

การตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดสำหรับกังหันลมด้วยโครงข่ายประสาทเทียม
แบบเพอร์เซปตรอนหลายชั้นโดยไม่ใช้เซนเซอร์ทางกล

MAXIMUM POWER POINT TRACKING FOR WIND TURBINE USING
MULTILAYER PERCEPTRON NEURAL NETWORK IMPLEMENTATION
WITHOUT MECHANICAL SENSOR



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2559

KMITL-2016-EN-M-020-075

การตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดสำหรับกังหันลมด้วยโครงข่ายประสาทเทียม
แบบเพอร์เซปตรอนหลายชั้นโดยไม่ใช้เซนเซอร์ทางกล

MAXIMUM POWER POINT TRACKING FOR WIND TURBINE USING
MULTILAYER PERCEPTRON NEURAL NETWORK IMPLEMENTATION
WITHOUT MECHANICAL SENSOR



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2559

KMITL-2016-EN-M-020-075

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MAXIMUM POWER POINT TRACKING FOR WIND TURBINE USING
MULTILAYER PERCEPTRON NEURAL NETWORK IMPLEMENTATION
WITHOUT MECHANICAL SENSOR



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN ELECTRICAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2016

KMITL-2016-EN-M-020-075

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2016

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดสำหรับกังหันลมด้วยโครงข่ายประสาทเทียม
แบบเพอร์เซ็ปตรอนหลายชั้นโดยไม่ใช้เซนเซอร์ทางกล

Thesis Title Maximum Power Point Tracking for Wind Turbine using Multilayer
Perception Neural Network Implementation without Mechanical Sensor

นักศึกษานายปิยภัทร กุฑุฑพันธ์

รหัสประจำตัว 57601405

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร.ศิริเดช บุญแสง


หมายเลขวิทยานิพนธ์ KMITL-2016-EN-M-020-075

| คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ | ลายมือชื่อ |
|----------------------------|------------|
| รศ.ดร.สมยศ เกียรติวนิชวิไล | |
| ดร.สมภาพ ผลไม้ | |
| ผศ.ดร.วุฒิพล ธาธาธีรเศรษฐ์ | |
| ผศ.ดร.วรชาติ สุวรรณงาม | |
| ผศ.ดร.ศิริเดช บุญแสง | |

วัน / เดือน / ปี ที่สอบ วันพุธที่ 13 กรกฎาคม พ.ศ. 2559 เวลา 10.00-12.00 น.
สถานที่สอบ ณ อาคารเฉลิมพระเกียรติ ห้อง HM-306

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว


(รองศาสตราจารย์ ดร. คมสัน มาลีสี)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
คุณบัติ คณะวิศวกรรมศาสตร์
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
วันที่ 13 กรกฎาคม พ.ศ. 2559

| | |
|-----------------------------|--|
| หัวข้อวิทยานิพนธ์ | การตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดสำหรับกังหันลมด้วยโครงข่าย ประสาทเทียมแบบเพอร์เซ็ปตรอนหลายชั้นโดยไม่ใช้เซนเซอร์ ทางกล |
| นักศึกษา | นายปิยงกูร กุกุทพันธ์ |
| รหัสประจำตัว | 57601405 |
| ปริญญา | วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต |
| สาขาวิชา | วิศวกรรมไฟฟ้า |
| พ.ศ. | 2559 |
| อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ | ผศ.ดร.ศิริเดช บุญแสง |

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสนอการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดสำหรับกังหันลมขนาดเล็กด้วยโครงข่ายประสาทเทียมแบบเพอร์เซ็ปตรอนหลายชั้นโดยไม่ใช้เซนเซอร์ทางกล จุดมุ่งหมายของวิทยานิพนธ์คือลดมูลค่าที่ใช้และความซับซ้อนลงแต่ยังคงให้ประสิทธิภาพสูง ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าและดิฟเฟอเรนเชียลได้แสดงให้เห็นว่าดิฟเฟอเรนเชียลที่เหมาะสมจะทำให้เกิดกำลังไฟฟ้าสูงสุด โดยข้อมูลที่วัดจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าคือแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าจะใช้ในการคำนวณ กำลังไฟฟ้า อัตราการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าและอัตราการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้าเพื่อจะใช้เป็นอินพุตของโครงข่ายประสาทเทียมแบบเพอร์เซ็ปตรอนหลายชั้น เอาต์พุตที่ได้จากโครงข่ายประสาทเทียมแบบเพอร์เซ็ปตรอนหลายชั้นคือค่าดิฟเฟอเรนเชียลวงจรถอบระดับ ในการทดลองจะใช้อาร์ดูโน้ ยูนิเป็นหน่วยประมวลผล ซึ่งวิทยานิพนธ์นี้จะเปรียบเทียบการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมแบบเพอร์เซ็ปตรอนหลายชั้น และ วิธีรบกวนและสังเกต(P&O) ซึ่งผลการทดลองพบว่าการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมแบบเพอร์เซ็ปตรอนหลายชั้นจะมีประสิทธิภาพมากกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต่ออ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | |
|-----------------------|---|
| Thesis | Maximum Power Point Tracking for wind turbine using Multilayer Perceptron Neural Network Implementation without Mechanical Sensor |
| Student | Mr.Piyangkun Kukutapan |
| Student ID. | 57601405 |
| Degree | Master of Engineering |
| Program | Electrical Engineering |
| Year | 2016 |
| Thesis Advisor | Asst.Prof.Dr.Siridech Boonsang |

ABSTRACT

The thesis proposes maximum power point tracking without mechanical sensor using Multilayer perceptron neural network (MLPNN). The aim of thesis is to reduce the cost and complexity but still retain efficiency. The experiments show that duty cycle is generated maximum power, if it has suitable qualification. The measured data from DC generator, Voltage (V), Current (I), Power (P), Turnover rate of power (dP), Turnover rate of Voltage (dV) are used as input for MLPNN model. The output of this model is duty cycle for driving the converter. The experiment implemented using Arduino Uno board. This thesis is compared to MPPT using MLPNN and P&O control (Perturbation and Observation control). The experimental results show that the proposed MLPNN based approach is more efficiency than P&O algorithm for this application.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาอิงจาก ผศ.ดร.ศิริเดช บุญแสง ที่คอยช่วยเหลือและให้คำแนะนำปัญหาต่างๆ อีกทั้งยังคอยชี้แนะและให้ประสบการณ์ที่ดีแก่ข้าพเจ้า

ขอขอบพระคุณประธานและคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ผู้ทรงคุณวุฒิทุกท่านที่คอยชี้แนะข้อผิดพลาดเพื่อให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ คุณภูมิ คงห้วยรอบที่คอยให้คำปรึกษาปัญหาต่างๆที่เกิดขึ้นในการทำงาน อีกทั้งยังให้กำลังใจในการทำงาน

ขอขอบพระคุณ คุณ รักก่อ ศิริวัฒน์ ที่คอยให้คำปรึกษาและเสนอแนะในเรื่องโครงข่ายประสาทเทียม และคอยให้คำปรึกษาที่ดีตลอดมา

ขอขอบพระคุณ คุณนครศักดิ์ ที่มีความเต็มใจช่วยเหลือเสมอในการให้ข้อมูลอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

ขอขอบพระคุณ คุณอดิสร และ คุณ อธิธิพันธ์ ที่คอยช่วยเหลือและให้คำปรึกษาในการเรียนและการทำงาน

ขอขอบพระคุณ คุณธนมณฑลและคุณปองขวัญที่คอยชี้หลักไวยากรณ์ภาษาอังกฤษและช่วยแนะนำคำศัพท์ภาษาอังกฤษที่เหมาะสม

ขอขอบพระคุณอาจารย์ที่เคารพทุกท่านที่ประสานวิชาความรู้ทำให้ข้าพเจ้าสามารถก้าวผ่านปัญหาและอุปสรรคต่างๆไปได้

ขอขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่เลี้ยงดูข้าพเจ้ามาอย่างดี ทั้งยังคอยสนับสนุน ชี้แนะให้กำลังใจทำให้ข้าพเจ้ามีกำลังใจและก้าวผ่านอุปสรรคไปได้

ปิยงกูร กุฑุทพันธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

| | |
|--|-----|
| บทคัดย่อภาษาไทย..... | I |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... | II |
| กิตติกรรมประกาศ..... | III |
| สารบัญ..... | IV |
| สารบัญตาราง..... | VI |
| สารบัญรูป..... | VII |
| บทที่ 1 บทนำ..... | 1 |
| 1.1 ความเป็นมาของปัญหา..... | 1 |
| 1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์..... | 2 |
| 1.3 สมมติฐานการศึกษา..... | 2 |
| 1.4 ขอบเขตการวิจัย..... | 3 |
| 1.5 ขั้นตอนการศึกษา..... | 3 |
| 1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัย..... | 3 |
| 1.7 โครงสร้างวิทยานิพนธ์..... | 4 |
| บทที่ 2 ทบทวนวรรณกรรม..... | 5 |
| 2.1 การตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดสำหรับกังหันลมด้วยวิธี Radial Basis Function Neural Network(RBFNN)..... | 5 |
| 2.2 การเพิ่มประสิทธิภาพการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดสำหรับระบบพลังงานลมโดย Quantum Neural Network(QNN)..... | 7 |
| 2.3 การตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดสำหรับกังหันลมโดยไม่ใช้เครื่องตรวจจับความเร็ว..... | 8 |
| 2.4 แนวทางใหม่ในการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดสำหรับกังหันลมโดยใช้ PI controller Radial Basis Function Neural Network และ GSA evolutionary algorithm..... | 14 |
| 2.5 วิเคราะห์การตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดสำหรับกังหันลมด้วยวิธีต่างๆ..... | 15 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และตัด IV ่างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

| | หน้า |
|--|------|
| บทที่ 3 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... | 19 |
| 3.1 กังหันลมผลิตไฟฟ้า..... | 19 |
| 3.1.1 กังหันลมแนวตั้ง..... | 19 |
| 3.1.2 กังหันลมแนวนอน..... | 19 |
| 3.2 ระบบพลังงานลม..... | 20 |
| 3.3 การตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยวิธีรบกวนและสังเกต..... | 22 |
| 3.4 โครงข่ายประสาทเทียม..... | 24 |
| 3.4.1 โครงข่ายประสาทเทียมแบบชั้นเดียว..... | 27 |
| 3.4.2 กระบวนการรับรู้แบบเพอเซปตรอน..... | 27 |
| 3.4.3 โครงสร้างโครงข่ายเซลล์ประสาทแบบหลายชั้น..... | 30 |
| 3.5 การปรับค่าน้ำหนักแบบย้อนกลับและรูปแบบการเรียนรู้..... | 31 |
| 3.5.1 อนุพันธ์ของฟังก์ชันกระตุ้น..... | 31 |
| 3.5.2 การย้อนกลับสำหรับโครงข่ายประสาทเทียมหลายชั้น..... | 32 |
| 3.6 วงจรทอนระดับแรงดันหรือวงจรบีกคอนเวอร์เตอร์..... | 36 |
| บทที่ 4 การออกแบบและสร้างชุดควบคุมสำหรับการตามรอยกำลังไฟฟ้า..... | 45 |
| 4.1 ภาพรวมการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดสำหรับกังหันลม..... | 45 |
| 4.2 โครงสร้างของวงจรทอนแรงดัน..... | 46 |
| 4.3 วงจรตรวจจับแรงดันไฟตรง..... | 48 |
| 4.4 วงจรตรวจจับกระแส..... | 49 |
| 4.5 การออกแบบการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดสำหรับกังหันลม..... | 50 |
| 4.5.1 การตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม..... | 50 |
| 4.5.2 การตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยวิธีรบกวนและสังเกต..... | 54 |
| บทที่ 5 วิธีการทดลอง..... | 58 |
| 5.1 วิธีการทดสอบความเร็วลมของอุโมงค์ลมในส่วนทดสอบ..... | 58 |
| 5.2 วิธีการทดลองการหาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบและดิฟฟ์ไซเคิล..... | 62 |
| 5.3 วิธีการทดลองการหาความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าและดิฟฟ์ไซเคิล..... | 63 |
| 5.4 วิธีการทดลองการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดสำหรับกังหันลม..... | 64 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | |
|--|-----|
| บทที่ 6 ผลการทดสอบและอภิปราย..... | 66 |
| 6.1 ผลการทดสอบอู๋มอญคัลม..... | 66 |
| 6.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบและดิวตี้ไซเคิล..... | 68 |
| 6.3 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าและดิวตี้ไซเคิล..... | 69 |
| 6.4 การทดลองเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการตามรอยกำลังไฟฟ้า..... | 70 |
| 6.5 การทดลองการเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าที่จากการตามรอยกำลังไฟฟ้า..... | 78 |
| 6.6 การทดลองการเปรียบเทียบดิวตี้ไซเคิลในการตามรอยกำลังไฟฟ้า..... | 84 |
| 6.7 การทดลองการเปรียบเทียบการแกว่งของกำลังไฟฟ้าที่ได้จากการตามรอยกำลังไฟฟ้า..... | 88 |
| บทที่ 7 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ..... | 92 |
| 7.1 สรุปผลการทดลอง..... | 92 |
| 7.2 ข้อเสนอแนะ..... | 93 |
| เอกสารอ้างอิง..... | 94 |
| ภาคผนวก ก. ผลงานวิจัยที่ได้รับการเผยแพร่..... | 97 |
| ภาคผนวก ข. พิกัดเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง..... | 110 |
| ประวัติผู้วิจัย..... | 113 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต่อVIอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

| ตารางที่ | หน้า |
|---|------|
| 2.1 การทำงานของวิธีการต่างๆที่ทำการทดสอบ..... | 13 |
| 2.2 การเปรียบเทียบการตามรอยด้วยวิธีต่างๆ..... | 18 |
| 4.1 จำนวนชั้นซ่อนและความผิดพลาดที่เกิดขึ้น..... | 52 |
| 6.1 ค่าความเร็วลมที่พิกัดแนวเส้นผ่านศูนย์กลาง..... | 66 |
| 6.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบพัดลมและความเร็วลมที่ได้..... | 67 |
| 6.3 เวลาที่ใช้ในการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุด..... | 77 |
| 6.4 กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยจากการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุด..... | 80 |
| 6.5 เปรียบเทียบค่าตัวชี้เวิล..... | 87 |
| 6.6 เปรียบเทียบค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน..... | 90 |



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และตั้ง **VII** ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

| รูปที่ | หน้า |
|---|------|
| 2.1 แผนภาพบล็อกระบบการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุด..... | 6 |
| 2.2 การตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุด..... | 7 |
| 2.3 เปรียบเทียบการตามรอยกำลังไฟฟ้าด้วยวิธีที่นำเสนอและการควบคุมแบบPID..... | 8 |
| 2.4 สถาปัตยกรรมของ Recurrent Neural Network | 9 |
| 2.5 แผนภาพบล็อกการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยวิธีที่นำเสนอ..... | 9 |
| 2.6 ความเร็วรอบที่ได้จากวิธีที่นำเสนอ..... | 10 |
| 2.7 ค่าความผิดพลาดจากความเร็รรอบและความเร็รรอบที่ประมาณ..... | 10 |
| 2.8 ความเร็วรอบที่ได้จากRNN..... | 11 |
| 2.9 ความเร็วรอบที่ได้จากการควบคุมแบบPI..... | 11 |
| 2.10 การตามรอยกำลังไฟฟ้าที่การเปลี่ยนความเร็วลมแบบช้า..... | 12 |
| 2.11 โครงสร้างของวิธีที่นำเสนอ..... | 14 |
| 2.12 กำลังไฟฟ้าที่ได้..... | 15 |
| 2.13 ค่าสัมประสิทธิ์กำลัง..... | 16 |
| 2.14 กำลังไฟฟ้าที่ได้จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า..... | 16 |
| 3.1 กังหันลมแนวนอนและกังหันลมแนวตั้ง..... | 19 |
| 3.2 ภาพรวมระบบพลังงานลม..... | 20 |
| 3.3 ความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์กำลังและTip speed ratio..... | 21 |
| 3.4 กราฟคุณลักษณะกำลังไฟฟ้าของกังหันลม..... | 22 |
| 3.5 การทำงานของวิธีรบกวนและสังเกต..... | 23 |
| 3.6 โครงสร้างของเซลล์ประสาทเทียม..... | 24 |
| 3.7 ฟังก์ชันกระตุ้นแบบเชิงเส้น..... | 25 |
| 3.8 ฟังก์ชันกระตุ้นโลจิสติกส์..... | 26 |
| 3.9 ฟังก์ชันกระตุ้นไฮเพอร์โบลิก..... | 26 |
| 3.10 โครงสร้างโครงข่ายประสาทเทียมแบบชั้นเดียว..... | 27 |
| 3.11 โครงข่ายประสาทเทียมแบบเพอร์เซปตรอนชั้นเดียว (single layer perceptron)..... | 28 |
| 3.12 เวกเตอร์น้ำหนักตั้งฉากกับขอบเขตการตัดสินใจ..... | 29 |
| 3.13 สถาปัตยกรรมของโครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้น..... | 31 |
| 3.14 ฟังก์ชันกระตุ้นแบบโลจิสติกส์และอนุพันธ์ของฟังก์ชันกระตุ้น..... | 32 |
| 3.15 โครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้นโดยใช้การปรับค่าถ่วงน้ำหนักย้อนกลับ..... | 32 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และตั้ง VIII ึ่งอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

| | |
|--|----|
| 3.16 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความผิดพลาดกับกระบวนการเรียนรู้แบบ BP..... | 35 |
| 3.17 ขอบเขตของแถบความชันของฟังก์ชันกระตุ้นแบบโลจิสติกส์..... | 35 |
| 3.18 (ก) วงจรแปลงผันกระแสตรงพื้นฐาน (ข) แรงดันไฟฟ้าขาออก..... | 36 |
| 3.19 วงจรทอนระดับ (Buck Converter)..... | 39 |
| 3.20 วงจรสมมูลเมื่อสวิตช์นำกระแส..... | 39 |
| 3.21 วงจรสมมูลเมื่อสวิตช์ไม่นำกระแส..... | 41 |
| 3.22 รูปคลื่นการทำงานของวงจรทอนแรงดัน..... | 42 |
| 4.1 ภาพรวมการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดในระบบพลังงานลม..... | 45 |
| 4.2 โครงสร้างวงจรทอนระดับ..... | 46 |
| 4.3 โหมดการทำงานของวงจรทอนแรงดัน (ก) สวิตช์นำกระแส (ข) สวิตช์ไม่นำกระแส..... | 47 |
| 4.4 วงจรตรวจจับแรงดันไฟตรง..... | 49 |
| 4.5 วงจรตรวจจับกระแส..... | 50 |
| 4.6 การเรียนรู้แบบมีการสอน..... | 51 |
| 4.7 สถาปัตยกรรมการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยโครงข่ายประสาทเทียมแบบ เพอร์เซปตรอนหลายชั้น..... | 53 |
| 4.8 แผนภาพบล็อกการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยโครงข่ายประสาทเทียมแบบ เพอร์เซปตรอนหลายชั้น..... | 54 |
| 4.9 ผลของอัตราการเปลี่ยนแปลงดิฟเฟอเรนเชียล (ก) อัตราการเปลี่ยนแปลงสูง (ข) อัตราการเปลี่ยนแปลงต่ำ..... | 55 |
| 4.10 แผนผังการทำงานของเทคนิคบวกลบและสังเกต..... | 56 |
| 4.11 แผนภาพบล็อกของการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยวิธีบวกลบและสังเกต..... | 55 |
| 5.1 อุโมงค์ลมที่ใช้ทดสอบ..... | 59 |
| 5.2 ส่วนปฏิบัติงานของอุโมงค์ลม..... | 59 |
| 5.3 จุดอ้างอิง(0,0)..... | 60 |
| 5.4 แนวระนาบของส่วนทดสอบ..... | 60 |
| 5.5 จุดที่วัดในแนวระนาบแกน x..... | 61 |
| 5.6 ตำแหน่งที่ใช้ในการวัดความเร็วรอบของพัดลม..... | 61 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และดัดแปลงอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

| | |
|--|----|
| 5.7 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง..... | 64 |
| 6.1 ความเร็วลมในแนวระนาบของส่วนทดสอบ..... | 67 |
| 6.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบและดิวตี้ไซเคิล..... | 68 |
| 6.3 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าและดิวตี้ไซเคิล..... | 69 |
| 6.4 เวลาที่ใช้ในการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ความเร็วลม 5 เมตร/วินาที (ก) โครงข่ายประสาทเทียมแบบเพอร์เซปตรอนหลายชั้น (ข) วิธีรับกวนและสังเกตที่อัตราการเปลี่ยนดิวตี้ไซเคิลเท่ากับ5%..... | 70 |
| 6.5 เปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ความเร็วลม 5 เมตร/วินาที (ก) โครงข่ายประสาทเทียมแบบเพอร์เซปตรอนหลายชั้น (ข) วิธีรับกวนและสังเกตที่อัตราการเปลี่ยนดิวตี้ไซเคิลเท่ากับ5%..... | 72 |
| 6.6 เวลาที่ใช้ในการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ความเร็วลม 6 เมตร/วินาที (ก) โครงข่ายประสาทเทียมแบบเพอร์เซปตรอนหลายชั้น (ข) วิธีรับกวนและสังเกตที่อัตราการเปลี่ยนดิวตี้ไซเคิลเท่ากับ5%..... | 73 |
| 6.7 เปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ความเร็วลม 6 เมตร/วินาที (ก) โครงข่ายประสาทเทียมแบบเพอร์เซปตรอนหลายชั้น (ข) วิธีรับกวนและสังเกตที่อัตราการเปลี่ยนดิวตี้ไซเคิลเท่ากับ5%..... | 74 |
| 6.8 เวลาที่ใช้ในการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ความเร็วลม 8.3 เมตร/วินาที (ก) โครงข่ายประสาทเทียมแบบเพอร์เซปตรอนหลายชั้น (ข) วิธีรับกวนและสังเกตที่อัตราการเปลี่ยนดิวตี้ไซเคิลเท่ากับ5%..... | 75 |
| 6.9 เปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ความเร็วลม 8.3 เมตร/วินาที (ก) โครงข่ายประสาทเทียมแบบเพอร์เซปตรอนหลายชั้น (ข) วิธีรับกวนและสังเกตที่อัตราการเปลี่ยนดิวตี้ไซเคิลเท่ากับ5%..... | 77 |
| 6.10 แผนภูมิเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการตามรอยในการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุด..... | 78 |
| 6.11 กำลังไฟฟ้าที่สภาวะคงตัวที่ความเร็ว 5 เมตร/วินาที (ก) โครงข่ายประสาทเทียมแบบเพอร์เซปตรอนหลายชั้น (ข) เทคนิครับกวนและสังเกตที่อัตราการเปลี่ยนแปลงดิวตี้ไซเคิล 5%..... | 73 |
| 6.12 กำลังไฟฟ้าที่สภาวะคงตัวที่ความเร็ว 6 เมตร/วินาที (ก) โครงข่ายประสาทเทียมแบบเพอร์เซปตรอนหลายชั้น (ข) เทคนิครับกวนและสังเกตที่อัตราการเปลี่ยนแปลงดิวตี้ไซเคิล 5%..... | 80 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต่อXอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญรูป(ต่อ)

| | | |
|------|--|----|
| 6.13 | กำลังไฟฟ้าที่สภาวะคงตัวที่ความเร็ว 8.3 เมตร/วินาที (ก)โครงข่ายประสาทยูทึมแบบเพอร์เซปตรอนหลายชั้น (ข) เทคนิครกบวงนและสังเกดที่้อตราการเปลี่ยมแปลงดิวตี้ไซเคิล 5%..... | 82 |
| 6.14 | แผนภูมิเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยที่ได้จากการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุด..... | 83 |
| 6.15 | การเปรียบเทียบดิวตี้ไซเคิลที่ได้และดิวตี้ไซเคิลที่เหมาะสม (ก)โครงข่ายประสาทยูทึมแบบเพอร์เซปตรอนหลายชั้น วิธีรกบวงนและสังเกด (ข)วิธีรกบวงนและสังเกดที่้อตราการเปลี่ยมแปลงดิวตี้ไซเคิล 5%..... | 84 |
| 6.16 | การเปรียบเทียบดิวตี้ไซเคิลที่ได้และดิวตี้ไซเคิลที่เหมาะสม (ก)โครงข่ายประสาทยูทึมแบบเพอร์เซปตรอนหลายชั้น วิธีรกบวงนและสังเกด (ข)วิธีรกบวงนและสังเกดที่้อตราการเปลี่ยมแปลงดิวตี้ไซเคิล 5%..... | 85 |
| 6.17 | การเปรียบเทียบดิวตี้ไซเคิลที่ได้และดิวตี้ไซเคิลที่เหมาะสม (ก)โครงข่ายประสาทยูทึมแบบเพอร์เซปตรอนหลายชั้น วิธีรกบวงนและสังเกด (ข)วิธีรกบวงนและสังเกดที่้อตราการเปลี่ยมแปลงดิวตี้ไซเคิล 5%..... | 86 |
| 6.18 | แผนภูมิเปรียบเทียบดิวตี้ไซเคิลเฉลี่ยที่ได้จากการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุด..... | 87 |
| 6.19 | เปรียบเทียบการแกว่งกำลังไฟฟ้าที่สภาวะคงตัว (ก)โครงข่ายประสาทยูทึมแบบเพอร์เซปตรอนหลายชั้น (ข) เทคนิครกบวงนและสังเกดที่้อตราการเปลี่ยมแปลงดิวตี้ไซเคิล 5%..... | 89 |
| 6.20 | เปรียบเทียบการแกว่งกำลังไฟฟ้าที่สภาวะคงตัว (ก)โครงข่ายประสาทยูทึมแบบเพอร์เซปตรอนหลายชั้น (ข) เทคนิครกบวงนและสังเกดที่้อตราการเปลี่ยมแปลงดิวตี้ไซเคิล 5%..... | 89 |
| 6.21 | เปรียบเทียบการแกว่งกำลังไฟฟ้าที่สภาวะคงตัว (ก)โครงข่ายประสาทยูทึมแบบเพอร์เซปตรอนหลายชั้น (ข) เทคนิครกบวงนและสังเกดที่้อตราการเปลี่ยมแปลงดิวตี้ไซเคิล 5%..... | 90 |
| 6.22 | แผนภูมิเปรียบเทียบค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน..... | 91 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และดัดXIอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันพลังงานทดแทนได้เติบโตขึ้นอย่างมาก เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม พลังงานน้ำ เป็นต้น ซึ่งในช่วงทศวรรษที่ผ่านมา ระบบพลังงานลมนั้นเป็นพลังงานทดแทนที่มีความสำคัญอย่างมากเนื่องด้วยพลังงานที่ใช้อยู่ในปัจจุบันนั้นขาดแคลนทำให้มีราคาสูง ทั้งยังส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอีกด้วย ดังนั้นพลังงานลมจึงเป็นอีกหนึ่งทางเลือกเพราะนอกจากจะเป็นพลังงานแล้วยังใช้ได้ไม่มีวันหมดอีกด้วย

แต่ก่อนนั้นประเทศไทยใช้พลังงานลมในการชักน้ำเข้าชักน้ำออก เช่นการทำนาเกลือ หรือ นาปี แต่เนื่องจากราคาที่สูงขึ้นของน้ำมัน ประเทศไทยจึงมีการนำพลังงานลมมาใช้ในการผลิตไฟฟ้าและได้มีการสำรวจความเร็วลมเฉลี่ยต่อปีพบว่า แนวชายฝั่งทะเลอันดามันและบริเวณโดยรอบชายฝั่งอ่าวไทย มีความเร็วลมที่เพียงพอที่จะติดตั้งกังหันลมเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าได้[13]

ในระบบพลังงาน กังหันลมจะทำหน้าที่ในการเปลี่ยนพลังงานลมไปเป็นพลังงานกลเพื่อใช้ขับเคลื่อนกำเนิดกระแสไฟฟ้า ซึ่งปัจจัยที่ส่งผลต่อกำลังไฟฟ้านั้นคือความเร็วลมและมุมเหิน(Pitch angle) [1] เพื่อที่จะใช้ประโยชน์จากคุณลักษณะของกังหันลมได้มากที่สุด การตามรอยกำลังไฟฟ้าจึงเป็นตัวแปรสำคัญเพื่อที่จะได้กำลังไฟฟ้าสูงสุด

ในช่วงที่ผ่านมาได้มีการศึกษาเกี่ยวกับการเพิ่มประสิทธิภาพพลังงานลมด้วยการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุด [2] ซึ่งวิธีการที่ นำเสนอ อาทิเช่น วิธีการควบคุมแรงบิดที่เหมาะสม(Optimal Torque Control :OTC) , วิธีการรบกวนและสังเกต(Perturbation and Observation :P&O) , และ เทคนิคการเปลี่ยนแปลงอัตราการผลิตเพิ่มความเร็ว (Incremental method) [3] ข้อดีของวิธี OTC และ P&O คือ ให้ประสิทธิภาพที่สูงและง่ายต่อความเข้าใจตามลำดับ

วิธี การรบกวนและสังเกต นั้นมีข้อดีคือง่ายต่อความเข้าใจและเป็นวิธีการที่ยืดหยุ่น แต่ข้อเสียของวิธีการนี้คือ ประสิทธิภาพที่น้อย และการกำหนดค่า step size ที่เหมาะสมนั้นยุ่งยาก วิธีการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมแบบเพอร์เซ็ปตรอนหลายชั้นสามารถลดปัญหาที่เกิดขึ้นจากวิธี รบกวนและสังเกตซึ่งวิธีการนี้จะเพิ่มประสิทธิภาพและลดความยุ่งยากในการกำหนด step size

การตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมในแต่ละความเร็วลม เพื่อที่จะให้ได้ประสิทธิภาพสูงเช่นเซอร์ทางกลนั้นเป็นสิ่งที่จำเป็น [4] โดยวิธีการที่ คุณ Chun-Yao Lee [5] และคณะได้นำเสนอนั้นได้ใช้โครงข่ายประสาทแบบ Radial Basis Function (RBF) และใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เซนเซอร์ทางกลเพื่อวัดความเร็วรอบและความเร็วลม ซึ่งค่าเอาต์พุตที่ได้จากโครงข่ายประสาทเทียมแบบ RBF คือค่าความเร็วลมและกำลังไฟฟ้า

คุณ Soheil Ganjefar[6] และคณะได้ศึกษาการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมแบบ Quantum โดยวิธีแรงบิดที่เหมาะสม ซึ่งวิธีการนี้ได้ค่ากำลังไฟฟ้าใกล้เคียงกับกำลังไฟฟ้าสูงสุด ซึ่งทั้งวิธีการของคุณ Chun-Yao Lee , คุณ Soheil Ganjefar และคณะได้นำเสนอนั้นจำเป็นต้องมีข้อมูลทางกลเช่นความเร็วรอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและความเร็วลมจากเซนเซอร์ทางกล ซึ่งจะทำให้เพิ่มความยุ่งยากและราคาที่สูงขึ้น

โครงงานนี้นำเสนอการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมแบบเพอร์เซปตรอนหลายชั้นโดยไม่ใช้เซนเซอร์ทางกล เพื่อที่จะใช้คาดการณ์ค่าตัวชี้เซลล์ที่เหมาะสมที่ทำให้เกิดกำลังไฟฟ้าสูงสุด ซึ่งจุดมุ่งหมายของวิธีการนี้คือ เข้าใจง่าย ลดราคาของภาพรวมระบบและเพิ่มประสิทธิภาพ ในการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดจะใช้ชุดควบคุม ARDUINO UNO เพื่อสร้างตัวชี้เซลล์ที่ใช้ในการขับเคลื่อนเวอร์เตอร์ โดยโครงงานนี้จะทำการทดลองในอุโมงค์ลม สูง 0.6 เมตร กว้าง 0.6 เมตร ยาว 1.6 เมตร และพื้นที่หน้าตัด 0.785 เมตร²

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

จุดมุ่งหมายในการของการทำวิจัยเพื่อศึกษาการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดสำหรับกังหันลมซึ่งการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยวิธีรบกวนและสังเกตนั้นแม้จะเป็นวิธีที่เข้าใจง่ายแต่วิธีการนี้ยังให้ประสิทธิภาพที่ยังไม่สูงนักอีกทั้งการกำหนดค่าตัวชี้เซลล์เริ่มต้นและอัตราการเปลี่ยนตัวชี้เซลล์ที่เหมาะสมทำได้ยาก การใช้โครงข่ายประสาทเทียมแบบเพอร์เซปตรอนหลายชั้นในการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดจะให้ประสิทธิภาพที่ดีกว่าและใช้เวลาในการตามรอยกำลังไฟฟ้าที่ต่ำกว่าอีกทั้งวิธีการนี้ยังไม่จำเป็นต้องกำหนดตัวชี้เซลล์เริ่มต้นและอัตราการเปลี่ยนแปลงตัวชี้เซลล์อีกด้วย

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

1. ค่าตัวชี้เซลล์ที่เหมาะสมจะทำให้เกิดกำลังไฟฟ้าสูงสุด
2. การปรับค่าตัวชี้เซลล์ที่น้อยกว่าจะให้ค่าการแกว่งของกำลังไฟฟ้าน้อยกว่า
3. การตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดสำหรับกังหันลมด้วยโครงข่ายประสาทเทียมแบบเพอร์เซปตรอนหลายชั้นให้กำลังไฟฟ้าที่สูงกว่าการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยวิธีรบกวนและสังเกต
4. การปรับค่าตัวชี้เซลล์ที่น้อยกว่าจะให้ค่าการแกว่งของกำลังไฟฟ้าน้อยกว่า
5. สามารถใช้โครงข่ายประสาทเทียมในการตามรอยกำลังไฟฟ้าได้จริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ขอบเขตการวิจัย

โครงการวิจัยนี้จัดทำขึ้นเพื่อศึกษา ออกแบบตัวควบคุมโครงข่ายประสาทเทียมแบบเพอร์เซปตรอนหลายชั้นสำหรับกังหันลม โดยขอบเขตของโครงการงานวิจัยนี้คือออกแบบและสร้างตัวควบคุมโครงข่ายประสาทเทียมแบบเพอร์เซปตรอนหลายชั้น และทำการเปรียบเทียบกับการควบคุมแบบรบกวนและสังเกต โดยทำการเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการตามรอยกำลังไฟฟ้า, ค่าการแกว่งของกำลังไฟฟ้า, ตัวชี้วัดและกำลังที่ได้จากการตามรอย อีกทั้งยังศึกษาผลที่ได้จากการทดลองเพื่อวิเคราะห์และหาแนวทางพัฒนาเพื่อให้การตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดสำหรับกังหันลมมีประสิทธิภาพที่มากขึ้น

1.5 ขั้นตอนการศึกษา

1. ศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย โดยในงานวิจัยจะเน้นศึกษาการตามรอยกำลังไฟฟ้าด้วยโครงข่ายประสาทเทียมและวิธีรบกวนและสังเกต
2. จัดหาอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัยรวมถึงศึกษาวิธีการใช้
3. ออกแบบตัวควบคุมการตามรอยกำลังไฟฟ้าด้วยโครงข่ายประสาทเทียมและวิธีรบกวนและสังเกต
4. ทดสอบและปรับปรุงชุดควบคุมที่นำเสนอ
5. ประเมินและสรุปผลเพื่อจัดทำวิทยานิพนธ์

1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัย

1. สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดสำหรับกังหันลมแม้จะไม่ใช้เซนเซอร์ทางกล
2. สามารถลดข้อเสียของวิธีรบกวนและสังเกต
3. การเพิ่มเซนเซอร์ทางกลเข้าในการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดจะเพิ่มราคาให้กับชุดควบคุมซึ่งในงานวิจัยนี้จะสามารถลดต้นทุนได้
4. สามารถนำการควบคุมไปศึกษาและออกแบบเพื่อใช้ประโยชน์ในการปฏิบัติจริง
5. เป็นหนึ่งในทางเลือกในการพัฒนาพลังงานทดแทน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.7 โครงสร้างวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ศึกษาและทดสอบการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดสำหรับกังหันลมด้วยโครงข่ายประสาทเทียมแบบเพอร์เซปตรอนหลายชั้นเปรียบเทียบกับวิธีรบกวนและสังเกต โดยเนื้อหาของวิทยานิพนธ์จะแบ่งออกเป็น 6 บท ดังนี้

บทที่ 1 จะกล่าวถึงที่มาและความสำคัญของปัญหา วัตถุประสงค์ ขอบเขตงานวิจัย ตลอดจนประโยชน์ที่ได้รับ

บทที่ 2 จะกล่าวถึงการทบทวนวรรณกรรม ซึ่งจะทำการเปรียบเทียบวรรณกรรมที่มีในปัจจุบันและวิธีการที่นำเสนอ

บทที่ 3 จะกล่าวถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง ระบบพลังงานลม, วิธีรบกวนและสังเกต โครงข่ายประสาทเทียม และ วงจรทอนระดับ

บทที่ 4 จะกล่าวถึงการออกแบบก่อนที่จะมาสร้างชุดควบคุมในการตามรอยกำลังไฟฟ้า การออกแบบโครงข่ายประสาทเทียมแบบเพอร์เซปตรอนหลายชั้นและอธิบายการทำงานในส่วนต่างๆของชุดควบคุมเช่นชุดขยายสัญญาณและเซนเซอร์ทางไฟฟ้า

บทที่ 5 จะกล่าวถึงวิธีการที่ใช้ในการทดลอง การทดสอบอูโมงค์ลม การหาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบและดิฟฟ์ไซด์ การหาความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าและดิฟฟ์ไซด์และการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุด

บทที่ 6 จะกล่าวถึงผลการทดสอบ ซึ่งการทดสอบจะทำการเปรียบเทียบเวลาที่ใช้, กำลังไฟฟ้าที่ได้, ค่าการแกว่ง โดยจะทำการเปรียบเทียบวิธีที่นำเสนอกับวิธีรบกวนและสังเกต

บทที่ 7 จะกล่าวถึงบทสรุปงานวิจัย, ข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนา

บทที่ 2

ทบทวนวรรณกรรม

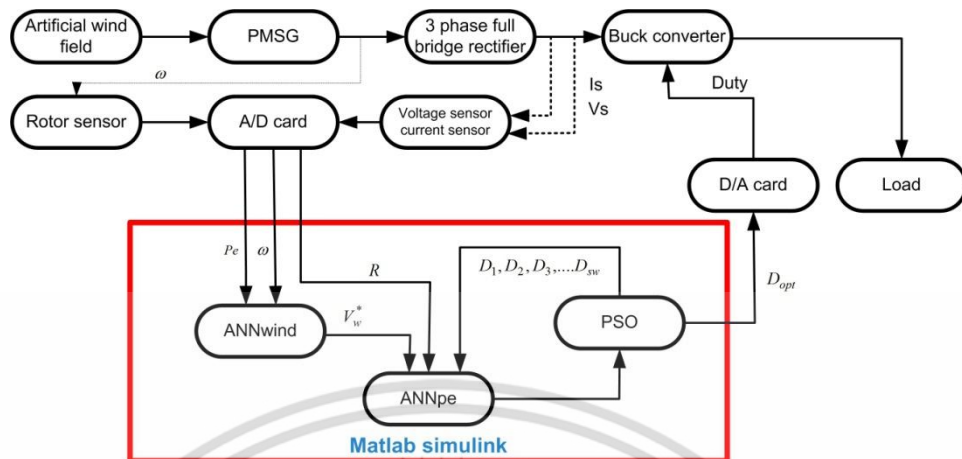
ในบทนี้จะเป็นการทบทวนบทความการวิจัยการตามรอยกำลังสูงสุดสำหรับกังหันลมด้วยโครงข่ายประสาทเทียมซึ่งในแต่ละบทความนั้นจะใช้โครงข่ายประสาทเทียมที่ต่างชนิดกัน ในแต่ละบทความจะมีแนวคิดในการนำอินพุตมาใช้กับโครงข่ายประสาทเทียมที่แตกต่างกัน

2.1 การตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดสำหรับกังหันลมด้วยวิธี Radial Basis Function Neural Network (RBFNN)

Chun-Yao Lee, Po-Hung Chen และ Yi Xing Shen [4] ได้นำเสนอการตามรอยกำลังสูงสุดสำหรับกังหันลมโดยใช้ Radial Basis Function Neural Network (RBFNN) โดยในบทความนี้ Chun-Yao Lee, Po-Hung Chen และ Yi Xing Shen จะใช้โครงข่ายประสาทเทียมด้วยกัน 2 โมเดล โดยในการคำนวณค่าความเร็วรอบที่เหมาะสม สำหรับโครงข่ายแรก (ANN_{wind}) จะนำค่าที่วัดได้จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาด 250W รวมไปถึงค่ากำลังไฟฟ้าขาออกของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและความเร็วรอบ โดยอินพุตสำหรับ ANN_{wind} คือค่ากำลังไฟฟ้าขาออกและความเร็วรอบ ซึ่งค่าเอาต์พุตที่ได้จากโมเดลแรกนั้นคือความเร็วลม (V_w^*) และ ในโมเดลที่สอง Chun-Yao Lee, Po-Hung Chen และ Yi Xing Shen จะนำค่าเอาต์พุตจากโมเดลแรกซึ่งก็คือความเร็วลม (V_w^*) มาเป็นอินพุตให้กับโมเดลที่สองเพื่อที่จะคาดการณ์ค่าตัวตั้งไซเคิล และ Particle Swarm Optimization (PSO) เพื่อให้ได้ค่าตัวตั้งไซเคิลที่เหมาะสม

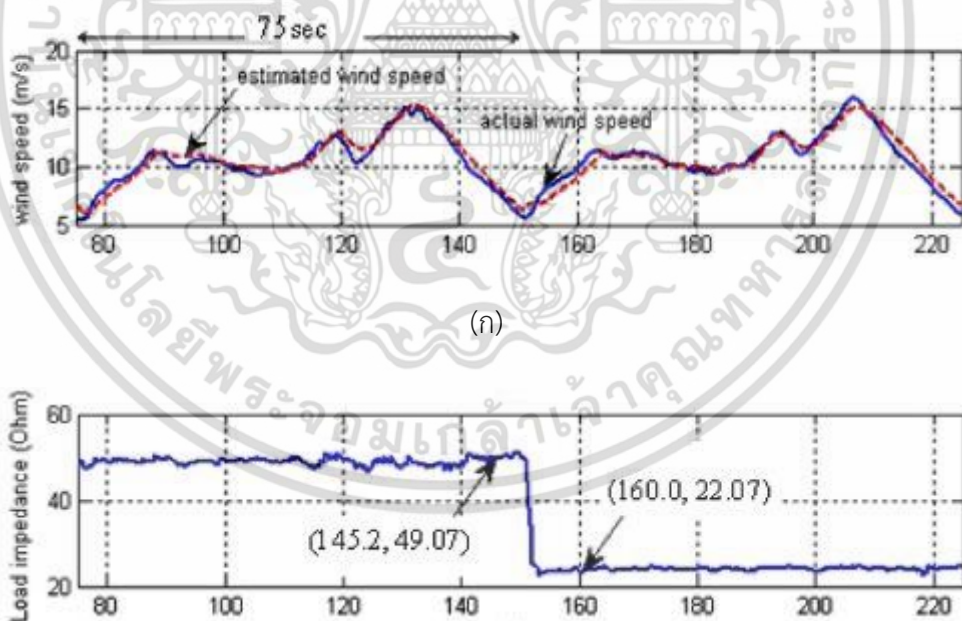
รูปที่ 2.1 แสดงแผนภาพบล็อกกระบวนการตามรอยกำลังสูงสุด ประกอบด้วยเซนเซอร์ 3 ชนิด คือ เซนเซอร์ความเร็วรอบ เซนเซอร์กระแสไฟฟ้า และ เซนเซอร์แรงดันไฟฟ้า โดยจะนำค่าแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้ามาคำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้า โดยกำลังไฟฟ้าที่ได้จากการคำนวณและความเร็วรอบเร็วรอบจากเซนเซอร์จะนำมาใช้เป็นอินพุตให้กับโมเดล ANN_{wind} เพื่อที่จะคาดการณ์ความเร็วลม โดยความเร็วลมที่ได้จะนำไปใช้เป็นอินพุตร่วมกับค่าความต้านทานและตัวตั้งไซเคิลเพื่อที่จะคาดการณ์ค่าตัวตั้งไซเคิล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



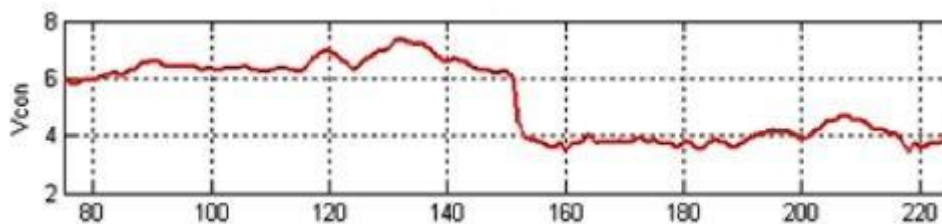
รูปที่ 2.1 แผนภาพบล็อกระบบการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุด [4]

ผลการทดลองพบว่าค่าที่คาดการณ์จากทั้งสองโมเดลนั้นใกล้เคียงกับค่าจริงและระบบสามารถตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้จริงโดยผลการทดลองนั้นจะเทียบกับเส้นโค้งคุณลักษณะ โดยผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 2.2

