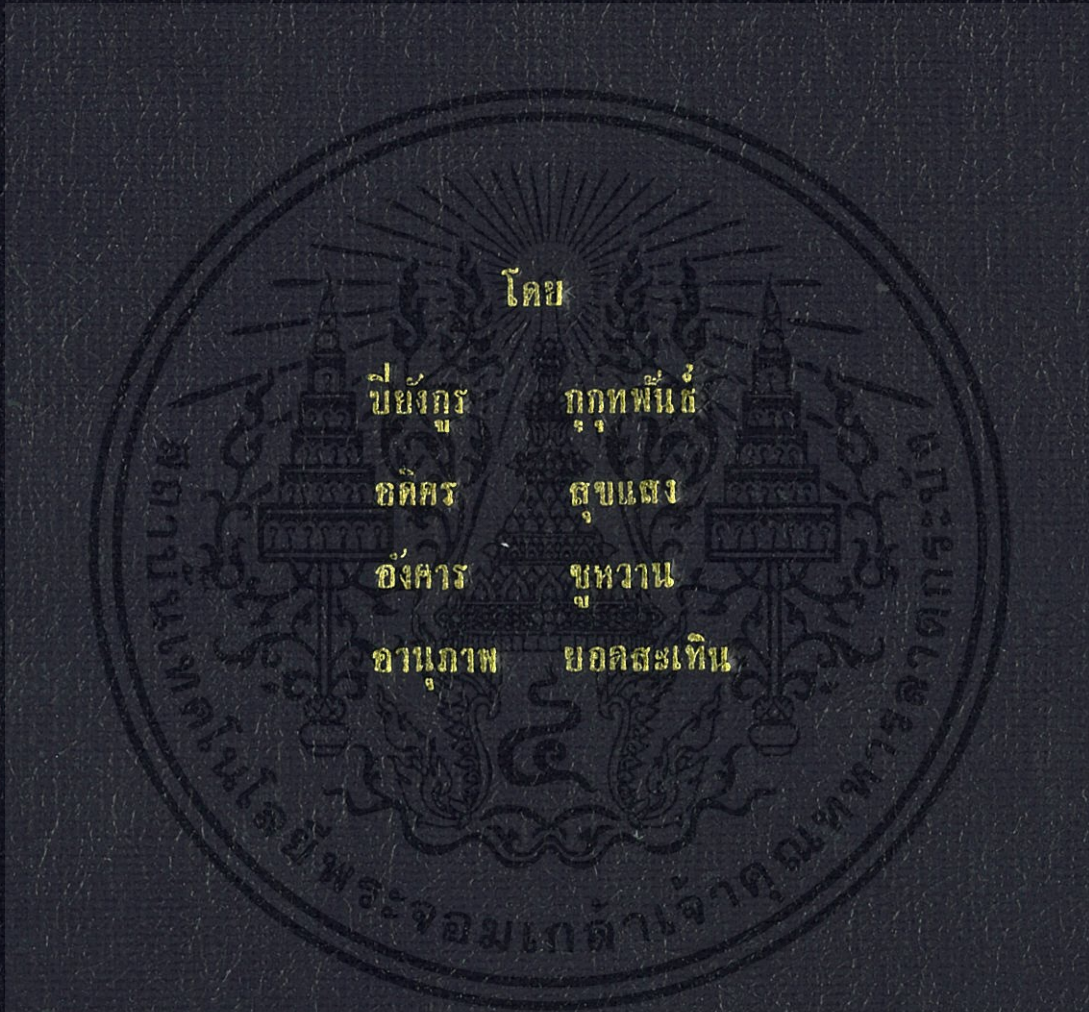


การตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดสำหรับกังหันลมขนาดเล็ก

MAXIMUM POWER POINT TRACKING FOR SMALL SCALE WIND TURBINE



ปริญญาโทนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2556

การตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดสำหรับกังหันลมขนาดเล็ก

MAXIMUM POWER POINT TRACKING FOR SMALL SCALE WIND TURBINE



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งการนำเอกสารนี้ไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของลิขสิทธิ์ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2556

MAXIMUM POWER POINT TRACKING FOR SMALL SCALE WIND TURBINE



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

2013

ปีการศึกษา 2556

การตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดสำหรับกังหันลมขนาดเล็ก
MAXIMUM POWER POINT TRACKING FOR SMALL SCALE WIND TURBINE



อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกหรือเผยแพร่ข้อมูลใดๆของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
ผศ.ดร.ศิริเดช บัญญาแสง

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2556

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดสำหรับกังหันลมขนาดเล็ก

ผู้จัดทำ

1. นาย ปิยंगุร กุฑกพพันธ์
2. นาย อติศร สุขแสง
3. นาย อังคาร ชูหวาน
4. นาย อานุกาพ ยอดสะเทิน



..... อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิริเดช บุญแสง)

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดสำหรับกังหันลมขนาดเล็ก

นายปิยงกูร กุฎทพันธ์
นายอดิสร สุขแสง
นายอังคาร ชูหวาน
นายอานุกาพ ยอดสะเทิน
ผศ.ดร.ศิริเดช บุญแสง อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2556

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการศึกษาคูณลักษณะทางไฟฟ้าของกังหันลมผลิตไฟฟ้า และศึกษาการตามรอยหากำลังไฟฟ้าสูงสุด(Maximum Power Point Tracking) ของใบพัดกังหันลม 2 แบบ ซึ่งมีคุณลักษณะทางไฟฟ้าและคุณลักษณะทางกลที่แตกต่างกัน ได้แก่ กังหันลมชนิด 3 ใบพัด (3- blades) และกังหันลมชนิดหลายใบพัด (Multi-blade) เพื่อเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าเมื่อมีและไม่มี การใช้วงจรตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดอีกทั้งยังเปรียบเทียบคุณลักษณะต่างๆ ทั้งกำลังไฟฟ้า, แรงดันไฟฟ้า และความเร็รรอบของโรเตอร์เมื่อทำการปรับค่าดิวตี้ไซเคิล(duty cycle) การตามรอยหากำลังไฟฟ้าสูงสุดและการหาคุณลักษณะทางไฟฟ้าของกังหันลมจะใช้วงจรทอนแรงดันไฟฟ้า(Buck convertor) โดยจะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ในการปรับเพิ่ม - ลดดิวตี้ไซเคิล เพื่อให้ได้จุดที่จะเกิดกำลังไฟฟ้าสูงสุด ซึ่งในการทดสอบจะใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงชนิดแม่เหล็กถาวร เพราะมีความง่ายในการศึกษาคุณลักษณะและการควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MAXIMUM POWER POINT TRACKING FOR SMALL SCALE WIND TURBINE

Mr. PIYANGKUN

KUKUTAPAN

Mr. ADISORN

SOOKSANG

Mr. ANGKHAN

CHUWHAN

Mr. ANUPARB

YODSATERN

Assist. Prof. Dr. SIRIDEC BOONSEANG Supervisor

Year 2013

ABSTRACT

This paper studies about electrical Characteristic and Maximum Power Point Tracking of two model wind turbines which are three and multiple blades wind turbines that have different properties. Two systems are compared; one with MPPT and one without it. Characteristic of two models wind turbines will be compare too. Maximum Power Point Tracking and Characteristic test used Buck Converter and Microcontroller for increased or decreased duty cycle for tracking maximum point. In this thesis use Permanent magnet DC generator to study electrical characteristic and control.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีด้วยการช่วยเหลือจากอาจารย์หลายท่าน โดยเฉพาะอย่างยิ่งต้องขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศิริเดช บุญแสง อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ได้กรุณาให้ข้อแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆที่เป็นประโยชน์ต่อโครงการด้วยดีตลอดมาและได้ตรวจสอบแก้ไขปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณ ลุงเพชร ผู้เชี่ยวชาญด้านการผลิตกังหันลม จังหวัดชลบุรี ที่สละเวลาในการประกอบอาชีพ โดยให้คำแนะนำและคอยสอนในการทำกังหันลมทั้งสองแบบจนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี และรวมถึงข้อเสนอแนะต่างๆที่คุณลุงเพชรได้มอบให้

ขอขอบพระคุณ คุณ ภูมิ คงห้วยรอบ ที่สละเวลาอันมีค่าคอยให้คำปรึกษา ช่วยเหลือด้านการออกแบบวงจร เทคนิคต่างๆ อีกทั้งยังคอยช่วยตรวจสอบความถูกต้อง จนปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ลุล่วงไปด้วยดีทุกประการ

ขอขอบพระคุณ พี่นครศักดิ์ และคุณกมลวรรณ เจ้าหน้าที่ห้องธุรการที่คอยให้ความช่วยเหลือด้านอุปกรณ์และการเงินเป็นอย่างดี

ขอขอบพระคุณ คุณตฤณ จันทนะ ที่คอยให้ความร่วมมือในด้านการขนส่ง การจัดซื้ออุปกรณ์ต่างๆที่ใช้ในการทำการทดลองจนปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ลุล่วงไปด้วยดี

ท้ายสุดนี้ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดาและครอบครัวของข้าพเจ้าซึ่งให้การสนับสนุนในด้านการเงินและให้กำลังใจตลอดมา จึงขอขอบพระคุณไว้ ณ ที่นี้ด้วย

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ คณะผู้วิจัยขอมอบให้แก่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ	I
ABSTRACT	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูป	VII
สารบัญตาราง	IX
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงการ	1
1.4 วิธีการดำเนิน	2
1.5 แผนการดำเนินโครงการ	2
1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย	2
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 กังหันลมกับการผลิตไฟฟ้า	3
2.2 ชนิดกังหันลมผลิตไฟฟ้า	3
2.2.1 กังหันลมแนวแกนตั้ง	3
2.2.2 กังหันลมแนวแกนนอน	4
2.3 ความเร็วและกำลังลม	5
2.4 คุณลักษณะของกังหันลม	6
2.5 แรงและโมเมนต์ในการไหล	8
2.6 สมการการไหลอย่างต่อเนื่อง	9
2.7 การสูญเสียพลังงานเนื่องจากลดและเพิ่มขนาดพื้นที่หน้าตัด	10
2.8 เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง	10
2.9 ประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง	12
2.10 การตามรอยจุดที่กำลังไฟฟ้ามีค่าสูงสุด (MPPT)	13
2.10.1 แบบจำลองระบบ	13
2.10.2 วิธีการรบกวนและการสังเกต	14
2.10.3 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้า ความเร็วโรเตอร์และดิวิตีเซเคิล	15
2.11 วงจรทอนแรงดันไฟฟ้า	16
2.12 วงจรขยายแบบผลต่าง (Differential Op amplifier)	18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 การออกแบบการทดลอง	19
3.1 ส่วนประกอบหลักของวงจรตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุด (MPPT)	19
3.2 การออกแบบวงจรทอนแรงดัน (Buck Converter)	19
3.2.1 การหาค่าตัวเหนี่ยวนำ	20
3.2.2 การหาค่าตัวเก็บประจุ	21
3.3 ชุดขับมอสเฟต (Driver Mosfet)	22
3.4 ชุดจ่ายไฟ (Regulator)	23
3.5 ชุดตรวจจับกระแส	23
3.6 ชุดตรวจจับแรงดัน	24
3.7 ชุดไมโครคอนโทรลเลอร์	25
3.7.1 พอร์ตของไมโครคอนโทรลเลอร์ที่นำมาใช้งาน	26
3.7.2 การประมวลผลของโปรแกรมควบคุม	26
3.8 เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง (DC GENERATOR)	28
3.9 พัดลมดูดอากาศ	30
3.10 ชุดควบคุมความเร็วรอบ	31
3.11 การออกแบบอุโมงค์ลม	31
3.12 การออกแบบกังหันลม	35
3.13 การออกแบบวงจรและศึกษาวงจรกังหันลมผลิตไฟฟ้าบนโปรแกรม Matlab	37
บทที่ 4 ผลการทดลอง	39
4.1 การจำลองสร้างกราฟคุณลักษณะของกังหันลม	39
4.1.1 ขั้นตอนการสร้างกราฟคุณลักษณะของกังหันลม	39
4.2 การจำลองวงจรทอนแรงดันต่อร่วมกับกังหันลมผลิตไฟฟ้า	41
4.3 อุโมงค์ลม	42
4.4 คุณลักษณะของกังหันลม	43
4.5 การทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างดิวิตีไซเคิลกับความเร็วโรเตอร์	45
4.5.1 การทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างดิวิตีไซเคิลกับความเร็วโรเตอร์ของกังหันลมแบบหลายใบพัด	45
4.5.2 การทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างดิวิตีไซเคิลกับความเร็วโรเตอร์ของกังหันลมแบบสามใบพัด	47
4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างดิวิตีไซเคิลกับกำลังไฟฟ้า	48
4.6.1 การทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างดิวิตีไซเคิลกับกำลังไฟฟ้าของกังหันลมแบบหลายใบพัด	48
4.6.2 การทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างดิวิตีไซเคิลกับกำลังไฟฟ้าของกังหันลมแบบสามใบพัด	49

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้ากับกำลังไฟฟ้า	51
4.7.1 การทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้ากับกำลังไฟฟ้าของ กังหันลมแบบหลายใบพัด	51
4.7.2 การทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าของ กังหันลมแบบสามใบพัด	52
4.8 ผลการศึกษาการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยการกวาดค่าดิวิตีไซเคิล	53
4.9 ผลการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยวิธีการ Perturb and Observe (P&O)	57
4.9.1 ผลของการชะลอ	57
4.9.2 ผลของการปรับเพิ่ม-ลดดิวิตีไซเคิล (Step Duty)	58
4.9.3 ผลของการปรับค่าดิวิตีเริ่มต้น (Duty Start)	59
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	61
เอกสารอ้างอิง	63
ภาคผนวก	65
บทความวิชาการ	66
ประวัติผู้เขียน	70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 การเปลี่ยนรูปแบบพลังงานในระบบกังหันลมผลิตไฟฟ้า	3
2.2 กังหันลมแกนหมุนแนวตั้ง	4
2.3 กังหันลมแกนหมุนแนวนอนแบบ 3-blades	4
2.4 กังหันลมแนวแกนแนวนอนแบบ multi-blades	5
2.5 ลักษณะความเร็วลมภายใต้ชั้นบรรยากาศ	5
2.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังขาออกกับความเร็วลมต่างๆ	6
2.7 ประสิทธิภาพของกังหันลมแบบต่างๆ	8
2.8 การไหลผ่านพื้นที่หน้าตัดเพิ่มขนาด	9
2.9 การสูญเสียจากการลดขนาดโดยพื้นที่ทันได	10
2.10 การสูญเสียจากการเพิ่มขนาดโดยพื้นที่ทันได	10
2.11 รูปคลื่นแรงดันจากการหมุนเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง	11
2.12 รูปคลื่นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง เปรียบเทียบกับไฟฟ้ากระแสสลับ	11
2.13 วงจรเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแบบกระตุ้นแยก	12
2.14 การทำงานของระบบไฟฟ้าพลังงานลม	14
2.15 แผนผังการทำงานของวิธีการ P&O	15
2.16 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าและความเร็วโรเตอร์ที่ความเร็วลมค่าต่าง ๆ	15
2.17 กราฟความสัมพันธ์ของความเร็วโรเตอร์(ω) กับดิวิตีไซเคิล(D)	16
2.18 วงจรบัคคอนเวอร์เตอร์	16
2.19 วงจรสมมูลของMOSFET	17
2.20 วงจรขยายแบบผลต่าง	18
3.1 Block Diagram ของชุดตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุด	19
3.2 วงจรทอนแรงดัน	20
3.3 วงจรชุดขับมอสเฟต	22
3.4 วงจรชุดจ่ายไฟ 15V	23
3.5 ชุดตรวจจับกระแส	24
3.6 วงจรตรวจจับแรงดัน	25
3.7 บอร์ด Arduino ATMEGA 328P-PU	26
3.8 Flow chart การตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยวิธี P&O	27
3.9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันที่ภาระไฟฟ้า 10 W	28
3.10 เครื่องกำเนิดไฟฟ้า	30
3.11 พัดลมดูดอากาศ	30
3.12 ชุดควบคุมความเร็วรอบ	31

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.13 อุโมงค์ลมที่ใช้ในการทดลอง	32
3.14 ด้านหน้าอุโมงค์ลมที่ใช้ในการทดลอง	33
3.15 ด้านข้างอุโมงค์ลมที่ใช้ในการทดลอง	33
3.16 การจำลองการไหลของอากาศภายในอุโมงค์ลม	35
3.17 กังหันลมแบบสามใบพัดที่ใช้ในการทดลอง	36
3.18 กังหันลมแบบหลายใบพัดที่ใช้ในการทดลอง	37
3.19 ฟังก์ชันกังหันลมในโปรแกรม Matlab	37
3.20 กราฟคุณลักษณะกังหันลมของฟังก์ชันกังหันลมในโปรแกรม Matlab	37
3.21 วงจรกังหันลมผลิตไฟฟ้าเมื่อต่อกับดีซีเจนเนอเรเตอร์บนโปรแกรม Matlab	38
3.22 วงจรกังหันลมผลิตไฟฟ้าเมื่อต่อรวมกับวงจรทอนระดับแรงดันไฟฟ้า	38
4.1 โปรแกรมสำหรับสร้างกราฟคุณลักษณะของกังหันลม	39
4.2 วงจรทอนแรงดันต่อร่วมกับกังหันลมผลิตไฟฟ้า	41
4.3 ความเร็วโรเตอร์จากโปรแกรม Matlab	42
4.4 แผนภาพคอนทัวร์แสดงค่าความเร็วลมต่างๆในแนวระนาบของส่วนทดสอบ	43
4.5 กราฟคุณลักษณะของกังหันลมแบบหลายใบพัด	44
4.6 กราฟคุณลักษณะของกังหันลมแบบสามใบพัด	45
4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างดิฟฟิวซิวิตีและความเร็วโรเตอร์ของกังหันลมแบบหลายใบพัด	46
4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างดิฟฟิวซิวิตีและความเร็วโรเตอร์ของกังหันลมแบบสามใบพัด	47
4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างดิฟฟิวซิวิตีและกำลังไฟฟ้าของกังหันลมแบบหลายใบพัด	49
4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างดิฟฟิวซิวิตีและกำลังไฟฟ้าของกังหันลมแบบสามใบพัด	50
4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันและกำลังไฟฟ้าของกังหันลมแบบหลายใบพัด	52
4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันและกำลังไฟฟ้าของกังหันลมแบบสามใบพัด	53
4.13 การกวาดดิฟฟิวซิวิตีตั้งแต่ 0-100 เปอร์เซ็นต์ ที่ความเร็วลมเฉลี่ย 8.3 m/s	54
4.14 เปรียบเทียบการปรับ step duty และความเร็วในการปรับ step duty	56
4.15 ผลการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ความเร็วลม 7 และ 8.3 m/s โดยมีการชะลอ	58
4.16 ผลการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ความเร็วลม 7 และ 8.3 m/s โดยมีการปรับเพิ่ม-ลดดิฟฟิวซิวิตี	59
4.17 ผลการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ความเร็วลม 7 และ 8.3 m/s โดยมีการปรับค่าดิฟฟิวซิวิตีเริ่มต้น	60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 แผนการดำเนินโครงการ	2
3.1 ค่าแรงต้น กระแสและกำลังที่ความเร็วตัวขับเคลื่อนต่างๆ	28
4.1 ข้อมูลที่เก็บได้จากการปรับตัวด้านทาน	40
4.2 ค่าความเร็วลมที่พิกัดต่างๆในแนวเส้นผ่านศูนย์กลาง	42
4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบพัดลมและความเร็วลม	43
4.4 กำลังสูงสุดของกังหันลมแบบหลายใบพัดที่ความเร็วลมค่าต่างๆ	44
4.5 กำลังสูงสุดของกังหันลมแบบสามใบพัดที่ความเร็วลมค่าต่างๆ	45



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

จากสภาพเศรษฐกิจปัจจุบันที่ราคาเชื้อเพลิงนั้นมีราคาสูงขึ้น ซึ่งทำให้ช่วงเวลาที่ผ่านมามีการนำพลังงานทดแทนมาใช้ ทำให้พลังงานลม (Wind Energy) ซึ่งเป็นหนึ่งในแหล่งพลังงานสะอาด (Renewable Energy) อีกทั้งยังเป็นแหล่งพลังงานที่ใช้ได้อย่างไม่จำกัดอีกด้วย ทำให้มีการหันมาใช้พลังงานลมมากขึ้น ซึ่งระบบพลังงานทดแทนขนาดเล็กนั้นเป็นที่ต้องการของตลาดโดยเฉพาะสถานที่ห่างไกลที่มีต้นทุนการผลิตไฟฟ้าสูงๆ ซึ่งในการนำพลังงานลมออกมาใช้ประโยชน์นั้นสิ่งที่สำคัญที่สุดนั้นก็คือนักกังหันลมซึ่งกังหันลมนั้นจะทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานจลน์ไปเป็นพลังงานไฟฟ้า การพัฒนาการใช้พลังงานจากลมนั้นมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องเรื่อยมา โดยในทวีปยุโรปนั้นได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีกังหันลมที่เหมาะสมกับความเร็วลมและมีประสิทธิภาพสูง

ระบบพลังงานลมนั้นมีการใช้งานอยู่ทุกมุมโลกและมีศักยภาพในการผลิตไฟฟ้า อีกทั้งยังสามารถนำไปใช้ประโยชน์กับเครื่องสี่ขาและระบบวิดน้ำอีกด้วย อีกทั้งระบบพลังงานลมเป็นระบบพลังงานทดแทนที่มีต้นทุนต่ำเมื่อเทียบกับพลังงานทดแทนอื่นๆ ซึ่งการใช้พลังงานลมถือเป็นการลงทุนที่คุ้มค่า โดยเฉพาะอย่างยิ่งในปัจจุบัน การใช้พลังงานลมให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดจะมีการนำเทคนิคและการพัฒนาในด้านอิเล็กทรอนิกส์กำลังเข้ามาประยุกต์ใช้เพื่อตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุด (Maximum Power Point Tracking, MPPT) เพื่อที่จะได้ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ความเร็วลมค่าต่างๆ ซึ่งเทคนิคการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดนั้นมีอยู่หลายวิธีด้วยกัน อาทิ เช่น Tip speed ratio technique, Power signal feedback control, Perturb & Observe เป็นต้น

1.2 วัตถุประสงค์การทำโครงการ

1. สร้างอุโมงค์ลมขนาดเล็ก (Wind Tunnel) เพื่อทำการทดสอบกังหันลม 2 แบบ ซึ่งประกอบด้วย กังหันลมผลิตไฟฟ้าแบบ 3 ใบพัด (3-blade) และกังหันลมผลิตไฟฟ้าแบบหลายใบพัด (Multi-blade)
2. สามารถศึกษาคุณลักษณะของกังหันลมผลิตไฟฟ้าทั้งสองแบบได้
3. สามารถวิเคราะห์การตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดของกังหันลมผลิตไฟฟ้าทั้งสองลักษณะและสามารถเปรียบเทียบคุณลักษณะของกังหันลมผลิตไฟฟ้าทั้ง 2 รูปแบบ เมื่อมีและไม่มีการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุด

1.3 ขอบเขตของการทำโครงการ

โครงการวิจัยนี้เป็นการทดสอบกังหันลมขนาดเล็ก เพื่อศึกษาคุณลักษณะทางไฟฟ้าและคุณลักษณะทางกลของกังหันลม 2 แบบ คือ 1) Three blade wind turbine 2) Multi blade wind turbine โดยทดสอบกังหันลมผลิตไฟฟ้าในอุโมงค์ลมจำลองขนาดเล็ก และวิเคราะห์คุณลักษณะของกังหันลมผลิตไฟฟ้าทั้งสองแบบเพื่อศึกษาการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดของกังหันลมผลิตไฟฟ้า โดยเปรียบเทียบค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดเมื่อมีการตามรอยกำลังไฟฟ้า

1.4 วิธีการดำเนินงาน

1. ค้นคว้าข้อมูลเกี่ยวกับอุโมงค์ลม ชนิดและรูปแบบของใบกังหันลม
2. ค้นคว้าข้อมูลเกี่ยวกับการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดและการออกแบบวงจรควบคุม
3. จำลองแบบอุโมงค์ลมและกังหันลมโดยใช้โปรแกรม Solid Works และจำลองวงจรไฟฟ้าที่ใช้ในการศึกษาลักษณะกำลังไฟฟ้าด้วยโปรแกรม Matlab Simulink
4. สร้างอุโมงค์ลมและใบกังหันลม ทำการทดสอบประสิทธิภาพของกังหันลมทั้งสองแบบ
5. ออกแบบวงจรควบคุมโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุด
6. ทำการทดสอบกังหันลมผลิตไฟฟ้า และบันทึกผลจากการทดลอง
7. วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง
8. จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์

1.5 แผนการดำเนินโครงการ

ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินโครงการ

การดำเนินงาน	ภาคเรียนที่ 1				ภาคเรียนที่ 2			
	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.
1. ศึกษาและค้นคว้าทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง								
2. ออกแบบและจำลองผลด้วยโปรแกรม Solid works และ Matlab Simulation								
3. สร้างอุโมงค์ลม กังหันลมและวงจรควบคุม								
4. ทำการวิเคราะห์ผลการทดลอง								
5. จัดทำรูปเล่มปริญญาานิพนธ์								

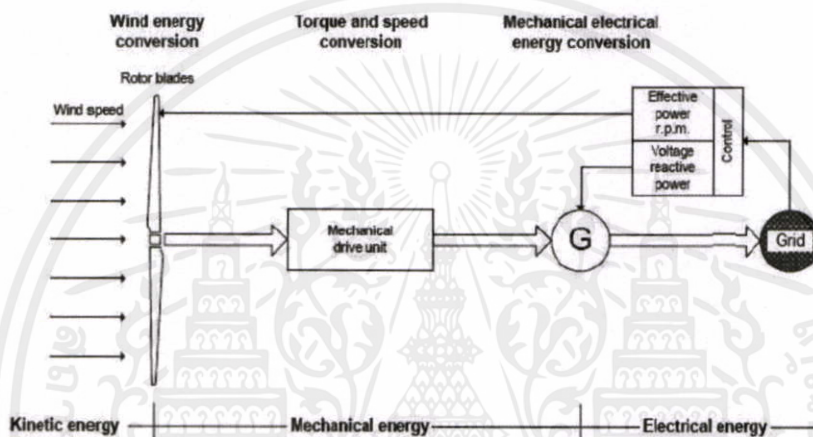
1.6 ประโยชน์ที่จะได้รับจากงานวิจัย

1. บูรณาการความรู้ในสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าเพื่อประยุกต์ใช้ในโครงการ
 2. ทำให้ทราบถึงคุณลักษณะกำลังไฟฟ้าและแรงบิดของกังหันลมทั้งสองแบบ
 3. ทำให้เข้าใจวิธีการควบคุมให้กังหันลมผลิตไฟฟ้ามีกำลังสูงสุดที่ความเร็วใดๆได้
 4. ความรู้ที่ได้รับเป็นแนวทางนำไปสู่การพัฒนาในการใช้ประโยชน์จากพลังงานทดแทน
 5. ผลการทดลองสามารถนำไปออกแบบในการสร้างกังหันลมขนาดใหญ่ที่มีคุณลักษณะทางไฟฟ้าและทางกลที่แตกต่างกันได้
- เอกสารนี้เป็นเอกสารที่มอบให้เพื่อใช้ในการเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 กังหันลมกับการผลิตไฟฟ้า

หลักการการทำงานของกังหันลมผลิตไฟฟ้านั้น เมื่อมีลมพัดผ่านใบกังหันพลังงานจลน์ที่เกิดจากลมจะทำให้ใบพัดของกังหันเกิดการหมุนและได้เป็นพลังงานกลออกมา พลังงานกลจากแกนหมุนของกังหันลมจะถูกเปลี่ยนแปรรูปเป็นพลังงานไฟฟ้าโดยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่เชื่อมต่ออยู่กับแกนหมุนของกังหันลม จ่ายกำลังไฟฟ้าผ่านระบบควบคุมไฟฟ้าและจ่ายกำลังไฟฟ้าเข้าสู่ระบบต่อไปโดยปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้จะขึ้นกับความเร็วของลม ความยาวของใบพัดและสถานที่ติดตั้งกังหันลม



รูปที่ 2.1 การเปลี่ยนรูปแบบพลังงานในระบบกังหันลมผลิตไฟฟ้า

2.2 ชนิดกังหันลมผลิตไฟฟ้า [3]

