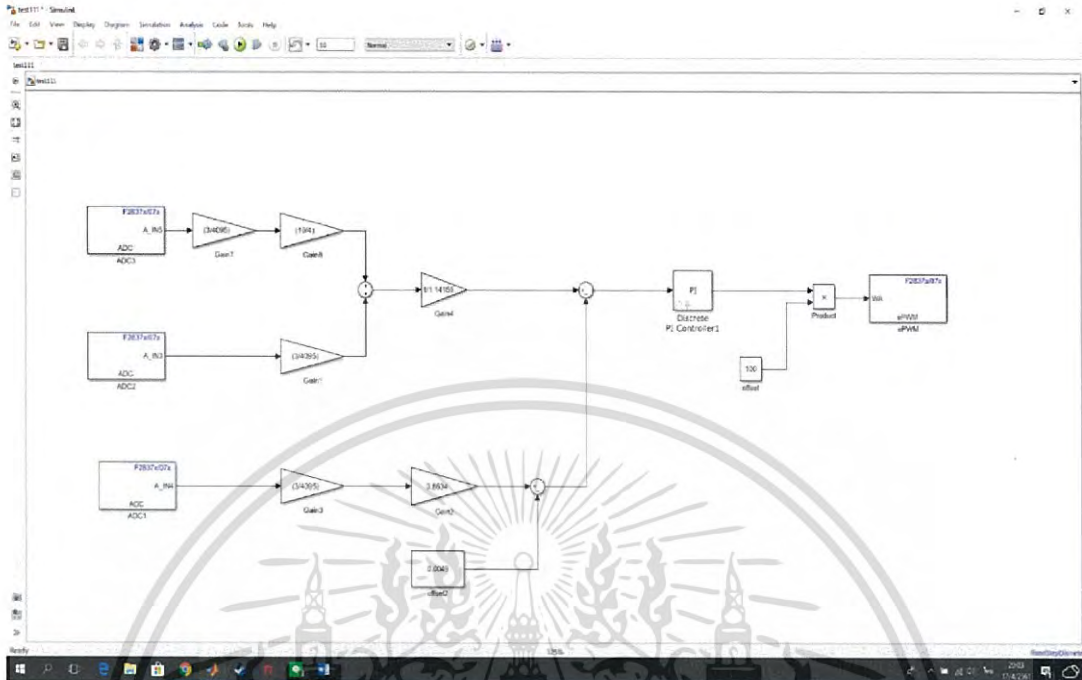
### References

- [1] Dianguo Xu, Wei Zhang, and Hongfei Ma, "Research on Wind Turbine Emulation based on DC Motor", IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications, pp.2589-2593, May 2007.
- [2] Ravita D.Prasad, R. C. Bansal, and M. Sauturaga, "Wind Energy Analysis for Vadavudra," IEEE Transactions on Energy Conversion, vol. 24 no. 3, pp. 750-757, September 2003.

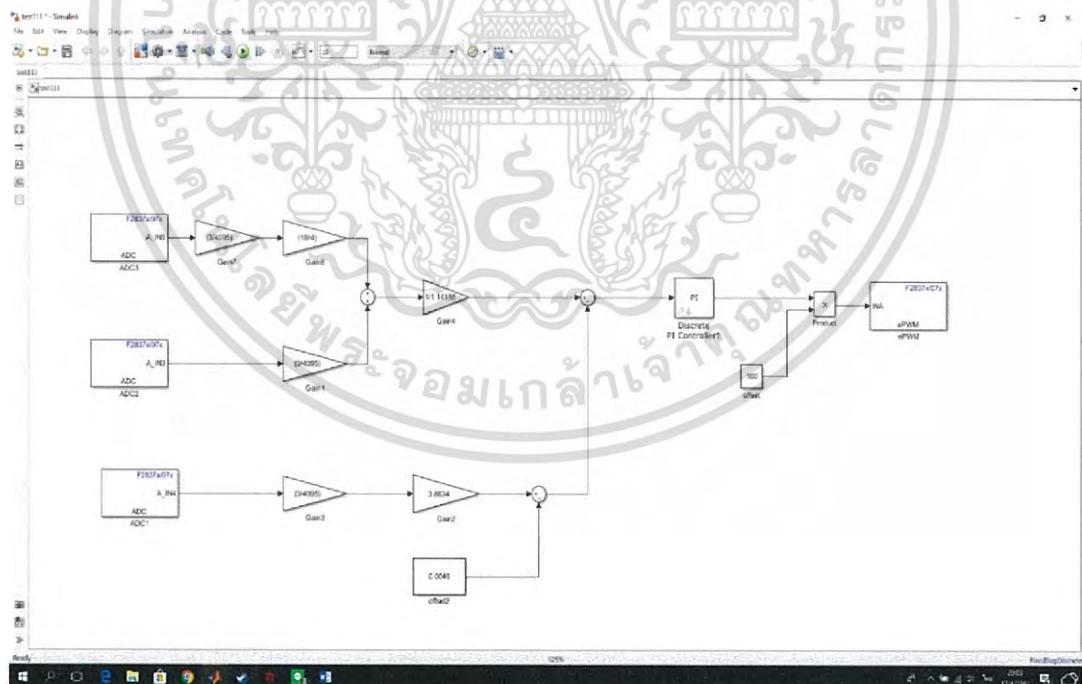




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ค.1 บล็อกไดอะแกรมของแบบจำลอง



รูปที่ ค.2 บล็อกไดอะแกรมของชุดคอนเวอร์เตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ISO124 Precision Lowest-Cost Isolation Amplifier

### 1 Features

- 100% Tested for High-Voltage Breakdown
- Rated 1500 Vrms
- High IMR: 140 dB at 60 Hz
- 0.010% Maximum Nonlinearity
- Bipolar Operation:  $V_o = \pm 10$  V
- DIP-16 and SO-28
- Ease of Use: Fixed Unity Gain Configuration
- $\pm 4.5$ -V to  $\pm 18$ -V Supply Range

### 2 Applications

- Industrial Process Control:
  - Transducer Isolator, Isolator for Thermocouples, RTDs, Pressure Bridges, and Flow Meters, 4-mA to 20-mA Loop Isolation
- Ground Loop Elimination
- Motor and SCR Control
- Power Monitoring
- PC-Based Data Acquisition
- Test Equipment

### 3 Description

The ISO124 is a precision isolation amplifier incorporating a novel duty cycle modulation-demodulation technique. The signal is transmitted digitally across a 2-pF differential capacitive barrier. With digital modulation, the barrier characteristics do not affect signal integrity, thus resulting in excellent reliability and good high-frequency transient immunity across the barrier. Both barrier capacitors are imbedded in the plastic body of the package.

The ISO124 is easy to use. No external components are required for operation. The key specifications are 0.010% maximum nonlinearity, 50-kHz signal bandwidth, and  $200\text{-}\mu\text{V}/^\circ\text{C}$   $V_{os}$  drift. A power supply range of  $\pm 4.5$  V to  $\pm 18$  V and quiescent currents of  $\pm 5$  mA on  $V_{S1}$  and  $\pm 5.5$  mA on  $V_{S2}$  make the ISO124 device ideal for a wide range of applications.

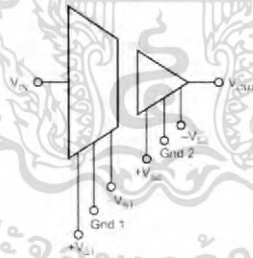
The ISO124 is available in SOIC-16 and SOIC-28 plastic surface-mount packages.

Device Information<sup>(1)</sup>

PART NUMBER	PACKAGE	BODY SIZE (NOM)
ISO124	SOIC (16)	17.90 mm × 7.50 mm
	SOIC (28)	20.01 mm × 6.61 mm

(1) For all available packages, see the orderable addendum at the end of the data sheet.

### 4 Simplified Schematic



An IMPORTANT NOTICE at the end of this data sheet addresses availability, warranty, changes, use in safety-critical applications, intellectual property matters and other important disclaimers. PRODUCTION DATA.

## Table of Contents

1	Features .....	1	Feature Description .....	9
2	Applications .....	1	8.4 Device Functional Modes .....	9
3	Description .....	1	9 Application and Implementation .....	10
4	Simplified Schematic .....	1	9.1 Application Information .....	10
5	Revision History .....	2	9.2 Typical Applications .....	11
6	Pin Configuration and Functions .....	3	10 Power Supply Recommendations .....	19
7	Specifications .....	4	10.1 Signal and Supply Connections .....	19
7.1	Absolute Maximum Ratings .....	4	11 Layout .....	20
7.2	ESD Ratings .....	4	11.1 Layout Guidelines .....	20
7.3	Recommended Operating Conditions .....	4	11.2 Layout Example .....	20
7.4	Thermal Information .....	4	12 Device and Documentation Support .....	21
7.5	Electrical Characteristics .....	5	12.1 Documentation Support .....	21
7.6	Typical Characteristics .....	6	12.2 Trademarks .....	21
8	Detailed Description .....	8	12.3 Electrostatic Discharge Caution .....	21
8.1	Overview .....	8	12.4 Glossary .....	21
8.2	Functional Block Diagram .....	8	13 Mechanical, Packaging, and Orderable Information .....	21

---

8.3

### 5 Revision History

Changes from Revision C (September 2005) to Revision D	Page
<ul style="list-style-type: none"> <li>Added ESD Ratings table, Feature Description section, Device Functional Modes, Application and Implementation section, Power Supply Recommendations section, Layout section, Device and Documentation Support section, and Mechanical, Packaging, and Orderable Information section .....</li> </ul>	1