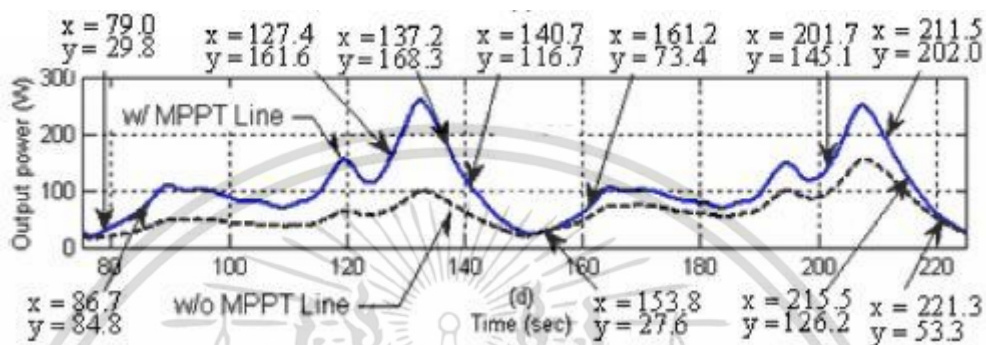


(ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ค)



(ง)

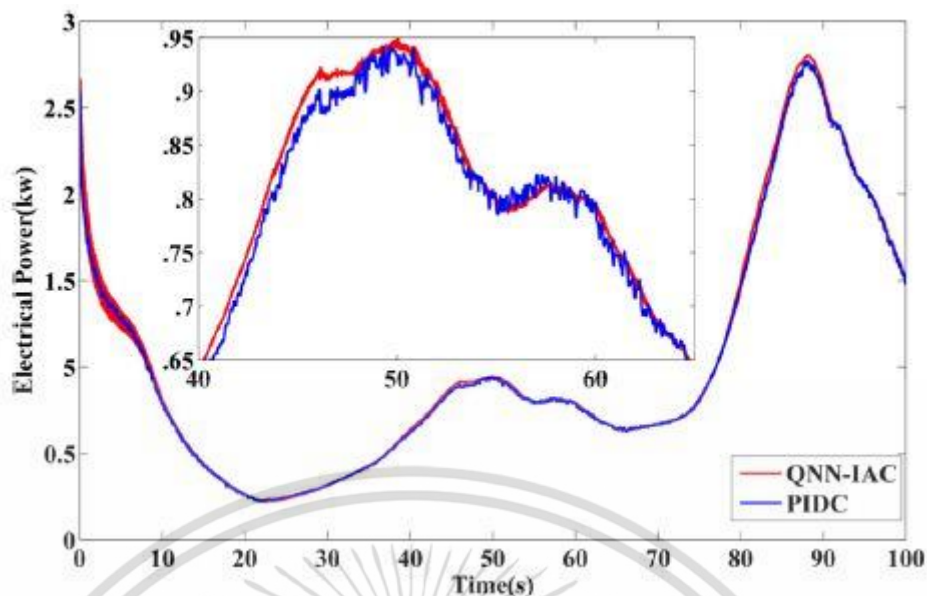
รูปที่ 2.2 การตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุด (ก) Wind speed(m/s) (ข) Load Impedance (ค) V_{con}
(ง) Output power [4]

2.2 การเพิ่มประสิทธิภาพการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดสำหรับระบบพลังงานลมโดย Quantum Neural Network(QNN)

Soheil Gajefar Ali Akbar Ghassemi และ Mohamad Mehdi Ahmadi [5] ได้นำเสนอการเพิ่มประสิทธิภาพการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดสำหรับกังหันลมโดยใช้ Quantum Neural Network (QNN) ในการเพิ่มประสิทธิภาพ ในบทความนี้ QNN จะใช้เป็นตัวควบคุมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้การตามรอยกำลังไฟฟ้าโดยวิธี Tip Speed Ratio control (TSR control) และ วิธี Optimal Torque Control (OTC) ในการทดลอง Soheil Gajefar Ali Akbar Ghassemi และ Mohamad Mehdi Ahmadi จะทำการเปรียบเทียบวิธีที่นำเสนอกับการควบคุมแบบ PID

การควบคุมนี้ต้องการเซนเซอร์ความเร็วรอบและความเร็วลมเพื่อที่จะใช้เป็นอินพุตให้กับ QNN รูปที่ 2.3 แสดงผลการทดลองซึ่งพบว่าในช่วงเวลาเดียวกันการตามรอยกำลังไฟฟ้าด้วยวิธีที่นำเสนอมีค่ามากกว่าการตามรอยด้วยการควบคุมแบบPID

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 เปรียบเทียบการตามรอยกำลังไฟฟ้าด้วยวิธีที่นำเสนอและการควบคุมแบบPID[5]

2.3 การตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดสำหรับกังหันลมโดยไม่ใช้เครื่องตรวจจับ

ความเร็ว

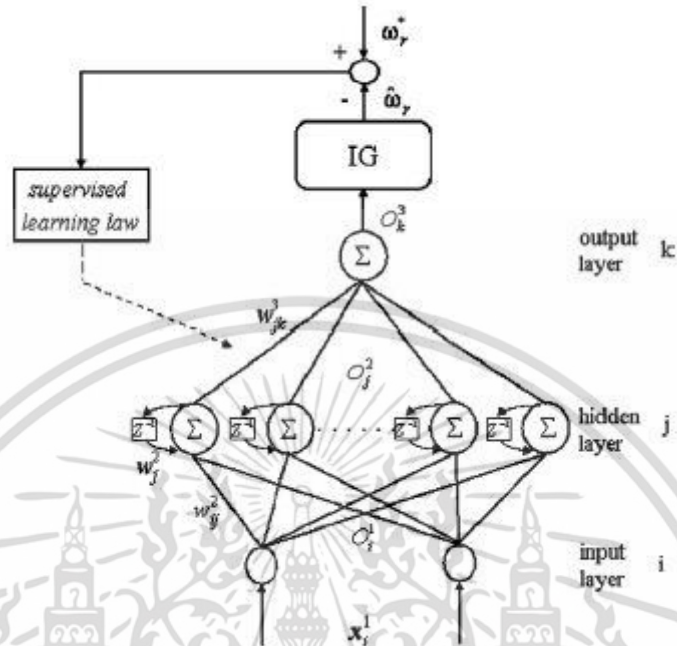
Chiung Hsing Chen Chih-Ming Hong และ Fu Sheng Cheng [3] ได้เสนอการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดสำหรับกังหันลมโดยไม่ใช้เซนเซอร์ความเร็วรอบ ในบทความนี้ใช้ Model-Reference Adaptive System (MRAS) ในการประมาณค่าความเร็วรอบโรเตอร์ ในส่วนของ Recurrent Neural Network (RNN) จะใช้ Backpropagation (BP) ในการสอน โดยจะใช้ Particle Swarm Optimization (PSO) ในการปรับค่า อัตราการเรียนรู้ (learning rate) ในการสอนของ Backpropagation

MRAS ประกอบด้วย 2 โมเดลคือ voltage model และ current model โดยในส่วนของ voltage model จะใช้ในการคำนวณค่า ฟลักซ์อ้างอิง (reference flux) และ current model จะใช้ในการหาค่า ฟลักซ์คาดการณ์ (estimate flux)

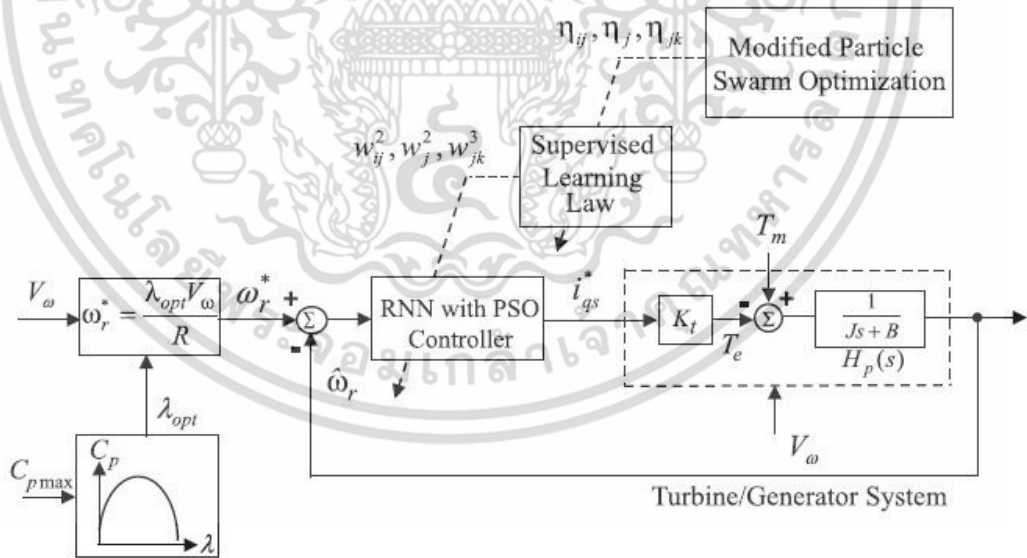
ในส่วนของ RNN ประกอบด้วย 2 ชั้น คือ ชั้นซ่อนและชั้นเอาต์พุต สถาปัตยกรรมของ RNN แสดงในรูปที่ 2.4 อินพุตของ RNN คือค่าความผิดพลาด ($e(N)$) และการเปลี่ยนแปลงความผิดพลาด ($ce(N)$) โดยค่าความผิดพลาดเป็นค่าความผิดพลาดระหว่าง $e(N) = \omega_r^* - \hat{\omega}_r$ โดย ω_r^* คือความเร็วโรเตอร์อ้างอิง และ $\hat{\omega}_r$ คือค่าความเร็วโรเตอร์ที่ประมาณและค่าการเปลี่ยนแปลงของความผิดพลาดจะหาจาก $ce(N) = e(N) - e(N-1)$ โดยค่าที่ได้จาก RNN คือ i_{qs}^*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.5 แสดงแผนภาพบล็อกของการตามรอยกำลังสูงสุดด้วยวิธีที่นำเสนอ โดยค่า ω^* จะ
 หามาจากสมการ $\omega^* = \frac{\lambda_{opt} V_w}{R}$



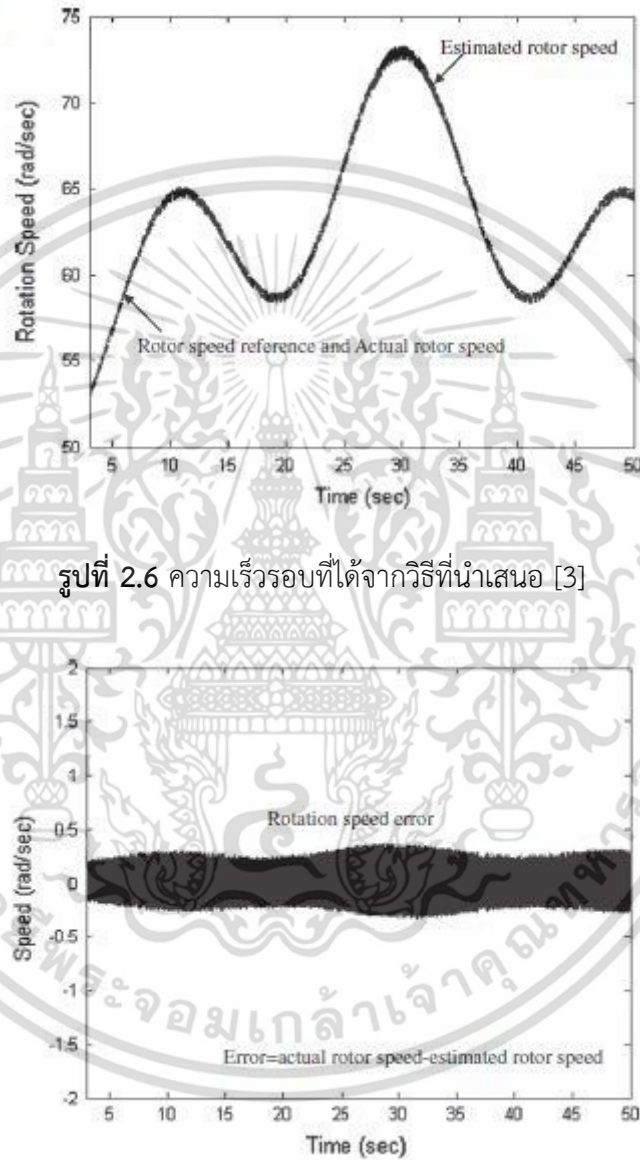
รูปที่ 2.4 สถาปัตยกรรมของ Recurrent Neural Network[3]



รูปที่ 2.5 แผนภาพบล็อกการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยวิธีที่นำเสนอ [3]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

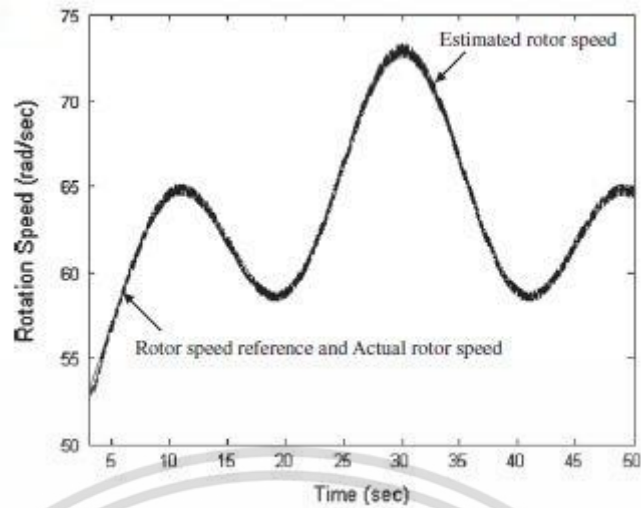
ผลการทดลองจะทำการเปรียบเทียบด้วยกัน 3 วิธีคือ 1. วิธีที่นำเสนอ 2. RNN 3.PI Controller รูปที่ 2.6 แสดง ค่าความเร็วรอบจริง ค่าความเร็วรอบที่ประมาณ และ ความเร็วรอบอ้างอิงที่ได้จากวิธีที่นำเสนอ และ รูปที่ 2.7 แสดงค่าความผิดพลาดจาก ความเร็วรอบจริงและความเร็วรอบที่ประมาณ จากวิธีที่นำเสนอ



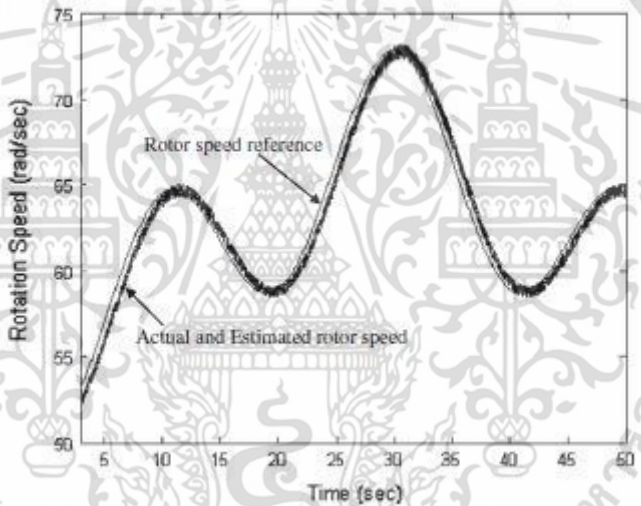
รูปที่ 2.6 ความเร็วรอบที่ได้จากวิธีที่นำเสนอ [3]

รูปที่ 2.7 ค่าความผิดพลาดจากความเร็รรอบและความเร็วรอบที่ประมาณ [3]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

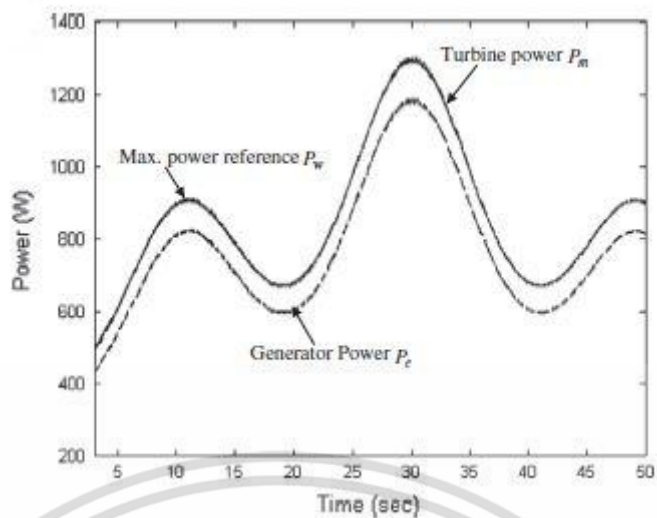


รูปที่ 2.8 ความเร็วรอบที่ได้จากRNN[3]

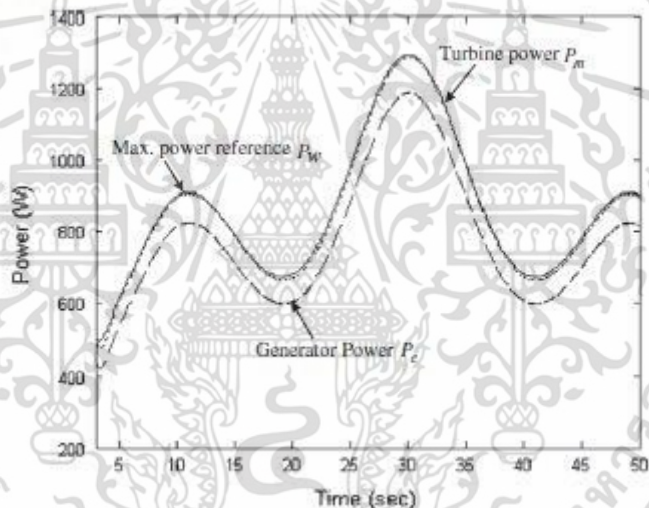


รูปที่ 2.9 ความเร็วรอบที่ได้จากการควบคุมแบบPI[3]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

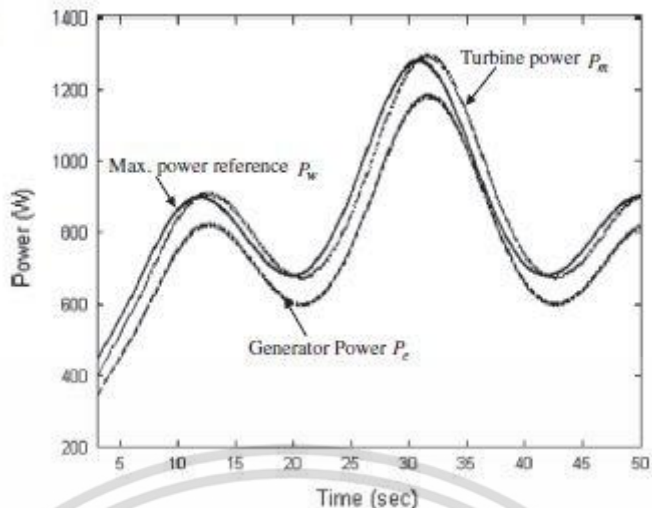


(ก)



(ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ค)

รูปที่ 2.10 การตามรอยกำลังไฟฟ้าที่การเปลี่ยนความเร็วลมแบบช้า (ก) วิธีที่นำเสนอ (ข) RNN

(ค) การควบคุมแบบPI[3]

การเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าและค่าความผิดพลาดของความเร็วรอบโรเตอร์จากวิธีที่นำเสนอ, RNN และ การควบคุมแบบPIดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 การทำงานของวิธีต่างๆที่ทำการทดสอบ[3]

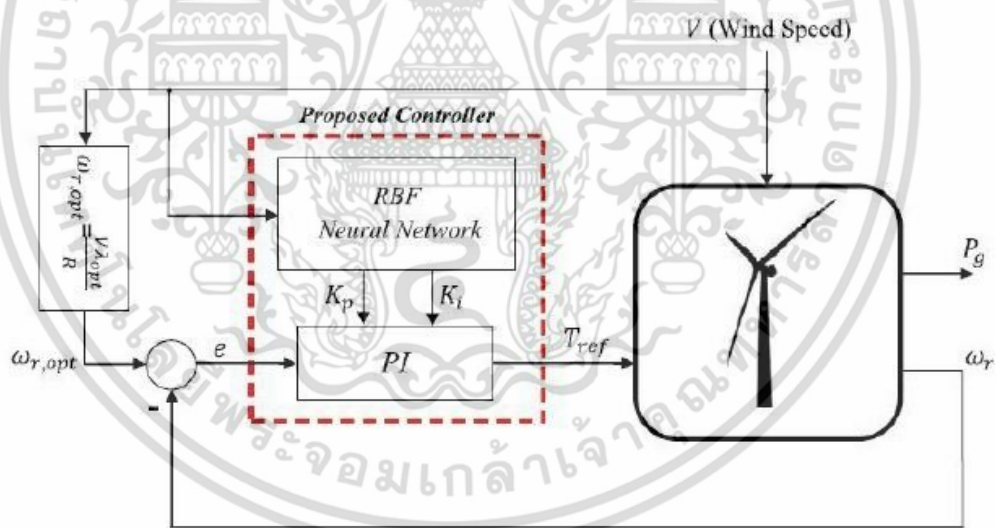
| Method | Average power | Max speed track error |
|----------------|---------------|-----------------------|
| Proposed | 1276 w | 0.6 rad/sec |
| RNN controller | 1256 w | 1.37 rad/sec |
| PI controller | 1221 w | 5.0 rad/sec |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 แนวทางใหม่ในการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดสำหรับกังหันลมโดยใช้ PI controller Radial Basis Function Neural Network และ GSA evolutionary algorithm

Ehsanolah Assareh และ Mojtaba Biglari [19] ได้เสนอแนวทางใหม่ในการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดสำหรับกังหันลมโดยใช้ PI controller Radial Basis Function Neural Network และ GSA evolutionary algorithm โดยในการทดลองจะใช้ PI controller ในการควบคุม generator torque และใช้ radial basis function neural network (RBFNN) ในการปรับอัตราขยายของการควบคุมแบบ PI (PI Gain) ในการทดลองจะทำการเปรียบเทียบวิธีการที่นำเสนอ การควบคุมแบบ PI และ การใช้ RBFNN

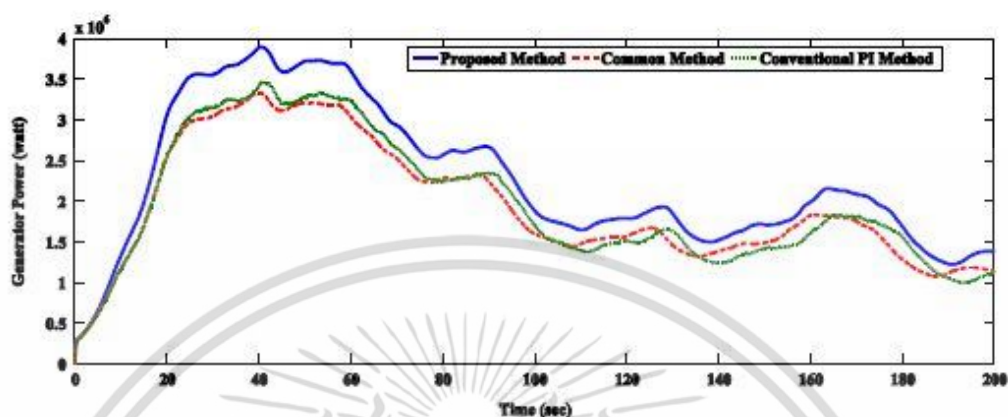
จากที่กล่าวไปข้างต้น RBFNN จะใช้ในการปรับค่าอัตราขยายของ PI ดังนั้นเอาต์พุตที่ได้จาก RBFNN จะประกอบด้วย 2 โหนด คือ K_p และ K_i Ehsanolah Assareh และ Mojtaba Biglari ได้ใช้ ชั้นซ่อนจำนวน 1 ชั้น ประกอบด้วย 6 โหนด และ อินพุตสำหรับ RBFNN คือค่าความเร็วลม โครงสร้างของวิธีที่นำเสนอดังแสดงในภาพที่ 2.11



รูปที่ 2.11 โครงสร้างของวิธีที่นำเสนอ [19]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทดลองที่ได้พบว่าวิธีที่นำเสนอขึ้นให้ประสิทธิภาพมากกว่าการใช้การควบคุมแบบ PI เพียงอย่างเดียว ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 2.12 ซึ่งจากการทดลองพบว่า การตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยวิธีที่นำเสนอขึ้นจะได้กำลังไฟฟ้ามักกว่า



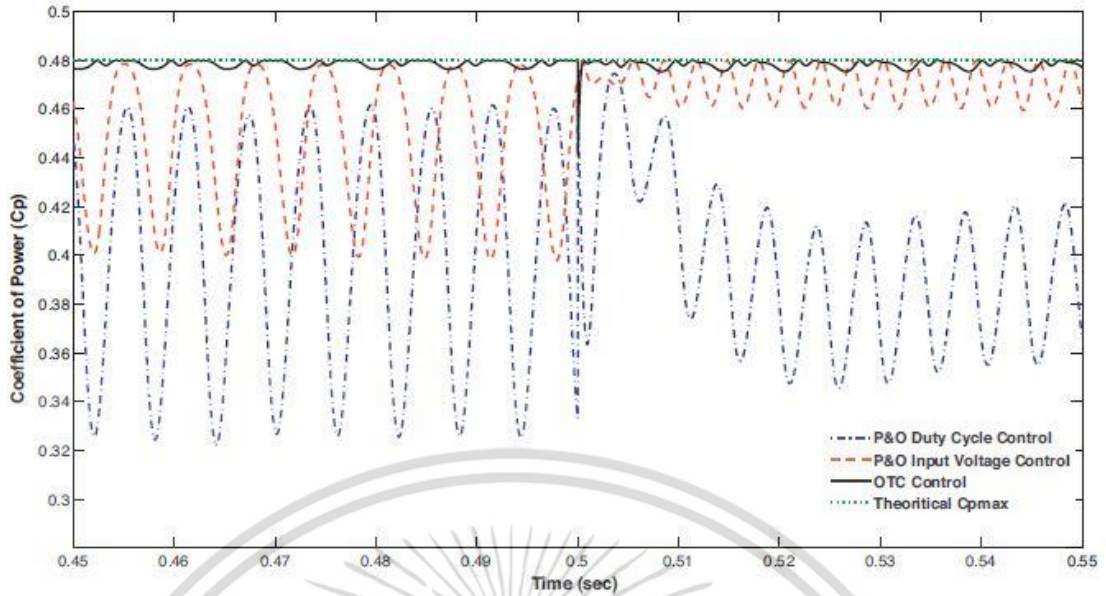
รูปที่ 2.12 กำลังไฟฟ้าที่ได้ [19]

2.5 วิเคราะห์การตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดสำหรับกังหันลมด้วยวิธีต่างๆ

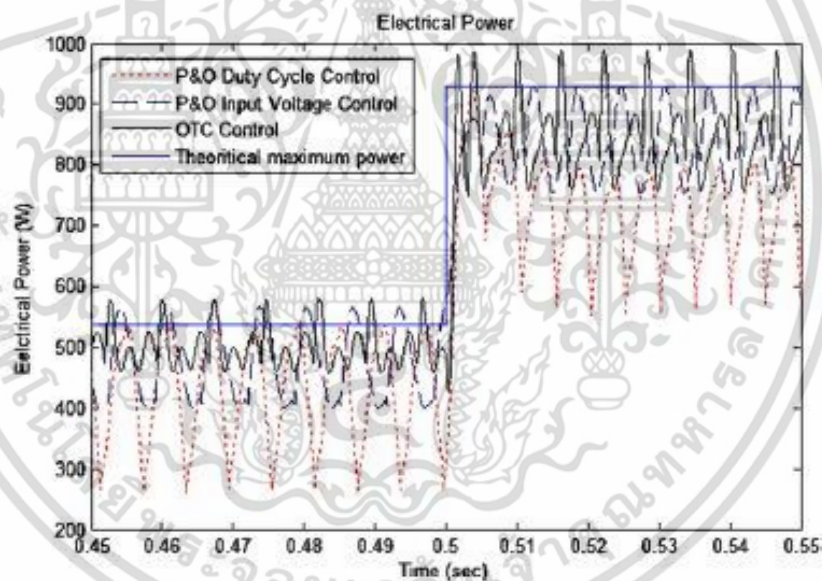
Abdullah M.A Yatim A.H.M Tan C.W. และ Saidur R [2] ได้นำเสนอบทความวิเคราะห์การตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดสำหรับกังหันลมด้วยวิธีต่างๆ โดยบทความของ Abdullah M.A , Yatim A.H.M Tan C.W. และ Saidur R นำเสนอการวิเคราะห์การตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยวิธี Optimal Torque Control(OTC) และ Perturbation and Observation(P&O) ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้และไม่ใช้เซนเซอร์ทางกลตามลำดับ

ผลการทดลองการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยวิธี OTC และ P&O พบว่าการตามรอยด้วยวิธี OTC มีประสิทธิภาพที่สูงกว่า โดยผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 2.13 พบว่า สัมประสิทธิ์กำลัง (C_p) ที่ได้จากการตามรอยด้วยวิธี P&O จะมีการแกว่งมากกว่าวิธี OTC

รูปที่ 2.14 แสดงกำลังไฟฟ้าที่ได้จากการตามรอยด้วยวิธี OTC และ P&O พบว่ากำลังไฟฟ้าที่ได้จากวิธี P&O นั้นมีค่าการแกว่งมากกว่า



รูปที่ 2.13 ค่าสัมประสิทธิ์กำลัง [2]



รูปที่ 2.14 กำลังไฟฟ้าที่ได้จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า [2]

การตามรอยกำลังไฟฟ้าสำหรับกักเก็บลมด้วยวิธีรบกวนและสังเกตนั้นมีข้อดีคือเป็นวิธีที่ยืดหยุ่นอีกทั้งยังไม่จำเป็นต้องมีความรู้ในเรื่องของกราฟคุณลักษณะ ซึ่งวิธีนี้ไม่จำเป็นต้องมีเซนเซอร์ทางกล แต่ข้อเสียหลักของวิธีนี้คือประสิทธิภาพที่ต่ำเนื่องจากเป็นเรื่องยากที่จะได้กำลังไฟฟ้าที่จุดสูงสุด การตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยโครงข่ายประสาทเทียมส่วนมากจะใช้เซนเซอร์ทางกล เช่น เซนเซอร์ความเร็วรอบ และ เซนเซอร์ความเร็วลมเป็นต้น การตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยโครงข่ายประสาทเทียมสามารถใช้ได้หลากหลายชนิดเช่น Radial Basis Function Neural Network (RBFNN) และ Recurrent Neural Network (RNN) ซึ่งแต่ละชนิดก็จะมีข้อดีแตกต่างกันออกไป โดยเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้เผยแพร่ในชั้นเรียนการคำนวณว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

RBFFNN เป็นการควบคุมแบบ Local กล่าวคืออินพุตทุกตัวจะไม่ส่งผลต่อเอาต์พุต โดยจะมีการกำหนดขอบเขตของ Receptive Field และ จุดศูนย์กลางของฟังก์ชันซึ่งหากมีอินพุตที่เกินจากค่าการสอน RBFFNN จะแสดงค่าเป็นเอาต์พุตที่ไม่ทราบค่า แต่ข้อเสียของวิธีการนี้คือหากกำหนดค่าความกว้างของ receptive field ไม่ดีจะทำให้ค่าเอาต์พุตที่ออกมาที่มีความผิดพลาด และ โครงข่ายประสาทเทียมแบบ RNN จะเป็น Feed forward เช่นเดียวกับ Multilayer perceptron neural network แต่จะมี feedback กลับ ซึ่งจะเพิ่มความซับซ้อนมากยิ่งขึ้น

ในส่วนของการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดสำหรับกังหันลมนั้นผู้วิจัยได้สังเกตเห็นแนวทางในการลดความซับซ้อนและงบประมาณแต่ยังคงประสิทธิภาพที่สูง ซึ่งจากงานวิจัยที่กล่าวมาข้างต้น [3],[4],[5],[19] เป็นการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยโครงข่ายประสาทเทียมแต่ละชนิดคือ RBFFNN,QNN,และRNN ซึ่งแต่ละวิธีจะเพิ่มความซับซ้อนที่มากกว่า Feed forward neural network และงานวิจัยที่กล่าวมาข้างต้นยังจำเป็นต้องใช้เซนเซอร์ทางกลอีกด้วย

งานวิจัยนี้จึงได้สังเกตเห็นข้อดีของวิธี P&O ที่ไม่จำเป็นต้องใช้เซนเซอร์ทางกลและประสิทธิภาพที่สูงจากการตามรอยด้วยโครงข่ายประสาทเทียม ผู้วิจัยจึงนำเสนอการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมแบบเพอร์เซปตรอนหลายชั้นโดยไม่ใช้เครื่องตรวจจับทางกล เพื่อลดความซับซ้อนและงบประมาณรวมถึงได้ประสิทธิภาพสูง โดยตารางเปรียบเทียบดังแสดงในตารางที่ 2.2 (/ : มีการใช้เซนเซอร์ , - : ไม่มีการใช้เซนเซอร์)

ตารางที่ 2.2 การเปรียบเทียบการตามรอยด้วยวิธีต่างๆ

| วิธีการตามรอย เปรียบเทียบ | QNN Based OTC | RBFNN with GA | RNN with MRAS | P&O | RBFNN with PI | Proposed method |
|------------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|-----|------------------|--------------------|
| เซนเซอร์แรงดัน | / | / | / | / | / | / |
| เซนเซอร์กระแส | / | / | / | / | / | / |
| เซนเซอร์ความเร็วรอบ | / | / | - | - | - | - |
| เซนเซอร์ความเร็วลม | - | - | / | - | - | - |
| ความซับซ้อน | สูง | ปาน กลาง | สูง | ต่ำ | ปาน กลาง | ปานกลาง |
| ราคา | สูง | สูง | สูง | ต่ำ | ต่ำ | ต่ำ |
| Reference paper | [5] | [4] | [3] | [2] | [19] | - |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

3.1 กังหันลมผลิตไฟฟ้า

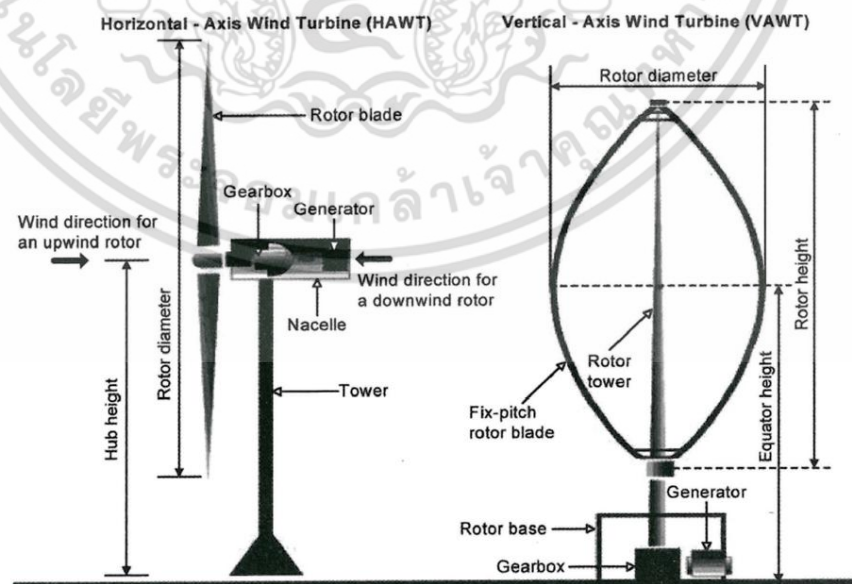
โดยทั่วไปกังหันลมสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิดตามแกนหมุน ได้แก่ กังหันลมแนวตั้ง และ กังหันลมแนวนอนโดยอุปกรณ์ของกังหันลมทั้งสองชนิดจะคล้ายกัน เช่น ชุดใบพัด ชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และ ชุดเสา โดยความแตกต่างของกังหันทั้งสองชนิดนี้จะอยู่ที่การวางชุดหมุนของใบพัด

3.1.1 กังหันลมแนวตั้ง

เป็นกังหันที่การเคลื่อนที่ของใบพัดและแกนหมุนตั้งฉากกับการเคลื่อนที่ของลมในแนวราบทำให้สามารถรับได้ทุกทิศทางในแนวราบโดยกังหันลมแบบแนวตั้งจะมี 2 แบบ คือ แดร์ริเยส (Darrius) และ ซาโวเนียส (Savonius) ซึ่งผลิตในฝรั่งเศสและฟินแลนด์ตามลำดับ ปัจจุบันนั้นมีการพัฒนากังหันลมแบบแกนตั้งน้อยมาก

3.1.2 กังหันลมแนวนอน

เป็นกังหันที่มีแกนหมุนขนานกับทิศทางของลมซึ่งใบพัดนั้นจะตั้งฉากและรับแรงลม โดยใบพัดนั้นจะรับแรงลมที่มากกระทบทำให้เกิดการหมุนของใบพัด ซึ่งกังหันแนวนอนแบบสามใบนั้นได้รับความนิยมอย่างต่อเนื่องทำให้กังหันลมชนิดสามใบพัดได้รับความนิยมอย่างมาก

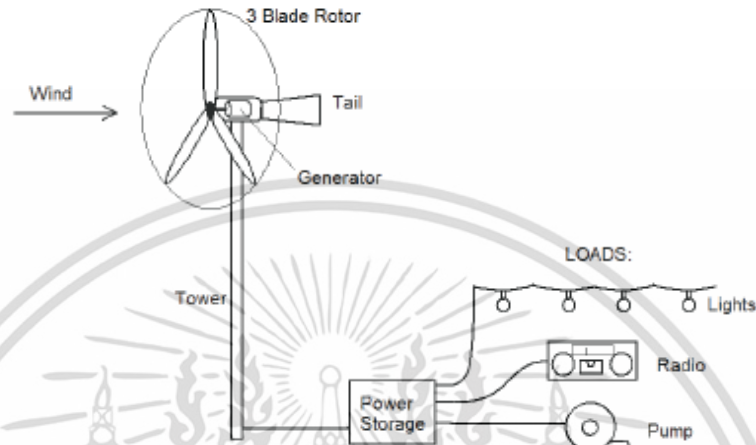


รูปที่ 3.1 กังหันลมแนวนอนและกังหันลมแนวตั้ง [13]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 ระบบพลังงานลม

ในระบบพลังงานลม กังหันลมจะทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานลมไปเป็นพลังงานในการหมุนเพื่อขับเคลื่อนกำเนิดไฟฟ้า รูปที่ 3.2 แสดงส่วนประกอบของระบบพลังงานลมขนาดเล็ก ซึ่งส่วนประกอบทั่วไปประกอบด้วยกังหันลมต่อโดยตรงกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสามเฟส



รูปที่ 3.2 ภาพรวมระบบพลังงานลม [13]

ค่ากำลังขาออกที่ได้จากกังหันลมจะเป็นฟังก์ชันของความเร็วลมยกกำลัง ซึ่งจะแสดงในสมการที่ 3.1 [7]

$$P_m = \frac{1}{2} \rho \pi A V_{wind}^3 C_p(\lambda, \beta) \quad (3.1)$$

เมื่อ P_m คือ กำลังขาออกจากกังหันลม (วัตต์) ρ คือความหนาแน่นอากาศ (kg/m^3) R คือรัศมีของกังหันลม (m) V ความเร็วลม (m/s) C_p คือ สัมประสิทธิ์กำลัง และ A คือพื้นที่หน้าตัด (m^2)

จากสมการที่ (3.1) ค่าความหนาแน่นของอากาศ และ พื้นที่หน้าตัดเป็นค่าคงที่ เมื่อมีการควบคุมความเร็วลม ดังนั้นกำลังขาออกสูงสุดที่ได้จะขึ้นกับค่าสัมประสิทธิ์กำลัง

ค่าสัมประสิทธิ์กำลังของกังหันลมนั้นเป็นค่าที่บ่งชี้ประสิทธิภาพของกังหันลม ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์กำลังนั้นเป็นฟังก์ชันแบบไม่เป็นเส้นตรงกับ Tip speed ratio (TSR) ดังแสดงในรูปที่ 3.3 ซึ่งค่า TSR นั้นจะขึ้นอยู่กับการปรับมุมใบพัด (pitch angle) และ ลักษณะของใบพัด ซึ่ง Albert Betz นักฟิสิกส์ชาวเยอรมันได้คำนวณพลังงานที่กังหันลมเปลี่ยนได้จะไม่เกิน 59.3% ของพลังงานจลน์ของลมที่เปลี่ยนเป็นพลังงานกลในการหมุนโรเตอร์ [8] อย่างไรก็ตามค่าสัมประสิทธิ์กำลังสูงสุดที่ได้จริงนั้นจะอยู่ในช่วง 30-40%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

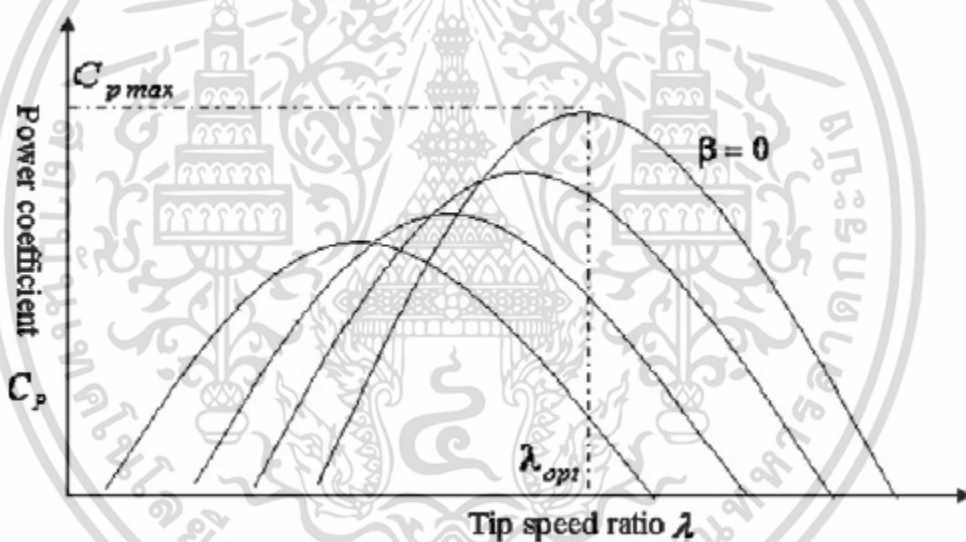
ค่า Tip speed ratio ดังแสดงในสมการที่ (3.2) จากสมการพบว่า Tip speed ratio เป็นสัดส่วนระหว่าง ค่าความเร็วกังหันและความเร็วลม

$$TSR = \frac{\omega_{rotor} R}{V_{wind}} \quad (3.2)$$

เมื่อ ω_{rotor} คือความเร็วรอบโรเตอร์ (rad/sec) V_{wind} คือความเร็วลม (m/s) และ R คือ รัศมีของกังหันลม (m)

เพื่อที่จะได้ค่าสัมประสิทธิ์กำลังสูงสุดจำเป็นต้องได้ค่าความเร็วรอบที่เหมาะสม (ω_{opt}) ซึ่งค่าความเร็วรอบที่เหมาะสมนั้นสามารถหาจากการปรับภาระทางไฟฟ้า ซึ่งหากได้ค่าความเร็วรอบที่เหมาะสมนั้นจะได้ค่า Tip speed ratio ดังแสดงในสมการที่ (3.3)

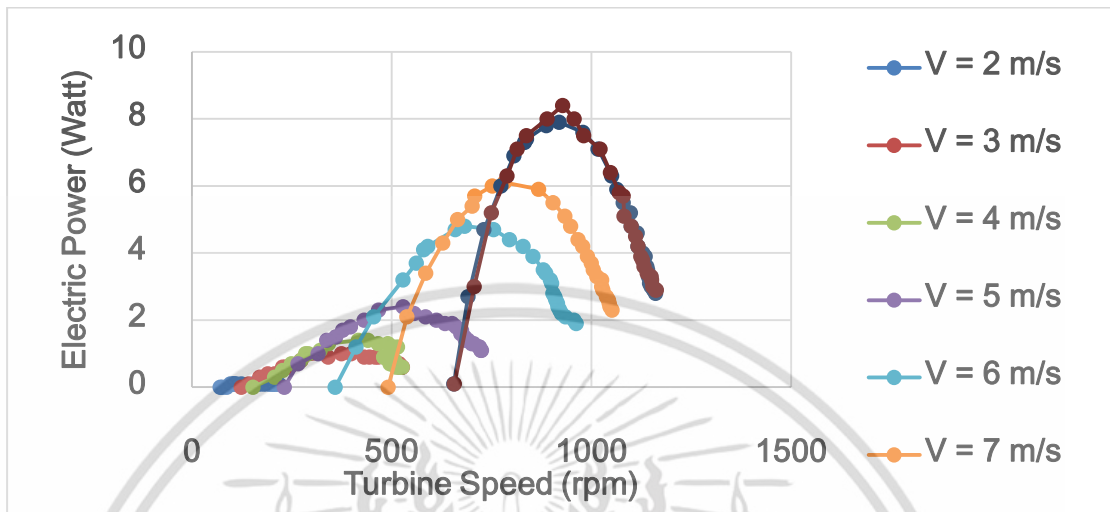
$$\omega_{opt} = \frac{TSR_{opt} V_{wind}}{R} \quad (3.3)$$



รูปที่ 3.3 ความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์กำลังและ Tip speed ratio [3]

พลังงานที่ผลิตได้จากกังหันลมขนาดเล็กซึ่งเป็นฟังก์ชันของความเร็วลม ซึ่ง cut speed คือความเร็วลมที่ไม่สามารถเอาชนะความเสียหายได้ ดังนั้นในจุด cut speed นี้จะเป็นช่วงที่ไม่เกิดกำลังไฟฟ้า หลังจากจุด cut speed ไปแล้วกำลังไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วไปสู่จุด “rated speed” โดยทั่วไปกังหันลมที่ผลิตนั้นจะคำนึงถึงจุด rated speed เป็นหลัก ซึ่งหากความเร็วลมเพิ่มมากกว่าจุด rated speed กำลังที่ได้จะค่อยตกลงและใบพัดจะค่อยๆหยุด และ หากเกินกว่านี้จะทำให้เกิดความเสียหายได้