โดยทั่วไปแล้วจะแบ่งกังหันลมออกได้เป็น 2 ชนิดตามแกนหมุนได้แก่ กังหันลมแกนหมุนแนวตั้งและกังหันลมแกนหมุนแนวนอน

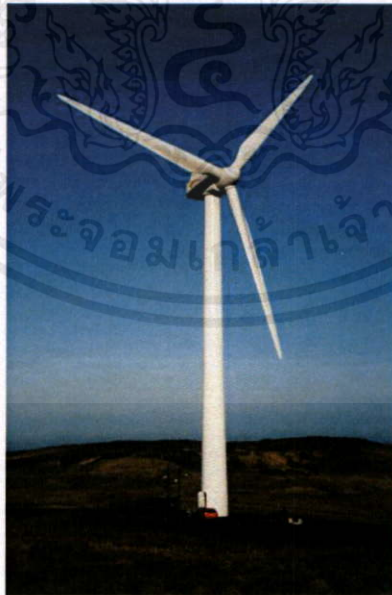
2.2.1 กังหันลมแนวแกนตั้ง (Vertical Axis Wind Turbine) เป็นกังหันลมที่มีแกนหมุนและใบพัดตั้งฉากกับการเคลื่อนที่ของลมในแนวราบทำให้สามารถรับลมได้ทุกทิศทาง กังหันลมแกนตั้งมีประสิทธิภาพในการเปลี่ยนพลังงานต่ำ มีข้อจำกัดในการขยายให้มีขนาดใหญ่และการยกชุดใบพัดเพื่อรับแรงลมปัจจุบันมีการใช้งานกังหันลมแบบนี้้อยมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 กังหันลมแกนหมุนแนวตั้ง

2.2.2 กังหันลมแนวแกนนอน (Horizontal Axis Wind Turbine) เป็นกังหันลมที่มีแกนหมุนขนานกับทิศทางของลม โดยมีใบพัดเป็นตัวตั้งฉากรับแรงลม มีอุปกรณ์ควบคุมกังหันให้หันไปตามทิศทางของกระแสลมเรียกว่าหางเสือและมีอุปกรณ์ป้องกันกังหันชำรุดเสียหายขณะเกิดลมพัดแรง เช่น ลมพายุและตั้งอยู่บนเสาที่แข็งแรง กังหันลมแบบแกนนอนได้แก่ กังหันลมวินด์มิลล์ (Windmills) กังหันลมใบเสื่อลำแพน นิยมใช้กับ เครื่องสูบน้ำ กังหันลมแบบกังล้อจักรยาน กังหันลมสำหรับผลิตไฟฟ้าแบบพรอปเพลเลอร์ (Propeller)



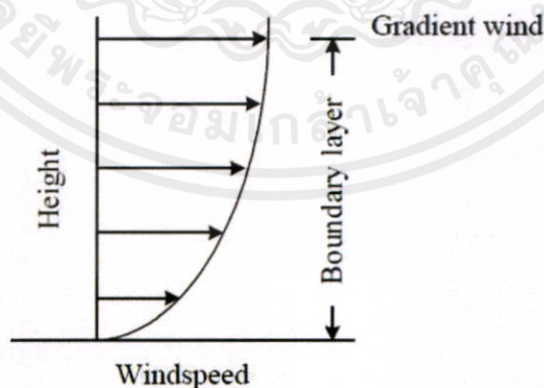
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนรูปที่ 2.3 กังหันลมแกนหมุนแนวแกนแบบ 3-blades ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 กังหันลมแนวแกนนอนแบบ multi-blades

2.3 ความเร็วและกำลังลม [2]

กังหันลมจะใช้ประโยชน์จากลมที่อยู่ใกล้ผิวโลกหรือที่เรียกว่าลมผิวพื้นหมายถึงลมที่พัดในบริเวณผิวพื้นโลกภายใต้ความสูงประมาณ 1 กิโลเมตรเหนือพื้นดินเป็นบริเวณที่มีการคลุกเคล้าของอากาศและมีแรงฝัดอันเกิดจากการปะทะกับสิ่งกีดขวางร่วมกระทำด้วยใน “ระดับต่ำ” แต่ที่ระดับความสูงมากกว่า 10 เมตรขึ้นไปแรงต้านจะลดลงและความเร็วลมจะเพิ่มขึ้น (รูปที่ 2.5) ส่วนที่ระดับความสูงใกล้ 1 กิโลเมตร เกือบไม่มีแรงฝัดความเร็วลมเปลี่ยนแปลงขึ้นอยู่กับระดับความสูงและสภาพภูมิประเทศเช่นเดียวกันกับทิศทางของลมจากประสบการณ์ที่ผ่านมา พบว่ากังหันลมจะทำงานได้ดีหรือไม่นั้นก็ขึ้นอยู่กับตัวแปรทั้งสองนี้ที่ความเร็วลมเท่าๆกัน แต่มีทิศทางลมที่แตกต่างกันเมื่อพุ่งเข้าหาแกนหมุนของกังหันลมแล้วจะส่งผลต่อแรงบิดของกังหันลมเป็นอย่างมากผล คือ แรงลัพท์ที่ได้ออกมาจากกังหันลมแตกต่างกัน

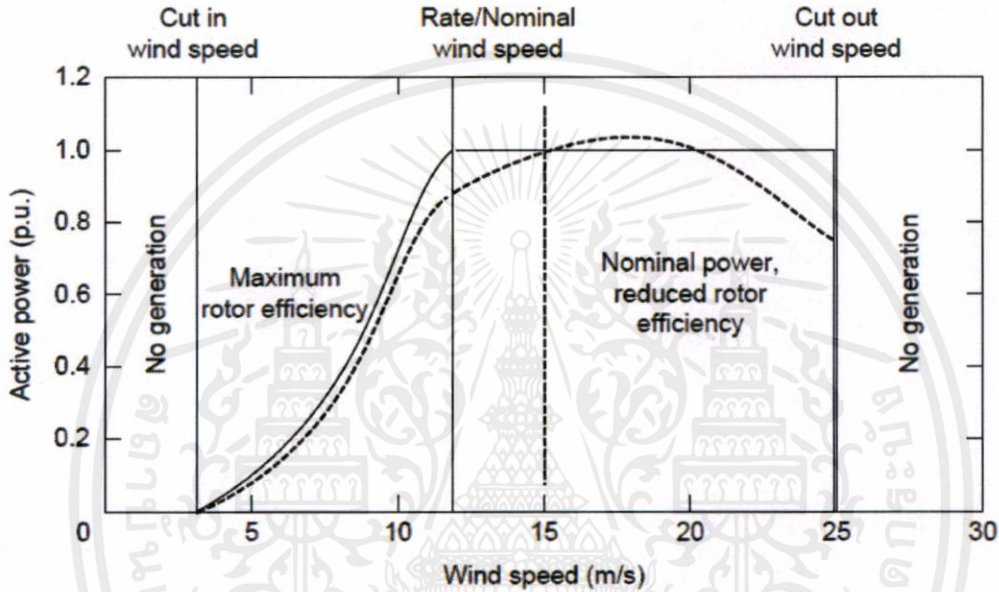


รูปที่ 2.5 ลักษณะความเร็วลมภายใต้ชั้นบรรยากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกพลังงานที่ได้รับจากกังหันลมจะมีการเปลี่ยนแปลงขึ้นอยู่กับความเร็วลมแต่ใช้ความสัมพันธ์ไม่เป็นสัดส่วนโดยตรงที่ความเร็วลมต่ำในช่วง 1 - 3 เมตรต่อวินาที กังหันลมจะยังไม่ทำงานจึงยังไม่สามารถผลิตไฟฟ้าออกมาได้ที่ความเร็วลมระหว่าง 2.5 - 5 เมตรต่อวินาที กังหันลมจะ

เริ่มทำงานเรียกช่วงนี้ว่าช่วงเริ่มความเร็วลม (cut in wind speed) และที่ความเร็วลมช่วงประมาณ 12 - 15 เมตรต่อวินาทีเป็นช่วงที่เรียกว่าช่วงความเร็วลม (nominal หรือ rate wind speed) ซึ่งเป็นช่วงที่กังหันลมทำงานอยู่บนพิกัดกำลังสูงสุดของตัวเอง ในช่วงที่ความเร็วลมไต่ระดับไปสู่ช่วงความเร็วลมเป็นการทำงานของกังหันลมด้วยประสิทธิภาพสูงสุด (maximum rotor efficiency) ดังแสดงในรูปที่ 2.6 ซึ่งค่านี้ขึ้นอยู่กับอัตราการกระตุ้นความเร็ว (tip speed ratio) และในช่วงเลยความเร็วลม (cut out wind speed) เป็นช่วงที่ความเร็วลมสูงกว่า 25 เมตรต่อวินาที กังหันลมจะหยุดทำงานเนื่องจากความเร็วลมสูงเกินไปซึ่งอาจทำให้เกิดความเสียหายต่อกลไกของกังหันลมได้



รูปที่ 2.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังขาออกกับความเร็วลมต่างๆ

2.4 คุณลักษณะของกังหันลม

กำลังจากการไหลของลมสำหรับกังหันลมจะแสดงในสมการที่ 2.1

$$P = \frac{1}{2} \rho_a A_T V_w^3 \quad (2.1)$$

เมื่อ ρ_a คือ ความหนาแน่นของอากาศ

V_w คือ ความเร็วของลม (m/s)

A_T คือ พื้นที่หน้าตัด (m^2)

เมื่อกระแสลมผ่านกังหันลมพลังงานจลน์จะถูกส่งผ่านไปยัง rotor ซึ่งกำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจริงนั้นจะอธิบายจากค่า Power Coefficient (C_p) โดย C_p เป็นอัตราส่วนระหว่างกำลังที่เกิด

จากกังหันลมกับพลังงานจลน์ของกังหันลม ซึ่งพลังงานจลน์ของกังหันลมจะแสดงในสมการที่ 2.2 และค่า Power Coefficient (C_p) จะแสดงในสมการที่ 2.3

$$E = \frac{1}{2} \rho_a v V^2 \quad (2.2)$$

$$C_p = \frac{2P_T}{\rho_a A_T V^3} \quad (2.3)$$

ตามที่กฎของ Betz ได้กล่าวไว้ ไม่มีกังหันลมที่สามารถได้รับพลังงานจลน์เกิน 59.3 เปอร์เซ็นต์ ค่า Power Coefficient (C_p) ในอุดมคติของกังหันลมคืออัตราส่วนของกำลังสูงสุดซึ่งได้มาจากลมซึ่งใช้พลังงานทั้งหมดจากลม ซึ่งค่า factor เท่ากับ 0.593 คือ Betz Coefficient ซึ่ง ค่า Betz Coefficient เป็นค่า fraction สูงสุดของกำลังไฟฟ้าที่มาจากกระแสลมที่สามารถรับมาได้ค่า C_p ของกังหันลมจะขึ้นอยู่กับค่าต่างๆ อาทิเช่นค่า rotor blade เป็นต้น ซึ่งผู้ออกแบบจะต้องออกแบบให้มีค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมเพื่อจะให้ค่า C_p เป็นค่าสูงสุดซึ่งสมการของแรงและแรงบิดจะแสดงในสมการที่ 2.4 และ 2.5 ตามลำดับ

$$F = \frac{1}{2} \rho_a A_T V_w^2 \quad (2.4)$$

$$T = \frac{1}{2} \rho_a A_T V_w^2 R \quad (2.5)$$

เมื่อ R คือ รัศมีของกังหันลม

อัตราส่วนระหว่างค่าแรงบิดจริงที่เพิ่มขึ้นจากค่ารัศมีของกังหันลมกับค่าแรงบิดจากทฤษฎี เราจะเรียก อัตราส่วนนี้ว่า C_T โดยที่ C_T มีค่าตามสมการที่ 2.6

$$C_T = \frac{2T_T}{\rho_a A_T V^2 R} \quad (2.6)$$

โดยที่ T_T เป็นค่าแรงบิดจริง

อัตราส่วนระหว่างความเร็วของกังหันและความเร็วลม เราจะเรียกอัตราส่วนนี้ว่า Tip speed ratio (λ) ซึ่งค่า Tip speed Ratio จะแสดงดังสมการที่ 2.7

$$\lambda = \frac{R\Omega}{V} = \frac{2\pi NR}{V} \quad (2.7)$$

โดยที่ Ω คือ ความเร็วเชิงมุมของกังหัน

R คือ รัศมีของกังหัน

V คือ ความเร็วลม

ซึ่งจากสมการจะพบว่าค่า Power Coefficient และ ค่า Torque Coefficient จะขึ้นกับ Tip speed ratio ทั้งสิ้น ซึ่งค่า Tip speed ratio เป็นอัตราส่วนระหว่าง C_p และ C_T ซึ่งจะแสดงในสมการที่ 2.8

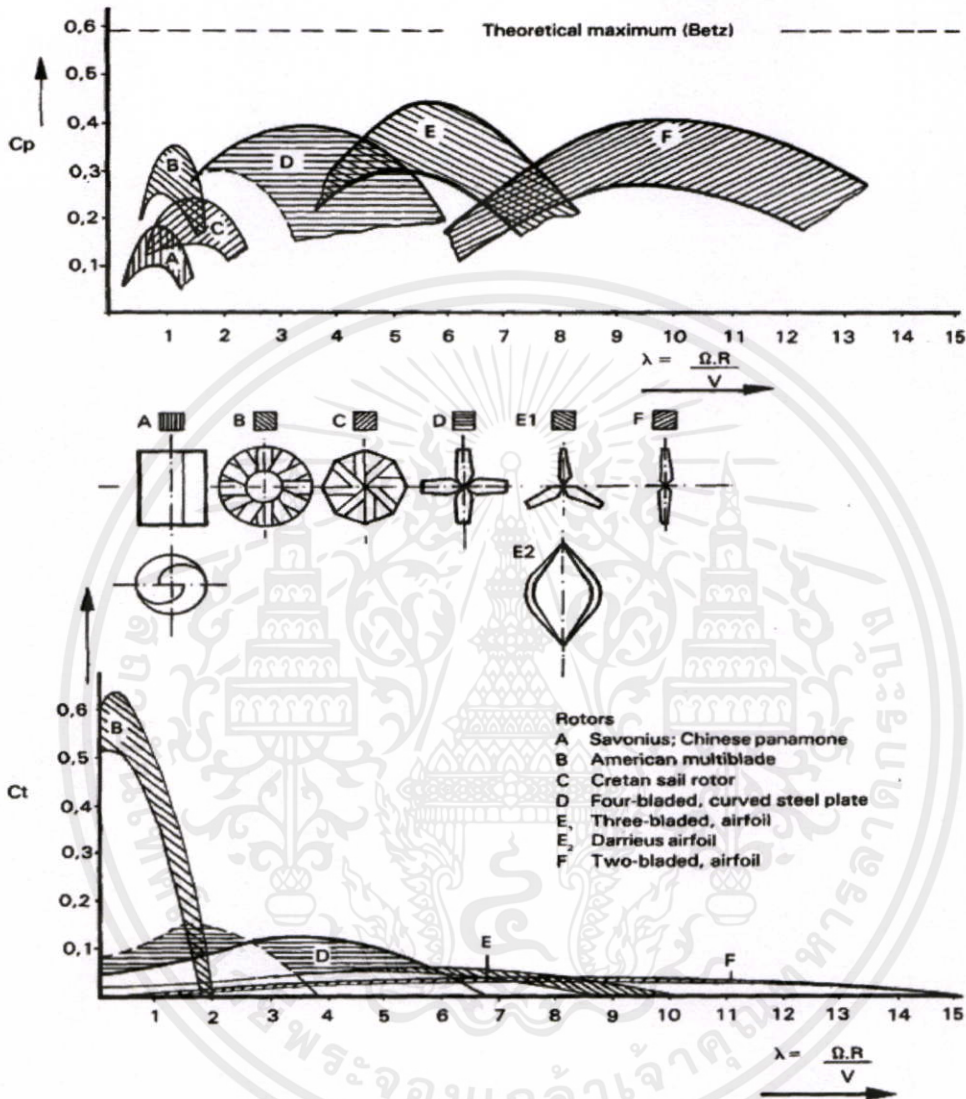
$$\frac{C_p}{C_T} = \frac{R\Omega}{V} = \lambda \quad (2.8)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังไม่ได้การรับรองว่าข้อมูลข้างต้นจะขึ้นกับการเข้ากันของใบพัด

และกระแสลม จากเส้นโค้ง $C_p - \lambda$ จะแสดงการประสิทธิภาพของใบพัดต่างๆ ซึ่งจะไม่ขึ้นกับขนาดของใบพัดและพารามิเตอร์ จากตัวอย่างเส้นโค้ง $C_p - \lambda$ สำหรับใบพัดรูปแบบต่างๆนั้นจะแสดงใน

รูปที่ 2.7 ซึ่งตามปกติค่า Power Coefficient ของกังหันลมจะเพิ่มขึ้นตามค่า Tip speed ratio จนถึงค่าสูงสุด และจะลดลงเมื่อค่า Tip speed ratio เพิ่มมากขึ้น ในส่วนของ $C_T - \lambda$ จะแสดงในตัวอย่างเส้นโค้งในรูปที่ 2.7 เช่นกัน



รูปที่ 2.7 ประสิทธิภาพของกังหันลมแบบต่างๆ [1]

2.5 แรงและโมเมนตัมในการไหล [1]

อัตราการเปลี่ยนแปลงโมเมนตัมเชิงเส้น (Linear momentum) เป็นสัดส่วนโดยตรงกับแรงที่กระทำกับวัตถุนั้นและการเปลี่ยนแปลงโมเมนตัมเชิงเส้นนั้นจะต้องอยู่ในทิศทางที่แรงกระทำ ซึ่งเป็นไปตามกฎข้อที่ 2 ของนิวตันสามารถเขียนเป็นสมการได้ว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งาน $F = ma$ หมายถึงว่า "ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์" (2.9) ในการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา $F = m \frac{dV}{dt}$ อย่างเป็นทางการ (2.10) ใช้

$$Fdt = mdV \quad (2.11)$$

ในกรณีของไหลเป็นแบบคงที่และปริมาตรเป็นแบบคงที่สามารถอินทิเกรตในขอบเขต 1 และ 2 ได้เป็น

$$F = \dot{M}(V_2 - V_1) \quad (2.12)$$

$$F = \rho AV(V_2 - V_1) \quad (2.13)$$

เมื่อ \dot{M} คือ อัตราการไหลของของไหล(kg/s)

ρ คือ ความหนาแน่นของของไหล(kg/m³)

A คือ พื้นที่หน้าตัดของการไหล(m²)

V คือ ความเร็วเฉลี่ยของการไหล(m/s)

2.6 สมการการไหลอย่างต่อเนื่อง

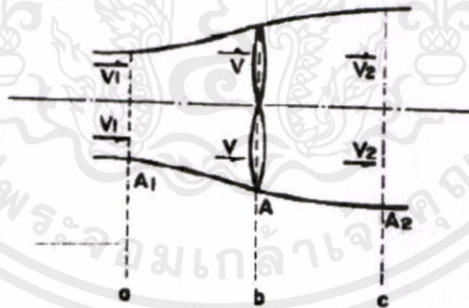
จากสมการการไหลอย่างต่อเนื่อง (Equation of Continuity) เมื่อมีการไหลภายในท่อจากจุดที่ 1 ไปยังจุดที่ 2 มวลของของไหลที่จุดที่ 1 และจุดที่ 2 จะมีค่าคงที่ตามหลักทรงมวล (Conservation of mass) ซึ่งจะเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\rho A_1 V_1 = \rho A_2 V_2 \quad (2.14)$$

เมื่อ ρ คือ ความหนาแน่นของของไหล(kg/m³)

A คือ พื้นที่หน้าตัดของการไหล (m²)

V คือ ความเร็วเฉลี่ยของการไหล(m/s)



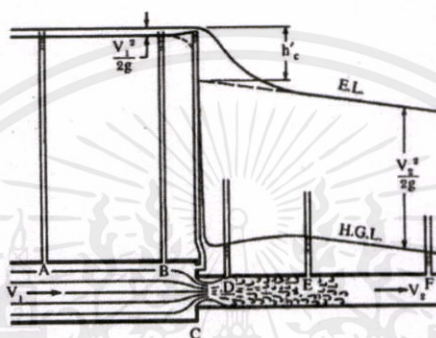
รูปที่ 2.8 การไหลผ่านพื้นที่หน้าตัดเพิ่มขนาด

จากรูป 2.8 ในกรณีที่ของไหลเป็นชนิดเดียวกันและเป็นของไหลที่ไม่สามารถยุบตัวได้ (Incompressible flow) ท่อที่มีพื้นที่หน้าตัดที่ตำแหน่งที่ 2 กว้างกว่าตำแหน่งที่ 1 ถ้าของไหลมีอัตราการไหลสม่ำเสมอความเร็วของของไหลที่ไหลผ่านตำแหน่งที่ 1 จะเร็วกว่าความเร็วที่ไหลผ่านตำแหน่งที่ 2 เพราะตำแหน่งที่ 1 มีพื้นที่หน้าตัดที่เล็กกว่าจะได้ว่า ρ_1 เท่ากับ ρ_2 ดังนั้นจากสมการข้างต้นจะสามารถเขียนใหม่ได้ว่า

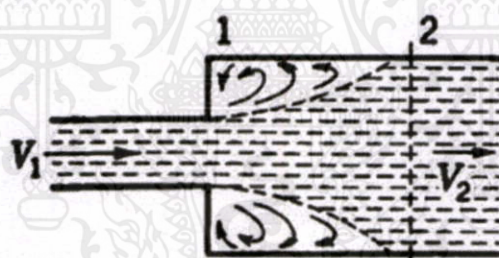
$$A_1 V_1 = A_2 V_2 \quad (2.15)$$

2.7 การสูญเสียพลังงานเนื่องจากลดและเพิ่มขนาดพื้นที่หน้าตัด

การลดขนาดโดยทันทีทันใด (Sudden contraction) ปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นจากการลดขนาดพื้นที่หน้าตัดของการไหลมีลักษณะดังในรูปที่ 2.9 จะเห็นได้ว่าขนาดของความดันนั้นลดน้อยลง เห็นได้ชัดทั้งนี้เนื่องจากขนาดของความเร็วนั้นเพิ่มสูงขึ้นและเนื่องจากมีพลังงานที่ต้องสูญเสียกับการไหลที่ปั่นป่วน (Turbulent) จะเห็นได้ว่าความดันทางด้านเหนือหน้าตัดนั้นมีค่าสูงมาก ทั้งนี้เพราะเส้น Streamlines ในบริเวณนั้นมีลักษณะเป็นเส้นโค้งของวงกลม ดังนั้นจึงเกิดแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางส่งผลไปทำให้ความดันในตำแหน่งที่บริเวณผิวท่อที่มีค่าสูงกว่าความดันที่กลางท่อของลำน้ำนั้นและมีลักษณะเช่นเดียวกันในกรณีการเพิ่มขนาดโดยทันทีทันใด ดังในรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.9 การสูญเสียจากการลดขนาดโดยทันทีทันใด

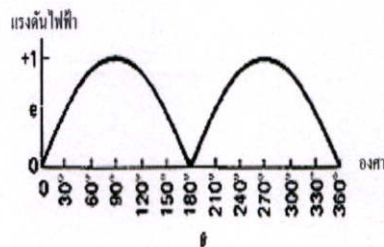
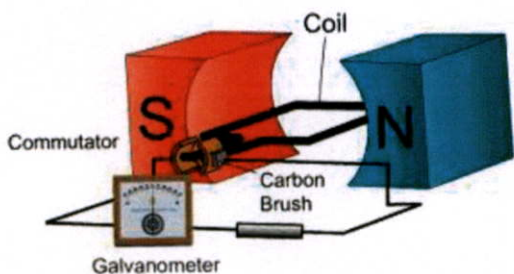


รูปที่ 2.10 การสูญเสียจากการเพิ่มขนาดโดยทันทีทันใด

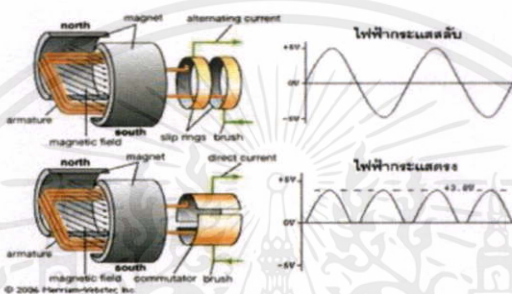
2.8 เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง [6]

เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงเป็นการนำเอาเครื่องกลไฟฟ้ากระแสตรงมาทำเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง โดยนำกำลังกลมาขับเคลื่อนที่เพลลาของเครื่องกล ซึ่งหลักการของเครื่องกำเนิดคือการแปลงพลังงานกลเป็นพลังงานไฟฟ้าและในรูปที่ 2.11(ก) แสดงการทำงานเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง เมื่อทำการหมุนเครื่องกลไฟฟ้าจากตำแหน่ง 0 องศา ถึงตำแหน่ง 360 องศา จะได้แรงดันไฟฟ้าในซีกบวกดังรูปที่ 2.11(ข) และความแตกต่างระหว่างการกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงและไฟฟ้ากระแสสลับอยู่ที่จุดที่ต่อไฟฟ้าออกมาจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ถ้าใช้ Slip ring จะได้ไฟฟ้ากระแสสลับ แต่ถ้าใช้ Brush(แปรงถ่าน) จะได้ไฟฟ้ากระแสตรง ดังรูปที่ 2.12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) การหมุนเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง (ข) รูปคลื่นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง
 รูปที่ 2.11 รูปคลื่นแรงดันจากการหมุนเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง



รูปที่ 2.12 รูปคลื่นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง เปรียบเทียบกับไฟฟ้ากระแสสลับ

จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงสามารถแบ่งตามลักษณะการต่อได้ 4 ลักษณะดังนี้

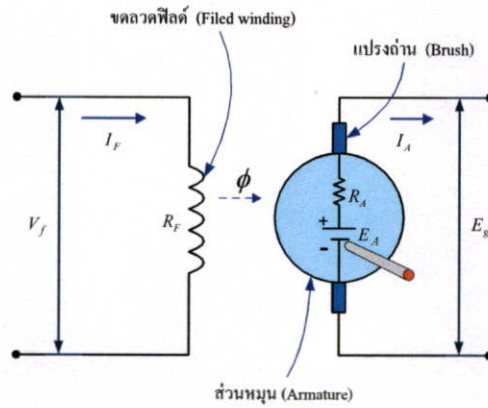
1. เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแบบกระตุ้นแยก (Separately Excited DC Generator)
2. เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแบบขนาน (Shunt DC Generator)
3. เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแบบอนุกรม (Series DC Generator)
4. เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแบบผสม (Compound DC Generator)

โดยสำหรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแบบกระตุ้นแยก (Separately Excited DC Generator) เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงชนิดนี้ขดลวดที่อยู่ในส่วนหนึ่งจะทำหน้าที่สร้างสนามแม่เหล็กกับขดลวดอาร์เมเจอร์ทำหน้าที่สร้างแรงดันไฟฟ้าจะแยกออกจากกัน แสดงลักษณะวงจรดังรูปที่ 2.13 ในส่วนของขดลวดสร้างสนามแม่เหล็กจะต้องมีแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงจากภายนอกมาป้อนให้กับขดลวดเพื่อสร้างสนามแม่เหล็กที่ไปสร้างให้เกิดแรงดันเหนี่ยวนำขึ้นที่อาร์เมเจอร์เมื่อพิจารณาในส่วนของอาร์เมเจอร์ เมื่อใช้กฎของแรงดันเคอร์ชอฟฟ์ และสามารถเขียนแรงดันไฟฟ้าในวงจรอาร์เมเจอร์ได้ดังสมการที่ 2.16 และแรงดันที่ส่งออกจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงชนิดนี้เป็นไปตามสมการ 2.16

$$E_A = E_g + I_A R_A \tag{2.16}$$

$$E_g = E_A - I_A R_A \tag{2.17}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการเรียนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 เมื่อทำการพิจารณาสมการแรงดันที่ขั้วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงจากสมการที่ 2.17 พบว่าแรงดันของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะมีค่าน้อยกว่าแรงดันที่จ่ายออกจากอาร์เมเจอร์เสมอ เพราะแรงดันส่วนหนึ่งจะไปตกคร่อมที่ความต้านทานของขดลวดอาร์เมเจอร์



รูปที่ 2.13 วงจรเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแบบกระตุ้นแยก