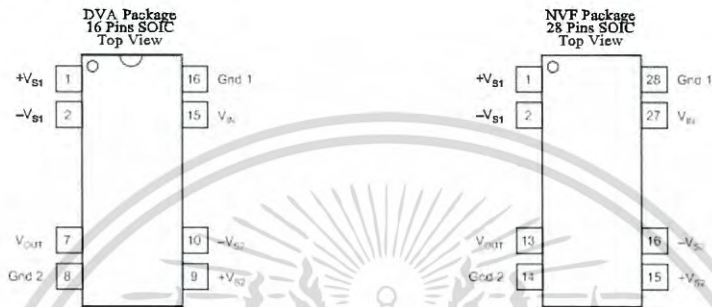
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



www.ti.com

ISO124  
SROS074D—SEPTEMBER 1997—REVISED JULY 2016

## 6 Pin Configuration and Functions



Pin Functions

NAME	PIN		I/O	DESCRIPTION
	SOIC	SOIC		
GND	8	14	—	Low-side ground reference
	16	28	—	High-side ground reference
$V_{IN}$	15	27	I	High-side analog input
$V_{OUT}$	7	13	O	Low-side analog output
$+V_{S1}$	1	1	—	High-side positive analog supply
$-V_{S1}$	2	2	—	High-side negative analog supply
$+V_{S2}$	9	15	—	Low-side positive analog supply
$-V_{S2}$	10	16	—	Low-side negative analog supply

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ISO124

SRO8074D—SEPTEMBER 1997—REVISED JULY 2016

www.ti.com

## 7 Specifications

### 7.1 Absolute Maximum Ratings

over operating free-air temperature range (unless otherwise noted) <sup>(1)</sup>

	MIN	MAX	UNIT
Supply voltage		±18	V
$V_{IN}$		100	V
Continuous isolation voltage		1500	V <sub>rms</sub>
Junction temperature		125	°C
Output short to common		Continuous	
Storage temperature, $T_{stg}$	-40	125	°C

(1) Stresses beyond those listed under Absolute Maximum Ratings may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, which do not imply functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated under Recommended Operating Conditions. Exposure to absolute-maximum-rated conditions for extended periods may affect device reliability.

### 7.2 ESD Ratings

		VALUE	UNIT
$V_{(ESD)}$ Electrostatic discharge	Human body model (HBM), per ANSI/ESDA/JEDEC JS-001 <sup>(1)</sup>	±1000	V
	Charged-device model (CDM), per JEDEC specification JESD22-C101 <sup>(2)</sup>	±500	

(1) JEDEC document JEP155 states that 500-V HBM allows safe manufacturing with a standard ESD control process.

(2) JEDEC document JEP157 states that 250-V CDM allows safe manufacturing with a standard ESD control process.

### 7.3 Recommended Operating Conditions

over operating free-air temperature range (unless otherwise noted)

	MIN	NOM	MAX	UNIT
$T_A$	-25		85	°C
$V_{S1}$		±15		V
$V_{S2}$		±15		V
$V_{RI}$		±10		V

### 7.4 Thermal Information

THERMAL METRIC <sup>(1)</sup>	ISO124		UNIT
	DVA (SOIC)	NVR (SOIC)	
	16 PINS	28 PINS	
$R_{\theta A}$ Junction-to-ambient thermal resistance	79.8	51.0	°C/W
$R_{\theta C(top)}$ Junction-to-case (top) thermal resistance	32.9	32.4	°C/W
$R_{\theta B}$ Junction-to-board thermal resistance	42.2	29.5	°C/W
$\psi_{JT}$ Junction-to-top characterization parameter	6.6	10.4	°C/W
$\psi_{JB}$ Junction-to-board characterization parameter	40.9	29.0	°C/W

(1) For more information about traditional and new thermal metrics, see Semiconductor and IC Package Thermal Metrics.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



www.ti.com

SROS074D – SEPTEMBER 1997 – REVISED JULY 2016

ISO124

## 7.5 Electrical Characteristics

At  $T_A = +25^\circ\text{C}$ ,  $V_{S1} = V_{S2} = \pm 15\text{ V}$ , and  $R_L = 2\text{ k}\Omega$  unless otherwise noted.

PARAMETER	TEST CONDITIONS	ISO124P, U			UNIT
		MIN	TYP	MAX	
<b>ISOLATION</b>					
Rated Voltage, continuous ac 60 Hz		1500			$V_{AC}$
100% Test <sup>(1)</sup>	1s, 5pc PD	2400			$V_{AC}$
Isolation Mode Rejection	60 Hz		140		dB
Barrier Impedance			$10^{14} \parallel 2$		$\Omega \parallel \text{pF}$
Leakage Current at 60 Hz	$V_{IBO} = 240\text{ V}_{RMS}$		0.18	0.5	$\mu\text{A}_{RMS}$
<b>GAIN</b>					
Nominal Gain	$V_O = \pm 10\text{ V}$		1		V/V
Gain Error			$\pm 0.05$	$\pm 0.50$	%FSR
Gain vs Temperature			$\pm 10$		ppm/ $^\circ\text{C}$
Nonlinearity <sup>(2)</sup>			$\pm 0.005$	$\pm 0.010$	%FSR
<b>INPUT OFFSET VOLTAGE</b>					
Initial Offset			$\pm 20$	$\pm 50$	mV
vs Temperature			$\pm 200$		$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
vs Supply			$\pm 2$		mV/V
Noise			4		$\mu\text{V}/\sqrt{\text{Hz}}$
<b>INPUT</b>					
Voltage Range		$\pm 10$	$\pm 12.5$		V
Resistance			200		$\text{k}\Omega$
<b>OUTPUT</b>					
Voltage Range		$\pm 10$	$\pm 12.5$		V
Current Drive		$\pm 5$	$\pm 15$		mA
Capacitive Load Drive			0.1		$\mu\text{F}$
Ripple Voltage <sup>(3)</sup>			20		mV <sub>p-p</sub>
<b>FREQUENCY RESPONSE</b>					
Small-Signal Bandwidth			50		kHz
Slew Rate			2		V/ $\mu\text{s}$
Settling Time 0.10%	$V_O = \pm 10\text{ V}$		50		$\mu\text{s}$
Settling Time 0.01%			350		$\mu\text{s}$
Overload Recovery Time			150		$\mu\text{s}$
<b>POWER SUPPLIES</b>					
Rated Voltage			$\pm 15$		V
Voltage Range		$\pm 4.5$		$\pm 18$	V
$V_{S1}$ $V_{S2}$ Quiescent Current			$\pm 5.0$	$\pm 7.0$	mA
			$\pm 5.5$	$\pm 7.0$	
<b>TEMPERATURE RANGE</b>					
Specification		-25		85	$^\circ\text{C}$
Operating		-25		85	$^\circ\text{C}$
Storage		-40		125	$^\circ\text{C}$
$R_{\theta JA}$ $R_{\theta JC}$ Thermal Resistance			100		$^\circ\text{C}/\text{W}$
			65		$^\circ\text{C}/\text{W}$

(1) Tested at 1.6 X rated, fail on 5 pC partial discharge.

(2) Nonlinearity is the peak deviation of the output voltage from the best-fit straight line. It is expressed as the ratio of deviation to FSR.

(3) Ripple frequency is at carrier frequency (500 kHz).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

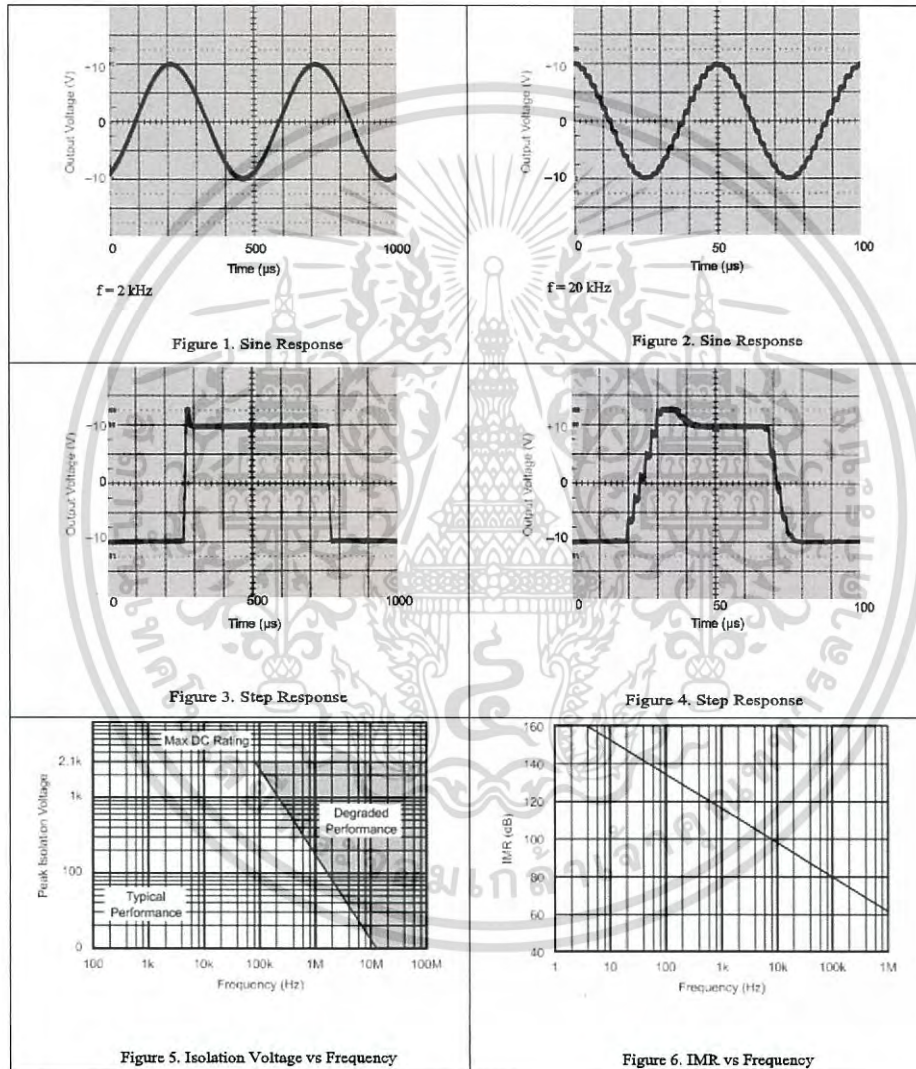
ISO124

SBOS074D – SEPTEMBER 1997 – REVISED JULY 2016

www.ti.com

## 7.6 Typical Characteristics

At  $T_A = +25^\circ\text{C}$ , and  $V_S = \pm 15\text{ V}$ , unless otherwise noted.