เมื่อทำการปรับปรับค่าความต้านที่ต่อตรงกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และทำการวัดค่ากำลังไฟฟ้า และความเร็วยรอบที่จุดต่างๆ จะได้กราฟของกำลังไฟฟ้าซึ่งพล็อตระหว่าง กำลังไฟฟ้าและความเร็วยรอบ ดังแสดงในรูปที่ 3.4

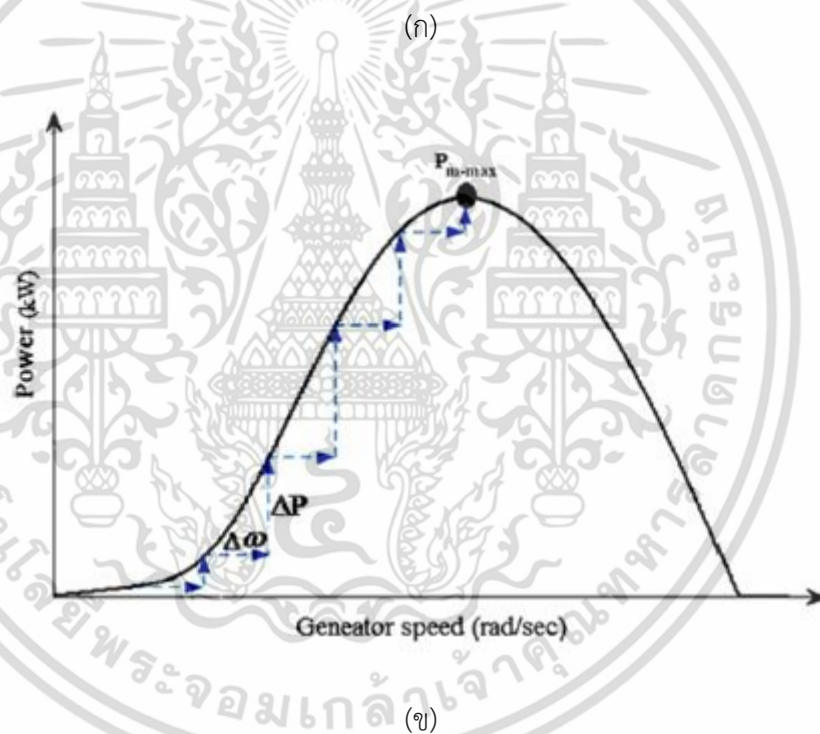
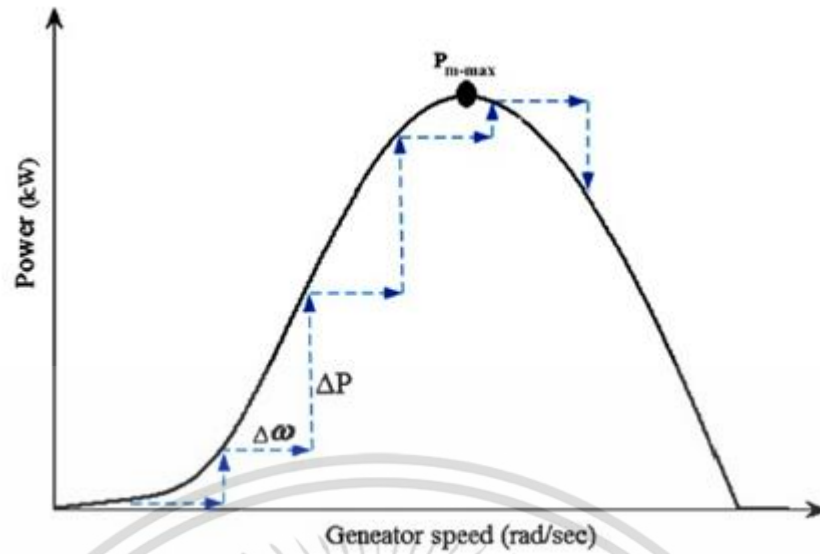


รูปที่ 3.4 กราฟคุณลักษณะกำลังไฟฟ้าของกังหันลม

3.3 การตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยวิธีรบกวนและสังเกตุ

การควบคุมแบบรบกวนและสังเกตุเป็นเทคนิคทางคณิตศาสตร์ โดยวิธีนี้จะรบกวนตัวแปรสังเกตุและตัวแปรควบคุม โดยจะรบกวนจนกระทั่งการเปลี่ยนแปลงของเป้าหมายเท่ากับศูนย์ รูปที่ 3.5 แสดงการทำงานของ การควบคุมแบบรบกวนและสังเกตุ[2] ถ้าจุดการทำงานอยู่ทางซ้ายของจุดสูงสุด (ความชันเป็นบวก) จะรบกวนตัวแปรควบคุมเพื่อขยับเป้าหมายที่สังเกตุไปทางขวา ซึ่งในทางตรงกันข้าม หากจุดการทำงานอยู่ทางด้านขวามือ ตัวควบคุมจะขยับเป้าหมายที่สังเกตุไปยังด้านซ้ายเพื่อเข้าใกล้จุดสูงสุด ข้อดีของวิธีรบกวนและสังเกตุคือไม่จำเป็นต้องมีความรู้เรื่องกราฟคุณสมบัตินของกังหันลม อย่างไรก็ตาม แม้เทคนิคนี้จะเข้าใจง่ายและยืดหยุ่น แต่ยากที่จะได้จุดสูงสุดที่แท้จริง ซึ่งปัญหาหลักคือการกำหนด step size ที่เหมาะสม หาก step size มีค่ามากเกินไปจะได้การตอบสนองเร็วแต่จะเคลื่อนที่รอบจุดสูงสุดในทางกลับกัน หาก step size มีค่าน้อยแม้จะมีประสิทธิภาพมากขึ้นแต่ความเร็วในการได้จุดสูงสุดจะช้าลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 การทำงานของวิธีรบกวนและสังเกต (ก) step size มีค่ามาก (ข) step size มีค่าน้อย

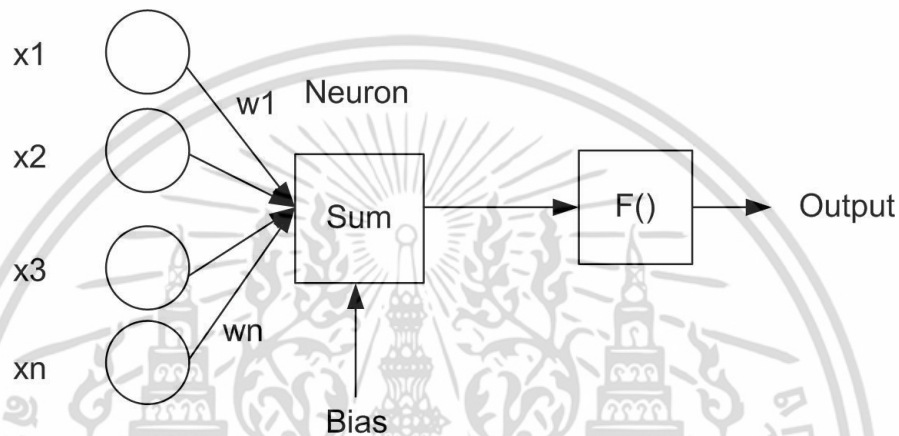
[2]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network)

เซลล์ประสาทเทียม (Artificial Neuron) เป็นส่วนหนึ่งในการหาเอาต์พุตซึ่งสามารถหาได้จากผลคูณระหว่างอินพุตกับเวกเตอร์น้ำหนัก (weight) จากนั้นทำการบวกด้วยค่าไบอัส (bias) โดยฟังก์ชันที่ใช้จะเป็นไปตามฟังก์ชันกระตุ้นซึ่งสามารถอธิบายเป็นสมการได้ตามสมการที่ (3.4) โดยโครงสร้างของเซลล์ประสาทเทียมที่มีอินพุต n อินพุต ดังแสดงในรูปที่ 3.6

$$y = f\left[\sum_{k=1}^n x_k w_k + b_k\right] \quad (3.4)$$

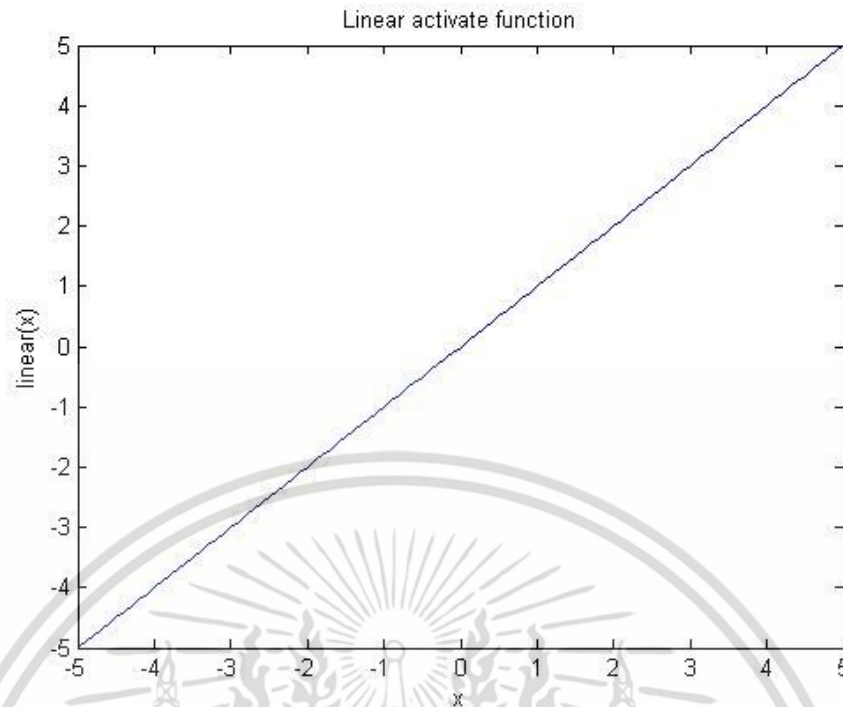


รูปที่ 3.6 โครงสร้างของเซลล์ประสาทเทียม

ฟังก์ชันกระตุ้น (activate function) มีด้วยกันอยู่หลายชนิด ชนิดแรกคือ ฟังก์ชันกระตุ้นแบบเชิงเส้นซึ่งสามารถเขียนได้ดังสมการที่ (3.5) และ แสดงดังรูปที่ 3.7

$$f(x) = x \quad (3.5)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



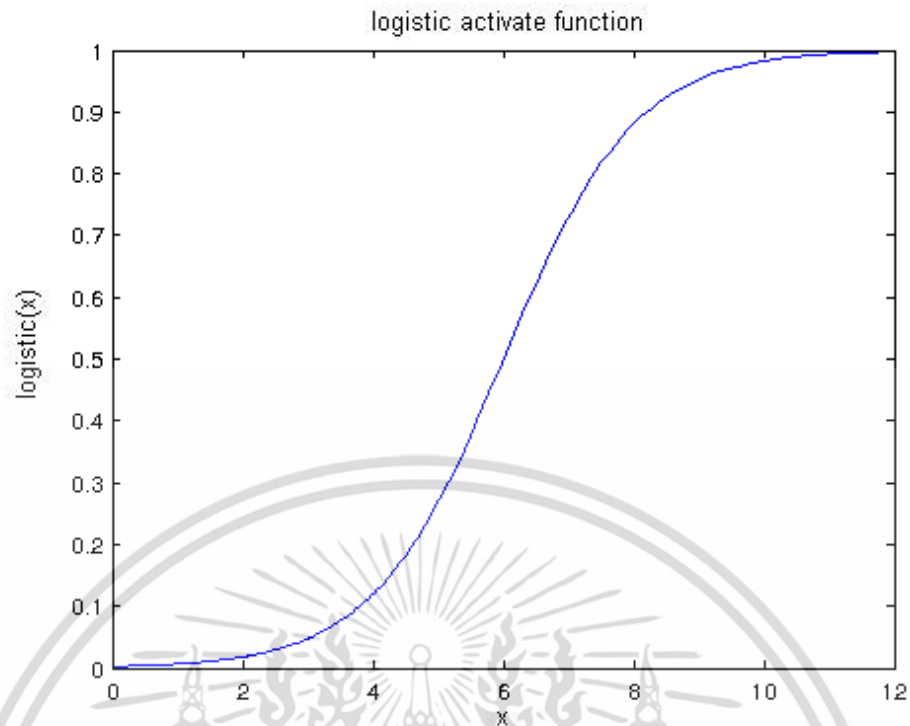
รูปที่ 3.7 ฟังก์ชันกระตุ้นแบบเชิงเส้น

รูปที่ 3.8 และ 3.9 แสดงฟังก์ชันกระตุ้นแบบไม่เป็นเชิงเส้น ซึ่งฟังก์ชันกระตุ้นแบบไม่เป็นเชิงเส้นนั้นมีด้วยกันอยู่หลายประเภท โดยจะนำมาใช้ในกระบวนการสอนโครงข่ายประสาทเทียมแบบย้อนกลับ (Backpropagation:BP) ฟังก์ชันกระตุ้นแบบไม่เป็นเชิงเส้นที่ใช้กันอย่างแพร่หลายได้แก่ ฟังก์ชันแบบโลจิสติกส์ (logistic function) และฟังก์ชันแบบไฮเพอร์โบลิก (hyperbolic function) ดังสมการที่ (3.6) และ (3.7) ตามลำดับ

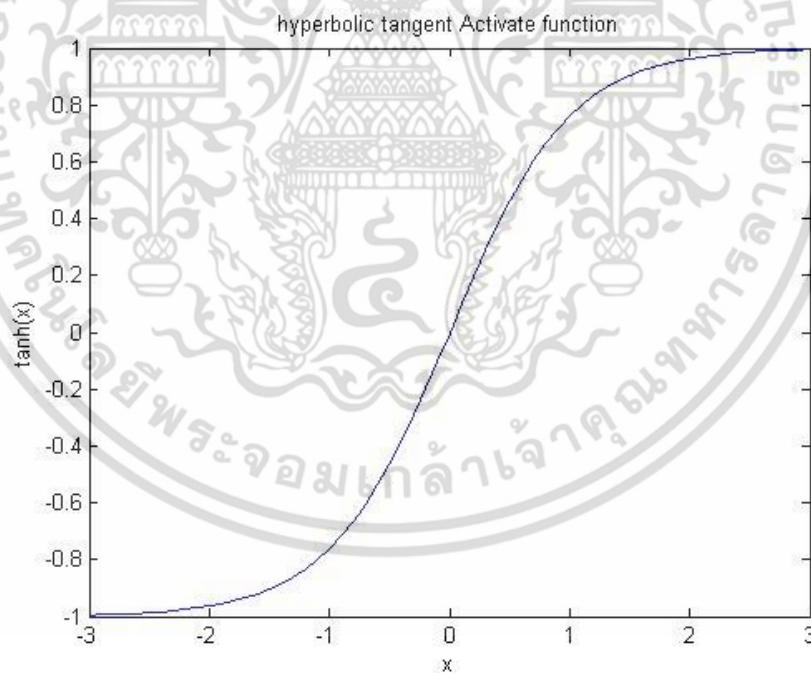
$$f(x) = \text{logistic}(x) = \frac{1}{1 + \exp(-\beta x)} \quad (3.6)$$

$$f(x) = \text{tanh}(x) = \frac{e^x - e^{-x}}{e^x + e^{-x}} \quad (3.7)$$

จากสมการที่ (3.6) จะเห็นว่าช่วงเอาต์พุตของฟังก์ชันโลจิสติกส์จะอยู่ระหว่าง -1 ถึง 1 โดยที่ β คือค่าความชันที่มีค่าคงที่ เมื่อพิจารณาให้ β มีค่าเท่ากับ 1 ช่วงเอาต์พุตของฟังก์ชันโลจิสติกส์ จะอยู่ในช่วง 0-1 ดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 ฟังก์ชันกระตุ้นโลจิสติกส์



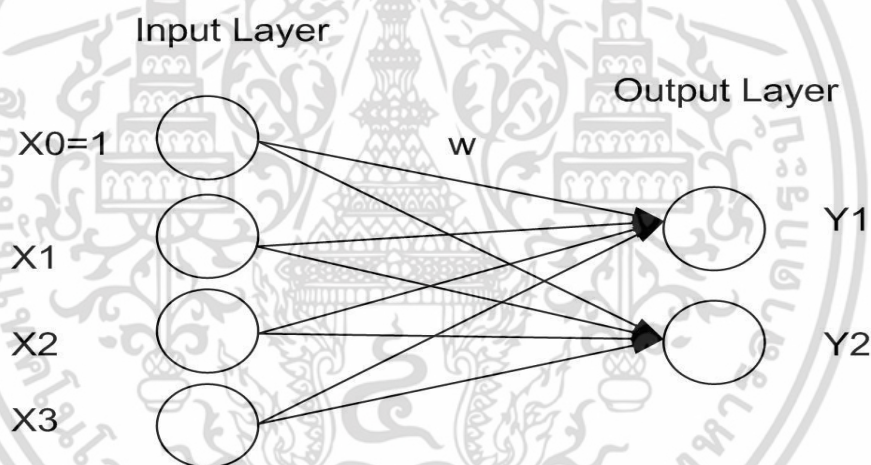
รูปที่ 3.9 ฟังก์ชันกระตุ้นไฮเพอร์โบลิก

ฟังก์ชันกระตุ้นแบบไม่เป็นเชิงเส้นจะนำมาใช้เป็นฟังก์ชันเอาต์พุตของ “เพอร์เซปตรอน” โดยจะมีฟังก์ชันกระตุ้นอยู่ 2 ชนิด คือ แบบ เทรสโฮลด์ (Threshold) ซึ่งค่าเอาต์พุตของฟังก์ชันจะเป็น 0 หรือ 1 และฟังก์ชันแบบซิกนัม (sigum) จะมีค่าเอาต์พุตของฟังก์ชันเท่ากับ -1 หรือ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.1 โครงสร้างโครงข่ายเซลล์ประสาทแบบชั้นเดียว (Single Layer Neural Network)

เซลล์ประสาทเทียม (Neurons) ถูกรวมเป็นกลุ่มชั้นโดยในแต่ละชั้นก็จะมีการรวมกันเป็นโครงข่าย โดยในส่วนของอินพุตนั้นจะไม่รวมอยู่ในส่วนกลุ่มชั้น ซึ่งการไม่รวมส่วนอินพุตเข้าไบนั้นทำให้ง่ายในการป้อนอินพุตให้กับเซลล์ประสาทเทียมอีกทั้งยังง่ายในการปรับปรุงในแต่ละเซลล์ในชั้นต่อไปด้วยเมตริกซ์น้ำหนัก (weight matrix) ซึ่งชั้นต่อไปถัดจากการคูณด้วยเมตริกซ์น้ำหนักจะเป็นชั้นเอาต์พุต (output layer) (โดยในส่วนของเซลล์ประสาทเทียมแบบเพอร์เซปตรอนหลายชั้นจะมีชั้นซ่อน ซึ่งจะกล่าวในหัวข้อ 3.4.2) ในส่วนของค่าไบอัสจะถูกรวมเข้าไปในเซลล์ประสาท เพื่อที่จะทำให้ฟังก์ชันกระตุ้นถูกชดเชยค่าจากศูนย์ โดยส่วนใหญ่ค่าไบอัสถูกนำไปใช้เป็นโนด (node) อินพุตจำลองของโครงข่ายโดยให้มีค่าเท่ากับ 1 เสมอ ส่วนค่าน้ำหนักที่เชื่อมอยู่ระหว่างอินพุตกับชั้นต่อไปของโครงข่ายคือค่าจริงของไบอัส รูปที่ 3.10 แสดงโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมแบบชั้นเดียว

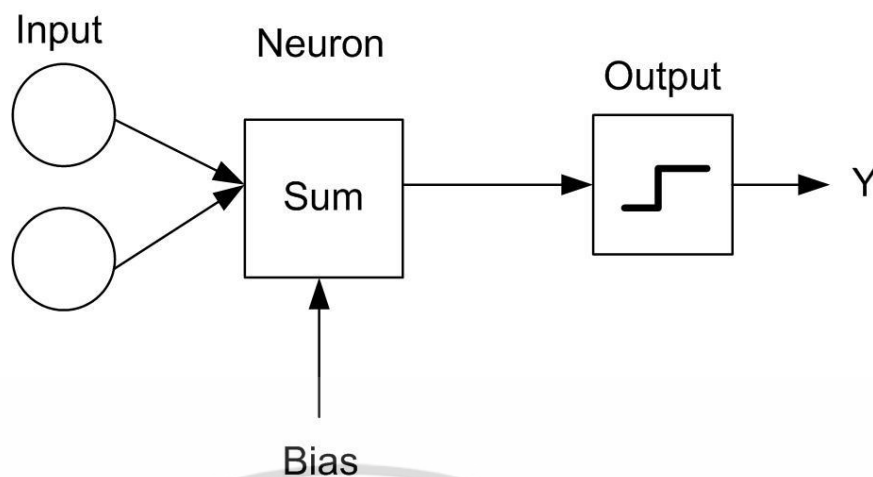


รูปที่ 3.10 โครงสร้างโครงข่ายประสาทเทียมแบบชั้นเดียว

3.4.2 กระบวนการรับรู้แบบเพอร์เซปตรอน(perceptron)

เซลล์ประสาทเทียมชั้นเดียวแบบเพอร์เซปตรอนนั้นเป็นที่รู้จักอย่างกว้างขวาง ซึ่งเซลล์ประสาทเทียมแบบเพอร์เซปตรอนได้ถูกพัฒนาโดย Frank Rosenblatt [11] ซึ่งคำจำกัดความสำหรับโครงข่ายประสาทเทียมแบบเพอร์เซปตรอนคือ โครงข่ายประสาทเทียมแบบชั้นเดียวแบบไปข้างหน้า (feed forward neural network) โดยจะใช้ฟังก์ชันกระตุ้นแบบเทรสโฮลด์ รูปที่ 3.11 แสดงโครงข่ายของ เพอร์เซปตรอนแบบชั้นเดียว ซึ่งประกอบด้วย อินพุต จำนวน 2 โหนด และ เอาต์พุต 1 โหนด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

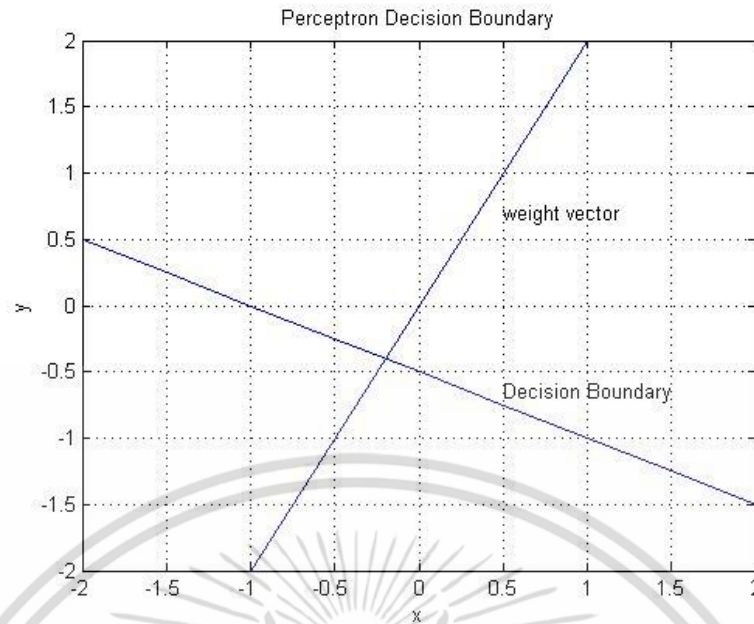


รูปที่ 3.11 โครงข่ายประสาทเทียมแบบเพอร์เซปตรอนชั้นเดียว (single layer perceptron)

โครงข่ายแบบเพอร์เซปตรอนแบบทั่วไปจะใช้ฟังก์ชันกระตุ้นแบบเทรสโฮลด์กับค่าไบอัส ดังนั้นค่าเอาต์พุตที่ได้จะเป็นแบบไบนารี (binary) ซึ่งเอาต์พุตที่ได้จากฟังก์ชันกระตุ้นแบบไบนารีจะมีค่า 0 กับ 1 จากนั้นจะผ่านกระบวนการเรียนรู้แบบมีการสอน (supervised learning) ทำให้สามารถจดจำรูปแบบของอินพุตได้ กระบวนการเรียนรู้ทำได้โดยตั้งค่าเริ่มต้นของเวกเตอร์น้ำหนัก (weight vector) และ ไบอัส โดยการตั้งค่าเริ่มต้นนั้นจะตั้งจากค่าน้อยๆ เพื่อป้องกันการอิมิตัว จากนั้นนำอินพุตมาป้อนให้กับโครงข่าย โดยเอาต์พุตที่ได้จากโครงข่ายจะนำไปเปรียบเทียบกับค่าเป้าหมาย (target) โดยจะนำค่าความผิดพลาดระหว่างค่าเป้าหมายและเอาต์พุตมาเปรียบเทียบเพื่อหาค่าน้ำหนักที่เหมาะสมที่จะทำให้เอาต์พุตจากโครงข่ายมีค่าใกล้เคียงกับเป้าหมาย

กระบวนการเรียนรู้แบบเพอร์เซปตรอนที่มีอินพุต 2 มิติ สามารถแบ่งแยกระนาบได้เป็น 2 ส่วน โดยสมการการแปลง (transfer equation) ซึ่งสามารถจัดใหม่ได้เป็นสมการเส้นตรง ในส่วนของปัญหาที่เป็นแบบ 3 มิติ สมการจะอธิบายด้วยสมการระนาบ ส่วนปัญหาที่มีมิติมากกว่านั้นจะถูกอธิบายด้วยสมการไฮเพอร์เพลน (hyperplane)

จากรูปที่ 3.12 จะสังเกตเห็นว่าขอบเขตการตัดสินใจ (boundary decision) จะต้องตั้งฉากกับเวกเตอร์น้ำหนักเสมอ



รูปที่ 3.12 เวกเตอร์น้ำหนักตั้งฉากกับขอบเขตการตัดสินใจ

โครงข่ายประสาทเทียมแบบเพอร์เซปตรอนชั้นเดียวสามารถแยกอินพุตแบบเชิงเส้นได้แต่จะมีความผิดพลาดเกิดขึ้นได้ในกรณีที่อินพุตเป็นแบบเชิงเส้นที่ไม่สามารถแยกได้ (linearly non separable) ตัวอย่างเช่น exclusive or (XOR) ซึ่งอยู่ในรูปแบบของเชิงเส้นที่ไม่สามารถแยกได้ (linearly non separable) ปัญหา exclusive or (XOR) ไม่สามารถหาเส้นขอบเขตการตัดสินใจได้ ทำให้จำเป็นต้องโครงข่ายแบบหลายชั้น (multilayer networks) ซึ่งประกอบด้วยอินพุตจำนวน 2 อินพุต(1หรือ0) และ ชั้นซ่อนอยู่จำนวน 1 ชั้น โดยในส่วนของเอาต์พุตของโครงข่ายนั้นกำหนดให้มี 1 เอาต์พุต ซึ่งสามารถอธิบายได้จากเส้นตรง 2 เส้นในพื้นที่ที่มี 2 มิติโดย 2 เส้นนี้สามารถแบ่งแยกจุดของกลุ่มที่ไม่เป็นฟังก์ชันเชิงเส้นที่ไม่สามารถแยกได้(linearly non-separable)ด้วยเส้นตรง 1 เส้น

เพอร์เซปตรอนมีข้อจำกัดคือสามารถแบ่งแยกรูปแบบที่เป็นฟังก์ชันเชิงเส้นที่สามารถแยกได้ (linear separable) เท่านั้นและเอาต์พุตที่ได้เป็นแบบไบนารีซึ่งข้อจำกัดหลายๆข้อของเพอร์เซปตรอนสามารถแก้ไขได้โดยโครงข่ายประสาทแบบเพอร์เซปตรอนแบบหลายชั้น (multilayer perceptron neural network) หรือใช้ฟังก์ชันกระตุ้นแบบไม่เป็นไบนารี(non-binary) และ การเรียนรู้ที่มีความซับซ้อนมากขึ้น โดยเพอร์เซปตรอนแบบหลายชั้นที่มีฟังก์ชันกระตุ้นแบบเทรสโฮลด์ (threshold) นั้นจะไม่ถูกนำมาใช้ เนื่องจากโครงข่ายจะไม่สามารถเรียนรู้ได้ด้วยกฎการเรียนรู้ของเพอร์เซปตรอน เนื่องจากฟังก์ชันไม่มีความแตกต่างกันทำให้ไม่สามารถเรียนรู้ด้วยกระบวนการ การเคลื่อนลงตามความชัน (gradient descent) ถึงแม้ว่าชั้นแรกของโครงข่ายจะถูกตั้งค่าเริ่มต้นมาจากการสุ่ม ส่วนชั้นที่สองของโครงข่ายนั้นอาจถูกเรียนรู้โดยผ่านการเรียนรู้เพื่อจำแนกกลุ่มของไม่สามารถแยกได้(non-separable)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.3 โครงข่ายเซลล์ประสาทแบบหลายชั้น (Multilayer Layer Neural Network)

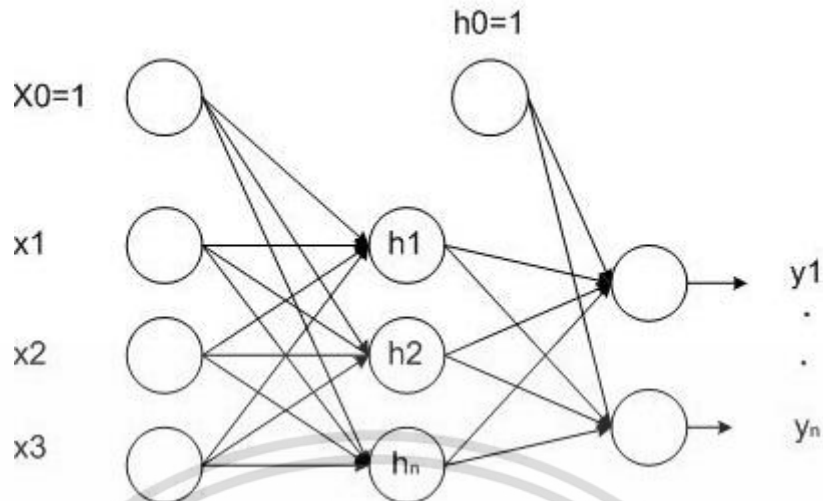
โครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้นหรือโครงข่ายประสาทเทียมแบบเพอร์เซปตรอนหลายชั้น(Multilayer Perceptron neural network:MLP)คือโครงข่ายประสาทเทียมที่ประกอบด้วยชั้นซ่อน(hidden layer)อย่างน้อย 1 หรือ 2 ชั้น [10] ซึ่งปกติแล้วจะใช้ฟังก์ชันกระตุ้นในแต่ละโหนดจะเป็นฟังก์ชันกระตุ้นชนิดเดียวกันและจะใช้ฟังก์ชันกระตุ้นคล้ายกันกับฟังก์ชันกระตุ้นในส่วนชั้นเอาต์พุต ฟังก์ชันกระตุ้นที่นิยมใช้สำหรับโครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้นคือฟังก์ชัน ซิกมอยด์ (sigmoid) หรือ ฟังก์ชันเชิงเส้น(linear)

ถ้าเอาต์พุตของเซลล์ประสาทเทียมเป็นแบบซิกมอยด์(sigmoid) ค่าเอาต์พุตที่ได้จะถูกจำกัดให้เท่ากับ $[-1 \ 1]$ สำหรับเซลล์ประสาทเทียมแบบไฮเพอร์โบลิก ในส่วนของฟังก์ชันแบบโลจิสติกส์จะจำกัดค่าเอาต์พุตไว้ที่ $[0 \ 1]$ (ความชัน $\beta=1$) ส่วนเซลล์ประสาทเทียมของเอาต์พุตแบบเชิงเส้นจะไม่ถูกจำกัดค่าเอาต์พุตและสามารถให้ค่าขนาดใดๆก็ได้

โครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้นที่มีชั้นซ่อนอย่างน้อย 1 ชั้น และมีฟังก์ชันกระตุ้นเป็นแบบซิกมอยด์ ได้รับการพิสูจน์แล้วว่าสามารถประมาณค่าฟังก์ชันใดๆได้อย่างต่อเนื่อง [9]

โครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้นไม่สามารถบอกได้ว่าจำนวนโหนดในชั้นซ่อนจำนวนเท่าไรจึงดีที่สุดและเมตริกซ์น้ำหนัก(matrix weight: weight vector) ที่สัมพันธ์กับค่าความผิดพลาดที่ตั้งไว้จะถูกหาได้หรือไม่

โดยรูปที่ 3.13 ได้แสดงถึงสถาปัตยกรรมของโครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้น (multilayer neural network architecture) ซึ่งประกอบไปด้วย อินพุตจำนวน 3 โหนด และในชั้นซ่อนชั้นเดียวมีจำนวน n โหนด และเอาต์พุต n โหนด



รูปที่ 3.13 สถาปัตยกรรมของโครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้น (multilayer neural network architecture)

3.5 การปรับเปลี่ยนค่าถ่วงน้ำหนักแบบย้อนกลับและรูปแบบการเรียนรู้ (Backpropagation and Related Training paradigms)

กระบวนการย้อนกลับ (BP) เป็นวิธีการทั่วไปที่ใช้จัดการกับการปรับเปลี่ยนค่าน้ำหนักและไบอัสของโครงข่ายประสาทเทียมแบบเพอร์เซปตรอนหลายชั้น (Multilayer perceptron neural network) โดยกระบวนการปรับค่าถ่วงน้ำหนักแบบย้อนกลับจะอาศัยเทคนิคเคลื่อนลงตามความชัน (gradient descent) [16] ซึ่งวิธีเคลื่อนลงตามความชันเป็นวิธีการที่เข้าสู่คำตอบได้ช้าหากกำหนดค่าอัตราการเรียนรู้ (learning rate) ต่ำ แต่จะมีความเสถียรมากขึ้น โดยกระบวนการทั่วไปที่นำมาใช้ในการเพิ่มความเร็วของการปรับค่าถ่วงน้ำหนักแบบย้อนกลับจะขึ้นอยู่กับโมเมนตัม (momentum) และอัตราการเรียนรู้ (learning rate) ที่สามารถเปลี่ยนแปลงได้

ซึ่งวิธีการอื่นที่ใช้ในการแก้ปัญหาในการหาค่าน้ำหนักและไบอัสที่เหมาะสม จะมีกระบวนการที่ซับซ้อนมากขึ้น โดยส่วนใหญ่วิธีที่ใช้จะเป็นการรวมกันระหว่างกฎของนิวตันและเทคนิคการเคลื่อนลงตามความชัน (gradient descent) ซึ่งวิธีที่นิยมได้แก่วิธี levenberg และ maquardt

3.5.1 อนุพันธ์ของฟังก์ชันกระตุ้น (Derivative of the activation function)

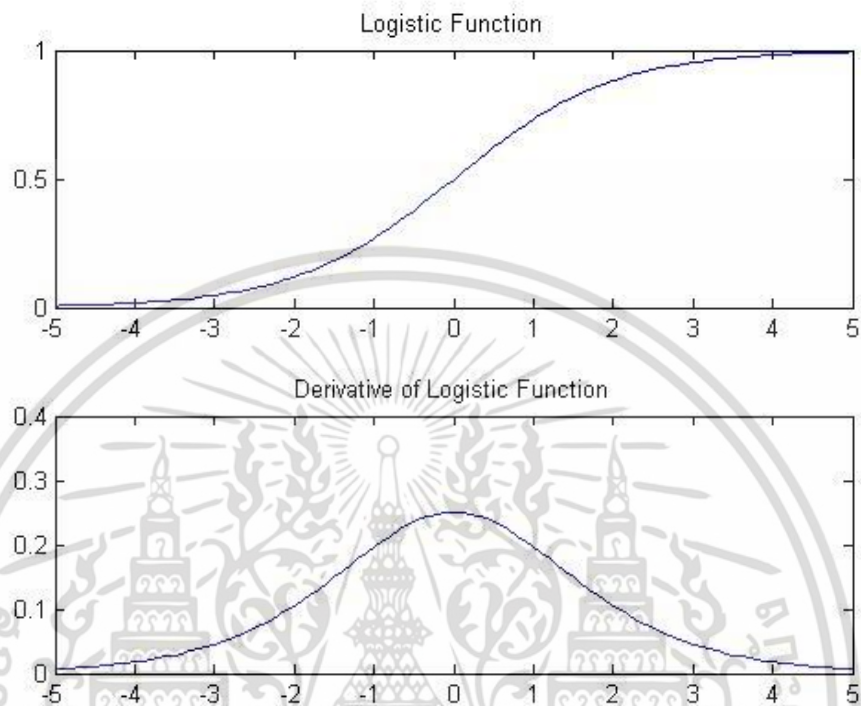
กฎลูกโซ่ถูกนำมาใช้หาอนุพันธ์ของกระบวนการของการปรับค่าถ่วงน้ำหนักแบบย้อนกลับ อนุพันธ์ของฟังก์ชันกระตุ้นแบบโลจิสติกส์และไฮเพอร์โบลิก ดังแสดงในสมการที่ (3.8) และ (3.9) ตามลำดับ

$$f'(x) = \alpha f(x)(1 - f(x)) \quad (3.8)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$f'(x) = \alpha(1 - f(x)^2) \quad (3.9)$$

แอลฟา (α) คือ พารามิเตอร์ที่ใช้แทนค่าความชัน (gradient) โดยทั่วไปแอลฟาจะถูกเลือกมาให้มีค่าเท่ากับ 1



รูปที่ 3.14 ฟังก์ชันกระตุ้นแบบโลจิสติกส์และอนุพันธ์ของฟังก์ชันกระตุ้น

จากรูปที่ 3.14 แสดงฟังก์ชันกระตุ้นและอนุพันธ์ของฟังก์ชันกระตุ้นแบบโลจิสติกส์ตามลำดับ จากกราฟจะเห็นว่าค่าความชัน (gradient) สูงสุดจะเกิดขึ้นเมื่อ $x = 0$ เนื่องจากความเร็วของอัตราการเรียนรู้นั้นขึ้นกับขนาดของความชัน

3.5.2 การย้อนกลับสำหรับโครงข่ายประสาทเทียมหลายชั้น

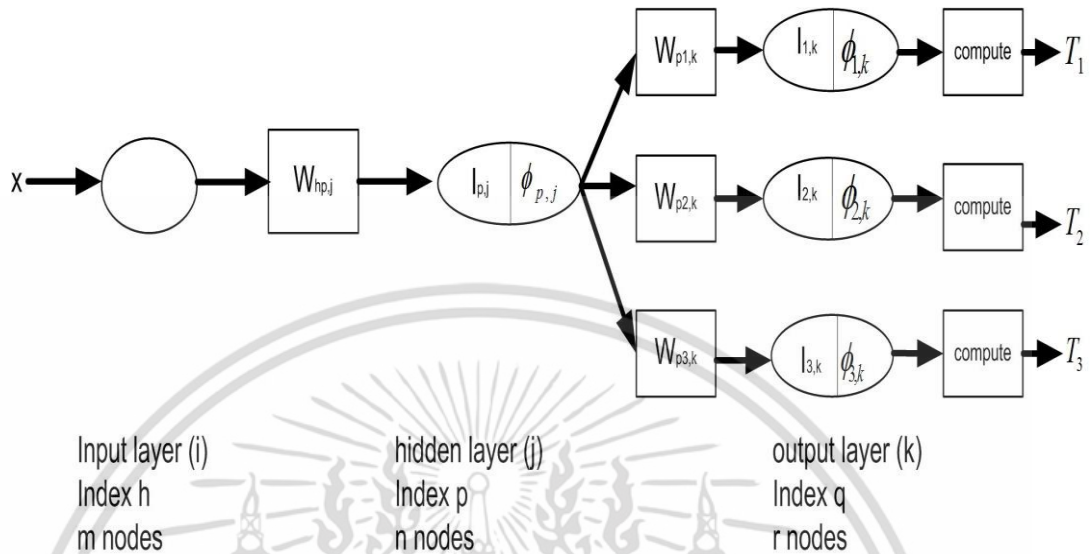
(Backpropagation for multilayer perceptron neural network)

วิธีปรับค่าถ่วงน้ำหนักแบบย้อนกลับเป็นเทคนิคที่ออกแบบมาเพื่อให้ค่าน้ำหนัก (weight) และไบอัสมีความเหมาะสมที่สุดและค่าเอาต์พุตใกล้เคียงกับเป้าหมายมากที่สุด ซึ่งค่าความผิดพลาดของเป้าหมายส่วนใหญ่จะอยู่ในรูป ความผิดพลาดยกกำลังสอง (Mean Square Error) ดังสมการที่ (3.9)

$$\varepsilon^2 = [T_q - \phi_{qk}]^2 \quad (3.9)$$

ซึ่งรูปแบบของโครงข่ายสามารถอธิบายได้ดังรูปที่ 3.15 ซึ่งจะเห็นว่าแต่ละชั้นจะถูกแทนด้วย i, j, k ส่วนเซลล์ประสาทเทียมนั้นจะถูกแทนด้วย m, n และ r ตามลำดับ ซึ่งในแต่ละชั้นก็จะมีดัชนีเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สวอนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บ่งชี้เป็น h, p และ q ตามลำดับ โดยที่ x คือ ค่าอินพุต(input value) T คือเป้าหมายที่ตั้งไว้ (target output) w คือค่าน้ำหนัก I คือ ค่าภายในฟังก์ชันกระตุ้น และ ϕ คือเอาต์พุตของเซลล์ประสาทเทียม และ ε คือค่าความผิดพลาด



รูปที่ 3.15 โครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้นโดยใช้การปรับค่าถ่วงน้ำหนักย้อนกลับ

ค่าเอาต์พุตที่ได้จากโครงข่ายประสาทเทียมซึ่งจะสมมติให้โครงข่ายประสาทเทียมมีจำนวน 2 ชั้น โดยในแต่ละชั้นใช้ฟังก์ชันกระตุ้นชนิดโลจิสติกส์เหมือนกันจะได้ดังสมการที่ (3.10)

$$\phi = \text{logistic}\{w_2 * [\text{logistic}(w_1 * x + b_1)] + b_2\} \tag{3.10}$$

ซึ่ง w_1 คือ เมตริกซ์น้ำหนักของชั้นแรก (first layer weight matrix) w_2 คือ เมตริกซ์น้ำหนักของชั้นที่ 2 (second layer weight matrix) b_1 คือ เวกเตอร์ไบอัสของชั้นแรก (first layer bias vector) และ b_2 คือ เวกเตอร์ไบอัสของชั้นที่สอง (second layer bias vector)

เมื่อได้ค่าเอาต์พุตจากโครงข่ายประสาทเทียมแล้วนั้น การที่ค่าเอาต์พุตที่ได้มีค่าแตกต่างกับค่าเป้าหมายจำเป็นต้องมีการอัปเดตค่าน้ำหนัก (weight updates) โดยจะเริ่มอัปเดตจากค่าน้ำหนักในชั้นเอาต์พุต โดยค่าน้ำหนักในชั้นเอาต์พุตจะถูกเปลี่ยนแปลงโดยจะทำให้ค่าความผิดพลาดกำลังของค่าน้ำหนักที่ต้องการติดลบ ซึ่งค่าน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงไปสามารถคำนวณจากกฎของลูกโซ่ หลังจากนั้นจะได้โครงข่ายที่มี 2 ชั้น โดยในแต่ละชั้นจะมีฟังก์ชันกระตุ้นแบบโลจิสติกส์จะเห็นว่าเอาต์พุต ที่ตั้งไว้นั้นมีค่าในช่วง [0 1]

$$\Delta w_{pq,k} = -\eta_{p,q} \frac{\partial \varepsilon^2}{\partial w_{pq,k}} \tag{3.11}$$

$$= -\eta_{p,q} \delta_{pq,k} \phi_{pj}$$

$$\delta_{pq,k} = 2[T_q - \phi_{q,k}] \phi_{q,k} [1 - \phi_{q,k}] \tag{3.12}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการสำหรับการอัปเดตค่าน้ำหนักของชั้นเอาต์พุตดังแสดงในสมการที่ 3.13

$$w_{pq,k}(N+1) = w_{pq,k}(N) - \eta_{pq} \delta_{pq,k} \phi_{p,j} \quad (3.13)$$

เมื่ออัปเดตค่าน้ำหนักในชั้นเอาต์พุตแล้ว จำเป็นต้องทำการอัปเดตค่าน้ำหนักในชั้นซ่อนด้วย สำหรับชั้นซ่อนนั้นไม่นิยมตั้งค่าเป้าหมาย(target) เพราะค่าที่ได้จากชั้นซ่อนยังต้องส่งผ่านไปเป็น อินพุตของชั้นเอาต์พุต (output layer) ซึ่งค่าความผิดพลาดของชั้นเอาต์พุตนั้นจะถูกส่งต่อมายัง ชั้นซ่อนเพื่ออัปเดตค่าน้ำหนักให้มีค่าความผิดพลาดน้อยที่สุด ซึ่งจะเริ่มต้นการปรับค่าน้ำหนักแบบ ย้อนกลับด้วยสมการที่ใช้ในการหาค่าความชัน(gradient)ของค่าน้ำหนักและกฎลูกโซ่มีสมการดังนี้