ในการคำนวณหาคุณลักษณะดังรูปที่ 2.13 แสดงวงจรเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแบบกระตุ้นแยก และมีค่าตัวแปรต่างของวงจรดังนี้

- เมื่อ V_f = แรงดันไฟฟ้าที่ขดลวดฟิลด์
 E_g = แรงดันไฟฟ้าที่จ่ายไปยังโหลด
 E_A = แรงดันไฟฟ้าที่อาร์เมเจอร์
 I_f = กระแสไฟฟ้าที่ขดลวดฟิลด์หรือกระแสสร้างสนามแม่เหล็ก
 I_A = กระแสไฟฟ้าที่อาร์เมเจอร์
 R_f = ค่าความต้านทานของขดลวดฟิลด์
 R_A = ค่าความต้านทานของขดลวดอาร์เมเจอร์
 ϕ = เส้นแรงแม่เหล็ก

2.9 ประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง

ถ้าทราบประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงจะทำให้สามารถหาขนาดของเครื่องต้นกำลังมาหมุนเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงได้ โดยทั่วไปขนาดของเครื่องต้นกำลังที่จะนำมาหมุนจะต้องมีค่ามากกว่า 1.5 เท่าของกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดการหาประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดสามารถหาค่าได้ดังสมการที่ 2.19

$$\eta = \frac{P_o}{P_o + P_{loss}} \times 100 \% \quad (2.19)$$

- เมื่อ P_o = กำลังไฟฟ้านำออกของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง
 P_{loss} = กำลังไฟฟ้าสูญเสียซึ่งประกอบด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.10 การตามรอยจุดที่กำลังไฟฟ้ามี่ค่าสูงสุด (MPPT)

วิธีการในการควบคุม MPPT เพื่อหากำลังไฟฟ้าสูงสุดของกังหันผลิตไฟฟ้าสามารถทำได้หลายวิธีโดยจะพิจารณาในส่วนของวิธีการรบกวนและการสังเกต (Perturbation and Observation Method) P&O ซึ่งนอกเหนือจากวิธีนี้ยังมีอีกหลายวิธีที่สามารถหาควบคุมระบบกังหันลมไฟฟ้าให้มีกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้ ดังนี้

- วิธีเพิ่มค่าความนำ (incremental conductance)

หลักการของวิธีนี้ คือ ทำโดยการหาค่าอนุพันธ์ของกำลังไฟฟ้าขาออกเทียบกับแรงดันไฟฟ้าของดีซีเจนเนอเรเตอร์ ถ้ามีค่าเท่ากับศูนย์แสดงว่าจุดทำงานอยู่ที่จุดจ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสุด แต่ถ้าไม่เท่ากับศูนย์จะทำการเพิ่มหรือลดแรงดันไฟฟ้าของดีซีเจนเนอเรเตอร์เป็นขั้นๆ จนกระทั่งจุดทำงานวิ่งเข้าสู่จุดจ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสุด

วิธีนี้มีข้อดีในแง่ของความสามารถในการหาจุดจ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้อย่างถูกต้องเมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงความเร็วลมอย่างทันทีทันใดแต่มีการคำนวณที่ซับซ้อน ใช้เวลาในการคำนวณมาก และเกิดปัญหาการแกว่งของกำลังไฟฟ้าที่จุดจ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสุดในสภาวะคงตัวเมื่อต้องการลดเวลาในการหาจุดจ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสุดให้น้อยลง วิธีนี้ยังคงมีการตรวจจับแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าของดีซีเจนเนอเรเตอร์เช่นเดียวกับวิธีการรบกวน

- Tip speed ratio (TSR) control

วิธีการควบคุม TSR เป็นการควบคุมความเร็วในการหมุนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพื่อรักษา TSR ให้เป็นค่าสูงสุด เพื่อให้เกิดพลังงานสูงสุด วิธีนี้ต้องใช้ทั้งความเร็วลมและความเร็วกังหันที่จะวัดหรือประมาณ และนอกจากนี้ยังต้องทราบการทำให้ TSR มีค่าเหมาะสมที่สุดเพื่อให้ได้กำลังไฟฟ้ามี่ค่าสูงสุด

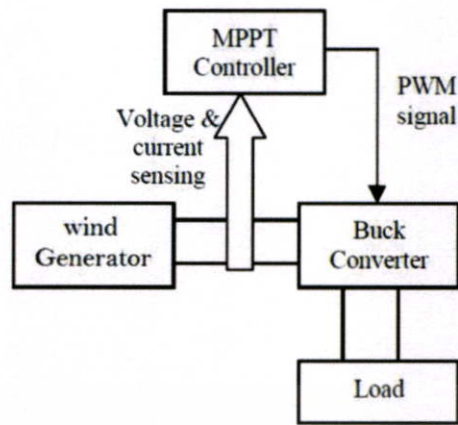
- Power signal feedback (PSF) control

วิธีการควบคุมแบบนี้จะต้องทราบกราฟกำลังสูงสุดของกังหันลมและต้องตามรอยเส้นกราฟกำลังผ่านระบบควบคุม กราฟกำลังสูงสุดที่จะต้องได้จากแบบจำลองหรือการทดลองของแต่ละใบพัด ซึ่งวิธีนี้กำลังไฟฟ้าอ้างอิงจะได้โดยการบันทึกกราฟกำลังสูงสุดหรือใช้สมการกำลังทางกลของกังหันลมที่ความเร็วลมหรือความเร็วโรเตอร์ถูกนำมาใช้เป็นค่าอินพุต

2.10.1 แบบจำลองระบบ [12]

การทำงานของระบบพลังงานลม เครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลมนั้นประกอบด้วยกังหันลมต่อร่วมกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ดังรูปที่ 2.14 ในส่วนของวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์เป็นวงจรแปลงกระแสตรง (DC-DC Converter) แต่สามารถควบคุมขนาดของแรงดันขาเข้าและขาออกได้โดยอัตราส่วนระหว่างโวลต์ขาเข้าและขาออกจะถูกควบคุมโดยสัญญาณ PWM จากวงจรควบคุม MPPT โดยที่ตัวควบคุม MPPT จะทำการอ่านแรงดันและกระแสที่ออกมาจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพื่อนำมากำหนดสัญญาณ PWM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.14 การทำงานของระบบไฟฟ้าพลังงานลม

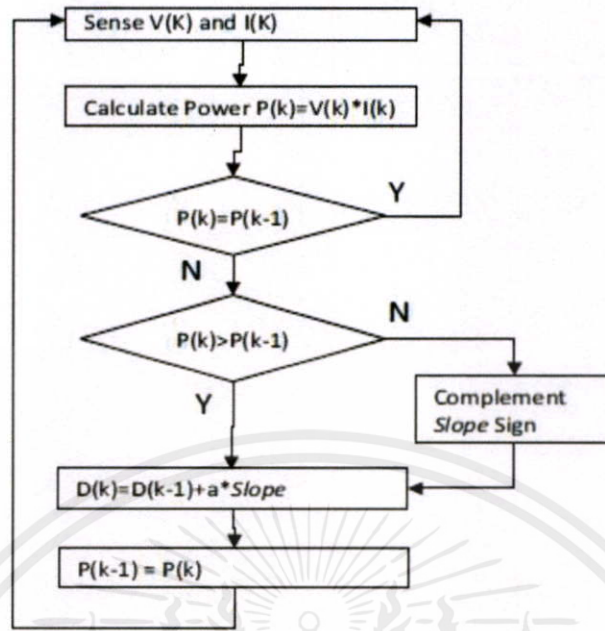
2.10.2 วิธีการรบกวนและการสังเกต (Perturbation and Observation Method) P&O

หลักการทำงานเป็นคาบเวลาโดยทำการปรับแรงดันไฟฟ้าของดีซีเจนเนอเรเตอร์ซึ่งขั้นตอนดังกล่าวคือขั้นตอนการรบกวน หลังจากนั้นจะทำการวัดกำลังไฟฟ้าของดีซีเจนเนอเรเตอร์ที่ได้จากการรบกวน แล้วทำการเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าของดีซีเจนเนอเรเตอร์ในคาบเวลาปัจจุบันกับคาบเวลา ก่อน เพื่อเพิ่มหรือลดแรงดันไฟฟ้าของดีซีเจนเนอเรเตอร์ให้จุดทำงานวิ่งเข้าหาจุดจ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสุด

วิธีนี้เป็นวิธีที่มีอัลกอริธึมง่ายและมีประสิทธิภาพสูงในการหาจุดจ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสุด แต่เกิดปัญหาการแกว่งของกำลังไฟฟ้าที่จุดจ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสุดในสภาวะคงตัวและไม่สามารถหาจุดจ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้อย่างถูกต้องเมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงความเร็วลมอย่างทันทีทันใดอีกทั้งในการหาลำดับกำลังไฟฟ้าของดีซีเจนเนอเรเตอร์ต้องใช้ตัวตรวจจับแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าเพื่อนำมาคำนวณหาลำดับกำลังไฟฟ้าจึงเกิดความยุ่งยากในการใช้งานและความซับซ้อนในการคำนวณ

วิธีการของ P&O จะทำงานด้วยการปรับค่ารอบการทำงานของวงจรถักคอนเวอร์เตอร์นั้น คือการปรับค่าแรงดันขาออกของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและสังเกตกำลังไฟฟ้าเพื่อนำไปเพิ่มหรือลดรอบการทำงานในรอบการทำงานถัดไป ถ้าเพิ่มรอบการทำงานแล้วกำลังเพิ่มขึ้น ดังนั้นทิศทางของการรบกวนในรอบถัดไปจะไปในทิศทางเดิม ในทางตรงกันข้าม ถ้ารบกวนแล้วกำลังมีค่าลดลง ทิศทางของสัญญาณรบกวนต้องตรงข้ามจากรอบก่อนหน้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

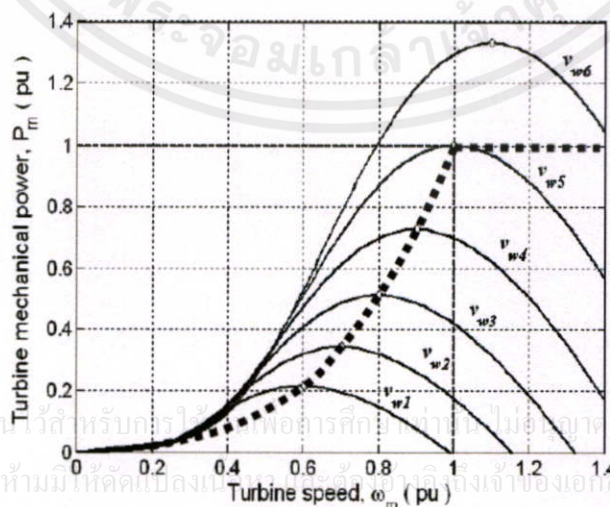


รูปที่ 2.15 แผนผังการทำงานของวิธีการ P&O

โดยเทคนิคนี้จะทำการปรับเพิ่มค่าดิวตี้ไซเคิลทีละนิดแล้วทำการเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้า ณ ปัจจุบันเทียบกับค่าที่วัดก่อนหน้านี้ ถ้ามีค่ามากกว่าก็จะปรับค่าดิวตี้ไซเคิลเพิ่มขึ้น ถ้ามีค่าน้อยกว่าก็จะทำการปรับลดค่าดิวตี้ไซเคิลแล้วทำการเปรียบเทียบอีกครั้ง

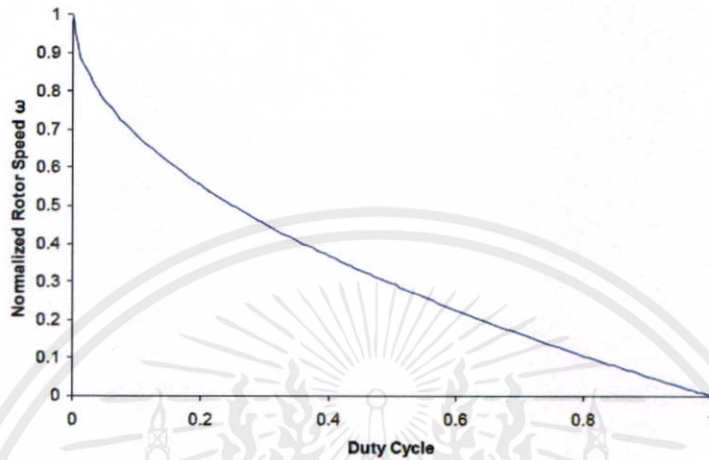
2.10.3 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้า ความเร็วโรเตอร์ และดิวตี้ไซเคิล

ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าและความเร็วโรเตอร์ที่ค่าความเร็วลมต่างๆ แสดงในรูปที่ 2.16 จะเห็นได้ว่าค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดจะแตกต่างกันเมื่อความเร็วโรเตอร์ต่างกันดังนั้นความเร็วโรเตอร์ควรหมุนที่ความเร็วเหมาะสม ที่ทำให้เกิดกำลังไฟฟ้าสูงสุด



รูปที่ 2.16 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าและความเร็วโรเตอร์ที่ความเร็วลมค่าต่าง ๆ

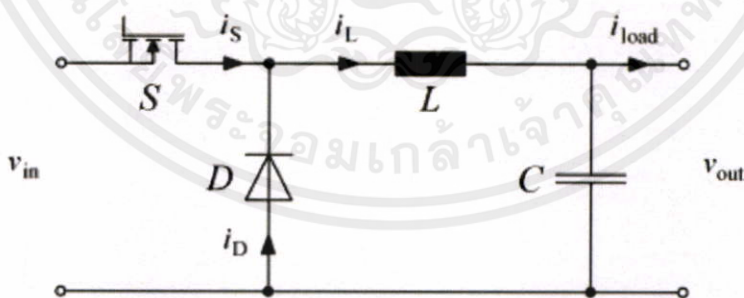
ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วโรเตอร์ (ω) กับ ดิวตี้ไซเคิล (D) ดังแสดงในรูปที่ 2.17 ความเร็วโรเตอร์ (ω) จะวัดโดยให้อยู่ในรูปของฟังก์ชันของวัฏจักรการทำงาน (D) ในขณะที่ต่อกับโหลดที่มีค่าคงที่ เมื่อโหลดไม่มากพอจะทำให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเกิดการสะดุด [16]



รูปที่ 2.17 กราฟความสัมพันธ์ของความเร็วโรเตอร์ (ω) กับดิวตี้ไซเคิล (D) [2]

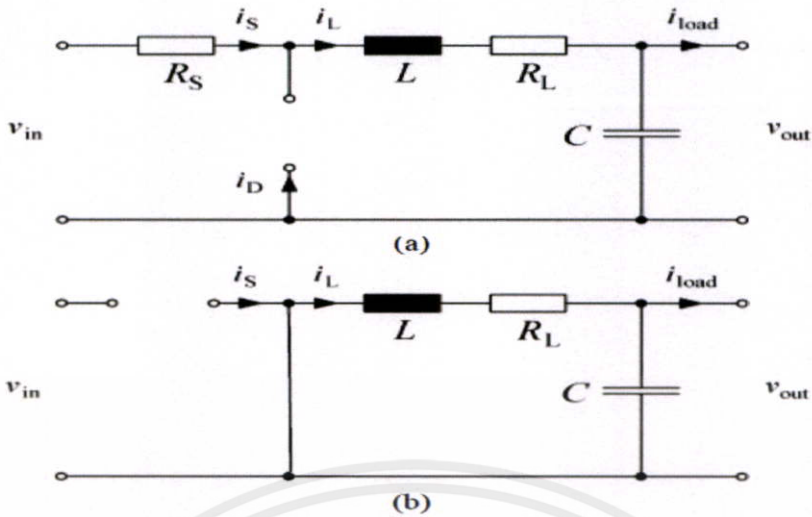
2.11 วงจรทอนแรงดันไฟฟ้า

วงจรทอนแรงดันใช้เพื่อลดแรงดันกระแสตรง วงจรพื้นฐานของวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์จะแสดงในรูปที่ 2.18 ซึ่งประกอบไปด้วยสี่ส่วนประกอบหลัก ๆ คือ 1.Power MOSFET (S) 2.Diode (D) 3.Inductor 4.Output filter capacitor(C) คอนเวอร์เตอร์อาจทำงานในสองโหมดที่แตกต่างกัน คือ โหมดการนำกระแสอย่างต่อเนื่องซึ่งกระแสเหนี่ยวนำไม่เป็นศูนย์ และโหมดการนำกระแสไม่ต่อเนื่อง ซึ่งกระแสตัวเหนี่ยวนำจะตกลงสู่ศูนย์เมื่อผ่านหนึ่งรอบการทำงาน



รูปที่ 2.18 Buck converter circuit

ในโหมดการนำกระแสอย่างต่อเนื่อง วงจรบัคคอนเวอร์เตอร์อาจอยู่ในสองสถานะที่แตกต่างกัน คือสถานะ ON และสถานะ OFF ดังรูปที่ 2.19(a) และ 2.19(b) จะแสดงวงจรสมมูลของสถานะ ON และสถานะ OFF ตามลำดับ โดย R_s คือความต้านทานของ MOSFET ในสถานะ ON และ R_L คือความต้านทานของตัวเหนี่ยวนำอ้างอิงถึงเข้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.19 วงจรสมมูลของ MOSFET (a)สถานะ ON (b)สถานะ OFF

ในสถานะ ON; มอสเฟสกำลัง(S) จะ ON และ ไดโอด(D) จะ OFF จะได้สมการของระบบเป็นดังสมการที่ 2.20 และ 2.21

$$C = v_{in} - i_L(R_S + R_L) - v_{out} \quad (2.20)$$

$$C \frac{dv_{out}}{dt} = i_L - i_{load} \quad (2.21)$$

ในสถานะ OFF; มอสเฟสกำลัง(S) จะ OFF และ ไดโอด(D) จะ ON จะได้สมการของระบบเป็นดังสมการที่ 2.22 และ 2.23

$$L \frac{di_L}{dt} = -(i_L R_L + v_{out}) \quad (2.22)$$

$$C \frac{dv_{out}}{dt} = i_L - i_{load} \quad (2.23)$$

แรงดันเฉลี่ยที่ตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำในสถานะคงตัวคือผลรวมของสมการ (2.20) และ (2.22)

$$L \frac{di_L}{dt} = dv_{in} - di_L R_S - i_L R_L - v_{out} \quad (2.24)$$

กระแสเฉลี่ยที่ไหลในตัวเก็บประจุในสถานะคงตัวคือผลรวมของสมการ(2.21) และ (2.23) ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

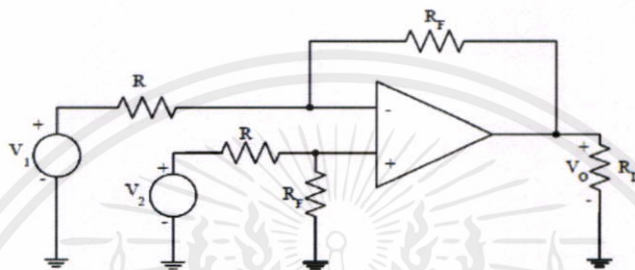
$$C \frac{dv_{out}}{dt} = (i_L - i_{load}) \quad (2.25)$$

จะได้กระแสเฉลี่ยขาเข้าต้งสมการ

$$i_s = di_L \quad (2.26)$$

2.12 วงจรขยายแบบผลต่าง (differential Op amplifier)

เป็นวงจรที่สัญญาณขาออกเป็นผลจากการลบกันของสัญญาณขาเข้าโดยจะทำให้แรงดันขาออกเท่ากับผลต่างแรงดันขาเข้าของวงจรขยาย



รูปที่ 2.20 วงจรขยายแบบผลต่าง

พิจารณา $V_2 = 0$ วงจรจะกลายเป็นวงจรขยายแบบกลับเฟสดังนั้นจะได้แรงดันขาออกมีค่าเท่ากับ

$$V_{o1} = -\frac{R_F}{R} V_1 \quad (2.27)$$

จากนั้นพิจารณา $V_1 = 0$ จะได้วงจรขยายแบบไม่กลับเฟสคือ

$$V_{o2} = \left(\frac{R_F}{R} + 1\right) \left(\frac{R_F}{R + R_F}\right) \quad (2.28)$$

จะได้

$$V_{o2} = \frac{R_F}{R} V_2 \quad (2.29)$$

ดังนั้น แรงดันขาออก (V_o) จะมีค่าเท่ากับ $V_o = V_{o1} + V_{o2}$ ดังนั้นจะได้

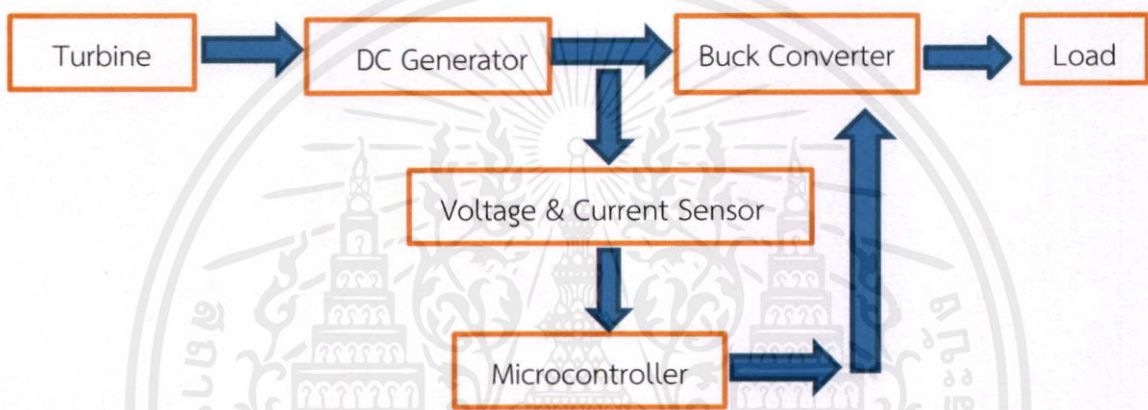
$$V_o = \frac{R_F}{R} (V_2 - V_1) \quad (2.30)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3 การออกแบบการทดลอง

การตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุด (Maximum Power Point Tracking: MPPT) จะใช้ วงจรคอนเวอร์เตอร์เพื่อปรับแรงดันให้เหมาะสมกับโหลดและรักษาระดับแรงดันขาออกให้อยู่ในย่านแรงดันที่สามารถแปลงพลังงานได้ใกล้เคียงกับค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด (P_{max}) โดยมีการปรับดิวิตีไซเคิลเพื่อรักษาระดับแรงดันให้อยู่ในย่านกำลังไฟฟ้าสูงสุด (P_{max})

3.1 ส่วนประกอบหลักของวงจรตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุด (MPPT)



รูปที่ 3.1 Block Diagram ของชุดตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุด

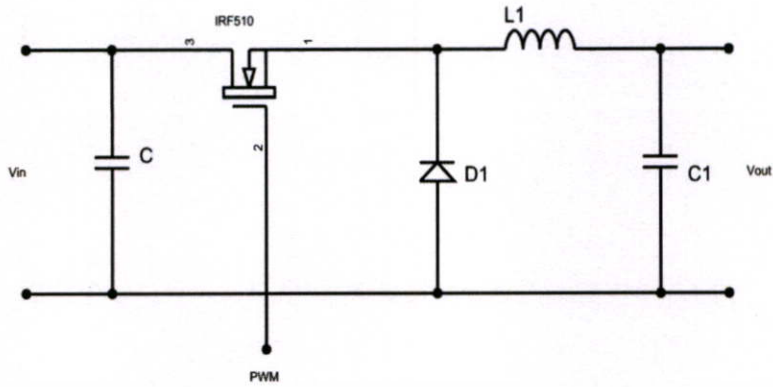
3.2 การออกแบบวงจรทอนแรงดัน (Buck Converter)

วงจรทอนแรงดันหรือวงจรบักคอนเวอร์เตอร์ เป็นวงจรที่จะทำให้ได้แรงดันไฟฟ้า ด้านออกตามที่ต้องการคือ ต้องเริ่มจากเงื่อนไขที่ว่าแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยที่ตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำ ในแต่ละ คาบเวลามีค่าเท่ากับศูนย์ จากนั้นก็จะสามารถหากระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำได้ วงจรทอนแรงดันมี ประกอบด้วยอุปกรณ์ต่างๆที่มีรายละเอียดดังนี้

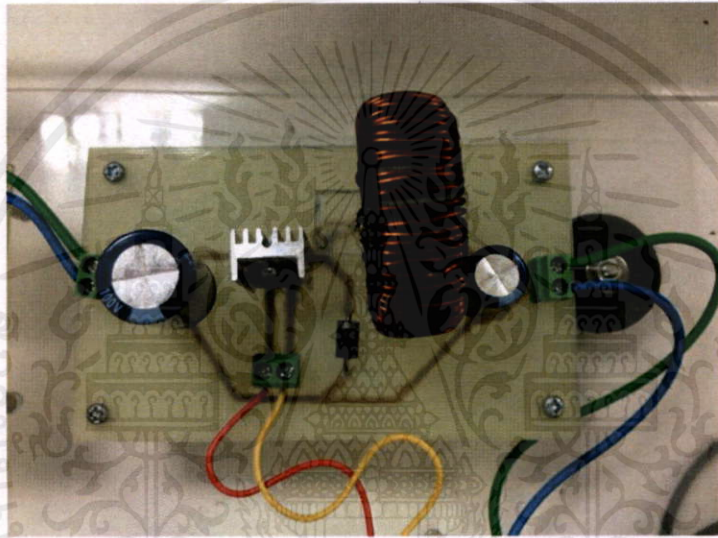
1. ตัวเก็บประจุ (Capacitance: C) เป็นตัวกรองแรงดันเพื่อทำให้แรงดันทั้งทางด้านขาเข้า และขาออกเรียบอีกทั้งยังทำหน้าที่จ่ายกระแสให้กับโหลดอีกด้วย
2. มอสเฟต (Mosfet) ทำหน้าที่ในการสวิตซ์ไฟเข้าสู่โหลดโดยจะได้รับสัญญาณควบคุมจาก ส่วนขยายสัญญาณควบคุมควบคุม โดยในวงจรจะเลือกใช้มอสเฟตเบอร์ IRF510
3. ตัวเหนี่ยวนำ (Inductance: L) ทำหน้าที่เป็นแหล่งจ่ายไฟให้กับโหลดช่วยกรองและ ป้องกันการกระชากของกระแสในช่วงที่สวิตซ์มีการ turn off
4. ไดโอด (Diode) ในช่วงที่สวิตซ์หยุดนำกระแสไดโอดจะช่วยให้กระแสวิ่งผ่านโหลดได้อย่าง

ต่อเนื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 (ก)



รูปที่ 3.2 (ข)

รูปที่ 3.2 วงจรทอนแรงดัน (ก) วงจรที่ออกแบบตามทฤษฎี (ข) วงจรที่ออกแบบจริง

3.2.1 การหาค่าตัวเหนี่ยวนำ

การหาค่าตัวเหนี่ยวนำจะหาค่าที่น้อยที่สุดที่จะทำให้วงจรบักคอนเวอร์เตอร์ทำงานในโหมดกระแสต่อเนื่อง โดยเริ่มต้นจากการหากระแสเฉลี่ยที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำซึ่งจะเท่ากับกระแสเฉลี่ยที่ไหลผ่านโหลด เนื่องจากขณะที่อยู่บนสภาวะการทำงานอยู่ตัว กระแสเฉลี่ยที่ไหลผ่านตัวเก็บประจุจะมีค่าเท่ากับศูนย์ ซึ่งในการออกแบบต้องคำนึงถึงความต่อเนื่องของกระแสด้วย โดยต้องเลือกค่า L ให้มีค่ามากกว่าค่า L_{\min} ที่ได้จากการคำนวณ ซึ่งสูตรที่ใช้ในการคำนวณคือ

$$\text{เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ } L_{\min} = \frac{(1-D)R}{2f} \text{ เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ (3.1) การค้า}$$

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ

$$f_s = \frac{1}{T_s} \quad : \text{ ความถี่ในการสวิตช์}$$

$$D \quad : \text{ ดิวตี้ไซเคิล}$$

$$R \quad : \text{ โหลดความต้านทาน}$$

โดยค่าที่ออกแบบมีดังนี้

$$f_s = 30 \text{ kHz}$$

$$D = 0.1$$

$$R = 100 \ \Omega$$

แทนค่าในสมการที่ 3.1 จะได้ค่า $L_{\min} = \frac{(1-0.1)(100)}{2(30 \times 10^3)} = 1.45 \text{ mH}$