Typical Characteristics (continued)

At  $T_A = +25^\circ\text{C}$ , and  $V_S = \pm 15\text{ V}$ , unless otherwise noted.

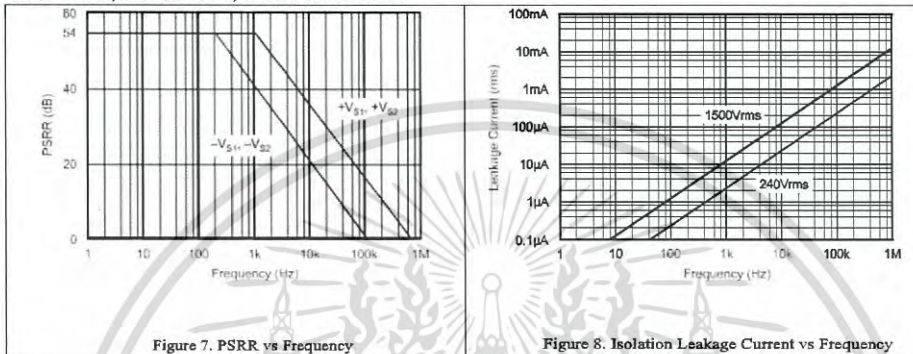


Figure 7. PSRR vs Frequency

Figure 8. Isolation Leakage Current vs Frequency

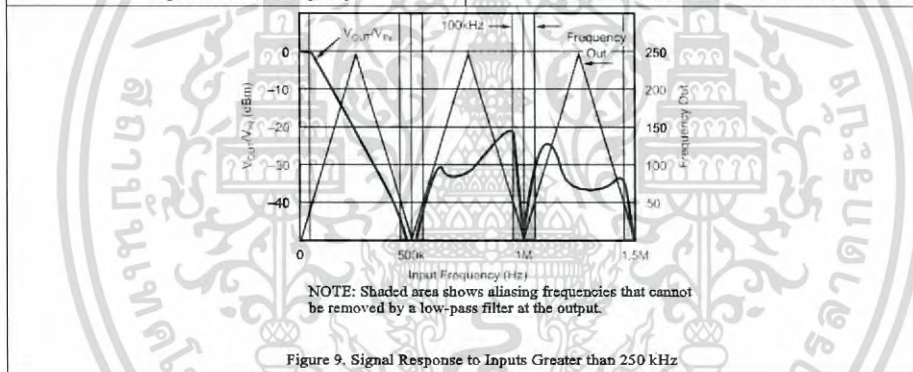


Figure 9. Signal Response to Inputs Greater than 250 kHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ISO124

SBO5074D—SEPTEMBER 1997—REVISED JULY 2016

www.ti.com

## 8 Detailed Description

### 8.1 Overview

The ISO124 isolation amplifier uses an input and an output section galvanically isolated by matched 1-pF isolating capacitors built into the plastic package. The input is duty-cycle modulated and transmitted digitally across the barrier. The output section receives the modulated signal, converts it back to an analog voltage and removes the ripple component inherent in the demodulation. Input and output sections are fabricated, then laser trimmed for exceptional circuitry matching common to input and output sections. The sections are then mounted on opposite ends of the package with the isolating capacitors mounted between the two sections. The ISO124 contains 250 transistors.

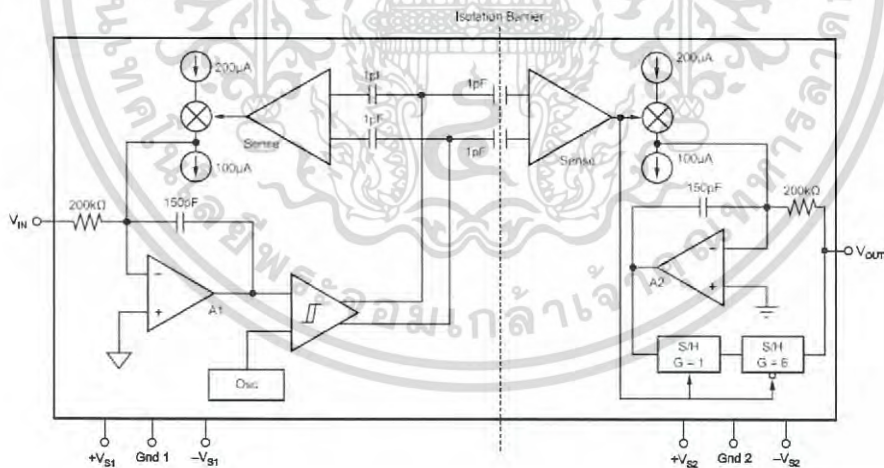
#### 8.1.1 Module

An input amplifier (A1, as shown in Functional Block Diagram) integrates the difference between the input current ( $V_{IN}/200\text{ k}\Omega$ ) and a switched  $\pm 100\text{-}\mu\text{A}$  current source. This current source is implemented by a switchable  $200\text{-}\mu\text{A}$  source and a fixed  $100\text{-}\mu\text{A}$  current sink. To understand the basic operation of the modulator, assume that  $V_{IN} = 0\text{ V}$ . The integrator will ramp in one direction until the comparator threshold is exceeded. The comparator and sense amp will force the current source to switch; the resultant signal is a triangular waveform with a 50% duty cycle. The internal oscillator forces the current source to switch at  $500\text{ kHz}$ . The resultant capacitor drive is a complementary duty-cycle modulation square wave.

#### 8.1.2 Demodulator

The sense amplifier detects the signal transitions across the capacitive barrier and drives a switched current source into integrator A2. The output stage balances the duty-cycle modulated current against the feedback current through the  $200\text{-k}$  feedback resistor, resulting in an average value at the  $V_{OUT}$  pin equal to  $V_{IN}$ . The sample-and-hold amplifiers in the output feedback loop serve to remove undesired ripple voltages inherent in the demodulation process.

### 8.2 Functional Block Diagram





www.ti.com

ISO124

SBS074D-SEPTEMBER 1997-REVISED JULY 2016

### 8.3 Feature Description

#### 8.3.1 Isolation Amplifier

The ISO124 is a precision analog isolation amplifier. The input signal is transmitted digitally across a high-voltage differential capacitive barrier. With digital modulation, the barrier characteristics do not affect signal integrity, resulting in excellent reliability and high-frequency transient immunity.

#### 8.4 Device Functional Modes

The ISO124 device does not have any additional functional modes.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ISO124

SRO6074D—SEPTEMBER 1997—REVISED JULY 2016

www.ti.com

## 9 Application and Implementation

### NOTE

Information in the following applications sections is not part of the TI component specification, and TI does not warrant its accuracy or completeness. TI's customers are responsible for determining suitability of components for their purposes. Customers should validate and test their design implementation to confirm system functionality.

### 9.1 Application Information

#### 9.1.1 Carrier Frequency Considerations

The ISO124 amplifier transmits the signal across the isolation barrier by a 500-kHz duty-cycle modulation technique. For input signals having frequencies below 250 kHz, this system works like any linear amplifier. But for frequencies above 250 kHz, the behavior is similar to that of a sampling amplifier. Figure 9 shows this behavior graphically; at input frequencies above 250 kHz, the device generates an output signal component of reduced magnitude at a frequency below 250 kHz. This is the aliasing effect of sampling at frequencies less than two times the signal frequency (the Nyquist frequency). At the carrier frequency and its harmonics, both the frequency and amplitude of the aliasing go to zero.

#### 9.1.2 Isolation Mode Voltage Induced Errors

IMV can induce errors at the output as indicated by the plots of IMV vs Frequency. It should be noted that if the IMV frequency exceeds 250 kHz, the output also will display spurious outputs (aliasing) in a manner similar to that for  $V_{IN} > 250$  kHz and the amplifier response will be identical to that shown in Figure 9. This occurs because IMV-induced errors behave like input-referred error signals. To predict the total error, divide the isolation voltage by the IMR shown in Figure 11 and compute the amplifier response to this input-referred error signal from the data shown in Figure 9. For example, if a 800-kHz 1000-Vrms IMR is present, then a total of  $[(-60 \text{ dB}) + (-30 \text{ dB})] \times (1000 \text{ V}) = 32\text{-mV}$  error signal at 200 kHz plus a 1-V, 800-kHz error signal will be present at the output.