จากสมการที่ (3.11) $\Delta w_{pq,k} = -\eta_{p,q} \frac{\partial \mathcal{E}^2}{\partial w_{pq,k}}$ จะได้

$$\Delta w_{pq,k} = -\eta_{p,q} \sum_{q=1}^r \frac{\partial \mathcal{E}^2}{\partial w_{pq,k}} \quad (3.14)$$

$$\frac{\partial \mathcal{E}_q^2}{\partial \phi_{q,k}} = -2[t_q - \phi_{q,k}] \quad (3.15)$$

$$\frac{\partial \phi_{q,k}}{\partial I_{q,k}} = \alpha \phi_{q,k} [1 - \phi_{q,k}] \quad (3.16)$$

$$\frac{\partial I_{q,k}}{\partial \phi_{p,j}} = w_{pq,k} \quad (3.17)$$

$$\frac{\partial \phi_{p,j}}{\partial I_{p,j}} = \alpha \phi_{p,j} [1 - \phi_{p,j}] \quad (3.18)$$

$$\frac{\partial I_{p,j}}{\partial w_{hp,j}} = x_h \quad (3.19)$$

โดยจากสมการที่ (3.14) – (3.19) สามารถคำนวณผลลัพธ์ได้ดังนี้

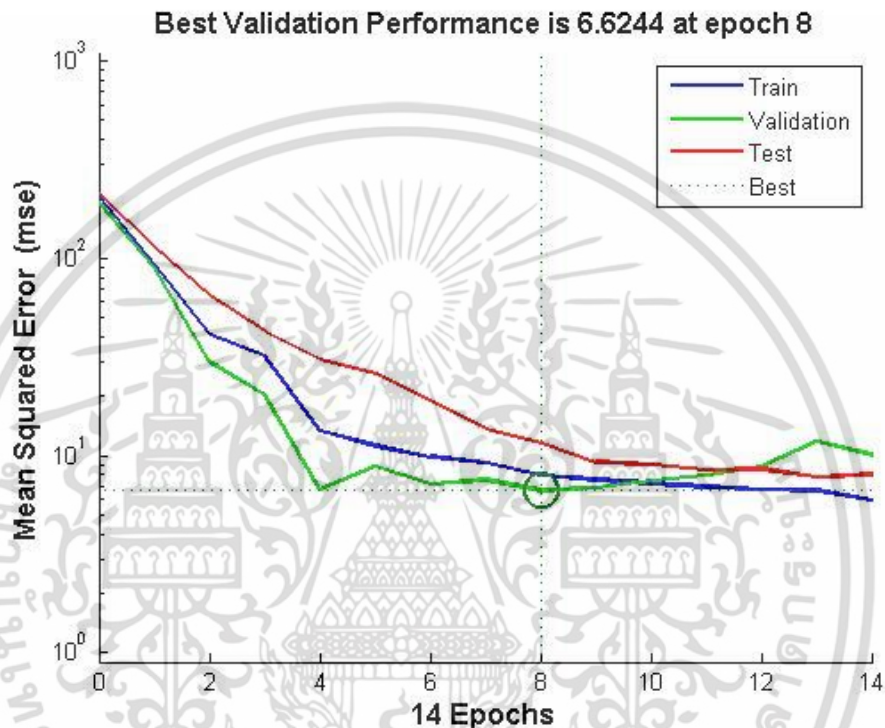
$$\frac{\partial \mathcal{E}^2}{\partial w_{hp,j}} = \sum_{q=1}^r (-2)[t_q - \phi_{q,k}] \cdot \alpha \phi_{q,k} [1 - \phi_{q,k}] \cdot w_{pq,k} \cdot \alpha \phi_{p,j} [1 - \phi_{p,j}] x_h \quad (3.20)$$

$$\delta_{hp,j} = \delta_{pq,k} w_{pq,k} \frac{\partial \phi_{p,j}}{\partial I_{p,j}} \quad (3.21)$$

$$w_{hp,j}(N+1) = w_{hp,j}(N) - \eta_{hp} x_h \delta_{hp,j} \quad (3.22)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเรียนรู้สำหรับการปรับค่าถ่วงน้ำหนักย้อนกลับที่กล่าวมานั้นถูกนำมาประยุกต์ใช้กับโครงข่ายที่ต้องการจำนวนรอบการเรียนรู้จนกว่าจะได้ค่าความผิดพลาดที่ต้องการ (error goal) ซึ่งขั้นตอนเริ่มต้นนั้นจำเป็นต้องตั้งค่าเริ่มต้นของเวกเตอร์น้ำหนักก่อน เพื่อให้เวกเตอร์น้ำหนักมีค่าน้อยที่สุดและตัวแปรอินพุตจะถูกทำการตั้งขนาด(scale)ให้อยู่ในหน่วยเดียวกันที่มีขนาดเล็กที่สุด (normalize) เพื่อลดโอกาสการเกิดการอิมิตัวก่อนกำหนดของเซลล์ประสาทเทียมที่มีฟังก์ชันกระตุ้นเป็นซิกมอยด์



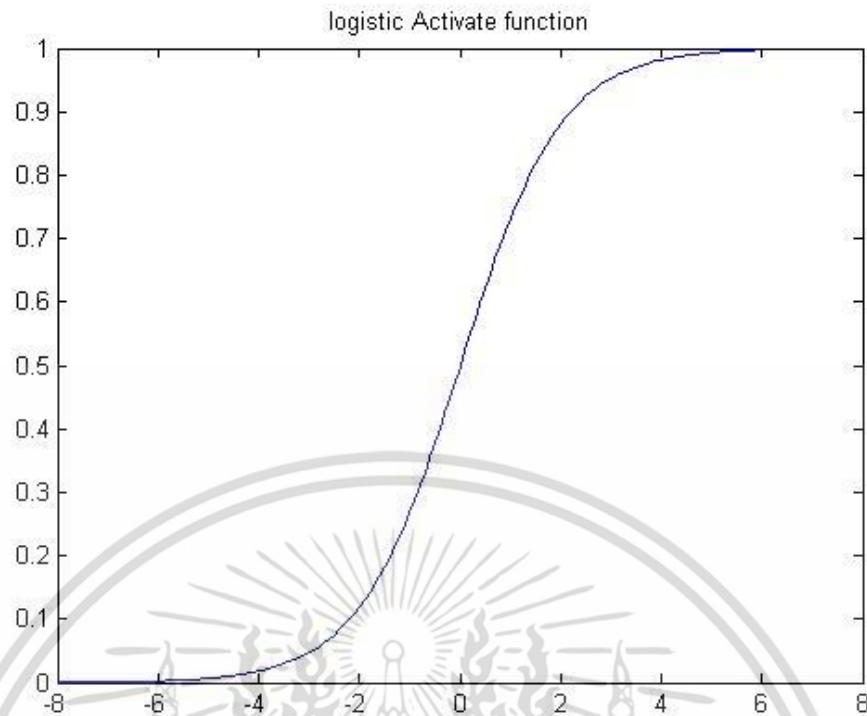
รูปที่ 3.16 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความผิดพลาดกับกระบวนการเรียนรู้แบบ BP

จากรูปที่ 3.16 พบว่ากระบวนการเรียนรู้แบบการปรับค่าถ่วงน้ำหนักย้อนกลับ(BP) จะพบความผิดพลาดที่ต้องการ(goal error) หลังจากผ่านกระบวนการเรียนรู้ไป 8 รอบการเรียนรู้ (iteration)

กระบวนการเรียนรู้แบบการปรับค่าถ่วงน้ำหนักย้อนกลับ (BP) ค่าเวกเตอร์น้ำหนักตั้งต้นควรเลือกมาให้มีค่าน้อยที่สุดเพื่อป้องกันการเกิดการอิมิตัวก่อนกำหนดของฟังก์ชันกระตุ้นแบบซิกมอยด์ โดยจะทำการคูณเวกเตอร์น้ำหนักที่สุ่มมากด้วย 0.5 ก่อน

จะเห็นว่าการกำหนดขอบเขตของฟังก์ชันกระตุ้นภายในของเซลล์ประสาทเทียมในระหว่างที่กระบวนการเรียนรู้เพื่อให้ได้แถบความชันที่มีค่าสูงจะอยู่ระหว่าง -5 ถึง 5 เมื่อฟังก์ชันกระตุ้นเป็นแบบโลจิสติกส์ ดังรูปที่ 3.17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

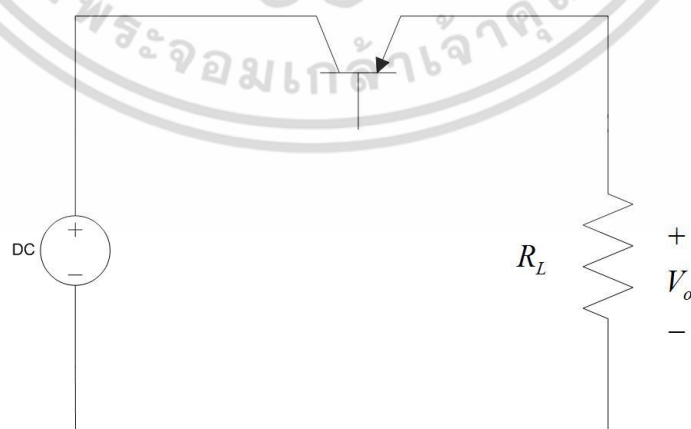


รูปที่ 3.17 ขอบเขตของแถบความชันของฟังก์ชันกระตุ้นแบบโลจิสติกส์

ผลรวมของอินพุตและน้ำหนักควรอยู่ในช่วงที่แถบความชันมีค่าสูงเพื่อให้กระบวนการเรียนรู้มีประสิทธิภาพ ซึ่งการทำให้อินพุตให้มีขนาดเล็ก(normalize)ก็สามารถช่วยได้แต่ค่าเวกเตอร์น้ำหนักก็ควรมีขนาดเล็กเช่นกันและควรมีค่าใกล้เคียงศูนย์

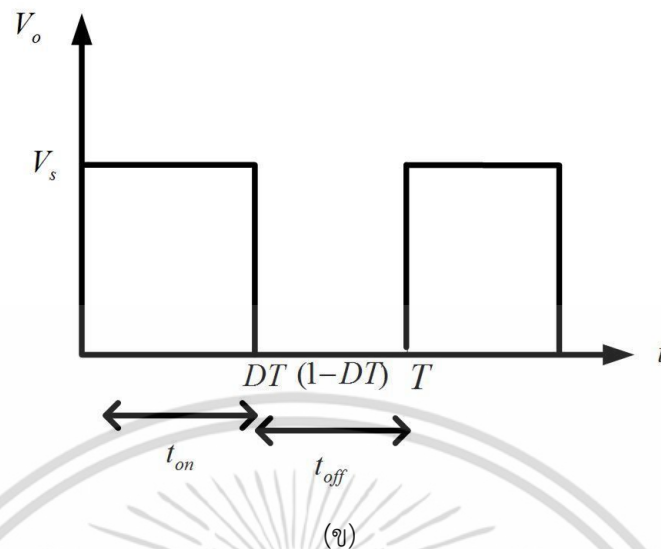
3.6 วงจรทอนระดับหรือวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์ (Buck Converter)

อุปกรณ์สวิตช์ซึ่งจะทำหน้าที่เป็นสวิตซ์อิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งมีโหมดการทำงานทั้งนำกระแสและหยุดนำกระแส รูปที่ 3.18 แสดงวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรงพื้นฐานในอุดมคติ



(ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.18 (ก) วงจรแปลงผันกระแสตรงพื้นฐาน (ข) แรงดันไฟฟ้าขาออก

เมื่อสวิตช์นำกระแส แรงดันไฟฟ้าด้านออกจะมีค่าเท่ากับแรงดันไฟฟ้าด้านเข้า และ เมื่อสวิตช์ไม่นำกระแส แรงดันไฟฟ้าด้านออกจะมีค่าเท่ากับศูนย์

ช่วงเวลาในการนำกระแสและหยุดนำกระแส จะได้สัญญาณแรงดันไฟฟ้าด้านออกเป็นพัลส์ดังรูปที่ 3.18(ข) ซึ่งสามารถหาค่าเฉลี่ยของแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงด้านออกได้จากสมการที่ (3.23)

$$\begin{aligned}
 V_o &= \frac{1}{T} \int_0^T v_o(t) dt \\
 V_o &= \frac{1}{T} \int_0^{DT} V_s dt \\
 V_o &= V_s D
 \end{aligned}
 \tag{3.23}$$

เมื่อ V_s คือแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง D คือ ดิวตี้ไซเคิล

จากสมการที่ (3.23) พบว่าแรงดันขาออกจะสามารถควบคุมได้ด้วยการปรับค่าดิวตี้ไซเคิล ซึ่ง D หมายถึง อัตราส่วนของเวลาที่สวิตช์นำกระแสต่อช่วงเวลาหนึ่งคาบการสวิตซ์ ซึ่งความสัมพันธ์ดังแสดงในสมการที่ (3.24)

$$\begin{aligned}
 D &= \frac{t_{on}}{t_{on} + t_{off}} = \frac{t_{on}}{T} \\
 t_{on} &= DT \\
 t_{off} &= (1-D)T
 \end{aligned}
 \tag{3.24}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ t_{on} คือช่วงเวลาที่สวิตช์นำกระแส t_{off} คือช่วงเวลาที่สวิตช์ไม่นำกระแส และ T คือช่วงเวลาหนึ่งคาบ

วงจรทอนระดับหรือวงจรบีกคอนเวอร์เตอร์คือวงจรที่ทำให้ระดับแรงดันไฟฟ้าด้านออกมีค่าต่ำกว่าแรงดันไฟฟ้าด้านเข้า โดยวงจรบีกคอนเวอร์เตอร์นั้นจะนิยมใช้วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน (low pass filter) เพื่อที่จะทำให้แรงดันขาออกเรียบและมีคามเป็นกระแสตรงยิ่งขึ้น ซึ่งโดยมากจะเลือกใช้วงจรกรองแบบ LC เพราะมีอัตราการลดทอนสัญญาณรบกวนที่ไม่ต้องการผกผันกับกำลังสองของความถี่

การวิเคราะห์การทำงานของวงจรทอนแรงดันในช่วงสภาวะอยู่ตัว (steady state) จะมีการกำหนดเงื่อนไขการทำงานของวงจรทอนระดับดังนี้

1. กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำในแต่ละคาบเวลาจะมีค่าเท่ากัน

$$i_L(t+T) = i_L(t) \quad (3.25)$$

นั่นหมายความว่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำจะมีค่าเท่ากันที่ตำแหน่งเดียวกันในทุกคาบเวลา

2. แรงดันไฟเฉลี่ยตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำในแต่ละคาบเวลาจะมีค่าเท่ากับศูนย์

$$V_L = \frac{1}{T} \int_t^{t+T} v_L(\lambda) d\lambda = 0 \quad (3.26)$$

นั่นหมายความว่าผลรวมของผลคูณระหว่างแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำกับเวลา (volt second) ในแต่ละคาบเวลามีค่าเท่ากับศูนย์

3. กระแสไฟฟ้าเฉลี่ยของตัวเก็บประจุในแต่ละคาบเวลาจะมีค่าเท่ากับศูนย์

$$I_c = \frac{1}{T} \int_t^{t+T} i_c(t) dt = 0 \quad (3.27)$$

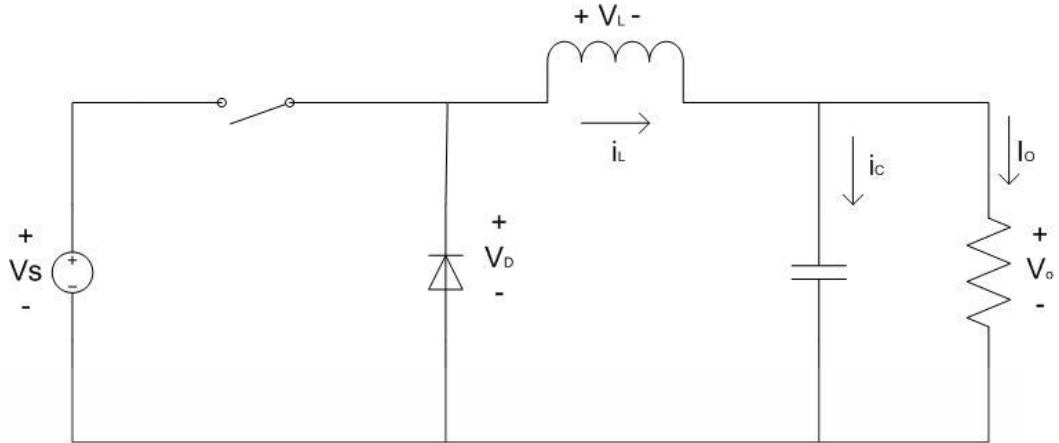
นั่นหมายความว่าประจุที่ถูกเก็บและที่คายของตัวเก็บประจุในแต่ละคาบเวลาจะต้องเท่ากัน

4. กำลังไฟฟ้าด้านเข้าเท่ากับกำลังไฟฟ้าด้านออก

$$P_s = P_o \quad (3.28)$$

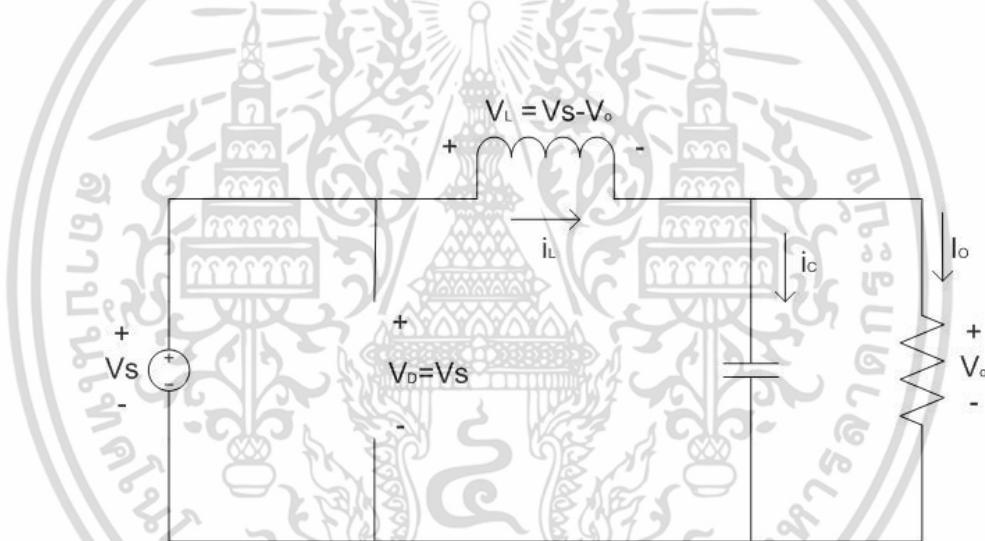
การกำหนดเงื่อนไขเพื่อที่จะได้แรงดันขาออกตามที่ต้องการจะกำหนดว่า แรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยที่ตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำ ในแต่ละคาบเวลามีค่าเท่ากับศูนย์ ทำให้สามารถหากระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำได้ตามสมการที่ (3.32) ซึ่งการวิเคราะห์จะต้องทำในสภาวะอยู่ตัว (steady state)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.19 วงจรทอนระดับ (Buck Converter)

จากรูปที่ 3.20 แสดงช่วงที่สวิตช์นำกระแสไฟฟ้า โดยกระแสไฟฟ้าจะไหลจากแหล่งจ่ายไปยังสวิตช์ ผ่านตัวเหนี่ยวนำ และไปยังโหลด โดยที่กระแสไฟฟ้าส่วนหนึ่งจะไปเก็บที่ตัวเก็บประจุ



รูปที่ 3.20 วงจรสมมูลเมื่อสวิตช์นำกระแส

จากรูปที่ (3.20) จะได้สมการที่ (3.29)

$$-V_s + v_L + V_o = 0$$

$$v_L = V_s - V_o \tag{3.29}$$

$$v_L = L \frac{di_L}{dt} \tag{3.30}$$

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{V_s - V_o}{L} \tag{3.30}$$

$$\Delta i_{L,on} = \left(\frac{V_s - V_o}{L} \right) DT \tag{3.31}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.21 แสดงช่วงที่สวิตช์ไม่นำกระแส ไดโอดจะถูกไบอัสไปข้างหน้า (forward bias) เพื่อให้กระแสไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำอย่างต่อเนื่อง ดังสมการที่ (3.32)-(3.36)

$$v_L = -v_o \quad (3.32)$$

$$v_L = -v_o = L \frac{di_L}{dt} \quad (3.33)$$

$$L \frac{di_L}{dt} = \frac{\Delta i_{L,off}}{\Delta t} = \frac{-V_o}{V_L} \quad (3.34)$$

จากสมการที่ (3.34) กระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำจะค่อยๆ ลดลงเพราะการเปลี่ยนแปลงของกระแสตัวเหนี่ยวนำมีค่าเป็นลบนั่นเอง

ในส่วนของ dt ที่อยู่ในโหมตไม่นำกระแส คือ $dt = (1-D)T$ ดังนั้นจากสมการ (3.34) จะได้

$$\Delta i_{L,off} = \frac{-V_o}{L} (1-D)T \quad (3.35)$$

จากเงื่อนไขที่ 1 กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำในแต่ละคาบเวลาจะมีค่าเท่ากัน ดังสมการ (3.25) การเปลี่ยนแปลงของกระแสในช่วงสภาวะอยู่ตัว (steady state) ในโหมตสวิตช์นำกระแส จะมีการเปลี่ยนแปลงที่เพิ่มขึ้นเท่ากับการเปลี่ยนแปลงที่ลดลงของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำในขณะสวิตช์ไม่นำกระแส ซึ่งอาจกล่าวในอีกนัยหนึ่งได้ว่า กระแสเปลี่ยนแปลงของกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำสุทธิมีค่าเป็นศูนย์ จากสมการที่ (3.31) และ (3.35) จะได้

$$\Delta i_{L,on} + \Delta i_{L,off} = 0 \quad (3.36)$$

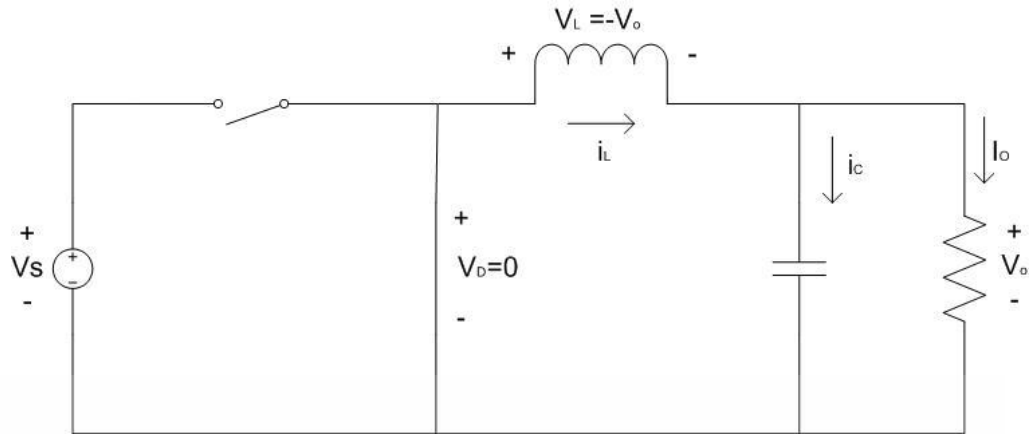
$$\left(\frac{V_s - V_o}{L}\right)DT - \frac{V_o}{L}(1-D)T = 0 \quad (3.37)$$

$$(V_s - V_o)D - V_o(1-D) = 0$$

$$V_s D - V_o D - V_o + V_o D = 0$$

$$\frac{V_o}{V_s} = D \quad (3.38)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.21 วงจรสมมูลเมื่อสวิตช์ไม่นำกระแส

จากสมการที่ (3.38) อัตราการขยายสูงสุดที่เป็นไปได้จะต้องไม่เกิน 100% ซึ่งจากสมการ วงจรทอนระดับแรงดันขาออกจะต้องน้อยกว่าหรือเท่ากับแรงดันขาเข้าเสมอ โดยขึ้นอยู่กับค่าตัวดีไซเคิล ซึ่งการปรับตัวดีไซเคิล (Duty Ratio) จะปรับได้ตั้งแต่ศูนย์ถึงหนึ่ง ในทางปฏิบัตินั้นอาจเกิดแรงดันตกคร่อมสวิตช์และตัวเหนี่ยวนำทำให้แรงดันขาออกมีค่า

3.6.1 การหาค่าความเหนี่ยวนำที่เล็กที่สุดของวงจรทอนแรงดัน

การหาค่าตัวเหนี่ยวนำที่เล็กที่สุดที่จะให้วงจรทอนแรงดันทำงานในโหมดกระแสต่อเนื่อง โดยเริ่มต้นจากการหากระแสเฉลี่ยที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำซึ่งจะเท่ากับกระแสเฉลี่ยที่ไหลผ่านโหลด เนื่องจากขณะที่อยู่ในสภาวะการทำงานอยู่ตัว กระแสเฉลี่ยที่ไหลผ่านตัวเก็บประจุจะมีค่าเท่ากับศูนย์ ดังนั้น

$$I_L = I_o = \frac{V}{R} \quad (3.39)$$

จากรูปที่ 3.22(ข) จะสามารถหากระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำที่มีค่าสูงสุดและต่ำสุดได้จากสมการในช่วงที่สวิตช์ไม่นำกระแสดังนี้

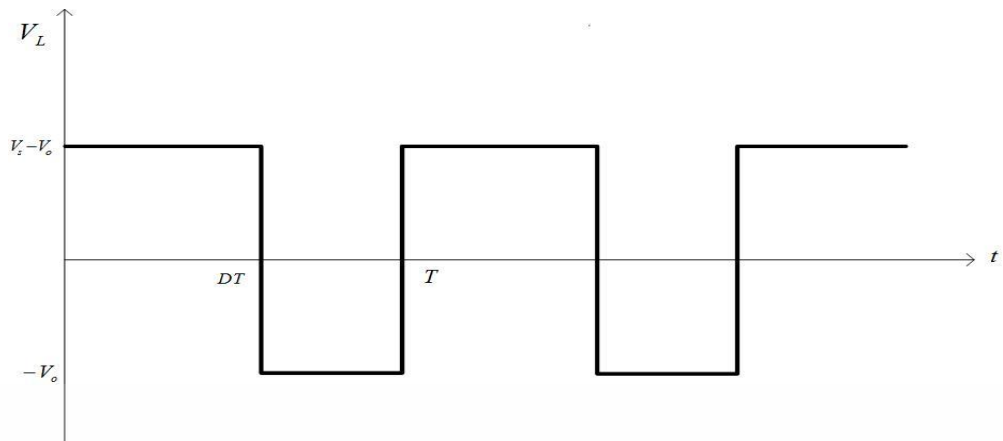
$$I_{L,\max} = I_L = \frac{\Delta i_L}{2} \quad (3.40)$$

$$I_{L,\max} = \frac{V_o}{R} + \frac{1}{2} \left[\frac{V_o}{L} (1-D)T \right] \quad (3.41)$$

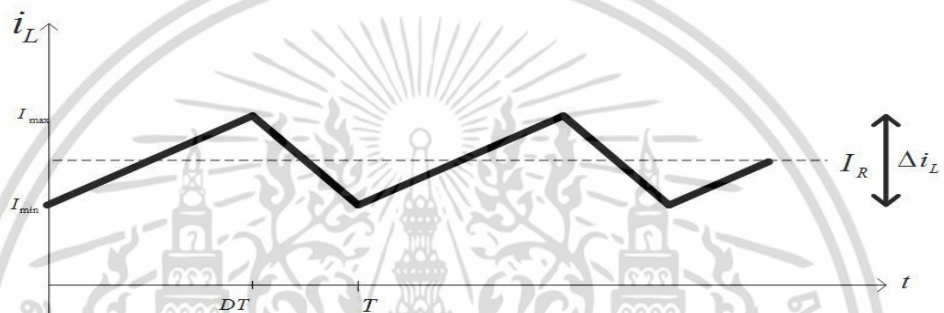
เมื่อจัดรูปใหม่จะได้ว่า

$$I_{L,\max} = V_o \left[\frac{1}{R} + \frac{1-D}{2Lf} \right] \quad (2.42)$$

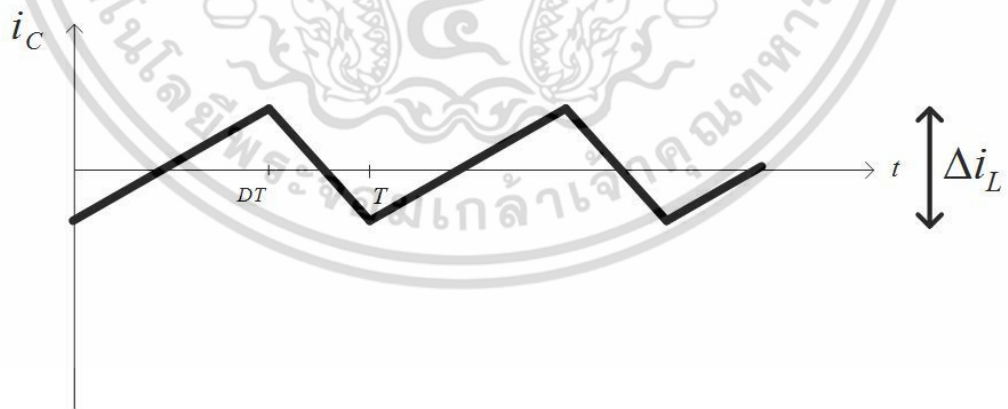
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 3.22 รูปคลื่นการทำงานของวงจรทอนแรงดัน (ก) แรงดันที่ตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำ (ข) กระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ (ค) กระแสที่ไหลผ่านตัวเก็บประจุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นจะได้กระแสเหนี่ยวนำต่ำสุดดังสมการที่ (3.43)

$$I_{L,\min} = V_o \left[\frac{1}{R} - \frac{1-D}{2Lf} \right] \quad (3.43)$$

จากเงื่อนไขที่หนึ่ง: การทำงานในโหมดกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำแบบต่อเนื่อง คือ กระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำจะต้องเป็นกระแสบวกเสมอ สมการที่ (3.43) สามารถนำมาใช้ในการหาค่าความเหนี่ยวนำและความถี่ในการสวิตซ์

$$I_{L,\min} = V_o \left[\frac{1}{R} - \frac{1-D}{2Lf} \right] = 0 \quad (3.44)$$

จะได้

$$\frac{1}{R} = \frac{1-D}{2Lf} \quad (3.45)$$

$$L_{\min} = \frac{(1-D)R}{2f} \quad (3.45)$$

$$f = \frac{(1-D)R}{2L_{\min}} \quad (3.46)$$

จากสมการที่ (3.44) สามารถหาค่าความเหนี่ยวนำที่เล็กที่สุดที่ทำให้วงจรทอนระดับสามารถทำงานได้ในโหมดกระแสต่อเนื่อง ซึ่งจะได้ค่าความเหนี่ยวนำที่เล็กที่สุดดังสมการที่ (3.45) โดยในของสมการที่ (3.46) ใช้สำหรับพิจารณาหาความถี่สวิตซ์ที่เหมาะสม เมื่อทราบค่าความเหนี่ยวนำ

โดยปกติวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านหรือวงจรกรองแบบ LC ที่อยู่ในวงจรทอนแรงดัน จะมีตัวเก็บประจุที่มีขนาดใหญ่ เพื่อรักษาให้แรงดันด้านออกคงที่ แต่ในทางปฏิบัติจะไม่สามารถเลือกใช้ตัวเก็บประจุที่มีขนาดใหญ่มากๆได้ เนื่องจากมีราคาแพงและใช้พื้นที่มาก จึงควรเลือกใช้ตัวเก็บประจุที่มีขนาดเหมาะสมและให้ค่าระลอกคลื่นของแรงดันไฟฟ้าด้านออกอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ สำหรับการคำนวณหาค่าระลอกคลื่นของแรงดันไฟฟ้าด้านออกสามารถหาได้จากความสัมพันธ์ของแรงดันกับกระแสของตัวเก็บประจุ ดังแสดงในรูปที่ 3.22 ซึ่งกระแสในตัวเก็บประจุหาได้จากสมการที่ (3.47) และเมื่อกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเก็บประจุมีค่าเป็นบวก ช่วงเวลาดังกล่าวตัวเก็บประจุจะสะสมประจุโดยสามารถคำนวณจาก สมการ (3.48)

$$i_C = i_L - i_R \quad (3.47)$$

$$Q = CV_o \quad (3.48)$$

$$\Delta V_o = \frac{\Delta Q}{C} \quad (3.49)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ΔQ คือ ค่าค่าประจุที่เปลี่ยนแปลงน้อยๆ ΔV_o ค่าระลอกของแรงดันไฟฟ้าด้านออกที่เปลี่ยนแปลงน้อยๆ

จะได้

$$\Delta V_o = \frac{T\Delta i_L}{8C} \quad (3.50)$$

แทนค่า สมการที่ (3.35) ในสมการที่ (3.50) จะได้สมการที่ (3.51)

$$\Delta V_o = \frac{TV_o}{8CL}(1-D)T \quad (3.51)$$

และจัดรูปสมการใหม่จะได้สมการ ค่าอัตราระลอกคลื่น (ripple ratio)

$$\frac{\Delta V_o}{V_o} = \frac{1-D}{8LCf^2} \quad (3.52)$$

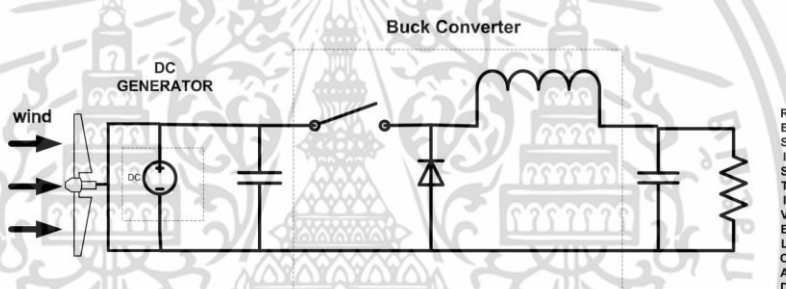
สมการระลอกคลื่นมักใช้แสดงเป็นอัตราส่วนของระลอกไฟฟ้าด้านออกระหว่างยอดถึงยอด กับค่าแรงดันไฟฟ้าด้านออก ในที่นี้หมายถึงเฉพาะแรงดันไฟฟ้า หากต้องการทำให้อัตราระลอกคลื่นแรงดันไฟฟ้าของวงจรทอนแรงดันมีค่าน้อยลง (อัตราระลอกมากหมายถึงแรงดันกระแสตรงกระเพื่อมมาก) สามารถเลือกได้สองแนวทางคือ ให้ตัวดีไซเคิลมีค่าเข้าใกล้ 1 ส่วนอีกกรณีหนึ่งคือ เพิ่มค่าตัวเหนี่ยวนำให้มากขึ้น

บทที่ 4

การออกแบบและสร้างชุดควบคุมสำหรับการตามรอย กำลังไฟฟ้า

4.1 ภาพรวมการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดสำหรับกังหันลม

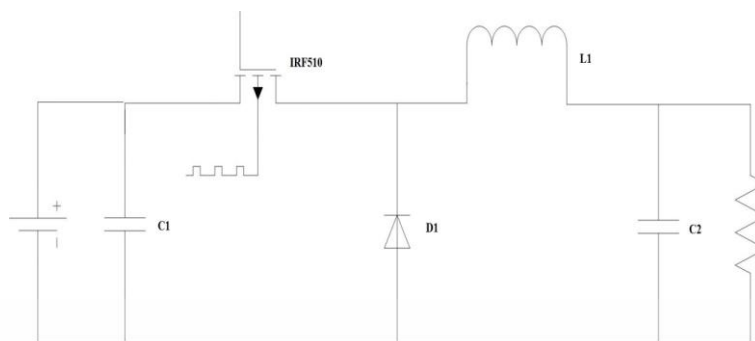
รูปที่ 4.1 แสดงภาพรวมการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดในระบบพลังงานลมซึ่งประกอบด้วยกังหันลม, เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง, วงจรทอนระดับและโหลดความต้านทาน โดยกังหันลมจะทำหน้าที่ในการเปลี่ยนพลังงานของลมไปเป็นพลังงานในการหมุนของกังหันและขับเคลื่อนเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง จากนั้นวงจรตรวจจับกระแสและแรงดันจะทำหน้าที่ส่งค่าที่ได้เข้าสู่ชุดควบคุมเพื่อประมวลผลผ่านตัวแปลง แอนาล็อกเป็นดิจิทัล(ADC) ชุดควบคุมจะทำการประมวลผลและจะส่งสัญญาณไปควบคุมการทำงานของวงจรทอนระดับ



รูปที่ 4.1 ภาพรวมการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดในระบบพลังงานลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

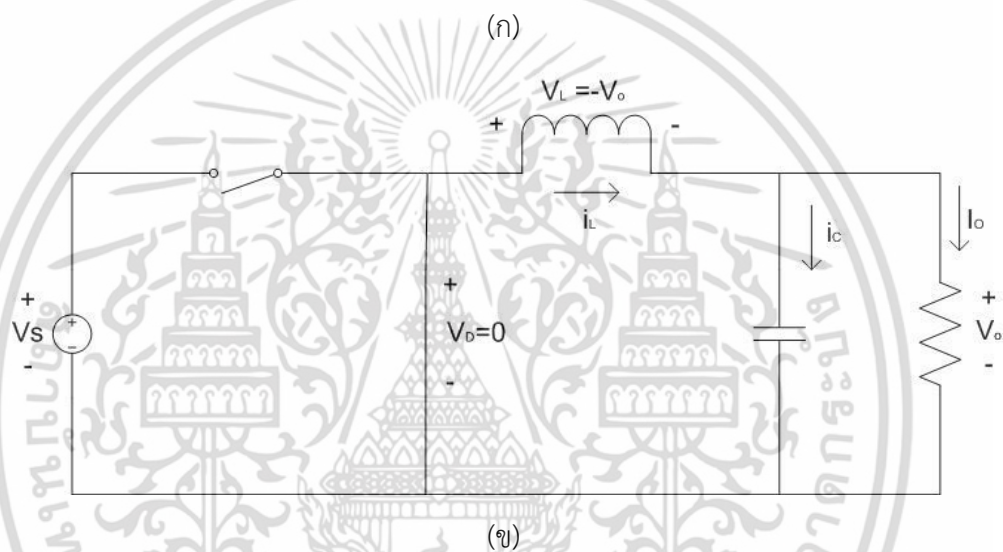
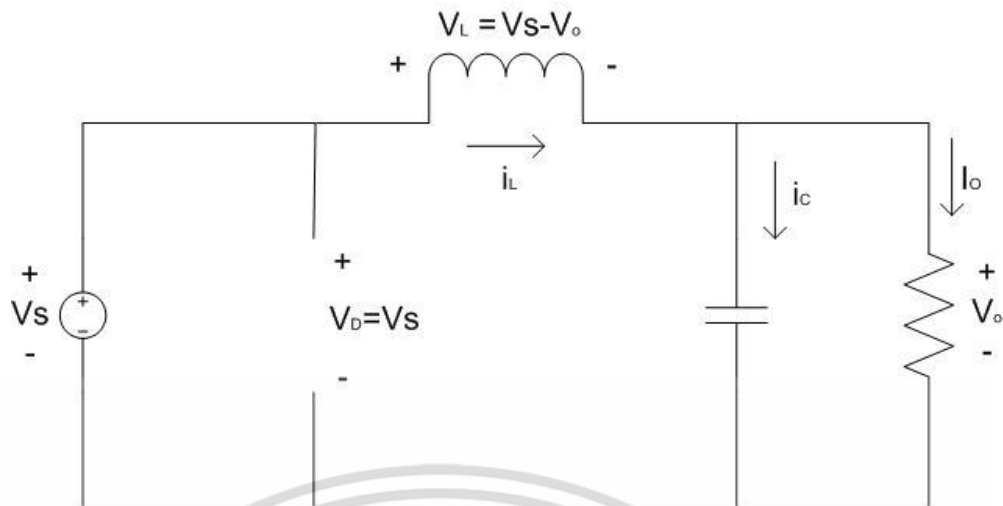
4.2 โครงสร้างของวงจรทอนระดับ



รูปที่ 4.2 โครงสร้างวงจรทอนระดับ

รูปที่ 4.2 แสดงโครงสร้างของวงจรทอนระดับโดยอุปกรณ์สวิตซ์ซึ่งที่ใช้จะเลือกมอสเฟตเนื่องจากสามารถทำงานได้ในช่วงแรงดันสูง ปัจจุบันมอสเฟตมีพิกัดการทำงานที่แรงดันไฟฟ้าได้มากกว่า 1000 โวลต์และจุดเด่นอีกสำคัญคือทำงานได้ในย่านความถี่สวิตซ์สูง โดยในการทดลองจะใช้ มอสเฟตชนิด IRF510 ซึ่งมีค่าพิกัดแรงดัน (V_{ds}) 100V ซึ่งหากช่วงแรงดันมีค่าสูงจะทำให้กำลังสูญเสียที่เกิดจากการนำกระแส มอสเฟตจะรับสัญญาณพัลส์ที่มีความถี่สวิตซ์เท่ากับ 30 kHz จากส่วนควบคุม การทำงานของวงจรทอนระดับจะแบ่งการทำงานออกเป็น 2 โหมดคือโหมด นำกระแส และ ไม่นำกระแส ในช่วงโหมดนำกระแส กระแสไฟฟ้าจะไหลจากแหล่งจ่ายไปยังสวิตซ์ ผ่านตัวเหนี่ยวนำ และไปยังโหลด โดยที่กระแสไฟฟ้าส่วนหนึ่งจะไปเก็บที่ตัวเก็บประจุ ส่วนในช่วงโหมดไม่นำกระแส ไดโอดจะถูกไบอัสไปข้างหน้า (forward bias) ทำให้กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำเกิดการไหลอย่างต่อเนื่องดังแสดงในรูปที่ 4.3

ส่วนประกอบของวงจรทอนระดับที่ได้ออกแบบประกอบด้วย ตัวเก็บประจุ(C1) เป็นตัวกรองทำให้แรงดันเรียบก่อนจะจ่ายให้กับวงจรทอนระดับ มอสเฟต(Mosfet:IRF510) เป็นอุปกรณ์สวิตซ์ซึ่งกระแสไฟฟ้าเข้าสู่โหลดความต้านทาน โดยมอสเฟตนั้นจะรับสัญญาณสวิตซ์ซึ่งจากชุดควบคุม ซึ่งตัวเหนี่ยวนำ(L) และ ไดโอด ทำหน้าที่ให้กระแสไหลผ่านในช่วงที่อุปกรณ์สวิตซ์อยู่ในโหมดไม่นำกระแส ทำให้กระแสวิ่งผ่านได้อย่างต่อเนื่อง



รูปที่ 4.3 โหมดการทำงานของวงจรทอนระดับ (ก) สวิตช์นำกระแส (ข) สวิตช์ไม่นำกระแส

ในการออกแบบตัวเหนี่ยวนำสำหรับวงจรทอนระดับจะใช้แกนเฟอร์ไรต์แบบทอรอยด์คอร์ เนื่องจากกำลังไฟฟ้าสูญเสียในแกนต่ำ โดยแกนเฟอร์ไรต์ที่นำมาใช้มีความยาวเฉลี่ยเท่ากับ 10.5 เซนติเมตร และ พื้นที่หน้าตัดเท่ากับ 65.6 มิลลิเมตร²

จากหัวข้อที่ 3.6.1 การคำนวณค่าความเหนี่ยวนำที่เล็กที่สุด[18] สามารถหาได้จากสมการที่ (3.45) และ (3.46) ซึ่งในการทดลองจะใช้ความถี่สวิตซ์ที่ 30 kHz และโหลดความต้านทาน 30 โอห์ม เมื่อแทนค่าลงในสมการที่ (3.45) จะได้

$$L_{\min} = \frac{(1-0.5)30}{2 \times 30 \times 10^3} \quad (4.1)$$

จะได้ค่าความเหนี่ยวนำที่เล็กที่สุดเท่ากับ 0.25 mH โดยจะเลือกใช้ที่ 2.5 mH

โดยจะหาจำนวนรอบจากสมการที่ (4.2)

$$L = \frac{2\mu N A}{l} \quad (4.2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่า μ ค่าความซึมซาบของแกนเฟอร์ไรต์มีค่าเท่ากับ 8.8×10^{-3} / คือ ความยาวของแกน(เมตร) A คือ พื้นที่หน้าตัดของแกน(เมตร) L คือค่าความเหนี่ยวนำ

จากสมการที่ (4.2) เมื่อแทนค่าจะได้จำนวนรอบที่พันแกนเหล็กเท่ากับ 22 รอบ ในงานวิจัย ออกแบบโดยพันรอบแกนเหล็กเท่ากับ 30 รอบ

โดยปกติวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านหรือวงจรกรองแบบ LC ที่อยู่ในวงจรทอนระดับ จะมีตัวเก็บประจุที่มีขนาดใหญ่ เพื่อรักษาให้แรงดันด้านออกคงที่ แต่ในทางปฏิบัติจะไม่สามารถเลือกใช้ตัวเก็บประจุที่มีขนาดใหญ่หลายๆได้ เนื่องจากมีราคาแพงและใช้พื้นที่มาก จึงควรเลือกใช้ตัวเก็บประจุที่มีขนาดเหมาะสมและให้ค่าระลอกคลื่นของแรงดันไฟฟ้าด้านออกอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ สำหรับการคำนวณหาค่าระลอกคลื่นของแรงดันไฟฟ้าด้านออกสามารถหาได้จากความสัมพันธ์ของแรงดันกับกระแสของตัวเก็บประจุ ซึ่งในการทดลองจะเลือกใช้ค่าตัวเก็บประจุ C2 จะหาจากสมการที่ (4.3)

$$C = \frac{1-D}{8Lf^2 \frac{\Delta V_o}{V_o}} \quad (4.3)$$

ค่าตัวเก็บประจุ C2 ที่คำนวณมีค่าเท่ากับ

$$C = \frac{1-0.5}{8 * 2.5 * 10^{-3} * (30 * 10^3)^2 * \frac{0.2}{21.45}}$$

$$C = 1.78 \mu F$$

โดยในการทดลองจะใช้ค่าตัวเก็บประจุ C2 เท่ากับ $10 \mu F$

ตัวเก็บประจุ C1 ที่ใช้เป็นตัวเก็บประจุอินพุตเพื่อให้แรงดันขาเข้าเรียบขึ้นจะใช้ $1 \mu F$