เลือกใช้ที่ 32 mH

3.2.2 การหาค่าตัวเก็บประจุ (Capacitance)

การหาค่าตัวเก็บประจุในวงจรทอนแรงดัน (Buck Converter) สามารถหาได้จาก

สูตร

$$C = \frac{1-D}{8Lf^2 \frac{\Delta V_o}{V_o}} \quad (3.2)$$

$$f_s = \frac{1}{T_s} \quad : \text{ ความถี่ในการสวิตช์}$$

$$D \quad : \text{ ดิวตี้ไซเคิล}$$

$$L \quad : \text{ ค่าความเหนี่ยวนำ}$$

$$\Delta V_o \quad : \text{ ค่าระลอกแรงดันขาออก}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเผยแพร่ และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

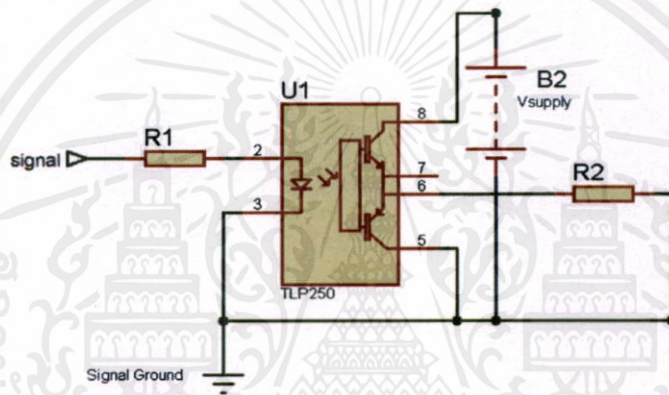
เมื่อแทนค่าในสมการจะได้

$$C = \frac{(1-0.1)}{8(1.45 \times 10^{-3})(30 \times 10^3)^2 \left(\frac{0.2}{70}\right)} = 29.16 \mu F$$

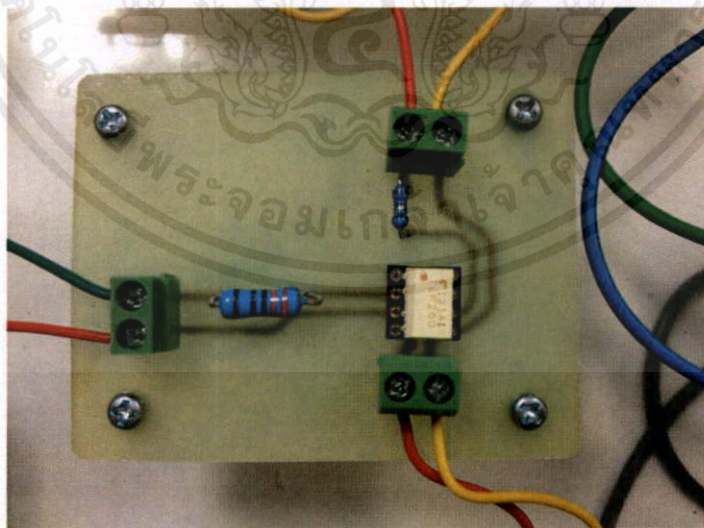
ในที่นี้เลือกใช้ $1000 \mu F$

3.3 ชุดขับมอสเฟต (Drive Mosfet)

ชุดขับมอสเฟตจะใช้ IC เบอร์ TLP250 เป็นวงจรมอสเฟต ซึ่งวงจรมอสเฟตจะรับสัญญาณ Pulse (Duty Cycle) ที่สร้างมาจากไมโครคอนโทรลเลอร์และทำหน้าที่ขยายสัญญาณจะนำสัญญาณที่ขยายแล้วไปขับมอสเฟตไปขับมอสเฟต



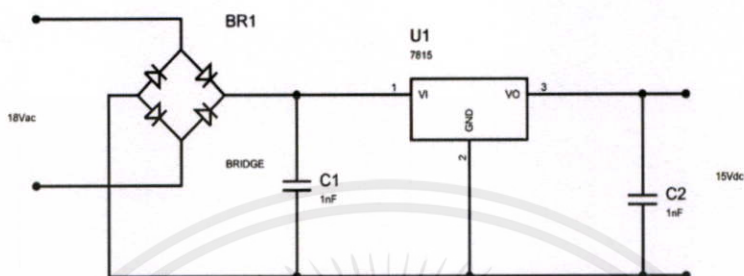
รูปที่ 3.3 (ก)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานรูปที่ 3.3 (ข) เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ถือว่าห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
รูปที่ 3.3 วงจรมอสเฟต (ก) วงจรที่ออกแบบตามทฤษฎี (ข) วงจรจริง

3.4 ชุดจ่ายไฟ (Regulator)

ชุดจ่ายไฟ (Regulator) ขนาดแรงดันขาออก 15 โวลต์ โดยชุดจ่ายไฟจะใช้เพื่อจ่ายไฟให้กับชุดขับเคลื่อนมอเตอร์ (Drive mosfet) เพื่อจะนำสัญญาณไปขับเคลื่อนมอเตอร์ต่อไป ซึ่งในด้านแรงดันขาเข้าจะรับไฟมาจากหม้อแปลงโดยจะมีการแปลงแรงดัน 220/18 โวลต์



รูปที่ 3.4 (ก)



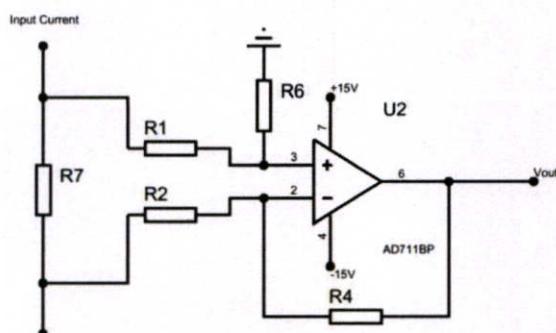
รูปที่ 3.4 (ข)

รูปที่ 3.4 วงจรชุดจ่ายไฟ 15V (ก) วงจรที่ออกแบบตามทฤษฎี (ข) วงจรที่ออกแบบจริง

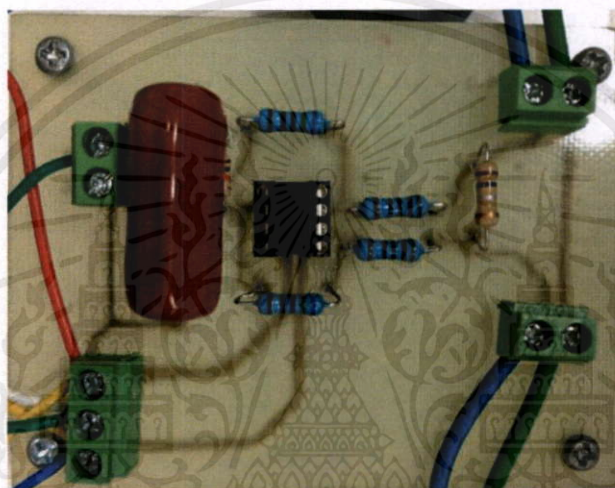
3.5 ชุดตรวจจذبกระแส

ชุดตรวจจذبกระแสเพื่อส่งไปประมวลผลในส่วนของไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยใช้หลักการของ I to V converter จะแปลงค่ากระแสที่ผ่านความต้านทานเป็นแรงดันและทำการขยายสัญญาณด้วย Op-Amplifier เบอร์ UA741 จะเข้าไปในส่วนของไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อประมวลผลต่อไป

เอกสารที่ส่งวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 (ก)



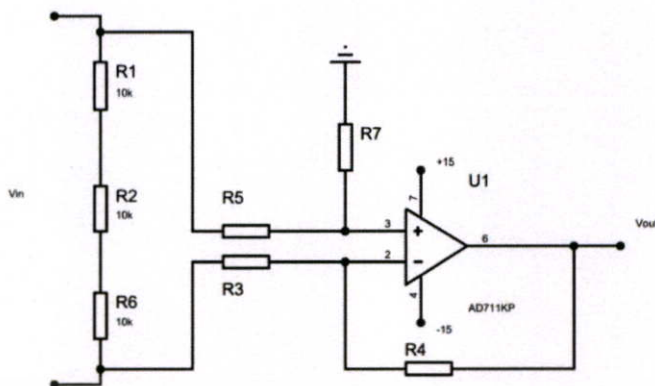
รูปที่ 3.5 (ข)

รูปที่ 3.5 ชุดตรวจจับกระแส (ก) ออกแบบตามทฤษฎี (ข) ออกแบบจริง

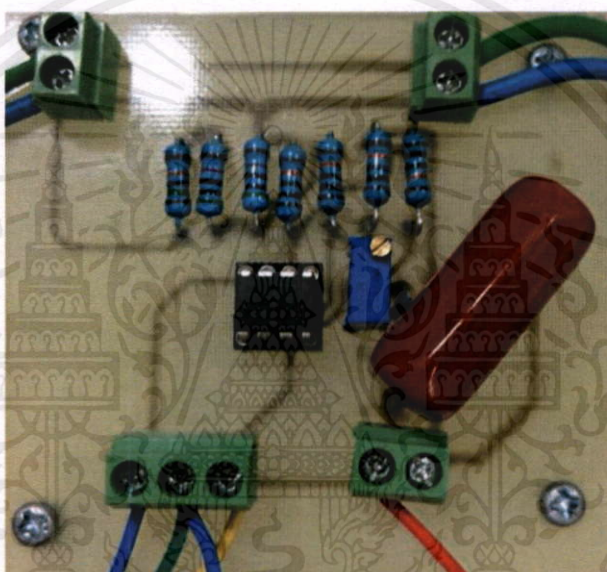
3.6 ชุดตรวจจับแรงดัน

ชุดตรวจจับแรงดันจะใช้วงจรทอนแรงดันเป็นอัตราส่วน 5:1 และวงจรขยายโดยจะใช้แบบวงจรขยายแบบแตกต่าง (Differential Op-Amp) โดยจะใช้ IC เบอร์ UA741 ซึ่งเป็นการหาความแตกต่างระหว่าง 2 สัญญาณ โดย V1 ใช้แรงดันไฟบวกจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ส่วนแรงดัน V2 จะต่อเข้าขั้วลบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เมื่อผ่านวงจรที่อัตราขยาย 1:1 และจะใช้ความต้านทานปรับค่าได้ปรับค่าแรงดันให้มีค่าสูงสุดที่ 5 V เพื่อนำค่าที่ได้ไปเข้าไมโครคอนโทรลเลอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 (ก)



รูปที่ 3.6 (ข)

รูปที่ 3.6 วงจรตรวจจับแรงดัน (ก) ออกแบบตามทฤษฎี (ข) ออกแบบจริง

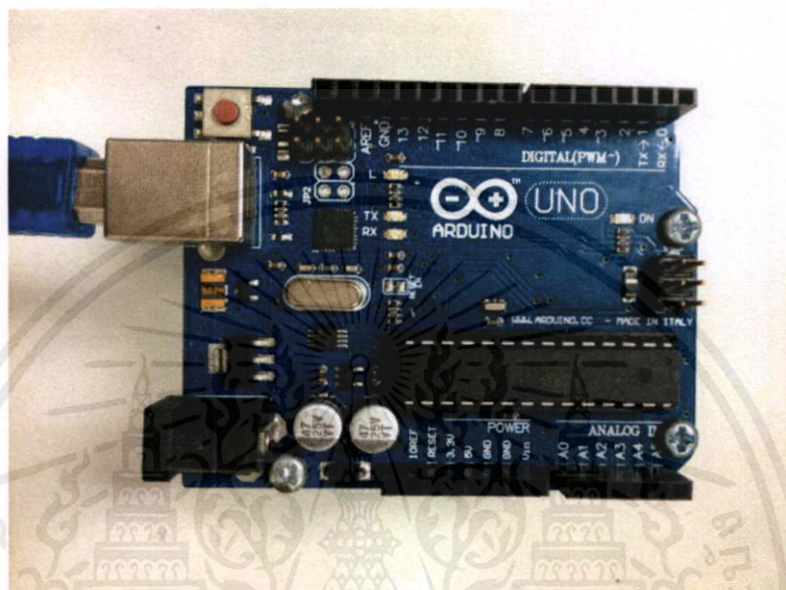
3.7 ชุดไมโครคอนโทรลเลอร์

ชุดไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถเขียนโปรแกรมควบคุมได้หลายภาษา ได้แก่ แอสเซมบลี ซี และอื่นๆ แต่เนื่องจากไมโครคอนโทรลเลอร์มีด้วยกันหลายประเภทตามสถาปัตยกรรม บางประเภทสามารถเขียนได้ทุกภาษาแต่บางประเภทก็เขียนได้เพียงบางภาษา สำหรับการตามรอย กำลังไฟฟ้าสูงสุดสำหรับกังหันลมขนาดเล็กนี้จะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ATmega328P-Pu ซึ่งเป็นบอร์ด Arduino-Uno ซึ่งตัวนี้จะมีขา Digital 14 ขา input/output (สามารถทำเป็น PWM ได้ถึง 16 ขา) และมีขา Analog input ได้อีก 6 ขา ที่ความถี่ 16 MHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่นำมาใช้เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยชุดไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำหน้าที่ต่างๆดังนี้

- สร้างสัญญาณ Duty Cycle เพื่อจ่ายให้กับวงจรขยายสัญญาณและนำไปขับมอเตอร์ต่อไป
- ประมวลผลกำลังไฟฟ้าและส่งสัญญาณ Duty Cycle ไปยังวงจรทอนแรงดัน
- เปลี่ยนสัญญาณอนาล็อกให้เป็นสัญญาณดิจิตอล
- หาค่าเฉลี่ยของกระแสและแรงดัน



รูปที่ 3.7 บอร์ด Arduino ATMEGA 328P-PU

3.7.1 พอร์ตของไมโครคอนโทรลเลอร์ที่นำมาใช้งาน

- ไมโครคอนโทรลเลอร์จะสร้างสัญญาณ PWM และจะส่งสัญญาณในรูปแบบของ Duty Cycle เพื่อนำไปเป็นสัญญาณขาเข้าของวงจรขยายเพื่อนำสัญญาณไปขับมอเตอร์ในวงจรทอนแรงดัน
- ไมโครคอนโทรลเลอร์จะแปลงสัญญาณขาเข้าจากอนาล็อกเป็นดิจิตอล โดยรับสัญญาณอนาล็อกจากส่วนตรวจจับกระแสและแรงดันจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

3.7.2 การประมวลผลของโปรแกรมควบคุม

ในการประมวลผลของโปรแกรมควบคุมการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดมีขั้นตอนการดำเนินงานดังนี้

1. เริ่มต้นจากไมโครคอนโทรลเลอร์รับค่าแรงดันและกระแสจากชุดตรวจจับ (Voltage and Current Sensor) แล้วทำการแปลงค่าจากสัญญาณอนาล็อกไปเป็นดิจิตอลโดยใช้ ADC เพื่อให้

ไมโครคอนโทรลเลอร์ใช้ในการประมวลผล เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. นำค่าแรงดันและกระแสที่ได้จากการแปลงค่าไปคำนวณหาค่ากระแสและแรงดันไฟฟ้าที่ออกจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพื่อคำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้า นำค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้มาเป็นค่าอ้างอิง เมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์รับค่ากระแสและแรงดันค่าใหม่เพื่อนำมาคำนวณกำลังไฟฟ้า ซึ่งจะนำค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้มาเปรียบเทียบกับเพื่อปรับ Duty Cycle ให้มีค่าที่เหมาะสม เพื่อให้ได้จุดที่มีค่ากำลังสูงสุดโดยค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้นั้นจะเป็นค่าที่ใช้อ้างอิงค่าต่อไป

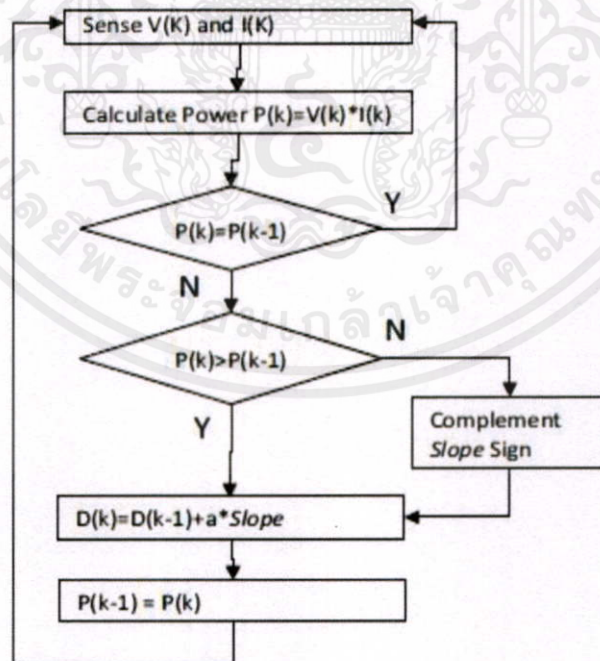
3. เปรียบเทียบค่ากำลังไฟฟ้าใหม่กับค่ากำลังไฟฟ้าเดิมในกรณีนี้

3.1 ค่ากำลังไฟฟ้าใหม่ที่เข้ามามีค่ามากกว่ากำลังไฟฟ้าเดิมจะเปลี่ยนจุดการทำงานในทิศทางเดิม และทำการเก็บค่ากำลังไฟฟ้านั้นไว้เป็นค่ากำลังไฟฟ้าอ้างอิงเพื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่ากำลังไฟฟ้าใหม่ต่อไปเรื่อยๆ

3.2 หากกำลังไฟฟ้าใหม่ที่เข้ามามีค่าน้อยกว่ากำลังไฟฟ้าเดิมจะเปลี่ยนจุดการทำงานไปในทิศทางตรงข้ามจนกว่าค่ากำลังไฟฟ้าใหม่ที่เข้ามาจะมีค่ามากกว่าค่ากำลังไฟฟ้าที่จุดอ้างอิง

3.3 หากกำลังไฟฟ้าใหม่มีค่าเท่ากับกำลังไฟฟ้าเดิมจะคงค่า Duty Cycle ไว้ที่ค่าเดิม

โดยโปรแกรมจะทำงานวนลูปแบบนี้ไปเรื่อยๆเพื่อจะให้ได้ค่ากำลังไฟฟ้าที่จุดสูงสุดตลอดเวลา ซึ่งอัลกอริทึมที่ใช้นั้นจะแสดงดัง Flow Chart



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น **รูปที่ 3.8** Flow chart การตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยวิธี P&O ครั้งที่มีการนำไปใช้

3.8 เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง (DC GENERATOR)

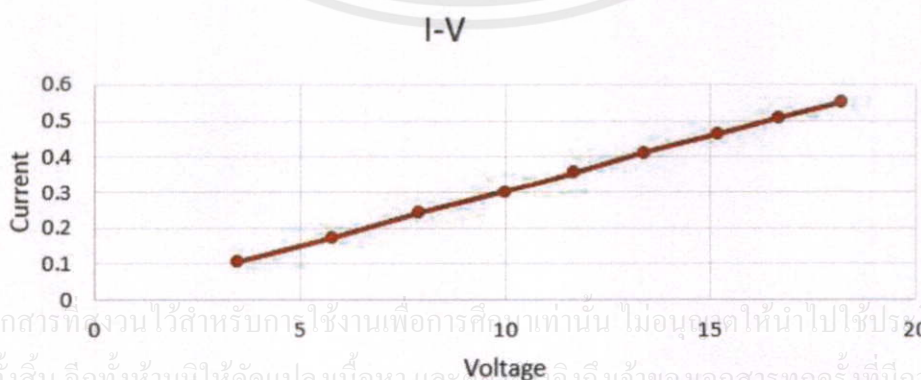
เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงโดยมีกังหันลมเป็นต้นกำลังในการขับให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าสามารถผลิตกระแสไฟฟ้า ซึ่งทำการทดสอบหาค่าความต้านทานภายในเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงโดยใช้หลอดไฟขนาด 10W ผลที่ได้จะแสดงดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ค่าแรงดัน กระแสและกำลังที่ความเร็วตัวขับค่าต่างๆ

RPM	V(V)	I(A)	P(W)
200	3.5	0.105	0.4
300	5.8	0.172	1.0
400	7.9	0.241	1.9
500	10	0.302	3.0
600	11.7	0.355	4.2
700	13.4	0.412	5.5
800	15.2	0.463	7.0
900	16.7	0.508	8.4
1000	18.2	0.551	10.0

นำค่ากระแสและแรงดันมาพล็อตกราฟและหาค่าความชันของกราฟ ซึ่งจากตารางที่ 3.1 พบว่าค่าความชันจะมีค่าเท่า $1/2$ ดังนั้น ค่าความต้านทานภายในที่ได้คือ 2Ω นั่นเอง

เมื่อนำเครื่องกำเนิดไฟฟ้าไปขับกับมอเตอร์ขนาด $\frac{1}{2}$ HP (0.4kW) 4 pole 50 Hz ทำการทดสอบแบบเปิดวงจร (Open circuit test) ที่ความเร็วมอเตอร์เท่ากับ 2770 RPM จะได้แรงดันขณะเปิดวงจรที่ 140 V และเมื่อนำไปทำการทดสอบแบบลัดวงจร (Short circuit test) ที่ความเร็วมอเตอร์เท่ากับ 2770 RPM จะได้กระแสลัดวงจรเท่ากับ 1.04 A

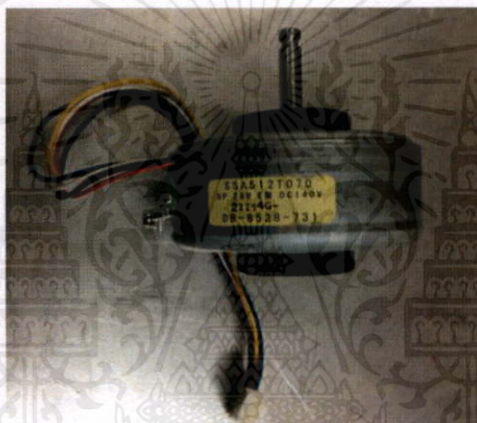


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องขออนุญาตเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

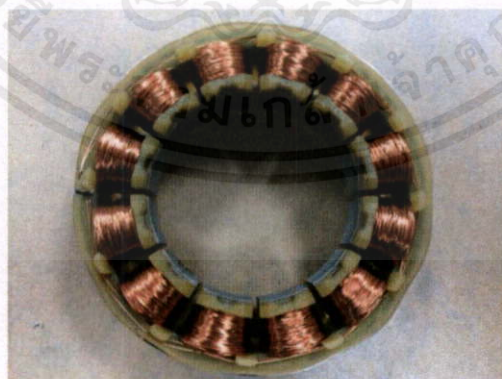
รูปที่ 3.9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันที่ภาระไฟฟ้า 10 W

ดังนั้น จะได้พิกัดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

- พิกัดกำลังไฟฟ้า	28	วัตต์
- กระแสลัดวงจร (Short Circuit Current)	1	แอมแปร์
- แรงดันเปิดวงจร (Open Circuit Voltage)	140	โวลต์
- พิกัดความเร็วรอบ	2700	รอบ/นาที
- จำนวนโพล	8	โพล
- ความต้านทานภายใน	2	โอห์ม



รูปที่ 3.10 (ก)



รูปที่ 3.10 (ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.10 (ค)

รูปที่ 3.10 เครื่องกำเนิดไฟฟ้า (ก) เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ใช้จริง (ข) ขดลวดภายใน (ค) แกนโรเตอร์

3.9 พัดลมดูดอากาศ

ความเร็วลมที่ใช้ในการขับกังหันลมขนาดเล็กเพื่อศึกษาคุณลักษณะจำเป็นต้องใช้ความเร็วลมที่มากกว่าปกติ ดังนั้นจึงเลือกใช้พัดลมดูดอากาศซึ่งสามารถสร้างความเร็วลมที่สูงพอที่จะขับกังหันลมขนาดเล็กให้สามารถสร้างกระแสไฟฟ้าได้ โดยพัดลมดูดอากาศที่เลือกจะใช้พัดลมถังกลมยี่ห้อ Delton ขนาด 380 วัตต์ 1 เฟส 220 โวลต์ ความเร็วรอบสูงสุด 2800 รอบต่อนาที



รูปที่ 3.11 พัดลมดูดอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.10 ชุดควบคุมความเร็วรอบ

ในการศึกษาหาคุณลักษณะของกังหันลม จำเป็นต้องมีการควบคุมความเร็วลม เพื่อให้ได้ความเร็วลมตามที่ต้องการ การควบคุมรอบการหมุนของชุดใบพัดลมต้องสัมพันธ์กับความเร็วลมที่ต้องการในการทดสอบ โดยชุดควบคุมความเร็วรอบที่ใช้ทนกระแสสูงสุด 10A 1000W 230Vac 50Hz สำหรับมอเตอร์ขนาด 1000W 220V 50Hz



รูปที่ 3.12 ชุดควบคุมความเร็วรอบ

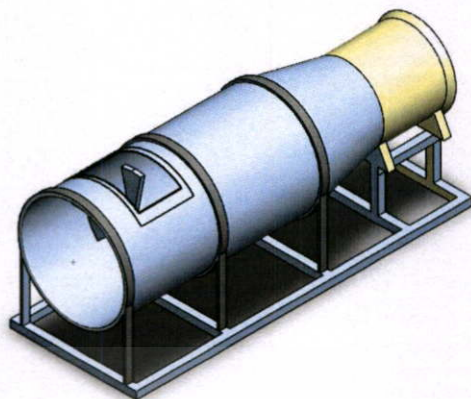
3.11 การออกแบบอุโมงค์ลม

ในการออกแบบอุโมงค์ลมตามทฤษฎีจำเป็นต้องมีส่วนประกอบด้วยกัน 3 ส่วน คือ ส่วนอากาศแพร่เข้า (Contraction) ส่วนปฏิบัติงาน (Working section) และส่วนอากาศแพร่ออก (Diffuser) แต่ในปฏิบัติจริงเพื่อลดราคาและขนาดของอุโมงค์ลม จึงออกแบบอุโมงค์ลมจริงโดยมีด้วยกัน 2 ส่วน คือ

- ส่วนอากาศแพร่เข้า (Contraction) ส่วนอากาศแพร่เข้านี้จะเป็นส่วนแรกที่อากาศจะไหลเข้าสู่อุโมงค์ลมเพื่อขยายอากาศให้มีการกระจายเพิ่มขึ้น
- ส่วนปฏิบัติงาน (working section) ส่วนที่ใช้ในการทดสอบชิ้นงานตามวัตถุประสงค์

อุโมงค์ลมที่ได้ออกแบบได้แสดงตามรูป 3.13 ความยาว 1.6 เมตร ความกว้างฐาน 0.6 เมตร และสูง 0.6 เมตร และในส่วนปฏิบัติงานจะมีพื้นที่หน้าตัด 0.785 ตารางเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

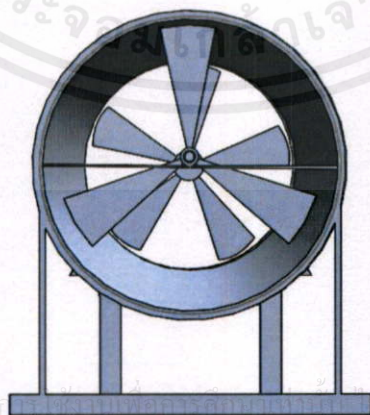


รูปที่ 3.13 (ก)



รูปที่ 3.13 (ข)

รูปที่ 3.13 อุโมงค์ลมที่ใช้ในการทดลอง (ก) ภาพสามมิติอุโมงค์ลมที่ออกแบบ (ข) อุโมงค์ลมจริง



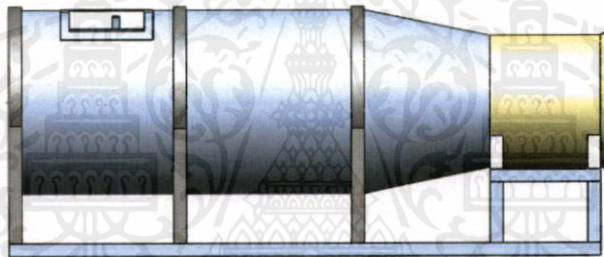
รูปที่ 3.14 (ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ... อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.14 (ข)

รูปที่ 3.14 ด้านหน้าอุโมงค์ลมที่ใช้ในการทดลอง (ก) ภาพฉายด้านหน้าอุโมงค์ลมที่ออกแบบ
(ข) ภาพด้านหน้าอุโมงค์ลมจริง