#### 9.1.3 High IMV dV/dt Errors

As the IMV frequency increases and the dV/dt exceeds 1000 V/ $\mu$ s, the sense amp may start to false trigger, and the output will display spurious errors. The common-mode current being sent across the barrier by the high slew rate is the cause of the false triggering of the sense amplifier. Lowering the power-supply voltages below  $\pm 15$  V may decrease the dV/dt to 500 V/M s for typical performance.

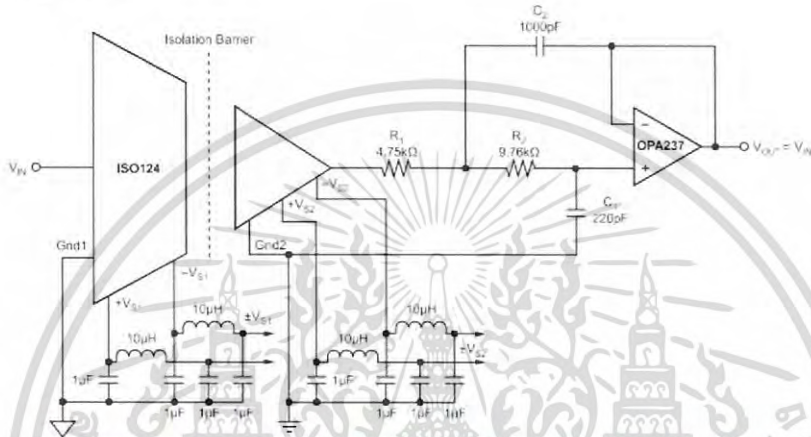
#### 9.1.4 High Voltage Testing

TI has adopted a partial discharge test criterion that conforms to the German VDE0884 Optocoupler Standards. This method requires the measurement of minute current pulses ( $< 5$  pC) while applying 2400-Vrms, 60-Hz high-voltage stress across every ISO124 isolation barrier. No partial discharge may be initiated to pass this test. This criterion confirms transient overvoltage ( $1.5 \times 1500$  Vrms) protection without damage to the ISO124. Lifetest results verify the absence of failure under continuous rated voltage and maximum temperature.

This new test method represents the "state-of-the art" for nondestructive high-voltage reliability testing. It is based on the effects of nonuniform fields that exist in heterogeneous dielectric material during barrier degradation. In the case of void nonuniformities, electric field stress begins to ionize the void region before bridging the entire high-voltage barrier. The transient conduction of charge during and after the ionization can be detected externally as a burst of 0.01–0.1- $\mu$ s current pulses that repeat on each ac voltage cycle. The minimum ac barrier voltage that initiates partial discharge is defined as the "inception voltage." Decreasing the barrier voltage to a lower level is required before partial discharge ceases and is defined as the "extinction voltage." The package insulation processes have been characterized and developed to yield an inception voltage in excess of 2400 Vrms so that transient overvoltages below this level will not damage the ISO124. The extinction voltage is above 1500 Vrms so that even overvoltage induced partial discharge will cease once the barrier voltage is reduced to the 1500-Vrms (rated) level. Older high-voltage test methods relied on applying a large enough overvoltage (above rating) to break down marginal parts, but not so high as to damage good ones. Our new partial discharge testing gives us more confidence in barrier reliability than breakdown/no breakdown criteria.

## 9.2 Typical Applications

### 9.2.1 Output Filters



For more information concerning output filters, see Simple Output Filter Eliminates ISO Amp Output Ripple and Keeps Full Bandwidth and FilterPro™ MFB and Sallen-Key Low-Pass Filter Design Program User Guide.

Figure 10. ISO124 With Output Filter for Improved Ripple

#### 9.2.1.1 Design Requirements

The ISO124 isolation amplifiers (ISO amps) have a small (10 to 20 mVp-p typical) residual demodulator ripple at the output. A simple filter can be added to eliminate the output ripple without decreasing the 50kHz signal bandwidth of the ISO amp.

#### 9.2.1.2 Detailed Design Procedure

The ISO124 device is designed to have a 50-kHz single-pole (Butterworth) signal response. By cascading the ISO amp with a simple 50-kHz,  $Q = 1$ , two-pole, low-pass filter, the overall signal response becomes three-pole Butterworth. The result is a maximally flat 50-kHz magnitude response and the output ripple reduced below the noise level. Figure 10 shows the complete circuit. The two-pole filter is a unity-gain Sallen-Key type consisting of A1, R1, R2, C1, and C2. The values shown give  $Q = 1$  and  $f_{-3dB}$  bandwidth = 50 kHz. Because the op amp is connected as a unity-gain follower, gain and gain accuracy of the ISO amp are unaffected. Using a precision op amp such as the OPA602 also preserves the DC accuracy of the ISO amp.

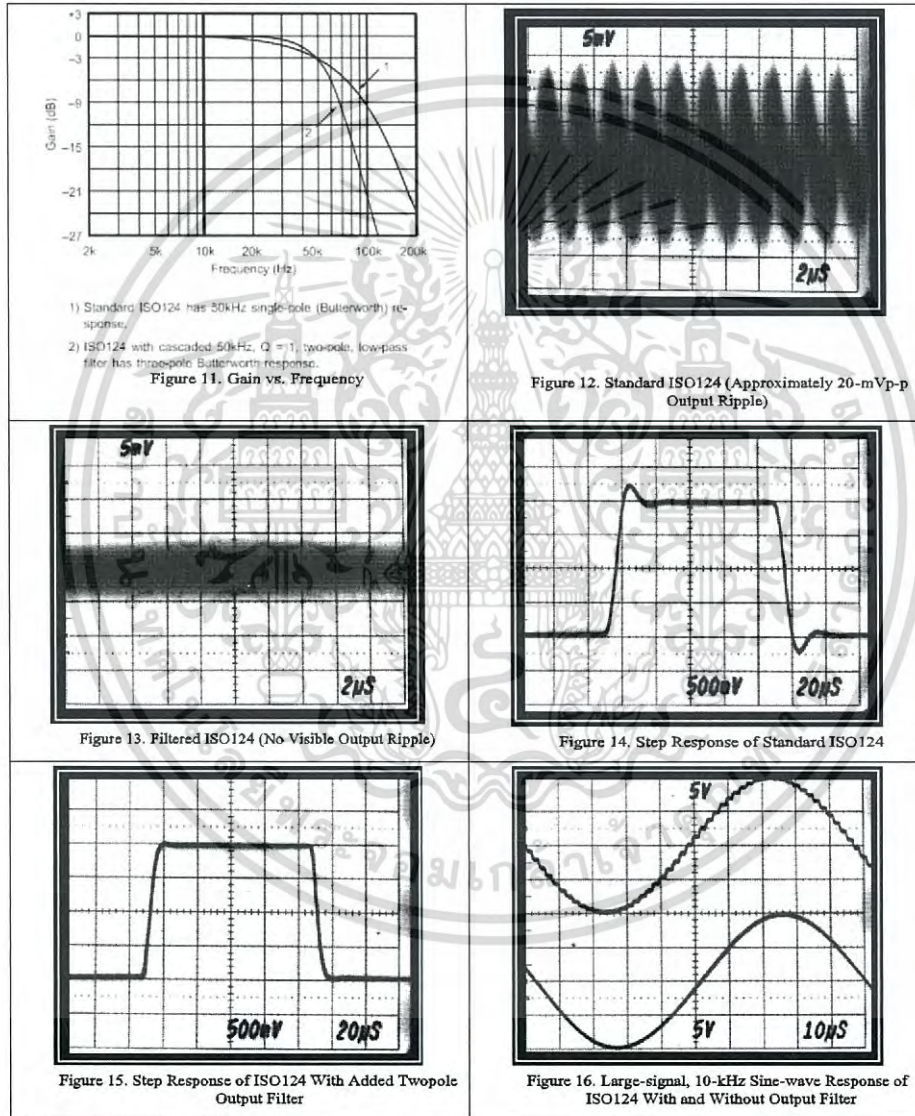
## ISO124

SBO8074D—SEPTEMBER 1997—REVISED JULY 2016

www.ti.com

## Typical Applications (continued)

## 9.2.1.3 Application Curves



Typical Applications (continued)

9.2.2 Battery Monitor

Figure 17 provides a means to monitor the cell voltage on a 600-V battery stack by using the battery as a power source for the isolated voltage.

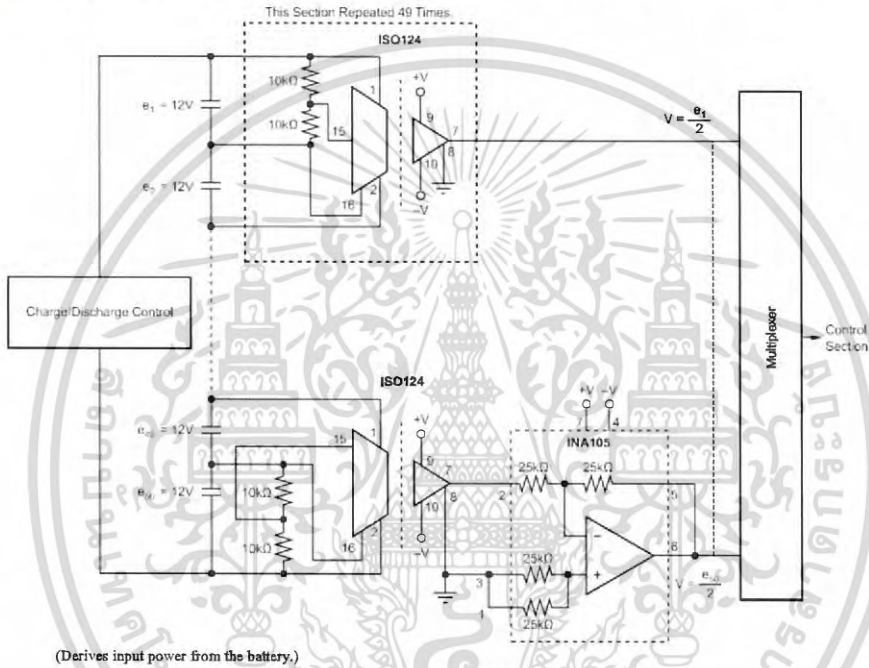


Figure 17. Battery Monitor for a 600-V Battery Power System

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ISO124

SROS074D—SEPTEMBER 1997—REVISED JULY 2016

www.ti.com

## Typical Applications (continued)

## 9.2.3 Programmable Gain Amplifier

In applications where variable gain configurations are required, a programmable gain amplifier like the PGA102 can be used with the ISO124 device. Figure 18 uses an ISO150 device to provide gain pin selection options to the PGA102 device.