4.3 วงจรตรวจจับแรงดันไฟตรง

วงจรตรวจจับแรงดันไฟตรงที่ออกแบบนั้นจะใช้ไอซี INA 146 เป็นวงจรขยายความแตกต่างที่มีความแม่นยำ ซึ่งในตัวไอซีนั้นประกอบไปด้วยวงจรขยายความแตกต่าง 2 ตัว โดยอัตราขยายของวงจรขยายความแตกต่างตัวที่ 1 มีค่าเท่ากับ 0.1 โดยก่อนจะรับแรงดันไฟฟ้าเข้าจะทำการลดทอนแรงดัน(divider)ให้เหลือ 0-5 โวลต์ก่อน ดังแสดงในรูปที่ 4.4 โดยคำนวณจากค่าแรงดันเปิดวงจรขณะความเร็วลมสูงสุดซึ่งมีค่า 60 โวลต์ ดังนั้นจะได้ค่าความต้านทานก่อนเข้าวงจรขยายความแตกต่างโดยสมการที่ (4.4)

$$V_o = V_{in} \frac{R_1}{R_1 + R_2} \quad (4.4)$$

$$5 = 60 \left(\frac{R_1}{R_1 + R_2} \right)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะเลือกใช้ R_1 เท่ากับ $2\text{ k}\Omega$ และ R_2 เท่ากับ $22\text{ k}\Omega$

อัตราขยายของวงจรขยายความแตกต่างสามารถหาได้ดังสมการที่ (4.5)

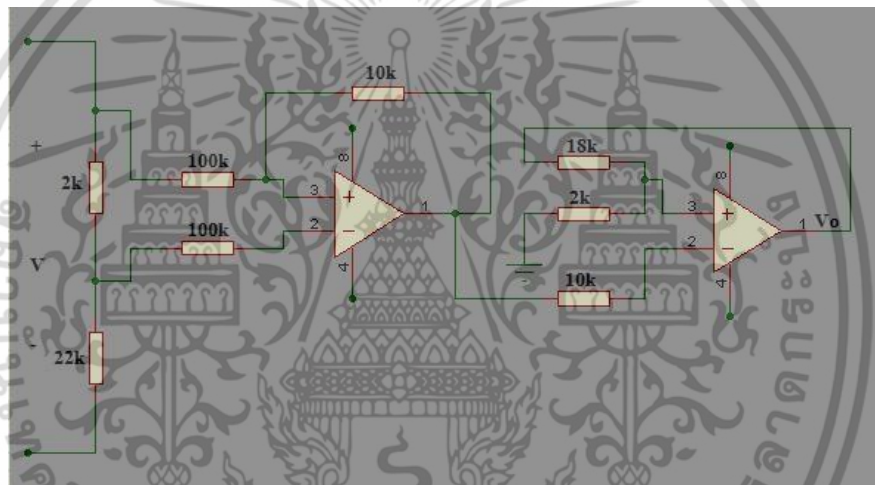
$$V_{out} = (V_{in} \times 0.1) \times \left(1 + \frac{R_{g2}}{R_{g1}}\right) \quad (4.5)$$

เมื่อแทนค่า จะได้

$$5 = (5 \times 0.1) \times \left(1 + \frac{R_{g2}}{R_{g1}}\right)$$

จะได้ R_{g2} เท่ากับ $18\text{ k}\Omega$ และ R_{g1} เท่ากับ $2\text{ k}\Omega$

วงจรตรวจจับแรงดันไฟตรงโดยใช้ไอซี INA146 ได้แสดงในรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 วงจรตรวจจับแรงดันไฟตรง

4.4 วงจรตรวจจับกระแส

วงจรตรวจจับกระแสที่ออกแบบจะใช้การแปลงกระแสให้เป็นแรงดันไฟฟ้า (current to voltage converter) เพื่อที่จะส่งค่าไปประมวลผลยังส่วนควบคุม ซึ่งจะใช้อีซี INA146 เป็นวงจรขยายความแตกต่าง โดยการออกแบบจะคำนวณจากกระแสลัดวงจรขณะความเร็วลมสูงสุด กระแสลัดวงจรจะมีค่า 0.603 A (กระแสลัดวงจรของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอ้างอิงจากภาคผนวก ข) โดยจะใช้ค่าความต้านทานที่กระแสไหลผ่านเท่ากับ 1Ω ดังนั้นจะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

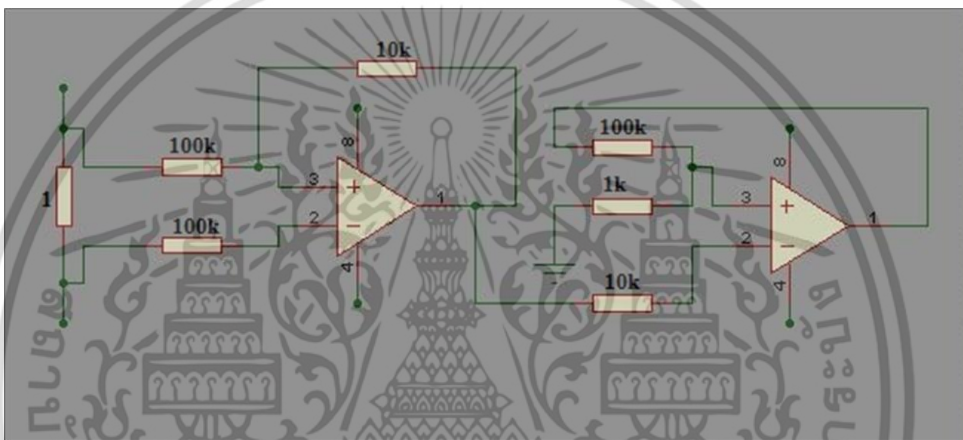
$$V_{in} = 0.603 \times 1 = 0.603 \quad (4.6)$$

และจะได้

$$V_{out} = (V_{in} \times 0.1) \times \left(1 + \frac{R_{g2}}{R_{g1}}\right)$$

$$5 = (0.603 \times 0.1) \times \left(1 + \frac{R_{g2}}{R_{g1}}\right) \quad (4.7)$$

ดังนั้นจะได้ R_{g2} เท่ากับ 100 k Ω และ R_{g1} เท่ากับ 1 k Ω



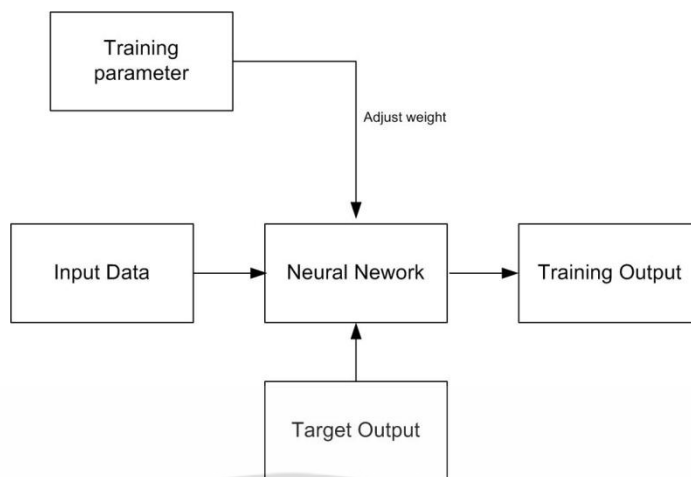
รูปที่ 4.5 วงจรตรวจจับกระแส

4.5 การออกแบบการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดสำหรับกังหันลม

4.5.1 การตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมแบบเพอร์เซปตรอนหลายชั้น

โครงข่ายประสาทเทียมจะมีการเรียนรู้ 2 แบบคือการเรียนแบบมีการสอนและการเรียนแบบไม่มีการสอน โดยการเรียนแบบมีการสอนนั้นเป็นการเรียนที่มีการตรวจสอบโดยจะทำการเปรียบเทียบค่าเอาต์พุตและค่าเป้าหมาย ซึ่งจะทำให้โครงข่ายมีค่าน้ำหนักและไบอัสที่เหมาะสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 การเรียนรู้แบบมีการสอน

เพื่อที่จะสร้างโครงข่ายสำหรับคาดการณ์ค่าความถี่ไซเคิลที่เหมาะสมเพื่อให้ได้กำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ความเร็วลม 5.6 และ 8.3 เมตร/วินาที จะใช้ข้อมูลทางไฟฟ้า คือ แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า อัตราการเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้า และ อัตราการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้า มาสอนโดยใช้วิธีปรับน้ำหนักแบบย้อนกลับ(Backpropagation:BP) ซึ่งจำนวนข้อมูลที่นำมาสอน(training set) มีจำนวน 6000 ข้อมูล โดยที่ความเร็วลม 5.6 และ 8.3 เมตร/วินาที (แต่ละความเร็วลมจะมีจำนวนข้อมูลเท่ากับ 2000 ข้อมูล) โดยจะมีข้อมูลที่นำมาสอบ(test set) 121 ข้อมูลสำหรับทุกความเร็วลม

ในการสอนโครงข่ายประสาทเทียมนั้นเราไม่สามารถทราบได้ว่าจำนวนโหนด(node)ในชั้นซ่อนจำนวนเท่าใดจึงจะเหมาะสม ดังนั้นจึงทำการทดสอบโดยให้ค่าอัตราการเรียนรู้(learning rate) คงที่ และ ปรับจำนวนโหนดในชั้นซ่อนเพื่อให้ได้จำนวนที่เหมาะสม ซึ่งจะกำหนดอัตราการเรียนรู้คงที่เท่ากับ 0.00001 และ โหนดเอาต์พุต 1 โหนด โดยในการสอนโครงข่ายประสาทเทียมจะปรับจำนวนชั้นซ่อนครั้งละ 5 โหนด ซึ่งผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 จำนวนชั้นซ่อนและค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้น

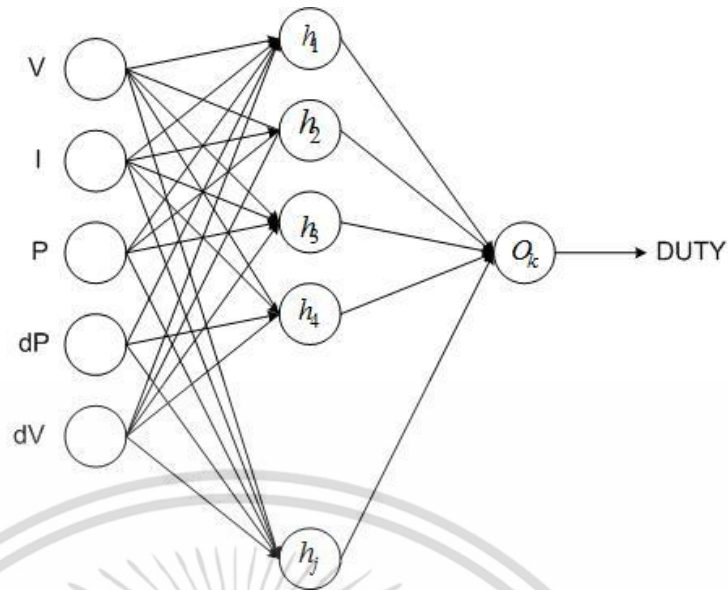
| Number of Hidden nodes | Maximum error | Mean square error | Average error |
|------------------------|---------------|-----------------------|---------------|
| 5 | 3.69 | 3.03×10^{-5} | 0.76 |
| 10 | 0.55 | 2.16×10^{-6} | 0.18 |
| 15 | 1.42 | 5.90×10^{-6} | 0.35 |
| 20 | 1.41 | 6.85×10^{-6} | 0.36 |
| 25 | 1.47 | 9.83×10^{-6} | 0.41 |
| 30 | 1.87 | 1.21×10^{-5} | 0.46 |
| 35 | 1.05 | 5.39×10^{-6} | 0.31 |
| 40 | 1.50 | 9.13×10^{-6} | 0.40 |

จากตารางที่ 4.1 พบว่า จำนวนชั้นซ่อนที่ให้ค่าความผิดพลาดน้อยเหมาะสมที่สุดคือ 10 โหนด ดังนั้นในการทดลองจึงเลือกใช้จำนวนโหนดในชั้นซ่อนเท่ากับ 10 โหนด สำหรับโครงข่ายประสาทที่ใช้ค่าการณืวดีไซเคิล ดังนั้นโครงข่ายจะประกอบด้วย อินพุต 5 โหนด ชั้นซ่อน 1 ชั้น โดยในชั้นซ่อนจะประกอบด้วย 10 โหนดและฟังก์ชันกระตุ้นเป็นฟังก์ชันโลจิสติกส์ และชั้นเอาต์พุต 1 โหนด

เมื่อนำข้อมูลทดสอบ(test set)จำนวน 363 ข้อมูล(ทุกๆความเร็วมมี 121 ข้อมูล) ผลการทดสอบที่ได้คือ ค่าความผิดพลาดสูงสุด (maximum error) เท่ากับ 1.31% ค่า Mean square Error(MSE) เท่ากับ 5.34×10^{-6} % และความผิดพลาดเฉลี่ยเท่ากับ 0.303 % ซึ่งจากการทดสอบพบว่าโครงข่ายที่ใช้ค่าการณืวดีไซเคิลนั้นมีค่าความถูกต้องที่สูง เพราะแม้ว่าจะนำข้อมูลนอกเหนือจากข้อมูลที่น่ามาสอน โครงข่ายสำหรับค่าการณืวดีไซเคิลยังคงได้ค่าความผิดพลาดใกล้เคียงกับข้อมูลที่สอน

สถาปัตยกรรมการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมแบบเพอร์เซปตรอนหลายชั้นแสดงในรูปที่ 4.7 โดยค่าเอาต์พุตที่ได้จากโครงข่ายประสาทเทียมแบบเพอร์เซปตรอนหลายชั้นคือค่าวดีไซเคิล โดยอินพุตประกอบด้วย แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า อัตราการเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้า และ อัตราการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้า และจะใช้ฟังก์ชันกระตุ้นเป็นฟังก์ชันแบบโลจิสติกส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 สถาปัตยกรรมการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยโครงข่ายประสาทเทียมแบบเพอร์เซปตรอนหลายชั้น

แผนภาพบล็อกการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยโครงข่ายประสาทเทียมแบบดังแสดงในรูปที่ 4.8 ชุดควบคุมจะรับค่าแรงดันและกระแสไฟฟ้าจากชุดตรวจจับ ชุดควบคุมจะนำค่าแรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ได้มาคำนวณเพื่อใช้เป็นอินพุตให้กับโครงข่ายประสาทเทียม ค่าตัวที่ใช้เคล็ดที่คาดการณ์จากโครงข่ายประสาทเทียมสามารถคำนวณได้ตามสมการที่ (4.8) - (4.10)

กำหนด $X_i = [V, I, P, dP, dV]$ เป็นอินพุตของโครงข่ายประสาทเทียม โดย V คือ แรงดันไฟฟ้า I คือกระแสไฟฟ้า P คือ กำลังไฟฟ้า dV คือ อัตราการเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้า dP คือ อัตราการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้า

$$s_j = \sum_{i=1}^d w_{ij}^{(1)} X_i + \sum_{i=1}^j b_i^{(1)} w_i \quad (4.8)$$

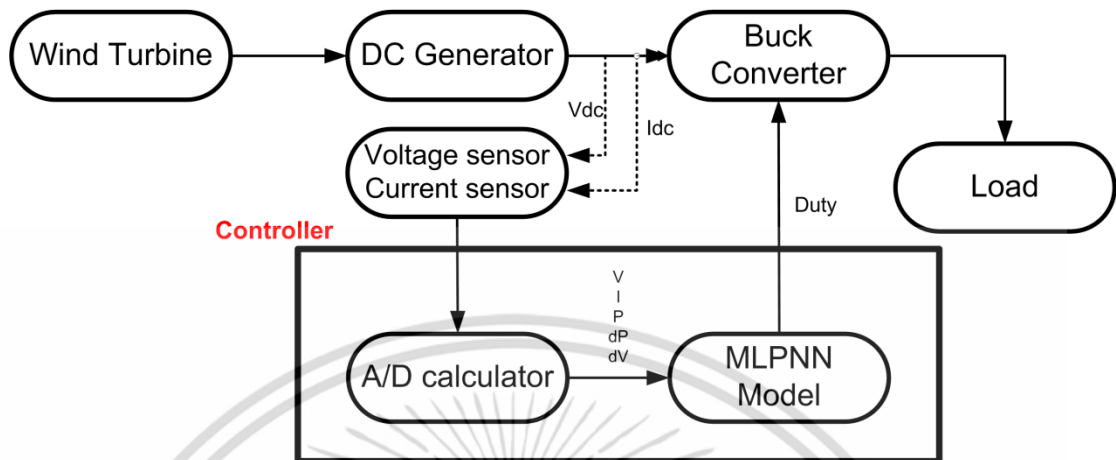
$$z_j = h(s_j) = \frac{1}{1 + \exp(-s_j)} \quad (4.9)$$

$$a_k = \sum_{j=1}^M w_{kj}^{(2)} z_j + \sum_{v=1}^o b_v w_v \quad (4.10)$$

$$y_k = O(a_k) = \frac{1}{1 + \exp(-a_k)} \quad (4.11)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

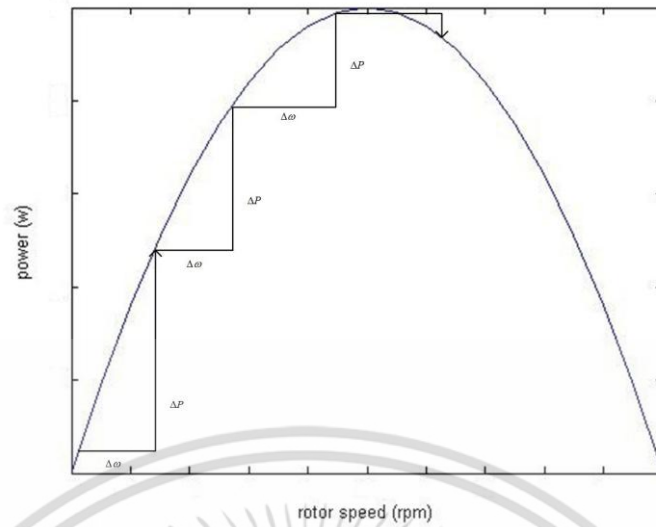
เมื่อ s_j คือฟังก์ชันกระตุ้น z_j คือ เอาต์พุตที่ได้จากชั้นซ่อน a_k คือค่ากระตุ้นที่ออกจากชั้นซ่อน y_k คือเอาต์พุตที่ได้



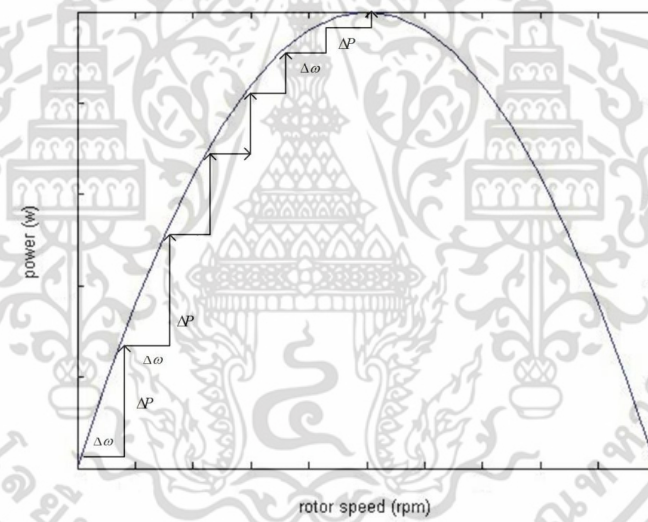
รูปที่ 4.8 แผนภาพบล็อกการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยโครงข่ายประสาทเทียมแบบเพอร์เซปตรอนหลายชั้น

4.5.2 การตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยวิธีรบกวนและสังเกต(P&O)

เทคนิครบกวนและสังเกตเป็นเทคนิคทางคณิตศาสตร์ โดยเทคนิคนี้จะใช้การรบกวนตัวแปรควบคุมและสังเกตเป้าหมาย จากผลการวิจัยที่ผ่านมา [2] วิธีการนี้เป็นวิธีการที่ยืดหยุ่น เข้าใจได้ง่าย เนื่องจากไม่ต้องมีความเข้าใจกราฟคุณลักษณะของกังหันลม แต่อย่างไรก็ตามข้อเสียสำคัญของวิธีการนี้คือเกิดการแกว่งของกำลังไฟฟ้าที่จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุด และการตั้งค่าตัวตั้งไซเคิลเริ่มต้นก่อนที่จะตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดก็เป็นสิ่งสำคัญเช่นกัน หากตั้งค่าตัวตั้งไซเคิลผิดพลาดอาจทำให้เกิดการแกว่งของกำลังไฟฟ้าที่จุดอื่นได้ รวมถึงอัตราการเปลี่ยนแปลงของตัวตั้งไซเคิลจะส่งผลโดยตรงต่อความเร็วในการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดและการแกว่งของกำลังไฟฟ้าที่จุดสูงสุดอีกด้วยด้วยรูปที่4.9 แสดงผลของอัตราการเปลี่ยนแปลงตัวตั้งไซเคิล ซึ่งหากอัตราการเปลี่ยนแปลงของตัวตั้งไซเคิลมากเกินไปจะทำให้การตามรอยเกินจุดสูงสุด แต่หากอัตราการเปลี่ยนแปลงของตัวตั้งไซเคิลน้อยเกินไปจะทำให้การตามรอยถึงจุดสูงสุดนั้นช้า



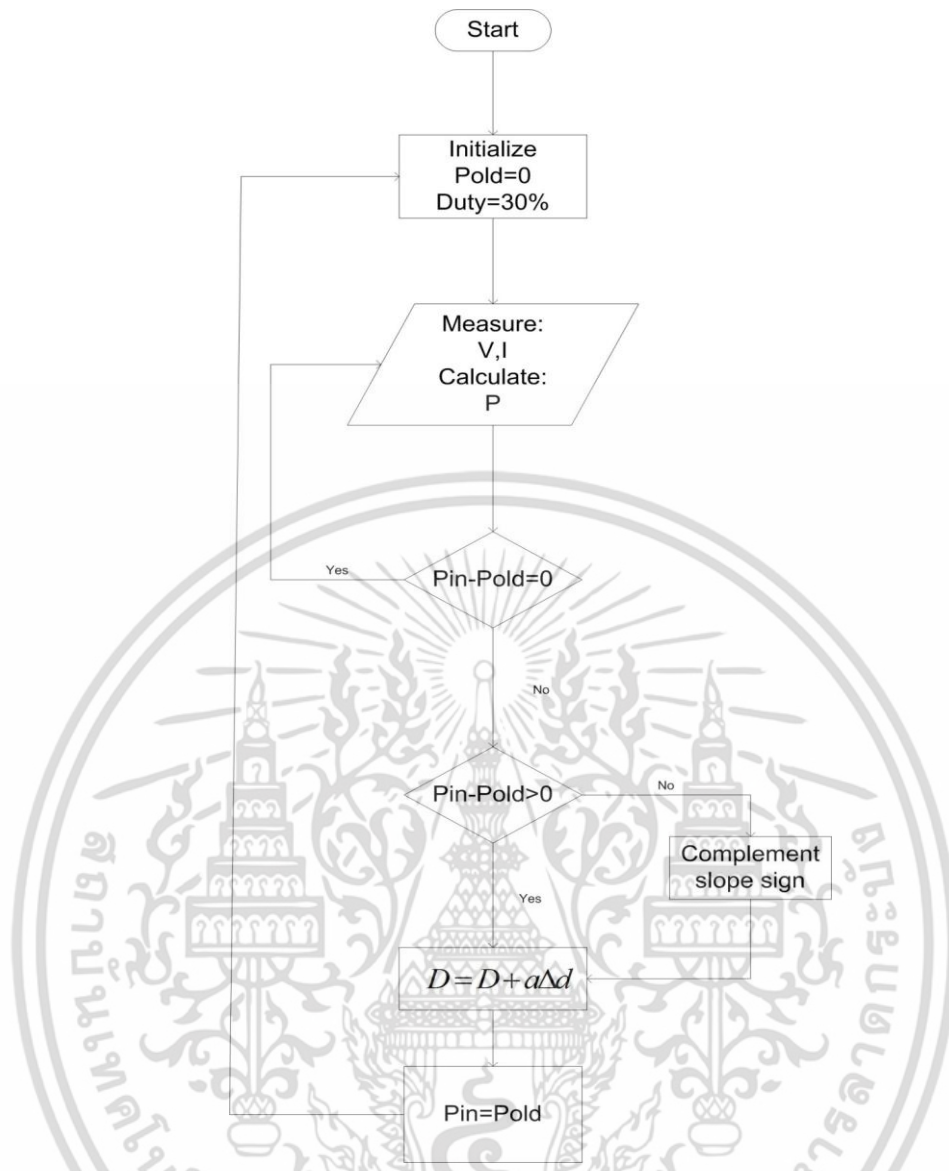
(ก)



(ข)

รูปที่ 4.9 ผลของอัตราการเปลี่ยนแปลงดิวตี้ไซเคิล (ก) อัตราการเปลี่ยนแปลงสูง (ข) อัตราการเปลี่ยนแปลงต่ำ [2]

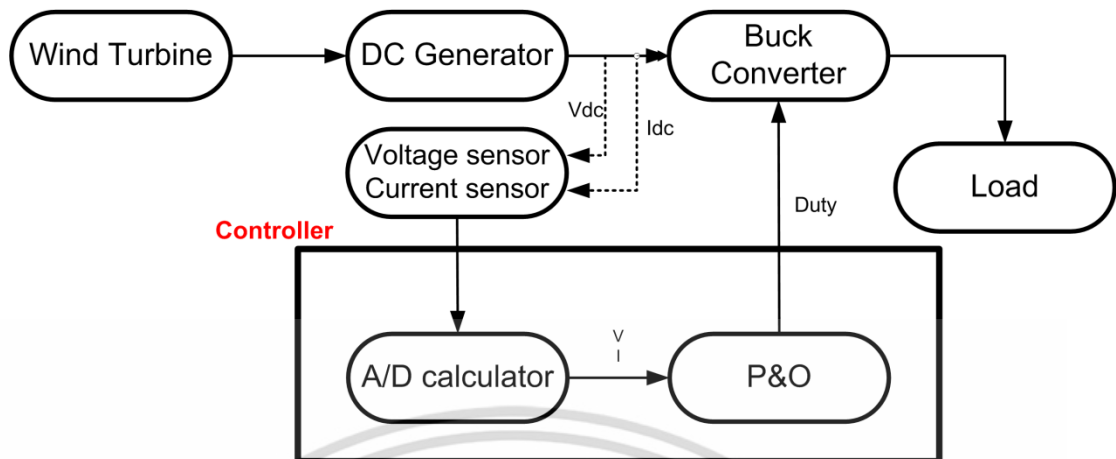
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10 แผนผังการทำงานของเทคนิคควบคุมและสังเกต

รูปที่ 4.10 แสดงแผนผังการทำงานของเทคนิคควบคุมและสังเกต การทำงานจะรับค่าแรงดันและกระแสไฟฟ้า จากนั้นจะมากำหนดค่ากำลังไฟฟ้า โดยจะทำการเปรียบเทียบค่ากำลังไฟฟ้า หากการเปลี่ยนแปลงมีค่ามากขึ้น ($P_{in} > P_{old}$) จะทำการเพิ่มดิวตี้ไซเคิล แต่เมื่อทำการเพิ่มดิวตี้ไซเคิลแล้วการเปลี่ยนแปลงมีค่าลดลง ($P_{in} < P_{old}$) จะเปลี่ยนทิศการควบคุมให้ไปในทางตรงข้าม(a เป็นลบ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.11 แผนภาพบล็อกของการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยวิธีรบกวนและสังเกต

รูปที่ 4.11 แสดงแผนภาพบล็อกของการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยวิธีรบกวนและสังเกต ชุดควบคุมจะรับค่าแรงดันและกระแสไฟฟ้าจากชุดตรวจจับทางไฟฟ้าเพื่อนำมาคำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้า ชุดควบคุมจะรบกวนอัตราการเปลี่ยนแปลงของดิวตี้ไซเคิล (step size) ซึ่งหากจุดกำลังไฟฟ้าที่ได้มีค่ามากกว่ากำลังไฟฟ้าค่าเดิม ชุดควบคุมจะรบกวนอัตราการเปลี่ยนแปลงในทิศทางบวกเพิ่มขึ้น ในทางกลับกันหากจุดกำลังไฟฟ้าที่ได้น้อยกว่าจุดเดิม ชุดควบคุมจะรบกวนอัตราการเปลี่ยนแปลงของดิวตี้ไซเคิลในทิศทางลบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

วิธีการทดลอง

ในบทที่ 5 เป็นการกล่าวถึงวิธีการทำการทดลอง ซึ่งการทดลองจะประกอบไปด้วย การทดสอบอุโมงค์ลม การหาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบและดิวตี้ไซเคิล การหาความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าและดิวตี้ไซเคิล การทดลองการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยวิธีที่นำเสนอและวิธีรบกวน และสังเกตโดยจะทำการเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการตามรอยกำลังไฟฟ้า กำลังไฟฟ้าที่ได้ การแกว่งของกำลังไฟฟ้า

5.1 วิธีการทดสอบความเร็วลมของอุโมงค์ลมในส่วนปฏิบัติงาน

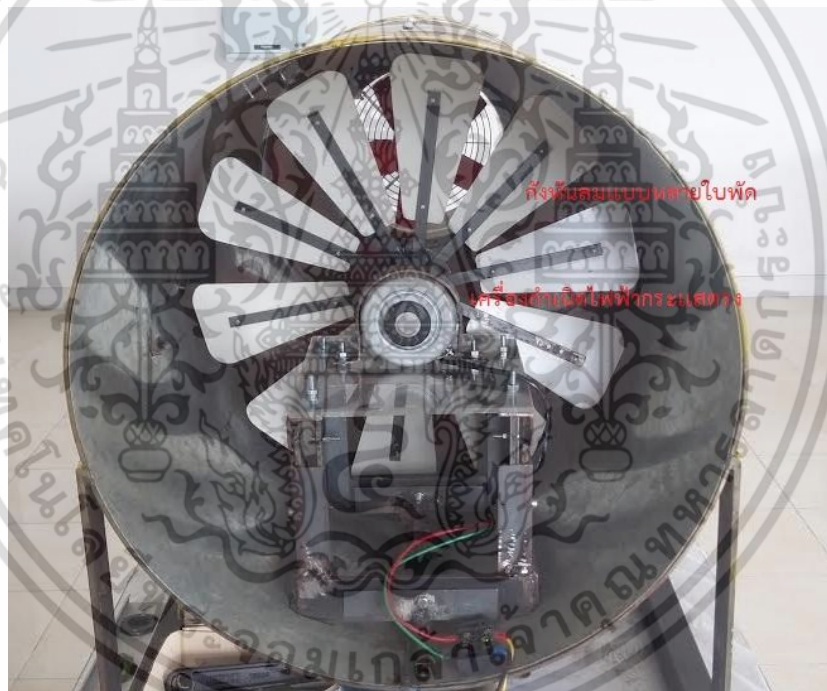
การตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดทำการทดสอบในอุโมงค์ลมขนาดความสูง 0.6 เมตร กว้าง 0.6 เมตร ที่พื้นที่หน้าตัด 0.785 เมตร² ซึ่งอุโมงค์ลมที่ออกแบบจะประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ส่วนอากาศแปรเข้า (Contraction) และ ส่วนปฏิบัติงาน (test section) ในส่วนปฏิบัติงานนั้นจะประกอบไปด้วยกังหันลมต่ออยู่กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง รูปที่ 5.1 แสดงอุโมงค์ลมที่ใช้ทดสอบ รูปที่ 5.2 แสดงส่วนปฏิบัติงานของอุโมงค์ลมซึ่งประกอบไปด้วยกังหันลมแบบหลายใบพัดและเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ซึ่งในส่วนปฏิบัติงานของอุโมงค์ลมจะทำการวัดความเร็วในแนวระนาบ โดยแนวระนาบของส่วนปฏิบัติงานดังแสดงในรูปที่ 5.4 การทดสอบจะทำได้ดังนี้

1. กำหนดจุดที่เพลลาแกนหมุนของกังหันลมเป็นจุด (0,0) ดังแสดงในรูปที่ 5.3 จากนั้นวัดความเร็วลมจะทำการวัดความเร็วลมที่จุด(0,0) จากนั้นวัดค่าความเร็วที่ได้ในแนวระนาบแกน x ที่จุด(5,0) (15,0) (25,0) (-5,0) (-15,0) (-25,0) รูปที่ 5.5แสดงจุดในระนาบแกน x ในการวัดค่าความเร็วลมจะใช้เครื่องวัดความเร็วลม(anemometer) ซึ่งในแต่ละจุดจะทำการวัดค่าความเร็วลม3ครั้งแล้วนำค่าความเร็วลมที่ได้มาเฉลี่ยและทำการบันทึกค่า จากนั้นทำการวัดค่าความเร็วรอบที่ได้จากพัลส์เมตรที่ใช้เป็นแหล่งกำเนิดลม ดังแสดงในรูปที่5.6
2. ทำการบันทึกค่าความเร็วลมและค่าความเร็วรอบของพัลส์เมตรที่ได้ลงในตาราง
3. ค่าความเร็วลมที่ได้ในแนวระนาบทุกจุด นำมาหาค่าเฉลี่ย ผลการทดลองที่ได้จะได้ค่าความเร็วรอบของเครื่องกำเนิดลมที่และความเร็วลมเฉลี่ย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.1 อูโมงค์ลมที่ใช้ทดสอบ

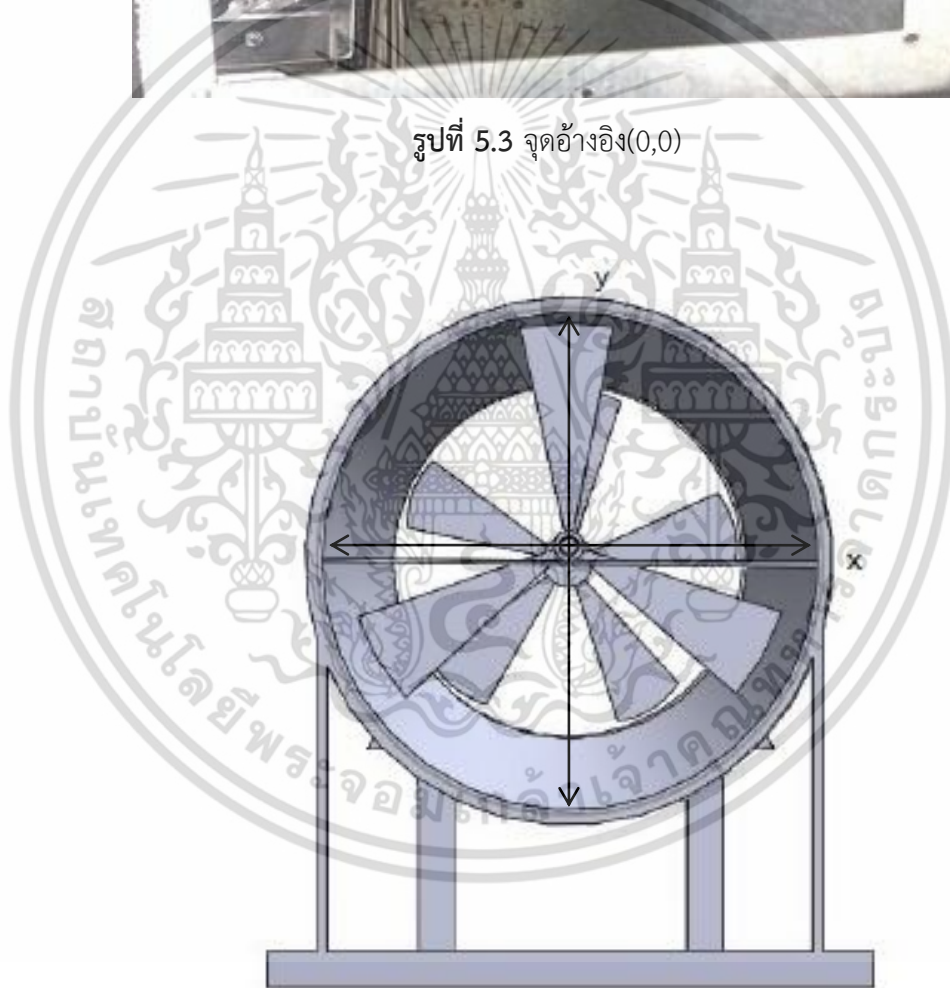


รูปที่ 5.2 ส่วนปฏิบัติงานของอูโมงค์ลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

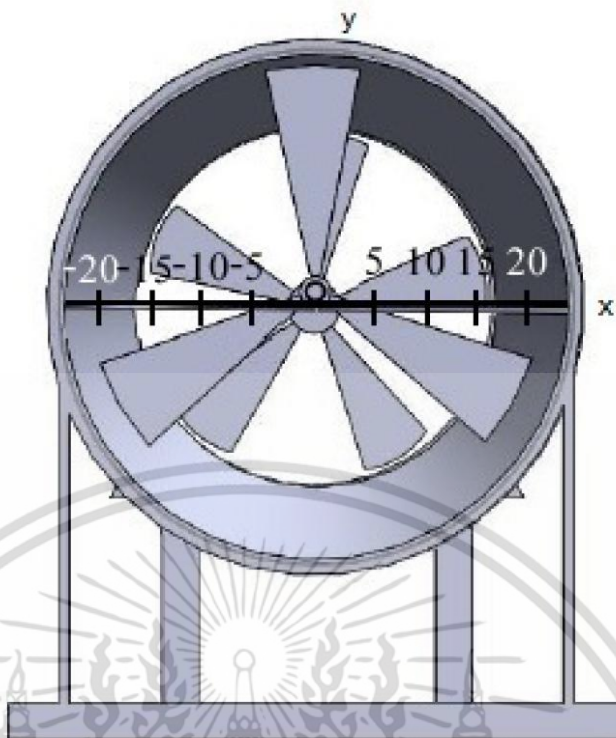


รูปที่ 5.3 จุดอ้างอิง(0,0)



รูปที่ 5.4 แนวระนาบของส่วนปฏิบัติงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.5 จุดที่วัดในระนาบแกน x



รูปที่ 5.6 ตำแหน่งที่ใช้ในการวัดความเร็วรอบของพัดลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 วิธีการทดลองการหาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบและดิวตี้ไซเคิล

กังหันลมจะมีกราฟคุณลักษณะซึ่งเป็นความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าและความเร็วรอบ ดังรูปที่ 3.4 จากกราฟพบว่าที่ความเร็วลมค่าหนึ่งจะมีความเร็วรอบที่เหมาะสมที่จะทำให้เกิดกำลังไฟฟ้าสูงสุด

การหาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบและดิวตี้ไซเคิลเพื่อที่จะทราบถึงผลของความเร็วยรอบเมื่อมีการปรับดิวตี้ไซเคิล การทดลองจะทำการต่อกังหันลมแบบหลายใบพัดเข้ากับเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงและวงจรทอนระดับ จากนั้นต่อเข้ากับตัวต้านทานขนาด 30 โอห์ม ในการทดสอบใช้ ARDUINO UNO (AT MEGA) ในการควบคุมการสร้างดิวตี้ไซเคิล โดยการทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบและดิวตี้ไซเคิลทำดังนี้

1. ทำการปรับดิวตี้ไซเคิล โดยจะเริ่มปรับค่าดิวตี้ไซเคิลตั้งแต่ 0% เมื่อทำการปรับดิวตี้ไซเคิลจากนั้นวัดค่าความเร็วรอบที่กังหันลม จะทำการวัดความเร็วรอบ 3 ครั้ง และนำค่าความเร็วรอบที่ได้มาเฉลี่ย
2. ปรับดิวตี้ไซเคิลครั้งละ 5% โดยจะทำการปรับค่าดิวตี้ไซเคิลตั้งแต่ 0 – 100% และวัดค่าความเร็วรอบ
3. นำค่าความเร็วรอบและดิวตี้ไซเคิลมาพล็อตด้วยโปรแกรม MATLAB
4. การทดสอบจะทำการที่ความเร็วลม 5.6 และ 8.3 เมตร/วินาที

5.3 วิธีการทดลองการหาความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าและดิวตี้ไซเคิล

ในการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดสำหรับกังหันลมจะมีความเร็วรอบที่เหมาะสมที่จะทำให้เกิดกำลังไฟฟ้าสูงสุดในแต่ละความเร็วลม ซึ่งจากการทดลองพบว่าเมื่อทำการปรับค่าดิวตี้ไซเคิลนั้นส่งผลต่อความเร็วรอบของกังหันลมผู้วิจัยจึงเล็งเห็นถึงการหาความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าและดิวตี้ไซเคิลเพื่อที่จะทดสอบหาค่าดิวตี้ไซเคิลที่เหมาะสมที่จะทำให้เกิดกำลังไฟฟ้าสูงสุด

การหาความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าและดิวตี้ไซเคิลจะทำการทดสอบโดยกังหันลมผลิตไฟฟ้าต่อเข้ากับวงจรทอนระดับและตัวความต้านทานขนาด30โอห์ม ค่าแรงดัน กระแสไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้า จะใช้ออสซิลโลสโคปบันทึกและคำนวณตามลำดับ ในการทดสอบใช้ ARDUINO UNO (AT MEGA) ในการควบคุมการสร้างดิวตี้ไซเคิล ทำการวัดค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้จาก โดยการทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบและดิวตี้ไซเคิลทำดังนี้

1. ทำการปรับดิวตี้ไซเคิล โดยจะเริ่มปรับค่าดิวตี้ไซเคิลตั้งแต่ 0% เมื่อทำการปรับดิวตี้ไซเคิลจากนั้นวัดค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยจากออสซิลโลสโคป
2. ปรับดิวตี้ไซเคิลครั้งละ 5% โดยจะทำการปรับค่าดิวตี้ไซเคิลตั้งแต่ 0 – 100% และวัดค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยจากออสซิลโลสโคป
3. นำค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ย และ ดิวตี้ไซเคิลมาพล็อตด้วยโปรแกรม MATLAB
4. การทดสอบจะทำได้ความเร็วลม 5.6 และ 8.3 เมตร/วินาที

5.4 วิธีการทดลองการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดสำหรับกังหันลม

การตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดจะทำการทดสอบในอุโมงค์ลมขนาดความสูง 0.6 เมตร กว้าง 0.6 เมตร ที่พื้นที่หน้าตัด 0.785 เมตร^2 กังหันลมที่ใช้จะเป็นกังหันลมชนิดหลายใบพัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.45 เมตร ต่อเข้ากับเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงและวงจรทอนระดับ โดยต่อเข้ากับตัวต้านทานขนาด 30 โอห์ม ซึ่งจะทำการทดสอบที่ความเร็วลม 5,6, และ 8.3 เมตร/วินาที โดยอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองดังแสดงในรูปที่ 5.7



รูปที่ 5.7 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

การตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดจะแบ่งออกเป็นการตามกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยวิธีรบกวนและสังเกตที่อัตราการเปลี่ยนแปลงดิวตี้ไซเคิล (step size duty cycle) เท่ากับ 5% และการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยโครงข่ายประสาทเทียมแบบเพอร์เซปตรอนหลายชั้น ซึ่งการทดลองจะทำได้ดังนี้

1. นำกังหันลมต่อเข้ากับเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงซึ่งอยู่ในส่วนปฏิบัติงาน (test section) ของอุโมงค์ลม
2. นำวงจรทอนระดับต่อเข้ากับความต้านทานขนาด 30 โอห์ม
3. นำออสซิลโลสโคปมาบันทึกค่ากระแสไฟฟ้า, แรงดันไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้า
4. ในส่วนของวงจรควบคุมจะนำค่าแรงดันและกระแสที่ได้จากเครื่องเซนเซอร์กระแสและแรงดันไฟฟ้า เพื่อที่จะคำนวณค่ากำลังไฟฟ้าสำหรับการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยวิธีรบกวนและสังเกต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ในส่วนของการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยโครงข่ายประสาทเทียมแบบเพอร์เซปตรอนหลายชั้น จะนำค่าแรงดันและกระแสจากเซนเซอร์กระแสและแรงดันไฟฟ้า เพื่อที่จะให้ส่วนควบคุมที่โปรแกรมการตามรอยกำลังไฟฟ้าด้วยโครงข่ายประสาทเทียมแบบ เพื่อที่จะคำนวณค่ากำลังไฟฟ้า อัตราการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้า และ อัตราการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้า เพื่อที่จะใช้เป็นอินพุตให้กับโครงข่ายประสาทเทียมแบบเพอร์เซปตรอนหลายชั้น
6. ทำการทดสอบที่สภาวะความเร็วลมคงที่คือ 5,6,และ8.3เมตร/วินาที
7. ผลการทดลองที่ได้จะทำการวิเคราะห์เวลาที่ใช้ในการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุด
8. วิเคราะห์ค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้ที่สภาวะคงตัว
9. วิเคราะห์ค่าการแกว่งของกำลังไฟฟ้าที่สภาวะคงตัว
10. วิเคราะห์ดิฟเฟอเรนเชียลที่ได้กับดิฟเฟอเรนเชียลเป้าหมาย
11. ทำการเปรียบเทียบทั้งสองวิธี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