รูปที่ 3.15 (ก)

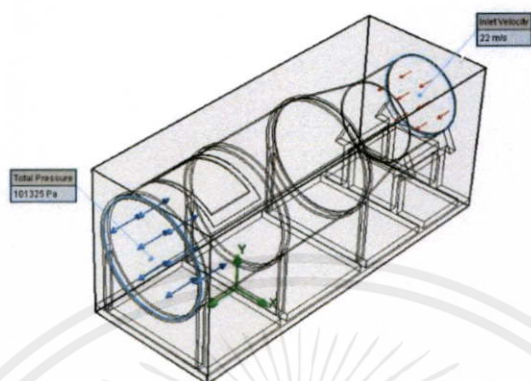


รูปที่ 3.15 (ข)

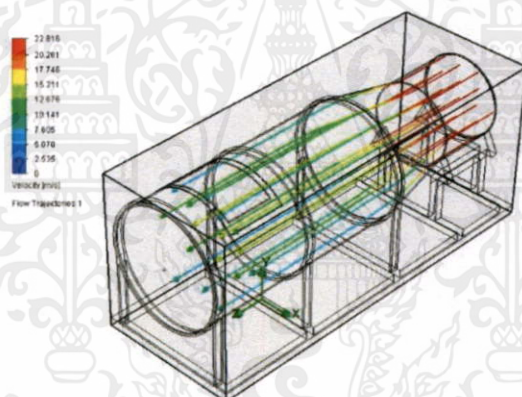
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งาน รูปที่ 3.15 (ข) เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

รูปที่ 3.15 ด้านข้างอุโมงค์ลมที่ใช้ในการทดลอง (ก) ภาพฉายด้านข้างอุโมงค์ลม
(ข) ภาพด้านข้างอุโมงค์ลมจริง

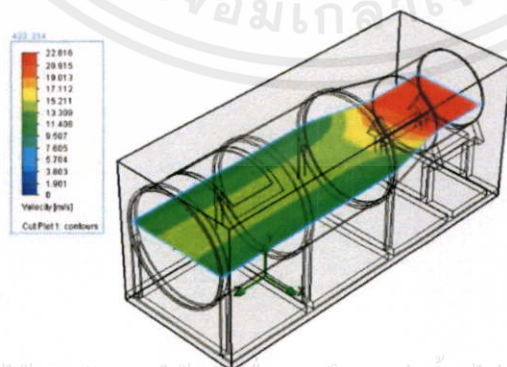
การจำลองการไหลของอากาศผ่านอุโมงค์ลมที่ได้ออกแบบโดยอาศัยโปรแกรม Solid work จะใช้ฟังก์ชัน Solid work flow simulation โดยกำหนดความเร็วขาเข้า 22 m/s และความดันอากาศขาออก 101325 Pa (1atm) และอุณหภูมิขาออก 27° C ดังแสดงในรูปที่ 3.16



รูปที่ 3.16 (ก)

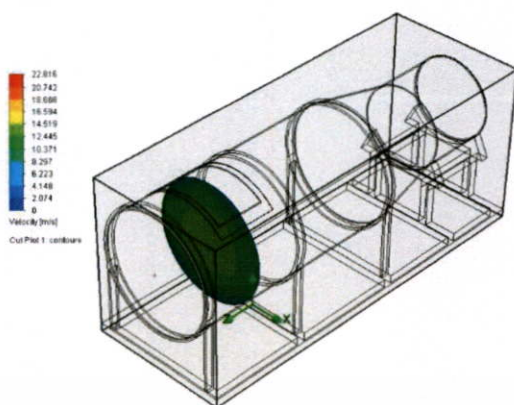


รูปที่ 3.16 (ข)



รูปที่ 3.16 (ค)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหารูปที่ 3.16 (ค) นี้ส่งถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



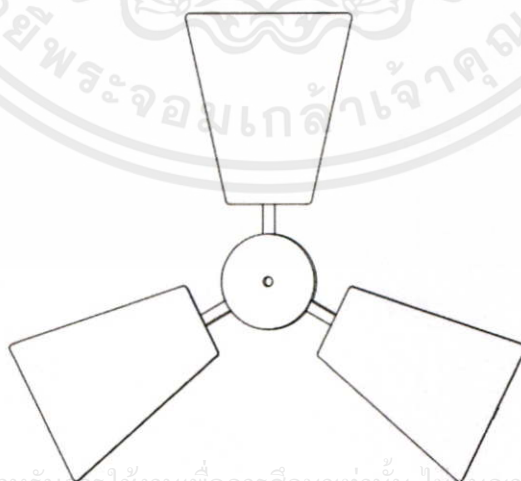
รูปที่ 3.16 (ง)

รูปที่ 3.16 การจำลองการไหลของอากาศภายในอุโมงค์ลม
 (ก) การตั้งค่าความเร็วลมขาเข้าและขาออก (ข) การไหลของอากาศภายในอุโมงค์
 (ค) ความเร็วลมในแนวแกน x (ง) ความเร็วลมที่กระจายในช่วงทดสอบ

3.12 การออกแบบกังหันลม

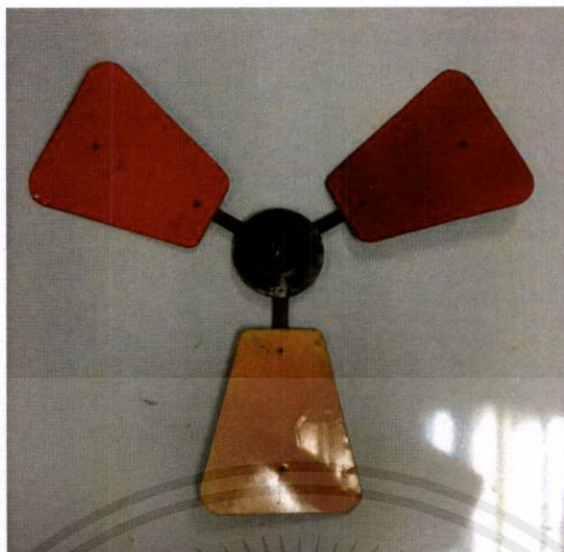
กังหันลมที่ใช้ในการทดสอบมีอยู่ด้วยกัน 2 แบบ คือ ใบกังหันลมแบบ 3 ใบพัด (3 Blade) และหลายใบพัด (Multi blade) ดังนี้

- กังหันลมแบบ 3 ใบพัด (3 Blade) ในส่วนกังหันลมแบบ 3 ใบพัด จะมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.45 เมตร ใบแต่ละอันมีขนาดความกว้างปลายใบ 14 เซนติเมตร ความกว้างโคนใบ 7 เซนติเมตร และมีความยาวตลอดใบ 16 เซนติเมตร ทั้งสามใบนั้นมีขนาดมุมพิศอยู่ที่ 7 องศา ดังแสดงในรูปที่ 3.17



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

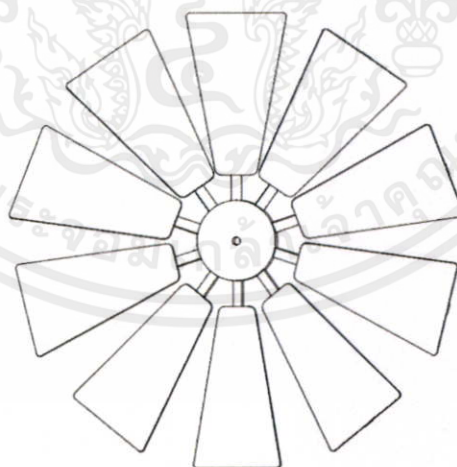
รูปที่ 3.17 (ก)



รูปที่ 3.17 (ข)

รูปที่ 3.17 กังหันลมแบบหลายใบพัดที่ใช้ในการทดลอง
(ก) แบบจำลองกังหันลม 3 ใบพัด (ข) กังหันลมสามใบพัดจริง

กังหันลมแบบหลายใบพัด (Multi blade) ในส่วนแบบกังหันลมแบบหลายใบพัด จะมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.45 เมตร เท่ากับแบบ 3 ใบพัด ส่วนใบแต่ละอันมีขนาดความกว้างปลายใบ 10 เซนติเมตร ความกว้างโคนใบ 4 เซนติเมตรและมีความยาวตลอดใบ 16 เซนติเมตรประกอบกัน ทั้งหมด 10 ใบทั้ง 10 ใบนั้นมีขนาดมุมพิศอยู่ที่ 7 องศาแสดงในรูป 3.19



รูปที่ 3.18 (ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

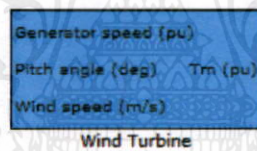


รูปที่ 3.18 (ข)

รูปที่ 3.18 กังหันลมแบบหลายใบพัดที่ใช้ในการทดลอง
(ก) แบบจำลองกังหันลมแบบหลายใบพัด (ข) กังหันลมแบบหลายใบพัดจริง

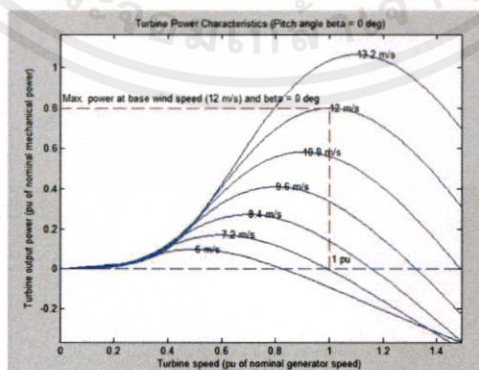
3.13 การออกแบบและศึกษาวงจรกังหันลมผลิตไฟฟ้าบนโปรแกรม Matlab

การออกแบบวงจรกังหันลมผลิตไฟฟ้าโดยใช้โปรแกรม Matlab Simulation จะอาศัยการฟังก์ชันการทำงานของ wind turbine ที่มีการออกแบบไว้แล้ว ซึ่งค่าที่อยู่ในฟังก์ชันสามารถปรับเปลี่ยนได้ตามต้องการ ตามขนาดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ใช้ ดังแสดงในรูปที่ 3.19



รูปที่ 3.19 ฟังก์ชันกังหันลม ในโปรแกรม Matlab

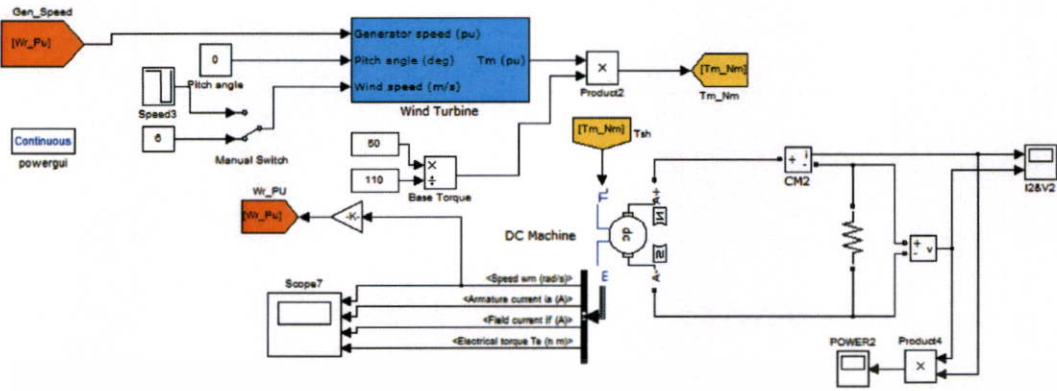
จากฟังก์ชันการทำงานของกังหันลมศึกษาคุณลักษณะของกังหันลมในกรณีความเร็วลมต่างๆ ได้จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังขาออกกับความเร็วกังหัน



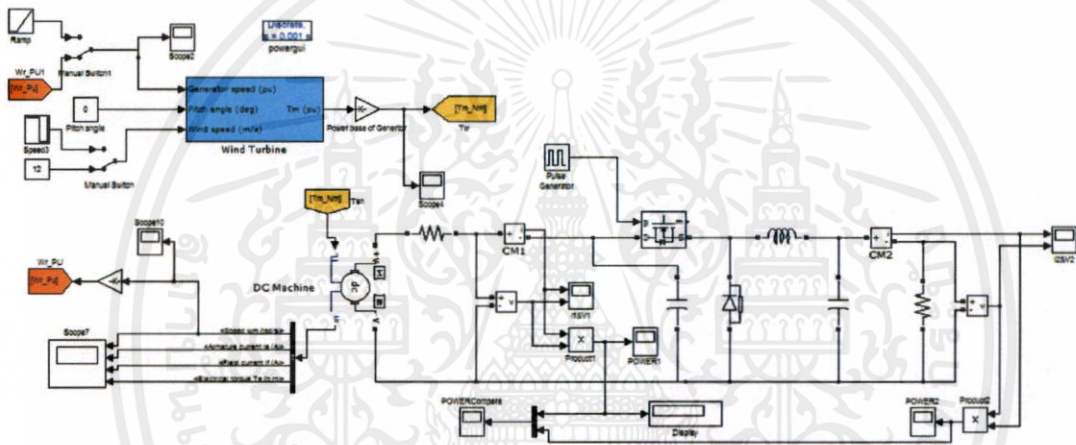
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งรูปที่ 3.20 กราฟคุณลักษณะกังหันลมของฟังก์ชันกังหันลมในโปรแกรม Matlab การนำไปใช้

จากรูปที่ 3.20 แสดงกราฟคุณลักษณะกังหันลมของฟังก์ชันกังหันลมในโปรแกรม Matlab โดยกำหนดความเร็วลม 12 m/s จะมีค่ากำลังขาออกที่ 0.8 pu ที่ความเร็วกังหัน 1.0 pu



รูปที่ 3.21 วงจรกึ่งहनลมผลิตไฟฟ้าเมื่อต่อกับดีซีเจนเนอเรเตอร์บนโปรแกรม Matlab



รูปที่ 3.22 วงจรกึ่งहनลมผลิตไฟฟ้าเมื่อต่อร่วมกับวงจรทอนระดับแรงดันไฟฟ้า

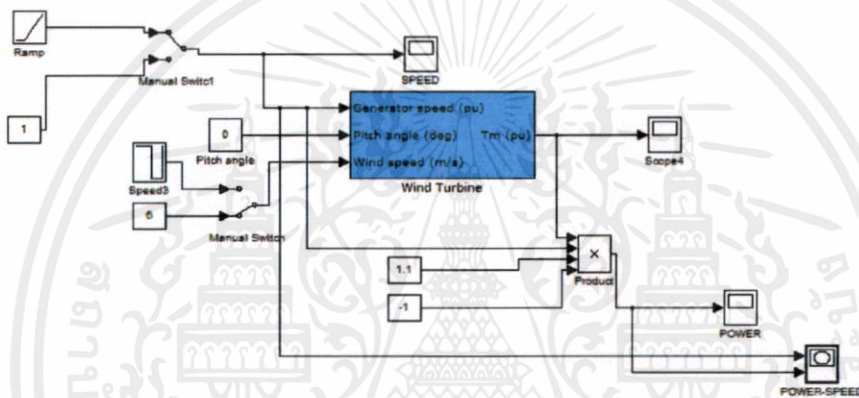
การศึกษาการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ใช้ในงานวิจัยนี้จะเป็นการศึกษาตามรอยโดยวิธี Perturb and Observe (P&O) โดยใช้วงจรทอนระดับแรงดันไฟฟ้า (Buck Converter) ซึ่งในวิธีนี้ไม่จำเป็นต้องมีเซนเซอร์สัญญาณต่างๆ ซึ่งมีความยุ่งยากในการวัด เช่น เซนเซอร์ตรวจวัดความเร็วรอบ กราฟ Cp-Curve หรือค่า TSR เป็นต้น การตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยวิธีการ Perturb and Observe (P&O) จะอาศัยการวัดค่ากระแสและแรงดันขาออกจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแล้วคำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้าที่เปลี่ยนไป เพื่อประมวลผลและสร้างสัญญาณขับมอสเฟตของวงจรทอนระดับแรงดันไฟฟ้า โดยกำหนดให้มีค่าตัวชี้เวิลซึ่งสามารถรักษาระดับให้ทำงานในย่านกำลังไฟฟ้าสูงสุดของความเร็วลมต่างๆได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4 ผลการวิจัย

4.1 การจำลองสร้างกราฟคุณลักษณะของกังหันลม

เพื่อให้ทราบแนวโน้มของผลการทดลองก่อนที่จะทำการทดลองจริงและสามารถวิเคราะห์ผลที่จะเกิดขึ้นได้ในการทดลองว่าถูกต้องและเป็นไปตามทฤษฎีหรือไม่ จึงมีการจำลองการทดลองก่อนโดยใช้โปรแกรม Matlab สาเหตุที่เลือกใช้โปรแกรม Matlab นั้นเนื่องจากเป็นโปรแกรมที่ง่ายต่อการใช้งานสามารถวิเคราะห์ อีกทั้งยังประมวลผลได้อย่างละเอียดและแม่นยำ โดยโปรแกรมสำหรับการสร้างกราฟคุณลักษณะของกังหันลมจะอาศัยฟังก์ชัน Wind Turbine ที่มีในโปรแกรม Matlab เป็นดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 โปรแกรมสำหรับสร้างกราฟคุณลักษณะของกังหันลม

4.1.1 ขั้นตอนการสร้างกราฟคุณลักษณะของกังหันลม

1. สร้างโปรแกรกดังรูปที่ 4.1 ในโปรแกรม Matlab
2. ปรับค่าตัวต้านทาน R แล้วบันทึก กำลังไฟฟ้าและความเร็วของกังหันลม โดยให้กังหันลมได้รับความเร็วลมที่ 4 เมตรต่อวินาที และ 6 เมตรต่อวินาที
3. นำค่าที่ได้จากการจำลองมาศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างกำลังกับความเร็วกังหัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

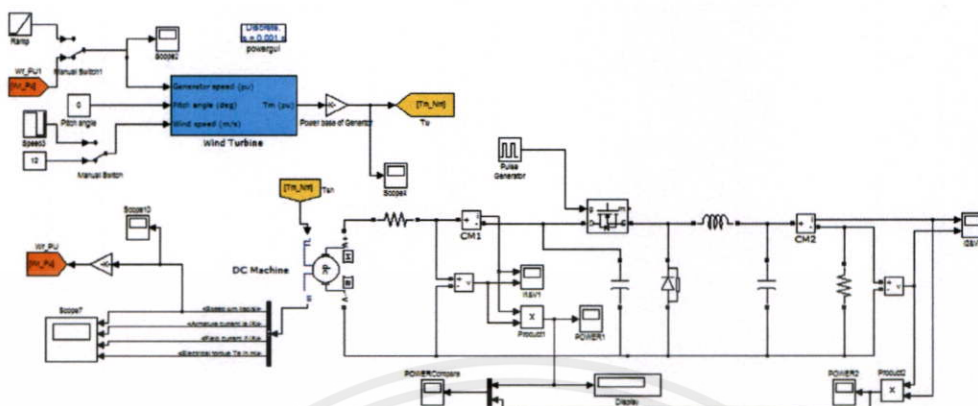
ตารางที่ 4.1 ข้อมูลที่เก็บได้จากการปรับตัวด้านทาน

R	ความเร็วลม 4 m/s		ความเร็วลม 6 m/s	
	กำลัง(pu)	ความเร็วกังหัน(pu)	กำลัง(pu)	ความเร็วกังหัน(pu)
0	0	0.0027	0	0.0051
5	0.0008	0.0212	0.0043	0.0477
10	0.0016	0.0401	0.0082	0.0904
15	0.0024	0.0591	0.0121	0.1331
20	0.0032	0.078	0.016	0.1763
25	0.0039	0.097	0.0224	0.2319
30	0.0048	0.1163	0.5899	1.302
35	0.0057	0.1377	0.5383	1.342
40	0.1871	0.8446	0.4943	1.373
45	0.1754	0.8668	0.4566	1.398
50	0.1649	0.8853	0.424	1.419
75	0.126	0.9458	0.3117	1.488
100	0.1016	0.9796	0.2462	1.525

เมื่อค่ากำลังฐาน(Power Base) เท่ากับ 50 วัตต์ ความเร็วฐาน(Speed Base) เท่ากับ 110 เรเดียนต่อวินาที ซึ่งจากตารางเมื่อทำการปรับค่าความต้านทานจะมีผลทำให้ความเร็วของกังหันลมเปลี่ยนไปและค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้จะเปลี่ยนไปด้วย โดยจะสังเกตได้ว่าจะมีค่าความต้านทานที่ทำให้เกิดกำลังไฟฟ้าสูงสุดค่าหนึ่ง ในการจำลองนั้นการตั้งค่าเครื่องกำเนิดไฟฟ้าให้เหมาะสมนั้นเป็นไปได้ยาก จึงทำให้แนวโน้มบางประการมีค่าผิดเพี้ยนไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

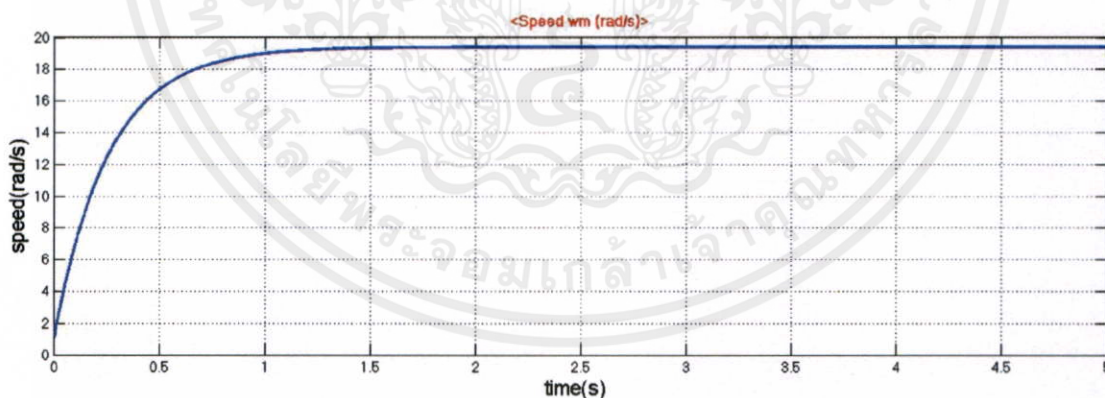
4.2 การจำลองวงจรทอนแรงดันต่อร่วมกับกังหันลมผลิตไฟฟ้า



รูปที่ 4.2 วงจรทอนแรงดันต่อร่วมกับกังหันลมผลิตไฟฟ้า

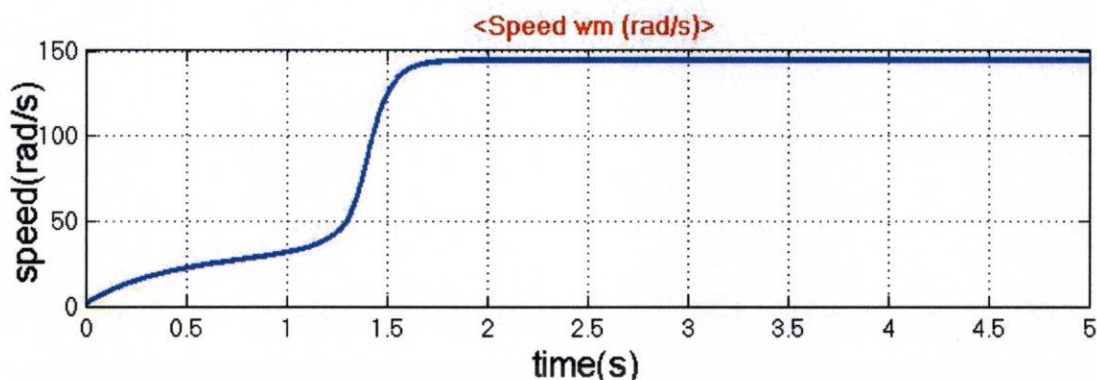
การจำลองวงจรทอนแรงดันนี้ทำเพื่อศึกษาการทำงานของวงจรทอนแรงดันเมื่อต่อกับกังหันลมผลิตไฟฟ้าว่าเป็นไปตามทฤษฎีหรือไม่ และเพื่อศึกษาการควบคุมความเร็วกังหันของวงจรทอนแรงดันโดยการปรับดิวิตีไซเคิลของวงจรเป็นไปตามทฤษฎีหรือไม่

จากตารางที่ 4.1 เมื่อค่าความต้านทานมีค่า 20 โอห์ม จุดการทำงานของกังหันลมผลิตไฟฟ้าจะมีความเร็วลม 6 m/s มีความเร็วกังหันที่ 0.078 pu จากทฤษฎีเมื่อต้องการเพิ่มความเร็วจึงต้องทำการปรับดิวิตีลดลง เมื่อทำการจำลองด้วยการต่อวงจรทอนแรงดันที่ดิวิตี เท่ากับ 80% จะทำให้ความเร็วของกังหันเพิ่มขึ้นได้ดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 (ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 (ข)

รูปที่ 4.3 ความเร็วโรเตอร์จากโปรแกรม Matlab (ก) ความเร็วกังหันลมผลิตไฟฟ้าไม่มีการตั้งค่าดิวตี้ (ข) ความเร็วกังหันลมผลิตไฟฟ้าเมื่อมีค่าดิวตี้ไซเคิล 80%

จากการจำลองการลดค่าดิวตี้ไซเคิลจะมีผลต่อความเร็วของกังหันลม ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎี แต่ในการจำลองนั้นการตั้งค่าเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้คุณลักษณะของกังหันลมผลิตไฟฟ้าเปลี่ยนไป เพื่อนำผลที่ได้ไปใช้ได้การจำลองข้างต้นจึงจำลองเฉพาะส่วนในการเพิ่มและลดดิวตี้ไซเคิลเท่านั้น

4.3 อุโมงค์ลม

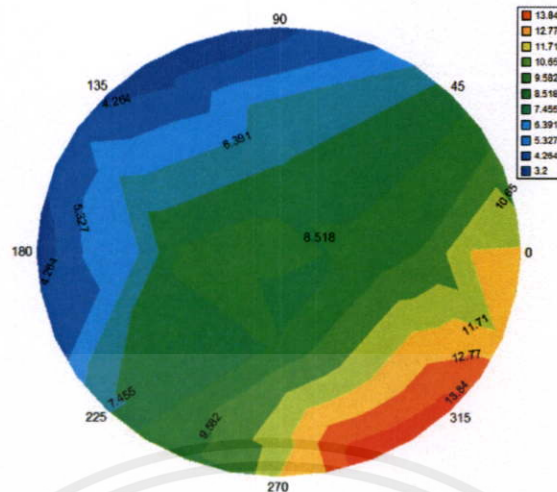
จากข้อมูลที่ได้จากการทดสอบพบว่าในส่วนพื้นที่ทดสอบ (test section) เมื่อกำหนดความเร็วของพัดลม 44 เมตรต่อวินาที ความเร็วรอบ 2758 รอบต่อนาที จะได้ค่าความเร็วลมในแนวระนาบของส่วนทดสอบดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ค่าความเร็วลมที่พิกัดต่างๆในแนวเส้นผ่านศูนย์กลาง

พิกัด(x,y)	25,-0	15,-0	5,-0	5,0	15,0	25,0	0,25	0,15	0,5	0,-5	0,-15	0,-25
ความเร็วลม(m/s)	5.3	6.1	9.2	8.5	9.7	10.8	4.8	7.3	8.3	8	10.3	11.1
ค่าเฉลี่ย (m/s)	8.380952											

จากตารางที่ 4.2 มาเขียนแผนภาพคอนทัวร์จะเห็นได้ชัดว่าความเร็วลมในแนวระนาบของส่วนทดสอบมีค่าไม่สม่ำเสมอโดยความเร็วที่ขอบของอุโมงค์ลมทั้งด้านบนและด้านล่างมีกระแสลมผันผวน (turbulent flow) ซึ่งจะส่งผลต่อความรอบเร็วกังหันลม ทำให้ในขณะทดสอบทำให้เกิดผลการทดสอบที่ผิดพลาด อีกทั้งผลของกระแสลมผันผวนนี้ยังส่งผลไปถึงสภาวะอยู่ตัวของกังหันลม ผลการทดสอบจะแสดงในรูปที่ 4.4

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 แผนภาพคอนทัวร์แสดงค่าความเร็วลมต่างๆในแนวระนาบของส่วนทดสอบ