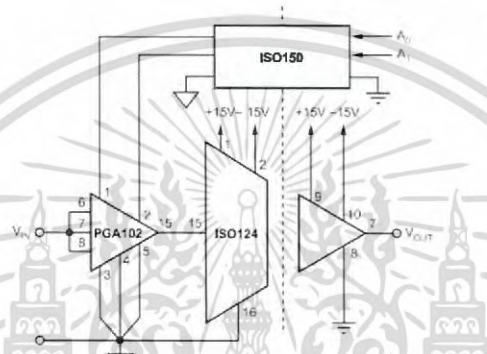


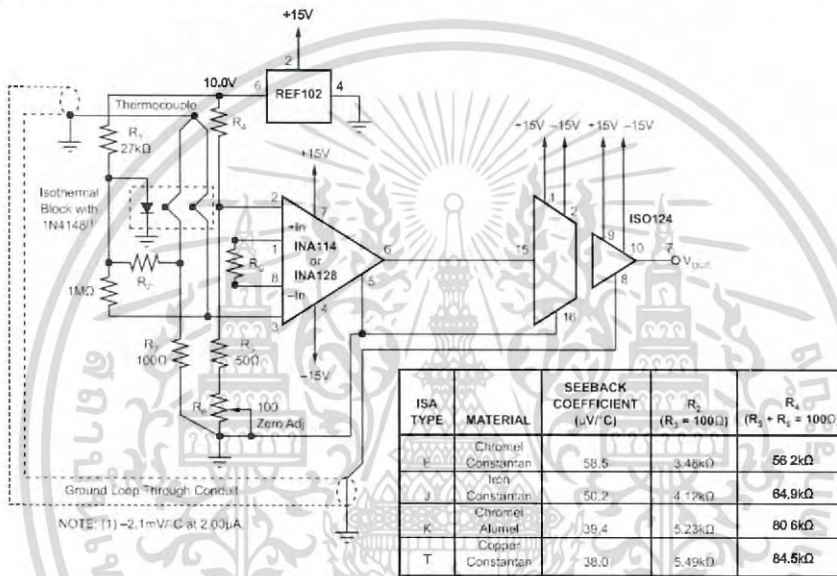
Figure 18. Programmable-Gain Isolation Channel With Gains of 1, 10, and 100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Typical Applications (continued)

### 9.2.4 Thermocouple Amplifier

For isolated temperature measurements, **Figure 19** provides an application solution using the INA114 or INA128 devices, feeding the input stage of the ISO124 device. The table provides suggested resistor values based on the type of thermistor used in the application.



**Figure 19. Thermocouple Amplifier With Ground Loop Elimination, Cold Junction Compensation, and Up-scale Burn-out**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ISO124

SROS074D—SEPTEMBER 1997—REVISED JULY 2016

www.ti.com

## Typical Applications (continued)

## 9.2.5 Isolated 4- to 20-mA Instrument Loop

For isolated temperature measurements in a 4- to 20-mA loop, Figure 20 provides a solution using the XTR101 and RCV420 devices. A high-performance PT100 resistance temperature detector (RTD) provides the user with an isolated 0- to 5-V representation of the isolated temperature measurement.

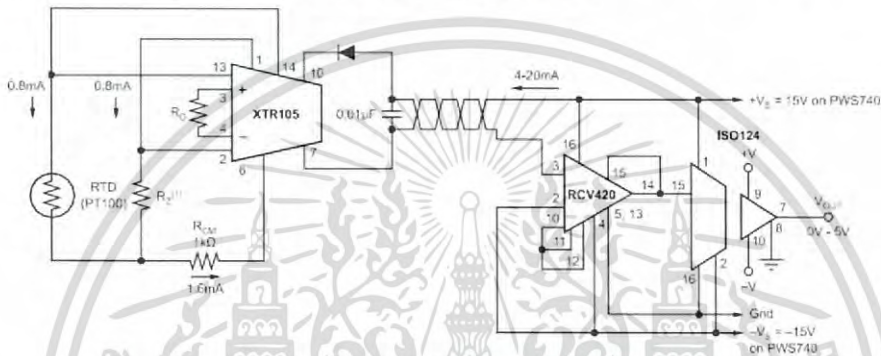
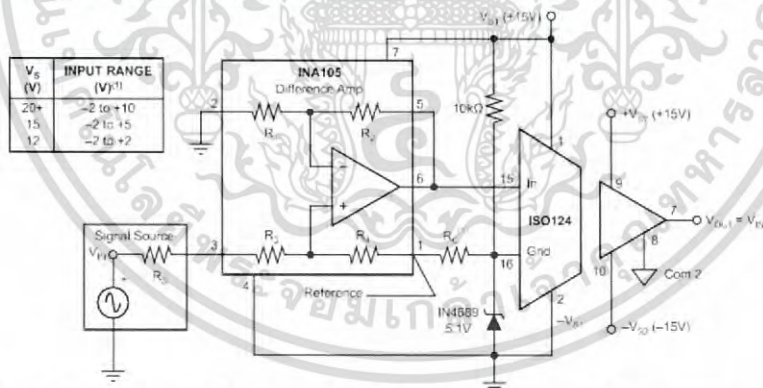


Figure 20. Isolated 4- to 20-mA Instrument Loop (RTD Shown)

## 9.2.6 Single-Supply Operation of the ISO124 Isolation Amplifier

The circuit shown in Figure 21 uses a 5.1-V Zener diode to generate the negative supply for an ISO124 from a single supply on the high-voltage side of the isolation amplifier. The input measuring range will be dependent on the applied voltage as noted in the accompanying table.



NOTE: Because the amplifier is unity gain, the input range is also the output range. The output can go to -2 V because the output section of the ISO amp operates from dual supplies.

For additional information see Single-Supply Operation of Isolation Amplifiers.

Figure 21. Single-Supply Operation of the ISO124 Isolation Amplifier Schematic

### Typical Applications (continued)

#### 9.2.7 Input-Side Powered ISO Amplifier

The user side of the ISO124 device can be powered from the high voltage side using an isolated DC-DC converter as shown in Figure 22.

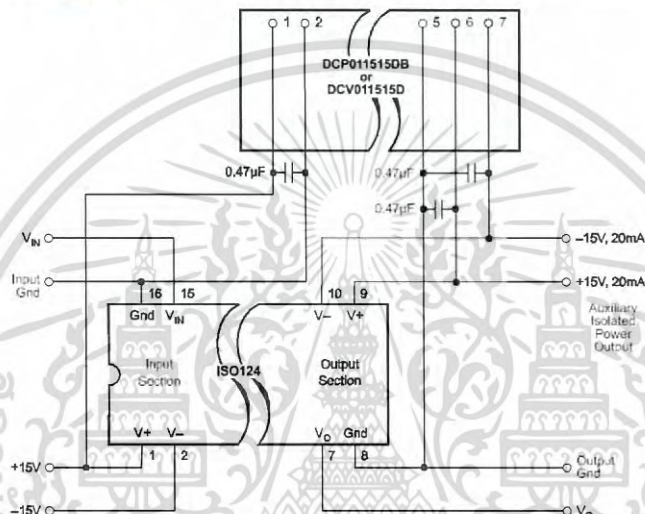


Figure 22. Input-Side Powered ISO Amplifier Schematic

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ISO124

SBO5074D – SEPTEMBER 1997 – REVISED JULY 2016

www.ti.com

## Typical Applications (continued)

## 9.2.8 Powered ISO Amplifier With Three-Port Isolation

Figure 23 illustrates an application solution that provides isolated power to both the user and high-voltage sides of the ISO124 amplifier.