ผลการทดสอบและอภิปราย

ในบทที่ 6 นี้จะกล่าวถึงผลการทดสอบและอภิปรายโดยผลการทดสอบนั้นจะประกอบไปด้วย การทดสอบอุโมงค์ลม, การตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยโครงข่ายประสาทเทียมแบบเพอร์เซปตรอน หลายชั้น โดยจะทำการเปรียบเทียบกับ การตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยวิธีบวกรวมและสังเกต ในการทดลองจะเปรียบเทียบเวลาในการตามรอย, ค่าการแกว่ง, ค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้เมื่อเทียบกับค่ากำลังไฟฟ้า ที่จุดสูงสุดและเปรียบเทียบค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้จากการตามรอยกำลังไฟฟ้าและไม่มี การตามรอย

6.1 ผลการทดสอบอุโมงค์ลม

อ้างอิงวิธีการทดสอบอุโมงค์ลมจากหัวข้อที่ 5.1 ซึ่งผลการทดสอบอุโมงค์ลมในส่วนทดสอบได้ บันทึกในตารางที่ 6.1 นำค่าความเร็วลมที่ได้ในแนวระนาบมาหาค่าเฉลี่ย จะได้ค่าความเร็วลมเฉลี่ย เท่ากับ 8.3 เมตร/วินาที

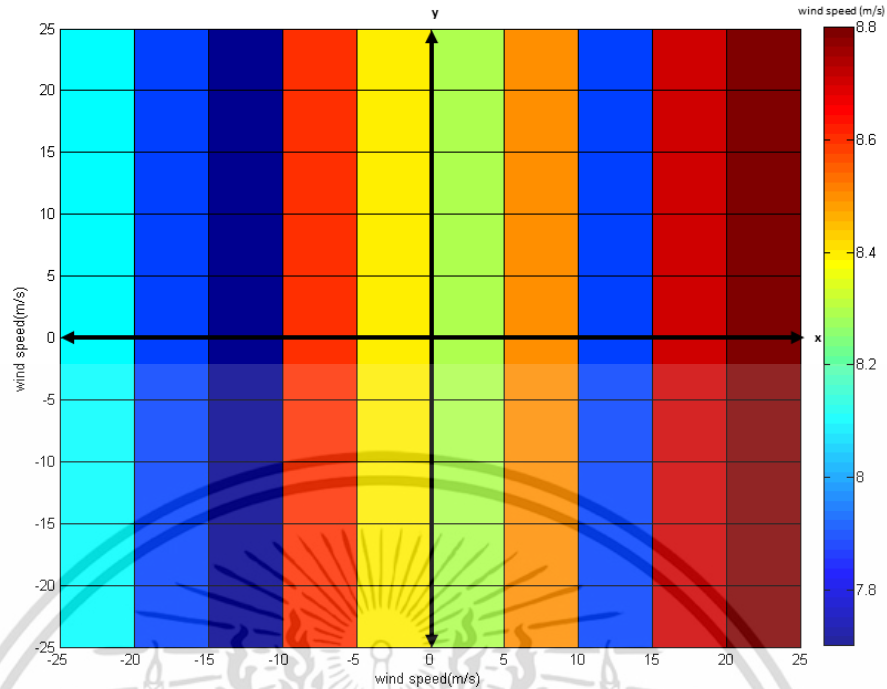
ตารางที่ 6.1 ค่าความเร็วลมที่พิกัดแนวเส้นผ่านศูนย์กลาง

| ระนาบ แกน x | -25,0 | -20,0 | -15,0 | -10,0 | -5,0 | 0,0 | 5,0 | 10,0 | 15,0 | 20,0 | 25,0 |
|--------------------------|-------|-------|-------|-------|------|-----|-----|------|------|------|------|
| ความเร็ว ลมระนาบ x (m/s) | 8.1 | 7.9 | 7.7 | 8.6 | 8.4 | 8.3 | 8.5 | 7.9 | 8.7 | 8.8 | 8.4 |
| ความเร็ว ลมเฉลี่ย (m/s) | 8.3 | | | | | | | | | | |

รูปที่ 6.1 แสดงความเร็วลมในแนวระนาบของส่วนปฏิบัติงานของอุโมงค์ลม โดยแถบสี (color bar) แสดงค่าความเร็วลม (เมตร/วินาที) ต่างๆ ซึ่งจากรูปพบว่าค่าความเร็วลมในแนวระนาบของ อุโมงค์ลมนั้นมีค่าใกล้เคียงกัน

จากการทดสอบที่ความเร็วลมเฉลี่ยเท่ากับ 8.3 เมตร/วินาที เมื่อทำการวัดความเร็วรอบของ เครื่องกำเนิดลมจะได้ความเร็วรอบเท่ากับ 2758 รอบ/นาที ซึ่งที่ความเร็วลมค่าอื่นๆจะได้แสดง ความเร็วรอบไว้ในตารางที่ 6.2 ตารางที่ 6.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมเฉลี่ยในแนว ระนาบและความเร็วรอบของแหล่งกำเนิดลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.1 ความเร็วลมในแนวระนาบของส่วนทดสอบ

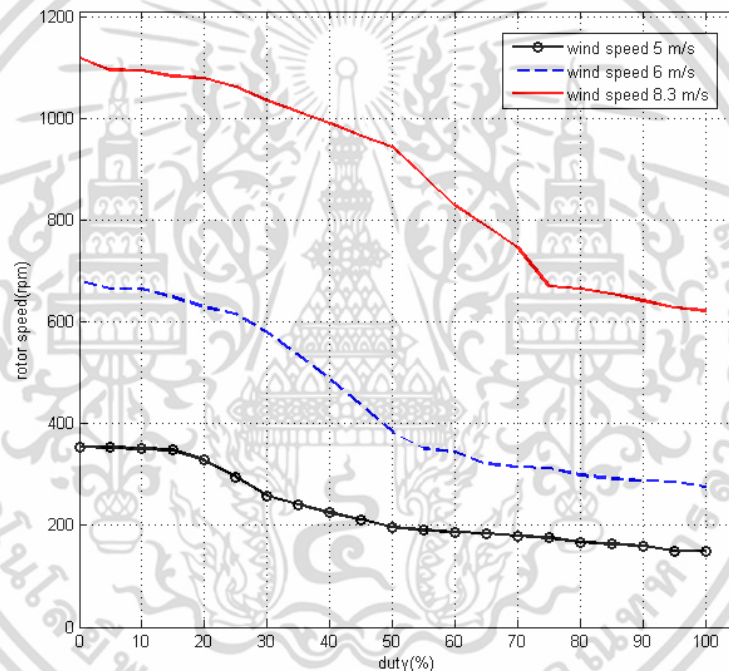
ตารางที่ 6.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบพัดลมและความเร็วลมที่ได้

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบและดิวตี้ไซเคิล

วิธีการทดลองการหาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบและดิวตี้ไซเคิลดังหัวข้อที่ 5.2 ซึ่งการทดสอบหาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบและดิวตี้ไซเคิลเพื่อที่จะทราบการเปลี่ยนแปลงของความเร็วรอบเมื่อทำการปรับดิวตี้ไซเคิล เมื่อนำค่าที่ได้จากการทดสอบมาพล็อตกราฟโดยโปรแกรม MATLAB ให้แกน x เป็น ดิวตี้ไซเคิล(%) และ แกน y เป็น ความเร็วรอบ(rpm) รูปที่ 6.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบและดิวตี้ไซเคิลที่ความเร็วลม 5,6 และ 8.3 เมตร/วินาที โดยกราฟเส้นจุดกลมสีดำเป็นความสัมพันธ์ที่ความเร็วลม 5 เมตร/วินาที กราฟเส้นประสีน้ำเงินเป็นความสัมพันธ์ที่ความเร็วลม 6 เมตร/วินาที และ กราฟเส้นทึบสีแดงเป็นความสัมพันธ์ที่ความเร็วลม 8.3 เมตร/วินาที จากรูปที่ 6.2 จะเห็นว่าเมื่อปรับดิวตี้ไซเคิลเพิ่มขึ้นความเร็วรอบที่ได้จะมีค่าลดลง

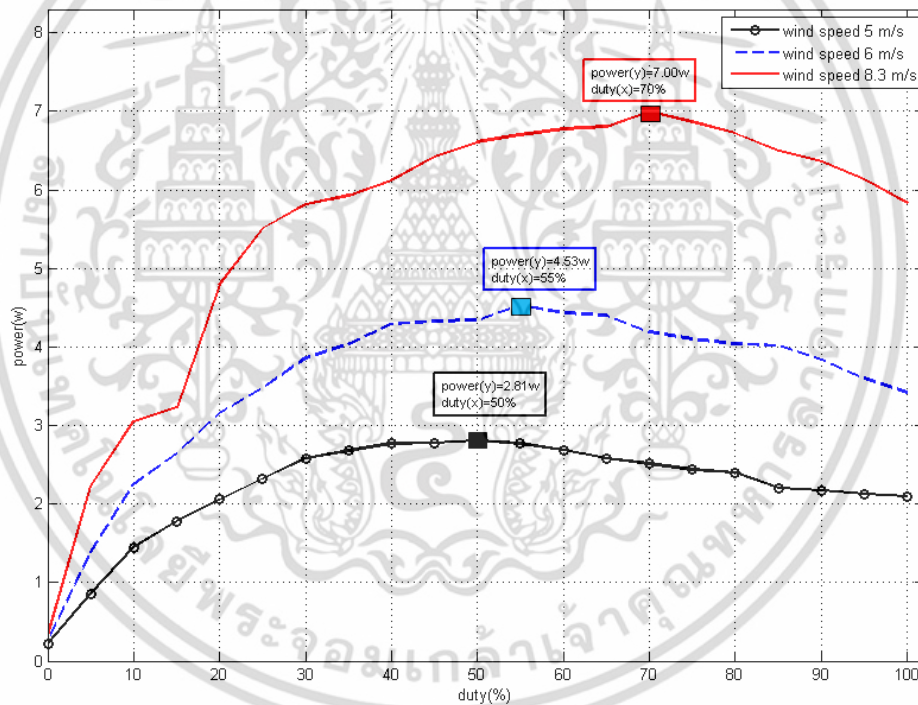


รูปที่ 6.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบและดิวตี้ไซเคิล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.3 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าและดิวตี้ไซเคิล

วิธีการทดลองการหาความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าและดิวตี้ไซเคิลดังหัวข้อที่ 5.3 ซึ่งการทดสอบหาความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าและดิวตี้ไซเคิลเพื่อหาดิวตี้ไซเคิลที่เหมาะสมที่จะทำให้เกิดกำลังไฟฟ้าสูงสุด เมื่อนำค่าที่ได้จากการทดสอบมาพล็อตกราฟด้วยโปรแกรม MATLAB ให้แกน x เป็นดิวตี้ไซเคิล(%)และแกน y เป็นกำลังไฟฟ้า(W) รูปที่ 6.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าและดิวตี้ไซเคิลที่ความเร็วลม 5,6 และ 8.3 เมตร/วินาที จุดสี่เหลี่ยมในภาพแสดงดิวตี้ไซเคิลที่ทำให้เกิดกำลังไฟฟ้าสูงสุด โดยที่ความเร็วลม 5 เมตร/วินาที จะมีค่าดิวตี้ไซเคิลที่เหมาะสมเท่ากับ 50 เปอร์เซ็นต์ และ ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดเท่ากับ 2.81 วัตต์ ที่ความเร็วลม 6 เมตร/วินาที จะมีค่าดิวตี้ไซเคิลที่เหมาะสมเท่ากับ 55 เปอร์เซ็นต์และค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดเท่ากับ 4.53 วัตต์ และ ที่ความเร็วลม 8.3 เมตร/วินาที จะมีค่าดิวตี้ไซเคิลที่เหมาะสมเท่ากับ 70 เปอร์เซ็นต์และค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดเท่ากับ 7 วัตต์



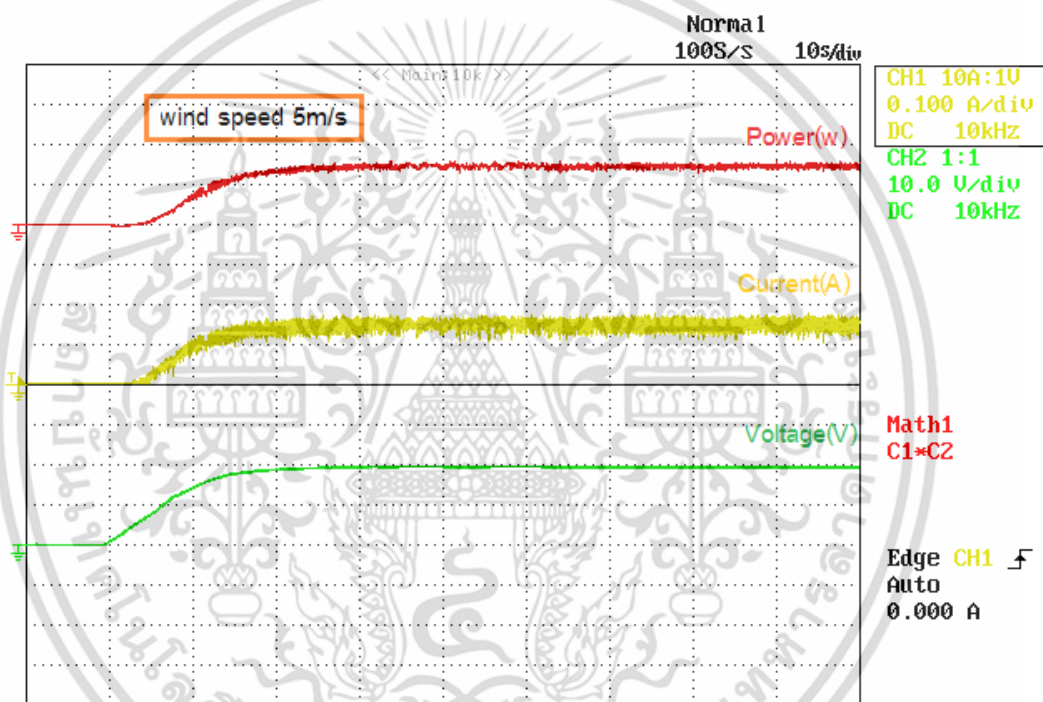
รูปที่ 6.3 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าและดิวตี้ไซเคิล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.4 การทดลองการเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุด

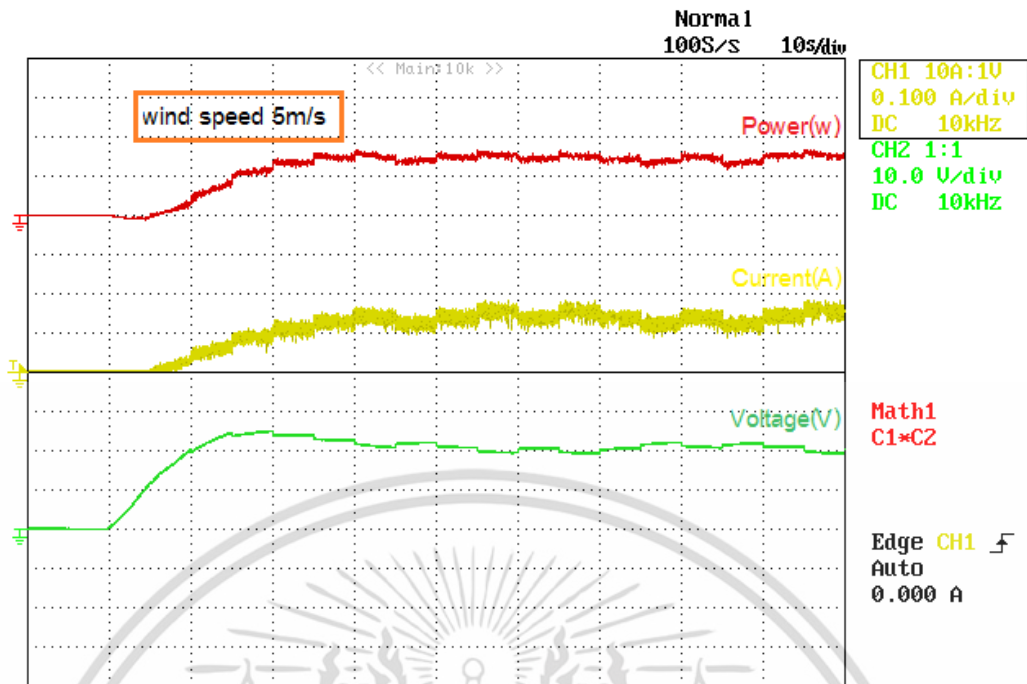
วิธีการทดลองการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดอ้างอิงจากหัวข้อที่ 5.4 ในหัวข้อที่ 6.4 เป็นการทดลองการเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงด้วยโครงข่ายประสาทเทียมแบบเพอร์เซปตรอนหลายชั้นและวิธีรบกวนและสังเกตที่ความเร็วลม 5,6 และ 8.3 เมตร/วินาที

รูปที่ 6.4 แสดงกราฟกำลังไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และ แรงดันไฟฟ้าตามลำดับจากบนลงล่าง รูปที่ 6.4(ก) แสดงเวลาที่ใช้ในการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยโครงข่ายประสาทเทียมแบบเพอร์เซปตรอนหลายชั้นที่ความเร็วลม 5 เมตร/วินาที รูปที่ 6.4(ข) แสดงเวลาที่ใช้ในการตามรอยกำลังไฟฟ้าด้วยวิธีรบกวนและสังเกตที่อัตราการเปลี่ยนแปลงดิฟเฟอเรนเชียลเท่ากับ 5% ที่ความเร็วลม 5 เมตร/วินาที



(ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ข)

รูปที่ 6.4 เวลาที่ใช้ในการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ความเร็วลม 5 เมตร/วินาที (ก) โครงข่าย
 ประสาทเทียมแบบเพอร์เซปตรอนหลายชั้น (ข) วิธีรบกวนและสังเกตที่อัตราการเปลี่ยนแปลงดิฟเฟอเรนเชียล
 เท่ากับ 5%

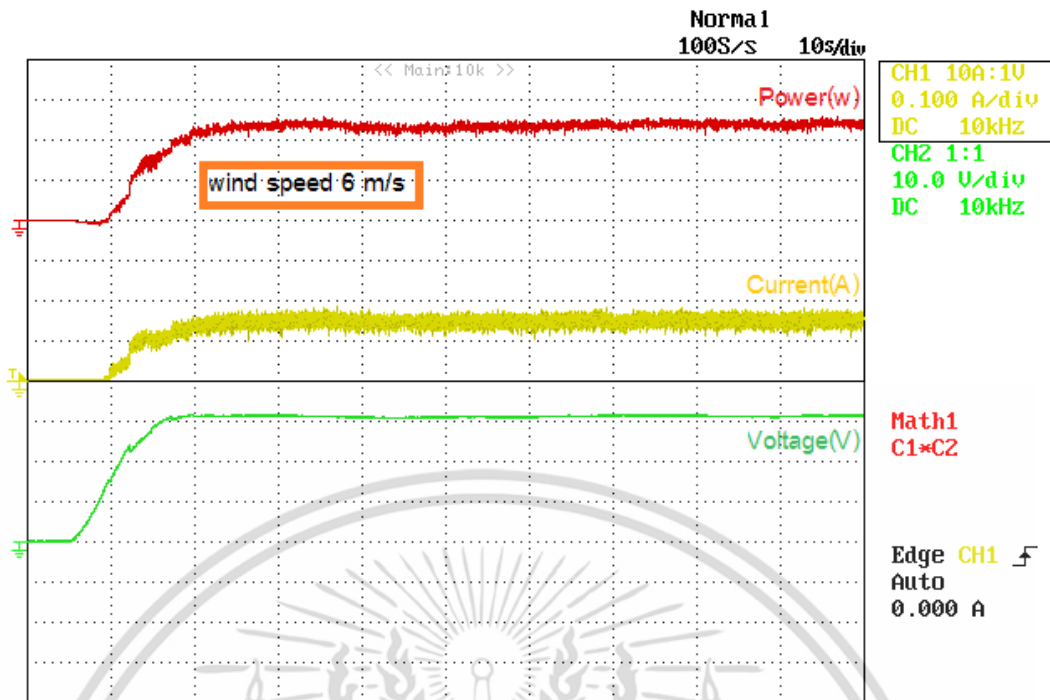
รูปที่ 6.5 เป็นการนำค่าที่ได้จากรูปที่ 6.4 มาพล็อตกราฟด้วยโปรแกรม MATLAB เพื่อ
 เปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยใช้ (ก) โครงข่ายประสาทเทียมแบบ
 เพอร์เซปตรอนหลายชั้นและ (ข) วิธีรบกวนและสังเกตที่อัตราการเปลี่ยนแปลงดิฟเฟอเรนเชียลเท่ากับ 5%
 รูปที่ 6.5(ก) กำลังไฟฟ้าจะถึงจุดสูงสุดที่เวลา 21.24 วินาที จากรูปที่ 6.5(ข) กำลังไฟฟ้าจะถึงจุดสูงสุด
 ที่เวลา 23.16 วินาที ซึ่งเวลาที่ใช้ในการตามรอยของทั้งสองวิธีมีค่าใกล้เคียงกัน โดยการตามรอย
 กำลังไฟฟ้าด้วยโครงข่ายประสาทเทียมแบบเพอร์เซปตรอนหลายชั้นมีความเร็วในการตามรอยสูงกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

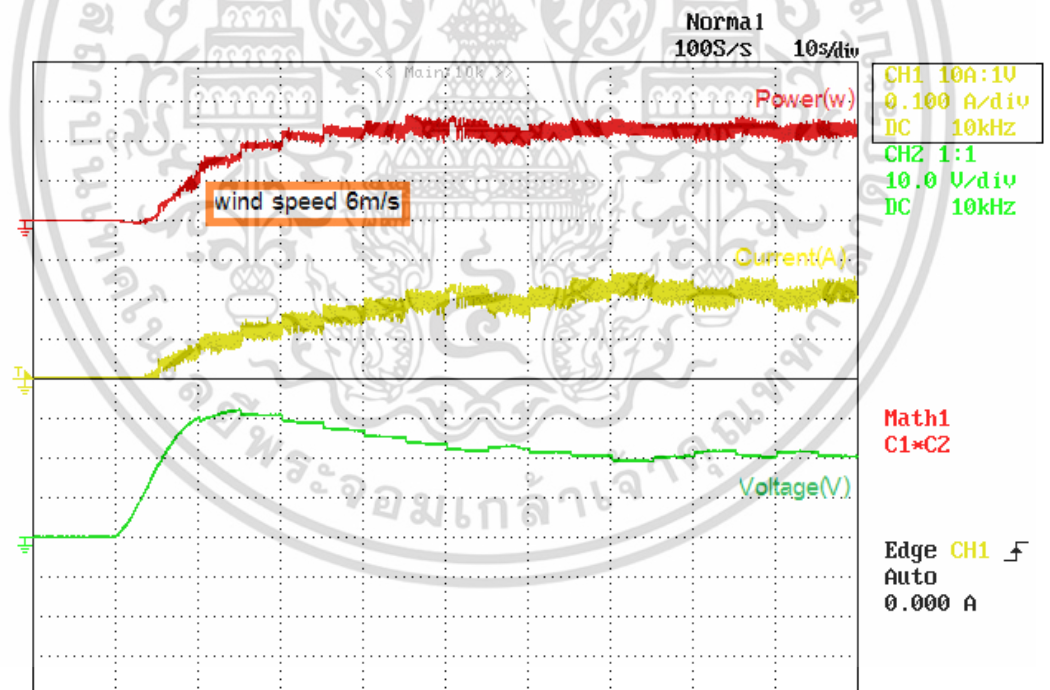


รูปที่ 6.5 เปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ความเร็วลม 5 เมตร/วินาที
(ก) โครงข่ายประสาทเทียมแบบเพอร์เซปตรอนหลายชั้น (ข) วิธีรบกวนและสังเกตที่อัตราการเปลี่ยน
ดิฟฟ์ไซเคิลเท่ากับ 5%

รูปที่ 6.6 แสดงกราฟกำลังไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และ แรงดันไฟฟ้าตามลำดับจากบนลงล่าง
รูปที่ 6.6(ก) แสดงเวลาที่ใช้ในการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยโครงข่ายประสาทเทียมแบบ
เพอร์เซปตรอนหลายชั้นที่ความเร็วลม 6 เมตร/วินาที รูปที่ 6.6(ข) แสดงเวลาที่ใช้ในการตามรอย
กำลังไฟฟ้าด้วยวิธีรบกวนและสังเกตที่อัตราการเปลี่ยนแปลงดิฟฟ์ไซเคิลเท่ากับ 5% ที่ความเร็วลม 6
เมตร/วินาที



(ก)



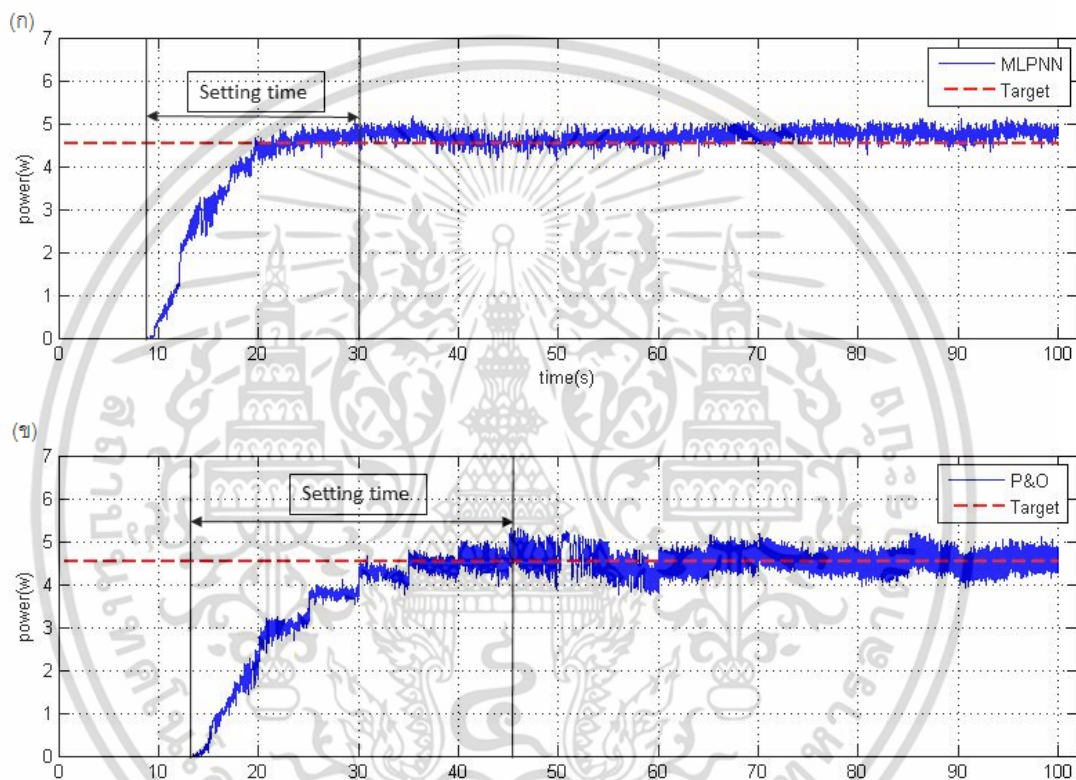
(ข)

รูปที่ 6.6 เวลาที่ใช้ในการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ความเร็วลม 6 เมตร/วินาที (ก) โครงข่าย
ประสาทเทียมแบบเพอร์เซปตรอนหลายชั้น (ข) วิธีรับกวนและสังเกตที่อัตราการเปลี่ยนดิวิตีไซเคิล

เท่ากับ5%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

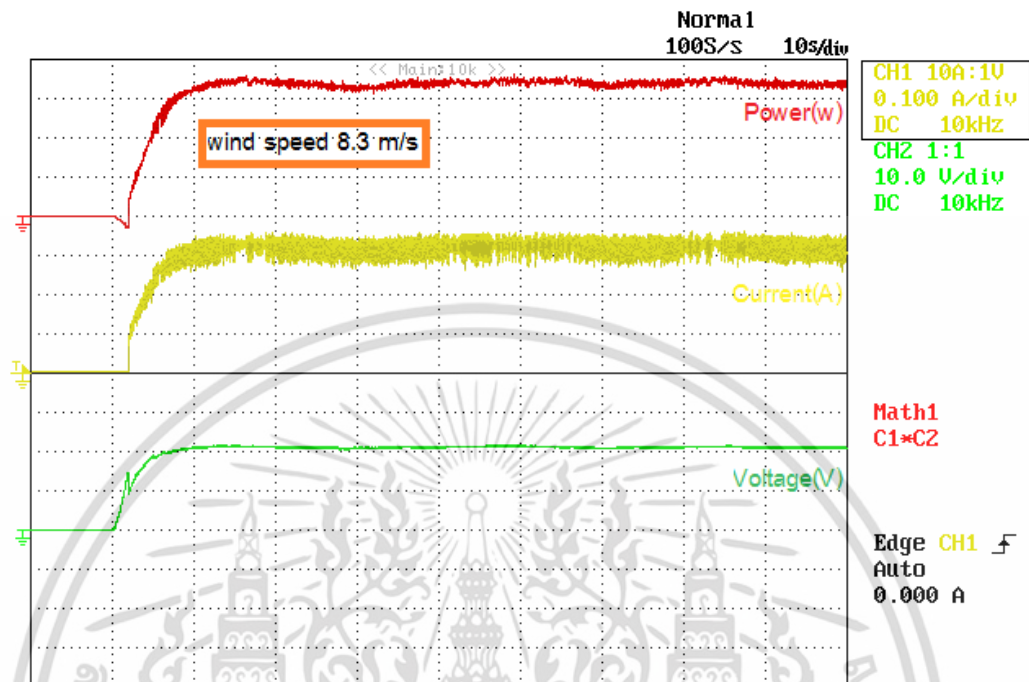
รูปที่ 6.7 เป็นการนำค่าที่ได้จากรูปที่ 6.6 มาพล็อตกราฟด้วยโปรแกรม MATLAB เพื่อเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยใช้ (ก) โครงข่ายประสาทเทียมแบบเพอร์เซปตรอนหลายชั้น และ (ข) วิธีรบกวนและสังเกตที่อัตราการเปลี่ยนแปลงคิวดัชนีเซลเท่ากับ 5% รูปที่ 6.7(ก) กำลังไฟฟ้าจะถึงจุดสูงสุดที่เวลา 20.48 วินาที จากรูปที่ 6.7(ข) กำลังไฟฟ้าจะถึงจุดสูงสุดที่เวลา 31.25 วินาที จากการทดลองพบว่าการตามรอยกำลังไฟฟ้าด้วยโครงข่ายประสาทเทียมแบบเพอร์เซปตรอนหลายชั้นมีความเร็วในการตามรอยสูงกว่า



รูปที่ 6.7 เปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ความเร็วลม 6 เมตร/วินาที (ก) โครงข่ายประสาทเทียมแบบเพอร์เซปตรอนหลายชั้น (ข) วิธีรบกวนและสังเกตที่อัตราการเปลี่ยนแปลงคิวดัชนีเซลเท่ากับ 5%

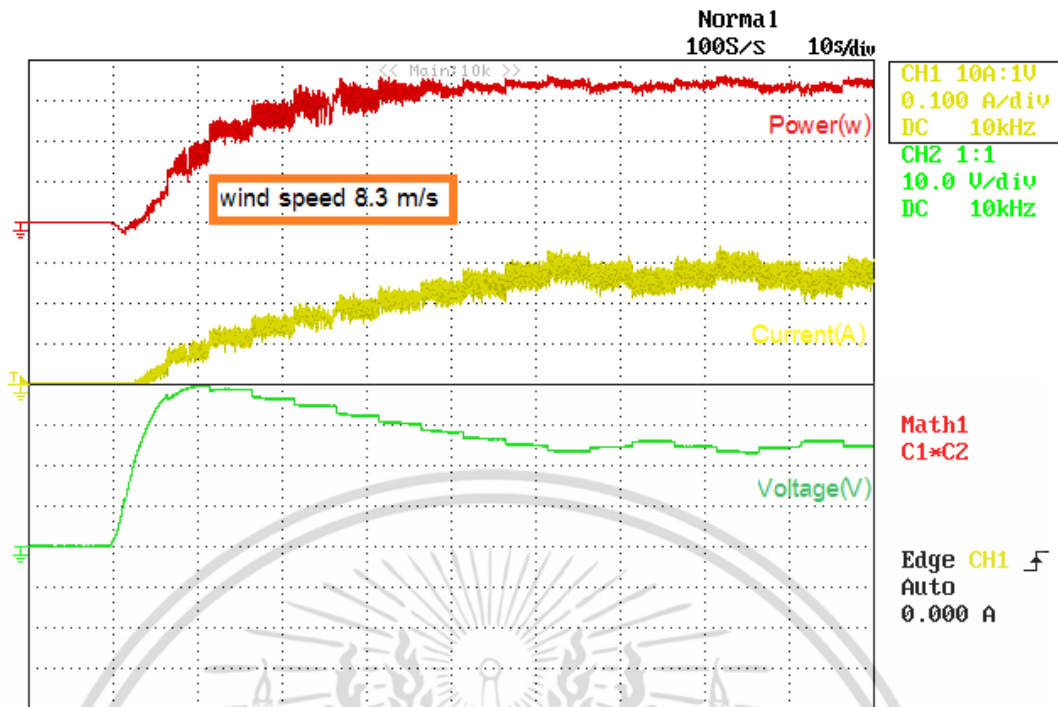
รูปที่ 6.8 แสดงกราฟกำลังไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และแรงดันไฟฟ้าตามลำดับจากบนลงล่าง รูปที่ 6.8(ก) แสดงเวลาที่ใช้ในการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยโครงข่ายประสาทเทียมแบบเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพอร์เซปตรอนหลายชั้นที่ความเร็วลม 8.3 เมตร/วินาที รูปที่ 6.8(ข) แสดงเวลาที่ใช้ในการตามรอยกำลังไฟฟ้าด้วยวิธีรบกวนและสังเกตที่อัตราการเปลี่ยนแปลงดิฟเฟอเรนเชียลเท่ากับ 5% ที่ความเร็วลม 8.3 เมตร/วินาที



(ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

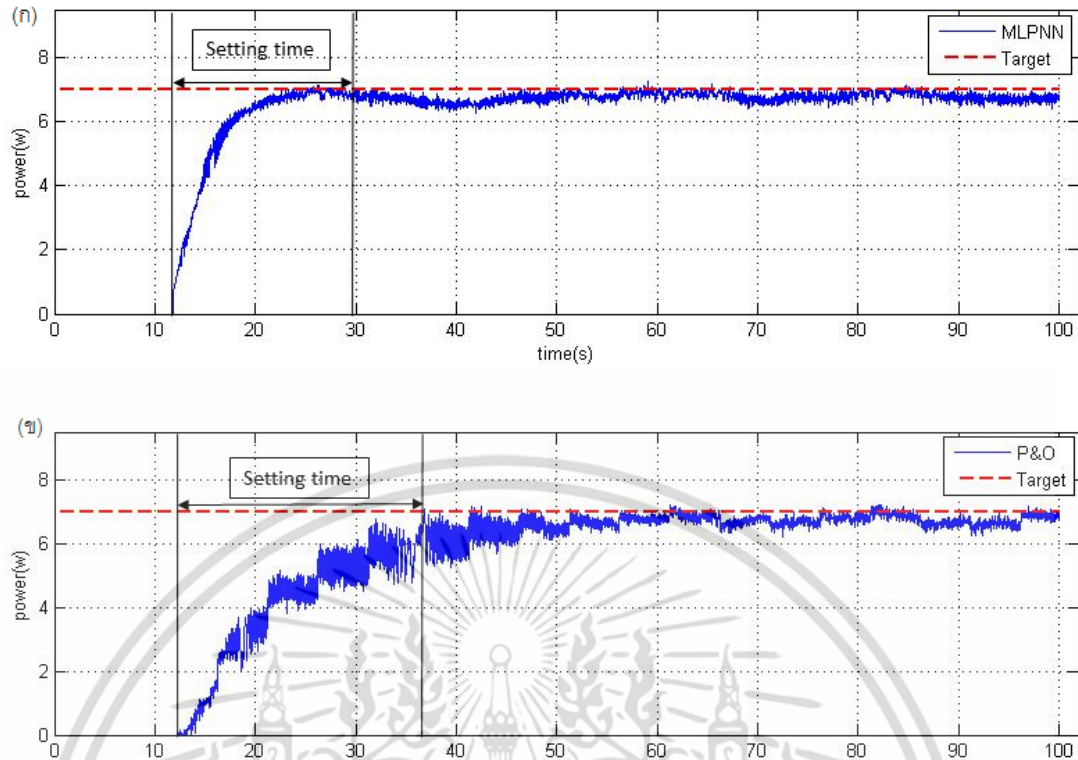


(ข)

รูปที่ 6.8 เวลาที่ใช้ในการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ความเร็วลม 8.3 เมตร/วินาที (ก) โครงข่าย
 ประสาทเทียมแบบเพอร์เซปตรอนหลายชั้น (ข) วิธีรับกวนและสังเกตที่อัตราการเปลี่ยนแปลงดิฟเฟอเรนเชียล
 เท่ากับ 5%

รูปที่ 6.9 เป็นการนำค่าที่ได้จากรูปที่ 6.8 มาพล็อตกราฟด้วยโปรแกรม MATLAB เพื่อ
 เปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยใช้ (ก) โครงข่ายประสาทเทียมแบบ
 เพอร์เซปตรอนหลายชั้น และ (ข) วิธีรับกวนและสังเกตที่อัตราการเปลี่ยนแปลงดิฟเฟอเรนเชียลเท่ากับ 5%
 รูปที่ 6.9(ก) กำลังไฟฟ้าจะถึงจุดสูงสุดที่เวลา 18.04 วินาที จากรูปที่ 6.9(ข) กำลังไฟฟ้าจะถึงจุดสูงสุด
 ที่เวลา 24.55 วินาที ซึ่งเวลาที่ใช้ในการตามรอยของทั้งสองวิธีมีค่าใกล้เคียงกัน โดยการตามรอย
 กำลังไฟฟ้าด้วยโครงข่ายประสาทเทียมแบบเพอร์เซปตรอนหลายชั้นมีความเร็วในการตามรอยสูงกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



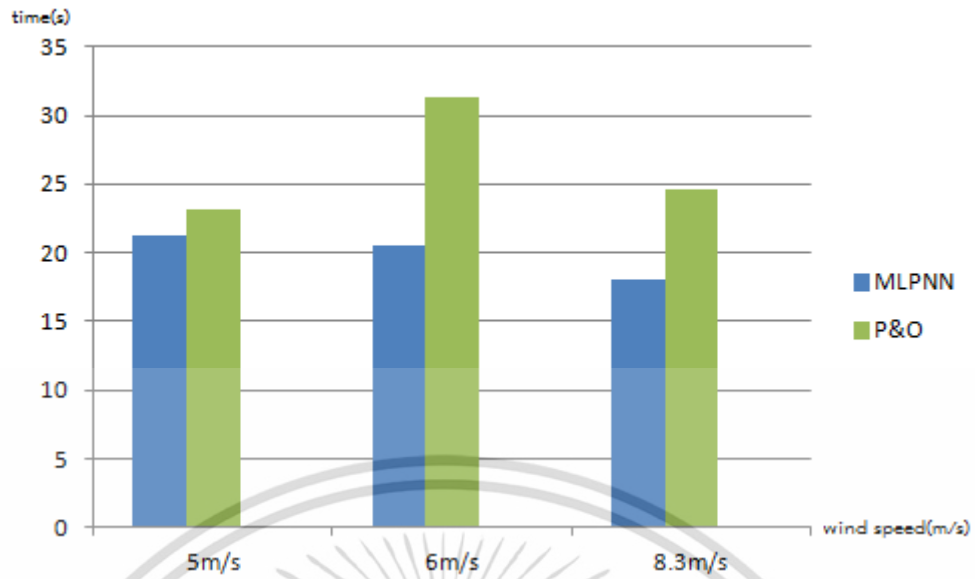
รูปที่ 6.9 เปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ความเร็วลม 8.3 เมตร/วินาที (ก) โครงข่ายประสาทเทียมแบบเพอร์เซปตรอนหลายชั้น (ข) วิธีรบกวนและสังเกตที่อัตราการเปลี่ยนแปลงตัวที่ไซเคิลเท่ากับ 5%

ตารางที่ 6.3 บันทึกเวลาที่ใช้ด้วยโครงข่ายประสาทเทียมแบบเพอร์เซปตรอนหลายชั้นและวิธีรบกวนและสังเกตที่อัตราการเปลี่ยนแปลงตัวที่ไซเคิล 5% ที่ความเร็วลม 5, 6 และ 8.3 เมตร/วินาที จากการทดลองพบว่าการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยโครงข่ายประสาทเทียมแบบเพอร์เซปตรอนหลายชั้นจะใช้เวลาในการถึงจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้เร็วกว่าวิธีรบกวนและสังเกตโดยแผนภูมิเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดดังแสดงในรูปที่ 6.10

ตารางที่ 6.3 เวลาที่ใช้ในการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุด

| Wind Speed (m/s) | Time(s) | |
|------------------|---------|------------------|
| | MLPNN | P&O step size 5% |
| 5 | 21.24 | 23.16 |
| 6 | 20.48 | 31.25 |
| 8.3 | 18.04 | 24.55 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

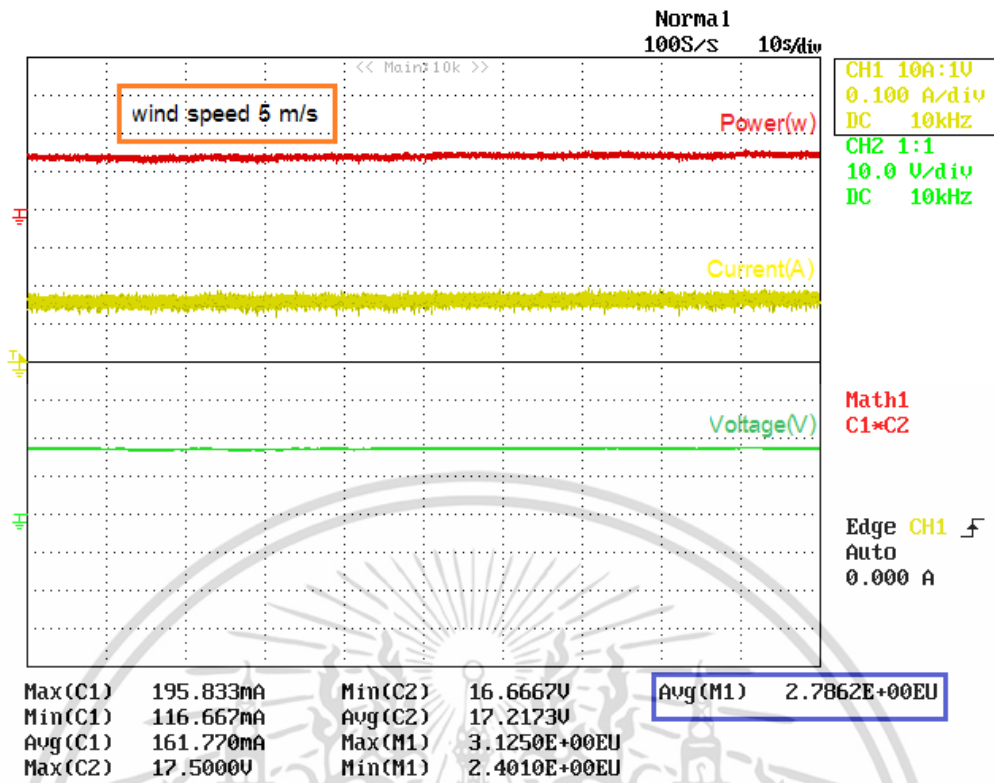


รูปที่ 6.10 แผนภูมิเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการตามรอยในการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุด

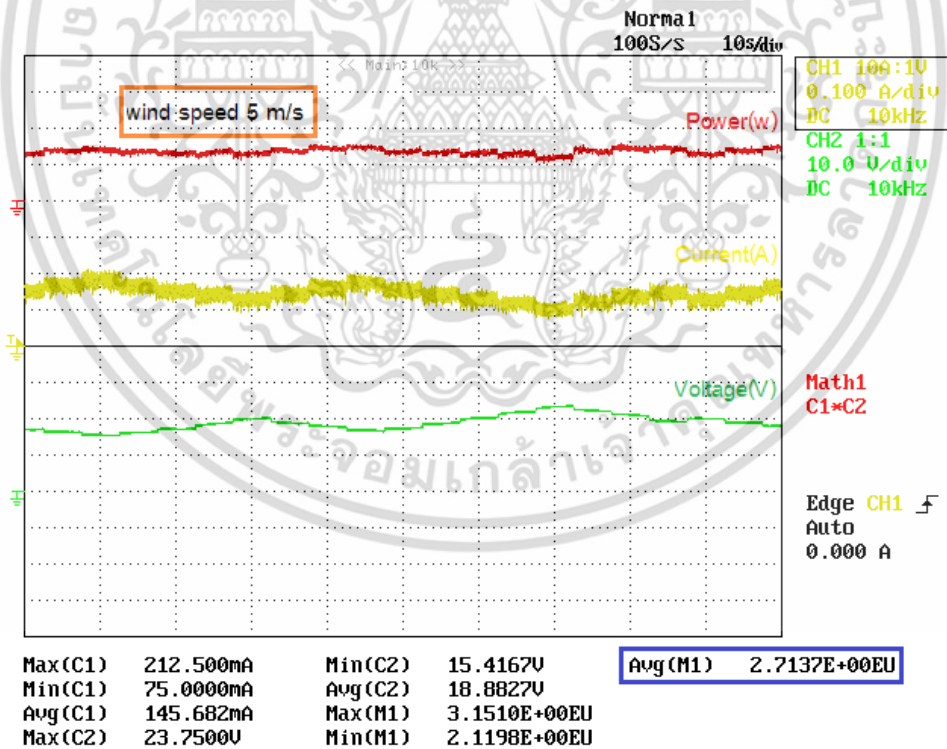
6.5 การทดลองการเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าที่ได้จากการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุด

วิธีการทดลองการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดอ้างอิงจากหัวข้อที่ 5.4 โดยในหัวข้อที่ 6.5 เป็นการทดลองการเปรียบเทียบค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้ในการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุด โดยจะทำการเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าที่ได้จากการตามรอยกำลังไฟฟ้าด้วยวิธีที่นำเสนอและวิธีรบกวนและสังเกต

รูปที่ 6.11 แสดงกราฟของกำลังไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และแรงดันไฟฟ้าตามลำดับจากบนลงล่างที่ความเร็วลม 5 เมตร/วินาที ค่า Avg(M1) ในรูปที่ 6.11 แสดงค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยที่ได้ รูปที่ 6.11(ก) แสดงกราฟกำลังไฟฟ้าที่ได้ในสถานะคงตัวที่ได้จากการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยโครงข่ายประสาทเทียมแบบเพอร์เซปตรอนหลายชั้น 6.11(ข) แสดงกราฟกำลังไฟฟ้าที่ได้ในสถานะคงตัวที่ได้จากการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยวิธีรบกวนและสังเกต ซึ่งจากการทดลองพบว่าระบบสามารถตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้จริง เนื่องจากกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับกำลังไฟฟ้าสูงสุดจากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าและดิวิตีไซเคิลซึ่งมีค่า 2.81 วัตต์



(ก)



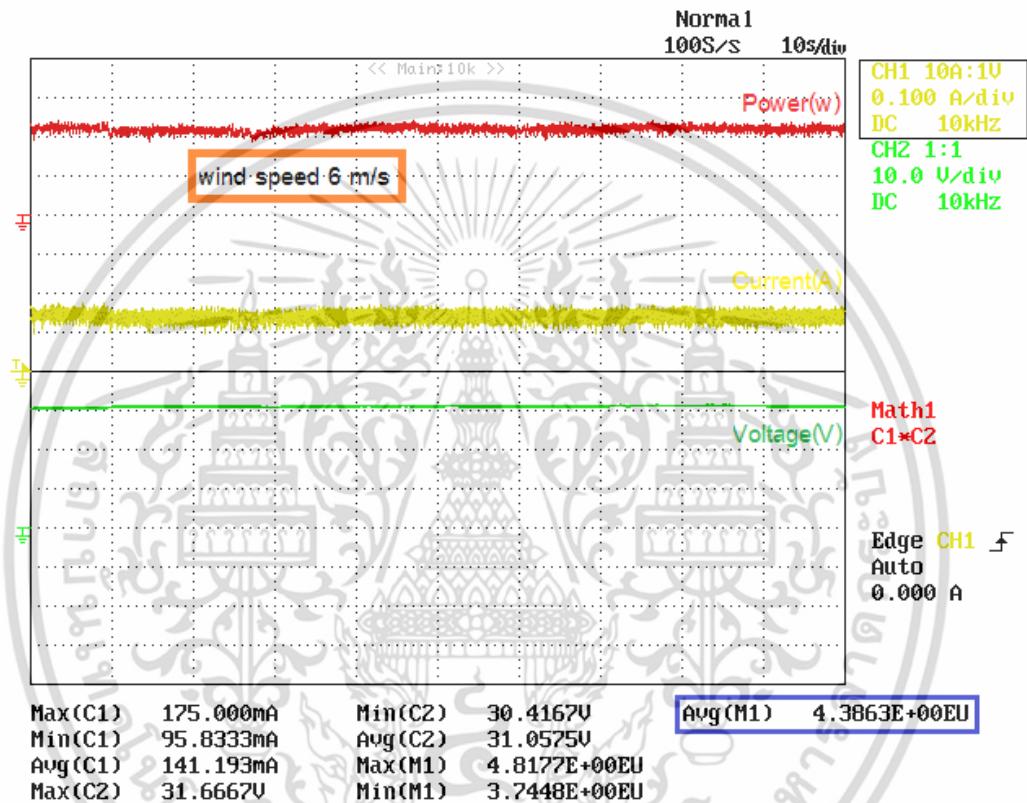
(ข)

รูปที่ 6.11 กำลังไฟฟ้าที่สภาวะคงตัว (ก) โครงข่ายประสาทดัดแบบเพอร์เซปตรอนหลายชั้น

(ข) เทคนิคบวกรวมและสังเกตที่อัตราการเปลี่ยนแปลงตัวที่ไซเคิล 5%

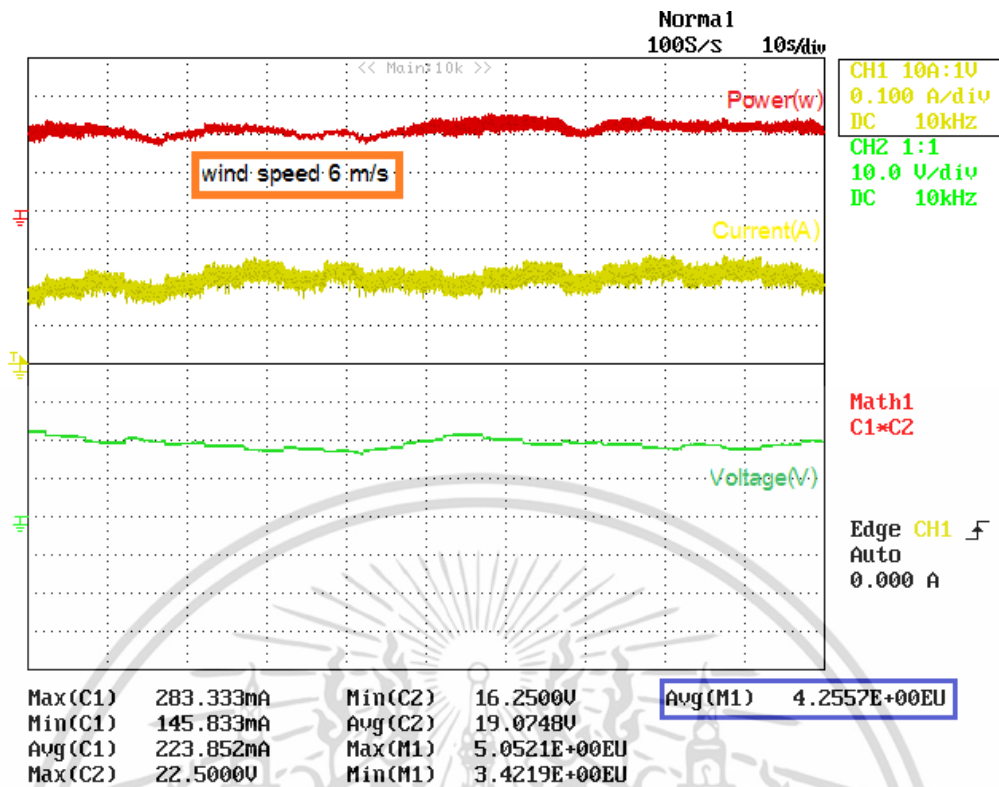
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 6.12 แสดงกราฟของกำลังไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และแรงดันไฟฟ้าตามลำดับจากบนลงล่างที่ความเร็วลม 6 เมตร/วินาทีค่าAvg(M1)ในรูปที่ 6.12 แสดงค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยที่ได้รูปที่ 6.12(ก) แสดงกราฟกำลังไฟฟ้าที่ได้ในสถานะคงตัวที่ได้จากการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยโครงข่ายประสาทเทียมแบบเพอร์เซปตรอนหลายชั้น 6.12(ข) แสดงกราฟกำลังไฟฟ้าที่ได้ในสถานะคงตัวที่ได้จากการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยวิธีรบกวนและสังเกต ซึ่งจากการทดลองพบว่าระบบสามารถตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้จริง เนื่องจากเมื่อนำกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับกำลังไฟฟ้าสูงสุดจากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าและตัวชี้เซลล์ซึ่งมีค่า 4.53 วัตต์



(ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



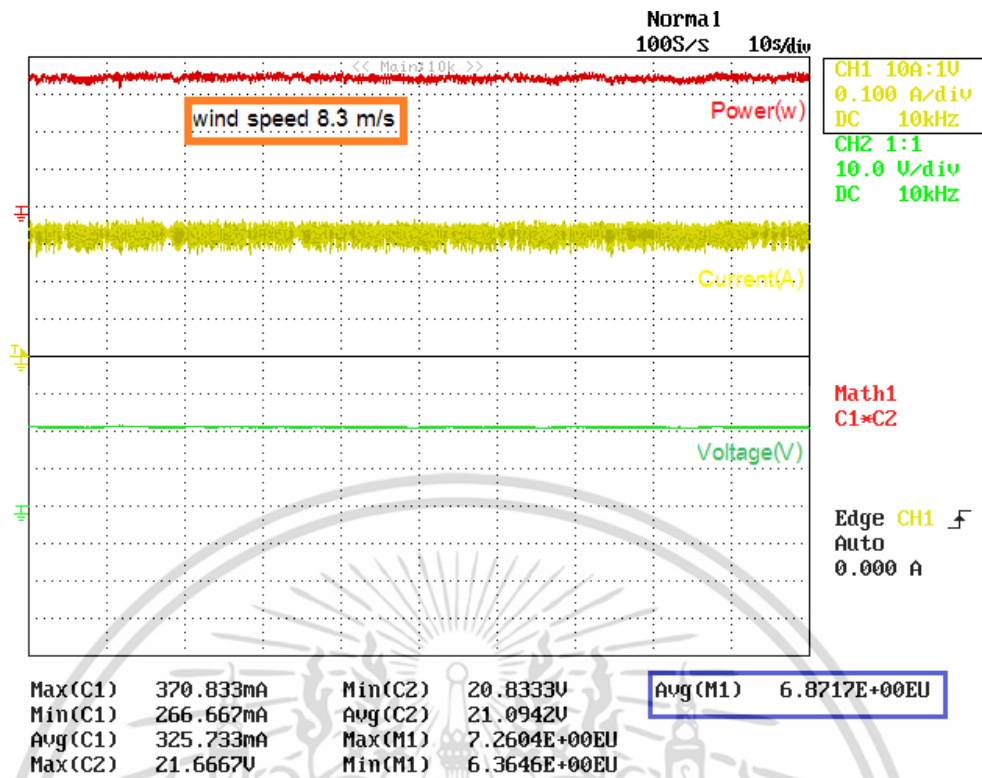
(ข)

รูปที่ 6.12 กำลังไฟฟ้าที่สภาวะคงตัว (ก) โครงข่ายประสาทดัดแบบเพอร์เซปตรอนหลายชั้น

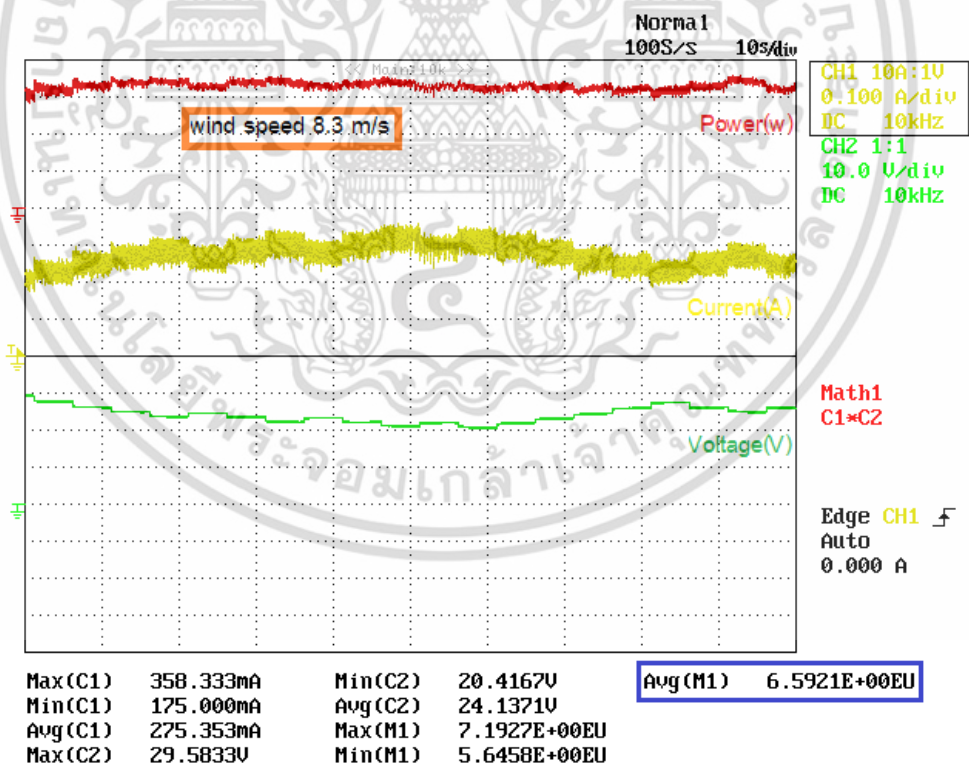
(ข) เทคนิคปรับรอบและสังเกตที่อัตราการเปลี่ยนแปลงดิฟเฟอเรนเชียล 5%

รูปที่ 6.13 แสดงกราฟของกำลังไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และแรงดันไฟฟ้าตามลำดับจากบนลงล่างที่ความเร็วลม 8.3 เมตร/วินาที ค่า Avg(M1) ในรูปที่ 6.13 แสดงค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยที่ได้รูปที่ 6.13(ก) แสดงกราฟกำลังไฟฟ้าที่ได้ในสภาวะคงตัวที่ได้จากการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยโครงข่ายประสาทดัดแบบเพอร์เซปตรอนหลายชั้น 6.13(ข) แสดงกราฟกำลังไฟฟ้าที่ได้ในสภาวะคงตัวที่ได้จากการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยวิธีการปรับรอบและสังเกต ซึ่งจากการทดลองพบว่าระบบสามารถตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้จริง เนื่องจากเมื่อนำกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับกำลังไฟฟ้าสูงสุดจากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าและดิฟเฟอเรนเชียลซึ่งมีค่า 7 วัตต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข)

รูปที่ 6.13 กำลังไฟฟ้าที่สภาวะคงตัว (ก) โครงข่ายประสาทเทียมแบบพอร์เซปตรอนหลายชั้น

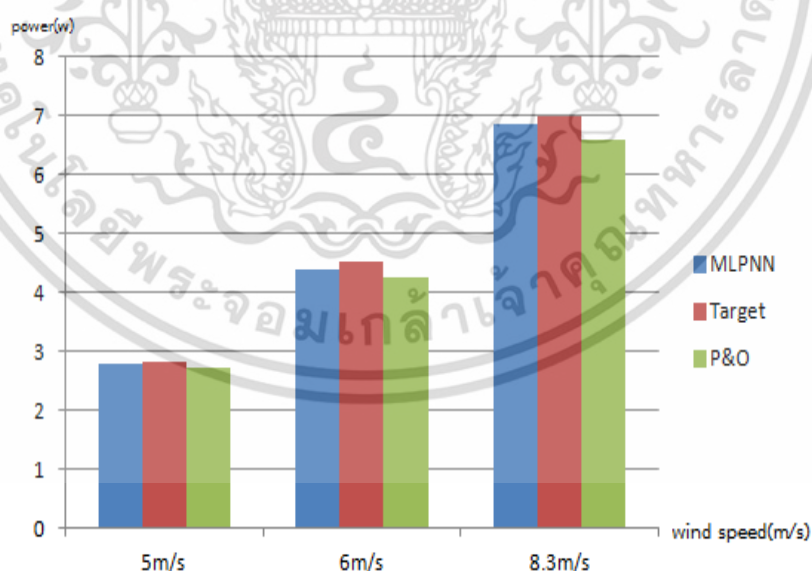
(ข) เทคนิคบวกรวนและสังเกตที่อัตราการเปลี่ยนแปลงดิฟเฟอเรนเชียล 5%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.4 กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยที่ได้จากการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุด

| Wind speed (m/s) | Power (w) | | | Error(%) | |
|------------------|-----------|-------|------|----------|------|
| | Target | MLPNN | P&O | MLPNN | P&O |
| 5 | 2.81 | 2.78 | 2.71 | 1.06 | 3.55 |
| 6 | 4.53 | 4.38 | 4.25 | 3.31 | 6.18 |
| 8.3 | 7 | 6.87 | 6.59 | 1.85 | 5.85 |

ตารางที่ 6.4 บันทึกกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยที่ได้จากการตามรอยกำลังด้วยโครงข่ายประสาทเทียมแบบเพอร์เซปตรอนหลายชั้นและวิธีรบกวนและสังเกตที่อัตราการเปลี่ยนแปลงตัวที่ไซเคิล 5% ที่ความเร็วลม 5,6 และ 8.3 เมตร/วินาที จากการทดลองพบว่าการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยโครงข่ายประสาทเทียมแบบเพอร์เซปตรอนหลายชั้นได้กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยสูงกว่าวิธีรบกวนและสังเกต แผนภูมิแท่งเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยที่ได้แสดงในรูปที่ 6.14 แผนภูมิแท่งสีฟ้าแสดงกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยจากการตามรอยด้วยโครงข่ายประสาทเทียมแบบเพอร์เซปตรอนหลายชั้น สีแดงเป็นกำลังไฟฟ้าเป้าหมาย และ สีเขียวเป็นกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยจากการตามรอยด้วยวิธีรบกวนและสังเกต



รูปที่ 6.14 แผนภูมิเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยที่ได้จากการตามรอยในการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุด

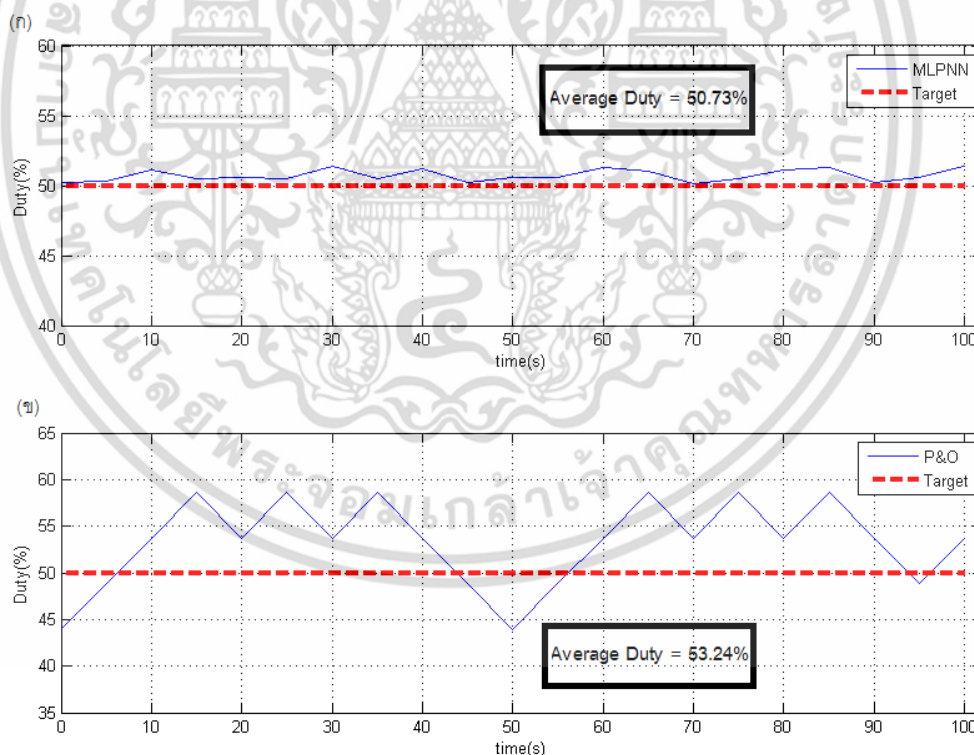
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.6 การทดลองการเปรียบเทียบดิวตี้ไซเคิลในการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุด

วิธีการทดลองการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดอ้างอิงจากหัวข้อที่ 5.4 โดยในหัวข้อที่ 6.6 เป็นการทดลองการเปรียบเทียบดิวตี้ไซเคิลที่ได้จากการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุด โดยจะทำการเปรียบเทียบดิวตี้ไซเคิลจากการตามรอยกำลังไฟฟ้าด้วยโครงข่ายประสาทเทียมแบบเพอร์เซปตรอนหลายชั้นและวิธีรบกวนและสังเกต

จากหัวข้อที่ 6.3 ค่าดิวตี้ไซเคิลที่เหมาะสมที่ทำให้เกิดกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ความเร็วลม 5 เมตร/วินาที เท่ากับ 50 เปอร์เซ็นต์ ที่ความเร็วลม 6 เมตร/วินาที เท่ากับ 55 เปอร์เซ็นต์ ที่ความเร็วลม 8.3 เมตร/วินาที เท่ากับ 70 เปอร์เซ็นต์

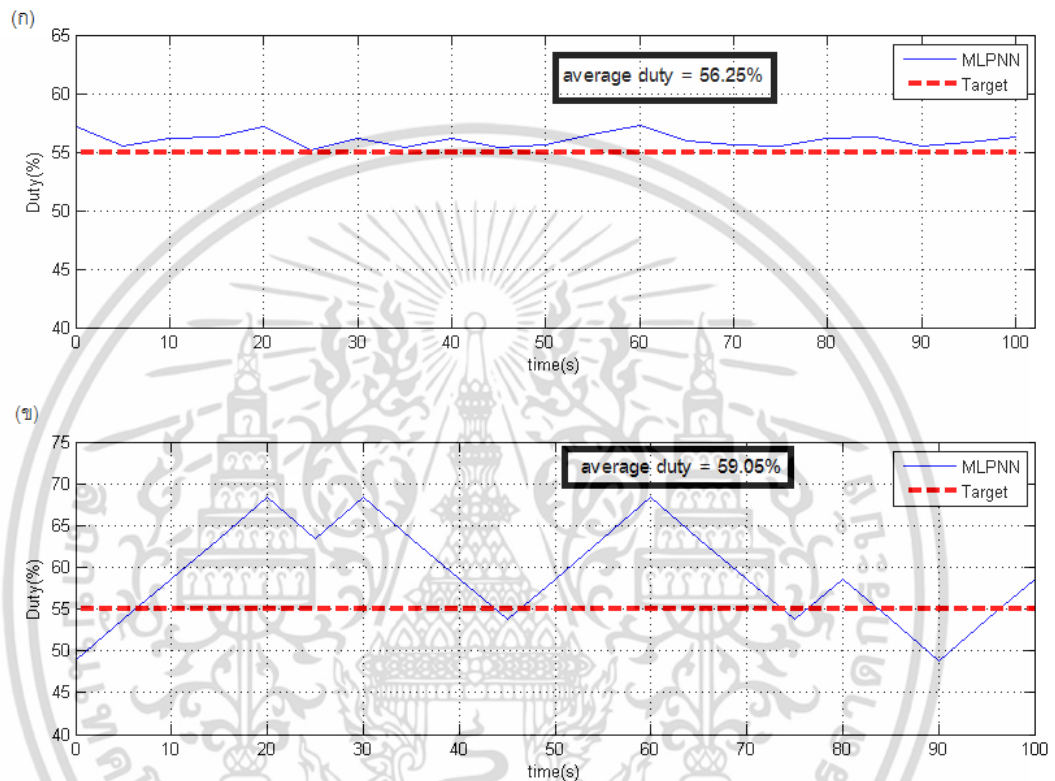
รูปที่ 6.15 แสดงค่าดิวตี้ไซเคิลที่ได้จากการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่สภาวะกำลังไฟฟ้าคงตัวที่ความเร็วลม 5 เมตร/วินาที โดยกราฟเส้นเส้นทึบเป็นค่าดิวตี้ไซเคิลที่ได้จากการตามรอยกำลังไฟฟ้า และเส้นประเป็นค่าดิวตี้ไซเคิลเป้าหมาย รูปที่ 6.15(ก) ดิวตี้ไซเคิลที่ได้จากโครงข่ายประสาทเทียมแบบเพอร์เซปตรอนหลายชั้น ดิวตี้ไซเคิลเฉลี่ยที่ได้มีค่า 50.73% รูปที่ 6.15(ข) ดิวตี้ไซเคิลจากวิธีรบกวนและสังเกตอัตราการเปลี่ยนแปลงดิวตี้ไซเคิลที่ 5% ดิวตี้ไซเคิลเฉลี่ยที่ได้มีค่า 53.24% ซึ่งจะเห็นว่าดิวตี้ไซเคิลที่ได้จากโครงข่ายประสาทเทียมจะมีการแกว่งที่น้อยกว่า



รูปที่ 6.15 การเปรียบเทียบดิวตี้ไซเคิลที่ได้และดิวตี้ไซเคิลที่เหมาะสม (ก)โครงข่ายประสาทเทียมแบบเพอร์เซปตรอนหลายชั้น วิธีรบกวนและสังเกต (ข)วิธีรบกวนและสังเกตที่อัตราการเปลี่ยนแปลงดิวตี้ไซเคิล 5%

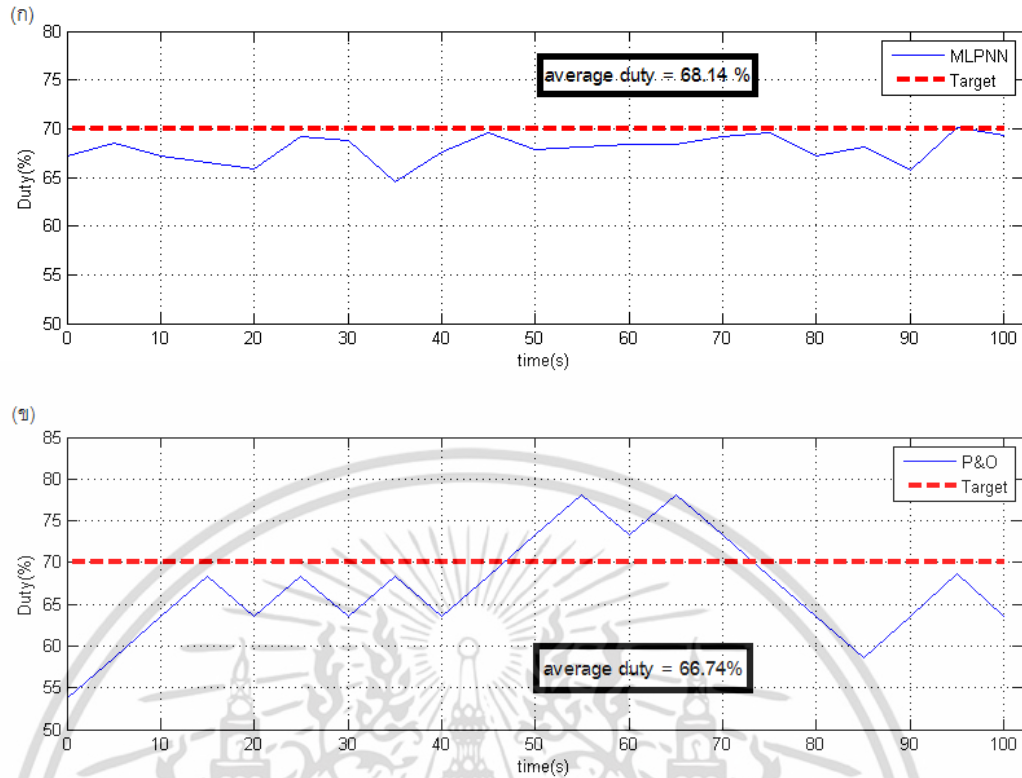
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 6.16 แสดงค่าดิวตี้ไซเคิลที่ได้จากการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่สภาวะกำลังไฟฟ้าคงตัวที่ความเร็วลม 6 เมตร/วินาที โดยกราฟเส้นสีน้ำเงินเป็นค่าดิวตี้ไซเคิลที่ได้จากการตามรอยกำลังไฟฟ้า และเส้นประเป็นค่าดิวตี้ไซเคิลเป้าหมาย รูปที่ 6.16(ก) ดิวตี้ไซเคิลที่ได้จากโครงข่ายประสาทเทียมแบบเพอร์เซปตรอนหลายชั้น ดิวตี้ไซเคิลเฉลี่ยที่ได้มีค่า 56.23% รูปที่ 6.16(ข) ดิวตี้ไซเคิลจากวิธีรบกวนและสังเกตอัตราการเปลี่ยนแปลงดิวตี้ไซเคิลที่ 5% ดิวตี้ไซเคิลเฉลี่ยที่ได้มีค่า 53.24% ซึ่งจะเห็นว่าดิวตี้ไซเคิลที่ได้จากโครงข่ายประสาทเทียมจะมีการแกว่งที่น้อยกว่า



รูปที่ 6.16 การเปรียบเทียบดิวตี้ไซเคิลที่ได้และดิวตี้ไซเคิลที่เหมาะสม (ก)โครงข่ายประสาทเทียมแบบเพอร์เซปตรอนหลายชั้น วิธีรบกวนและสังเกต (ข)วิธีรบกวนและสังเกตที่อัตราการเปลี่ยนแปลงดิวตี้ไซเคิล 5%

รูปที่ 6.17 แสดงค่าดิวตี้ไซเคิลที่ได้จากการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่สภาวะกำลังไฟฟ้าคงตัวที่ความเร็วลม 8.3 เมตร/วินาที โดยกราฟเส้นสีน้ำเงินเป็นค่าดิวตี้ไซเคิลที่ได้จากการตามรอยกำลังไฟฟ้า และ เส้นประเป็นค่าดิวตี้ไซเคิลเป้าหมาย รูปที่ 6.17(ก) ดิวตี้ไซเคิลที่ได้จากโครงข่ายประสาทเทียมแบบเพอร์เซปตรอนหลายชั้น ดิวตี้ไซเคิลเฉลี่ยที่ได้มีค่า 68.14% รูปที่ 6.17(ข) ดิวตี้ไซเคิลจากวิธีรบกวนและสังเกตอัตราการเปลี่ยนแปลงดิวตี้ไซเคิลที่ 5% ดิวตี้ไซเคิลเฉลี่ยที่ได้มีค่า 66.74% ซึ่งจะเห็นว่าดิวตี้ไซเคิลที่ได้จากโครงข่ายประสาทเทียมจะมีการแกว่งที่น้อยกว่า



รูปที่ 6.17 การเปรียบเทียบดิวตี้ไซเคิลที่ได้และดิวตี้ไซเคิลที่เหมาะสม (ก)โครงข่ายประสาทเทียมแบบเพอร์เซปตรอนหลายชั้น วิธีรบกวนและสังเกต (ข)วิธีรบกวนและสังเกตที่อัตราการเปลี่ยนแปลงดิวตี้ไซเคิล 5%

ตารางที่ 6.5 บันทึกดิวตี้ไซเคิลเฉลี่ยที่ได้จากการตามรอยด้วยโครงข่ายประสาทเทียมแบบเพอร์เซปตรอนหลายชั้น และ วิธีรบกวนและสังเกต ที่ความเร็วลม 5.6 และ 8.3 เมตร/วินาที ซึ่งค่าความผิดพลาดนั้นจะใช้ Mean Absolute Percentage Error(MAPE) ซึ่งเหมาะจะใช้ในการหาค่าความแม่นยำของค่าที่คาดการณ์ ซึ่งมาจาก

$$e = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \left| \frac{A_t - F_t}{A_t} \right|$$

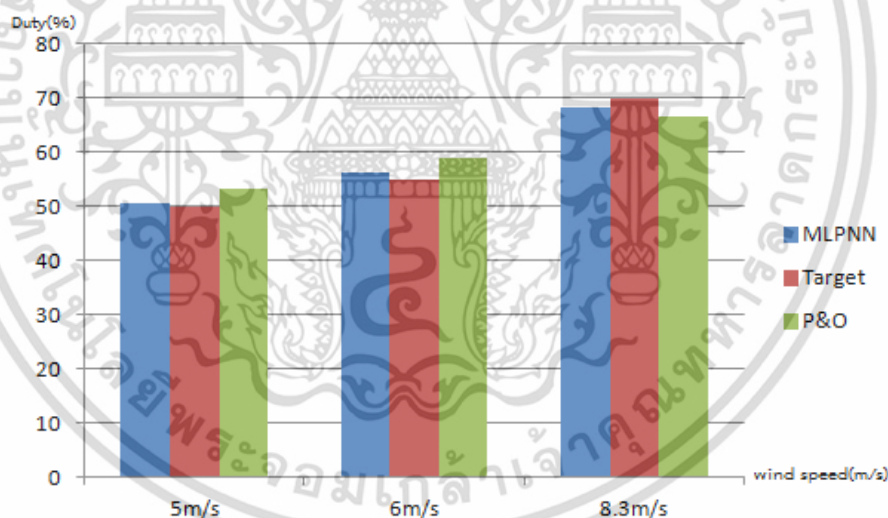
เมื่อ A_t คือค่าจริง และ F_t คือค่าที่คาดการณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.5 เปรียบเทียบค่าดิวตี้ไซเคิล

| Wind speed (m/s) | Output duty cycle(%) | | | MAPE(%) | |
|------------------|----------------------|-------|-----------------------|---------|-----------------------|
| | Target | MLPNN | P&O with step size 5% | MLPNN | P&O with step size 5% |
| 5 | 50 | 50.73 | 53.24 | 1.46 | 6.48 |
| 6 | 55 | 56.25 | 59.05 | 2.27 | 7.38 |
| 8.3 | 70 | 68.14 | 66.74 | 2.65 | 4.65 |

รูปที่ 6.18 แสดงแผนภูมิแท่งเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยที่ แผนภูมิแท่งสีฟ้าแสดงดิวตี้ไซเคิลเฉลี่ยจากการตามรอยด้วยโครงข่ายประสาทเทียมแบบเพอร์เซปตรอนหลายชั้น สีแดงเป็นดิวตี้ไซเคิลเป้าหมาย และ สีเขียวเป็นดิวตี้ไซเคิลเฉลี่ยจากการตามรอยด้วยวิธีรบกวนและสังเกต จากแผนภูมิเปรียบเทียบจะเห็นว่า การตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยโครงข่ายประสาทเทียมแบบเพอร์เซปตรอนหลายชั้นจะมีค่าใกล้เคียงกับค่าเป้าหมาย



รูปที่ 6.18 แผนภูมิเปรียบเทียบดิวตี้ไซเคิลเฉลี่ยที่ได้จากการตามรอยในการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุด

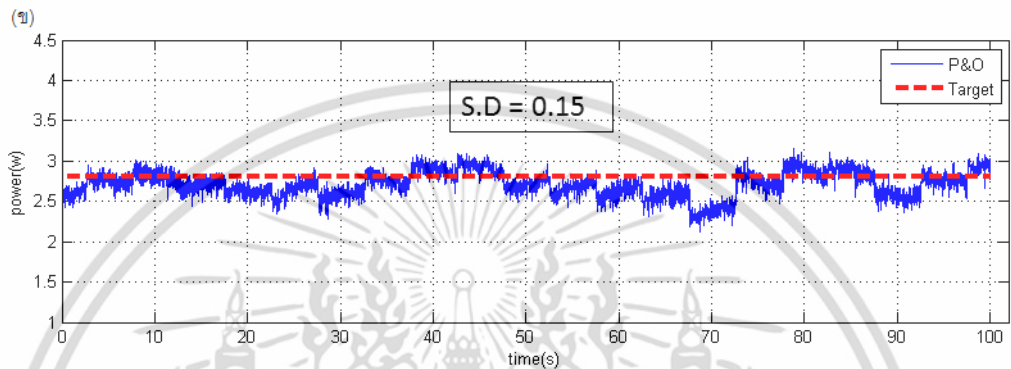
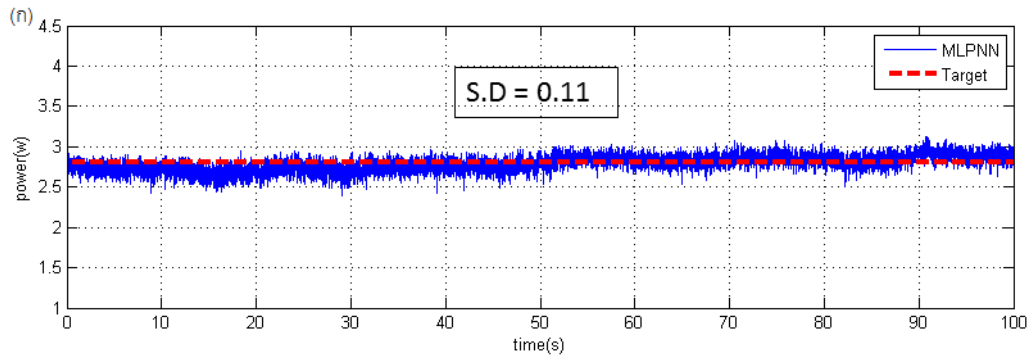
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.7 การทดลองการเปรียบเทียบการแกว่งของกำลังไฟฟ้าที่ได้จากการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุด

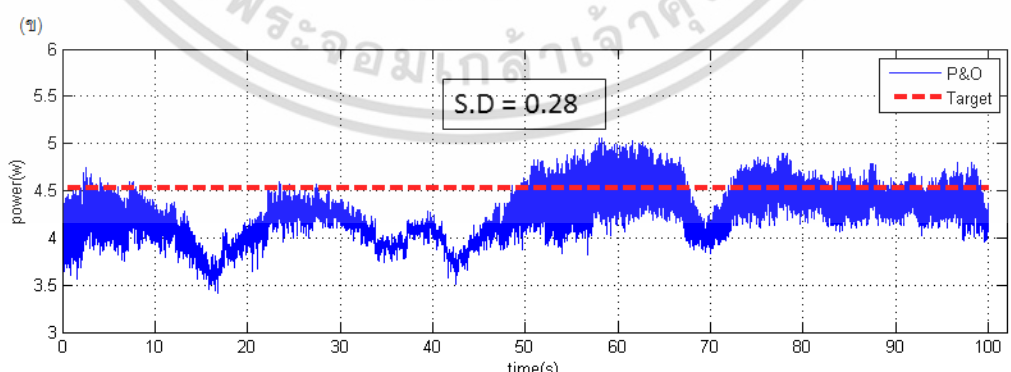
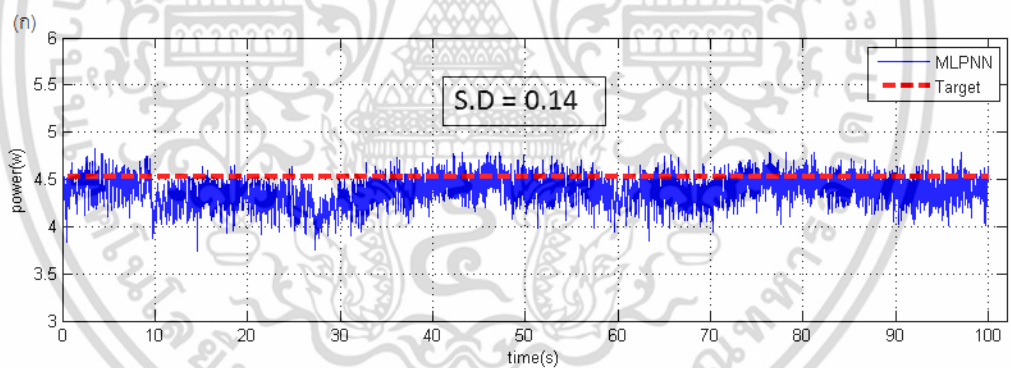
รูปที่ 6.19 แสดงกราฟกำลังไฟฟ้าที่สภาวะคงตัวโดยพล็อตจากโปรแกรม MATLAB เพื่อนำมาหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation , S.D) เพื่อที่จะใช้วิเคราะห์การกระจายของข้อมูล ซึ่งค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้จะสามารถบ่งบอกถึงค่าการแกว่งของกำลังที่สภาวะคงตัวได้ รูปที่ 6.19(ก) แสดงค่ากำลังไฟฟ้าที่สภาวะคงตัวด้วยโครงข่ายประสาทเทียมแบบเพอร์เซปตรอนหลาย-ชั้น ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.11 รูปที่ 6.19(ข) แสดงค่ากำลังไฟฟ้าที่สภาวะคงตัวด้วยวิธีรบกวนและสังเกตที่อัตราการเปลี่ยนแปลงดิฟเฟอเรนเชียลเท่ากับ 5% ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.15

รูปที่ 6.20 แสดงกราฟกำลังไฟฟ้าที่สภาวะคงตัวโดยพล็อตจากโปรแกรม MATLAB เพื่อนำมาหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation , S.D) เพื่อที่จะใช้วิเคราะห์การกระจายของข้อมูล รูปที่ 6.20(ก) แสดงค่ากำลังไฟฟ้าที่สภาวะคงตัวด้วยโครงข่ายประสาทเทียมแบบเพอร์เซปตรอนหลายชั้น ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.14 รูปที่ 6.20(ข) แสดงค่ากำลังไฟฟ้าที่สภาวะคงตัวด้วยวิธีรบกวนและสังเกตที่อัตราการเปลี่ยนแปลงดิฟเฟอเรนเชียลเท่ากับ 5% ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.28

รูปที่ 6.21 แสดงกราฟกำลังไฟฟ้าที่สภาวะคงตัวโดยพล็อตจากโปรแกรม MATLAB เพื่อนำมาหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation , S.D) เพื่อที่จะใช้วิเคราะห์การกระจายของข้อมูล รูปที่ 6.21(ก) แสดงค่ากำลังไฟฟ้าที่สภาวะคงตัวด้วยโครงข่ายประสาทเทียมแบบเพอร์เซปตรอนหลายชั้น ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.11 รูปที่ 6.21(ข) แสดงค่ากำลังไฟฟ้าที่สภาวะคงตัวด้วยวิธีรบกวนและสังเกตที่อัตราการเปลี่ยนแปลงดิฟเฟอเรนเชียลเท่ากับ 5% ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.2

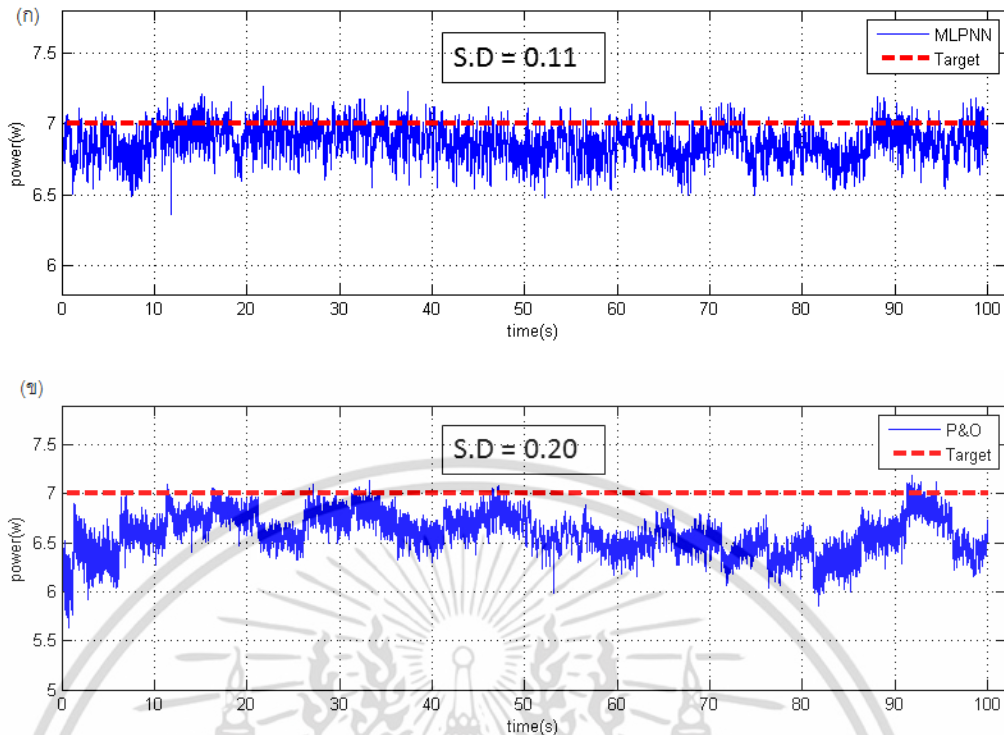


รูปที่ 6.19 เปรียบเทียบการแกว่งกำลังไฟฟ้าที่สภาวะคงตัว (ก)โครงข่ายประสาทยูเอ็มแบบเพอร์เซปตรอนหลายชั้น (ข)วิธีรบกวนและสังเกตที่อัตราการเปลี่ยนแปลงดิวตี้ไซเคิล 5%



รูปที่ 6.20 เปรียบเทียบการแกว่งกำลังไฟฟ้าที่สภาวะคงตัว (ก)โครงข่ายประสาทยูเอ็มแบบเพอร์เซปตรอนหลายชั้น (ข)วิธีรบกวนและสังเกตที่อัตราการเปลี่ยนแปลงดิวตี้ไซเคิล 5%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



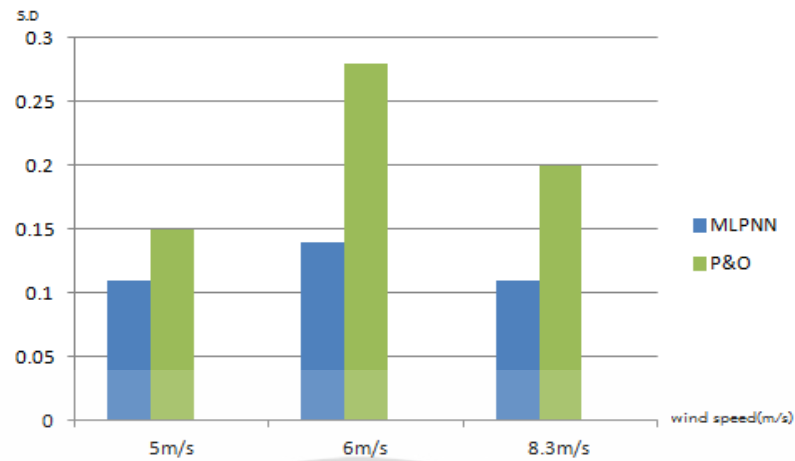
รูปที่ 6.21 เปรียบเทียบการแกว่งกำลังไฟฟ้าที่สภาวะคงตัว (ก)โครงข่ายประสาทยูเอ็มแบบเพอร์เซปตรอนหลายชั้น (ข)วิธีรบกวนและสังเกตที่อัตราการเปลี่ยนแปลงดีวีทีไซเคิล 5%