จากข้อมูลที่ได้จากการทดสอบพบว่า ความเร็วลมในส่วนทดสอบนั้นมีค่าไม่คงที่ ดังนั้นจะต้องนำค่าความเร็วลมที่ได้จากพิกัดในแนวระนาบมาเฉลี่ยเพื่อหาความเร็วและนำไปเป็นค่าอ้างอิงในการปรับความเร็ว เช่น ต้องปรับความเร็วรอบพัดลม 2695 รอบต่อนาที จะส่งผลให้เกิดความเร็วลมเฉลี่ยในส่วนทดสอบ 8 เมตรต่อวินาที โดยความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบพัดลมและความเร็วลมจะแสดงดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบพัดลมและความเร็วลม

ความเร็วลมเฉลี่ยในส่วนทดสอบ (m/s)	ความเร็วรอบพัดลม ω_{fan} (rpm)
0	0
1	512
2	752
3	1065
4	1220
5	1504
6	1943
7	2319
8	2695
8.3	2758

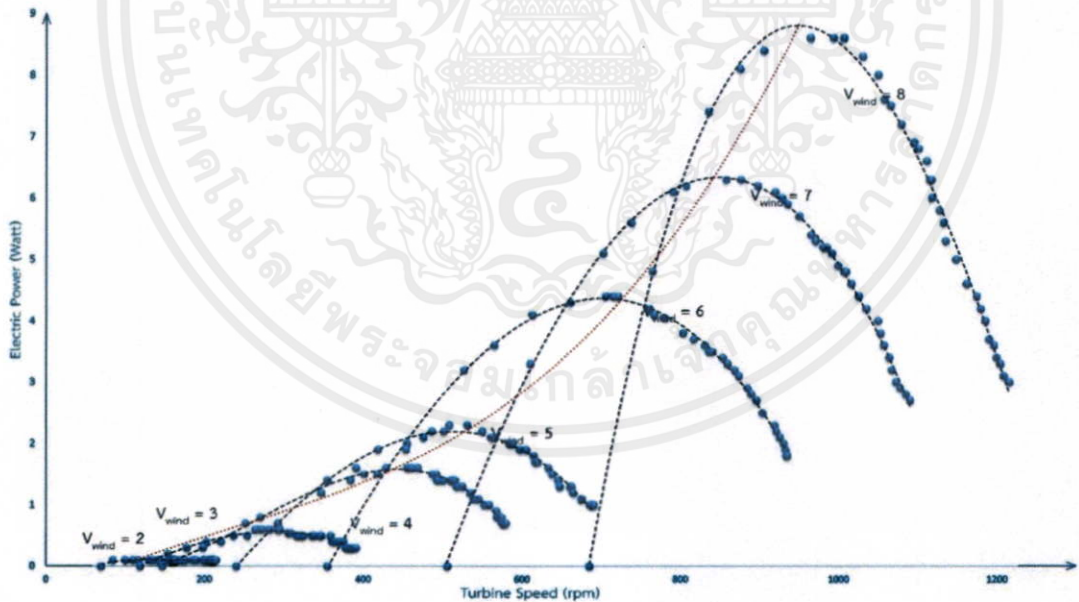
4.4 คุณลักษณะของกังหันลม

เพื่อที่จะทำให้ทราบว่าสามารถตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้หรือไม่จำเป็นต้องทราบกราฟคุณลักษณะของกังหันลมเสียก่อน โดยการหากราฟคุณลักษณะนั้นจะทำโดยปรับค่าความต้านทานโดยใช้ตัวต้านทานปรับค่าได้ที่พิกัด 0 ถึง 1000 โอห์ม โดยทดสอบที่ค่าความเร็วลมตั้งแต่ 0,1,2,3,...,8.3 เมตรต่อวินาที

4.4.1 กังหันลมแบบหลายใบพัด จากข้อมูลที่ได้จากการทดสอบภายในอุโมงค์ลมจะเห็นว่ากังหันลมแบบหลายใบพัดนั้นจะเริ่มหมุนที่ความเร็วลม 2 เมตรต่อวินาที จะเกิดกำลังไฟฟ้าที่ 0.3 วัตต์ และเมื่อเราทำการเพิ่มความเร็วลมเป็น 3,4,5,...,8.3 m/s ค่ากำลังไฟฟ้าก็จะมีค่าเพิ่มขึ้น ดังแสดงด้วยตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 กำลังสูงสุดของกังหันลมแบบหลายใบพัดที่ความเร็วลมค่าต่างๆ

ความเร็วลม V_{wind} (m/s)	กำลังสูงสุด P_{max} (Watt)
2	0.1
3	0.6
4	1.6
5	2.3
6	4.4
7	6.3
8	8.6
8.3	9



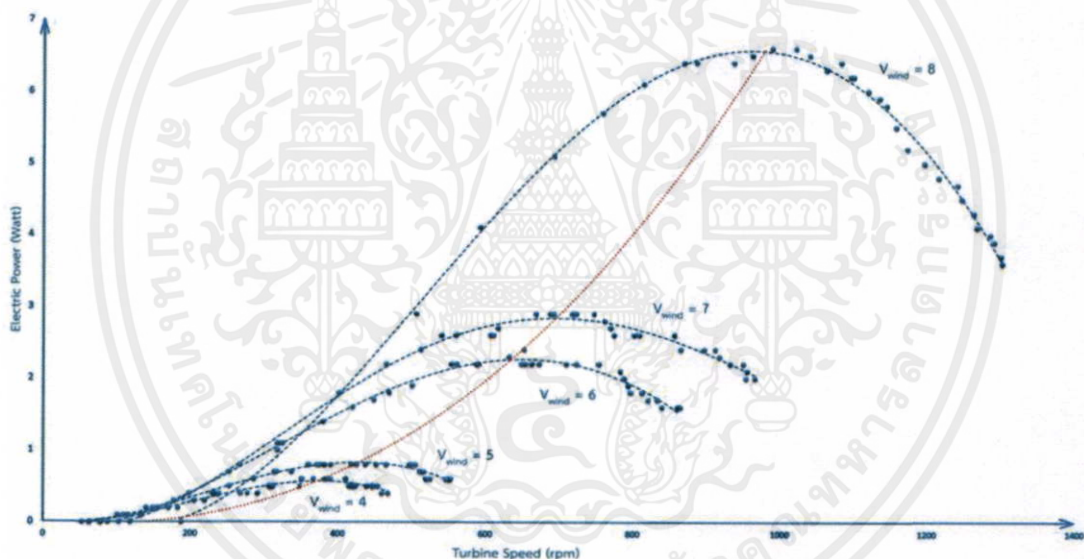
รูปที่ 4.5 กราฟคุณลักษณะของกังหันลมแบบหลายใบพัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.2 กังหันลมแบบสามใบพัด จากข้อมูลที่ได้กังหันลมแบบสามใบพัดจะเริ่มต้นหมุนที่ความเร็ว 4 เมตรต่อวินาที จะเกิดกำลังไฟฟ้าที่ 0.6 วัตต์ เมื่อทำการเพิ่มความเร็วลมกำลังไฟฟ้าที่ได้จะมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย ดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 กำลังสูงสุดของกังหันลมแบบสามใบพัดที่ความเร็วลมค่าต่างๆ

ความเร็วลม V_{wind} (m/s)	กำลังสูงสุด P_{max} (Watt)
4	0.6
5	0.8
6	2.4
7	2.9
8	6.6
8.3	6.8



รูปที่ 4.6 กราฟคุณลักษณะของกังหันลมแบบสามใบพัด

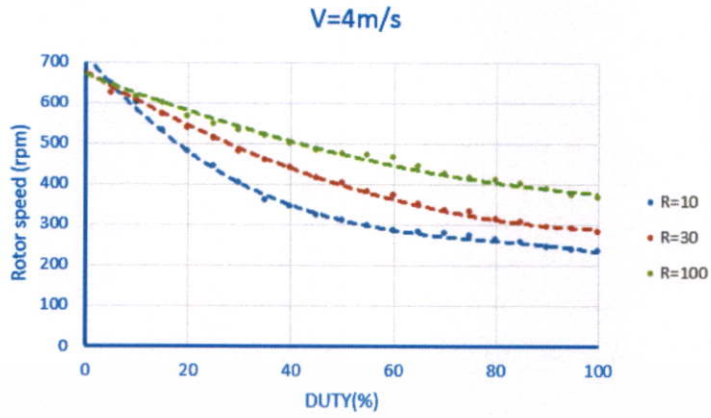
4.5 การทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างดิวิตีไซเคิลกับความเร็วโรเตอร์

การทดสอบหาความสัมพันธ์ระหว่างดิวิตีไซเคิลจะเป็นการตรวจเช็คความถูกต้องเมื่อทำการหาจุดสูงสุดของกำลังไฟฟ้า หากมีการเพิ่มหรือลดดิวิตีไซเคิลจะส่งผลต่อความเร็วโรเตอร์อย่างไร ซึ่งในการทดสอบจะทำโดย การเพิ่มดิวิตีไซเคิลตั้งแต่ 0,5,10 ไปจนถึง 100 เปอเซ็นต์ และจะทำการปรับค่าความต้านทานที่ 10,30 และ 100 โอห์ม ที่ความเร็วลม 4,6 และ 8.3 เมตรต่อวินาที

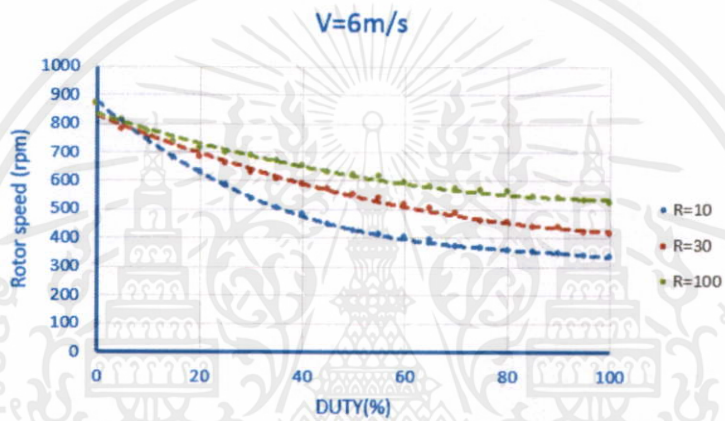
4.5.1 การทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างดิวิตีไซเคิลกับความเร็วโรเตอร์ของกังหัน

เอกสารแบบหลายใบพัด แสดงดังรูปที่ 4.7 ารใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

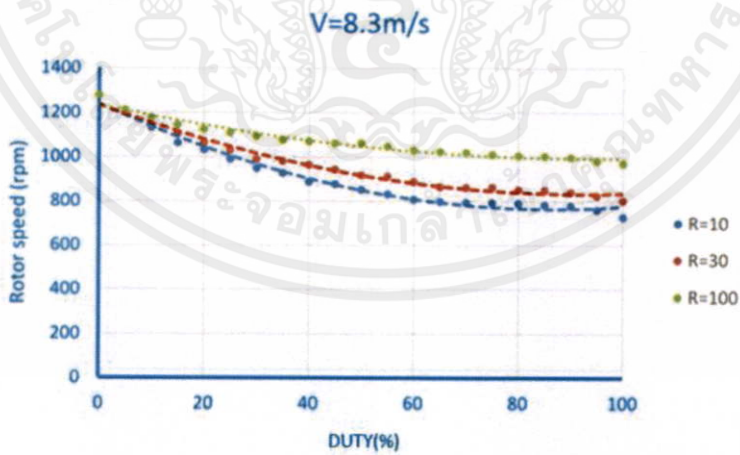
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 (ก)



รูปที่ 4.7 (ข)



รูปที่ 4.7 (ค)

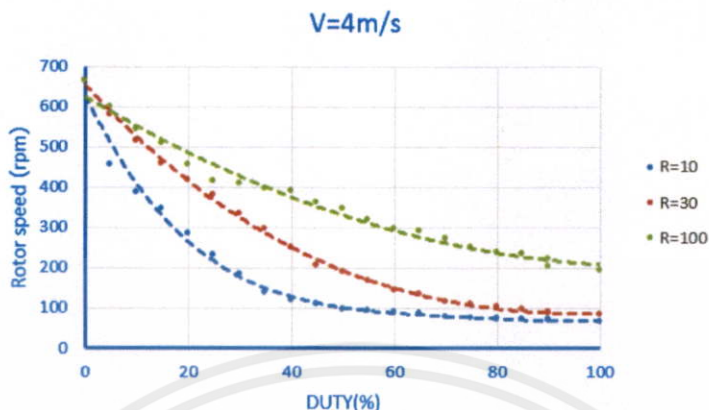
รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างดิวตี้ไซเคิลกับความเร็วโรเตอร์ของกังหันลมแบบหลายใบพัด

เอกสารนี้เป็นเอกสาร (ก) ที่ความเร็วลม 4 เมตรต่อวินาที (ข) ที่ความเร็วลม 6 เมตรต่อวินาที (ค) ที่ความเร็วลม 8.3 เมตรต่อวินาที

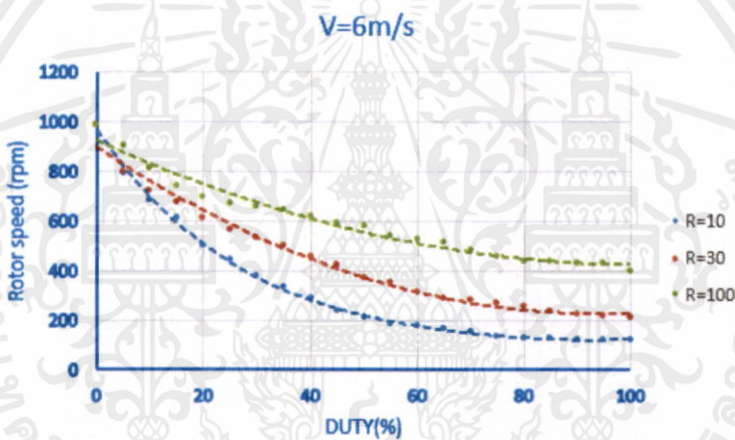
ช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกต่งเนื้อที่ และต้องอ้างอิงถึงชื่อของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

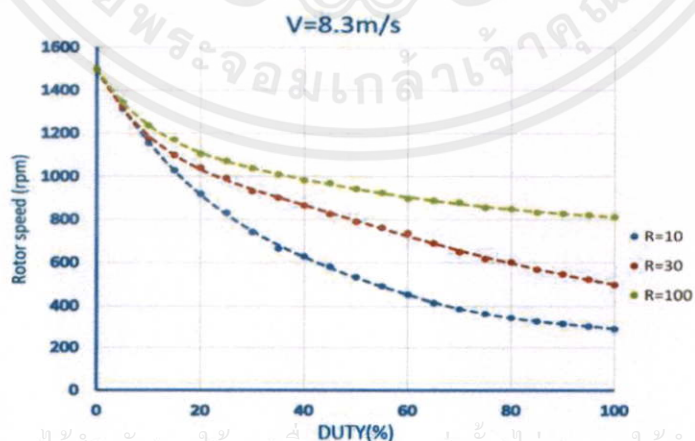
4.5.2 การทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างดิฟฟิซิเคิลกับความเร็วโรเตอร์ของกังหันแบบสามใบพัด แสดงดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 (ก)



รูปที่ 4.8 (ข)



รูปที่ 4.8 (ค)

รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างดิฟฟิซิเคิลกับความเร็วโรเตอร์ของกังหันลมแบบสามใบพัด

(ก) ที่ความเร็วลม 4 เมตรต่อวินาที (ข) ที่ความเร็วลม 6 เมตรต่อวินาที

(ค) ที่ความเร็วลม 8.3 เมตรต่อวินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ขอสงวนสิทธิ์ในข้อมูลและข้อมูลอื่นที่ปรากฏในเอกสารฉบับนี้ หากมีข้อผิดพลาดประการใด ขออภัยไว้ล่วงหน้า

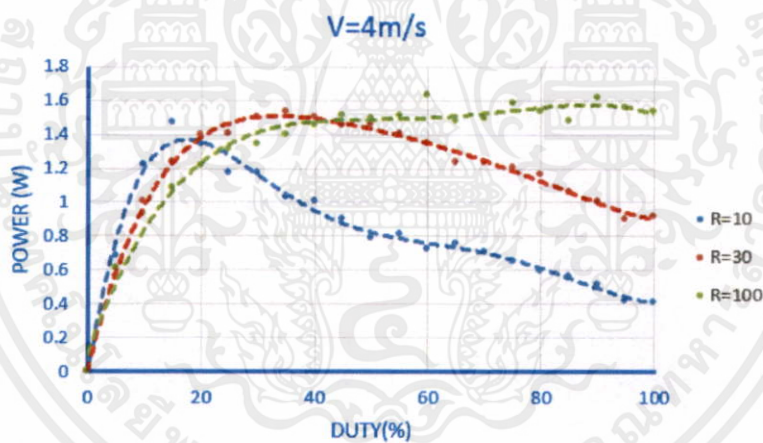
จากรูปที่ 4.7 และ 4.8 พบว่า หากมีการปรับค่าดิวตี้ไซเคิลเพิ่มมากขึ้นนั้นจะทำให้ กังหันลมหมุนด้วยความเร็วที่ลดลง ซึ่งหากมีการปรับค่าความต้านทานจะพบว่า ค่าความต้านทานมีค่า มากนั้นจะทำให้ความเร็วของโรเตอร์มีค่ามากขึ้น ซึ่งกราฟจะมีการขยับขึ้นไป และหากมีการปรับค่า ความเร็วลมมากขึ้นที่ค่าความต้านทานเดียวกันนั้นก็จะทำให้ค่าความเร็วโรเตอร์มีค่าเพิ่มมากขึ้น

โดยเมื่อทำการเปรียบเทียบระหว่างกังหันลมแบบหลายใบพัดจะให้ความเร็วรอบที่ ต่ำกว่ากังหันลมแบบสามใบพัดแต่จากกราฟคุณลักษณะนั้นจะพบว่ากังหันลมแบบสามใบพัดนั้นให้ กำลังไฟฟ้าที่ต่ำกว่าแม้จะมีความเร็วรอบโรเตอร์ที่มากกว่า แสดงว่าความเร็วโรเตอร์นั้นส่งผลต่อ กำลังไฟฟ้าสูงสุดหากมีความเร็วรอบที่เหมาะสมก็จะได้กำลังไฟฟ้าสูงสุดในจุดที่สูงกว่า

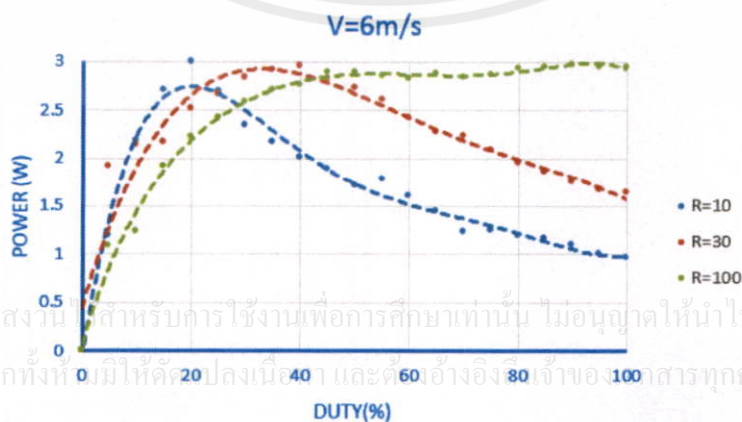
4.6 การทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างดิวตี้ไซเคิลกับกำลังไฟฟ้า

เนื่องจากการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยเทคนิคการรบกวนและสังเกต(P&O) จำเป็นต้องรู้ความสัมพันธ์ของกำลังไฟฟ้าและดิวตี้ไซเคิล เมื่อเราเพิ่มดิวตี้ไซเคิลจะมีผลต่อกำลังไฟฟ้า อย่างไร ซึ่งในการทดสอบจะทำการปรับค่าดิวตี้ไซเคิลตั้งแต่ 5,10 ไปจนถึง 100 เปอเซ็นต์ และเปลี่ยน ค่าความต้านทาน 10,30 และ100 โอห์ม เมื่อค่าความเร็วลมเป็น 4,6 และ 8.3 เมตร/วินาที

4.6.1 ความสัมพันธ์ระหว่างดิวตี้ไซเคิลกับกำลังไฟฟ้าของกังหันลมแบบหลายใบพัด แสดงดังรูปที่ 4.9



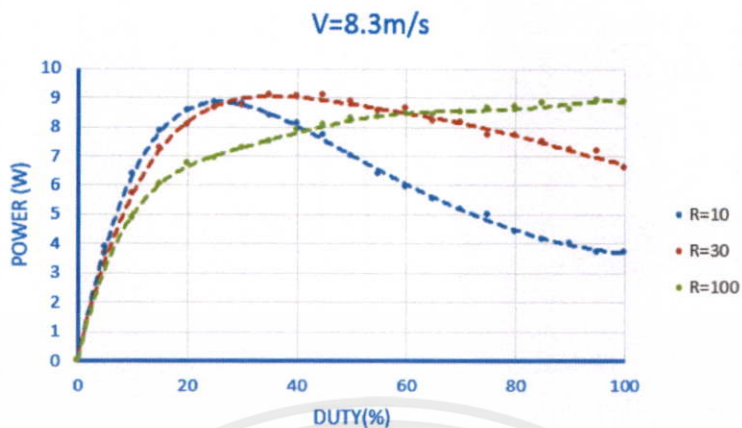
รูปที่ 4.9 (ก)



รูปที่ 4.9 (ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

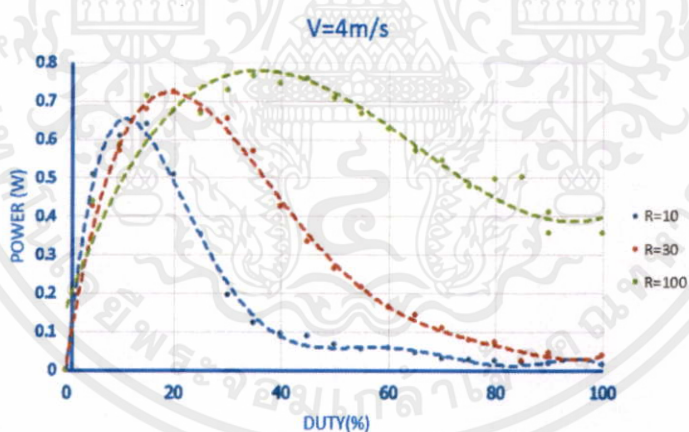
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้คำปรึกษาและคำอธิบายแก่เจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 (ค)

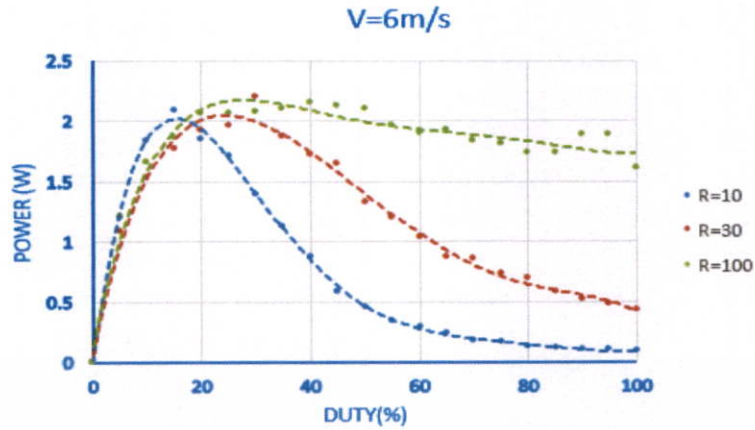
รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างดิวตี้ไซเคิลกับกำลังไฟฟ้าของกังหันลมแบบหลายใบพัด
(ก) ที่ความเร็วลม 4 เมตรต่อวินาที (ข) ที่ความเร็วลม 6 เมตรต่อวินาที
(ค) ที่ความเร็วลม 8.3 เมตรต่อวินาที

4.7.2 ความสัมพันธ์ระหว่างดิวตี้ไซเคิลกับกำลังไฟฟ้าของกังหันลมแบบสามใบพัด
แสดงดังรูปที่ 4.10

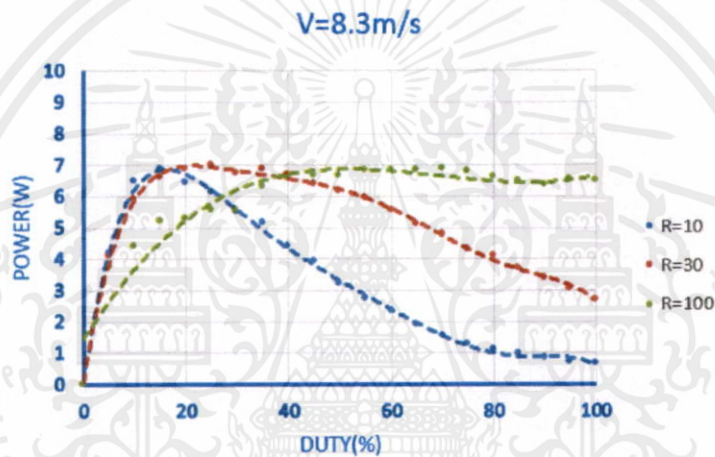


รูปที่ 4.10 (ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สแกนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10 (ข)



รูปที่ 4.10 (ค)

รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างดิวตี้ไซเคิลกับกำลังไฟฟ้าของกังหันลมแบบสามใบพัด
(ก) ที่ความเร็วลม 4 เมตรต่อวินาที (ข) ที่ความเร็วลม 6 เมตรต่อวินาที
(ค) ที่ความเร็วลม 8.3 เมตรต่อวินาที

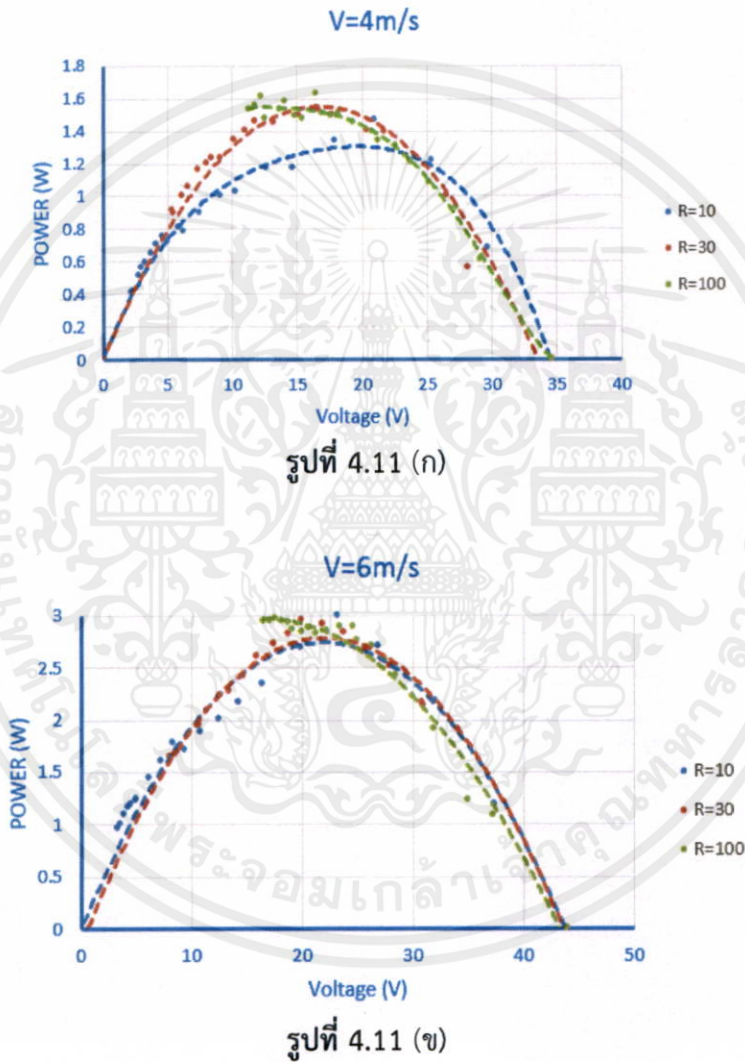
จากรูปที่ 4.9 และ 4.10 จะพบว่าในช่วงแรกเมื่อมีการปรับค่าดิวตี้ไซเคิล ค่ากำลังไฟฟ้าจะมีค่าเพิ่มสูงขึ้นจนค่ากำลังไฟฟ้ามีค่าสูงสุด เมื่อเราปรับเพิ่มดิวตี้ไซเคิลอีกกำลังไฟฟ้าจะลดลง จะทำการเปรียบเทียบที่ความต้านทาน 10,30 และ 100 โอห์ม พบว่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ความเร็วลมเดียวกันนั้นมีค่าใกล้เคียงกัน แต่สิ่งที่แตกต่างกันคือค่าดิวตี้ไซเคิลที่จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุด ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าการปรับค่าของโหลดนั้นจะทำให้จุดการทำงานนั้นเปลี่ยนไปจากเดิม ซึ่งจะทำให้ค่าดิวตี้ไซเคิลที่ทำให้เกิดค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดนั้นมีค่าแตกต่างกัน และหากมีการปรับความเร็วลมให้มีความมากขึ้นจะส่งผลโดยตรงกับค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้ โดยกำลังไฟฟ้าที่ได้นั้นจะมีกำลังไฟฟ้าที่มากขึ้นหากความเร็วลมมากขึ้น ซึ่งเมื่อเทียบที่ค่าความต้านทานเดียวกันจะพบว่าดิวตี้ไซเคิลที่ทำให้ได้กำลังไฟฟ้าสูงสุดนั้นใกล้เคียงกันเพียงแต่กำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ออกมาไม่นั้นไม่เท่ากัน