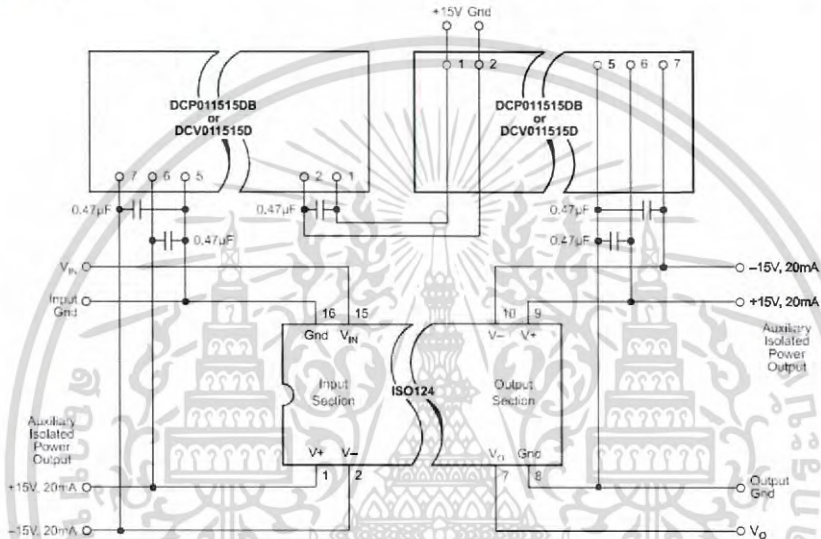


Figure 23. Powered ISO Amplifier With Three-Port Isolation Schematic

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 10 Power Supply Recommendations

### 10.1 Signal and Supply Connections

Each power-supply pin should be bypassed with 1- $\mu$ F tantalum capacitors located as close to the amplifier as possible. The internal frequency of the modulator/demodulator is set at 500 kHz by an internal oscillator. Therefore, if it is desired to minimize any feedthrough noise (beat frequencies) from a DC-DC converter, use a  $\pi$  filter on the supplies (see Figure 10). The ISO124 output has a 500-kHz ripple of 20 mV, which can be removed with a simple 2-pole low-pass filter with a 100-kHz cutoff using a low-cost op amp (see Figure 10).

The input to the modulator is a current (set by the 200- $\Omega$  integrator input resistor) that makes it possible to have an input voltage greater than the input supplies, as long as the output supply is at least  $\pm 15$  V. It is therefore possible, when using an unregulated DC-DC converter, to minimize PSR related output errors with  $\pm 5$ -V voltage regulators on the isolated side and still get the full  $\pm 10$ -V input and output swing.

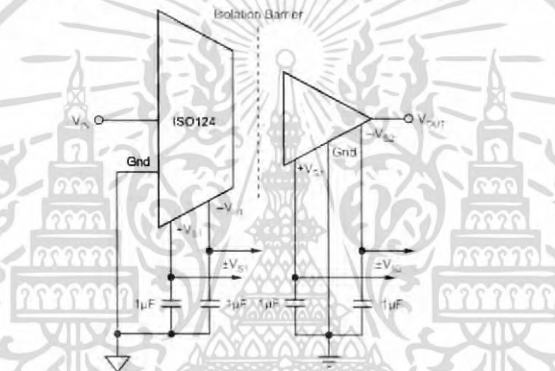


Figure 24. Basic Signal and Power Connections

11 Layout

11.1 Layout Guidelines

To maintain the isolation barrier of the device, the distance between the high-side ground (pin 16 or 28) and the low-side ground (pin 8 or 14) should be kept at maximum; that is, the entire area underneath the device should be kept free of any conducting materials.

11.2 Layout Example

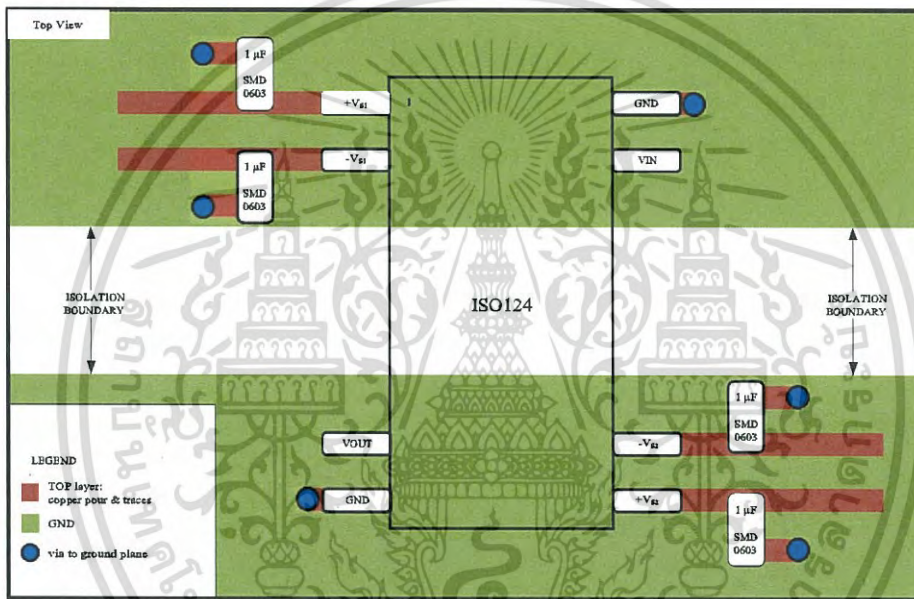


Figure 25. ISO124 Layout Example

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



## 12 Device and Documentation Support

### 12.1 Documentation Support

#### 12.1.1 Related Documentation

- Single-Supply Operation of Isolation Amplifiers.
- Simple Output Filter Eliminates ISO Amp Output Ripple and Keeps Full Bandwidth.
- FilterPro™ User's Guide.

### 12.2 Trademarks

FilterPro is a trademark of Texas Instruments.  
All other trademarks are the property of their respective owners.

### 12.3 Electrostatic Discharge Caution



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

### 12.4 Glossary

SLYZ022 — TI Glossary.

This glossary lists and explains terms, acronyms, and definitions.

## 13 Mechanical, Packaging, and Orderable Information

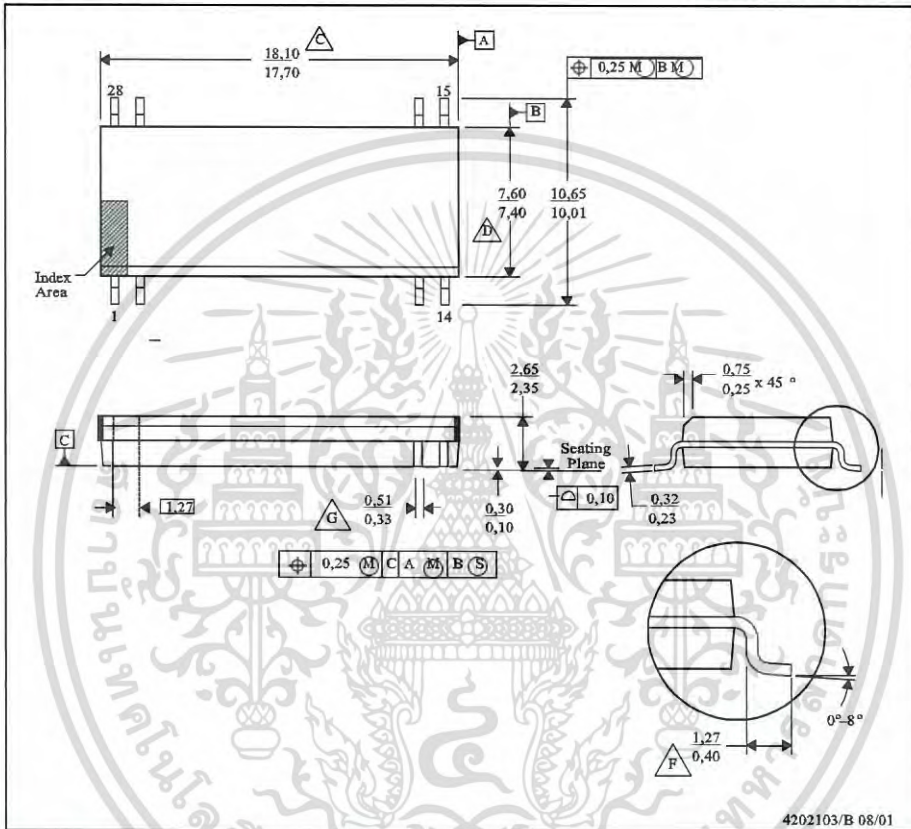
The following pages include mechanical, packaging, and orderable information. This information is the most current data available for the designated devices. This data is subject to change without notice and revision of this document. For browser-based versions of this data sheet, refer to the left-hand navigation.

MECHANICAL DATA

MPS105-AUGUST 2001

DVA (R-PDSO-G8/28)

PLASTIC SMALL-OUTLINE



- NOTES: A. All linear dimensions are in millimeters.
- B. This drawing is subject to change without notice.
- C. Body length dimension does not include mold flash, protrusions, or gate burrs. Mold flash, protrusions, and gate burrs shall not exceed 0,15 mm per side.
- D. Body width dimension does not include inter-lead flash or protrusions. Inter-lead flash and protrusions shall not exceed 0,25 mm per side.
- E. The chamfer on the body is optional. If it is not present, a visual index feature must be located within the cross-hatched area.
- F. Lead dimension is the length of terminal for soldering to a substrate.
- G. Lead width, as measured 0,36 mm or greater above the seating plane, shall not exceed a maximum value of 0,61 mm.
- H. Lead-to-lead coplanarity shall be less than 0,10 mm from seating plane.
- I. Falls within JEDEC MS-013-AE with the exception of the number of leads.