ตารางค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน(standard deviation , S.D)ที่ได้จากการทดลองบันทึกในตารางที่ 6.5 ตารางที่ 6.6 เปรียบเทียบค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

| Wind Speed(m/s) | S.D | |
|-----------------|-------|------------------|
| | MLPNN | P&O step size 5% |
| 5 | 0.11 | 0.15 |
| 6 | 0.14 | 0.28 |
| 8.3 | 0.11 | 0.20 |

แผนภูมิแท่งเปรียบเทียบค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานดังแสดงในรูปที่ 6.22 ซึ่งจะเห็นว่าการตามรอยกำลังสูงสุดด้วยโครงข่ายประสาทยูเอ็มนั้นจะมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่น้อยกว่าเนื่องจากการแกว่งของดีวีทีไซเคิลมีค่าน้อยดังแสดงในรูปที่ 6.15-6.17 ทำให้การแกว่งของกำลังไฟฟ้าน้อยกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.22 แผนภูมิเปรียบเทียบค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

รูปที่ 6.22 แสดงแผนภูมิเปรียบเทียบค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน โดยแกนตั้งเป็นค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานและแกนนอนเป็นความเร็วลม โดยกราฟแท่งสีน้ำเงินแสดงค่า S.D ของการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยโครงข่ายประสาทเทียม กราฟแท่งสีเขียวแสดงค่า S.D ของการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยวิธีรบกวนและสังเกต ซึ่งจะเห็นว่าการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยโครงข่ายประสาทเทียมนั้นจะมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่น้อยกว่า

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

7.1 สรุปผลการทดลอง

จากการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยใช้วิธีการที่นำเสนอ คือ การตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยวิธีรบกวนและสังเกตและโครงข่ายประสาทเทียม ทั้งสองวิธีที่นำเสนอนี้สามารถตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้ทั้งสองวิธี โดยสามารถตรวจสอบจากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าและดิวิตีไซเคิล ซึ่งกำลังไฟฟ้าที่ได้จากทั้งสองวิธีนั้นมีค่าใกล้เคียงกับกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ได้จากความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าและดิวิตีไซเคิลที่ความเร็วลมนั้นๆ

จากการทดลองการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดพบว่า การตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยวิธีรบกวนและสังเกตให้ค่าการแกว่งของกำลังไฟฟ้าที่สภาวะคงตัวสูง เนื่องจากการตามรอยกำลังไฟฟ้าด้วยวิธีรบกวนและสังเกตนั้นมีการปรับดิวิตีไซเคิลตลอดเวลาทำให้กำลังไฟฟ้าเกิดการแกว่ง ซึ่งการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยโครงข่ายประสาทเทียมแบบเพอร์เซปตรอนหลายชั้นจะช่วยลดปัญหาการแกว่งของกำลังไฟฟ้าที่สภาวะคงตัวได้เนื่องจากการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยโครงข่ายประสาทเทียมนั้นสามารถคาดการณ์ดิวิตีไซเคิลได้ใกล้เคียงกับค่าดิวิตีไซเคิลที่เหมาะสมหากมีการสอนโครงข่ายประสาทเทียมที่มากเพียงพอ

ในการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยวิธีรบกวนและสังเกตนั้นจำเป็นต้องมีการกำหนดค่าดิวิตีไซเคิลเริ่มต้น ซึ่งหากกำหนดค่าดิวิตีไซเคิลเริ่มต้นไม่เหมาะสมนั้นจะทำให้ใช้เวลาในการตามรอยกำลังไฟฟ้ามากกว่าและยังทำให้เกิดความผิดพลาดในการได้รับดิวิตีไซเคิลที่ใกล้จุดที่เหมาะสมที่จะทำให้เกิดกำลังไฟฟ้าสูงสุด ซึ่งการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยโครงข่ายประสาทเทียมแบบเพอร์เซปตรอนหลายชั้นจะช่วยลดเวลาในการตามกำลังไฟฟ้าได้เนื่องจากไม่จำเป็นต้องกำหนดค่าดิวิตีไซเคิลเริ่มต้นและอัตราการเปลี่ยนแปลงดิวิตีไซเคิลอีกด้วย

7.2 ข้อเสนอแนะ

1. ในการออกแบบโครงข่ายประสาทดัดเทียมควรมีจำนวนข้อมูลในการนำมาสอนที่มากพอ เพื่อไม่ให้เกิดค่าความผิดพลาด
2. สัญญาณรบกวนต่างๆจำเป็นต้องกรองออกโดยวงจรกรองเพื่อไม่ให้วงจรควบคุมคำนวณดิฟเฟอเรนเชียลที่ใช้ในการขับวงจรทอนแรงดันผิดพลาด
3. เซนเซอร์แรงดันและกระแสควรแยกกับวงจรควบคุมเพื่อป้องกันวงจรควบคุมไม่ให้เกิดการเสียหายจากการลัดวงจร
4. การตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยวิธีรบกวนและสังเกตควมมีอัตราการเปลี่ยนดิฟเฟอเรนเชียลที่ไม่มากเกินไปเพราะจะทำให้ระบบพลังงานล้มเกิดการผิดพลาด
5. ควรมีความระมัดระวังในการใช้วงจรเพื่อไม่ให้มีความเสียหายเกิดขึ้น
6. ในการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดการปรับเปลี่ยนโหลดความต้านทานนั้นทำให้ค่าดิฟเฟอเรนเชียลที่เหมาะสมเปลี่ยนไปดังนั้นการเพิ่มโหลดความต้านทานให้เป็นอีกอินพุตกับโครงข่ายประสาทดัดเทียมจึงเป็นอีกหนี่งทางเลือกเพื่อให้การตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยโครงข่ายประสาทดัดเทียมมีความยืดหยุ่นในการคาดการณ์มากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] R.M Zavadil , **Wind Generation System Technical Characteristic for the NYSERDA Wind Impact Study**,Knoxville,TN:EnerNex ,November 2003
- [2] Abdullah M.A. , Yatim A.H.M. , Tan C.W. , and Saidur R. “**A review of maximum power point tracking algorithms for wind energy system**”, renewable and Sustainable Energy Reviews 16,2012
- [3] R.Kot , M.Rolak , and M.Malinowski “**Comparison of maximum peak power tracking algorithm for small wind turbine**”, Mathamatical and Computer in simulation 91 29-40, 2013
- [4] Chiung Hsinh Chen , Chih-Ming Hong , and Fu-Sheng Cheng “**Intelligent speed sensorless maximum power point tracking control for wind generation system**”, Electrical power and Energy systems 42,2012.
- [5] Chun-Yao Lee , Po-Hung Chen , and Yi-Xing Shen “**Maximum power point tracking(MPPT) system of small wind power generator using RBFNN approach**”, Expert Systems with Applications 38,2011.
- [6] Soheil Ganhefar , Ali Akbar Ghassemi , and Mohamad Mehdi Ahmadi “**Improving efficiency of two-type maximum power point tracking methods of tip-speed ratio and optimum torque in wind turbine system using a quantum neural network**”, Energy 67 , 2014
- [7] Dr.Horizon Gitano-Briggs ,**Small wind turbine power controller**, Malaysia: Intech
- [8] Kidwind science snack,**Understanding coefficient of power and Betz Limit** ,Minneapolis : Kidwind Project
- [9] คณะวิศวกรรมศาสตร์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง,2014,
โครงข่ายประสาทเทียมเชิงปฏิบัติสำหรับงานวิศวกรรมไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง(ต่อ)

- [10] Pham, D.T.,and X Liu, **Neural Networks for Identification Prediction and Control Springer Verlag,London,1995**
- [11] Park,J.,and I Sandberge,Universal “**Approximation Using Radial-Basis-Function Network,Neural Computation**”,Vol.3,246-257
- [12] Heikki N. Koivo,**NEURAL NETWORKS: Basics using MATLAB Neural Network toolbox**, February 1 ,2008
- [13] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน,2015,**คู่มือการพัฒนาและการลงทุนกังหันลมผลิตไฟฟ้า**
- [14] P.SIBI,S.ALLWYN JONES,and P.SIDDARTH“**ANALYSIS OF DIFFERENT ACTIVATION FUCTIONS USING BACKPROPAGATION NEURAL NETWORKS**” journal of Theoretical and Applied information technology ,vol. 47,no.3
- [15] Kelvin Gurney,**AN INTRODUCTION TO NEURAL NETWORKS**” England, London :UCL Press Limited
- [16] ฉันทชัย ลีภักดิ์ปริดา ,**การหาค่าเหมาะสมที่สุด**,กรุงเทพมหานคร:สำนักพิมพ์ธรรมศาสตร์,2543
- [17] อติศร สุขแสง , อังคาร ชูหวาน และคณะ, “การตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดสำหรับกังหันลมขนาดเล็ก” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า,สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง,2556
- [18] วีระเชษฐ์ ชันเงิน และ วุฒิพล ธาราธิระเชษฐ์,**อิเล็กทรอนิกส์กำลัง(Power Electronics)**, กรุงเทพมหานคร:วี.เจ.พรินติ้ง,2554
- [19] Ehsanolah Assareh , Mojtaba Biglari “**A novel approach to capture the maximum power from variable speed wind turbines using PI controller, RBF neural network and GSA evolutionary algorithm**”Renewable and Sustainable Energy Reviews 51(2015),pp.1023-1037

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[20] Yacine Daili, Jean-Pual Gaubert, Lazhar Rahmani “Implementation of new maximum power point tracking control for small wind energy conversion system without mechanical sensors” Energy conversion and Management 97(2015), pp.2980-306



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ก
ผลงานวิจัยที่ได้เผยแพร่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



HONG KONG

JUNE 8-10, 2016

Conference Proceedings

ICEAS

The International Conference on
Engineering and Applied Sciences

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ICEAS- 10993

Maximum power point tracking for wind turbine using MLPNN implementation without mechanical sensor

Piyangkun Kukutapan^{a*}, Siridech Boonsang^b

Department of Electrical Engineer, Faculty of Engineering King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand.

^acheekpyk@gmail.com; ^bkksiride@kmitl.ac.th

Abstract

The article proposes maximum power point tracking without mechanical sensor using Multilayer Perceptron Neural Network (MLPNN). The aim of article is to reduce the cost and complexity but still retain efficiency. The experimental is that duty cycle is generated maximum power, if it has suitable qualification. The measured data from DC generator, voltage (V), current (I), power (P), turnover rate of power (dP), and turnover rate of voltage (dV) are used as input for MLPNN model. The output of this model is duty cycle for driving the converter. The experiment implemented using Arduino Uno board. This diagram is compared to MPPT using MLPNN and P&O control (Perturbation and Observation control). The experimental results show that the proposed MLPNN based approach is more efficiency than P&O algorithm for this application.

Keywords: Maximum power point tracking, Multilayer perceptron neural network, Optimal duty cycle, DC generator

1. Background

Renewable energy has grown enormous. The wind energy conversion system is decade as one of renewable energy sources due to high cost and environment impact from the current energy source. Wind energy is one choice because it is no pollution and inexhaustible.

In wind energy system, wind turbine converts wind energy to mechanical energy then it runs a generator to create electrical energy. Power from turbine depends on wind velocity and pitch angle [1]. To take advantage of wind turbine characteristic, Maximum power point tracking is necessary variable to obtain maximum power.

In recent year, Maximum Power Point Tracking(MPPT) algorithms [2] such as Optimal torque control (OTC), Perturb and Observe (P&O) and Incremental method [3] have been proposed. The advantage of OTC and P&O are high efficiency and simplicity respectively.

Main drawbacks of P&O algorithm are low efficiency and difficulty in determining step size of duty cycle. However, maximum power point tracking using multilayer perceptron neural network is more efficient than P&O algorithm. This paper presents a maximum power point tracking algorithm using MLPNN without mechanical sensor. The experimental results show that the proposed MLPNN based approach is more efficiency than P&O algorithm for this application.

network (MLPNN) can overcome these problems by optimize efficiency and reduce step size determining.

A mechanical sensor is necessary for maximum power point tracking using artificial neural network to optimize efficiency at each wind velocity [4]. A mechanical sensor with neural network is used in [5], [6]. The preceding MPPTs have to know the wind velocity and rotor speed that increase complexity and cost.

This article presents Maximum power point tracking using multilayer perceptron neural network (MLPNN) to predict optimal duty cycle without mechanical sensor. The objective of article is to simplify, reduce cost and optimize efficiency of output power. Maximum power point tracking using MLPNN was implemented using Arduino to drive dc converter. The performance of article was compared with P&O algorithm in wind tunnel with height of 0.6 m width of 0.6 m, length of 1.6 m, and 0.785 m² cross section area

2. Wind Turbine System Overview

In wind power system, wind power is converted into shaft power by wind turbine, and the shaft power is converted into electrical power. The structure of wind turbine system is given in Fig. 1. Wind turbine system consist of wind turbine, dc generator, buck converter, and resistive load.

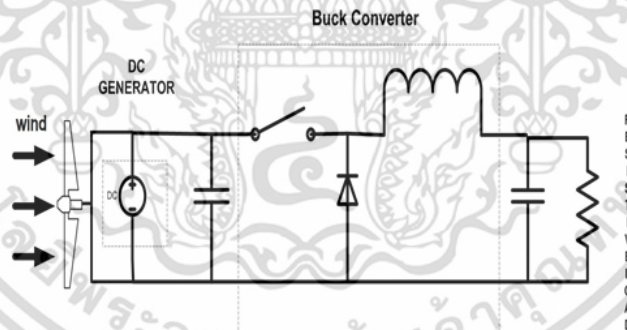


Fig. 1: Structure of wind power system

The output power of wind turbine is a function of wind velocity cubed described by (1).

$$P_m = \frac{1}{2} \rho \pi A V_{wind}^3 C_p(\lambda, \beta) \quad (1)$$

where P is power (watt) ρ is air density (kg/m³) R is radius of wind turbine (m) V is wind speed (m/s), C_p is power coefficient and A is rotor swept area (m²) [7], [8].

In the experiment, initial duty cycle was 0%. and duty cycle was in each round. The output power in each round is recorded for analyzing the relation between power and duty cycle. The เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

experimental results found that each wind speed corresponds to one optimal duty cycle which generates the maximum output power.

Fig. 2 shows that, optimal duty cycle are 50, 55 and 70 percents, and maximum output power are 2.81, 4.53 and 7 watt at wind speed 5 (black line with circle), 6 (blue dash line) and 8.3 (red solid line) m/s respectively.

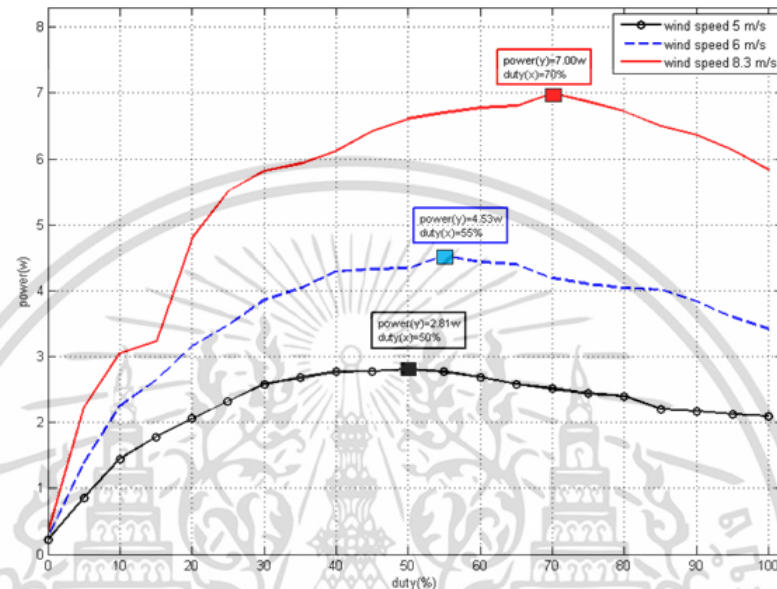


Fig. 2: Relationship between output power and duty cycle (x is duty cycle (%) and y is output power (w))

3. Design of MPPT

3.1 Multilayer Perceptron Neural Network

Neural network is an artificial intelligent. The principle of neural network is to imitating function of human brain, the output signal is determined by activation function [9].

Neural Network with at least hidden 1 layers is called multilayer neural network. If a network has hidden layer more than one layer and its activation function is sigmoid it can estimate continuous function [10].

Architecture of Maximum Power Point Tracking using MLPNN is shown in Fig. 3, in which the predicted duty cycle can be obtained by five inputs and one output node where inputs are voltage, current, power, turnover rate of power, and turnover rate of voltage. The output is predicted duty cycle

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

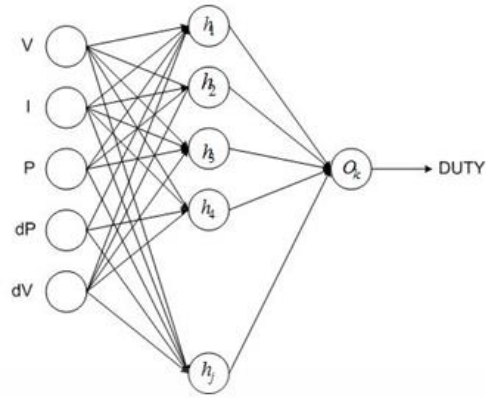


Fig. 3: Architecture of MPPT using MLPNN without mechanical sensor

Block diagram of maximum power point tracking using MLPNN is given in Fig. 4, in which the predicted optimal duty cycle is output from multilayer perceptron neural network used to drive the converter. The controller receives voltage and current from the electrical sensor. Input are calculated by controller. The predicted duty cycle from MLPNN is controlling value to drive the buck converter. Predicted duty cycle is calculated by (2)-(5). $X_i = [V, I, P, dP, dV]$ where V is voltage, I is current, P is power, dP is turnover rate of power and dV is turnover rate of voltage.

$$s_j = \sum_{i=1}^d w_{ij}^{(1)} X_i + \sum_{i=1}^j b^{(1)}_i w_i \quad (2)$$

$$z_j = h(s_j) = \frac{1}{1 + \exp(-s_j)} \quad (3)$$

$$a_k = \sum_{j=1}^M w_{kj}^{(2)} z_j + \sum_{v=1}^{\sigma} b_v w_v \quad (4)$$

$$y_k = O(a_k) = \frac{1}{1 + \exp(-a_k)} \quad (5)$$

where s_j is activate function, z_j is output from hidden layer, a_k is activation from hidden layer, y_k is output from MLPNN.

3.2 Perturbation and Observation Control

Perturbation and Observation control is mathematical technique. This technique is perturbing control variable and observing target. The algorithm perturbs step size of control variable until turnover rate of target is zero and then stop. If operation point is on the left of maximum point (slope is positive), the controller perturbs control variable to move observing target to the right side of operation point. On the other hand, if operation point is on the right side, the controller moves the observing target to the left to be close to maximum point. The advantage of เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

perturbation and observation technique is that it does not require knowledge of wind turbine characteristic curve. This technique is simple and flexible. However, it fails to obtain the maximum power point because it is difficult to choose appropriate step size. The large step size cause fast response with large oscillation around maximum point. The small step size is more provides efficiency but reduces the response.

Maximum power point tracking using P&O method block diagram is shown in Fig. 5. The voltage and current signals are sent to controller to calculate the power. The target and control variable are power and duty cycle respectively. Controller perturb control variable and observe slope of target variable. The controller perturbs duty cycle until differential of power is zero. In this study, control variable used step size of duty cycle 5 percent.

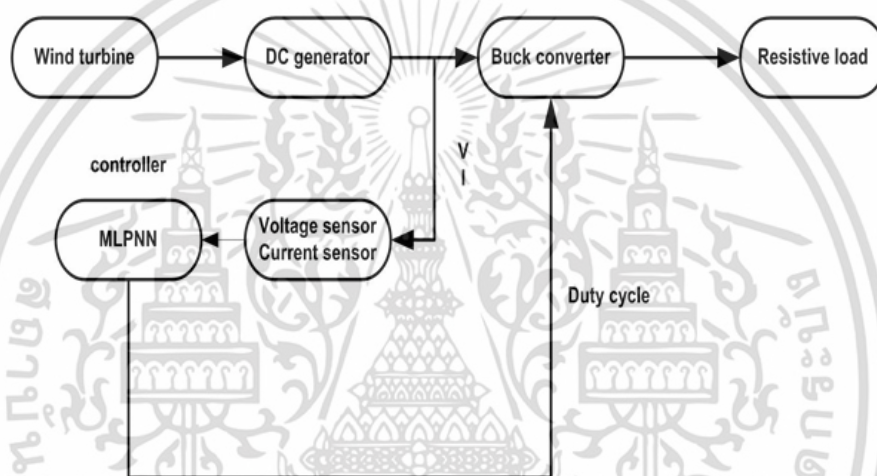


Fig. 4: Block diagram of Maximum power point tracking using MLPNN

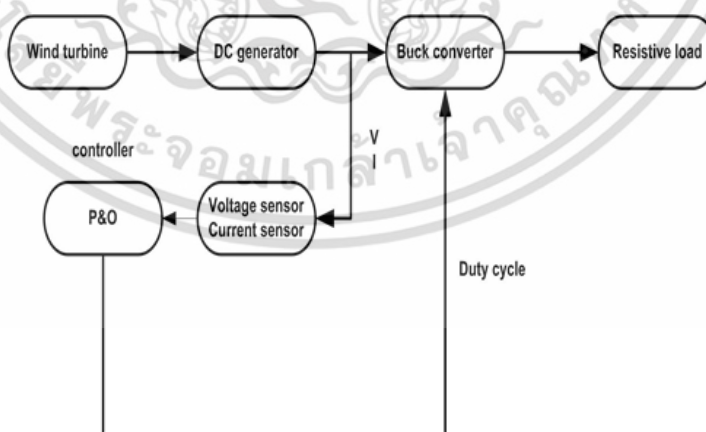


Fig. 5: Block diagram of Maximum power point tracking using P&O method

4. Experimental Results

The equipment used to track maximum power by artificial neural network without mechanical

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

sensor is shown in Fig. 6 (a) control circuit with ARDUINO UNO processing that obtains current and voltage from current and voltage sensor. INA 146 gain difference amplifier is used in current and voltage sensors. (b) Overview of wind tunnel used in the experiment, which size 0.6 meters of height, 0.6 meters of wide, 1.6 meter of long and 0.785 m² cross-sectional area (c) operational part will be used in the test. Operational part is composed of DC generator and multiple blade wind turbine with diameter of 0.45m, blade width 10cm and 16cm in length. The experiment took place at wind speed of 5, 6, and 8.3m/s.

The relation between output power and duty cycle is aforementioned in Fig. 2 revealing that at wind speed 5 m/s, duty cycle the maximum power (2.81watt) is 50 percent and at wind speed 6 m/s, duty cycle the maximum power (4.53watt) is 55 percent and at wind speed 8.3m/s, duty cycle the maximum power (7.57watt) is 70 percent. Thereby, the maximum power regarded as the expected value are 2.81, 4.53 and 7.57 watt for the specific wind speed (5,6 and 8.3 m/s).

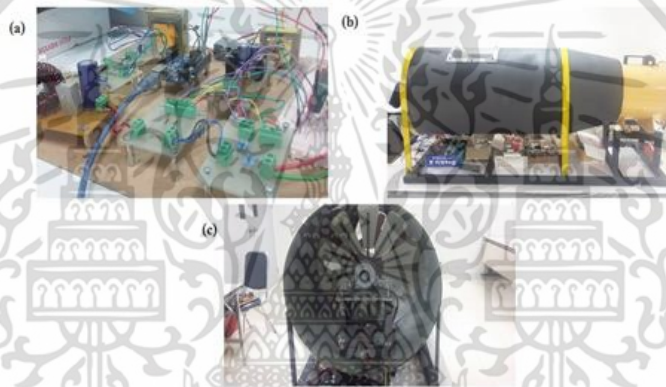
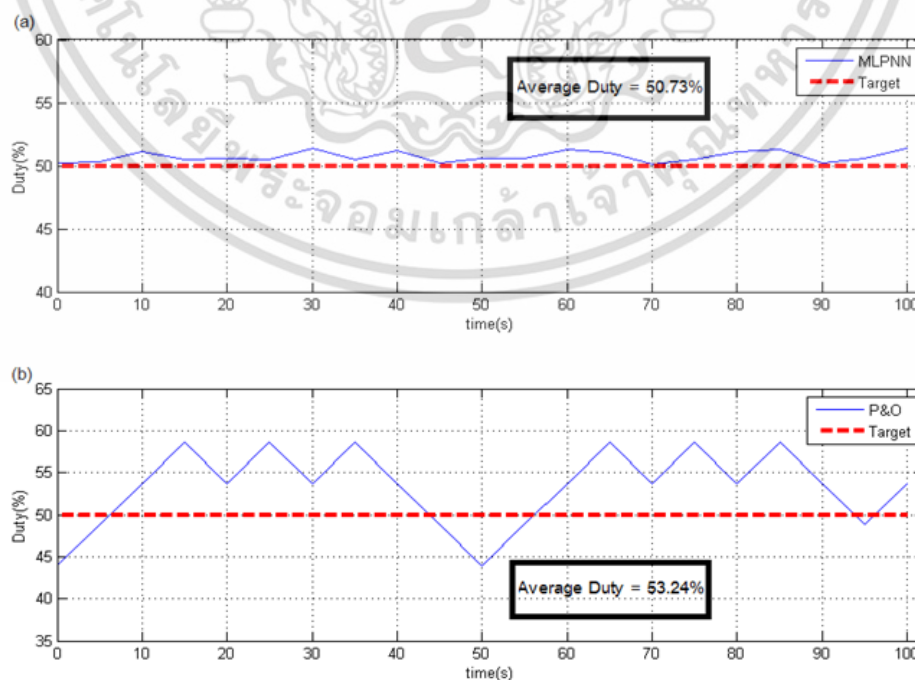


Fig. 6: Experimental equipment



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่: Experiment of (a) MLPNN (b) P&O output duty cycle at wind speed 5 m/s ในการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

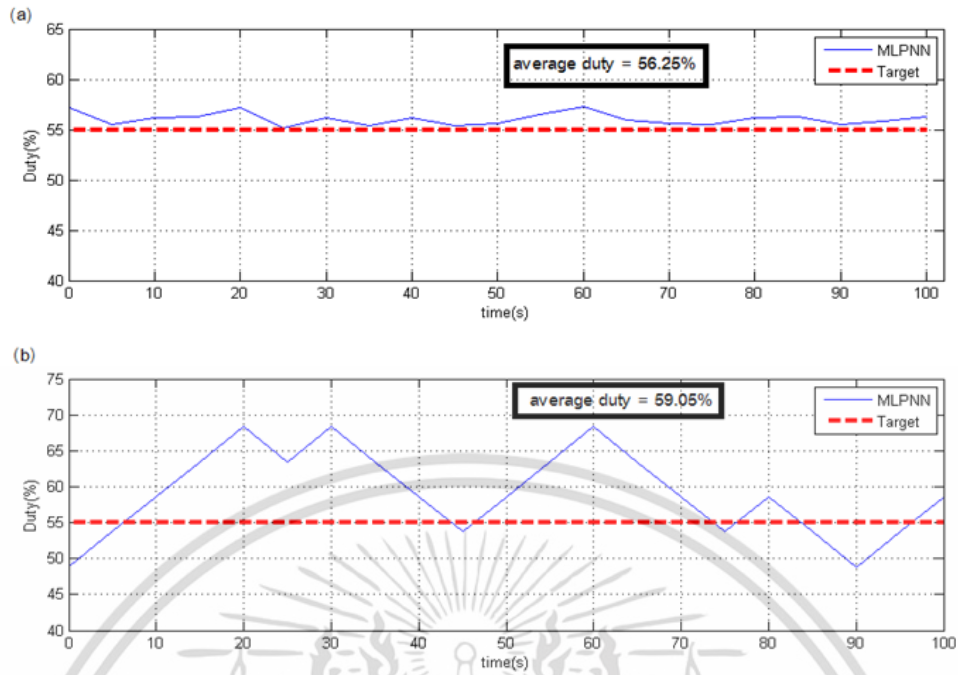


Fig. 8: Experiment of (a) MLPNN (b) P&O output duty cycle at wind speed 6 m/s

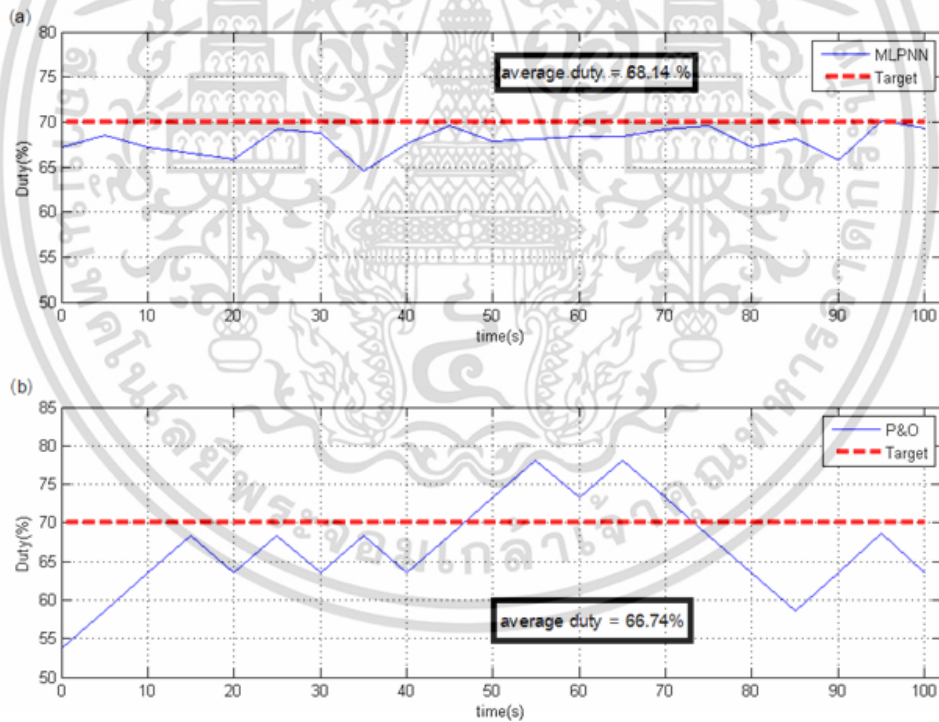


Fig. 9: Experiment of (a) MLPNN (b) P&O output duty cycle at wind speed 8.3 m/s

Fig. 7 represents the comparison of duty cycle between maximum power tracking with (at wind speed 5 m/s) at steady state (a) MLPNN and (b) P&O. Targeted duty cycle at maximum power (red dash line) is 50 percent. From Fig. 9 (a), Maximum power tracking by MLPNN (blue solid line) provides 50.73 percent duty cycle. From Fig. 9 (b) Maximum power tracking by mean of P&O step size 5% (blue solid line) provides 53.24 percent duty cycle

นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Fig. 8 represents the comparison of duty cycle between MLPNN and P&O at wind speed 6m/s at steady state. Targeted duty cycle at maximum power (red dash line) is 55 percent. From Fig. 10 (a) Maximum power tracking by MLPNN (blue solid line) provides 56.25 percent duty cycle. From Fig. 10 (b) Maximum power tracking by mean of P&O step size 5% (blue solid line) provides 59.05 percent duty cycle

Fig. 9 represents the comparison of duty cycle between MLPNN and P&O at wind speed 8.3m/s at steady state. Targeted duty cycle at maximum power (red dash line) is 70 percent. From Fig. 11 (a) Maximum power tracking by MLPNN (blue solid line) provides 68.14 percent duty cycle. From Fig. 11 (b) Maximum power tracking by mean of P&O step size 5% (blue solid line) provides 66.74 percent duty cycle. The experimental results are recorded in Table 1.

Table 1: Comparison of duty cycle

| Wind speed(m/s) | Output duty cycle (%) | | | Error(%) | |
|-----------------|-----------------------|--------|-------|----------|------|
| | MLPNN | Target | P&O | MLPNN | P&O |
| 5 | 50.73 | 50 | 53.24 | 0.04 | 6.24 |
| 6 | 56.25 | 55 | 59.05 | 0.72 | 10.1 |
| 8.3 | 68.14 | 70 | 66.74 | 2.85 | 8.77 |

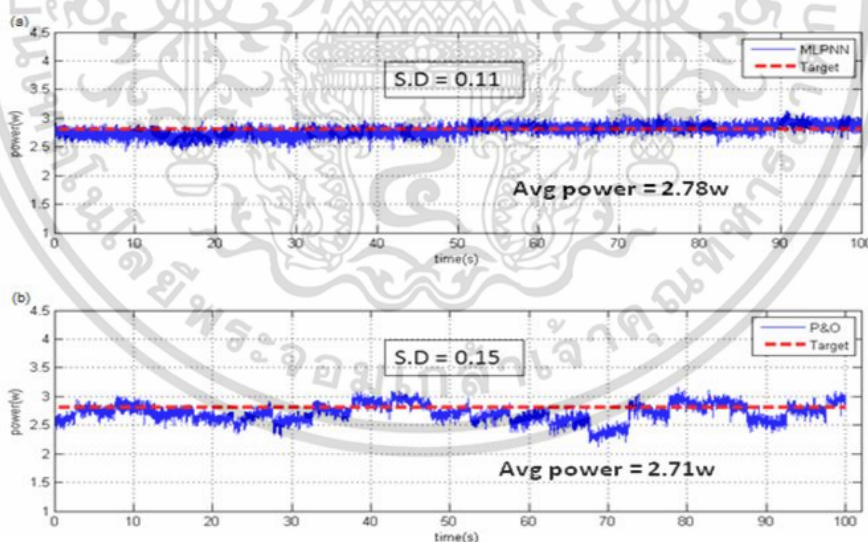


Fig. 10: Experiment of (a) MLPNN (b) P&O output power at wind speed 5 m/s

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

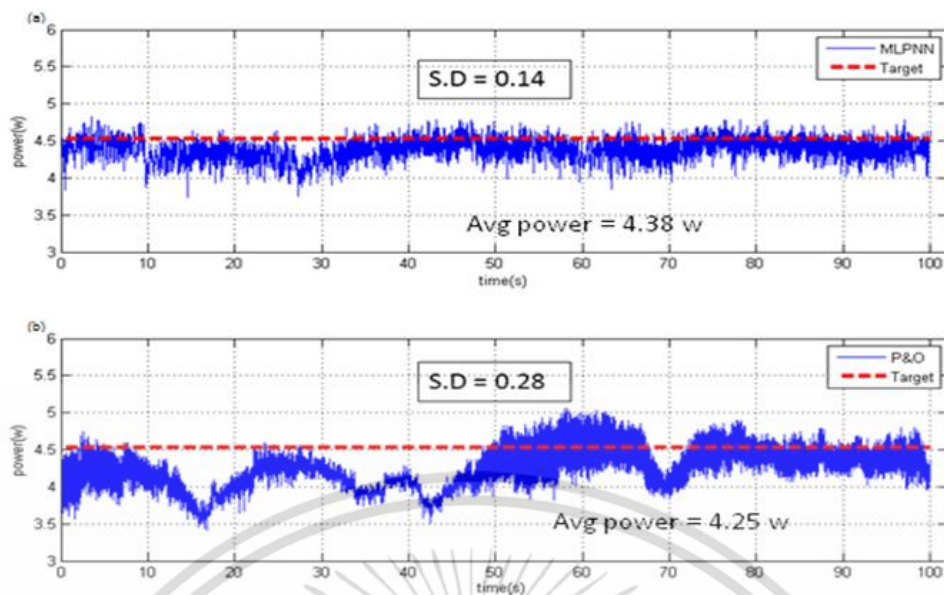


Fig. 11: Experiment of (a) MLPNN (b) P&O output power at wind speed 6 m/s

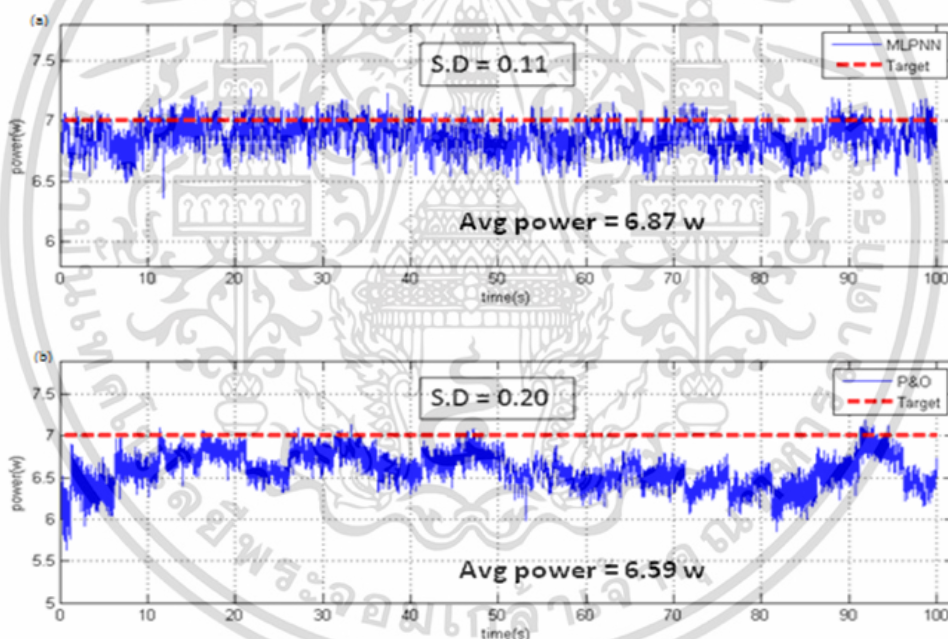


Fig. 12: Experiment of (a) MLPNN (b) P&O output power at wind speed 8.3 m/s

Fig. 10 represents the comparison of obtained power with using maximum power point tracking and target power. Fig. 10 at wind speed 5m/sec, Target power is equal to 2.81 watt (red dash line). From Fig. 10 (a) maximum power tracking by MLPNN (blue solid line), the power is 2.78 watt. From Fig. 10 (b) maximum power tracking by P&O at step size 5% (blue solid line), the power is 2.71 watt.

Fig. 11 represents the comparison of obtained power with using maximum power point tracking and target power. Fig. 11 (a) at wind speed 6 m/sec, Target power is equal to 4.53 watt (red dash

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

line). From Fig. 11 (a) maximum power tracking by MLPNN (blue solid line) the power is 4.38 watt. From Fig. 11 (b) maximum power tracking by P&O at step size 5% (blue solid line), the power is 4.25 watt.

Fig. represents the comparison of obtained power with using maximum power point tracking and target power. Fig. 12 at wind speed 8.3 m/sec, Target power is equal to 7 watt (red dash line). From Fig. 12 (a) maximum power tracking by MLPNN (blue solid line), the power is 6.87 watt. From Fig. 12 (b) maximum power tracking by P&O at step size 5% (blue solid line), the power is 6.59 watt. The output power from generator corresponding wind speed (5,6 and 8.3 m/s) are recorded in Table II where mean square absolute error indicates the error between output and expected output power.

According to Figs. 7-11 maximum power tracking by MLPNN, it can be seen that the fluctuation of duty cycle is less, since duty cycle from control system is less fluctuate. This is different from P&O, which fluctuation of duty cycle is higher.

As shown in Figs. 10-12 maximum power tracking by MLPNN, it can be seen that the fluctuation of power is less, since duty cycle from control system is less fluctuate. This is different from P&O, which fluctuation of power is higher, since duty cycle from control system directly affects the mechanical system of small wind turbine. Thus, obtained power is fluctuate leading to errors in duty cycle. Fluctuation of power is indicated by standard deviation (S.D), S.D from MLPNN is less because P&O step duty cycle all time

In Tables 1 and 2, the comparison results is shown. The results show that the proposed Maximum power point tracking using MLPNN is supereminent.

Table 2: Comparison of Output Power

| Wind speed (m/s) | Output duty cycle (%) | | | | Error (%) | |
|------------------|-----------------------|--------|------|--------------|-----------|------|
| | MLPNN | Target | P&O | Without MPPT | MLPNN | P&O |
| 5 | 2.78 | 2.81 | 2.71 | 2.1 | 1.06 | 3.55 |
| 6 | 4.38 | 4.53 | 4.25 | 3.42 | 3.31 | 6.18 |
| 8.3 | 6.87 | 7 | 6.59 | 5.83 | 1.85 | 5.85 |

5. Conclusion

This article proposes the maximum power point tracking without mechanical sensor using MLPNN. The control system with the approach can predict duty cycle. For achieving the

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

maximum power, MLPNN model plays a role in generate and controlling the optimal duty cycle. The experimental results show that the proposed approach can obtain better the optimal duty cycle and maximum power estimation than P&O algorithm. In summary, MLPNN model without using mechanical sensor not only reduces system cost but also it can optimize output power for wind energy conversion system.

6. Reference

- R.M. Zavadil “Wind Generation Technical Characteristic for the NYSERDA Wind Impact Study”, *Knoxville, TN: EnerNex*, November 2003, pp.7-12.
- Abdullah M.A., Yatim A.H.M., Tan C.W., and Saidur R. “A review of maximum power point tracking algorithms for wind energy system”, *renewable and Sustainable Energy Reviews* 16,2012.
- R. Kot, M. Rolak, and M. Malinowski “Comparison of maximum peak power tracking algorithm for small wind turbine”, *Mathematical and Computer in simulation* 91 29-40, 2013.
- Chiung Hsinh Chen, Chih-Ming Hong, and Fu-Sheng Cheng “Intelligent speed sensorless maximum power point tracking control for wind generation system”, *Electrical power and Energy systems* 42,2012.
- Chun-Yao Lee, Po-Hung Chen, and Yi-Xing Shen “Maximum power point tracking(MPPT) system of small wind power generator using RBFNN approach”, *Expert Systems with Applications* 38,2011.
- Sohei Ganhefar, Ali Akbar Ghassemi, and Mohamad Mehdi Ahmadi “Improving efficiency of two-type maximum power point tracking methods of tip-speed ratio and optimum torque in wind turbine system using a quantum neural network”, *Energy* 67, 2014.
- Dr. Horizon Gitano-Briggs “Small wind turbine power controller” *Malaysia: Intech. Kidwind science snack “Understanding coefficient of power and Betz Limit”* Minneapolis: Kidwind Project.
- Artificial Neural Network for Electrical laboratory, Assoc Prof Surin Khomfoi, *King Mongkut Institute Technology Ladkrabang*,2014.
- Park, J., and I Sandberge, *Universal Approximation Using Radial-Basis-Function Network, Neural Computation*, Vol.3, 246-257.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิกัดเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง

ในการทดสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงจะทำการทดสอบด้วยด้วยมอเตอร์ขนาด

$\frac{1}{2}$ HP , 50 Hz , 4 pole

ทำการทดสอบแบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากำเนิดไฟฟ้าจะทำการทดสอบแบบเปิดวงจรที่
ความเร็วรอบมอเตอร์เท่ากับ 2770 รอบ/นาที และ ทดสอบแบบลัดวงจร ผลที่ได้คือ

Open circuit test : 140 V

Short circuit test : 1.04 A

พิกัดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ได้

| | | |
|------------------|------|----------|
| พิกัดกำลังไฟฟ้า | 28 | วัตต์ |
| พิกัดความเร็วรอบ | 2700 | รอบ/นาที |
| ความต้านทานภายใน | 2 | โอห์ม |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเลือกโครงข่ายที่เหมาะสม

โครงข่ายประสาทเทียมนั้นไม่สามารถบอกได้ว่าจำนวนเซลล์ประสาทเทียมในชั้นที่ซ่อนอยู่จะต้องใช้เท่าไร หรือ จำนวนโครงข่ายเท่าไรจึงจะได้ค่าความผิดพลาดสัมพันธ์กับค่าที่ถูกตั้งไว้

| Number of Hidden nodes | Maximum error | Mean square error | Average error |
|------------------------|---------------|-----------------------|---------------|
| 5 | 3.69 | 3.03×10^{-5} | 0.76 |
| 10 | 0.55 | 2.16×10^{-6} | 0.18 |
| 15 | 1.42 | 5.90×10^{-6} | 0.35 |
| 20 | 1.41 | 6.85×10^{-6} | 0.36 |
| 25 | 1.47 | 9.83×10^{-6} | 0.41 |
| 30 | 1.87 | 1.21×10^{-5} | 0.46 |
| 35 | 1.05 | 5.39×10^{-6} | 0.31 |
| 40 | 1.50 | 9.13×10^{-6} | 0.40 |

จากตารางพบว่า จำนวนชั้นซ่อนที่ให้ค่าความผิดพลาดน้อยเหมาะสมที่สุดคือ 10 โหนด จะได้ค่าความผิดพลาดสัมพันธ์กับค่าที่ถูกตั้งไว้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล นาย ปิยงกูร กุฑุทพันธ์

วัน/เดือน/ปี เกิด 5 มกราคม 2535

ที่อยู่ 115/144 ถนน ประสานมิตร ตำบล เขารูปช้าง อำเภอ เมือง จังหวัด
สงขลา 90000

ประวัติการศึกษา ปี 2556 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขา
วิศวกรรมไฟฟ้า จาก สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร
ลาดกระบัง

ปี 2557 – ปัจจุบัน เป็นนักศึกษาปริญญาโท สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า ที่
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ความชำนาญเฉพาะทาง อิเล็กทรอนิกส์กำลัง
การตามรอยกำลังไฟฟ้าสำหรับพลังงานหมุนเวียน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้