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คิดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

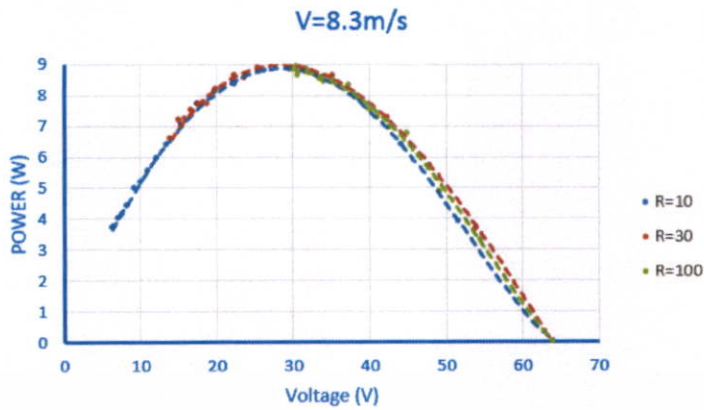
4.7 การทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้ากับกำลังไฟฟ้า

การทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้ากับกำลังไฟฟ้าเป็นการทดสอบเพื่อตรวจสอบหาค่าแรงดันไฟฟ้าที่กำลังไฟฟ้าสูงสุด ซึ่งจะทำการทดสอบโดยการปรับค่าตัวต้านทานตั้งแต่ 0,5,10 ไปจนถึง 100 โอห์ม ที่ความต้านทาน 10,30 และ 100 และความเร็วลมที่ 4,6 และ 8.3 เมตรต่อวินาที

4.7.1 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้ากับกำลังไฟฟ้าของกังหันลมแบบหลายใบพัด แสดงดังรูปที่ 4.11

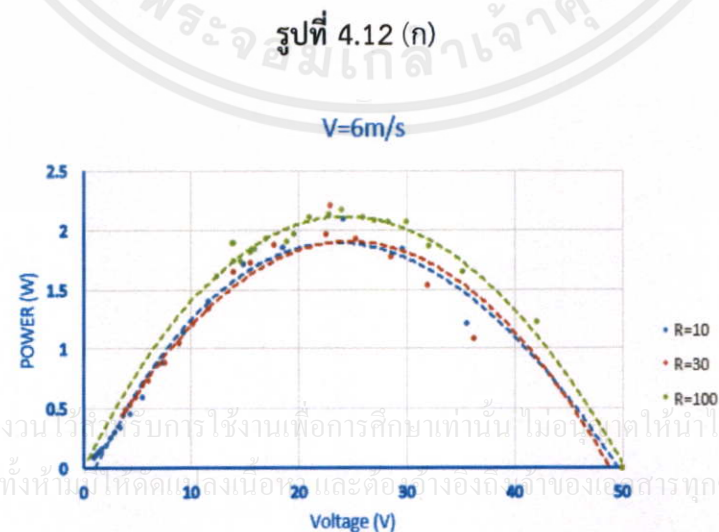
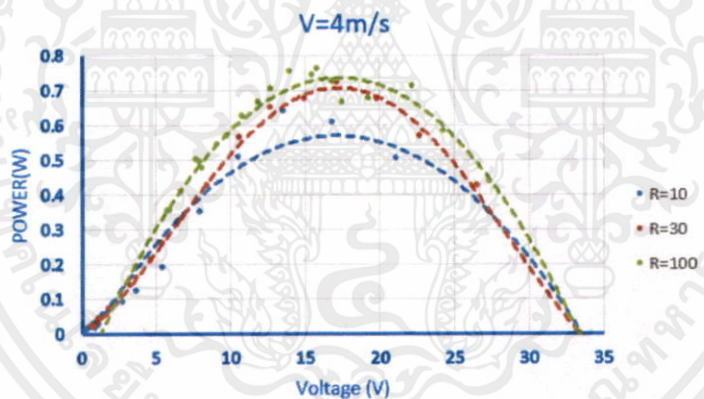


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

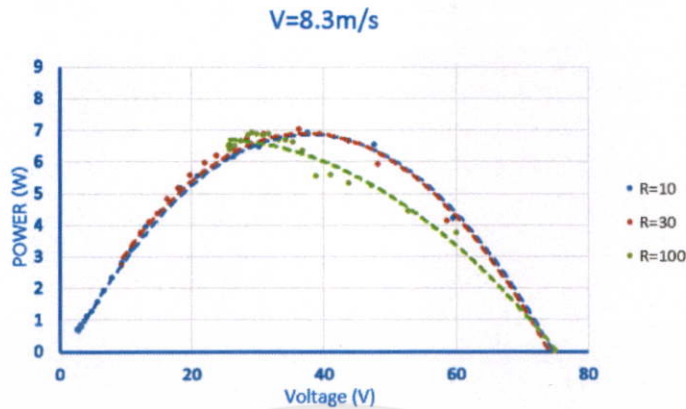


รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับกำลังไฟฟ้าของกังหันลมแบบหลายใบพัด
(ก) ที่ความเร็วลม 4 เมตรต่อวินาที (ข) ที่ความเร็วลม 6 เมตรต่อวินาที
(ค) ที่ความเร็วลม 8.3 เมตรต่อวินาที

4.7.2 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้ากับกำลังไฟฟ้าของกังหันลมแบบสามใบพัด
แสดงในรูปที่ 4.12



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้เพื่อให้บริการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ลงเนือหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 (ค)

รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้ากับกำลังไฟฟ้าของกังหันลมแบบสามใบพัด (ก) ที่ความเร็วลม 4 เมตรต่อวินาที (ข) ที่ความเร็วลม 6 เมตรต่อวินาที (ค) ที่ความเร็วลม 8.3 เมตรต่อวินาที

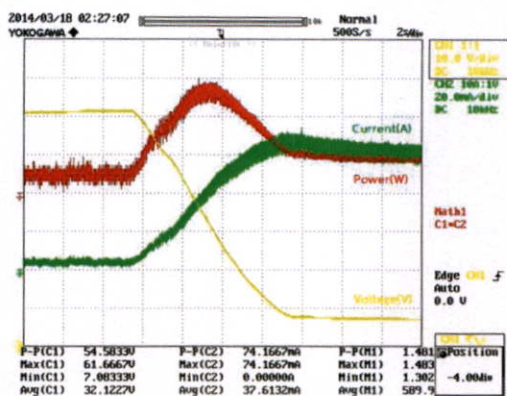
จากการทดสอบพบว่าเมื่อทำการปรับดิวตี้ไซเคิลนั้นจะทำให้ค่าแรงดันไฟฟ้าลดลง และจะมีแรงดันไฟฟ้าค่าหนึ่งทำให้เกิดกำลังไฟฟ้าสูงสุด ซึ่งเมื่อทำการปรับค่าความต้านทานที่ความเร็วลมเดียวกันนั้น จะพบว่าจุดที่ได้กำลังไฟฟ้าสูงสุดนั้นจะต่างกันไปซึ่งเมื่อค่าความต้านทานเพิ่มมากขึ้นจุดที่ทำให้เกิดกำลังไฟฟ้าสูงสุดจะเบี่ยงไปทางซ้าย

จากการทดสอบหาความสัมพันธ์ระหว่าง ดิวตี้ไซเคิลกับความเร็วโรเตอร์ , ดิวตี้ไซเคิลกับกำลังไฟฟ้า และแรงดันไฟฟ้ากับกำลังไฟฟ้า พบว่าเมื่อทำการปรับดิวตี้ไซเคิลนั้นจะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้าซึ่งเมื่อเราทำการปรับเพิ่มดิวตี้ไซเคิลนั้นจะทำให้แรงดันที่ได้นั้นลดลง ซึ่งจะทำให้ค่ากระแสไฟฟ้ามี่ค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งเมื่อค่ากระแสไฟฟ้ามี่ค่าเพิ่มมากขึ้นจะทำให้ค่าความเร็วของโรเตอร์มีค่าลดลงดังผลการทดสอบที่ได้ ซึ่งจากการทดสอบยังพบอีกว่าค่าความต้านทานนั้นมีผลต่อจุดเกิดกำลังไฟฟ้าสูงสุด ซึ่งหากค่าความต้านทานมีค่ามากจุดเกิดกำลังไฟฟ้าสูงสุดก็จะเบี่ยงไปทางขวาของกราฟ

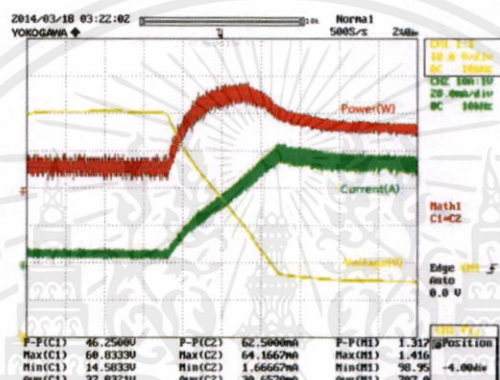
4.8 การศึกษาการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยวิธีการกวาดค่าดิวตี้ไซเคิล

ในการทดลองการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยการกวาดดิวตี้ไซเคิลจะทำการกวาดค่าดิวตี้ไซเคิลตั้งแต่ค่า 0 ถึง 100 เปอร์เซ็นต์ โดยเปลี่ยนค่า R เพื่อนำมาเปรียบเทียบ โดยจะอาศัยคุณลักษณะของกังหันลมชนิดหลายใบพัด (Multi-blade) ในการทดลอง ซึ่งการทดสอบจะให้เห็นความสัมพันธ์ระหว่างกระแส แรงดัน และกำลังไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไป เมื่อดิวตี้ไซเคิลเปลี่ยนไป ดังรูปที่ 4.13

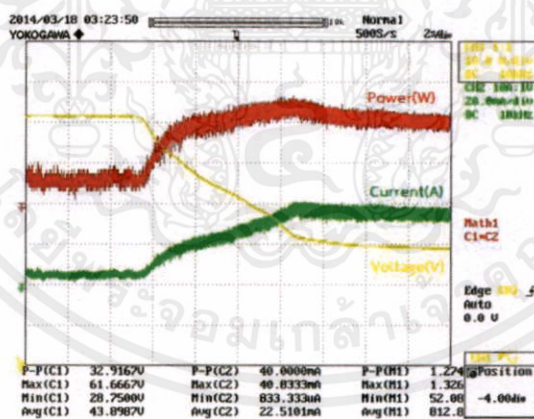
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.13 (ก)



รูปที่ 4.13 (ข)

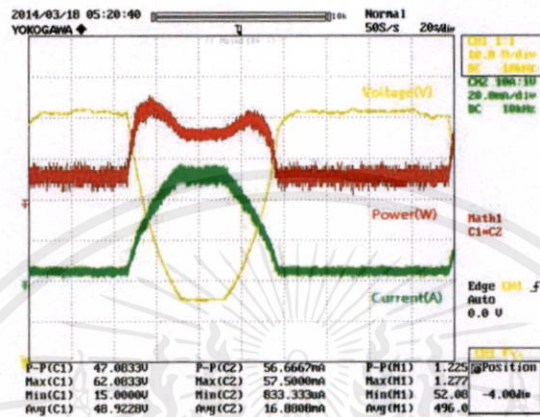


รูปที่ 4.13 (ค)

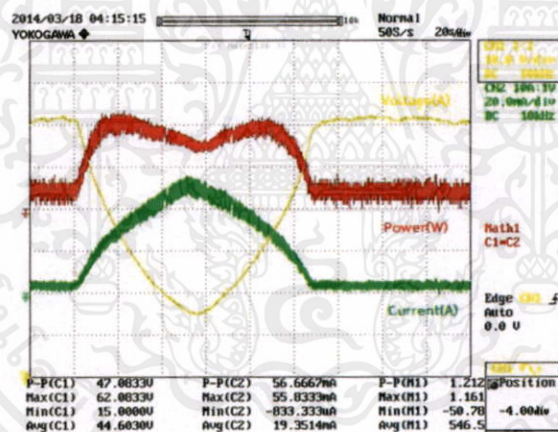
รูปที่ 4.13 การกวาดดิษฐ์ไซเคิลตั้งแต่ 0-100 เปอร์เซ็นต์ ที่ความเร็วลมเฉลี่ย 8.3 เมตร/วินาที
(ก) ความต้านทาน 10 โอห์ม (ข) ความต้านทาน 30 โอห์ม (ค) ความต้านทาน 100 โอห์ม

เมื่อมีการเปลี่ยนค่าความต้านทานจะทำให้จุดการทำงานของกำลังไฟฟ้าสูงสุด
เปลี่ยนไป คือเมื่อค่าความต้านทานมีค่ามากขึ้น จากรูปที่ 4.13 (ก) (ข) และ(ค) จะสังเกตได้ว่าค่าดิษฐ์
ไซเคิลจะมีการเคลื่อนที่ไปทางด้านหลังคือจุดที่มีค่าดิษฐ์มีค่ามาก ในการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดนั้น
จะกล่าวถึงวิธีการ Perturb and Observe (P&O) จะอาศัยการเพิ่มขึ้นและลดลงของกำลังไฟฟ้า โดย
จะมีการแกว่งอยู่ระหว่างค่าสูงสุด ดังนั้นค่าสูงสุดและค่าที่อยู่รอบข้างค่าสูงสุด จึงมีค่าความสำคัญมาก

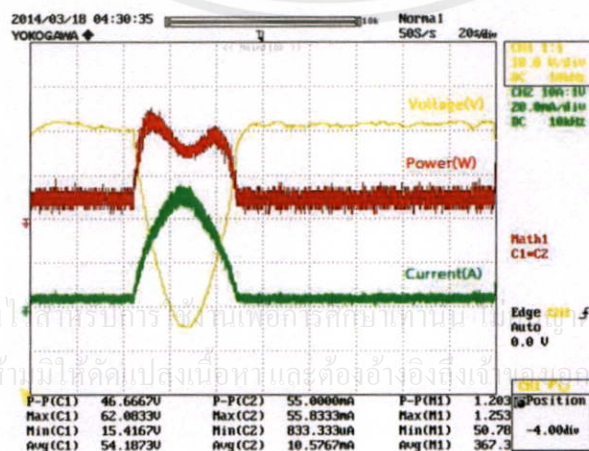
ในกวาดค่าตัวชี้เซลล์จะช่วยให้เห็นการเปลี่ยนแปลงของการเพิ่มค่าตัวชี้เซลล์(step duty) ในกระบวนการตามรอยกำลังไฟฟ้า เพื่อให้ค่า step duty มีค่าเหมาะสมที่สุด เนื่องจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละชนิดมีค่าคุณลักษณะที่ต่างต่างกัน ในการกวาดตัวชี้เพื่อสังเกตการเพิ่มหรือลดของกำลังไฟฟ้านั้นจะทำการกวาดค่าตัวชี้เซลล์จากค่า 0 ถึง 100 เปอร์เซ็นต์และทำการกวาดตัวชี้กลับจาก 100 ถึง 0 เปอร์เซ็นต์ ที่ค่าความต้านทาน 30 โอห์ม ดังแสดงในรูป 4.14



รูปที่ 4.14 (ก)

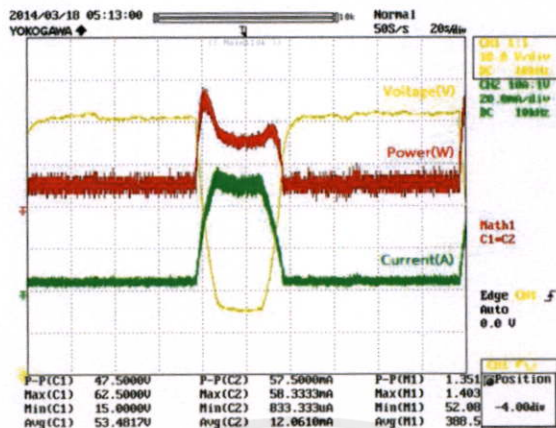


รูปที่ 4.14 (ข)

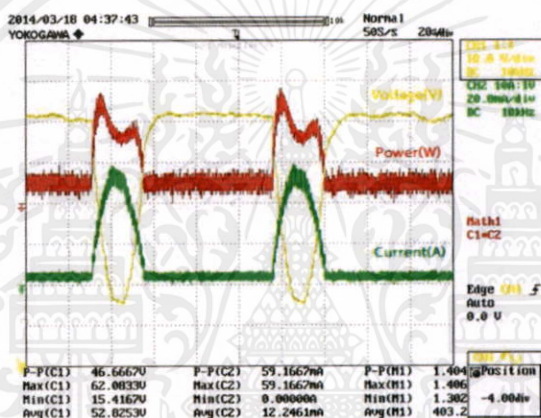


รูปที่ 4.14 (ค)

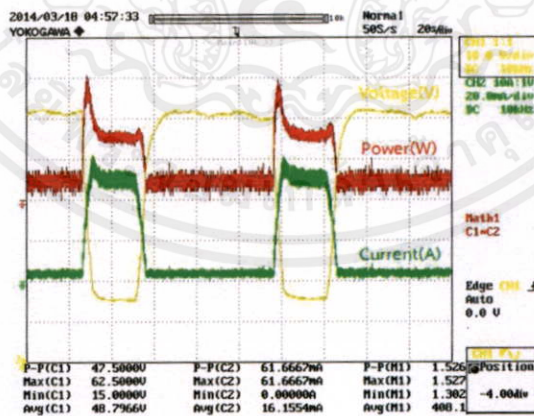
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์การพิมพ์เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่ควรนำออกไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.14 (ง)



รูปที่ 4.14 (จ)



รูปที่ 4.14 (ฉ)

รูปที่ 4.14 เปรียบเทียบการปรับ step duty และความเร็วในการปรับ step duty

เอกสารนี้เป็นเอกสารต้นฉบับที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่สามารถนำออกจำหน่ายหรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต
 (ก) step duty เท่ากับ 2% ทุก 1 วินาที (ข) step duty เท่ากับ 2% ทุก 0.5 วินาที
 (ค) step duty เท่ากับ 5% ทุก 1 วินาที (ง) step duty เท่ากับ 5% ทุก 0.5 วินาที
 (จ) step duty เท่ากับ 10% ทุก 1 วินาที (ฉ) step duty เท่ากับ 10 % ทุก 0.5 วินาที

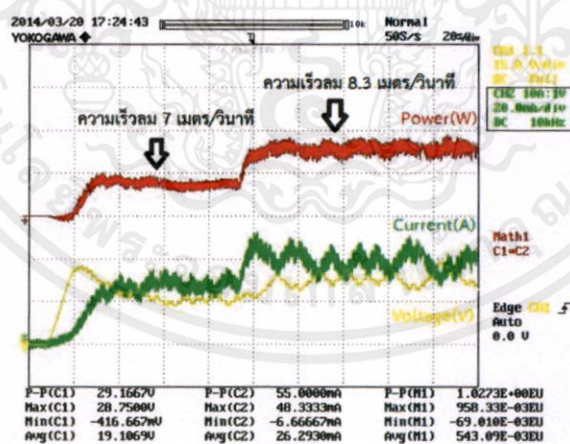
จากรูปที่ 4.14 (ก)-(จ) แสดงการกวาดดิวิตไซเคิลโดยเปลี่ยนค่า step duty และเวลาในการเปลี่ยนค่า step duty ซึ่งจากผลการทดลองพบว่าเมื่อมีการเพิ่มค่า step duty มากขึ้นจะทำให้กำลังไฟฟ้าสูงสุดจากการกวาดค่าดิวิตไซเคิลลดลงในการกวาดดิวิตไซเคิลจากค่า 100 ถึง 0 เปอร์เซนต์ ซึ่งทำให้ในการตามรอยหาค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยวิธีการ Perturb and Observe (P&O) ที่มีการแกว่งรอบจุดสูงสุดอาจจะมีการคลาดเคลื่อนไปได้ เพราะการตามรอยหาค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยวิธี Perturb and Observe (P&O) จะเป็นการเปรียบเทียบค่ากำลังไฟฟ้าที่เปลี่ยนไปนอกจากค่าการ step duty ที่มีผลต่อการตามรอยกำลังสูงสุดแล้วเวลาในการเปลี่ยนค่า step duty นั้นก็มีส่วนสำคัญเช่นกันดังรูปที่ 4.14 (ก)-(จ)

จากผลการทดลองที่ได้ดังรูปที่ 4.14 (ก)-(จ) นั้นค่า step duty ที่เหมาะสมที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ตามหลักการตามรอบกำลังไฟฟ้าสูงสุดแบบ Perturb and Observe (P&O) นั้น ค่า step duty ควรมีค่าน้อยและเวลาที่ใช้ควรมีค่ามากเพื่อให้ความเร็วกังหันเข้าสู่ช่วงสภาวะคงตัวก่อนที่จะเพิ่มดิวิตไซเคิลในครั้งต่อไป

4.9 ผลการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยวิธีการ Perturb and Observe (P&O)

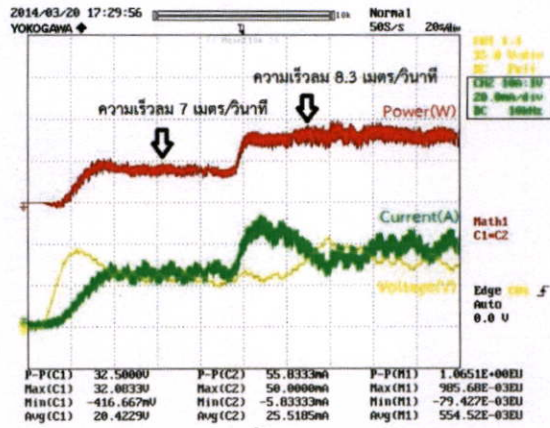
4.9.1 ผลของการชะลอ (delay) การเพิ่มดิวิตไซเคิล

ในการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยวิธีรบกวนและสังเกต (Perturb & Observe) จะมีการปรับดิวิตไซเคิล จึงทำให้มีการปรับการเพิ่ม-ลดของกระแสตลอดเวลา ส่งผลให้ความเร็วของโรเตอร์มีการเปลี่ยนแปลง เพื่อที่จะลดค่าฟุงเกิน (Overshoot) ของกำลังไฟฟ้าขณะมีการเปลี่ยนความเร็วรอบโรเตอร์ จึงจำเป็นต้องมีการชะลอ (Delay) การเพิ่มดิวิตไซเคิลเพื่อให้ความเร็วโรเตอร์เข้าสู่สภาวะอยู่ตัว (Steady State) ก่อนจะเพิ่มดิวิตไซเคิลต่อไป



รูปที่ 4.15 (ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

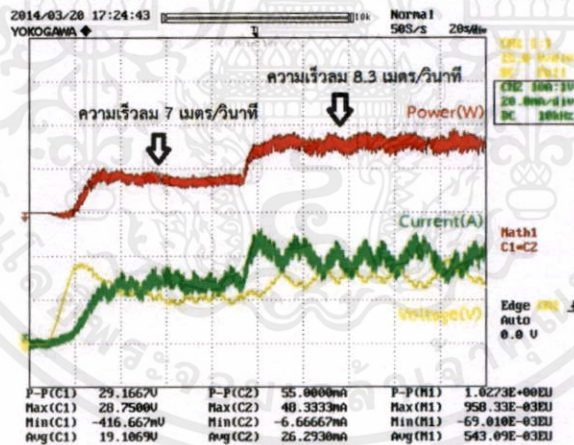


รูปที่ 4.15 (ข)

รูปที่ 4.15 ผลการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ความเร็วลม 7 และ 8.3 เมตร/วินาที โดยมีการชะลอที่ (ก) 2 วินาที (ข) 3 วินาที

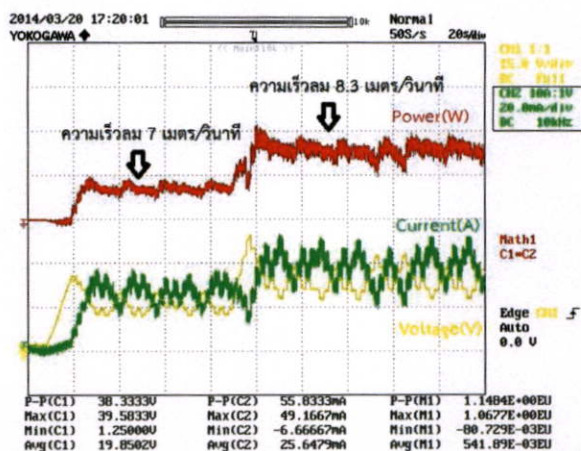
จากการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ความเร็วลม 7 และ 8.3 เมตรต่อวินาที โดยมีการชะลอการเพิ่มดิวตี้ไซเคิล พบว่าเมื่อเรามีการชะลอมากขึ้นพบว่า การแกว่งมีค่าน้อยลง แต่จะพบว่าเมื่อเรามีการชะลอมากขึ้นนั้น การปรับค่าดิวตี้ไซเคิลให้เจอค่าสูงสุดก็จะช้าลงเช่นกัน

4.9.2 ผลของการปรับค่าเพิ่ม-ลดดิวตี้ไซเคิล (Step Duty)



รูปที่ 4.16 (ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

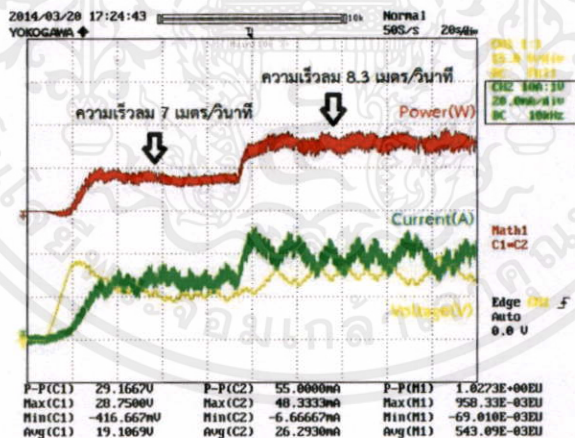


รูปที่ 4.16 (ข)

รูปที่ 4.16 ผลการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ความเร็วลม 7 และ 8.3 เมตร/วินาที โดยมีการเพิ่มลดความเร็วที่ (ก) 5 เปอร์เซ็นต์ (ข) 10 เปอร์เซ็นต์

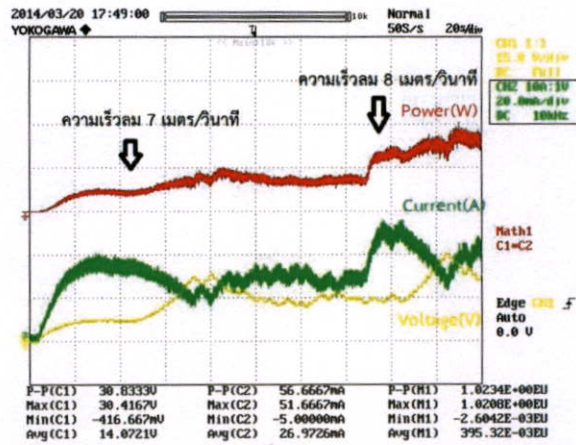
จากการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ความเร็วลม 7 และ 8.3 เมตรต่อวินาที โดยมีการปรับค่าเพิ่ม-ลดค่าตัวชี้เซลล์ พบว่าเมื่อเรามีการปรับค่าเพิ่ม-ลดค่าตัวชี้เซลล์มากขึ้นพบว่า การแกว่งมีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นไปในแนวทางที่ตรงกันข้ามกับการเพิ่มการชะลอการเพิ่ม-ลดค่าตัวชี้เซลล์ แต่จะพบว่าหากเราใช้การปรับเพิ่ม-ลดค่าตัวชี้เซลล์เพิ่มมากขึ้นจะทำให้ตามรอยหากลังไฟฟ้าสูงสุดได้เร็วยิ่งขึ้น