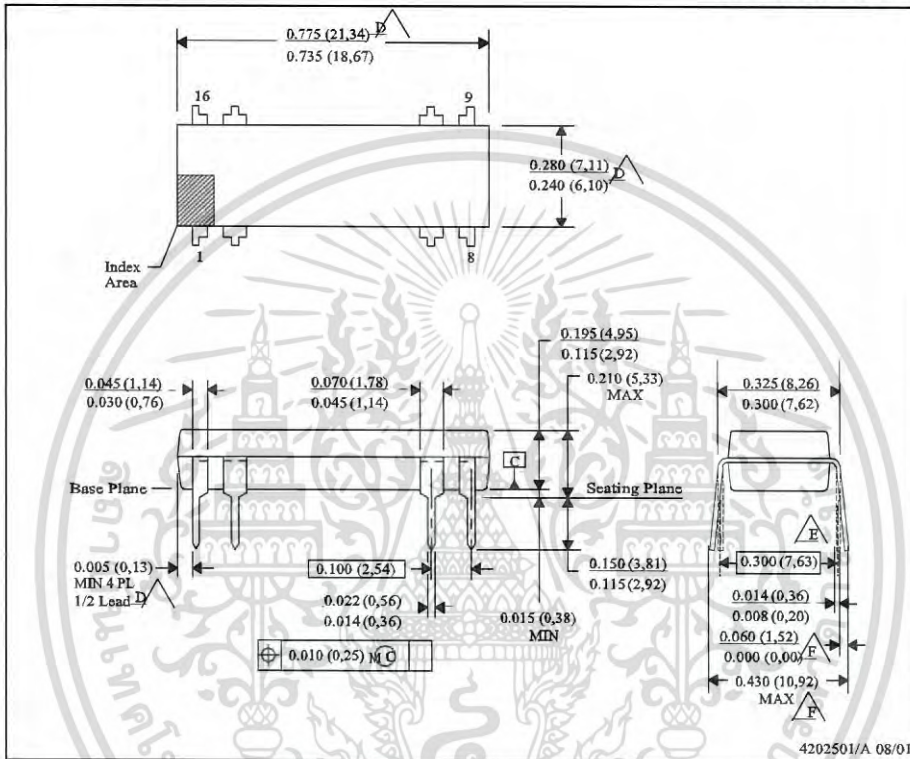
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MECHANICAL DATA

MPD1077-AUGUST2001

NVF (R-PDIP-T8/16)

PLASTIC DUAL-IN-LINE



4202501/A 08/01

- A. All linear dimensions are in inches (millimeters).
- B. This drawing is subject to change without notice.
- C. Falls within JEDEC MS-001-BB with the exception of lead count.
- D.** Dimensions do not include mold flash or protrusions. Mold flash or protrusions shall not exceed 0.010 (0,25).
- E.** Dimensions measured with the leads constrained to be perpendicular to Datum C.
- F.** Dimensions are measured at the lead tips with the leads unconstrained.
- G. A visual index feature must be located within the cross-hatched area.



POST OFFICE BOX 655303 DALLAS, TEXAS 75265

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### IMPORTANT NOTICE

Texas Instruments Incorporated (TI) reserves the right to make corrections, enhancements, improvements and other changes to its semiconductor products and services per JESD46, latest issue, and to discontinue any product or service per JESD48, latest issue. Buyers should obtain the latest relevant information before placing orders and should verify that such information is current and complete.

TI's published terms of sale for semiconductor products (<http://www.ti.com/sc/docs/stdterms.htm>) apply to the sale of packaged integrated circuit products that TI has qualified and released to market. Additional terms may apply to the use or sale of other types of TI products and services.

Reproduction of significant portions of TI information in TI data sheets is permissible only if reproduction is without alteration and is accompanied by all associated warranties, conditions, limitations, and notices. TI is not responsible or liable for such reproduced documentation. Information of third parties may be subject to additional restrictions. Resale of TI products or services with statements different from or beyond the parameters stated by TI for that product or service voids all express and any implied warranties for the associated TI product or service and is an unfair and deceptive business practice. TI is not responsible or liable for any such statements.

Buyers and others who are developing systems that incorporate TI products (collectively, "Designers") understand and agree that Designers remain responsible for using their independent analysis, evaluation and judgment in designing their applications and that Designers have full and exclusive responsibility to assure the safety of Designers' applications and compliance of their applications (and of all TI products used in or for Designers' applications) with all applicable regulations, laws and other applicable requirements. Designer represents that, with respect to their applications, Designer has all the necessary expertise to create and implement safeguards that (1) anticipate dangerous consequences of failures, (2) monitor failures and their consequences, and (3) lessen the likelihood of failures that might cause harm and take appropriate actions. Designer agrees that prior to using or distributing any applications that include TI products, Designer will thoroughly test such applications and the functionality of such TI products as used in such applications.

TI's provision of technical, application or other design advice, quality characterization, reliability data or other services or information, including, but not limited to, reference designs and materials relating to evaluation modules, (collectively, "TI Resources") are intended to assist designers who are developing applications that incorporate TI products; by downloading, accessing or using TI Resources in any way, Designer (individually or, if Designer is acting on behalf of a company, Designer's company) agrees to use any particular TI Resource solely for this purpose and subject to the terms of this Notice.

TI's provision of TI Resources does not expand or otherwise alter TI's applicable published warranties or warranty disclaimers for TI products, and no additional obligations or liabilities arise from TI providing such TI Resources. TI reserves the right to make corrections, enhancements, improvements and other changes to its TI Resources. TI has not conducted any testing other than that specifically described in the published documentation for a particular TI Resource.

Designer is authorized to use, copy and modify any individual TI Resource only in connection with the development of applications that include the TI product(s) identified in such TI Resource. NO OTHER LICENSE, EXPRESS OR IMPLIED, BY ESTOPPEL OR OTHERWISE TO ANY OTHER TI INTELLECTUAL PROPERTY RIGHT, AND NO LICENSE TO ANY TECHNOLOGY OR INTELLECTUAL PROPERTY RIGHT OF TI OR ANY THIRD PARTY IS GRANTED HEREIN, including but not limited to any patent right, copyright, mask work right, or other intellectual property right relating to any combination, machine, or process in which TI products or services are used. Information regarding or referencing third-party products or services does not constitute a license to use such products or services, or a warranty or endorsement thereof. Use of TI Resources may require a license from a third party under the patents or other intellectual property of the third party, or a license from TI under the patents or other intellectual property of TI.

TI RESOURCES ARE PROVIDED "AS IS" AND WITH ALL FAULTS. TI DISCLAIMS ALL OTHER WARRANTIES OR REPRESENTATIONS, EXPRESS OR IMPLIED, REGARDING RESOURCES OR USE THEREOF, INCLUDING BUT NOT LIMITED TO ACCURACY OR COMPLETENESS, TITLE, ANY EPIDEMIC FAILURE WARRANTY AND ANY IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY, FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE, AND NON-INFRINGEMENT OF ANY THIRD PARTY INTELLECTUAL PROPERTY RIGHTS. TI SHALL NOT BE LIABLE FOR AND SHALL NOT DEFEND OR INDEMNIFY DESIGNER AGAINST ANY CLAIM, INCLUDING BUT NOT LIMITED TO ANY INFRINGEMENT CLAIM THAT RELATES TO OR IS BASED ON ANY COMBINATION OF PRODUCTS EVEN IF DESCRIBED IN TI RESOURCES OR OTHERWISE. IN NO EVENT SHALL TI BE LIABLE FOR ANY ACTUAL, DIRECT, SPECIAL, COLLATERAL, INDIRECT, PUNITIVE, INCIDENTAL, CONSEQUENTIAL OR EXEMPLARY DAMAGES IN CONNECTION WITH OR ARISING OUT OF TI RESOURCES OR USE THEREOF, AND REGARDLESS OF WHETHER TI HAS BEEN ADVISED OF THE POSSIBILITY OF SUCH DAMAGES.

Unless TI has explicitly designated an individual product as meeting the requirements of a particular industry standard (e.g., ISO/TS 16949 and ISO 26262), TI is not responsible for any failure to meet such industry standard requirements.

Where TI specifically promotes products as facilitating functional safety or as compliant with industry functional safety standards, such products are intended to help enable customers to design and create their own applications that meet applicable functional safety standards and requirements. Using products in an application does not by itself establish any safety features in the application. Designers must ensure compliance with safety-related requirements and standards applicable to their applications. Designer may not use any TI products in life-critical medical equipment unless authorized officers of the parties have executed a special contract specifically governing such use. Life-critical medical equipment is medical equipment where failure of such equipment would cause serious bodily injury or death (e.g., life support, pacemakers, defibrillators, heart pumps, neurostimulators, and implantables). Such equipment includes, without limitation, all medical devices identified by the U.S. Food and Drug Administration as Class III devices and equivalent classifications outside the U.S.

TI may expressly designate certain products as completing a particular qualification (e.g., Q100, Military Grade, or Enhanced Product). Designers agree that it has the necessary expertise to select the product with the appropriate qualification designation for their applications and that proper product selection is at Designers' own risk. Designers are solely responsible for compliance with all legal and regulatory requirements in connection with such selection.

Designer will fully indemnify TI and its representatives against any damages, costs, losses, and/or liabilities arising out of Designer's non-compliance with the terms and provisions of this Notice.

Mailing Address: Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265  
Copyright © 2017, Texas Instruments Incorporated

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ประวัติผู้เขียน



นายวิชัย แซ่แก้ว รหัสนักศึกษา 57010508 เกิดวันที่ 15 สิงหาคม 2538 ที่จังหวัดชลบุรี ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



นายธนวิทย์ วิภามณีโรจน์ รหัสนักศึกษา 57010570 เกิดวันที่ 18 พฤษภาคม 2539 ที่จังหวัดตาก ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



นายณัช ชมภูศรี รหัสนักศึกษา 57010573 เกิดวันที่ 9 พฤศจิกายน 2538 ที่จังหวัดกำแพงเพชร ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



นายธนกรณ์ วงศ์กาอินทร์รหัสนักศึกษา 57010584 เกิดวันที่ 20 ธันวาคม 2538 ที่จังหวัดเพชรบูรณ์ ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PACKAGING INFORMATION

Orderable Device	Status (1)	Package Type	Package Drawing	Pins	Package Qty	Eco Plan (2)	Lead/Ball Finish (6)	MSL Peak Temp (3)	Op Temp (°C)	Device Marking (4/5)	Samples
ISO124P	ACTIVE	PDIP	NVF	8	25	Pb-Free (RoHS)	CU NIPDAU	N / A for Pkg Type	-25 to 85	ISO124P	<a href="#">Samples</a>
ISO124U	ACTIVE	SOIC	DVA	8	20	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-3-260C-168 HR	-25 to 85	ISO 124U	<a href="#">Samples</a>
ISO124U/1K	ACTIVE	SOIC	DVA	8	1000	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-3-260C-168 HR	-25 to 85	ISO 124U	<a href="#">Samples</a>
ISO124U/1KE4	ACTIVE	SOIC	DVA	8	1000	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-3-260C-168 HR	-25 to 85	ISO 124U	<a href="#">Samples</a>
ISO124UE4	ACTIVE	SOIC	DVA	8	20	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-3-260C-168 HR	-25 to 85	ISO 124U	<a href="#">Samples</a>

(1) The marketing status values are defined as follows:

ACTIVE: Product device recommended for new designs.

LIFEBUY: TI has announced that the device will be discontinued, and a lifetime-buy period is in effect.

NRND: Not recommended for new designs. Device is in production to support existing customers, but TI does not recommend using this part in a new design.

PREVIEW: Device has been announced but is not in production. Samples may or may not be available.

OBSOLETE: TI has discontinued the production of the device.

(2) Eco Plan - The planned eco-friendly classification: Pb-Free (RoHS), Pb-Free (RoHS Exempt), or Green (RoHS & no Sb/Br) - please check <http://www.ti.com/productcontent> for the latest availability information and additional product content details.

TBD: The Pb-Free/Green conversion plan has not been defined.

Pb-Free (RoHS): TI's terms "Lead-Free" or "Pb-Free" mean semiconductor products that are compatible with the current RoHS requirements for all 6 substances, including the requirement that lead not exceed 0.1% by weight in homogeneous materials. Where designed to be soldered at high temperatures, TI Pb-Free products are suitable for use in specified lead-free processes.

Pb-Free (RoHS Exempt): This component has a RoHS exemption for either 1) lead-based flip-chip solder bumps used between the die and package, or 2) lead-based die adhesive used between the die and leadframe. The component is otherwise considered Pb-Free (RoHS compatible) as defined above.

Green (RoHS & no Sb/Br): TI defines "Green" to mean Pb-Free (RoHS compatible), and free of Bromine (Br) and Antimony (Sb) based flame retardants (Br or Sb do not exceed 0.1% by weight in homogeneous material)

(3) MSL, Peak Temp. - The Moisture Sensitivity Level rating according to the JEDEC industry standard classifications, and peak solder temperature.

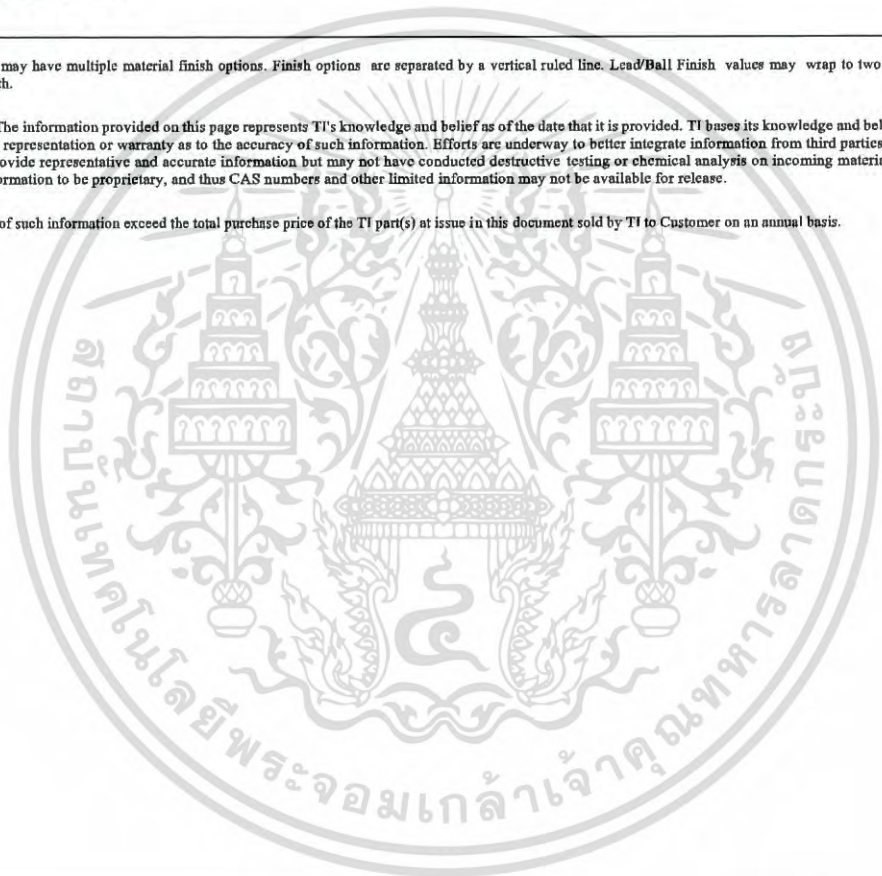
(4) There may be additional marking, which relates to the logo, the lot trace code information, or the environmental category on the device.

(5) Multiple Device Markings will be inside parentheses. Only one Device Marking contained in parentheses and separated by a "~" will appear on a device. If a line is indented then it is a continuation of the previous line and the two combined represent the entire Device Marking for that device.

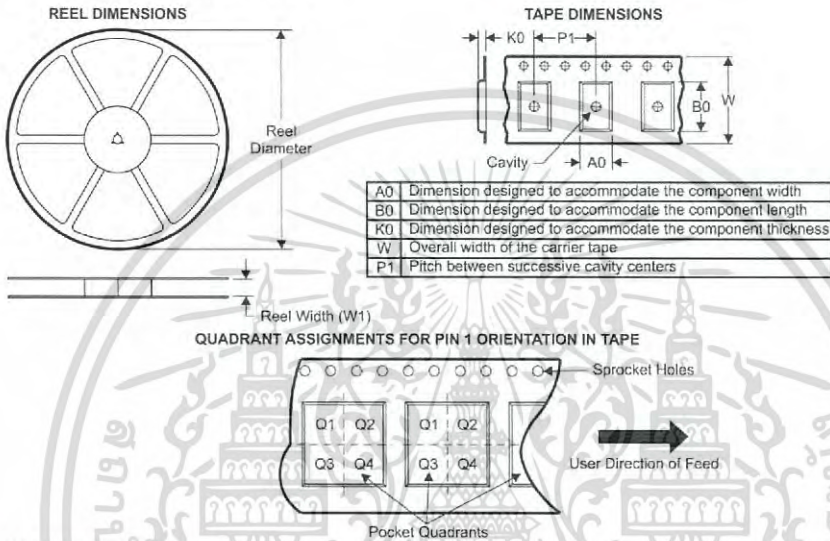
<sup>(6)</sup> Lead/Ball Finish - Orderable Devices may have multiple material finish options. Finish options are separated by a vertical ruled line. Lead/Ball Finish values may wrap to two lines if the finish value exceeds the maximum column width.

**Important Information and Disclaimer:** The information provided on this page represents TI's knowledge and belief as of the date that it is provided. TI bases its knowledge and belief on information provided by third parties, and makes no representation or warranty as to the accuracy of such information. Efforts are underway to better integrate information from third parties. TI has taken and continues to take reasonable steps to provide representative and accurate information but may not have conducted destructive testing or chemical analysis on incoming materials and chemicals. TI and TI suppliers consider certain information to be proprietary, and thus CAS numbers and other limited information may not be available for release.

In no event shall TI's liability arising out of such information exceed the total purchase price of the TI part(s) at issue in this document sold by TI to Customer on an annual basis.



TAPE AND REEL INFORMATION

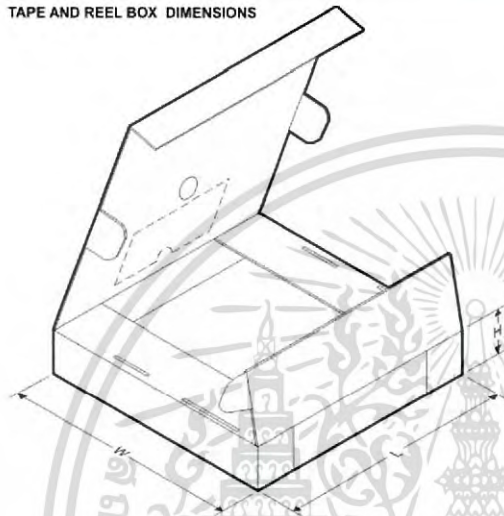


\*All dimensions are nominal

Device	Package Type	Package Drawing	Pins	SPO	Reel Diameter (mm)	Reel Width W1 (mm)	A0 (mm)	B0 (mm)	K0 (mm)	P1 (mm)	W (mm)	Pin1 Quadrant
ISO124L/1K	SOIC	DVA	8	1000	330.0	24.4	1.11	2.1	0.56	2.0	8.0	Q1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## TAPE AND REEL BOX DIMENSIONS



\*All dimensions are nominal

Device	Package Type	Package Drawing	Pins	SPQ	Length (mm)	Width (mm)	Height (mm)
ISO124U/1K	SOIC	DVA	8	1000	367.0	367.0	45.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้