4.9.3 ผลของการปรับค่าตัวชี้เริ่มต้น (Duty Start)



รูปที่ 4.17 (ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.17 (ข)

รูปที่ 4.17 ผลการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ความเร็วลม 7 และ 8.3 เมตร/วินาที โดยเปลี่ยนค่าตัวตัดไซเคิลเริ่มต้น (ก) 10 เปอร์เซ็นต์ (ข) 80 เปอร์เซ็นต์

จากการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ความเร็วลม 7 และ 8.3 เมตรต่อวินาที โดยมีการปรับค่าตัวตัดไซเคิลเริ่มต้น พบว่า หากเราตั้งค่าตัวตัดไซเคิลเริ่มต้นให้เหมาะสมจะส่งผลอย่างมากในการหาค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดได้รวดเร็ว ซึ่งหากเราตั้งค่าตัวตัดเริ่มต้นห่างจากจุดที่ทำให้เกิดกำลังไฟฟ้าสูงสุดก็จะทำให้การตามรอยกำลังไฟฟ้าใช้เวลานานยิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

การศึกษาคุณลักษณะของกังหันลมผลิตไฟฟ้าเป็นไปตามมฤษฎีที่ได้กล่าวมาข้างต้น เมื่อกังหันลมผลิตไฟฟ้ามีความเร็วที่เหมาะสมที่โหลดค่าหนึ่ง จะสามารถทำให้กังหันผลิตไฟฟ้าสามารถผลิตกำลังไฟฟ้าสูงสุดออกมาได้ ซึ่งในการทดลองได้ทำการปรับค่าความต้านทานให้เพิ่มขึ้น โดยให้ความเร็วลมคงที่ กำลังไฟฟ้าของกังหันลมผลิตไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นในช่วงแรกและจะลดลงเมื่อค่าความต้านทานมีค่ามาก ในกรณีการเพิ่มและลดความเร็วลมจะเป็นเช่นเดียวกัน หากความเร็วลมลดลงครึ่งหนึ่งของความเร็วลมเดิม กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จะลดลงถึง 8 เท่าของกำลังไฟฟ้าที่ความเร็วลมเดิม

การตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุด จากการศึกษาคุณลักษณะของกังหันลมผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กนั้นสามารถทำได้ โดยการปรับค่าตัวดีไซเคิลของวงจรทอนแรงดันให้อยู่ในค่าที่เหมาะสม เมื่อต้องการเพิ่มความเร็วกังหันลมสามารถทำได้โดยการปรับลดค่าตัวดีไซเคิลของวงจรทอนแรงดัน หากต้องการปรับลดความเร็วกังหันสามารถทำได้โดยการปรับเพิ่มค่าตัวดีไซเคิล ซึ่งเป็นไปตามความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดทางไฟฟ้ากับกระแสอาร์มาเจอร์ในขดลวดของเครื่องกำเนิดผลิตไฟฟ้ากระแสตรง เมื่อกระแสในขดลวดมีค่ามากแรงบิดทางไฟฟ้าที่ด้านแรงบิดทางกลของกังหันลมที่ได้รับจากพลังงานลมจะมีค่ามาก ทำให้กังหันลมมีความเร็วลดลง เช่นเดียวกับเมื่อกระแสในขดลวดมีค่าน้อยแรงบิดทางไฟฟ้าก็จะมีค่าน้อยด้วย ในกระบวนการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยมีทดลองโดยการกวาดค่าตัวดีไซเคิล (step duty) หากใช้ค่า step duty ที่มีค่ามากและเวลาในการเพิ่มที่น้อยๆ จะทำให้เกิดค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดจากการพุ่งเกินของกำลังในช่วงขาขึ้นของค่าตัวดีไซเคิลระหว่างการแกว่ง 0-100 เปอร์เซ็นต์ และในการแกว่งค่าตัวดีไซเคิลจาก 100-0 เปอร์เซ็นต์ ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดจากการพุ่งเกินจะไม่เกิดขึ้น ซึ่งเหตุนี้เกิดจากคุณลักษณะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ใช้

การตามรอยกำลังไฟฟ้าด้วยวิธีการ Perturb and Observe นั้นยังมีประสิทธิภาพที่ค่อนข้างต่ำ เนื่องจากไม่สามารถหาจุดกำลังที่สูงสุดได้อย่างแน่นอน แต่ข้อดีของวิธีการนี้นั้นได้ช่วยลดค่าใช้จ่ายในการติดตั้งเซนเซอร์ต่างๆ และวิธีการนี้ยังใช้เพียงวงจรทอนแรงดันที่มีการออกแบบและการใช้งานที่ไม่ยุ่งยากนัก

5.2 ข้อเสนอแนะและข้อควรระวัง

1. การออกแบบกังหันลม เครื่องกำเนิดไฟฟ้าและอุโมงค์ลมนั้นจะต้องมีความเหมาะสมกัน เช่น ในกรณีการออกแบบกังหันลมขนาดเล็ก หากเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีพิกัดกำลังสูง กังหันลมที่ใช้อาจไม่สามารถผลิตไฟฟ้าออกมาได้ เนื่องจากแรงบิดทางกลของกังหันลมจะมีค่าต่ำกว่าแรงบิดทางไฟฟ้า การแปลงพลังงานจากพลังงานจลน์เป็นพลังงานกลจะมีประสิทธิภาพต่ำ กังหันลมจะไม่สามารถหมุนได้

2. การออกแบบอุโมงค์ลมเพื่อเป็นแหล่งกำเนิดลมของกังหันลมผลิตไฟฟ้า จะต้องให้ความเร็วลมที่เหมาะสมและมีค่ามากพอที่ทำให้กังหันลมสามารถหมุนได้ที่พิกัดกำลังของแหล่งกำเนิดผลิตไฟฟ้า เช่น ในการทดลองจะอาศัยพัดลมถึงลมที่มีความแรงในการเป่าอากาศเพราะอุโมงค์ลมเป็นแบบขยายส่วนทดสอบ เพื่อให้สามารถขับกังหันลมให้หมุนได้ตามต้องการ ดังนั้นความเร็วลมที่ออกจากพัดลมจะต้องมีค่าสูงมาก

3. การออกแบบวงจรคอนโทรลตรวจจับวัดค่ากระแสและแรงดันจะมีสัญญาณรบกวนจากการเปิด-ปิดสวิตช์ของวงจรทอนแรงดันทำให้การตรวจจับสัญญาณเพื่อหาการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าเป็นไปได้ยาก จึงต้องมีการกรองสัญญาณก่อนเข้าวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์
4. การตั้งค่าต่างๆ ที่รับค่าเพื่อประมวลผลในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์นั้นจะต้องสอดคล้องกับคุณลักษณะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าก่อน เนื่องจากการสั่งการให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าทำงานทันทีนั้นเป็นไปได้ยาก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] P.L. Fraenkel, **Water Lifting**, Rome, Food and Agriculture Organization of the United, 1986
- [2] Dr.Horizon Gitano-Briggs, **Small Wind Turbine Power Controller**, China, Intech, 2010
- [3] **รูปแบบกังหันลม**. (2555). Available URL:
<http://www.region1.energy.go.th/0gkramrukanghanrom/wind/4.pdf>
- [4] Mostafa Abarzadeh, Hossein Madadi Kojabadi, and Liuchen Chang, "Small Scale Wind Energy Conversion System," **Intech**, 04, April, 2011, page 639-642
- [5] นาย สมจิต ชินะใจ, "การวิเคราะห์ประสิทธิภาพพลังงานของกังหันลมแกนตั้งโดยใช้ ครอบเสริมกันบังคับลมเข้า," **วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต**, สาขาวิศวกรรมพลังงาน, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2550
- [6] นภัทร วัจนเทพินทร์, และ ปกรณ์ สมบูรณ์กิจ, "เครื่องกลไฟฟ้ากระแสตรง," **Fundamental of Electrical Engineering**, 9 ม.ค. 2555
- [7] C.S.Chin, M.K.Tan, A.C.L Tan, B.L. Chua, and K.T.K. Teo, "Maximum Power Point Tracking Algorithm for Variable Speed Wind Turbine System," **CUTSE**, vol3, 2011, pp. 676-681.
- [8] Marton Ors, "Maximum Power Point Tracking for Small Scale Wind Turbine With Self-Excited Induction Generator," **CEAI**, vol.11, No.2, 2009, pp. 30-34.
- [9] Aryunto Soetedjo, Abraham Lomi, and Widodo Puji Mulayanto, "Modeling of Wind Energy System with MPPT Control," **International Conference on Electrical Engineering and Informatic**, vol2, 2011, pp. 300-305.
- [10] Jogendra Singh Thongam, and Mohand Ouhrouche, **MPPT Control Method in Wind Energy Conversion System**, vol1, 2011,pp.340-377.
- [11] S.P. Nagrani, "Real Time Point Discrete MPPT Simulation for Wind Energy System," **International Journal of Advance in Electrical and Electronics Engineering**, vol.1, No.2, pp.352-361.
- [12] Dr.Horizon Gitano-Briggs, **Small Wind Turbine Power Controller**, China, Intech, 2010
- [13] Majid A. Abdilla, A.H.M Yatim, Chee wei, and Tan, "A Study of Maximum Power Point Tracking Algorithm for wind Energy System" **Department of Energy Conversion Universiti Teknologi Malaysia Johor Bahru Malaysia**, 2011
- [14] Aryunto Soetedjo, Abraham Lomi, and Widodo Puji Mulayanto, "Modeling of Wind Energy System with MPPT Control" **Department of Electrical Engineering, National Institute of technology (ITN) Malang Jalan Taya Karanglo Km, Indonesia**, 2011

- [15] George Joseph, J. Chris Foreman, and Michael L McIntyre, "A VARIABLE DUTY CYCLE MAXIMUM POWER POINT TRACKING ALGORITHM FOR WIND ENERGY CONVERSION SYSTEMS" **University of Louisville Speed School of Engineering Department of Electrical and Computer Engineering Louisville, KY40292, 2012**
- [16] Horizon Gitano, Soib Taib, and Mohammad Khdeir "Design and Testing of a Low Cost Peak-Power Tracking Controller for a Fixed Blade 1.2kVA Wind Turbine" **5th International Conference-Workshop-CPE,2007**



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดสำหรับกังหันลมขนาดเล็ก

Maximum Power Point Tracking for Small Scale Wind Turbine

นายปียังกูร กุฑุทพันธ์ นายอดิศร สุขแสง นายอังการ ชูหวาน นายอนุภาพ ยอดสะเทิน
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

1 ซอยถลองกรุง 1 ลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520 โทรศัพท์ 02-329-8000 ต่อ 3529 E-Mail: project.dr.siridech2013@gmail.com

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการศึกษาคุณลักษณะทางไฟฟ้าของกังหันลมผลิตไฟฟ้า และศึกษาการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุด (Maximum Power Point Tracking) ของใบพัดกังหันลม 2 แบบ ซึ่งมีคุณลักษณะทางไฟฟ้าและคุณลักษณะทางกลที่แตกต่างกัน ได้แก่ กังหันลมชนิด 3 ใบพัด(3-blades) และกังหันลมชนิดหลายใบพัด (Multi-blade) เพื่อเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าเมื่อมีและไม่มีวงจรตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุด อีกทั้งยังเปรียบเทียบคุณลักษณะต่างๆ ทั้งกำลังไฟฟ้า, แรงดันไฟฟ้า และความเร็วรอบของโรเตอร์ เมื่อทำการปรับค่าดิวตี้ไซเคิล (duty cycle) การตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดและการหาคุณลักษณะทางไฟฟ้าของกังหันลมจะใช้วงจรทอนแรงดันไฟฟ้า (Buck converter) โดยจะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ในการปรับเพิ่ม - ลดดิวตี้ไซเคิล เพื่อให้ได้จุดที่จะเกิดกำลังไฟฟ้าสูงสุด ซึ่งในการทดสอบจะใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงชนิดแม่เหล็กถาวร เพราะมีความง่ายในการศึกษาคุณลักษณะและการควบคุม

คำสำคัญ: การตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุด, วงจรทอนแรงดัน, ดิวตี้ไซเคิล, ระบายความร้อนและสังเกตุ

Abstract

This paper studies about electrical Characteristic and Maximum Power Point Tracking of two model wind turbines which are three and multiple blades wind turbines that have different properties. Two systems are compared; one with MPPT and one without it. Characteristic of two models wind turbines will be compare too. Maximum Power Point Tracking and Characteristic test used Buck Converter and Microcontroller for increased or decreased duty cycle for tracking maximum point. In this thesis use Permanent magnet DC generator to study electrical characteristic and control.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปทำธุรกิจใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Keywords: Maximum power point tracking, buck converter, duty cycle, perturb and observe

1. บทนำ

ระบบพลังงานลมนั้นมีการใช้งานอยู่ทั่วทุกมุมโลกและมีศักยภาพในการผลิตไฟฟ้า อีกทั้งยังสามารถนำไปใช้ประโยชน์กับเครื่องสี่ขาและระบบวิดน้ำอีกด้วย ระบบพลังงานลมยังเป็นระบบพลังงานทดแทนต้นทุนต่ำหากเทียบกับพลังงานอื่น ซึ่งการใช้พลังงานลมถือเป็นการลงทุนที่คุ้มค่า โดยเฉพาะอย่างยิ่งการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุดจะมีการนำเทคนิคและการพัฒนาในด้านอิเล็กทรอนิกส์เข้ามาประยุกต์เพื่อใช้ตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุด (maximum power point tracking)

2. คุณลักษณะของกังหันลม

กำลังไฟฟ้าที่ได้จากลมนั้นสามารถหาได้จากสมการที่ 1

$$P = \frac{1}{2} \rho_a A_T V_w^3 \quad (1)$$

เมื่อ P คือ กำลังที่ได้จากลม ρ_a คือ ความหนาแน่นอากาศ A_T คือ พื้นที่ที่กังหันลมกวาดได้ V_w คือ ความเร็วลม

กำลังไฟฟ้าได้จากกังหันลมนั้นสามารถหาได้จากสมการที่ 2

$$P = \frac{1}{2} C_p \rho_a A_T V_w^3 \quad (2)$$

เมื่อค่า C_p คือ สัมประสิทธิ์กำลังไฟฟ้า

หากสมมติให้ ความเร็วลม, ความหนาแน่นอากาศ, และรัศมีกังหันลมเป็นค่าคงที่ แสดงว่าระบบนั้นขึ้นอยู่กับค่า C_p ค่าสัมประสิทธิ์ของกังหันลมจะขึ้นอยู่กับ tip speed ratio (λ) ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์กำลังไฟฟ้า สามารถหาได้จากสมการ (3)

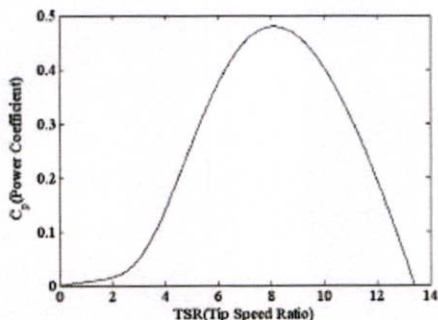
$$C_p = 0.5176 \left[\frac{116}{\lambda_i} - 0.4\beta - 5 \right] e^{-\frac{21}{\lambda_i}} + 0.0006795\lambda \quad (3)$$

โดยที่

$$\lambda = \frac{\omega R}{V_w} \quad (4)$$

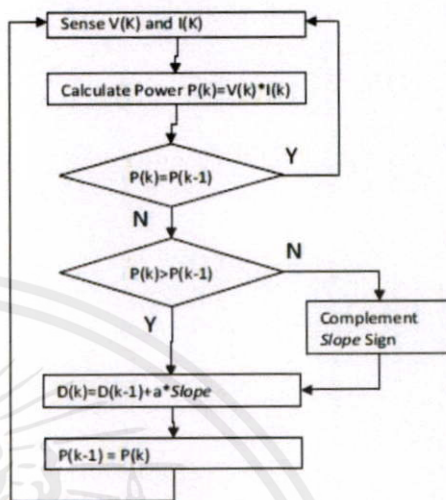
และ

$$\frac{1}{\lambda_i} = \frac{1}{\lambda + 0.008\beta} - \frac{0.035}{1 + \beta^3} \quad (5)$$



รูปที่ 1 คุณลักษณะของสัมประสิทธิ์กำลังไฟฟ้าซึ่งเป็นฟังก์ชันของ Tip speed ratio

เทคนิคนี้ไม่จำเป็นต้องใช้ข้อมูลจากค่าสัมประสิทธิ์กำลังไฟฟ้า, Tip Speed Ratio และความเร็วโรเตอร์

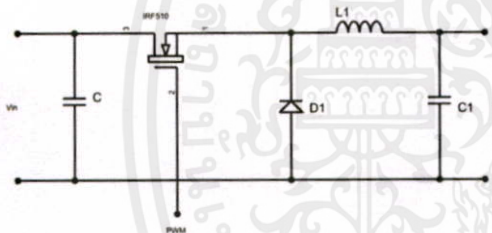


รูปที่ 4 Algorithm ของเทคนิค Pertur and Observe

3. วงจรตอนแรงดัน

ส่วนประกอบของวงจรตอนแรงดันจะแสดงในรูปที่ 2 วงจรตอนแรงดันจะได้ค่าแรงดันขาออกเฉลี่ยซึ่งน้อยกว่าค่าแรงดันขาเข้าเฉลี่ยด้วยการคูณด้วยแฟกเตอร์เฉพาะ ซึ่งแฟกเตอร์ตัวนั้นก็คือ “ดิวิตีไซเคิล” ค่าแรงดันขาออกจะหาได้จากสมการที่ (6)

$$V_o = DV_i \tag{6}$$



รูปที่ 2 ส่วนประกอบวงจรตอนแรงดัน

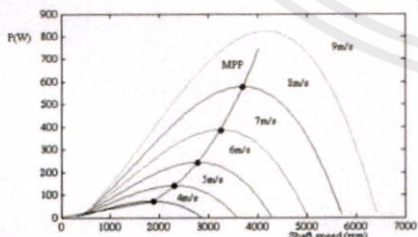
5. ผลการทดสอบ

5.1 กราฟคุณลักษณะของกังหันลมผลิตไฟฟ้าจากการทดลอง

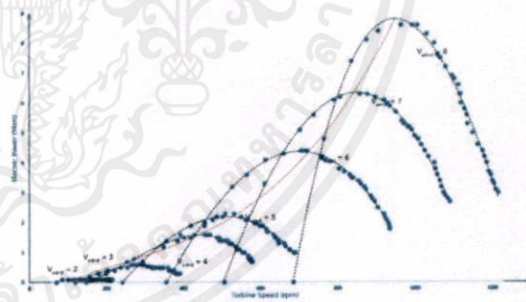
ในการทดลองเพื่อให้ทราบค่ากำลังสูงสุดของกังหันลมผลิตไฟฟ้า จะต้องศึกษาคุณลักษณะของกังหันลมผลิตไฟฟ้าแต่ละประเภทที่ใช้ทดลอง ดังรูปที่ 5

4. คุณลักษณะของกังหันลม [2]

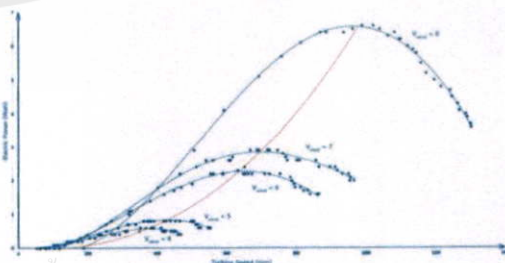
กราฟคุณลักษณะของกังหันลม แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้ากับความเร็วโรเตอร์เมื่อความเร็วลมเปลี่ยนไป ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 กำลังสูงสุดที่ความเร็วลมต่างๆ



รูปที่ 5 (ก)



รูปที่ 5 (ข)

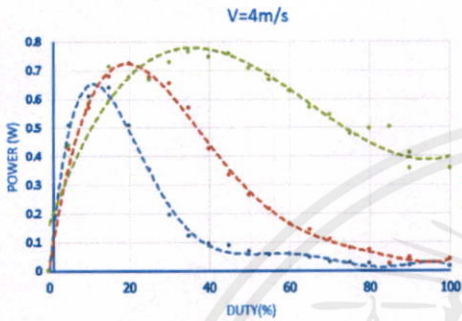
5. การตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยเทคนิครบกวนและสังเกต (Perturb & Observe)

การตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยเทคนิครบกวนและสังเกต จะใช้การปรับเพิ่ม-ลดค่าดิวิตีไซเคิลเพื่อให้ได้จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดย

การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ใช้ประโยชน์ด้านการค้า

5.2 ความสัมพันธ์ระหว่างดิฟฟิไซเทิลกับกำลังไฟฟ้า

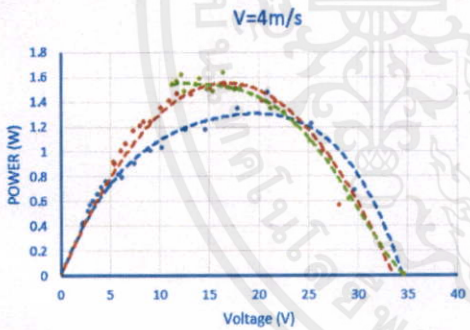
เนื่องจากการศึกษาการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยเทคนิค
รบกวนและสังเกตจำเป็นต้องรู้ความสัมพันธ์ระหว่างดิฟฟิไซเทิลและ
กำลังไฟฟ้า ในปริญญานพนธ์ฉบับนี้จะทดสอบ โดยการปรับดิฟฟิไซเทิล
ตั้งแต่ 5,10,15 จนถึง 100 เปอร์เซ็นต์ เมื่อความต้านทาน 10, 30 และ 100
โอห์ม ที่ความเร็วลม 4 เมตรต่อวินาที



รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างดิฟฟิไซเทิลกับกำลังไฟฟ้า

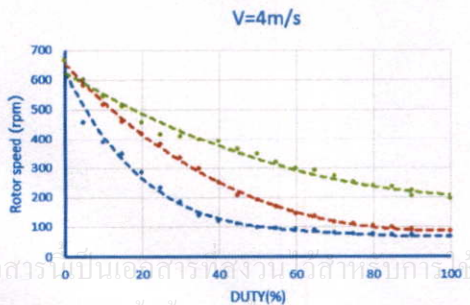
5.3 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้า

การทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าและ
กำลังไฟฟ้าเป็นการทดสอบเพื่อตรวจสอบหาค่าแรงดันไฟฟ้าที่
กำลังไฟฟ้าสูงสุด



รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับกำลังไฟฟ้า

5.4 ความสัมพันธ์ระหว่างดิฟฟิไซเทิลและความเร็วโรเตอร์

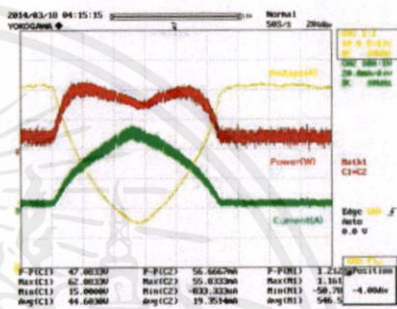


รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างดิฟฟิไซเทิลกับความเร็วโรเตอร์

จากรูปที่ 8 พบว่าเมื่อมีการเพิ่มค่าดิฟฟิไซเทิลจะทำให้ความเร็ว
โรเตอร์มีค่าลดลง และเมื่อทำการเปลี่ยนความต้านทานยิ่งค่าความ
ต้านทานมีค่ามากก็จะทำให้ความเร็วโรเตอร์มีค่ามากขึ้น [7]

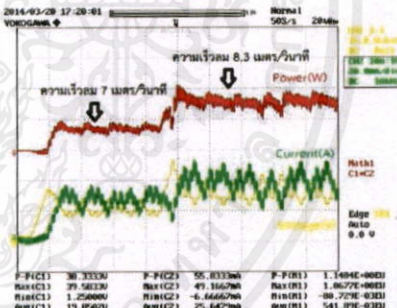
5.5 การสังเกตการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยการกวาดดิฟฟิไซเทิล

การกวาดดิฟฟิไซเทิลจะช่วยให้เห็นความสัมพันธ์ระหว่าง
กระแส แรงดันและกำลังไฟฟ้า เพื่อนำไปใช้ในกระบวนการตามรอย
กำลังไฟฟ้า เพื่อให้ได้ค่าการเปลี่ยนแปลงของดิฟฟิไซเทิลที่เหมาะสมที่สุด
โดยการกวาดดิฟฟิไซเทิลจะทำการกวาดดิฟฟิไซเทิล ตั้งแต่ 0 ถึง 100 เปอ
เซ็นต์ และวนกลับตั้งแต่ 100 ถึง 0 เปอเซ็นต์

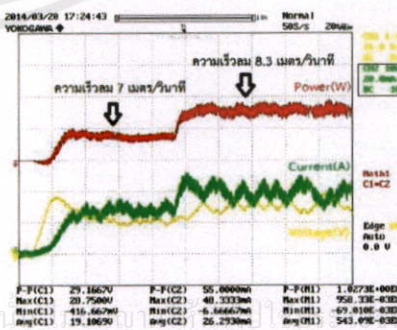


รูปที่ 9 การเพิ่ม-ลด ดิฟฟิไซเทิล เท่ากับ 2 เปอร์เซ็นต์ ทุกๆ 1 วินาที

5.6 การตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยวิธีการ Perturb & Observe



รูปที่ 10 การตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่มีการเพิ่ม-ลดค่าดิฟฟิไซเทิล
ครั้งละ 10 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 11 การตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่มีการเพิ่ม-ลดค่าดิฟฟิไซเทิล
ครั้งละ 5 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารใช้งานสาธารณะเพื่อการศึกษานำไปใช้เพื่อประโยชน์ส่วนตนโดยไม่หวังผลตอบแทน

ไม่อาจถือได้ว่างานชิ้นนี้เป็นลิขสิทธิ์ของใครและต้องอ้างอิงถึงงานของวารสารที่ต้นฉบับงานชิ้นนี้ไป

ประวัติผู้เขียน



นายปิยงกูร กุฑกพันธ์ (ชICK)

เกิดวันที่ 5 มกราคม พ.ศ. 2535

ที่อยู่ 115/144 ถ.ประสานมิตร ต.เขารูปช้าง อ. เมือง จ.สงขลา 90000

จบชั้นมัธยมศึกษาตอนต้น จากโรงเรียนมหาวิทยาลัยราชภัฏจังหวัดสงขลา

มัธยมศึกษาตอนปลาย จากโรงเรียนมหาวิทยาลัยราชภัฏจังหวัดสงขลา

E- Mail: poko_kung_4@hotmail.com Tel. 087-3963583



นายอดิศร สุขแสง (เบสท์)

เกิดวันที่ 19 มิถุนายน พ.ศ. 2534

ที่อยู่ 29 หมู่ที่ 4 ต.ท่าโรงช้าง อ.พุนพิน จ.สุราษฎร์ธานี 84130

จบชั้นมัธยมศึกษาตอนต้น จากโรงเรียนสุราษฎร์ธานี

จบชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย จากโรงเรียนสุราษฎร์ธานี

E- Mail: adisorn.b49@gmail.com Tel. 080-530-5582



นายอังการ ชูหวาน (น้ำ)

เกิดวันที่ 13 สิงหาคม พ.ศ. 2534

ที่อยู่ 181/42 ถ.เพชรเกษม ซ.6เพชรเกษม ม.1 ต.คอหงส์

อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา 90110

จบชั้นมัธยมศึกษาตอนต้น จากโรงเรียนหาดใหญ่วิทยาลัย 2

จบชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย จากโรงเรียนหาดใหญ่วิทยาลัย 2

E- Mail: the_prince_of_id@hotmail.com Tel. 081-457-8596



นายอานุภาพ ยอดสะเทิน (อาร์ม)

เกิดวันที่ 22 กันยายน พ.ศ. 2534

ที่อยู่ 5 หมู่ที่ 2 ต.พระธาตุ อ.นาคนูน จ.มหาสารคาม 44180

จบชั้นมัธยมศึกษาตอนต้นจากโรงเรียน จุฬารัตนราชวิทยาลัยบุรีรัมย์

จบชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียน วาปีปทุม

E-mail: armarnuparb@hotmail.com Tel. 085-752-3536

เอกรังนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยเท่านั้น ไม่สามารถนำออกจำหน่ายหรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้